

**ANTİBAKTERİYEL MALZEME
VE SİSTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ
VE DEZENFEKSİYON UYGULAMALARI**

Filiz Bayrakcı Karel

Doktora Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2008

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu
Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 050209**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Filiz Bayrakçı Karel'in “**Antibakteriyel Malzeme ve Sistemlerin Geliştirilmesi ve Dezenfeksiyon Uygulamaları**” başlıklı **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalındaki Doktora Tezi 30.06.2008 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	:Doç. Dr. A. SAVAŞ KOPARAL
Üye	:Prof. Dr. ÜLKER BAKIR ÖĞÜTVEREN
Üye	:Prof. Dr. ERCENGİZ YILDIRIM
Üye	:Prof. Dr. AYDIN DOĞAN
Üye	:Doç. Dr. ARZU ÇİÇEK

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri ve Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

ANTİBAKTERİYEL MALZEME VE SİSTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE DEZENFEKSİYON UYGULAMALARI

Filiz BAYRAKCI KAREL

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. A. Savaş KOPARAL
2008, 92 sayfa

Bu çalışmada kaolinit, klinoptilolit ve sepiyolit doğal malzemeleri antibakteriyel duruma getirilmiştir. Kullanılan doğal malzemeler yerli kaynaklardan elde edilmiştir ve zenginleştirme, saflaştırma vb. ön işlemlere tabi tutulmamıştır. Dezenfeksiyon etkinliğini artırmak amacıyla melez ve ardışık sistemler kullanılarak suda ve havada dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Doğal malzemelerin antibakteriyel duruma getirilme işlemi gümüş iyonu kullanılarak kimyasal ve fiziksel yolla sağlanmıştır. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen doğal malzemeler fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen doğal malzemelere göre bünyelerine daha fazla gümüş iyonu almıştır. Melez ve ardışık sistemler ile su dezenfeksiyonu gümüş iyonu destekli antibakteriyel dolgulu kolon, düşük frekanslı ve yüksek frekanslı ultrasonik sistemler ve ultraviyole sistem ile ikili ve üçlü sistemler olacak şekilde kullanılarak sağlanmıştır. Melez ve ardışık sistemler ile hava dezenfeksiyonu gümüş iyonu destekli antibakteriyel dolgulu kolon, UV reaktör ve foto-katalitik destekli UV reaktör birlikte kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Suda ve havada yapılan dezenfeksiyon çalışmalarında melez ve ardışık sistemlerin sinerjik etki göstererek tek başlarına kullanıldıklarında sağladıklarından daha etkin dezenfeksiyon gerçekleştirilebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dezenfeksiyon, Gümüş iyonları, Ultrasound, Ultraviyole, Foto-katalitik, Antibakteriyel malzemeler.

ABSTRACT

PhD Dissertation

DEVELOPMENT OF ANTIBACTERIAL MATERIALS AND SYSTEMS AND DISINFECTION APPLICATIONS

Filiz BAYRAKCI KAREL

Anadolu University

Graduate School of Sciences

Environmental Engineering Program

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. A. Savaş KOPARAL

2008, 92 pages

In this study, natural kaolinite, clinoptilolite and sepiolite materials were transformed into anti-bacterial form. The utilized natural materials were obtained from domestic resources without further pre-processes such as enrichment and purification. The disinfection operation was performed using hybrid and serial systems to improve efficiency. The transformation into anti-bacterial forms was achieved by physical and chemical silver ion utilization. The chemically transformed anti-bacterial materials were found to contain more silver ions as compared to the physically transformed ones. Water disinfection with hybrid and serial systems was obtained by silver ion supported antibacterial filled column, wideband ultrasonic systems, and ultraviolet systems in combinations of double and triple systems. Air disinfection with hybrid and serial systems was obtained by combined usage of silver ion supported antibacterial filled column, ultraviolet reactor, and photo-catalytic supported ultraviolet reactor. Water and air disinfection studies show that combined use of hybrid systems have better disinfection efficiency as compared to individual uses of each of the described methods.

Anahtar Kelimeler: Disinfection, Silver ions, Ultrasound, Ultraviolet, Photo-catalytic, Antibacterial materials.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın başlangıcından itibaren her konuda desteğini, hoşgörösünü ve yardımlarımı esirgemeyen ve bundan sonra da esirgemeyeceğine emin olduğum değerli danışman hocam Doç. Dr. A. Savaş KOPARAL'a,

Öneri ve destekleri ile çalışmama katkıda bulunan hocam Prof. Dr. Aydın DOĞAN ve çalışma grubuna,

Çalışmalarım sırasında ilgi ve destekleriyle yanımda olan Çevre Mühendisliği Bölümü ve Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi hocalarım ve arkadaşlarıma,

Hiçbir yardım çağrımı cevapsız bırakmayan sevgili arkadaşım Öğr. Gör. E. Esra GEREK'e,

Bugüne kadar her durumda sevgileri ve her türlü destekleri ile yanımda olan eşim Serhan KAREL ve sevgili aileme

en içten teőekkürlerimi sunarım.

Filiz BAYRAKCI KAREL

Temmuz 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. SU VE HAVADA MİKROBİYOLOJİK KİRLENME	4
2.1. Su Kirliliği.....	4
2.1.1. Mikroorganizmalar.....	5
2.1.1.1 <i>Escherichia coli</i>	6
2.2. Hava Kirliliği	7
2.2.1. Hava mikrobiyolojisi.....	7
2.2.2. Mikroorganizmaların havada taşınması	8
2.2.3. Bina içi havada mikrobiyolojik kirlenme.....	9
3. DEZENFEKSİYON	11
3.1. Sistemlerin Hücreleri Etkileme Şekilleri	11
3.1.1. Protein pıhtılaşması.....	11
3.1.2. Hücre zarının veya çeperinin bozulması	12
3.1.3. Serbest sülfidril grupların giderilmesi.....	12
3.1.4. Kimyasal zıt etki	12
3.2. Dezenfeksiyona Etki Eden Etmenler	13
3.3. Suda Bulunan Mikroorganizmaların Dezenfeksiyonu	15
3.3.1. Klor ile dezenfeksiyon	15
3.3.2. Klordioksit ile dezenfeksiyon	17
3.3.3. Brom klorür ile dezenfeksiyon.....	19
3.3.4. Ozon ile dezenfeksiyon	20
3.3.5. Elektrokimyasal dezenfeksiyon	20

3.3.6. UV ile dezenfeksiyon.....	22
3.3.7. Metal iyonları ile dezenfeksiyon.....	24
3.3.8. Ultrasonik sistemler ile dezenfeksiyon	25
3.4. Havada Bulunan Mikroorganizmaların Dezenfeksiyonu.....	27
3.4.1. Fotokatalitik sistemler.....	27
4. DEZENFEKSİYON DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	30
4.1. Suda Mikrobiyolojik Sayım Yöntemleri.....	30
4.1.1. Kültürel sayım yöntemi.....	31
4.1.1.1 Dökme plak yöntemiyle kültürel sayım	32
4.1.1.2 Yüzeğe yayma yöntemiyle kültürel sayım.....	32
4.1.2. Dolaylı sayım yöntemleri.....	33
4.1.2.1 Türbidometrik sayım yöntemi.....	33
4.1.2.2 McFarland yöntemi	34
4.2. Havadaki Mikroorganizmaları Sayma Yöntemleri	34
4.2.1. Pasif teknikler.....	35
4.2.1.1 Sedimentasyon	35
4.2.2. Aktif teknikler	35
4.2.2.1 Süzme yöntemi.....	36
4.2.2.2 Barbotaj yöntemi.....	36
4.2.2.3 Çöktürme.....	36
4.2.2.4 Çarpıcı örnekleyiciler.....	37
4.2.2.5 Andersen örnekleyici	37
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	38
5.1. Antibakteriyel Malzeme Hazırlanması	38
5.1.1. Kullanılan doğal malzemeler	38
5.1.1.1 Kaolinit.....	38
5.1.1.2 Klinoptilolit.....	38
5.1.1.3 Sepiyolit	39
5.1.2. Doğal malzemelerin antibakteriyel hale getirilmesi	39
5.1.2.1 Antibakteriyel etkinlik belirlenmesi.....	40
5.1.2.2 Gümüş salımının belirlenmesi.....	40
5.2. Antibakteriyel Dolgulu Kolonda Su Dezenfeksiyonu	40

5.2.1. Kolon dezenfeksiyon çalışmalarında kullanılan antibakteriyel dolgu malzemesi.....	40
5.3. Ultrasonik Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu.....	42
5.3.1. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör ile su dezenfeksiyonu	42
5.3.2. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktör ile su dezenfeksiyonu.....	43
5.4. UV Sistemde Su Dezenfeksiyonu	44
5.5. Melez ve Ardışık Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu.....	44
5.5.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik sistem ile su dezenfeksiyonu.....	45
5.5.2. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ile su dezenfeksiyonu.....	45
5.5.3. Antibakteriyel dolgulu kolon, ultrasonik sistem ve UV sistem'in birlikte kullanıldığı su dezenfeksiyonu	45
5.6. Havadaki Mikroorganizmaların Dezenfeksiyonu	45
6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	49
6.1. Antibakteriyel Malzeme Hazırlanması	49
6.1.1. Kullanılan doğal malzemelerin karakterizasyonu	49
6.1.1.1 Kaolinit.....	49
6.1.1.2 Klinoptilolit.....	50
6.1.1.3 Sepiyolit	51
6.1.2. Antibakteriyel hale getirilmiş malzemelerin karakterizasyonu.....	52
6.1.2.1 Kaolinit.....	52
6.1.2.2 Klinoptilolit.....	55
6.1.2.3 Sepiyolit	59
6.1.3. Üretilen malzemelerin antibakteriyel etkinliği.....	62
6.1.3.1 Kaolinit'in antibakteriyel etkinliği	62
6.1.3.2 Klinoptilolit'in antibakteriyel etkinliği	63
6.1.3.3 Sepiyolit'in antibakteriyel etkinliği.....	64
6.1.4. Üretilen malzemelerin gümüş salımları	65
6.1.4.1 Kaolinitin gümüş salımı	65
6.1.4.2 Klinoptilolit'in gümüş salımı	67
6.1.4.3 Sepiyolit'in gümüş salımı.....	68
6.2. Antibakteriyel Dolgulu Kolonun Etkinliğinin İncelenmesi	70

6.3. Ultrasonik Sistemlerin Etkinliğinin İncelenmesi	71
6.3.1. Düşük frekanslı ultrasonik reaktörün etkinliğinin incelenmesi	72
6.3.1.1 Ultrasonik frekansın etkisinin incelenmesi	72
6.3.1.2 Başlangıç hücre derişiminin etkisinin incelenmesi	73
6.3.1.3 Ag ⁺ iyonun etkisinin incelenmesi	73
6.3.1.4 Suda eşlik eden iyonların dezenfeksiyona etkisinin incelenmesi	76
6.3.2. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktörün etkinliğinin incelenmesi.....	77
6.3.2.1 Ultrasonik frekansın etkisinin incelenmesi	77
6.3.2.2 Ag ⁺ iyonun etkisinin incelenmesi	78
6.3.2.3 Suda eşlik eden iyonların dezenfeksiyona etkisinin incelenmesi	79
6.4. UV Sistemin Etkisinin İncelenmesi	79
6.5. Melez ve Ardışık Sistemlerin Etkisinin İncelenmesi	80
6.5.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik sistem ile su dezenfeksiyonu.....	80
6.5.2. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ile su dezenfeksiyonu	81
6.5.3. Antibakteriyel dolgulu kolon, ultrasonik sistem ve UV sistem'in birlikte kullanıldığı su dezenfeksiyonu	82
6.6. Hava Dezenfeksiyonu Sisteminin Etkisinin İncelenmesi	83
7. BULGULARIN TARTIŞILMASI	86
7.1. Antibakteriyel Malzeme Geliştirilmesi	86
7.2. Antibakteriyel Dalgulu Kolonda Su Dezenfeksiyonu	87
7.3. Ultrasonik Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu.....	87
7.3.1. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör	87
7.3.2. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktör	88
7.4. UV Sistem ile Su Dezenfeksiyonu.....	88
7.5. Melez ve Ardışık Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu.....	88
7.5.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik sistem ile su dezenfeksiyonu.....	88
7.5.2. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ile su dezenfeksiyonu.....	89
7.5.3. Antibakteriyel dolgulu kolon, ultrasonik sistem ve UV sistem'in birlikte kullanıldığı su dezenfeksiyonu	89
7.6. Hava Dezenfeksiyon Sistemi	89

8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR.....	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

5.1. Antibakteriyel dolgu malzemesi	41
5.2. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör	42
5.3. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktör	43
5.4. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktör ve sürücüsü.....	43
5.5. UV reaktör.....	44
5.6. TiO ₂ kaplı reaktör.....	46
5.7. TiO ₂ kaplı reaktör ile hava dezenfeksiyonu	46
5.8. Daldırma yöntemi ile kaplama süreci	47
5.9. Hibrit hava dezenfeksiyon sistemi	48
6.1. Doğal kaolinit numunesinin XRD grafiği	49
6.2. Doğal klinoptilolit numunesinin XRD grafiği	50
6.3. Doğal sepiyolit numunesinin XRD grafiği	51
6.4. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait EDX grafiği.....	53
6.5. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait SEM görüntüsü	54
6.6. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait EDX grafiği.....	55
6.7. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait SEM görüntüsü	55
6.8. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait EDX grafiği.....	56
6.9. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait SEM görüntüsü	57
6.10. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait EDX grafiği.....	58
6.11. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait SEM görüntüsü	58
6.12. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait EDX grafiği.....	59

6.13. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait SEM görüntüsü	60
6.14. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait EDX grafiği.....	61
6.15. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait SEM görüntüsü	61
6.16. Şahit Kaolinit Numunesi.....	62
6.17. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesi	62
6.18. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesi.....	62
6.19. Şahit Klinoptilolit Numune.....	63
6.20. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesi	63
6.21. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesi.....	63
6.22. Şahit Sepiyolit Numune	64
6.23. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesi.....	64
6.24. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesi	64
6.25. Kimyasal işlem uygulanan kaolinit numunesinin salınım sonrası EDX grafiği.....	66
6.26. Kimyasal işlem uygulanan kaolinit numunesinin salınım sonrası SEM görüntüsü.....	66
6.27. Kimyasal işlem uygulanan klinoptilolit numunesinin salınım sonrası EDX grafiği.....	67
6.28. Kimyasal işlem uygulanan klinoptilolit numunesinin salınım sonrası SEM görüntüsü	68
6.29. Kimyasal işlem uygulanan sepiyolit numunesinin salınım sonrası EDX grafiği.....	69
6.30. Kimyasal işlem uygulanan sepiyolit numunesinin salınım sonrası SEM görüntüsü.....	69
6.31. Antibakteriyel dolgulu kolonda başlangıç bakteri derişiminin etkisi	70
6.32. 4×10^4 /mL başlangıç bakteri derişimininde akış hızının etkisi	70
6.33. 5×10^4 /mL başlangıç bakteri derişimininde akış hızının etkisi	71
6.34. 6×10^4 /mL başlangıç bakteri derişimininde akış hızının etkisi	71
6.35. 1×10^5 /mL başlangıç bakteri derişimininde ultrasonik frekansın etkisi.....	72

6.36. 1×10^6 /mL başlangıç bakteri derişimininde ultrasonik frekansın etkisi	72
6.37. 28 kHz'de başlangıç bakteri derişiminin etkisi	73
6.38. 28 kHz'de Ag^+ iyonunun etkisi	74
6.39. 45 kHz'de Ag^+ iyonunun etkisi	74
6.40. 100 kHz'de Ag^+ iyonunun etkisi	75
6.41. 0,1 mg/L Ag^+ iyonunun 1×10^6 başlangıç bakteri derişiminde ve farklı frekanslarda etkisi	75
6.42. 1 mg/L Ag^+ iyonunun 1×10^6 başlangıç bakteri derişiminde ve farklı frekanslarda etkisi	76
6.43. 1×10^6 başlangıç bakteri derişiminde Ag^+ iyonunun etkisi	76
6.44. SO_4^{2-} ve HCO_3^- iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi	77
6.45. 2×10^4 /mL başlangıç bakteri derişimininde ultrasonik frekansın etkisi	78
6.46. Ag^+ iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi	78
6.47. SO_4^{2-} ve HCO_3^- iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi	79
6.48. Başlangıç derişiminin ve akış hızının UV reaktöre etkisi	80
6.49. 4×10^5 başlangıç bakteri derişiminde, farklı akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolondan sonra 28 kHz'de ultrasonik reaktörün etkisi	81
6.50. 2×10^4 başlangıç bakteri derişiminde, 25 mL/dk akış hızında antibakteriyel dolgulu kolondan sonra 764 kHz'de yüksek frekanslı ultrasonik reaktörün etkisi	81
6.51. 5×10^7 başlangıç bakteri derişiminde, farklı akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolondan sonra 2,6 L/dk akış hızında UV reaktörün etkisi	82
6.52. 5×10^7 başlangıç bakteri derişiminde, farklı akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolondan sonra 1,3 L/dk akış hızında UV reaktörün etkisi	82
6.53. 5×10^7 başlangıç bakteri derişiminde, 25 mL/dk akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolon ve 764 kHz ultrasonik reaktörden sonra 1,3 L/dk akış hızında UV reaktörün etkisi	83
6.54. 10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminde şahit çalışmaya ait fotoğraflar	83
6.56. 10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminde UV kolon çalışmasına ait fotoğraflar	84
6.57. 10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminde foto-katalitik destekli UV kolon çalışmasına ait fotoğraflar	84

6.58. 10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminde antibakteriyel dolgulu kolon ve foto-katalitik destekli UV kolonun birlikte kullanıldığı çalışmaya ait fotoğraflar.....	84
6.59. Küf kullanılarak gerçekleştirilen şahit çalışmaya ait fotoğraf	85
6.60. Küf kullanılarak gerçekleştirilen hava dezenfeksiyon sistemine ait fotoğraf.....	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

6.1. Doğal kaolinit numunesinin XRD sonucu	50
6.2. Doğal klinoptilolit numunesinin XRD sonucu.....	51
6.3. Doğal sepiyolit numunesinin XRD sonucu.....	52
6.4. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait EDX sonucu.....	53
6.5. Fiziksel işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait EDX sonucu.....	54
6.6. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait EDX sonucu.....	56
6.7. Fiziksel işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait EDX sonucu.....	57
6.8. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait EDX sonucu.....	59
6.9. Fiziksel işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait EDX sonucu.....	60
6.10. Kimyasal işlem uygulanan kaolinit numunesinin salınım sonrası EDX sonucu	65
6.11. Kimyasal işlem uygulanan klinoptilolit numunesinin salınım sonrası EDX sonucu	67
6.12. Kimyasal işlem uygulanan klinoptilolit numunesinin salınım sonrası EDX sonucu	68

1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından bedensel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik hali olarak tanımlanan “sağlık” kavramını etkileyen üç temel unsur insan, hastalık yapıcı etmenler ve çevredir. İnsanın dışındaki her şey olarak nitelendirilen içinde yaşadığımız çevre, hastalıklara yol açan en önemli etkenlerin başında gelen mikroorganizmalar ile her an temasta bulunduğumuz ortamdır. Günümüzde yaşam koşullarının değişmesi ve bireylerin zamanlarının çoğunu ev dışında geçirmeleri, değişen beslenme alışkanlıkları ve ulaşım olanakları, uluslararası ziyaretler gibi etmenler, mikroorganizmaların, toplu yaşam alanlarında kolayca bireyden bireye geçişine ve bulaşıcı hastalıkların artmasına neden olmaktadır. Mikroorganizma miktarı belli oranın üzerine çıktığı takdirde kişisel ve çevresel özelliklere bağlı olarak değişik şiddetler de bulaşıcı hastalıklara hatta salgınlara yol açabilmektedir. Toplumun sağlıklı olabilmesi için toplumu oluşturan bireylerin sağlıklarının korunması gerekmektedir. Bu nedenle, yaşadığımız mekanlarda, çalıştığımız ortamlarda ve kullandığımız ürünlerde, hijyenin sağlanması, yani hastalık oluşturabilecek mikroorganizmalardan arındırılması günlük yaşamımızda giderek önem kazanmaktadır.

Su hayatımızın ayrılmaz bir parçasıdır ve suyun arıtılması insanın varlığı açısından hayati önem taşır. Son 100 yıl içinde, klorun içme suyu arıtımında dezenfektan olarak kullanılmasıyla yaşam kalitesi önemli oranda iyileştirilmiştir. Dünya çapında klor, zararlı organizmalara karşı önemli bir engelleyici olarak kullanılmaktadır. Ancak, klorlama işlemi sonucunda içme suyunda oluşan dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) bir takım sağlık problemlerine sebep olmaktadır. Dezenfektan olarak kullanılan klorun, doğal organik maddelerle tepkimeye girerek dezenfeksiyon yan ürünü olan klorlu organik bileşiklerin oluşumuna yol açtığı bilinmektedir. Bunlara örnek olarak trihalometanlar verilebilir. Trihalometanların kanser yapıcı ve karaciğer, böbrek ve sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir.

Klor yerine kullanılan bir başka kuvvetli dezenfektan ise ozondur. Ozonun avantajı düşük derişimlerde bile kuvvetli bir dezenfektan olması ve klorlu organik

bileşiklerin oluşumuna yol açmamasıdır. Ancak yüksek maliyetlidir ve kalıntı bırakmadığından arıtılan suya dağıtım sistemine verilmeden önce kalıcı bir dezenfektan katılması gerekir.

Diğer bir dezenfeksiyon yöntemi olan ultraviyole ışınlarla dezenfeksiyon, oldukça pahalıdır ve genellikle renk, bulanıklık ve katı madde içermeyen küçük tesislere uygulanabilir. Bulanıklığa neden olan kirleticiler UV radyasyonunun bakteriye ulaşmasını engellemektedir. Dezenfeksiyon yöntemlerinde karşılaşılan bu problemler alternatif dezenfeksiyon yöntemlerinin aranmasını ya da bunların hibrit sistemler şeklinde kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir.

Küreselleşen dünya birçok kolaylıklar sağlamanın yanında büyük çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Özellikle insan nüfusunun yoğun olduğu yerlerde karşılaşılan hava kirliliği giderek önem kazanmaktadır. Kirlenmenin yanı sıra daha da kötüsü; hastalık yapıcı mikro organizmaların çok hızlı bir şekilde bu ortamlarda yayılması ve salgınlara yol açmasıdır.

Çevre atmosferinin giderek artan kirlenmesinden ötürü insan sağlığına zararlı mikroorganizmaların sebep olduğu kirlenmeyi (kontaminasyonu) önlemek, Avrupa Birliğine girme sürecinde olduğumuz bu dönemde daha da önem kazanmıştır. Hijyenin önem kazandığı topluma açık, insan sağlığını doğrudan etkileyen alanlarda hava ile taşınan enfeksiyon ve hastalık riski doğuran bakteri, küf mantarı gibi çeşitli mikroorganizmaların yok edilmesi ve bunun sürekliliğinin sağlanması çok gerekli ve önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Özellikle yoğun bakım birimleri, doğum haneler, ve kanser tedavisi yapılan mekanlar hastaların bağışıklık sistemlerinin zayıf olmasından ötürü en riskli alanlardır.

Günümüzde bu tür risklere karşı geliştirilmiş ve hala üzerinde çalışılmakta olan hali hazırda birçok sistem mevcuttur. Fakat genele bakıldığında her sistemin kendine has korumada zayıf kalabildiği mikroorganizma türleri veya miktarları, ondan da ötesi insan sağlığına karşı taşıdığı riskler mevcuttur. Bu nedenle günümüzde tek bir sistem yerine farklı prensiplerle çalışan dezenfeksiyon

yöntemlerinden birbirlerinin açığını kapatacak şekilde yararlanılarak birlikte çalışan daha verimli, daha güvenilir bir sistemin geliştirilme ihtiyacı doğmuştur.

Doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada, antibakteriyel malzeme geliştirilmesi için çalışmalar, antibakteriyel dolgulu kolon destekli ultrasonik ve ultraviyole sistemler ile su dezenfeksiyon çalışmaları, antibakteriyel dolgulu kolon ve foto-katalitik destekli UV sistem kullanılarak havada bulunan bakterilerin giderilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

2. SU VE HAVADA MİKROBİYOLOJİK KİRLENME

Doğal ortamı oluşturan toprak, hava ve suyun çeşitli mikroorganizmalarla kirlenmesi ve dolayısıyla mikrobiyolojik yapının bozulması mikrobiyal kirlenmeyi tanımlamaktadır. Tarım alanlarının kanalizasyon suyu ile sulanması veya kanalizasyon sularının akarsu, göl ve denizlere boşaltılması ile kanalizasyon sularında bulunan hastalık yapıcı mikroorganizmalar toprağa, suya ve atmosfere geçerek bu ortamların mikrobiyolojik kirlenmesine yol açmaktadır.

2.1. Su Kirliliği

İnsanlar, yaşamsal ve ekonomik gereksinimleri için, suyu hidrolojik çevrimden alırlar ve kullandıktan sonra aynı döngüye iade ederler. Bu işlemler sırasında suya karışan maddeler suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek, “Su Kirliliği” olarak adlandırılan olguyu ortaya çıkarırlar. Artan nüfus ve gelişen endüstrileşme sonucunda yoğunlaşan su kullanımı, su kirliliğini hızlandıran bir etken olarak karşımıza çıkarır (Uslu ve Türkman, 1998).

Su kirliliğinin sebepleri arasında yer alan mikroorganizmalar en basit yaklaşımla, boyutları, 1 ile 100 µm arasında değişen, mikroskobik boyutlarda küçük organizmalar olarak tanımlanabilir. Sulara özellikle insan ve hayvan dışkılarıyla karışan hastalık yapıcı (patojen) bakteriler ve virüsler önemli bir sağlık riski oluşturur. Patojenler, hastalar ve hastalık taşıyıcılardan idrar ve dışkı yoluyla su ortamlarına ulaşır. Mikrobik hastalıklar, özellikle tropikal bölgelerde, alt yapı tesislerinin gelişmediği düşük kültür ve ekonomik seviyelerdeki toplumlarda, her yıl on binlerce insanın ölümüne sebep olur. Su kaynaklarının hijyenik açıdan güvenli olabilmesi için, suyun fekal (dışkı veya idrarla) kirlenmeye maruz kalıp kalmadığının belirlenmesi gerekir (Anonim, 1998).

İçme suyu kirlenmesi, dünyada ve ülkemizde en önemli çevre sorunlarından birisidir. Son yıllarda nüfusun hızlı artışı, plansız endüstrileşme ve tarımda bilinçsiz bir şekilde kimyasal maddelerin kullanılması, katı atıkların gerektiği gibi

uzaklaştırılmaması, atıksuların istenilen kalitede arıtılmaması veya arıtılmadan alıcı ortama verilmesi ve bunun gibi faaliyetler içme suyu kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Bölgenin gelişmişlik düzeyine ve tarımsal alanların kullanımına göre bu sorun çok önemli boyutlara ulaşabilmektedir.

Dünya su rezervleri ile ilgili yapılan çalışmaya göre dünya, kaliteli su kaynakları açısından oldukça fakir bir görünüm sergilemektedir. Dünyada toplam 1,4 milyar metreküp su bulunmakta, ancak bu suyun %98'i okyanus ve denizlerdeki tuzlu sudan oluşurken, temiz suyun önemli bir kısmı kutuplarda ve ancak %1'i göl, nehir ve ulaşılabilir su kütlelerinde bulunmaktadır (Türkman ve ark., 1999).

2.1.1. Mikroorganizmalar

Geçmişte mikroorganizmalar bitkiler ve hayvanlar olarak iki temel grupta toplanmıştır. Taksonomik güçlüklerden dolayı son eğilim mikroorganizmaları üç grupta protista, bitkiler ve hayvanlar şeklinde üç grupta toplamaktır.

Mikroorganizmalar, doğada organik ve anorganik maddeler arasındaki geçişi sağlar. Bu biyosferde yaşamın sürdürülebilmesi için gereklidir. C, O, N, S ve P gibi elementlerin biyojeokimyasal çevrimleri mikroorganizma faaliyetleri ile oluşur. Mikroorganizmalar aynı zamanda, bazı atıkların arıtılması ve yeniden kullanılabilir hale gelebilmesi açısından da büyük önem taşır.

% 0,12'den az, çok az sayıda bazı mikroplar insan, hayvan ve bitkilerde hastalık yapmakta ve patojen olarak adlandırılmaktadır. Patojen olmayan mikroplara genellikle saprofitler denilmektedir.

İnsan ve hayvanlardan çok sayıda patojen atıldığından ham atıksu ve araziden süzülen sular patojen içermektedir. Sonuç olarak her su kütlesinde bir miktar patojen bulunur. Bu nedenle içme suyu kaynaklarının patojenler yönünden sürekli denetlenmesi ve bunların belli bir derişimin altında tutulması gerekir. Dünyanın

pek çok yerinde içme suları patojenlerden arındırmak amacıyla arıtıma tabi tutulmaktadır.

Patojenler, hastalık yapan organizma tarafından enfekte edilmiş insanlardan idrar ve dışkı yoluyla atılmaktadır. Patojeni almış kişilerin hastalık belirtisi göstermesi şart değildir.

Su kaynaklarının hijyenik açıdan güvenli olabilmesi için suyun fekal kirlenmeye maruz kalıp kalmadığının belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla bazı yöntemler geliştirilmiş olup, bunların çoğu indikatör organizmanın varlığının belirlenmesine dayanır. İndikatörler, normal olarak hastalık yapmayan, dışkıda çok sayıda bulunan ve patojenlere oranla çok daha kolay tayin edilebilen mikroorganizmalardır. Yüzeysel sularda patojenlerin indikatör organizmalardan daha hızlı öldüğü varsayıldığından, indikatör organizmaların belli bir sayının altında oluşu, çoğu durumda patojenlerin olmadığını garanti eder.

En çok kullanılan indikatör organizmalar, koliform bakteriler olup, tanım olarak, aerob ve fakültatif aerob, gram negatif, spor oluşturmeyen, 35°C'de 48 saatte laktozu gaz oluşumuyla fermente eden çubuk şeklindeki bakterilerin tümünü içermektedir. Bu grupta *Escherichia coli* ile normal olarak bağırsakta bulunmayan *Enterobakter aerogenes* sayılabilir. Tez kapsamında bakteriyolojik kirlenmeyi temsil için E.coli kullanılmıştır.

2.1.1.1 *Escherichia coli*

Escherichia genusu içinde 6 tür olduğu kabul edilmektedir. Bunlardan E. Coli yaklaşık olarak 2-6 µm boyunda ve 1,0-1,5 µm eninde, düz, uçları yuvarlak çomakçık şeklinde bakterilerdir.

Bazı kültürlerde koka benzer küçük ve kısa bazı kültürlerde de normalden uzun hatta Y harfi şeklinde dallanan filamanlı şekiller bulunabilir. Her iki şeklin birlikte bulunması olasıdır. Genellikle etraflarında bulunan kirpikleri aracılığı ile hareketli olmakla birlikte hareketleri yavaştır, hatta hareketsiz görünebilirler.

Bakteriyolojik boyalarla kolay boyanırlar ve gram negatiftirler. Etraflarında kapsül maddeleri bulunur ve organizmada bağırsak dışındaki yerlerden soyutlanan kökenlerin çoğunda kapsül ya da mikrokapsül bulunur.

E. coli buyyon ve jeloz gibi genel besiyerlerinde kolayca ürerler. Fakültatif anaerobturlar ve en iyi üreme sıcaklığı 37°C'dir. 15-45 °C'de de üreyebilirler. pH 7,2'de iyi ürerler (Bilgehan, 1993).

2.2. Hava Kirliliği

2.2.1. Hava mikrobiyolojisi

Atmosfer %78 azot, %21 oksijen, ve yaklaşık %1 argon, karbondioksit, hidrojen, helyum ve ozon gibi gazlar ve değişken miktarlarda su ve toz gibi katı parçacıklardan oluşur. Atmosferin bu içeriği, enlemlere ve yüksekliğe göre bir miktar değişim gösterir. Hava sahip olduğu maddeler nedeniyle mikroorganizmaların büyümelerine elverişli bir ortam değildir. Havadaki mikrobiyal flora geçici ve değişkendir. Endüstriyel kaynaklardan, tarımsal işlemlerden ve rüzgar ile birlikte daha farklı kaynaklardan havaya çok çeşitli mikroorganizma türleri ulaştığından, havadan çok değişik mikroorganizma türlerini izole etmek mümkündür.

Havadaki mikroorganizma çeşidi ve sayısı o çevredeki insan faaliyetlerine, toprağın durumuna ya da havanın rutubet durumuna bağlı olarak da değişir. Mikroorganizma yoğunluğu, kuru ve tozlu havada, yağmur yağdıktan hemen sonraki nemli havaya göre daha fazladır. Yağmur havadaki mikroorganizmaları yıkayarak toprak yüzeyine indirir.

Havada yer alan mikroorganizmalar, havaya rüzgar, endüstriyel işlemler gibi bazı faaliyetler sonucu geçtiklerinden nadiren serbest halde bulunur. Genellikle toz, tükürük, karbon gibi havada kolaylıkla hareket edebilen askıda maddelere tutunmuş şekilde havada yer alırlar. Tozlara tutunmuş halde olan mikroorganizmalar genellikle saprofitler olduğu halde öksürme, aksırma,

konuşma ile aerosol olarak havaya verilen materyaller daha çok patojenleri içerir. Bu durum bazı hastalıkların bir insandan diğerine naklinde havanın taşıyıcı rolünün ne denli büyük olduğunu açıkça gösterir. Açık ortamlarda daha güç olsa bile sınıf, sinema, tiyatro, hastane, koğuş gibi kapalı yerlerin patojenleri taşıma bakımından önemli bir ortam olduğu tartışılmamaktadır.

Bir hapşırma pek çok patojenin, vücut sıvıları ile birlikte havaya geçmesine neden olabilir. Bu sıvılardan bir kısmı havada kalır, buharlaşarak daha küçük ve hafif hale geldiklerinde hava içinde çok uzun süre hafif hava hareketleri ile sürekli taşınır. Bu sırada sağlıklı kişilerin solunumla bu kapalı ortamlardaki patojenleri bünyelerine almamaları hemen hemen olanaksızdır (Atlas ve Barta, 1987).

2.2.2. Mikroorganizmaların havada taşınması

Hava mikroorganizmaların yayılmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Mikroorganizmaların hava ile yayılmalarına pasif yayılma denir.

Mikroorganizmalar havada nadiren serbest halde bulunurlar. Genellikle taşıyıcılar üzerine tutunmuş durumdadır. Bu taşıyıcıların başında tozlar gelmektedir. Tozlar 10 – 200 µm çapındaki mineral veya organik taneciklerdir. Tozlar, deri epiteli parçaları, tüyler, polen tanecikleri, bitkisel lifler, hayvansal doku artıklarından oluşabilir. Bu toz taneciklerinin bileşimlerine göre üzerine tutunmuş mikroorganizmalar spor oluşturabilir, çoğalabilir veya canlılığını sürdürebilir. Bu tanecikler sakin, durgun havalarda asılı şekilde kalmazlar. Tanecik çapına ya da büyüklüğüne göre belli bir hızda düşey olarak alçalır. Hava akımlarının olduğu rüzgarlı ortamlarda akımlara kapılarak taşınırlar.

Öksürme ve aksırma sırasında boğaz ve burun salgıları çevreye yayılır ve hastalıkların yayılması açısından çok önem taşır. Bu damlacıklar 10 – 100 µm çapındadır ve havanın sıcaklığına bağlı olarak suyunu kaybederek 2 – 3 µm çapında daha küçük parçacıklara dönüşebilir. Çok küçük taneciklerin çökme hızları da çok yavaştır ve bu hastalıkların yayılmasında önemli bir etkidir.

Askıda katı maddelerin tane büyüklüğünün içerdiği mikroorganizmaların yere ulaşma hızı üzerindeki etkisi büyüktür. Ancak asıltıyı oluşturan tanecikler havaya fırladıkları andan itibaren buharlaşma nedeniyle küçülmeye başlarlar ve yükseklikleri yerçekimi ile 1,5 – 2 metreye kadar düştüğünde tamamen buharlaşarak, bünyelerindeki mikroorganizmaları serbest bırakırlar. Böylece serbest hale geçen mikroorganizmalar hafif hava akımları ile hareket ederler. Yapılan incelemeler, hapşırma ya da öksürme ile havaya verilen aerosollerin içindeki damlacıklar 0,1 mm'den büyükse, bunların hemen yere düştüğünü ve ancak kuruduktan sonra mikroorganizmaların serbest kaldığını ve hafif akımlar ile havada taşınır hale geldiğini göstermiştir. 0,1 mm'den küçük damlacıklar havada asılı kalabilmekte ve buharlaşarak içlerinde çekirdek halinde bulunan mikroorganizmaları serbest bırakmaktadır.

Mikroorganizmaların havada canlı kalmaları, sıcaklık, nem, havadaki kimyasal maddeler, radyasyon, parçacık çapı ve mikroorganizmanın direnç faktörüne bağlıdır.

2.2.3. Bina içi havada mikrobiyolojik kirlenme

Son yüzyılın önemli sorunlarından biri güvenli düzeyin üzerine çıkmış olan hava kirliliğinin yaratmış olduğu sağlık sorunları ve tehlikeleridir. Yetişkinlere göre çocuklar hava kirliliğinin olumsuz etkilerine karşı daha açıktır. Günümüzde yetişkinler ve çocuklar zamanlarının çoğunu bina içlerinde geçirdikleri için bina içi hava kirliliği daha da önem kazanmaktadır.

Bina içi hava kirliliğine neden olan etmenlerin başlıcaları; bakteriler, mantarlar ve diğer mikroorganizmalar, azot oksitler, mineral lifler, çözücüler, besinsel tozlar, evcil hayvanlar ve sigara dumanıdır.

Mikrobiyolojik kirliliğe neden olan mikroorganizmaların en iyi bilinenlerinden biri *Legionella*'dır. *Legionella* salgınları kirlenmiş suların aerosol haline gelmesi ve bunların solunması sonucu oluşur.

Bina içi havanın mikrobiyolojik kirlenme sonucunda alerji, astım, hasta bina sendromu ve çeşitli bulaşıcı hastalıklar görülebilir. Bina içi havanın genellikle mikrobiyolojik kirlilik kaynakları, nemlendirici cihazlar, soğutucu cihazlar ve su sızıntılarıdır. Hasta bina sendromu, belli bir binada yaşarken ortaya çıkan ancak bu ortamdan uzaklaşınca kaybolan semptomlardır. Ana semptomlar, gözlerde yanma ve sulanma, burun tıkanıklığı, akıntısı ve hapşırma, boğazda kuruluk, baş ağrısı ve bazen astımdır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarla, hasta bina sendromunun bazı mantar tipleri ile ilişkisi olduğu gösterilmiştir. Kf mantarları en iyi bilinen alerjenlerdir, fakat bazı mantarlar çok ciddi sağlık sorunlarına da yol açabilir (obanoğlu ve Kiper, 2006).

3. DEZENFEKSİYON

Mikroorganizmaların yukarıda bahsedilen olumsuz etkilerini önlemek için dezenfeksiyon işlemi yapılmaktadır. Dezenfeksiyon hastalığa neden olan organizmaların seçimli bir şekilde giderilmesi işlemidir. Bu konu ile ilgili son yüzyılda yoğunlaşan ve farklı yöntemlerin kullanıldığı pek çok uygulama ve bilimsel çalışmanın gerçekleştirildiği görülmektedir.

3.1. Sistemlerin Hücreleri Etkileme Şekilleri

Antibakteriyel etkenler bakterilere çeşitli şekillerde etki yapabilirler. Bu yollardan birçoğu hakkında bilgiler yetersizdir. Bununla beraber, bazı genelleştirmeler yapılabilir. Yüksek derişimleri halinde birçok etken, hücre proteinlerinin kolloidal durumlarını bozarak bunları pıhtılaştırır. Bazı etkenler, belirli şartlar altında hücre zarını parçalar. Hücrelerin temel enzimlerinin birçoğu sülfidril (-SH) grupları taşırlar ve bu gruplar ancak serbest ve indirgenmiş halde bulunursa iş görebilir. Bunun için, sülfidril gruplarını yükseltgeyen veya bunlarla birleşen etkenler, kuvvetli önleyici etki yaparlar. Birçok etkenin zıt kimyasal etkileriyle bir veya birkaç özgül enzimatik tepkimeyi bozmak suretiyle etkili olabildikleri belirtilmektedir.

3.1.1. Protein pıhtılaşması

Çoğu veya hepsi enzimatik yapıda olan hücre proteinleri normalde çok ince şekilde dağılmış kolloidal durumdadırlar. Eğer proteinlerin özellikleri bir antibakteriyel etken tarafından önemli derecede değiştirilirse, bunlar pıhtılaşarak iş göremez hale gelir. Yumurtanın beyazı ısıtılınca veya süt ekşiyince oluşan değişiklikler protein pıhtılaşmasına örnek olarak verilebilir, fakat bu olaylardan önce veya bu olaylara paralel olarak ilerleyen kimyasal değişiklikler hakkında pek az şey bilinmektedir (Akman ve Gülmezoğlu, 1976).

3.1.2. Hücre zarının veya çeperinin bozulması

Hücre zarı seçici bir baraj olarak iş görür, bazı maddelerin hücre içine girişine izin verdiği halde bazılarının girişini önler. Bazı bileşikler, zardan aktif olarak geçirilerek hücre içinde yoğun hale gelirler. Halen burada rol oynayan mekanizmalar tamamen anlaşılmamıştır, bu olay için bozulmamış sağlam bir hücre zarının bulunması gerekmektedir. Bu nedenle hücrenin yüzeyinde biriken maddeler, zarın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirip, normal işlevlerini bozarak ya hücreyi öldürür ya da üremesini önleyebilir (Akman ve Gülmezoğlu, 1976).

3.1.3. Serbest sülfidril grupların giderilmesi

Sistein taşıyan enzim proteinlerinin, sülfidril grupları ile biten yan zincirleri vardır. Bunlardan başka, anahtar enzimlerden en az birinin bir serbest sülfidril grubu vardır. Bu gibi enzimler sülfidril grupları serbest ve indirgenmiş durumda olmadıkça iş göremezler. Yükseltgeyen etkenler, birbirine komşu olan sülfidril gruplarını 'disülfid' bağları haline çevirmek sureti ile metabolizmayı bozar.

Hücrede birçok sülfidril enzim bulunduğu için, yükseltgeyici etkenler ve ağır metaller zarara sebep olur. Enzimin iş görmesi için neden serbest sülfidril gruplarının gerektiği bilinmemektedir (Akman ve Gülmezoğlu, 1976).

3.1.4. Kimyasal zıt etki

Özel bir enzim ile buna ait besin maddesi arasındaki normal tepkimeye kimyasal bir etkenin karışmasına zıt etki denir. Böyle maddeler holoenzimin bir parçası ile birleşmek suretiyle, normal besin maddesinin holoenzimle birleşmesini önler.

Zıt etki yapan madde, enzimin bir esas bölgesine özel kimyasal ilgisi bulunduğu için enzim ile birleşir. Enzimler katalitik işlevlerini kendi doğal besinlerine ilgileri dolayısıyla yaparlar, bu yüzden yapısı bakımından bir besin

maddesine çok benzeyen herhangi bir bileşik de aynı şekilde enzimin ilgisini çeker. Eğer bu ilgi yeterli derecede yüksek ise, yapıcı benzer olan bu madde normal besin maddesinin yerini alarak uygun tepkimenin meydana gelmesini önlemiş olur.

Birçok holoenzimde, ya enzim ile koenzim ya da enzim ile besin arasında köprü olarak bir mineral iyonu vardır. Bu minerallerle çabucak birleşebilen kimyasal etkenler, koenzim veya besin maddesinin birleşmesini önler. Örneğin, karbonmonoksit ve siyanür, porfirin enzimidaki demir atomuna bağlanarak bu enzimin solunumda görev almasını engeller.

Zıt etki yapan kimyasal maddeler kolaylık olması için, enerji oluşturan işlemlerin zıt etkileri ve biyosentetik işlemlerin zıt etkileri olacak şekilde iki grup halinde incelenebilirler. Bu gruplardan ilkinde, karbonmonoksit ve siyanür gibi solunum enzimlerinin zehirleri ve dinitrofenol gibi yükseltgeyici fosfor katılımının zehirleri vardır. İkinci grupta ise aminoasitler gibi proteinlerin ve nükleotidler gibi nükleik asitlerin yapı taşlarına yapıcı benzer maddeler bulunmaktadır. Bazı durumlarda zıt etkili madde, sadece normal metabolitin birleşmesini önler. Diğer hallerde ise zıt etkili madde büyük molekülün yapısındaki normal metabolitin yerine geçerek bunun iş göremez hale gelmesine neden olur (Akman ve Gülmezoğlu, 1976).

3.2. Dezenfeksiyona Etki Eden Etmenler

Dezenfeksiyon işleminde aşağıdaki etmenler rol oynar;

- Organizma türü ve derişimi
- Dezenfektan türü, derişimi ve kullanılış biçimi
- Suyun fiziksel, kimyasal özellikleri (sıcaklık, askıda katı madde, organik madde derişimi, pH gibi)
- Temas süresi

Dezenfeksiyon işleminde en önemli değişken temas süresidir. Sabit dezenfektan derişimi için, temas süresi ne kadar fazla ise o kadar çok bakteri ölür.

Bu gözlem ilk kez Chick tarafından yapılmıştır ve en basit model olarak sıkça kullanılmaktadır.

Chick Yasası;

$$\frac{dN}{dt} = -k \cdot N_t \quad (3.1)$$

N_t : Herhangi bir t anındaki yaşayan mikroorganizma sayısı

t : süre

k : sabit (süre⁻¹)

Öldürme hızı bazı durumlarda zamanla artabilir ya da azalabilir. Bu durumda;

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = -k \cdot t^m \text{ olur; burada:} \quad (3.2)$$

m : sabit

$m < 1$ ise öldürme hızı zamanla azalır,

$m > 1$ ise öldürme hızı zamanla artar.

Sıcaklığın dezenfektan etkisi van't Hoff – Arrhenius eşitliği ile gösterilir. Sıcaklık arttıkça öldürme hızı artar.

$$\ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \frac{E \cdot (T_2 - T_1)}{R \cdot T_1 \cdot T_2} \quad (3.3)$$

t_1, t_2 : T_1 ve T_2 sıcaklıklarında (K), verilen bir öldürme yüzdesine ulaşmak için gereken süre

E : Etkileşme enerjisi, J/mol (cal/mol)

R : Gaz sabiti, 8,314 J/mol K (1,99 cal/ mol K)

Dezenfektanların etkinliği, mikroorganizmaların tiplerinde de etkilenir. Örneğin, büyümekte olan bakteriler kolaylıkla öldürülebilir. Bunun tam aksine bakteriyel sporlar çok dirençlidir ve kimyasal dezenfektanlar az etkilidir ya da hiç etkili değildir. Bu nedenle ısı gibi diğer dezenfektan etkiler kullanılır.

Askıda katı madde içeren sulara, yabancı organik maddeler, yükseltgen dezenfektanların çoğu ile tepkimeye girerek bunların etkilerini düşürür.

Dezenfektan tipine bağlı olarak dezenfeksiyonun etkinliği derişime bağlıdır.

$$C^n \cdot t_p = k \quad (3.4)$$

C: dezenfektan derişimi

t_p : sabit bir ölüm yüzdesine ulaşılan süre, t (yüzde yok olma süresi)

$n > 1$ ise temas süresi dozajdan daha etkin

$n < 1$ ise temas süresi ve dozaj aynı etkiye sahip (Metcalf ve Eddy, 1981).

3.3. Suda Bulunan Mikroorganizmaların Dezenfeksiyonu

Dezenfeksiyon işleminde kullanılan başlıca yöntemler ve kısa açıklamaları şu şekilde verilebilir;

1. Fiziksel yöntemler

- a) Isı ile dezenfeksiyon
- b) Ultraviyole ışık ile dezenfeksiyon

2. Kimyasal yöntemler

- a) Alkali ve asitler ile dezenfeksiyon
- b) Yüzey aktif kimyasal maddeler ile dezenfeksiyon
- c) Metal iyonları ile dezenfeksiyon
- d) Halojenler ile dezenfeksiyon
- e) Ozon ile dezenfeksiyon
- f) Potasyum permanganat ile dezenfeksiyon (Şengül ve Şengül, 1998).

3.3.1. Klor ile dezenfeksiyon

Atıksu arıtım tesislerinde en yaygın kullanılan klor bileşikleri, klor gazı (Cl_2), kalsiyum hipoklorit [$Ca(OCl)_2$], sodyum hipoklorit ($NaOCl$), ve klor dioksit (ClO_2)'dir. Klor gazı suya ilave edildiğinde ard arda iki tepkime görülür.

Bunlar suyla tepkime ve iyonlaşmadır. Bu tepkimeler ve denge bağıntıları aşağıda verilmektedir.

Suyla tepkime;



$$K = \frac{[\text{HOCl}][\text{H}^+][\text{Cl}^-]}{[\text{Cl}_2]} = 4,5 \cdot 10^{-4} \quad , 25^\circ\text{C}'\text{de} \quad (3.6)$$

İyonlaşma;



$$K_i = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]} = 2,9 \cdot 10^{-8} \quad , 25^\circ\text{C}'\text{de} \quad (3.8)$$

Suda bulunan HOCl ve OCl⁻'nin miktarları serbest klor olarak adlandırılır. HOCl, OCl⁻'e göre daha kuvvetli bir dezenfektandır (Metcalf ve Eddy, 1981). Bu nedenle birinci tepkimenin sağa, ikinci tepkimenin sola doğru olması istenir. Bu ise belli bir aralıktaki pH değerlerinde mümkün olur. pH'a bağlı HOCl yüzdeleri Şekil 4.1.'de verilmiştir (Şengül ve Müezzinoğlu, 1993).

Serbest klor suya hipoklorit tuzları şeklinde de eklenebilir. Bu durumda tepkimeler aşağıdaki gibi gerçekleşir (Metcalf ve Eddy, 1981).



Dünyada ve Türkiye'de pek çok içme suyu arıtma tesisinde dezenfektan olarak kullanılan klorun, doğal organik maddelerle reaksiyona girerek "dezenfeksiyon yan ürünleri" olarak tanımlanan klorlu-organik bileşiklerin oluşumuna yol açtığı bilinmektedir.

Dezenfeksiyon yan ürünleri, organik moleküldeki aktif kısımların halojen olarak adlandırılan klor, brom veya iyot ile yer değiştirmesi sonucu meydana gelir. Bunların başlıcaları, trihalometanlar (THM) haloasetik asitler (HAA) ve haloasetonitriller (HAN)'dir. En sık rastlanan THM bileşikleri; kloroform(CHCl_3), bromodiklorometan (CHBrCl_2), dibromoklorometan (CHBr_2Cl) ve bromoform (CHBr_3) olup, genellikle toplam olarak ifade edilmektedir.

Sindirim sistemi kanseri ile içme suyunda dūřuk seviyede bulunan THM'lere uzun sūreli maruz kalınması arasında bir baęıntı olduęu bilinmektedir. Klorlanmış su içenlerin baęırsak ve mesane kanserine yakalanma riskleri klorlanmamıř su içenlere gōre daha yūksektir. ABD evre Koruma Őrgūtu (USEPA) Ulusal Birincil İçme Suyu Kirletici Standartları'nda THM'lerin kanser yapıcı ve karacięer, bōbrek ve sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkileri olduęu belirtilmektedir.

1998 yılında USEPA tarafından yūrūrlūęe konulan talimatlarda toplam THM (TTHM) miktarı 80 $\mu\text{g/L}$ olarak belirtilmiřtir. Sōz konusu sınır deęer 2000 yılı itibari ile 40 $\mu\text{g/L}$ olarak belirtilmektedir. Avrupa Birlięi'nin 1995 yılında Őngōrdūęū yōnergeyle, kloroform ve bromodiklorometan sınır deęerleri sırasıyla 40 ve 15 $\mu\text{g/L}$ olarak belirlenmiřtir.

Sudaki toplam organik karbon (TOK) miktarı, sıcaklık, pH, klor dozu ve sudaki bromūr deşişimi gibi etmenler THM oluşumunu etkilemektedir. Su arıtma sūrecinde başlayan THM oluşumu, suda serbest klor kalıntısı olması nedeniyle dağıtım sisteminde de devam etmektedir (Tokmak ve ark., 2000).

3.3.2. Klordioksit ile dezenfeksiyon

Bir dezenfektan olarak klordioksitin serbest klor ve hipoklorite gōre bazı avantajları vardır. Bir yūkseltgen olarak hipoklorōz asit kadar etkilidir ve yūksel pH deęerlerinde iyi bir dezenfektandır. Klordioksit amonyakla tepkimeye girmedięinden kloraminler oluřmaz, ayrıca organik maddelerle de tepkimeye

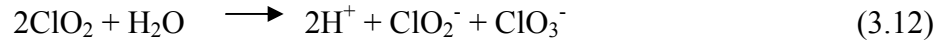
girmediğinden kloroform veya diğer trihalometanların oluşumu söz konusu değildir. Klordioksitin başka bir avantajı ise klorun farklı türleri ile tepkimeye giren fenollü bileşikleri bozarak istenmeyen tatlara neden olan klorlu fenollerin oluşumunu engellemesidir.

Klordioksit çok kararsız bir gazdır, bu yüzden genellikle sodyum klorit (NaClO_2) ile kuvvetli bir klor çözeltisinin karıştırılması ile elde edilir.



Klordioksit elde edilmesi biraz fazla klor ilavesi ile pH'nın 4'ün altına düşürülmesi ile artırılabilir. Klordioksitin yaygın olarak kullanılmamasının sebepleri diğer klor bileşiklerine göre pahalı olması ve konuda fazla uygulama olmamasıdır. Ayrıca klordioksit ile dezenfekte edilen sularda klorit oluşabilir ve günümüzde kloritin insan sağlığı üzerine etkileri konusunda şüpheler bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yararları ve zararları tam açığa kavuşmadan yeni bir dezenfektanın kullanımına dikkatli yaklaşılmaktadır.

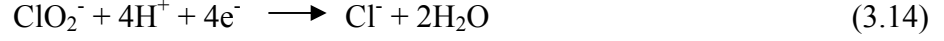
Amperometrik titrasyon veya DPD (N,N-dietil-p-fenilenediamine) yöntemi kullanılarak klordioksit tayini yapılabilir. Ancak klor dioksiti diğer kalıntı klor bileşiklerinden ayırabilmek için, onun bazı kimyasal özelliklerini bilmek gereklidir. 12 gibi yüksek pH değerlerinde klordioksit klorite ve klorata dönüşür.



Nötr pH değerlerinde, klordioksitin yükseltgeme gücü, DPD veya fenilarsin oksit gibi indirgen maddelerden birinin titrasyonu ile klorit oluşumunu sağlayarak kısmen ölçülebilir.



pH = 2 gibi düşük değerlerde ise, klorit klorüre indirgenir, bu da eşit miktarda iyotun yükseltgenmesine karşı gelir.



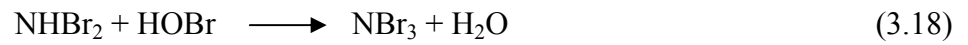
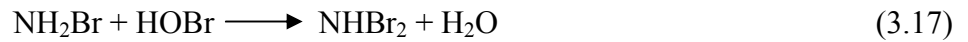
Değişik pH değerlerinde, farklı kimyasal madde ilaveleri ile klorlu türlerin indirgenmesini hızlandırarak veya önleyerek yapılacak titrasyonlar sonucu serbest klor, bileşik klor, klordioksit, klorit ve klorat derişimleri yukarıdaki kimyasal denklemlerin de yardımıyla bulunabilir (Samsunlu, 1999).

3.3.3. Brom klorür ile dezenfeksiyon

Brom klorür gazı suda hipobromöz asit oluşturur ve bu bileşik brom bileşikleri arasında en fazla germisidal etkiye sahip olanıdır.



Hipobromöz asit suda bulunan amonyak ile aşağıdaki şekilde bromaminleri oluşturur.



Bromaminler, kloraminlerden daha az kararlıdır ve germisidal etkinlikleri daha fazladır. Brom klorür ile dezenfeksiyon işlemi sırasında da suda bulunan organik bileşikler ile bromlu organik bileşikler oluşmaktadır. Ancak bu bileşikler hidrolitik ve fotokimyasal tepkimelerle kolayca bozunmaktadır (Gül, 1994).

3.3.4. Ozon ile dezenfeksiyon

Kullanılan bir başka dezenfektan ise ozondur. Ozonun avantajı düşük derişimlerde bile kuvvetli bir dezenfektan olmasıdır. Dezavantajı ise yüksek maliyetidir. Özellikle tesiste kurulması gereken ozon üretim donanımının maliyeti oldukça yüksektir. Ayrıca ozonun kalıcı bir özelliği bulunmamaktadır, bu yüzden dağıtım sistemine verilen suya ilave bir kalıcı dezenfektan, örneğin kloramin, katılır. Ozonun başka bir avantajı ise kullanımı esnasında halojenli organik bileşiklerin oluşmamasıdır.

Ancak ozon doğal humik maddelerle tepkimeye girerek, biyolojik parçalanmaya karşı humik maddelerden daha hassas olan organik maddeleri oluşturur. Bunun sonucunda ise borularda bakteri oluşumu gözlenebilir ki bu da su kalitesine ve borularda su akışına zararlı olabilir. Ayrıca ozon uygulanması ile indirgenmiş demir ve mangan tuzlarının çözünmeyen oksitlere dönüştürülerek dağıtımdan önce uzaklaştırma yoluna da gidilmektedir. Sudaki organik maddelerle etkileşmesinden dolayı koku ve tat veren organik maddelerin giderilmesinde de ozon kullanılabilir.

Kalıntı ozon ölçüm yöntemleri ozonun organik maddeyi yükseltgeme kabiliyetine dayanmaktadır. Burada kolorimetrik işlem için indigo (mavi renkli boya) kullanılmaktadır. Asidik şartlarda ozon hızla indigoyu yükseltgeyerek renksizleştirir. Ozon içeren sudan kaynaklanan standart indigo çözeltisindeki bu renk açılması spektrofotometre ile ölçülür (Samsunlu, 1999).

3.3.5. Elektrokimyasal dezenfeksiyon

Su dezenfeksiyonu elektrokimyasal olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Son zamanlarda bu konu üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Suyun elektrokimyasal dezenfeksiyonu uygulama için en az alan gerektiren dezenfeksiyon sürecidir. Elektrokimyasal süreçle yapılan dezenfeksiyonun en önemli avantajı, dezenfekte etme özelliğine sahip kimyasal maddelerin kullanılacağı yerde üretilmesidir. Böylece klorlamada endişe yaratan klorun

depolanması ve taşınması sırasında meydana gelebilecek tehlikelerin önüne geçilmektedir.

Elektrokimyasal dezenfeksiyonda doğru akım veya düşük veya yüksek frekanslı (0,5 800 Hz) alternatif akım uygulanabilmektedir. Fakat yapılan çalışmalarda doğru akımın dezenfeksiyonda alternatif akımdan çok daha etkili olduğu bulunmuştur. Elektrokimyasal su dezenfeksiyonunda elektrot malzemesi olarak grafit, granüler aktif karbon, aktif karbon lif ve gümüş kullanılabilir. Bazı durumlarda NaCl ve NaBr gibi maddeler suya eklenerek sürecin etkinliği artırılmaktadır.

Elektrokimyasal su arıtımı boyutları virüslerden bakteri ve algelere kadar değişen yaklaşık 40 tür mikroorganizma türü başarılı bir şekilde sudan giderebilmektedir.

Elektrokimyasal su dezenfeksiyonun etki mekanizması temel olarak bakterilerin anotta doğrudan yükseltgenmesine ya da elektrokimyasal olarak bir yükseltgen üretilerek bakterilerin elektrokimyasal reaktörde dolaylı yükseltgenmesine dayanmaktadır.

Doğrudan yükseltgeme ile elektrokimyasal dezenfeksiyonda, elektrokimyasal reaktöre sabit gerilim uygulanması ile bakteri hücrelerinin solunum aktivitesinin azalması sağlanmakta ve sonuçta ölümüne yol açmaktadır. Bu yöntem hücre içi koenzim A'nın elektro yükseltmesine dayanmaktadır.

Dolaylı yükseltgeme ile elektrokimyasal dezenfeksiyon prensibi elektrokimyasal bir hücrede bir yükseltgen üretilmesine dayanmaktadır. Üretilen yükseltgen de genellikle klordur. Suda her zaman bulunan klorür elektrokimyasal olarak yükseltgenerek ya da suya ilave edilen sodyum klorür ile klor veya hipoklorit üretilerek kirleticilerin dezenfeksiyonunda kullanılabilir (Tüzel, 2002).

3.3.6. UV ile dezenfeksiyon

Ultraviyole ışık kaynağından yayılan ışınlar su kaynaklarının dezenfeksiyonu amacıyla ilk kez uygulandığı 1900'lü yıllardan beri sınırlı bir kullanıma sahiptir. Başlangıçta yüksek kaliteli su temininde kullanılmaktayken, son yıllarda atıksu arıtımında kullanımı önem kazanmaktadır. Yeterli dozlardaki ultraviyole radyasyonun herhangi bir toksik bileşik oluşturmadan bakterisit ve virüsit olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Günümüzde düşük basınçlı civalı ark lambaları UV radyasyonunun dezenfeksiyon amacıyla kullanımında en yaygın kaynaktır. Civalı ark lambalarının ürettiği 254 nm dalga boyunda monokromatik ışık optimum germisidal etkiyi sağlamaktadır.

254 nm dalga boyundaki radyasyon mikroorganizmanın hücre duvarından geçerek, hücre içindeki DNA ve RNA tarafından absorblanır. Bu da hücrenin çoğalmasını engeller ve hücrenin ölmesine neden olur. UV radyasyonun bakterisit etkinliği suyun berrak olmasına bağlıdır. Bulanıklığa neden olan kirleticiler UV radyasyonunun doğrudan bakteriye ulaşmasını engelleyecektir.

UV radyasyonunun su dezenfeksiyonunda etkin olabilmesi için en etkili yöntem, suyun ince bir film tabakası şeklinde UV lambalar arasından geçirilmesidir.

UV radyasyonun kimyasal bir ajan olmaması nedeniyle suda toksik bir kalıntı oluşturması söz konusu değildir. Buna rağmen sudaki bazı bileşikler UV radyasyon ile değişikliğe uğrayabilmektedir. Ancak bunların daha sonra zararsız şekillere dönüştüğü düşünülmektedir. Bu nedenle UV radyasyonun, çevreye zararlı ya da faydalı etkilerinin olmadığı düşünülmektedir (Metcalf ve Eddy, 1981).

UV ile dezenfeksiyon sürecinin etkinliği aşağıdaki etkenlere bağlıdır;

- UV ışın yoğunluğu,

- Temas süresi,
- Atık su kalitesi (bulanıklık, toplam askıda katı madde).

Dezenfekte edilecek atık suyun bulanıklığı önemli sorunlar yaratabilmektedir. Eğer dezenfekte edilecek suyun kalitesi kötüyse, UV ışını katılara nüfuz edemez ve sürecin etkinliği azalır.

Bir UV sisteminin işletiminde kullanılan UV lambalarının değiştirilmesi gerekli olacağından kolayca elde edilebilecek olanının seçilmesi gerekmektedir. UV dezenfeksiyonu için en uygun lambalar 7500 saatlik bir işletim ömrüne sahip olan ve yüksek miktarda ozon veya hidrojen peroksit üretmeyen lambalardır. Eğer atık su arıtımında, UV lambaları suya daldırılarak kullanılacaksa bu lambalar kuvartz tüpler içine yerleştirilmelidir. Böylece UV lambasından yayılan ışın korunur ve değiştirilmesi ve temizlenmesi daha kolay olur (Spellman, 1999).

UV ile dezenfeksiyonda kullanılan en yaygın lamba tipi düşük basınçlı ark lambalardır. Bu lambaların en yüksek çıkış gücü ilk 100 saatlik kullanım süresi boyunca değişkendir. % 100' lük çıkış gücü 100 saatlik işletimden sonra elde edilmektedir. Lambaların mikroorganizmaları giderme etkinliği zamanla azalmaktadır. Bu durum tasarım sırasında göz önüne alınmalıdır.

UV ışınına maruz kalan mikroorganizmaların inaktivasyon hızı birinci basamak bir tepkime olarak kabul edilmektedir;

$$N=N_0e^{-kEt} = N_0e^{-kD} \quad (3.19)$$

burada,

N ve $N_0 = t$ anındaki ve başlangıçtaki ve bakteri derişimi veya miktarı,

k = İnaktivasyon katsayısı,

E = Reaktördeki ortalama UV yoğunluğu,

t = Reaktördeki ortalama bekleme süresi,

D = Radyasyon dozu (Droste, 1997).

Sonuç olarak;

- UV ile dezenfeksiyon çevresel olarak güvenli, kimyasal olmayan, toksik yan ürünler üretmeyen fiziksel bir süreçtir.
- UV radyasyonu bakteri ve virüsleri gidermede etkilidir.
- Ozon ile dezenfeksiyonda olduğu gibi UV ile dezenfeksiyonda da mikroorganizmaların yeniden çoğalmasını engellemek için ikinci bir dezenfektan uygulanmalıdır.
- UV dezenfeksiyon sisteminin işletimi ve bakımı nispeten kolaydır.
- UV ile dezenfeksiyon birkaç dakikada yeterli dezenfeksiyon seviyesini sağlar, oysa klorlamada bu süre 1/4-1/2 saat arasındadır.
- UV ile dezenfeksiyon klorlamanın aksine toplam çözünmüş katılarda artış oluşturmaz.
- UV ile dezenfeksiyonda aşırı dozlama gibi bir endişe yoktur.
- UV ile dezenfeksiyonun kontrolü kolaydır ve dezenfeksiyondan çıkan suyun kalitesinde fazla bir değişim gözlenmez.
- UV ile dezenfeksiyon bulanıklık sorunundan etkilendiği için ikincil arıtmadan çıkan atık sulara uygulanması sınırlı olmaktadır.
- UV dozajı, dezenfeksiyon verimini etkilemektedir. UV dozajı, değişik sayıda lamba kullanılarak veya UV lambaları etrafındaki hidrolik bekleme süreleri ayarlanarak kontrol edilebilmektedir.
- UV ile dezenfeksiyon klorlama için iyi bir alternatiftir.

UV ile dezenfeksiyonunun temel avantajı, standart dezenfeksiyon yöntemlerinden klorun kullanım ve taşınım gibi sorunları eleyen, ışığa dayanan bir yöntem olmasından kaynaklanır (Spellman, 1999).

3.3.7. Metal iyonları ile dezenfeksiyon

Ağır metallerin çoğu yalnız başına veya bileşikler halinde bazı yerlerde mikroorganizmaların kontrol edilmesinde kullanılabilir. Bu ağır metallerin, antibakteriyel etkileri birbirlerinden farklıdır, fakat antibakteriyel etkilerine göre bir sıraya sokarsak Hg^{++} ve Ag^+ bu sıranın en başında yer alır. Bunlar 1 ppm'den daha az yoğunlukta uygulandıklarında bakterileri öldürecek etkiye sahiptirler.

Yani yukarıda belirtildiği gibi metallerin özellikle gümüşün çok az miktarlarının mikroorganizmalar üzerine etki yapmasına mikrobiyoloji literatüründe oligodinamik etki denmektedir. Bir metalin oligodinamik etkisini laboratuvarında görmek çok kolaydır. Üzerine herhangi bir mikroorganizma türünün aşılandığı katı bir ortam üzerine temiz ufak bir gümüş ya da bakır metal bulunduğu, belirli bir süre sonra ortama bırakılan metalin etrafında herhangi bir büyümenin olmadığı görülür. Burada ortamın sahip olduğu metal iyonu miktarı ppm olarak ifade edilecek kadar azdır. Ortamdaki metal iyonu miktarının çok az olmasına karşın hücreler tarafından bu iyonlar çok miktarda çekilmektedir. Örneğin bu metalin gümüş olması halinde maya veya bakteri hücreleri tarafından Ag^+ iyonları 10^5 - 10^7 adet iyon yoğunluğunda çekildiklerinde ölüm gerçekleşmektedir. Bu nedenle metal iyonlarının etkinliği ortamdaki hücre sayısı ile de ilgilidir. Eğer çok sayıda hücre ortamda bulunacak olursa hücrelerin içinde yukarıdaki öldürücü yoğunluğa ulaşılmayabilir.

Gümüş, oligodinamik etkiye sahip olduğundan, sargı bezleri ve merhem gibi antiseptik sıhhi malzemelerin hazırlanmasında da kullanılabilir.

Hg^{++} 'nin antibakteriyel etkisi hücre içinde yer alan enzimlerin $-SH$ (sülfidril grupları) grupları tarafından ortadan kaldırılabilir. Bu ağır metal iyonları hücre içine girdiklerinde $-SH$ grupları ile birleşerek merkaptidleri oluşturur. Daha önce belirtildiği gibi bu metallerin iyon formları öldürücüdür. Merkaptidlerin oluşması ile hücre içinde bu iyonlar ortadan kalkmaktadır. Hücre içine alınan bu tür metal iyonlarının bazıları merkaptidlerin oluşmasına neden olduklarından hücre içinde pasif duruma geçmektedir. Ancak pasif duruma geçirilemeyen metal iyonları öldürücü etkiye sahip olabilmektedir. Bu yüzden hücreler ancak 10^5 - 10^7 Ag^+ aldıklarında ölmektedir (Öner, 1986).

3.3.8. Ultrasonik sistemler ile dezenfeksiyon

Sıvılar titreşime maruz kaldığında kavitasyon olarak bilinen fiziksel etki ile fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Kavitasyon, sıvıdaki moleküller ultrasound enerjisini absorbladıkça mikroskobik gaz moleküllerin oluşması,

genleşmesi ve patlamasıdır. Sıkıştırılmış ve basıncı azalmış dalgalar hızla sıvı ortam içinde hareket eder. Eğer dalgalar yeterince güçlü ise moleküllerdeki çekici kuvvetleri kırarak ve gaz moleküllerini oluşturacaktır. Sıvıya ultrasound enerjisi gelmeye devam ettiğinde gaz kabarcıkları kritik boyuta ulaşana dek genleşmeye devam eder. Kritik boyuta ulaşıldığında gaz kabarcığı patlar ya da çöker. Kavitasyon ile var olan enerji ve tam çökmeden önce gaz baloncuğuna en yakın bölge sıvıda fiziksel ve kimyasal etkiye neden olur. Fiziksel etkiler, kavitasyon hücre zarını yırtacak ve katı yüzeyden parçacık ayıracak kadar yoğun olduğunda oluşur. Kavitasyon partikülleri ve organizmaları parçacık çarpışması veya onları ayrılmaya zorlayarak yok eder. (Dehghani, 2005).

Bir sıvı ortamdaki kimyasal sistemlere ultrasound'un mekanik etkileri kavitasyon etkileri sonucunda oluşur ve bu kuvvetler biyolojik sistemler üzerinde büyük etkilere sahiptir. Akustik kavitasyon kabaca geçici ve kararlı olmak üzere iki türe ayrılabilir. Geçici kavitasyon, gaz ya da buhar ile dolu kabarcıklar düzensiz salınımına uğradıklarında ve sonunda hızla içine çekildiklerinde meydana gelir. Bu durum yüksek yerel sıcaklık ve basınç oluşturur bu da biyolojik hücreleri parçalar ve / veya bazı enzimleri bozar. Hızla içe çekilen kabarcıklar çözücü içinde yüksek kesme kuvvetleri ve sıvı jeti de üretir. Bunlar aynı zamanda hücre duvarına / zarına fiziksel olarak zarar verebilecek yeterli enerjiye sahiptir. (Mason ve ark., 2003).

Ultrasound akustik kavitasyon sonucu artan bazı fiziksel, mekanik ve kimyasal etkiler ile bakterileri inaktif hale getirebilir ve bakteriyel kümeleri ya da flokları ayırabilir.

Çökme sırasında kavitasyon kabarcıkları bir takım süreçler ile bakterileri ya da biyolojik hücreleri mekanik olarak zayıflatmak ya da parçalamak için yeterli enerji üretir.

- Bakteriyel hücrelerin yüzey rezonansından kaynaklanan güçler kavitasyon ile oluşur. Gaz kabarcıklarının sönmelerinden kaynaklanan basınç ve basınç düşüşleri bakteriyel çözeltiliye giren ve bakteriyel hücre duvarının içinde ya da yanında bulunan gaz kabarcıklarının sönmelerinden kaynaklanır.

Bakteriyel hücre frekansa bağlı olarak belli bir süre mekanik olarak zorlandığında zarar görür.

- Microstreaming'in neden olduğu kesme kuvvetleri bakteriyel hücrelerde meydana gelir.
- Sulu ortamlarda kavitasyon boyunca radikallerin (H^+ ve OH^-) oluşumu sayesinde kimyasal bozunma gerçekleşir. Radikaller bakteriyel hücre duvarının kimyasal yapısını bozar ve hücre duvarını zayıflatır.
- Suyun bu sonokimyasal degradasyonunda son ürün kuvvetli bir bakterisit olan hidrojen peroksit'tir (H_2O_2) (Joyce ve ark., 2003).

Sonikasyon tek başına kuvvetli bir dezenfeksiyon sağlar. Buna rağmen, sadece ultrasound kullanılarak %100 ölüm oranına ulaşmak için yüksek ultrasonik yoğunluk gerekir. Bu durum tekniği büyük ölçekte dezenfeksiyonda kullanmak için maliyetli hale getirebilir. Ancak, diğer tekniklere (klorlama, UV vb.) ek olarak dekontaminasyonda ultrasound ile melez ve ardışık sistemlerin kullanılması klasik yöntemleri de maliyet açısından aşağı çekebilir. Bununla birlikte bazı mikroorganizmaların biyositler, ultraviyole ışığı ve ısı ile arıtım gibi dezenfeksiyon tekniklerine karşı dirençli hale gelmeleri de melez ve ardışık sistemlere ilgiyi artırmaktadır.

3.4. Havada Bulunan Mikroorganizmaların Dezenfeksiyonu

3.4.1. Fotokatalitik sistemler

TiO_2 sistemi kendi kendini temizleyen, dezenfekte eden ve kullanıldığı ortamın havasını ve hijyenik koşullarını geliştiren bir sistemdir. Bünye üzerinde nanometre kalınlığında TiO_2 'nin bir fazı olan anataz fazı oluşturulur. Bu faz fotokatalist etkiye sahiptir. Fotokatalitik sistemler ultraviyole radyasyona maruz kaldığı zaman kimyasal tepkimeye girerek ayrışmakta ve aktif oksijen açığa çıkarmaktadır. Aktif oksijen yapı içerisinde organik maddelerin yükseltgenmesi, bozundurulması, bakterilerin giderilmesi ve havanın istenmeyen kokulardan arındırılması gibi özelliklere sahiptir.

TiO₂ ucuz ve kararlı olması organik bileşikleri UV ışınması altında O₂, su ve CO₂ gibi zararsız bileşiklere döndürmesi nedeniyle litaretürde en çok kullanılan yarı iletken olup dezenfeksiyon amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.

TiO₂/UV fotokatalitik yükseltgeme işlemi temel olarak solar enerji (hv) ile TiO₂ yüzeyinde elektron (e⁻) ve hol (h⁺) çiftinin katalizör yüzeyindeki maddeler ile çeşitli tepkimeler vermesine dayanmakta ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.



UV ışınlanması ile oluşan elektron ve holler aşağıdaki eşitlikler ile açıklandığı şekilde peroksit anyon radikali (O₂⁻) ve hidroksil radikali (HO[•]) oluşturabilirler.



Organik molekülün fotokatalitik parçalanması durumunda aktif tür OH[•], hidroksil radikalidir. OH[•] çok güçlü bir yükseltgeyicidir ve pek çok organik madde ile reaksiyona girerek organik maddelerin CO₂'ye oksidasyonunda önemli rol oynar (Guillard ve ark.,2007).

Fotokatalik yöntem ile hava dezenfeksiyon çalışmalarında Xu ve ark. (2003) UV'nin germisidal etkisini havadaki bakteriyel sporlar ve vejetatif mikobakteri hücrelerin inaktivasyonu için tam ölçek koşullarında değerlendirmişlerdir. Havadaki bakterilerin inaktivasyon deneyleri modern bir UVGI sisteminin yerleştirildiği 87 m³ hacimli bir test odasında, 25 °C'de ve % 50 bağıl nemde ve iki farklı havalanma hızında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda *Bacillus subtilis* (spor), *Mycobacterium parafortuitum* ve *Mycobacterium bovis* BCG hücreleri ile çalışılmıştır. UVGI ile havalandırma hızına bağlı olarak havadaki kültürlenebilir bakterilerin odadaki ortalama derişimi *B. Subtilis* sporları için %46 ile %80

arasında, *M. Parafortuitum* için %83 ile %98 arasında ve *M. Bovis* için %96 ile %97 arasında azaltılmıştır.

Kühn ve ark. (2003) titanyum dioksit ile fotokatalitik oksidasyon ve UVA kullanarak yüzey dezenfeksiyonu üzerinde çalışmışlardır. Özellikle yoğun medikal çalışmaların olduğu mikrobiyoloji laboratuvarlarında yüzeylerin düzenli ve çok dikkatli bir şekilde dezenfeksiyonu bakteri sayısını azaltmak ve taşınımı önlemek için gereklidir. Silme ile gerçekleştirilen geleneksel dezenfeksiyon yöntemleri uzun vadede etkili değildir. Kısa ultraviyole C (UVC) ışını nüfuz derinliği yeterli olmadığından elverişli değildir ve mesleki tıbbi riskler oluşturabilir. Titanyum dioksit kaplı yüzeylerde fotokatalitik yükseltgeme bir alternatif olarak önerilebilir. Su ve oksijen varlığında TiO_2 ve orta ultraviyole A (UVA) tarafından oldukça reaktif olan OH radikalleri üretilir. Bu radikaller bakterileri yok edebilir ve böylece bakteri kontaminasyonunun azaltılmasında etkili olabilir. Bu yöntemin etkinliği hijyen ile ilgili bakteriler olan *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ve *Enterococcus faecium* kullanılarak gösterilmiştir. Bu bakteriler için giderim verimliliği 60 dakikada 6 \log_{10} kattan daha fazla gözlenmiştir. *Candida albicans* kullanıldığında ise giderim verimliliği 60 dakikada 2 \log_{10} kat gözlenmiştir.

4. DEZENFEKSİYON DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

4.1. Suda Mikrobiyolojik Sayım Yöntemleri

Mikrobiyolojik problemlerin çözümünde, mikroorganizma sayısı incelenen örneğin mikrobiyolojik kalite yönünden değerlendirilmesini sağlamaktadır. Birçok mikrobiyolojik sayım yöntemi geliştirilmiştir. İncelenen örneğin özelliğine göre bu yöntemlerden uygun olanı seçilir.

Sayım sonuçları, incelenen örneğin sıvı, katı veya yüzey olmasına göre sayı/mL, sayı/g veya sayı/cm² olarak verilmektedir. Katı besiyerinde koloni sayımına dönük sayım yöntemlerinde ise sonuçlar sayı yerine cfu/mL, cfu/g veya cfu/cm² şeklinde belirtilmektedir. Sayım sonuçları mevcut standart, tüzük, yönetmelik, vb. kaynaklarda belirtilen limitlerle karşılaştırılarak, incelenen örneğin mikrobiyolojik kalitesi hakkında karara varılabilir.

Mikrobiyolojik sayım yöntemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

1. Doğrudan Sayım Yöntemleri: Mikroorganizma kolonileri veya hücrelerinin doğrudan sayıldığı yöntemdir.
 - a. Kültürel sayım yöntemleri (canlı sayım, koloni sayımı)
 - Dökme plak yöntemi
 - Çift tabakalı dökme plak yöntemi
 - Agar yüzeyine yayma yöntemi
 - Agar damlatma yöntemi
 - Dönen tüp yöntemi
 - Lam üzerinde mikroskopik sayım yöntemi
 - Membran filtre sayım yöntemi
 - Petrifilm sayım yöntemi
 - b. Doğrudan Mikroskopik sayım yöntemleri (canlı ve ölü hücrelerin toplam sayımı)
 - Thoma lamı ile sayım yöntemi
 - Petroff-Hauser lamı ile sayım yöntemi
 - Howard lamı ile küflü saha sayımı

- Breed'in yayma yöntemi
 - Membran filtre yöntemi
 - Floresan mikroskopi yöntemleri
 - c. Flow sitometri (canlı ve ölü hücrelerin toplam sayımı)
2. Dolaylı Sayım Yöntemleri
- a. En muhtemel sayı yöntemi
 - b. Tüp dilüsyon yöntemi
 - c. Türbidimetrik sayım yöntemi
 - d. Hücre içeriğindeki belirli bazı maddeleri belirleme prensibine dayalı sayım yöntemleri
 - e. Kuru madde tayinine dayalı sayım yöntemi
 - f. Toplam sediment miktarı tayinine dayalı sayım yöntemi
 - g. McFarland yöntemi
 - h. Metabolik aktiviteye dayalı sayım yöntemleri
 - Renk maddeleri indirgenmesine dayalı sayım yöntemleri
 - Empedans ölçümüne dayalı sayım yöntemleri
 - Mikrokalorimetri

Mikrobiyolojik sayım yöntemlerinin bu çeşitliliğine rağmen, bunların tümü sık olarak kullanılmamaktadır. En yaygın olarak kullanılanlar, dökme plak yöntemi, agar yüzeyine yayma yöntemi, direkt mikroskobik sayı yöntemleri, en muhtemel sayı yöntemi, renk maddeleri indirgenme testleri, türbidometrik yöntemlerdir.

4.1.1. Kültürel sayım yöntemi

Bu yöntemlerde katı besiyerleri kullanılmakta ve inkübasyonu takiben, besiyerinde gelişen mikroorganizma kolonileri sayılarak sonuca gidilmektedir. Bu nedenle kültürel sayım yöntemleri koloni sayımı olarak da adlandırılabilir. İncelenen örnekte yalnızca canlı mikroorganizmalar sayıldığından, bu sayımlar canlı sayım olarak da isimlendirilir.

Kültürel sayım yöntemlerinde, ilk aşamada sayım yapılacak örneğin ekimlere hazırlanması gerekir. Daha sonra örneğin uygun seri dilüsyonları hazırlanarak

uygun agarlı bir besiyerine ekimleri gerçekleştirilir. En son aşamada ise inkübasyon işlemine geçilir. İnkübasyon sonrası, canlı bir bakteri katı bir besiyerinde bir koloniye eşdeğerdir varsayımından hareketle koloniler sayılır. Toplam sayının dilüsyon faktörü ile çarpılmasıyla elde edilen sonuç incelenen örneğin özelliğine göre cfu/ml, cfu/g veya cfu/cm² olarak verilir.

4.1.1.1 Dökme plak yöntemiyle kültürel sayım

İncelemeye alınan örnekteki canlı mikroorganizmaları saymayı amaçlayan bir yöntemdir. Dökme plak yöntemi, petri kutuları ve katı besiyerleri kullanılarak gerçekleştirilir. İncelenecek örnek homojen hale getirilir ve dilüsyon serileri hazırlanır. Ekim yapılacak dilüsyonlar belirlenir. Sterilize edilmiş petri kutularına, steril pipet ile seçilen dilüsyondan 1 mL aktarılır. Çalışmalar üç paralel çalışmaya olacak şekilde yapılmalıdır. Vakit geçirilmeden her bir petriye 15-20 mL eritilmiş ve 44-48°C'ye soğutulmuş steril katı bir besiyeri dökülür. Agar katılaşmadan hemen, petri kutularına düz bir yüzey üzerinde sekiz hareketi çizdirilerek örnek ile besiyerinin homojen karışımı sağlanır ve agarın katılaşması beklenir. Aynı besiyeri sterilite kontrolü için, steril iki tane boş petri kutusuna dökülür ve agarın katılaşması beklenir. Petri kutuları ters çevrilerek, sıcaklığı ayarlanmış ve istenilen sıcaklığa erişmiş bir inkübatöre yerleştirilir. İnkübasyon sonunda 50-500 koloni içeren petri kutular sayıma alınır.

$$\text{cfu/mL} = \text{sayım sonucu} \times \text{dilüsyon faktörü} \quad (4.1)$$

4.1.1.2 Yüzeye yayma yöntemiyle kültürel sayım

Yüzeye yayma yönteminin uygulaması basit ve kolaydır. Petri kutusuna agarlı besiyeri dökülürken oluşabilecek hava kabarcıkları ekim öncesi steril bir iğne öze ile ortadan kaldırılır.

Bu yöntemde, yaklaşık 50°C'deki erimiş steril agarlı besiyeri, aseptik koşullarda steril petri kutularına 15-20 ml miktarda dökülür. Agarın katılaşmasından sonra petri kutuları etüvde kurutulur, agar yüzeyinin kuru olması çok önemlidir. İncelenecek dilüsyondan veya sıvı örnekten belli bir miktarda

alınarak kuru agar yüzeyine aktarılır ve steril dragalski özesi ile yayılır. Dragalski özesi her kullanımdan hemen önce alkole daldırılır ve daha sonra bunzen beki alevinden geçirilir ve alkolün yanıp uzaklaşması sağlanır. Öze ekim öncesinde besiyerinin boş kısmına değdirilerek soğutulur. Ekimler yine üç paralel olacak şekilde yapılır. Ekim yapılan petri kutuları 10-15 dakika bekletilir ve daha sonra inkübasyona alınır. Bekletmenin amacı, besiyerinin inokulumu absorblamasının sağlamasıdır.

4.1.2. Dolaylı sayım yöntemleri

Mikroorganizmaların belirli bazı hücresel özellikleri, metabolik faaliyetleri, bulanıklık gibi besiyerinde oluşturduğu değişiklikler dikkate alınarak dolaylı bir şekilde mikroorganizma sayılarının belirlenmesi ya da tahmin edilmesine yönelik yöntemlerdir. Bu yöntemlerde ilk aşamada standartlar oluşturulmakta, daha sonra alınan sonuçlar bu standartlarla karşılaştırılarak mikroorganizma sayıları belirlenmektedir.

4.1.2.1 Türbidometrik sayım yöntemi

Bu yöntemde spetrofotometre veya kolorimetreden yararlanılmaktadır. Yöntem, incelenecek olan sıvı örnekte mikroorganizma sayısı ne kadar çoksa, bu sıvının bulanıklığı da o kadar çok olacaktır prensibine dayanmaktadır.

Türbidometrik sayım yöntemlerinde, kendisi fazlaca bulanık olmayan sıvı besiyerleri tercih edilmelidir. Bir mikroorganizmanın ışınları tutma gücü, onun büyüklüğüne, şekline ve şeffaflık derecesine bağlıdır. Bu nedenle türbidometrik yöntemlerle sayım, ancak saf bir mikroorganizma kültür örneği üzerinde gerçekleştirilebilir.

Saf bir mikroorganizma kültüründeki mikroorganizma sayısının belirlenmesi için, ilk aşamada bu mikroorganizmanın farklı derişimlerdeki süspansiyonları kullanılarak standart bir mikroorganizma derişimi-ışık yoğunluğu eğrisi hazırlanır.

Daha sonra mikroorganizma sayısı belirlenecek örneğin ışık yoğunluğu belirlenir ve standart eğride bu değere karşılık gelen mikroorganizma sayısı bulunur

4.1.2.2 McFarland yöntemi

Baryum klorür ile sülfürik asit karıştırılınca meydana gelen baryum sülfat, ortamda opak renkli bir bulanıklık oluşturmaktadır. Çok kompleks olmayan bir besiyerinde üretilen bakteriler de aynı renkte bir bulanıklık meydana getirmektedir. Baryum klorür ile sülfürik asit oranlarının değiştirilmesiyle farklı bulanıklıkta çözeltiler oluşmakta olup, bunlara karşılıklı gelen bakteri sayısı da, bulanıklığın artması ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Temiz, 1996).

4.2. Havadaki Mikroorganizmaları Sayma Yöntemleri

Havada bulunan mikroorganizmaları örneklemek ve toplamak için cihazlar kullanılabilir. Havada bulunan mikroorganizmalar için örnekleme yöntemi seçilirken çeşitli parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar, cihazın ilgilenilen mikroorganizma için uygunluğu, sistemin örnekleme için hassasiyeti ve kullanılacak alet ve yöntemin örnekleme alanına uygunluğudur.

Havada bulunan mikroorganizmaların belirlenmesi için radyoaktif izleyiciler ve enzimler geliştirilmiştir, fakat kültür yöntemleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Kültürel yöntemlerde mikroorganizmalar besi ortamında geliştirilir ve tipik koloniler sayılır. Kültürel yöntemde besi ortamına düşen bir mikroorganizmanın bir koloni oluşturduğu kabul edilir. Bu yöntemin dezavantajı, hava mikroorganizmaları taşınma sırasında stres olduklarında yöntemle cevap veremeyebilir ya da besi ortamı uygun olamayabilir. Ortam şartları stresinden kaynaklanan canlı ama kültürü yapılamayan mikroorganizmaların varlığına dair raporlar sonucu çalışmalar toplam sayım yöntemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Sayım için hücrede, akridin orange boyası alımına bakma, nalidiksik asit, maya özütü kullanma, floresan olarak işaretlenmiş antikor kullanımı, EMS yöntemi gibi dolaylı mikroorganizma sayım yöntemleri geliştirilmiştir.

Havadaki mikroorganizmaların sayımı için birçok hava örnekleme cihazı da geliştirilmiştir. Bu cihazlar kullandıkları hava akımına göre aktif ve pasif olmak üzere iki gruba ayrılabilirler.

4.2.1. Pasif teknikler

Parçacıkların örnekleme platformu üzerine çökmesi esasına dayanır.

4.2.1.1 Sedimentasyon

Sedimentasyon olayından yararlanılarak uygulanan yöntemdir. Uygun katı besiyeri içeren petri kutuları veya yapışkan film ile kaplı cam yüzeyler örnekleme platformu olarak kullanılır. Yöntem, mikroorganizmaların yerçekimi ile örnekleme platformuna düşmesine dayandığından parçacık büyüklüğü ve hava akımları metodu etkileyebilir. Örnekleme platformu belli bir süre, kapağı açık bir şekilde incelenecek ortamda tutulur. Uygun sıcaklık ve sürede inkübasyondan sonra koloniler sayısal ve niteliksel olarak incelenir. Çok küçük parçacıklar asılı olarak havada çok uzun süre kaldığı için sonucu olumsuz etkiler. Bu yöntemde besiyerinin seçici olması sayımın ve tayinlerin yapılmasında kolaylık sağlar.

Bu yöntemin avantajı kolay uygulanabilir olmasıdır, ancak yaklaşık bir sonuç verir. İncelenen hava hacminin kesin olarak bilinmemesi, hava akımından etkilenmesi ve küçük parçacıkların tamamen yakalanamaması yöntemin dezavantajlarıdır.

4.2.2. Aktif teknikler

Örnekleme yüzeyi üzerinden havanın geçebileceği şekilde düzenlenmiştir. Aktif örnekleyciler üç grupta incelenebilir.

4.2.2.1 Süzme yöntemi

Bu yöntemde belirli bir hacimdeki hava özel bir filtreden geçirilir. Filtreler doğrudan boyanarak mikroskopta incelenebileceği gibi uygun bir katı besiyerine yerleştirilebilir. Uygun süre ve sıcaklıkta inkübe edildikten sonra gelişen koloniler sayılır.

Süzme yönteminin avantajları, çalışılan hacmin biliniyor olması ve kolay uygulanabilir olmasıdır. Yöntemin dezavantajları ise çalışma sırasında mikroorganizmaların canlılığını yitirebilmesi, zamanla filtrelerin tıkanması sonucu filtrasyon debisinin düşmesidir.

4.2.2.2 Barbotaj yöntemi

Bu örnekleyiciler havanın eğri bir borudan geçerek sıvı ortamda toplanması ilkesine dayanır. Bu teknikte hava belirli bir hacimde steril besin maddesi içeren veya besin maddesi içermeyen bir sıvıdan geçirilir. Bu toplama sıvısı inokulum olarak görev yapar. Bu sıvıdan belirli bir miktar örnek alınarak havadaki mikroorganizmaların sayısı ve niteliği hakkında bilgi edinilir.

Bu yöntemin avantajı çalışılan hacmin biliniyor olması ve toplama sıvısının kültürel sayım ve mikroskopik sayım için kullanılabilir olmasıdır. Yöntemin dezavantajları ise uygulamasının daha önce bahsedilen yöntemlere göre daha zor olması, hacmi yoğunlaştırmak için buharlaştırma gerekebilmesi, toplama sıvısı besiyeri içeriyorsa hemen ekim yapılmasını gerektirmesi ve mikroorganizma canlılığının azalabilmesidir.

4.2.2.3 Çöktürme

Bu yöntem, mekanik, ısı ya da elektrostatik olmak üzere üç şekilde uygulanabilir. Çöktürme yönteminde incelenecek olan hava vakum ile emilir ve agarlı bir besiyeri üzerine mekanik, ısı ya da elektrostatik yolla püskürtülerek

çöktürülür. Mekaniksel uygulamada, emilen hava, alttaki hareketli bir petri kutusu bulunan aralıktan geçirilir ve petri kutusunun dönmesiyle homojenlik sağlanır.

Isıl çökeltme ise, havanın sıcak bir yüzey ile soğuk bir yüzey arasında dolaştırılmasıyla yapılır.

Elektrostatik tortulama örnekleyicileri, 1 mm'den daha küçük çaplı parçacıkları toplamak için kullanılan örnekleyicilerdir. Elektrostatik uygulamada havadaki parçacıkların çekimi bir elektriksel alan ile sağlanır.

4.2.2.4 Çarpıcı örnekleyiciler

Bunlar ilk geliştirilen hava örnekleyici cihazlardır. Hava bir delikten yüksek hızda geçerken agar yüzeyi üzerine toplanır. Besiyeri üzerine düşen mikroorganizmaların oluşturduğu koloniler sayıldığı için seçilecek besiyeri büyük önem taşır.

4.2.2.5 Andersen örnekleyici

Andersen çok basamaklı örnekleyici canlı hava mikroorganizmalarının ölçümü için kullanılır. Bu örnekleyiciler portatiftir ve çalıştırılması ve sterilizasyonu kolaydır. Bu tip örnekleyiciler basamaklıdır, havadaki parçacıklar büyüklüklerine göre herhangi bir basamaktaki agar plak üzerine düşer. Bir, iki, altı ya da sekiz basamaklı olabilir. Basamaklar örnekleyiciden alınıp inkübe edildikten sonra mikroorganizmalar sayılır. Bu yöntemde elektrostatik etkileşmeyi önlemek için cam petri kutuları kullanılmalı ve petri kutusu içindeki besi ortamı iyi ayarlanmalıdır (Levin ve ark., 1992).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Antibakteriyel Malzeme Hazırlanması

5.1.1. Kullanılan doğal malzemeler

Antibakteriyel malzeme geliştirilmesi için yerli kaynaklardan elde edilen kaolinit, sepiyolit ve klinoptilolit kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler zenginleştirme, saflaştırma vb. ön işlemlere tabi tutulmaksızın kullanılmıştır.

5.1.1.1 Kaolinit

Kaolin, kil mineralleri sınıflandırması içinde bir grup kil mineraline verilen isimdir. En önemli minerali, kimyasal yapısı $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ olan kaolinit'tir (Anonim, 2008). Kaolinit başlıca bir tetrahedral (silika) ve bir oktahedral (alümina veya gibsit) levhasının tekrarlanan katmanlarından oluşmuştur. Bir katmanın iki levhanın birer tanesinden meydana gelmiş olmasından dolayı 1:1 kil minareli şeklinde anılır (Grim,1968).

Kullanılan kaolinitin, Rigaku marka X-ray defraktometresi (Rigaku-Rint 2200 XRD) kullanılarak faz analizi yapılmıştır.

5.1.1.2 Klinoptilolit

Klinoptilolit, höylandit doğal zeolit grubunun silikaca zengin bir üyesidir ve höylandit ile benzer bir yapı gösterir. Kimyasal bileşimi $(Na, K)_6(Al_6Si_30O_72) \cdot 20H_2O$ şeklindedir. Klinoptilolit'in değişebilir katyonları, Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , ve Mg^{+2} dir (İzci, 2001).

Kullanılan klinoptilolit'in, Rigaku marka X-ray defraktometresi (Rigaku-Rint 2200 XRD) kullanılarak faz analizi yapılmıştır.

5.1.1.3 Sepiyolit

Sepiyolit tabakalı silikatlar grubuna mensup magnezyum hidrosilikattan ibaret doğal, lifli bir kil minarelidir. $Si_{12}Mg_8O_{30}(OH)_4(H_2O)_4 \cdot 8H_2O$ formülü ile ifade edilir, daha basit olarak da sulu magnezyum silikat bileşimli bir kil minareli olarak ifade edilebilir.

Maden Tetkik Arama Enstitüsü (M.T.A)'nın değişik projeler kapsamında yaptığı çalışmalarda, İspanya'dan sonra dünyanın en büyük sepiyolit rezervlerinin Türkiye'de bulunduğu tespit edilmiştir. Yine yapılan çalışmalarda Türk sepiyolitinin, yüksek kalitesi ve lif boylarının kısa olması, dolayısıyla kanser yapıcı etkisinin olmaması nedeniyle benzerlerine göre daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Yüksek yüzey alanı ve iç yapısını oluşturan mikro gözenek ve zeolitik kanallar, sepiyolit adsorbsiyona dayalı uygulamalarında önemli rol oynar. (Sabah ve Çelik,1998).

Kullanılan sepiyolit, Rigaku marka X-ray defraktometresi (Rigaku-Rint 2200 XRD) kullanılarak faz analizi yapılmıştır.

5.1.2. Doğal malzemelerin antibakteriyel hale getirilmesi

Malzemelerin antibakteriyel duruma getirilebilmesi için fiziksel ve kimyasal yolla gümüş iyonu tutundurma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kimyasal metod uygulamasında malzemeler fosforik asit ile muamele edilmiştir. Malzemeler üretildikten sonra üzerlerinde tutunamayan gümüşün uzaklaştırılması amacıyla da yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Gümüş kaynağı olarak gümüş nitrat ($AgNO_3$,Merck) kullanılmıştır.

Antibakteriyel hale getirilmiş kaolinit, klinoptilolit ve sepiyolit morfolojisini görüntülemek amacıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM, Zeiss Supra V50) ve ağırlıkça metal katyonu miktarlarını belirlemek üzere Enerji Saçınımlı X-Işınları Spektrofotometresi (EDX, Oxford Instruments ve Zeiss EVO 50) kullanılmıştır.

5.1.2.1 Antibakteriyel etkinlik belirlenmesi

Üretilen malzemelerin antibakteriyel etkinliğinin belirlenmesi amacıyla halo test metodu kullanılmıştır. Halo test metodunda, steril edilmiş petri kutuları içine bir miktar malzeme konular, üzerine bir film tabakası oluşturacak şekilde besi yeri dökülür ve bakteri ekimi gerçekleştirilir. Antibakteriyel etkiye sahip olan malzemeler üzerinde bakteriyel gelişme görülmez. Antibakteriyel etkiyi belirlemek amacıyla oksijenli solunum yapan *Escherichia Coli* (*E.coli*, ATCC 25922) bakterileri kullanılmıştır.

5.1.2.2 Gümüş salımının belirlenmesi

Antibakteriyel hale getirilen malzemelerin gümüş salımlarını belirlemek için 200 mL distile su içine 2 g malzeme koyularak 30 gün boyunca bekletilmiştir. Deney süresince örnekler sürekli karıştırılmış ve 30 gün sonunda malzemelerin EDX analizleri yapılmıştır.

5.2. Antibakteriyel Dolgulu Kolonda Su Dezenfeksiyonu

5.2.1. Kolon dezenfeksiyon çalışmalarında kullanılan antibakteriyel dolgu malzemesi

Yüksek lisans çalışmasında Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü ile birlikte geliştirilmiş olan ve sentetik olarak laboratuvarında üretilen antibakteriyel malzeme ile reaktörde kullanılacak dolgu malzemesi antibakteriyel hale getirilmiştir. Kalsiyum fosfat temelli olan bu malzeme dezenfekte edilecek suya doğal malzemedeki gelecek etkileri engellemek için tercih edilmiştir.

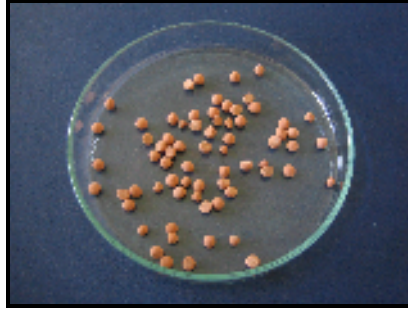
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nde yapılan çalışmada, metal iyon katkılı kalsiyum fosfat tozu hazırlanmasında yaş kimyasal yöntem kullanılmıştır. Bu süreçte ilk önce, metal iyonları saf suda tamamen çözündürülmüş ve kalsiyum hidroksite eklenerek süspansiyon hazırlanmıştır. Daha sonra ortofosforik asit yavaşça ilave edilerek kimyasal tepkimeye sokulmuş ve bu esnada çözelti

karıştırılmıştır. Stokiyometrik hidroksiapatit yapısına yakın bir yapı oluşturabilmek için pH sürekli kontrol edilmiştir. Tepkime sırasında oluşan çökelti filtreden geçirilip 80°C’de kurutulmuştur.

Dolgu malzemelerinin hazırlanmasında, bünye olarak kiremit tozu kullanılmıştır. Malzemenin üretim aşamasında kiremit çamuruna %25 antibakteriyel kalsiyum fosfat temelli toz eklenmiş ve küre şekli verilen dolgu malzemeleri 800°C’de pişirilmiştir.

Su dezenfeksiyon çalışmalarında kullanılacak çözelti, steril edilmiş distile suya farklı derişimlerde Escherichia coli eklenerek elde edilmiştir. Farklı başlangıç derişimleri, bir gün önceden hazırlanan gecelik bakteri kültüründen belli seyreltmeler yapılarak uygun miktarlarının çözeltiye eklenmesi ile elde edilmektedir.

Deneyler sırasında kullanılan reaktör 30 cm yüksekliğinde ve 2 cm çapındadır. Reaktörde kullanılan dolgu malzemeleri yaklaşık 2 mm çaplarında ve küre şeklindedir. Dolgu malzemeleri Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5. 1. Antibakteriyel dolgu malzemesi

Deneyler geri döngülü ve 5 mL/ dk., 25 mL/dk., 50 mL/dk. ve 100 mL/dk. akış hızlarında sürekli ve farklı bakteri derişiminde en az 3 tekrarlı olarak yapılmıştır. Çalışmalar, başlangıç çalışma çözeltisinden ve işlem boyunca belirli zaman aralıklarında çıkış suyundan örnekler alınarak yapılmıştır. Sisteme verilen çözeltinin akış hızı peristaltik pompa (IKA, Werke) kullanılarak ayarlanmıştır.

Çalışmalar steril kabin (Heraeus KSP-18 ClassII) içinde ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

5.3. Ultrasonik Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu

5.3.1. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör ile su dezenfeksiyonu

Düşük frekanslı ultrasonik reaktör, 28, 45, ve 100 kHz frekanslarda ses üreten iki adet transducer bulunduran bir sistemdir. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör Şekil 5.2’de görülmektedir.

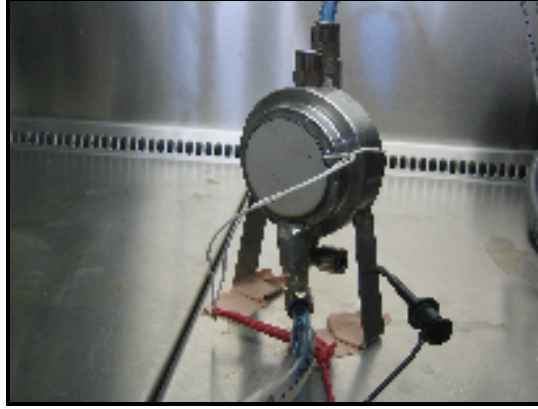


Şekil 5. 2. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör

Düşük frekanslı ultrasonik reaktör ile yapılan çalışmalar 28, 45 ve 100 kHz frekanslarında ve üç frekansın sırayla veriliği ardışık frekans kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ardışık frekans çalışmalarında üç frekans 1’er saniye olmak üzere işlem boyunca sırayla verilmektedir. Çalışmalarda dezenfeksiyon verimine farklı başlangıç bakteri derişimlerinin, suda bulunabilecek iyonların (SO_4^{-2} ve HCO_3^-) ve dezenfektan etkisine yardımcı olarak Ag^+ iyonunun etkisi incelenmiştir. Çalışmalar 100 mL çözelti ile gerçekleştirilmiştir.

5.3.2. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktör ile su dezenfeksiyonu

Çalışmalar iki yanında 195 kHz, 316 kHz ve 764 kHz frekanslarda ses üreten iki adet transducer bulunduran ultrasonik reaktör ile gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik reaktör 60 mm çapında ve 40 mm genişliğindedir. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktör Şekil 5.3'te ve ultrasonik reaktör ve sürücüsü Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5. 3. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktör

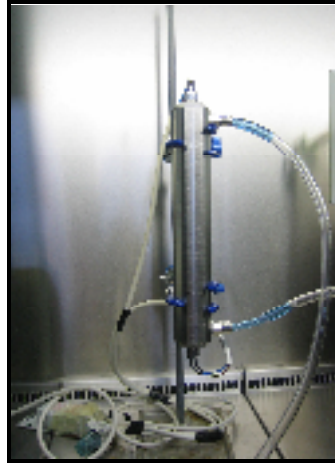


Şekil 5. 4. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktör ve sürücüsü

Dezenfeksiyon çalışmaları 2×10^4 /mL başlangıç bakteri derişiminde ve farklı frekanslarda geri döngülü olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda dezenfeksiyon verimine suda bulunabilecek iyonların (SO_4^{-2} ve HCO_3^-) ve dezenfektan etkisine yardımcı olarak Ag^+ iyonunun etkisi incelenmiştir. Geri döngülü çalışmalar 160 mL çözelti ile gerçekleştirmiştir.

5.4. UV Sistemde Su Dezenfeksiyonu

Çalışmalarda kullanılan UV dezenfeksiyon kolonu 4,6 cm çapında ve 25 cm uzunluğundadır. Reaktörde kullanılan UV lambası mikroorganizmaları etkisiz hale getiren yaklaşık 254 nm dalga boyundadır. Çalışmalar farklı başlangıç bakteri derişimlerinde ve farklı akış hızlarında sürekli sistemlerde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda Ag^+ iyonunun UV sisteme etkisi de incelenmiştir. Çalışmalarda kullanılan UV reaktör Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5. 5. UV reaktör

5.5. Melez ve Ardışık Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu

Melez ve ardışık sistemler ile su dezenfeksiyonu sistemlerin sinerjik etkilerini görmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Melez ve ardışık sistem çalışmalarında antibakteriyel dolgulu kolon, ultrasonik sistem ve UV sistem ikili ve üçlü sistemler olarak ard arda kullanılmıştır. En iyi sonuçlar antibakteriyel dolgulu kolonun önde olduğu durumda gerçekleştiği için çalışmalar antibakteriyel dolgulu kolon, ultrasonik reaktör ve UV reaktör düzeninde sistemin kurulması ile gerçekleştirilmiştir.

5.5.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik sistem ile su dezenfeksiyonu

Antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik reaktörlerin ardışık kullanıldığı dezenfeksiyon çalışmaları en iyi giderim verimlerinin elde edildiği 28 kHz ve 764 kHz frekanslarda gerçekleştirilmiştir. Düşük frekanslı ultrasonik reaktörde 4×10^5 /mL ve yüksek frekanslı ultrasonik reaktörde 2×10^4 /mL'de başlangıç bakteri derişimlerinde çalışılmıştır.

5.5.2. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ile su dezenfeksiyonu

Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV reaktörün ardışık kullanıldığı dezenfeksiyon çalışmaları farklı akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolon ardından farklı akış hızlarında UV reaktörde 5×10^7 /mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir.

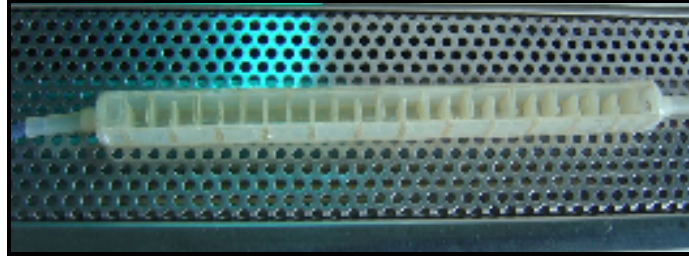
5.5.3. Antibakteriyel dolgulu kolon, ultrasonik sistem ve UV sistem'in birlikte kullanıldığı su dezenfeksiyonu

Antibakteriyel dolgulu kolon, ultrasonik reaktör ve UV reaktörün ardışık kullanıldığı çalışma 5×10^7 /mL bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Melez ve ardışık sistemde yapılan bu çalışma 25 mL/dk akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik reaktör ve ardından 1,3 L/dk akış hızında UV reaktörden sürekli akış olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

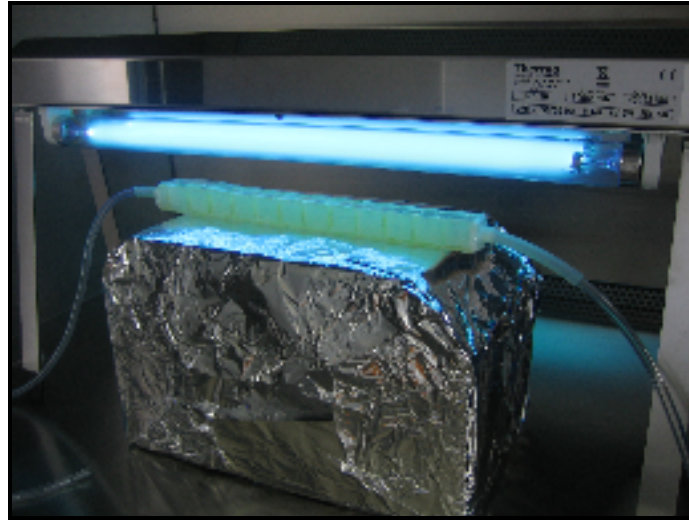
5.6. Havadaki Mikroorganizmaların Dezenfeksiyonu

Havadaki mikroorganizmaların dezenfeksiyon çalışmaları, antibakteriyel dolgulu kolon, UV kolon ve iç yüzeyi TiO₂ kaplanmış reaktör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. TiO₂ kaplı reaktör UV ışınlarına maruz bırakılarak foto-katalitik etki sağlanmaktadır. Çalışmalarda kullanılan TiO₂ kaplı reaktör, 20 cm uzunluğunda ve 2,5 cm genişliğindedir. Hava arıtma sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanan foto-katalitik destekli reaktör için plexi glass malzemesi

kullanılmıştır. UV'ye maruz kalacak yüzeyde UV geçişini engellemeyecek malzeme kullanılmıştır. Etkin yüzey alanını arttırmak ve hava ile en yüksek derecede temas sağlamak amacıyla 20 x 15 mm boyutlarında 24 adet şaşırtma perdesi kullanılmıştır. Hazırlanan reaktör Şekil 5.6 ve foto-katalik reaktör ile UV sistem Şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5. 6. TiO₂ kaplı reaktör

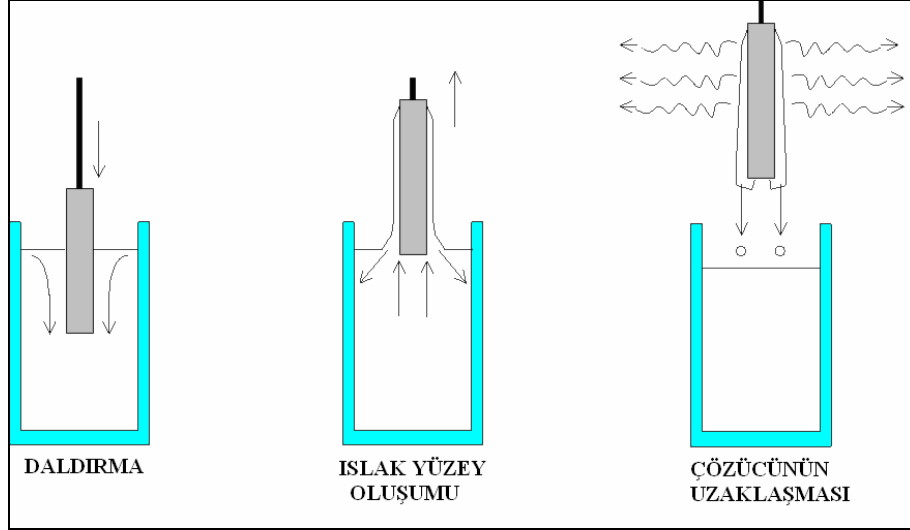


Şekil 5. 7. TiO₂ kaplı reaktör ile hava dezenfeksiyonu

Reaktör iç yüzeyinin ve perdelerinin nano boyutlu TiO₂ ile kaplanması için ambalaj malzemesi kaplamalarında kullanılan vernik tercih edilmiştir. Verniğin viskozitesini düşürmek, dolayısıyla kaplama kalınlığını azaltmak için vernik

içerisine etil asetat eklenmiştir. Kaplama çözeltisi 150 g vernik, 50 gr etil asetat ve 20 gr Degussa 25 TiO₂ 15 dakika karıştırılarak hazırlanmıştır.

Reaktörün yapımında kullanılan plexi glass parçalar daldırma yöntemi ile kaplanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kaplama işlemi Şekil 5.8’de verilmiştir.



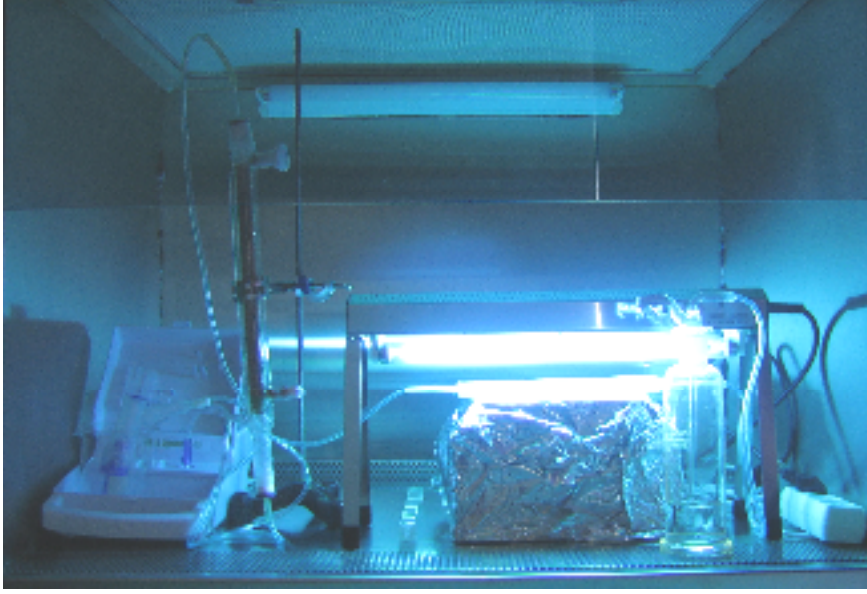
Şekil 5. 8. Daldırma yöntemi ile kaplama süreci (Schmidh ve Menning, 2000)

Çalışmalarda dezenfekte edilecek hava 12 L/dk hızla reaktörden geçirilmiştir. Çalışmalar 25'er dakikalık işlem sürelerinde dezenfeksiyon sistemleri kullanılarak ve dezenfeksiyon sistemlerinin kullanılmadığı şahit çalışmalar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sistemlere hava ile birlikte 10⁸/mL derişimde E.coli bakterileri basınçlı nebulizer ile doğrudan verilmiştir.

Çalışmalarda reaktörden geçirilen hava işlem sonunda yıkama şişesindeki çözeltilerden nutrient agar katı besi ortamlarına ekim yapılmış ve bakterilerin gelişmesi için nutrient agarda 37 °C’de inkübe edilmiştir.

Çalışmalar ayrıca ortamdan izole edilmiş küfler ile de gerçekleştirilmiştir. Reaktörden geçirilen hava aynı şekilde içerisinde 50 mL steril su bulunan yıkama şişelerinden geçirilmiştir ve küflerin gelişmesi için potato dextrose agarda (PDA) 25°C’de inkübe edilmiştir.

Üç ayrı sistemin birlikte kullanıldığı sisteme ait fotoğraf Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5. 9. Hibrit hava dezenfeksiyon sistemi

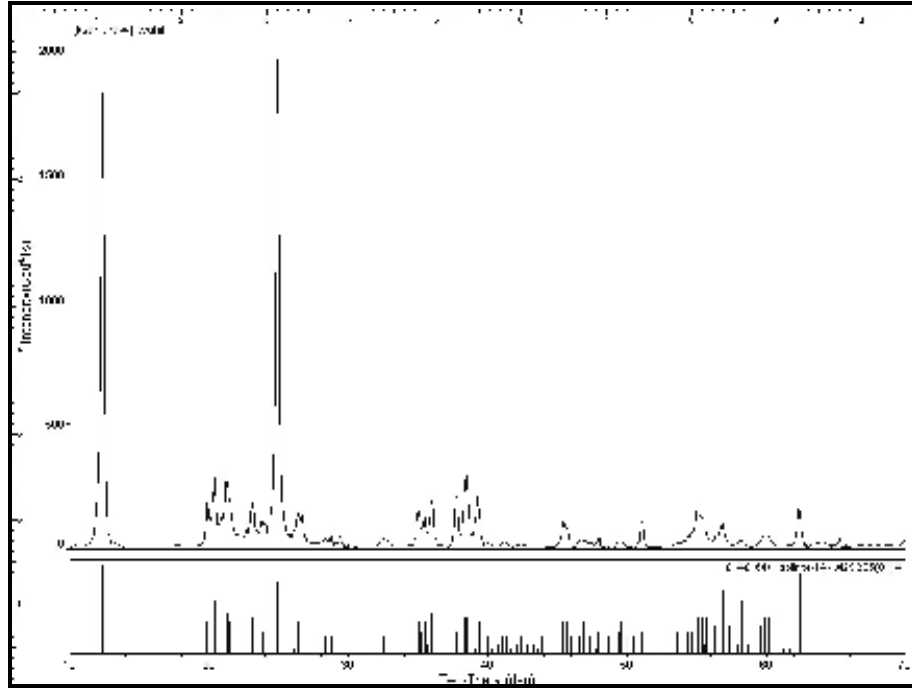
6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

6.1. Antibakteriyel Malzeme Hazırlanması

6.1.1. Kullanılan doğal malzemelerin karakterizasyonu

6.1.1.1 Kaolinit

Doğal kaolinit numunesi ait XRD grafiği Şekil 6.1’de ve XRD sonucu Çizelge 6.1’de verilmiştir.



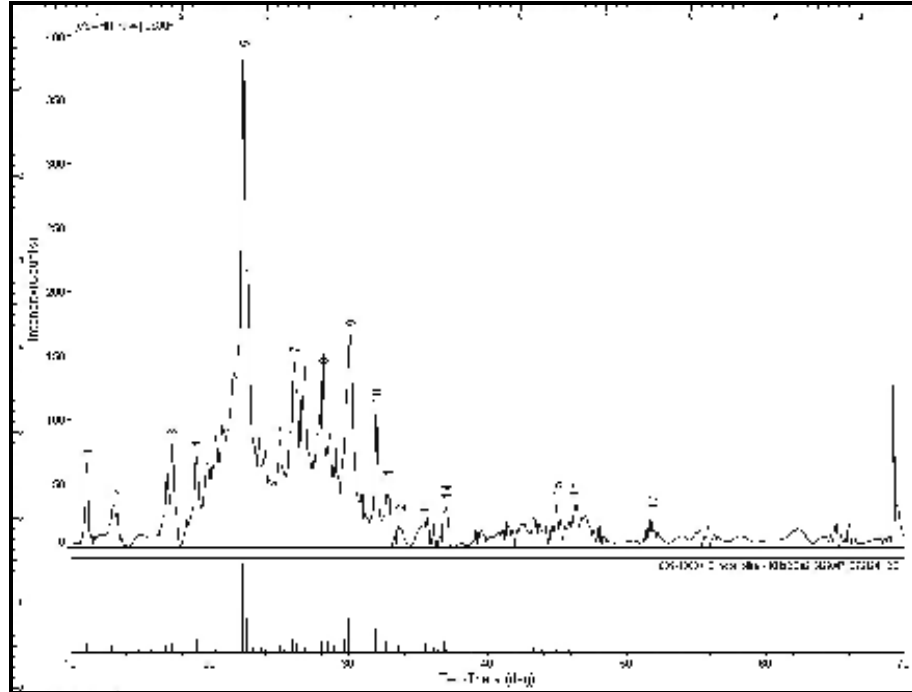
Şekil 6. 1. Doğal kaolinit numunesinin XRD grafiği

Çizelge 6. 1. Doğal kaolinit numunesinin XRD sonucu

#	2-Theta	d(Å)	Height	Height%	Phase ID	d(Å)	I%	(h k l)	2-Theta	Delta
1	12.314	7.1821	1825	93.4	Kaolinite-1A	7.1126	100.0	(0 0 1)	12.435	0.121
2	20.224	4.3873	211	10.8	Kaolinite-1A	4.3448	60.0	(-1 1 0)	20.424	0.200
3	21.284	4.1711	288	14.7	Kaolinite-1A	4.1666	45.0	(-1 -1 1)	21.308	0.023
4	23.061	3.8536	184	9.4	Kaolinite-1A	3.8306	40.0	(0 -2 1)	23.201	0.140
5	24.880	3.5759	1954	100.0	Kaolinite-1A	3.5649	80.0	(0 0 2)	24.958	0.078
6	26.440	3.3683	143	7.3	Kaolinite-1A	3.3635	35.0	(1 1 1)	26.478	0.039
7	35.170	2.5496	151	7.7	Kaolinite-1A	2.5460	25.0	(1 3 0)	35.222	0.052
8	35.964	2.4951	193	9.9	Kaolinite-1A	2.4883	45.0	(2 0 0)	36.066	0.102
9	37.726	2.3825	209	10.7	Kaolinite-1A	2.3789	25.0	(0 0 3)	37.786	0.060
10	38.413	2.3415	289	14.8	Kaolinite-1A	2.3411	40.0	(-2 0 2)	38.420	0.007
11	39.254	2.2933	208	10.6	Kaolinite-1A	2.2874	35.0	(1 3 1)	39.359	0.104
12	45.498	1.9920	112	5.7	Kaolinite-1A	1.9928	35.0	(-2 0 3)	45.478	-0.020
13	51.041	1.7879	107	5.5	Kaolinite-1A	1.7857	25.0	(0 0 4)	51.108	0.067
14	55.109	1.6652	152	7.8	Kaolinite-1A	1.6662	40.0	(-2 4 0)	55.072	-0.037
15	56.757	1.6207	96	4.9	Kaolinite-1A	1.6174	70.0	(1 3 3)	56.883	0.126
16	59.936	1.5421	53	2.7	Kaolinite-1A	1.5427	40.0	(1 -1 4)	59.911	-0.025
17	62.311	1.4889	161	8.2	Kaolinite-1A	1.4869	90.0	(-3 -3 1)	62.406	0.095

6.1.1.2 Klinoptilolit

Doğal klinoptilolit numunesi ait XRD grafiği Şekil 6.2’de ve XRD sonucu Çizelge 6.2’de verilmiştir.



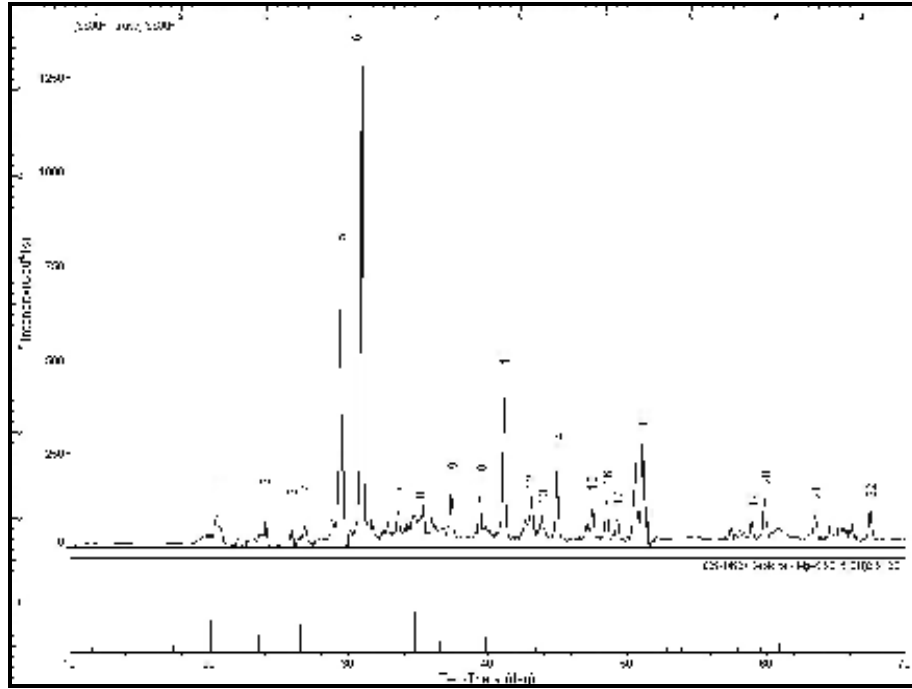
Şekil 6. 2. Doğal klinoptilolit numunesinin XRD grafiği

Çizelge 6. 2. Doğal klinoptilolit numunesinin XRD sonucu

#	2-Theta	d(Å)	Height	Height%	Phase ID	d(Å)	I%	(h k l)	2-Theta	Delta
1	11.127	7.9452	65	17.0	Clinoptilolite	7.9442	10.3	(2 0 0)	11.129	0.001
2	13.110	6.7477	33	8.6	Clinoptilolite	6.7904	7.1	(2 0 -1)	13.027	-0.083
3	17.180	5.1573	80	20.9	Clinoptilolite	5.1259	9.5	(1 1 1)	17.286	0.106
4	18.943	4.6810	71	18.6	Clinoptilolite	4.6548	15.1	(1 3 -1)	19.051	0.107
5	22.426	3.9612	384	100.0	Clinoptilolite	3.9585	100.0	(4 0 0)	22.442	0.016
6	25.057	3.5510	83	21.6	Clinoptilolite	3.5568	7.1	(3 1 -2)	25.015	-0.041
7	26.045	3.4185	145	37.9	Clinoptilolite	3.4266	14.3	(2 2 -2)	25.982	-0.063
8	28.111	3.1718	136	35.4	Clinoptilolite	3.1722	12.7	(4 2 -2)	28.107	-0.004
9	30.029	2.9734	166	43.2	Clinoptilolite	2.9729	37.3	(1 5 1)	30.034	0.005
10	31.954	2.7985	106	27.6	Clinoptilolite	2.7967	25.4	(5 3 0)	31.975	0.021
11	32.721	2.7346	43	11.3	Clinoptilolite	2.7316	12.7	(2 6 -1)	32.758	0.037
12	33.672	2.6596	15	4.0	Clinoptilolite	2.6685	6.3	(2 0 2)	33.555	-0.117
13	35.372	2.5355	19	5.0	Clinoptilolite	2.5284	9.5	(6 2 0)	35.475	0.103
14	36.903	2.4338	31	8.1	Clinoptilolite	2.4383	12.7	(2 6 1)	36.832	-0.071
15	44.893	2.0174	33	8.6	Clinoptilolite	2.0169	3.2	(6 4 -3)	44.906	0.013
16	46.137	1.9659	32	8.4	Clinoptilolite	1.9748	3.2	(1 9 0)	45.916	-0.220
17	51.781	1.7641	23	5.9						

6.1.1.3 Sepiyolit

Doğal sepiyolit numunesi ait XRD grafiği Şekil 6.3’de ve XRD sonucu Çizelge 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6. 3. Doğal sepiyolit numunesinin XRD grafiği

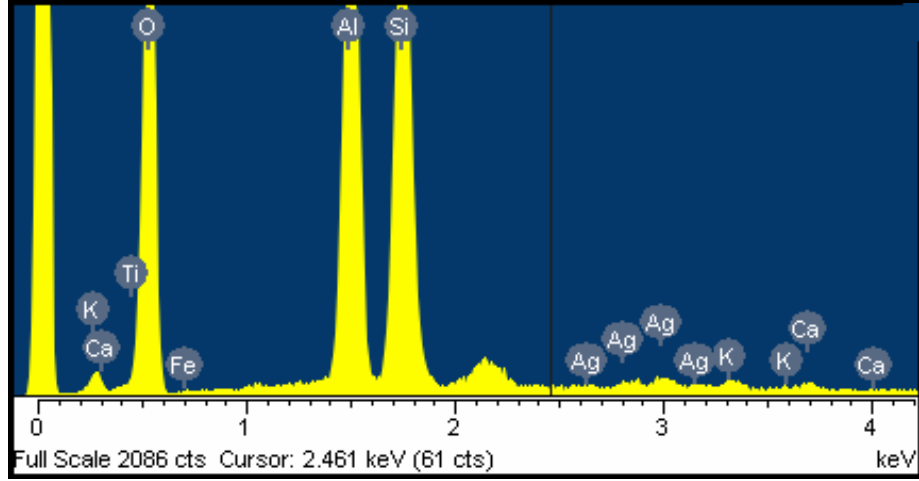
Çizelge 6. 3. Doğal sepiyolit numunesinin XRD sonucu

#	2-Theta	d(Å)	Height	Height%	Phase ID	d(Å)	I%	(h k l)	2-Theta	Delta
1	20.624	4.3032	142	8.9						
2	23.934	3.7150	140	8.8						
3	25.901	3.4372	113	7.1						
4	26.803	3.3235	128	8.0	Sepiolite	3.3500	30.0	(0 8 0)	26.587	-0.216
5	29.376	3.0380	790	49.3						
6	30.974	2.8848	1602	100.0						
7	33.552	2.6688	121	7.6						
8	35.093	2.5551	105	6.6						
9	37.393	2.4030	184	11.5						
10	39.483	2.2805	159	9.9						
11	41.151	2.1918	463	28.9						
12	42.985	2.1025	130	8.1						
13	43.889	2.0612	90	5.6						
14	44.988	2.0134	241	15.0						
15	47.408	1.9161	128	8.0						
16	48.517	1.8749	140	8.7						
17	49.297	1.8470	88	5.5						
18	51.065	1.7871	296	18.5						
19	58.948	1.5655	81	5.1						
20	59.877	1.5435	141	8.8	Sepiolite	1.5500	6.0	(7 9 1)	59.599	-0.279
21	63.439	1.4651	101	6.3						
22	67.445	1.3875	108	6.8						

6.1.2. Antibakteriyel hale getirilmiş malzemelerin karakterizasyonu

6.1.2.1 Kaolinit

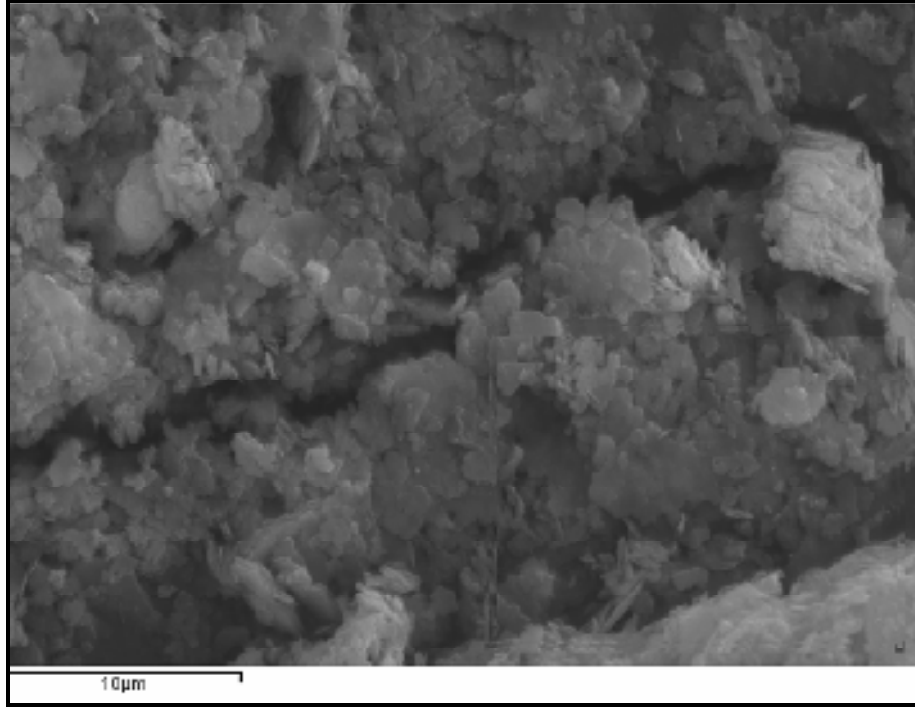
Fosforik asit ile kimyasal işlem uygulandıktan sonra gümüş iyonu tutundurularak antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait EDX analizinin grafiği Şekil 6.4’de, EDX analizinin sonucu Çizelge 6.4’de ve SEM görüntüsü Şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6. 4. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait EDX grafiği

Çizelge 6. 4. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait EDX sonucu

Element	Kütle (%)	Atomik (%)
Oksijen	65,89	77,48
Alüminyum	15,33	10,69
Silisyum	16,62	11,14
Potasyum	0,37	0,18
Kalsiyum	0,27	0,13
Titanyum	0,32	0,13
Demir	0,36	0,12
Gümüş	0,84	0,15

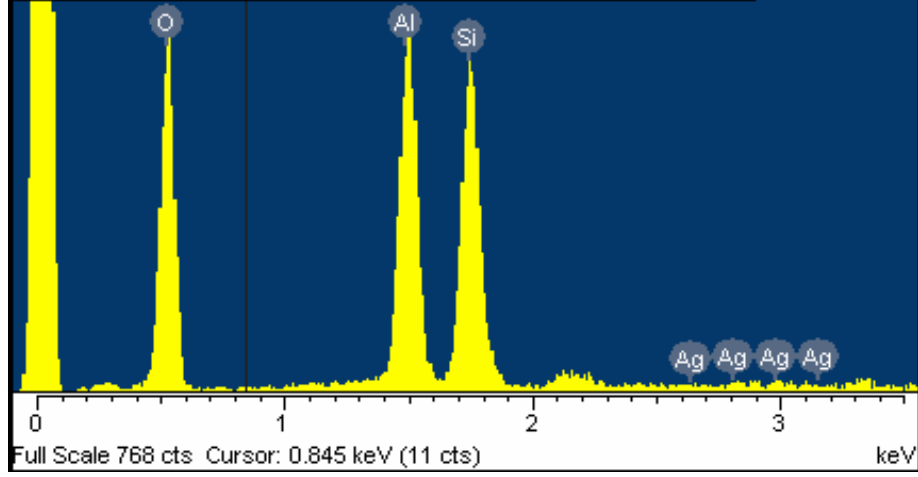


Şekil 6. 5. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait SEM görüntüsü

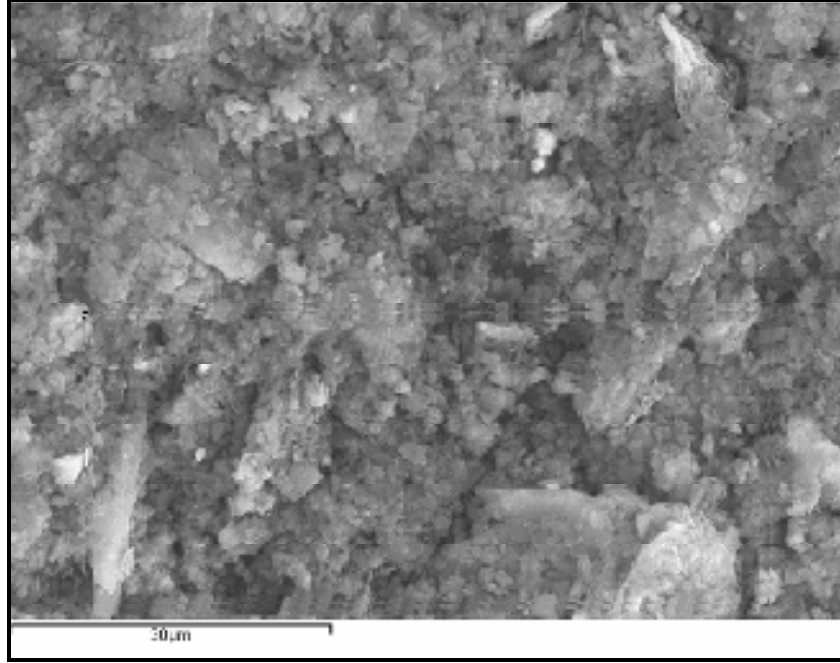
Fiziksel yolla gümüş iyonu tutundurularak antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait EDX analizinin grafiği Şekil 6.6'de, EDX analizinin sonucu Çizelge 6.5'de ve SEM görüntüsü Şekil 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6. 5. Fiziksel işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait EDX sonucu

Element	Kütle (%)	Atomik (%)
Oksijen	66,36	77,30
Alüminyum	16,01	11,06
Silisyum	17,50	11,61
Gümüş	0,13	0,02



Şekil 6. 6. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait EDX grafiği



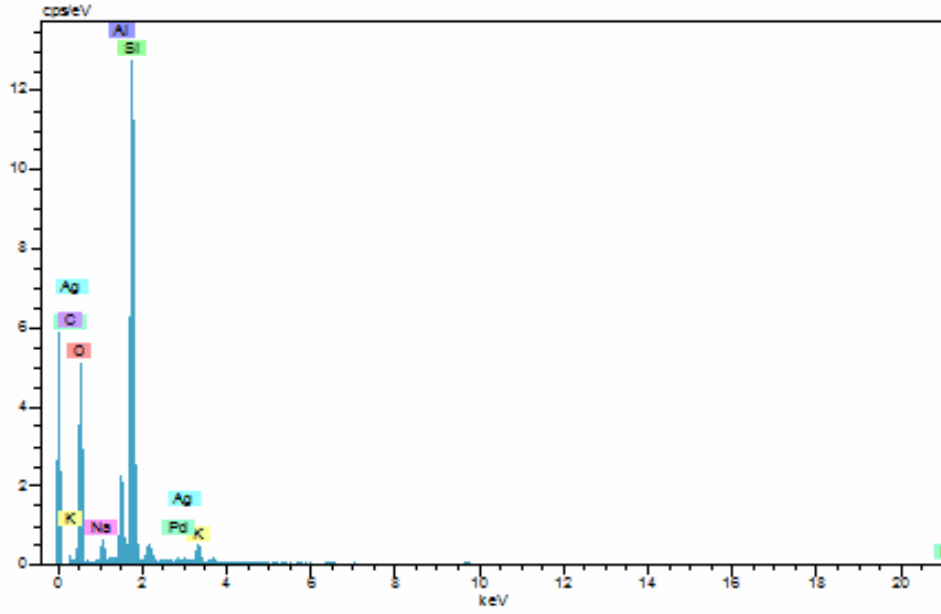
Şekil 6. 7. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesine ait SEM görüntüsü

6.1.2.2 Klinoptilolit

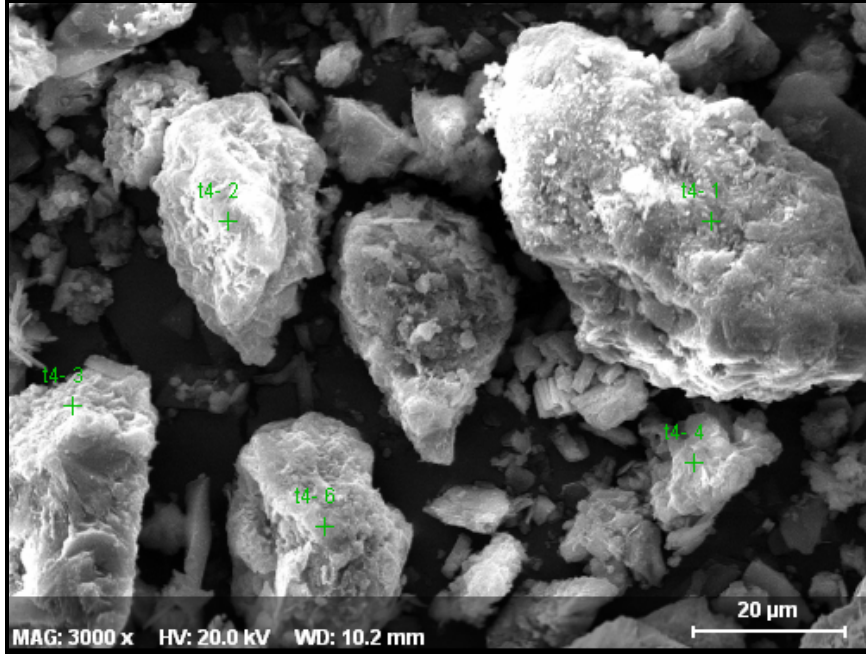
Fosforik asit ile kimyasal işlem uygulandıktan sonra gümüş iyonu tutundurularak antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait EDX analizinin grafiği Şekil 6.8’de, EDX analizinin sonucu Çizelge 6.6’de ve SEM görüntüsü Şekil 6.9’de verilmiştir.

Çizelge 6. 6. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait EDX sonucu

Element	Kütle (%)	Atomik (%)
Karbon	0,01	0,01
Sodyum	2,24	1,91
Alüminyum	5,09	3,69
Silikon	32,02	22,31
Potasyum	1,86	0,93
Gümüş	0,70	0,13
Oksijen	58,08	71,03



Şekil 6. 8. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait EDX grafiği

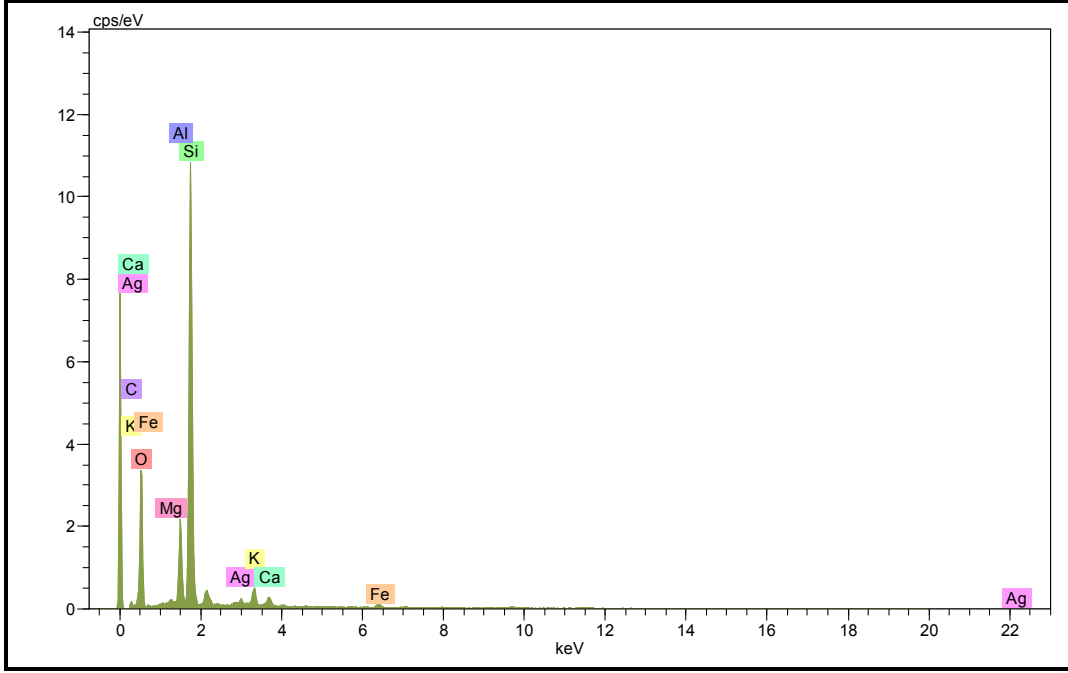


Şekil 6. 9. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait SEM görüntüsü

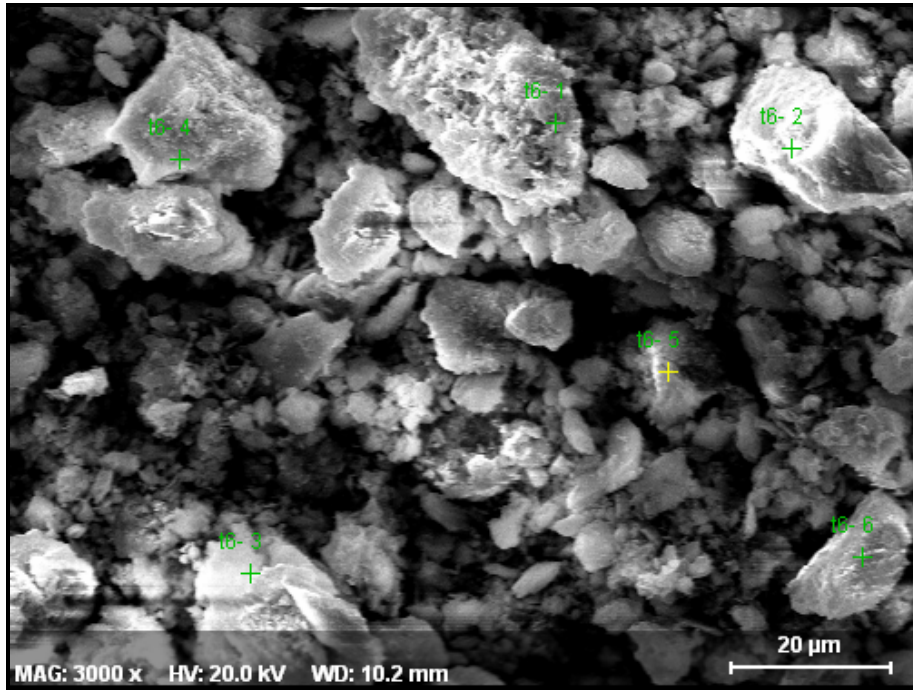
Fiziksel yolla gümüş iyonu tutundurularak antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait EDX analizinin grafiği Şekil 6.10’de, EDX analizinin sonucu Çizelge 6.7’de ve SEM görüntüsü Şekil 6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6. 7. Fiziksel işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait EDX sonucu

Element	Kütle (%)	Atomik (%)
Karbon	2,07	3,19
Magnezyum	0,20	0,15
Alüminyum	4,40	3,02
Silikon	24,41	16,11
Potasyum	1,41	0,67
Kalsiyum	0,53	0,25
Demir	0,42	0,14
Gümüş	0,65	0,11
Oksijen	65,90	76,35



Şekil 6. 10. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesine ait EDX grafiği



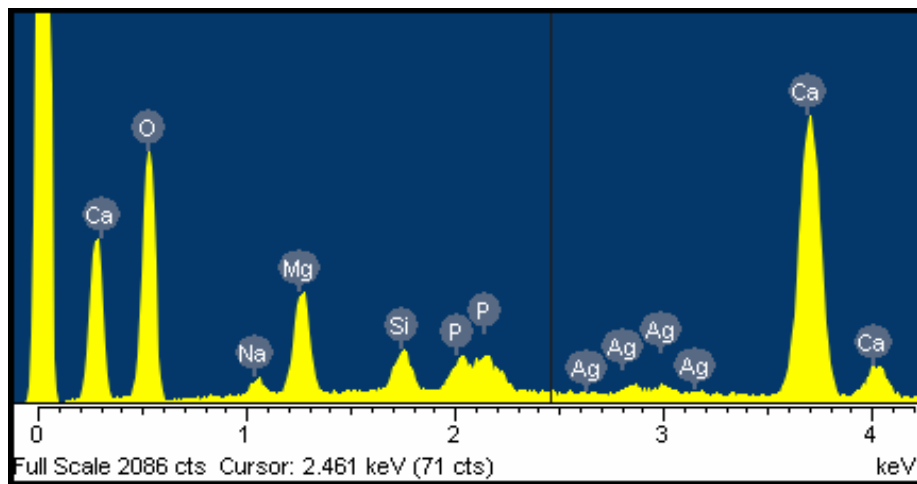
Şekil 6. 11. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen klimoptilolit numunesine ait SEM görüntüsü

6.1.2.3 Sepiyolit

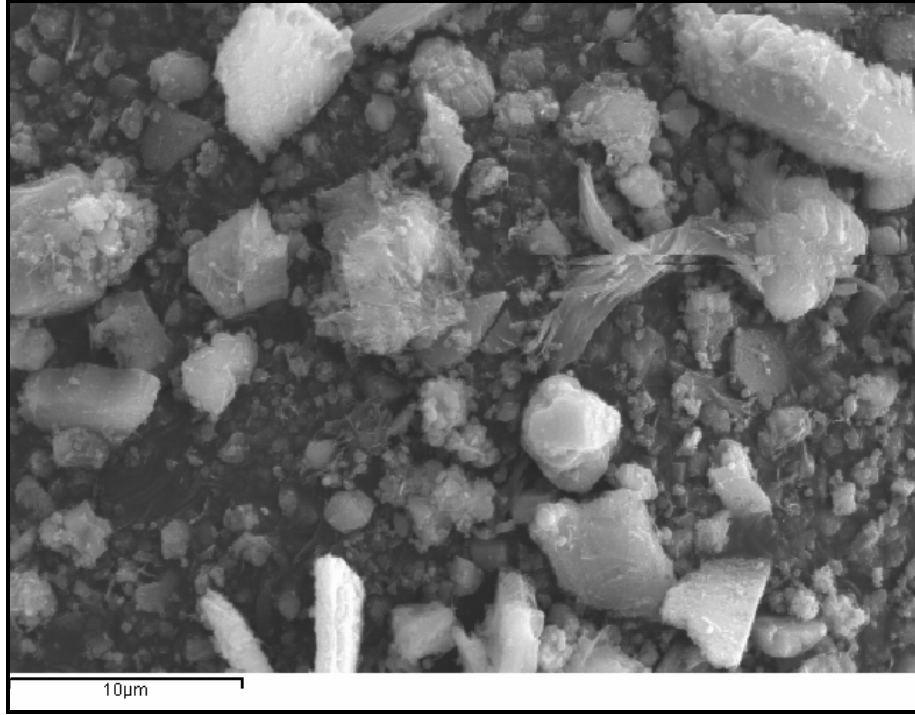
Fosforik asit ile kimyasal işlem uygulandıktan sonra gümüş iyonu tutundurularak antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait EDX analizinin grafiği Şekil 6.12’de, EDX analizinin sonucu Çizelge 6.8’de ve SEM görüntüsü Şekil 6.13’de verilmiştir.

Çizelge 6. 8. Kimyasal işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait EDX sonucu

Element	Kütle (%)	Atomik (%)
Oksijen	68,27	81.88
Sodyum	1,41	1.17
Magnezyum	6,55	5,17
Silisyum	2,01	1,37
Fosfor	1,58	0,98
Kalsiyum	19,39	9,28
Gümüş	0,79	0,14



Şekil 6. 12. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait EDX grafiği

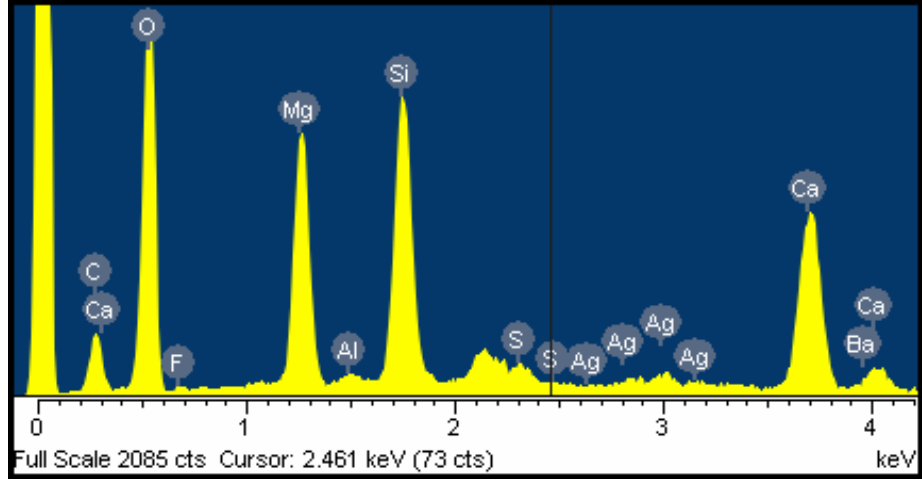


Şekil 6. 13. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait SEM görüntüsü

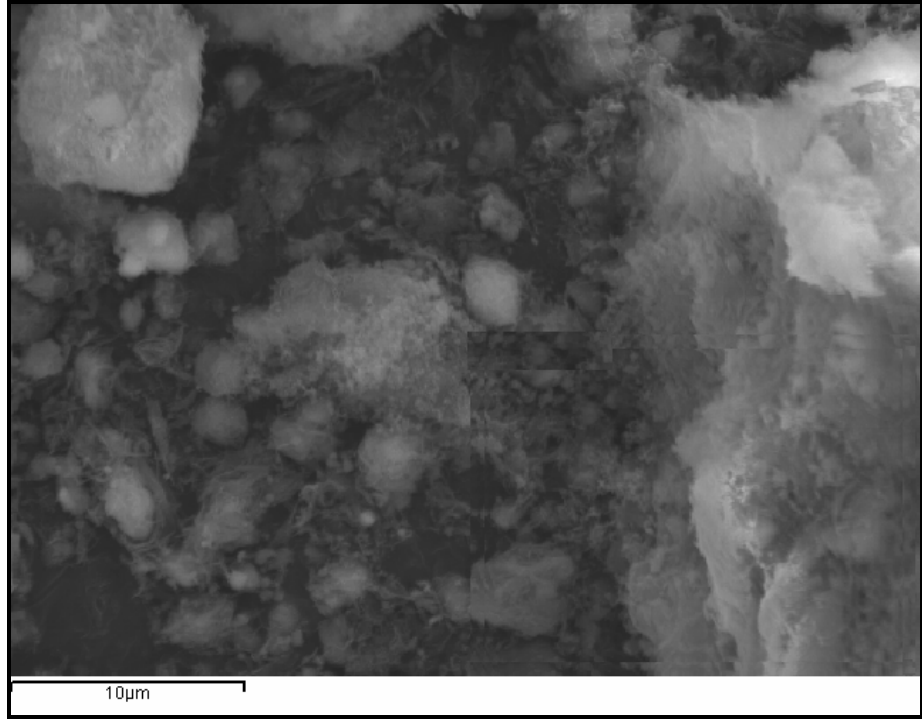
Fiziksel yolla gümüş iyonu tutundurularak antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait EDX analizinin grafiği Şekil 6.14’de, EDX analizinin sonucu Çizelge 6.9’de ve SEM görüntüsü Şekil 6.15’de verilmiştir.

Çizelge 6. 9. Fiziksel işlem uygulanarak antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait EDX sonucu

Element	Kütle (%)	Atomik (%)
Karbon	17,79	25,47
Oksijen	55,44	59,60
Flor	2,09	1,89
Magnezyum	7,49	5,30
Alüminyum	0,14	0,09
Silisyum	6,74	4,13
Kükürt	0,56	0,30
Kalsiyum	6,49	2,78
Gümüş	0,75	0,12
Baryum	2,50	0,31



Şekil 6. 14. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait EDX grafiği

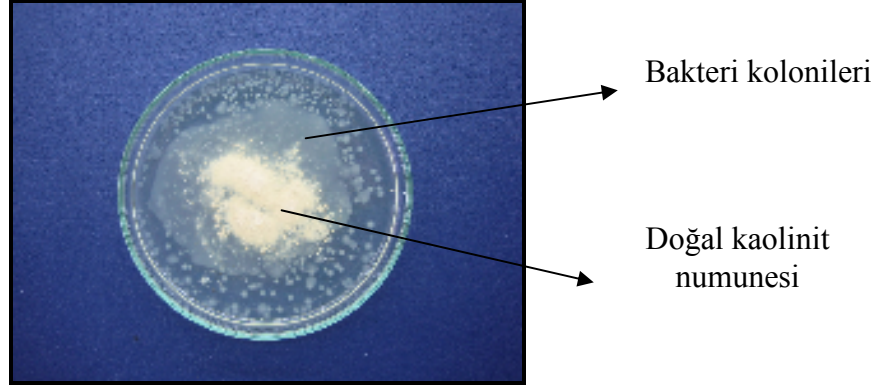


Şekil 6. 15. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesine ait SEM görüntüsü

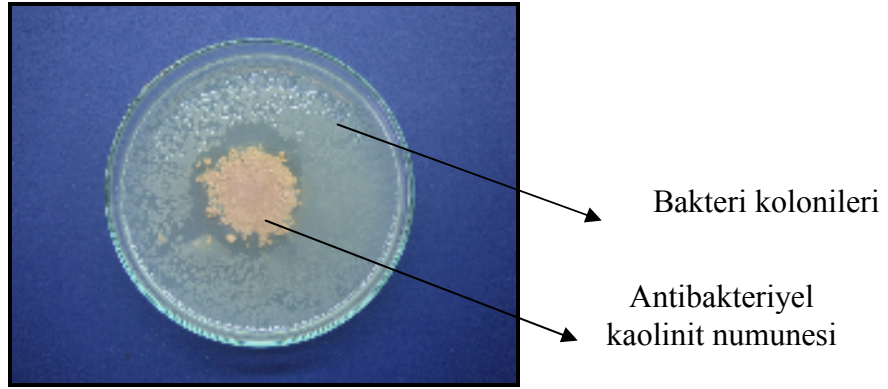
6.1.3. Üretilen malzemelerin antibakteriyel etkinliği

6.1.3.1 Kaolinit'in antibakteriyel etkinliği

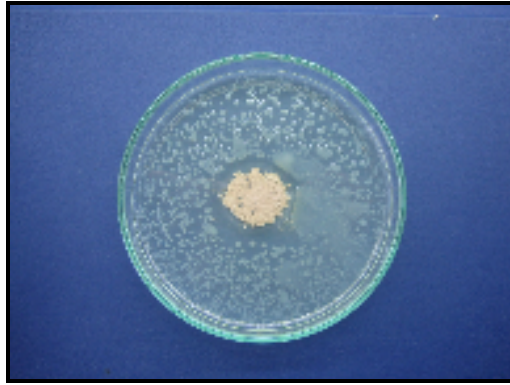
Aşağıda antibakteriyel etkiye sahip olmayan şahit numune ve antibakteriyel etkiye sahip kaolinit numunelerine ait fotoğraflar Şekil 6.16-18'da verilmektedir.



Şekil 6. 16. Şahit Kaolinit Numunesi



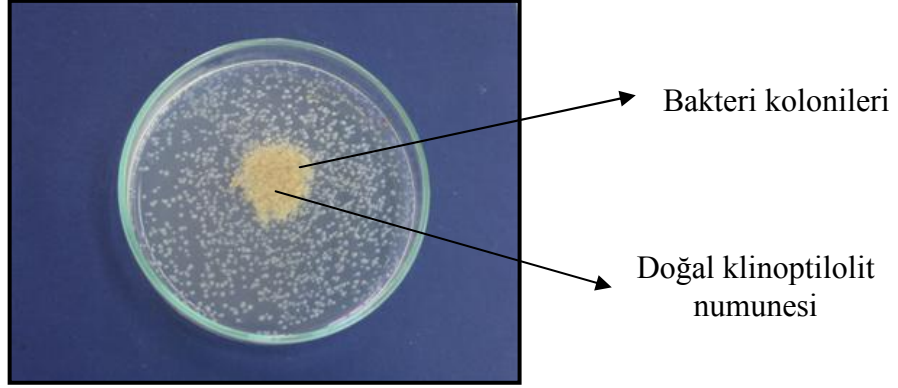
Şekil 6. 17. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesi



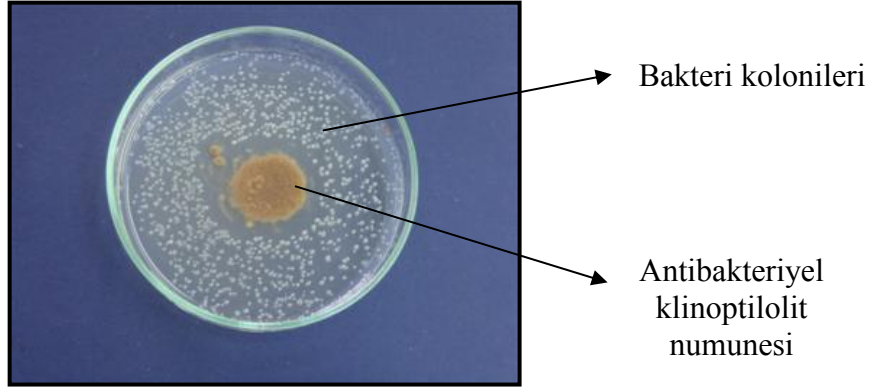
Şekil 6. 18. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesi

6.1.3.2 Klinoptilolit'in antibakteriyel etkinliği

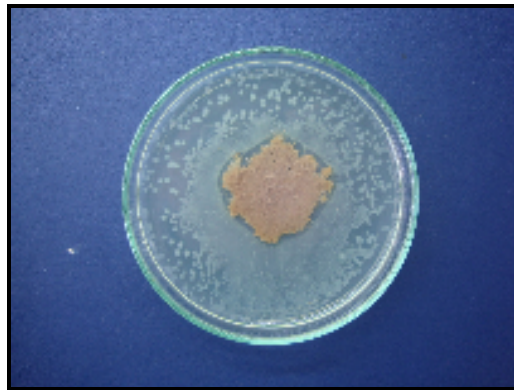
Aşağıda antibakteriyel etkiye sahip olmayan şahit numune ve antibakteriyel etkiye sahip klinoptilolit numunelerine ait fotoğraflar şekil 6.19-21'de verilmektedir.



şekil 6. 19. şahit klinoptilolit numune



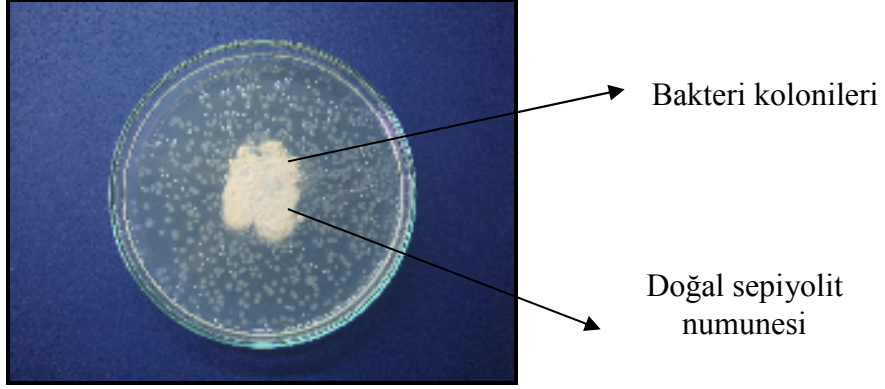
şekil 6. 20. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesi



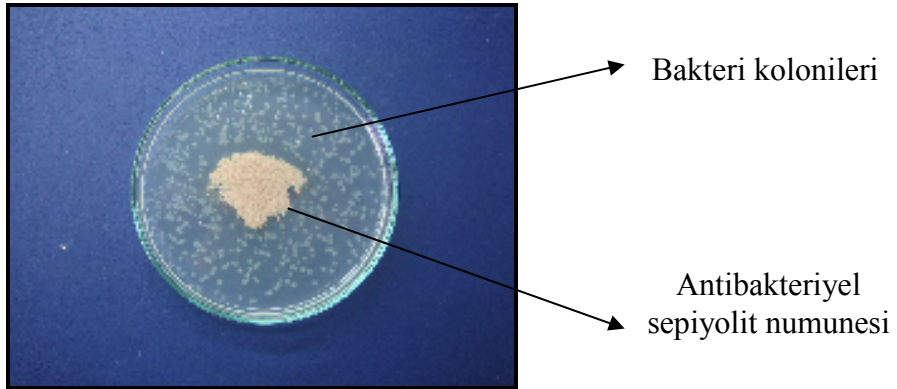
şekil 6. 21. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesi

6.1.3.3 Sepiyolit'in antibakteriyel etkinliği

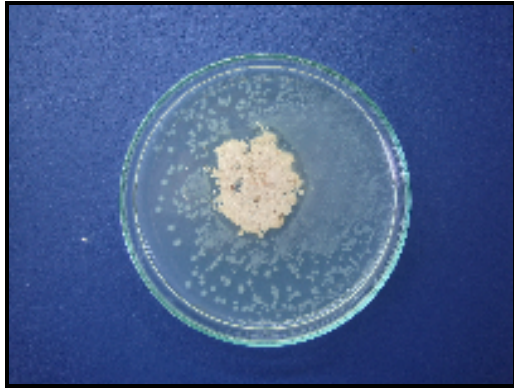
Aşağıda antibakteriyel etkiye sahip olmayan şahit numune ve antibakteriyel etkiye sahip sepiyolit numunelerine ait fotoğraflar şekil 6.22-24'de verilmektedir.



şekil 6. 22. şahit sepiyolit numune



şekil 6. 23. Kimyasal yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesi



şekil 6. 24. Fiziksel yolla antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesi

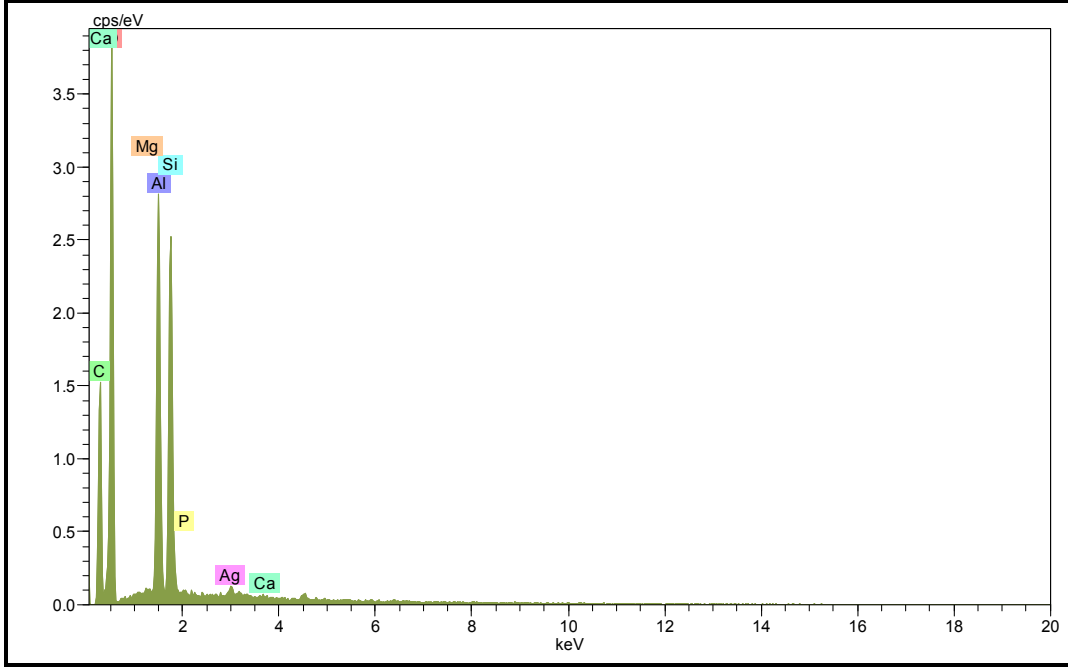
6.1.4. Üretilen malzemelerin gümüş salımları

6.1.4.1 Kaolinitin gümüş salımı

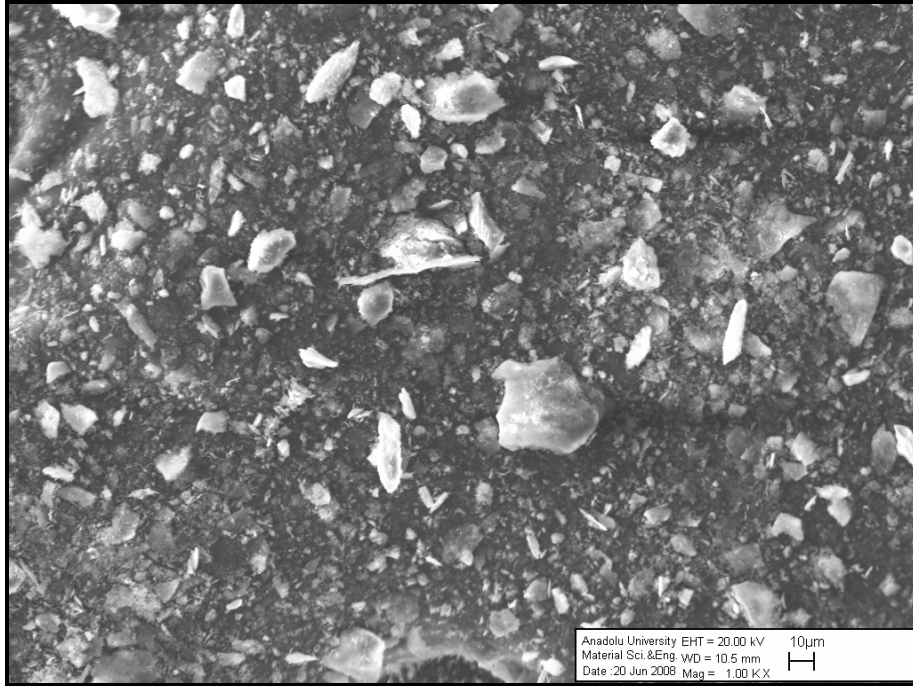
Fosforik asit ile kimyasal işlem uygulandıktan sonra gümüş iyonu tutundurulmuş antibakteriyel duruma getirilen kaolinit numunesinin 30 günlük salım sonrasında ait EDX analizinin sonucu Çizelge 6.10'da EDX analizinin grafiği Şekil 6.25'de ve SEM görüntüsü Şekil 6.26'de verilmiştir.

Çizelge 6. 10. Kimyasal işlem uygulanan kaolinit numunesinin salım sonrası EDX sonucu

Element	Kütle (%)	Atomik (%)
Karbon	13,62	17,51
Sodyum	0,19	0,12
Magnezyum	0,14	0,09
Alüminyum	11,30	6,46
Silikon	11,18	6,14
Fosfor	0,18	0,09
Potasyum	0,12	0,05
Kalsiyum	0,13	0,05
Gümüş	0,70	0,10
Oksijen	71,90	69,38



Şekil 6. 25. Kimyasal işlem uygulanan kaolinit numunesinin salım sonrası EDX grafiği



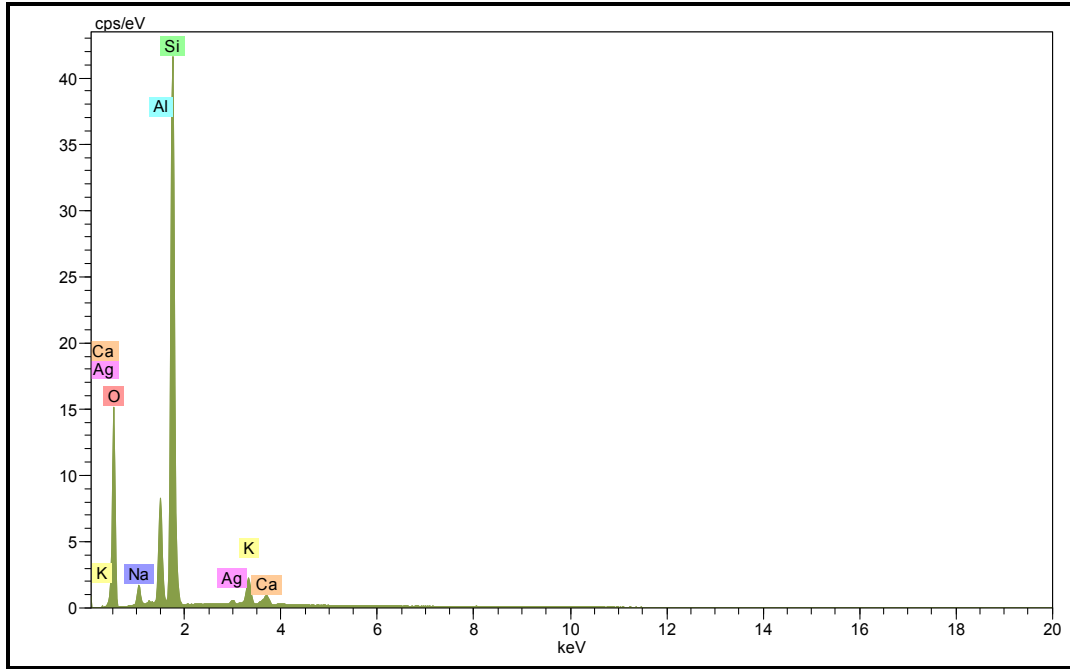
Şekil 6. 26. Kimyasal işlem uygulanan kaolinit numunesinin salım sonrası SEM görüntüsü

6.1.4.2 Klinoptilolit'in gümüş salımı

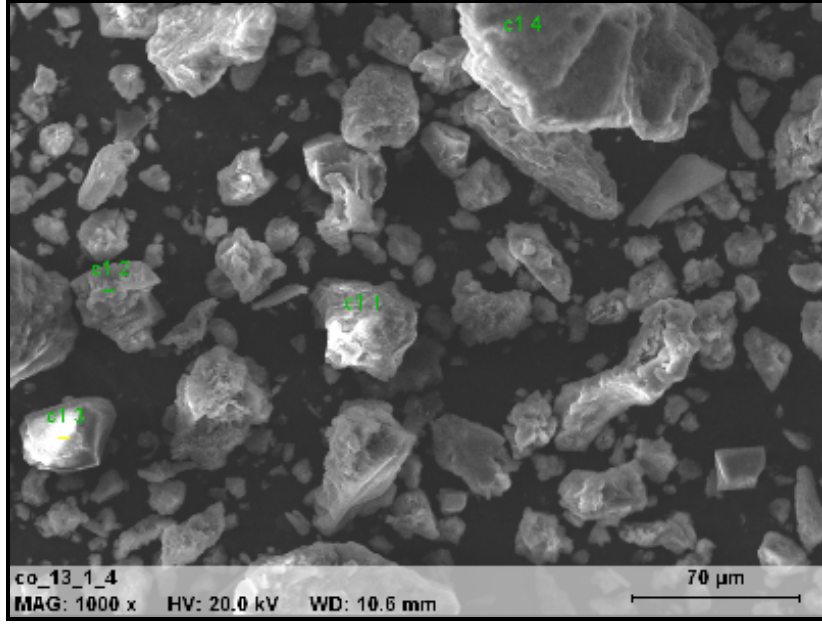
Fosforik asit ile kimyasal işlem uygulandıktan sonra gümüş iyonu tutundurularak antibakteriyel duruma getirilen klinoptilolit numunesinin 30 günlük salım sonrasına ait EDX analizinin sonucu Çizelge 6.11'da EDX analizinin grafiği Şekil 6.27'de ve SEM görüntüsü Şekil 6.28'de verilmiştir.

Çizelge 6. 11. Kimyasal işlem uygulanan klinoptilolit numunesinin salım sonrası EDX sonucu

Element	Kütle (%)	Atomik (%)
Karbon	2,12	3,67
Sodyum	1,52	1,37
Magnezyum	0,00	0,00
Alüminyum	5,53	4,26
Silikon	32,07	23,73
Potasyum	2,48	1,32
Kalsiyum	0,93	0,48
Gümüş	0,54	0,10
Oksijen	50,11	65,07



Şekil 6. 27. Kimyasal işlem uygulanan klinoptilolit numunesinin salım sonrası EDX grafiği



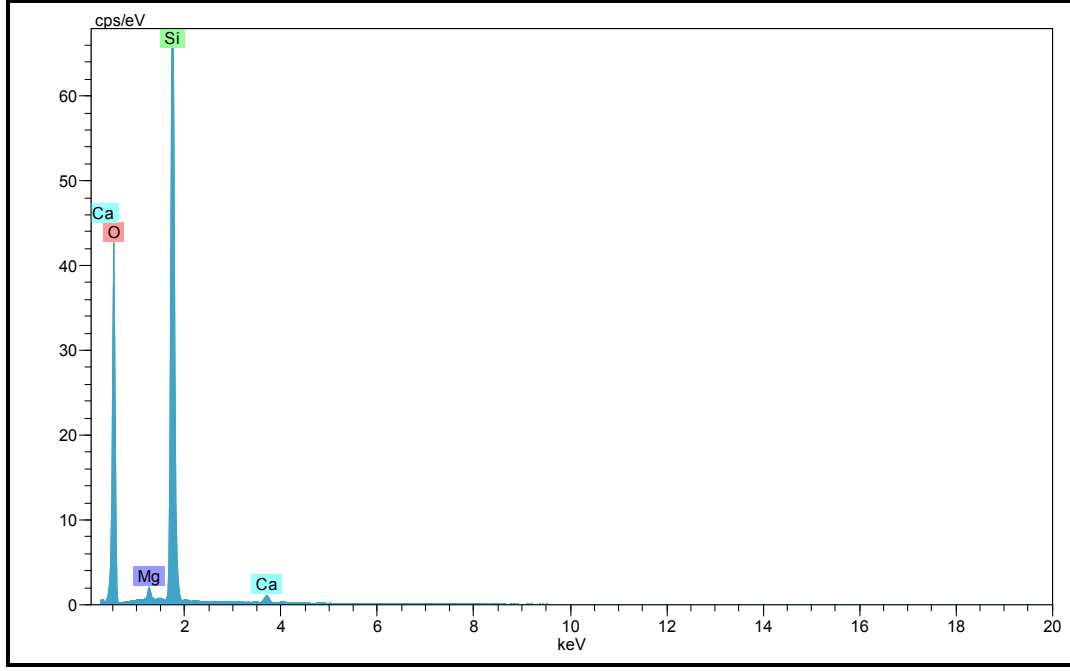
Şekil 6. 28. Kimyasal işlem uygulanan klinoptilolit numunesinin salım sonrası SEM görüntüsü

6.1.4.3 Sepiyolitın gümüş salımı

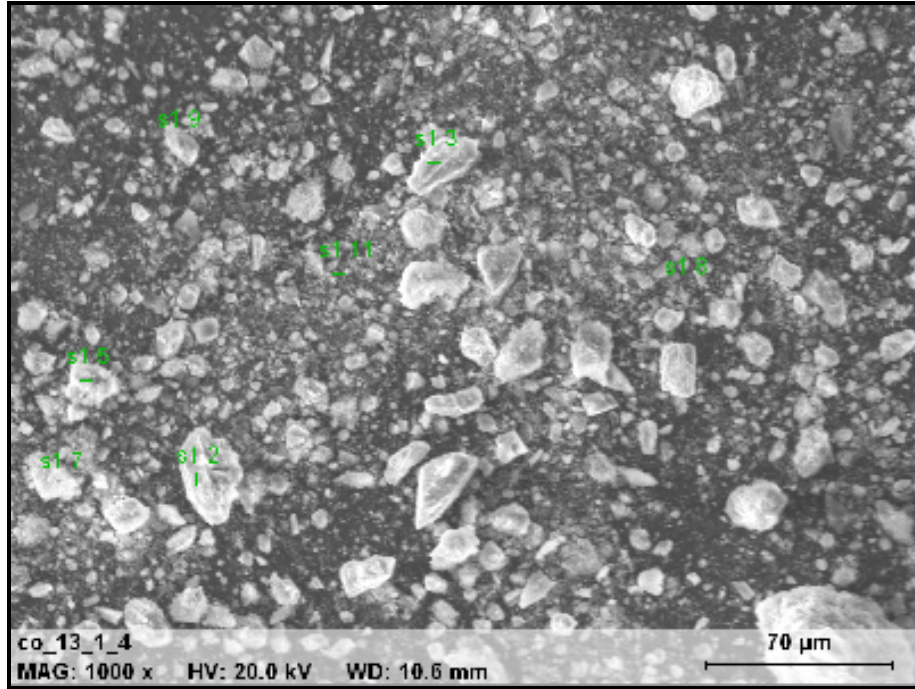
Fosforik asit ile kimyasal işlem uygulandıktan sonra gümüş iyonu tutundurularak antibakteriyel duruma getirilen sepiyolit numunesinin 30 günlük salım sonrasına ait EDX analizinin sonucu Çizelge 6.12’de EDX analizinin grafiği Şekil 6.29’da ve SEM görüntüsü Şekil 6.30’da verilmiştir.

Çizelge 6. 12. Kimyasal işlem uygulanan klinoptilolit numunesinin salım sonrası EDX sonucu

Element	Kütle (%)	Atomik (%)
Karbon	3,26	6,44
Sodyum	0,00	0,00
Magnezyum	4,48	4,37
Silikon	2,65	2,23
Fosfor	1,56	1,20
Kalsiyum	31,07	18,38
Zirkonyum	0,27	0,07
Gümüş	0,36	0,08
Oksijen	45,38	67,23



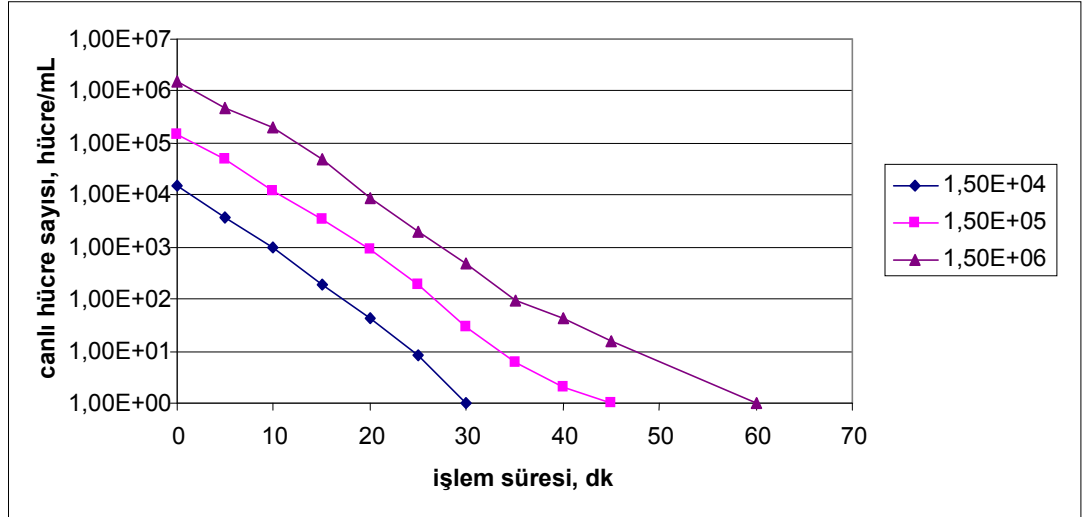
Şekil 6. 29. Kimyasal işlem uygulanan sepiyolit numunesinin salım sonrası EDX grafiği



Şekil 6. 30. Kimyasal işlem uygulanan sepiyolit numunesinin salım sonrası SEM görüntüsü

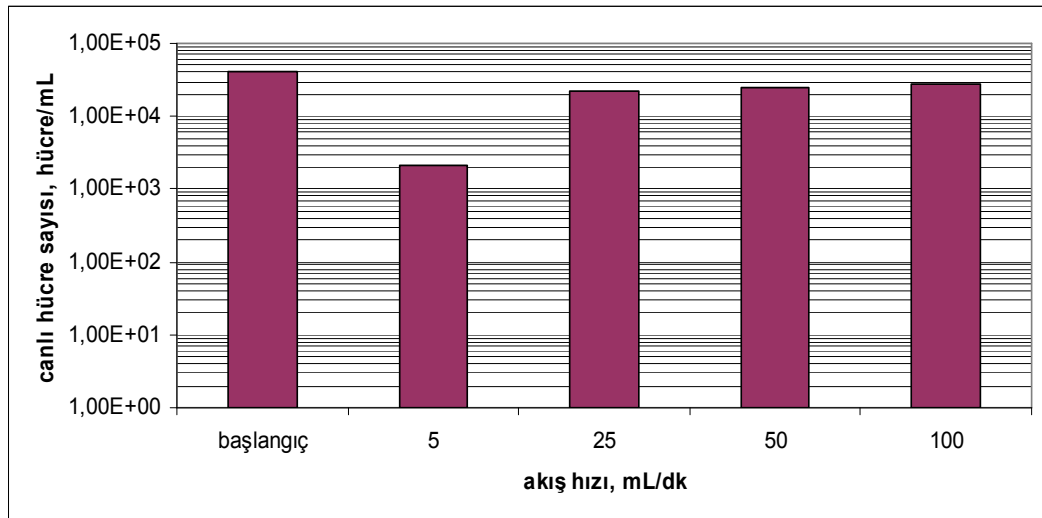
6.2. Antibakteriyel Dolgulu Kolonun Etkinliğinin İncelenmesi

Antibakteriyel dolgulu kolonda farklı başlangıç bakteri derişimlerinde 50 mL/dk akış hızında 150 mL çalışma çözelti ile gerçekleştirilen geri döngülü çalışmaya ait deney sonuçları Şekil 6.31’de verilmiştir.

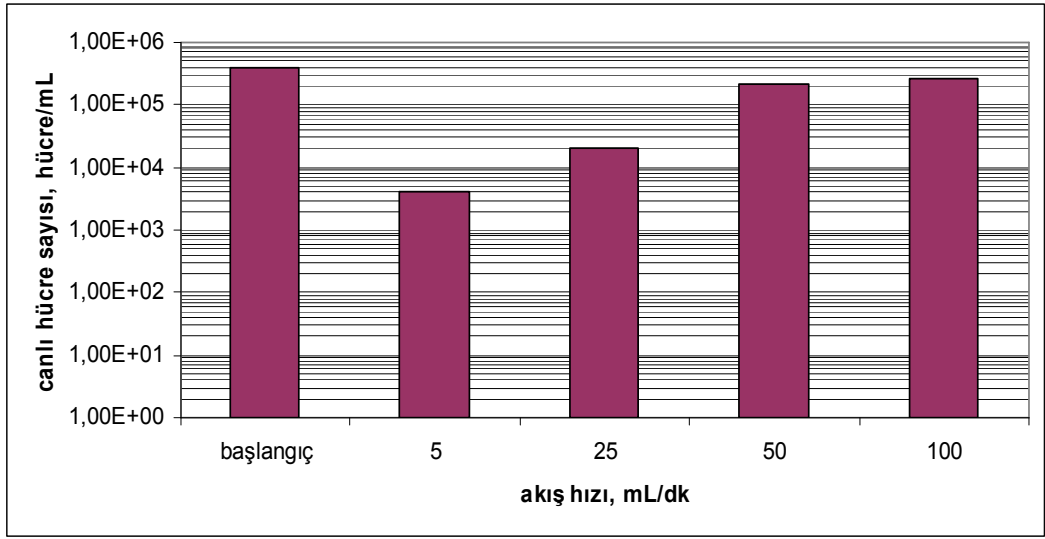


Şekil 6. 31. Antibakteriyel dolgulu kolonda başlangıç bakteri derişiminin etkisi

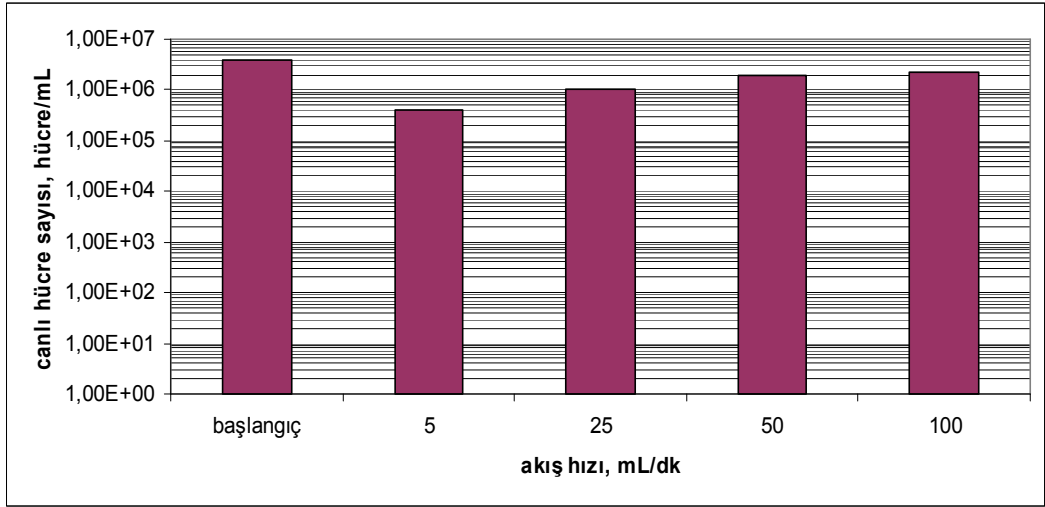
Antibakteriyel dolgulu kolonda farklı akış hızlarında ve farklı başlangıç bakteri derişimlerinde sürekli sistemde gerçekleştirilen çalışmalara ait deney sonuçları Şekil 6.32 - 34’de verilmiştir.



Şekil 6. 32. 4×10^4 /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi



Şekil 6. 33. 5×10^4 /mL başlangıç bakteri derişimininde akış hızının etkisi



Şekil 6. 34. 6×10^4 /mL başlangıç bakteri derişimininde akış hızının etkisi

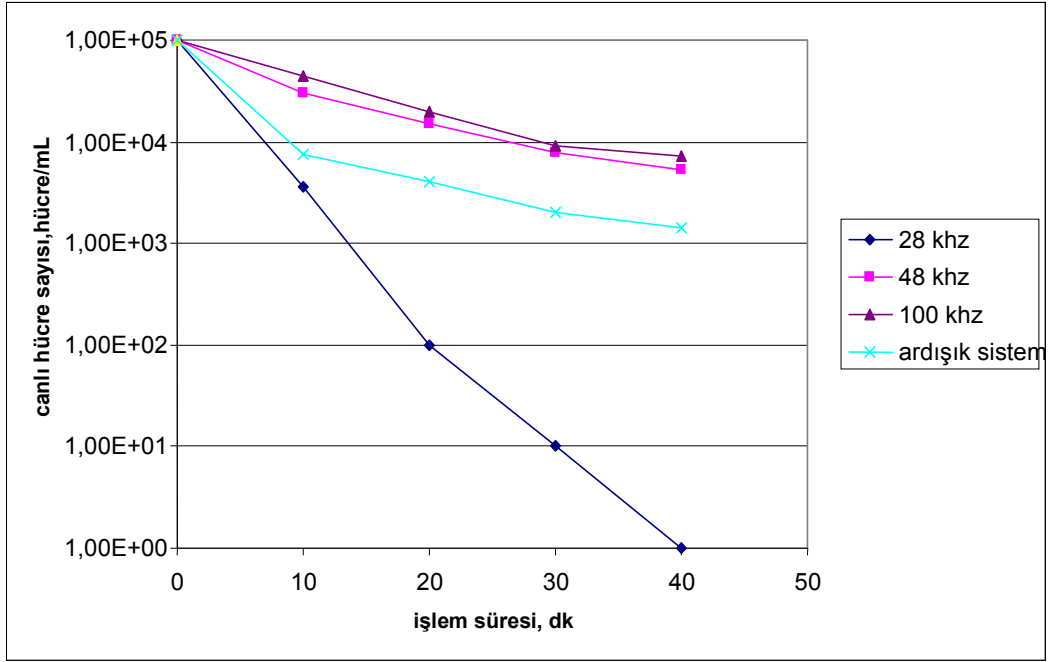
6.3. Ultrasonik Sistemlerin Etkinliğinin İncelenmesi

Düşük frekanslı ultrasonik reaktör ve yüksek frekanslı ultrasonik reaktörün etkinliği incelenmiştir.

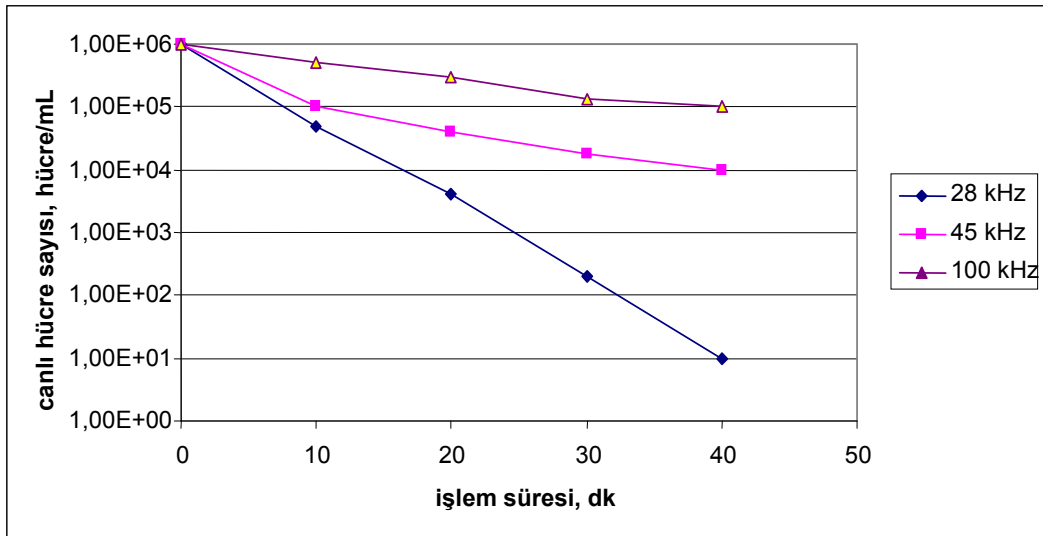
6.3.1. Düşük frekanslı ultrasonik reaktörün etkinliğinin incelenmesi

6.3.1.1 Ultrasonik frekansın etkisinin incelenmesi

Farklı başlangıç bakteri derişimlerinde ($1 \times 10^5/\text{mL}$, $1 \times 10^6/\text{mL}$) gerçekleştirilen frekans etkisinin incelendiği çalışmanın sonuçları Şekil 7.35 ve Şekil 7.36'da verilmektedir.



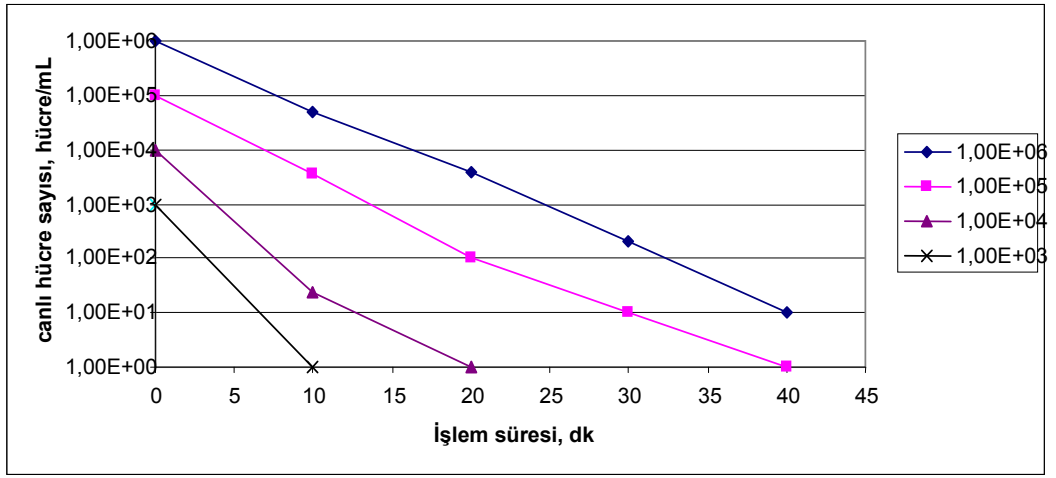
Şekil 6. 35. $1 \times 10^5/\text{mL}$ başlangıç bakteri derişimininde ultrasonik frekansın etkisi



Şekil 6. 36. $1 \times 10^6/\text{mL}$ başlangıç bakteri derişimininde ultrasonik frekansın etkisi

6.3.1.2 Başlangıç hücre derişiminin etkisinin incelenmesi

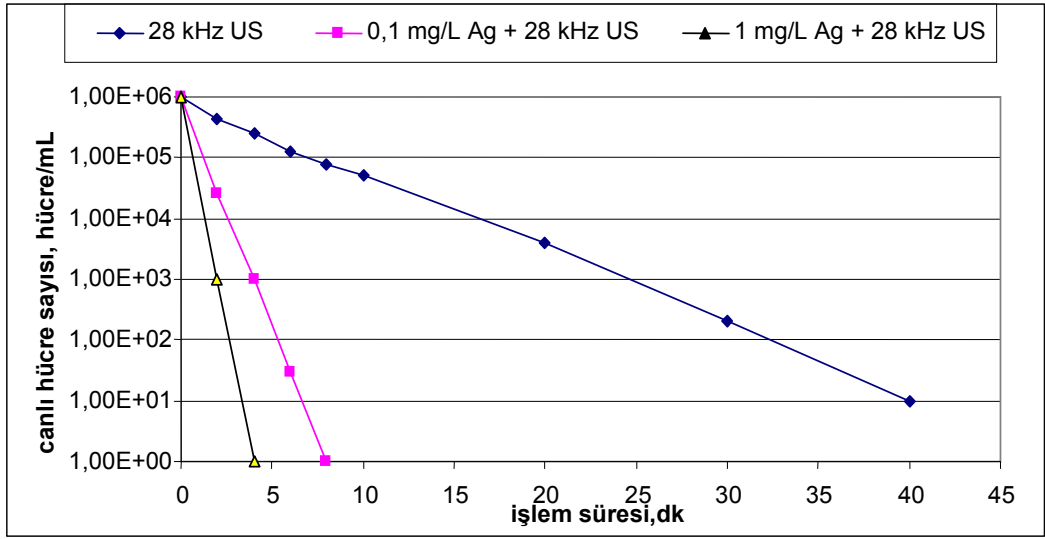
Bu çalışma, farklı başlangıç hücre derişimlerine sahip çalışma çözeltileri ile en iyi dezenfeksiyon veriminin elde edildiği 28 kHz frekans'da gerçekteşirilmifştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 6.37'de verilmiştir.



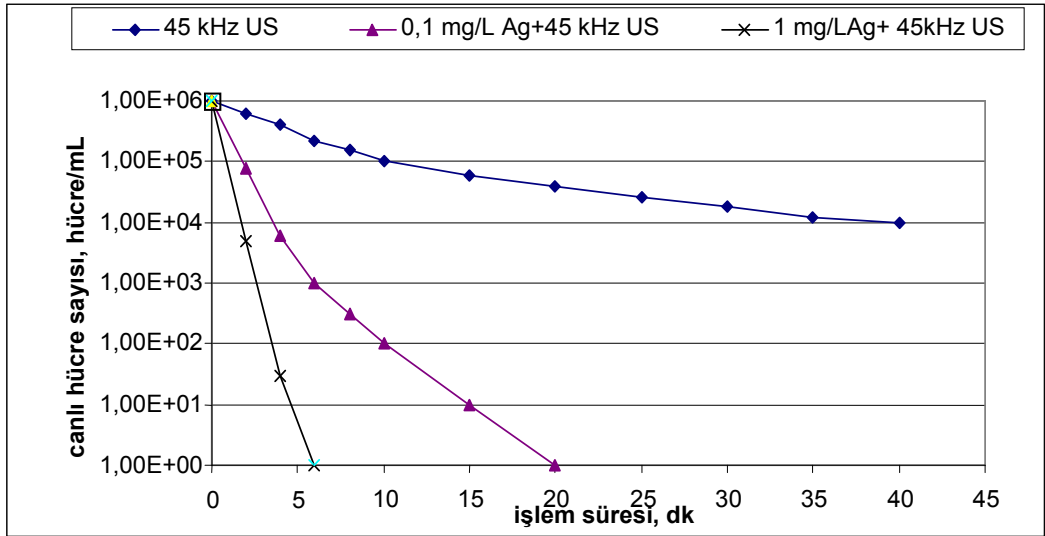
Şekil 6. 37. 28 kHz'de başlangıç bakteri derişiminin etkisi

6.3.1.3 Ag⁺ iyonun etkisinin incelenmesi

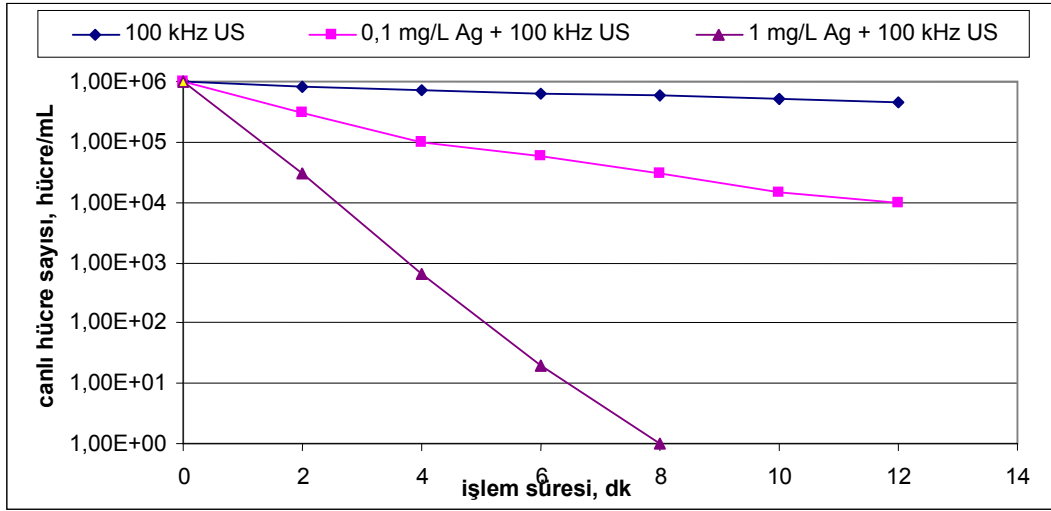
Başlangıç hücre derişim 10⁶ hücre / mL olan ve farklı Ag⁺ iyon derişimleri içeren çalışma çözeltilisine 28, 45 ve 100 kHz frekanslarda ultrasonik güç uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.38-43'te verilmiştir.



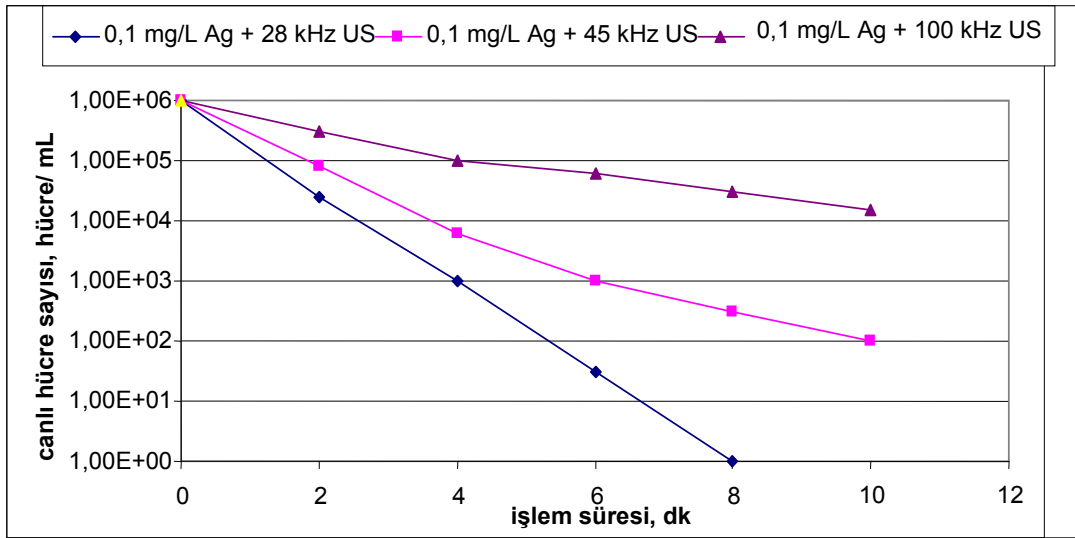
Şekil 6. 38. 28 kHz'de Ag⁺ iyonunun etkisi



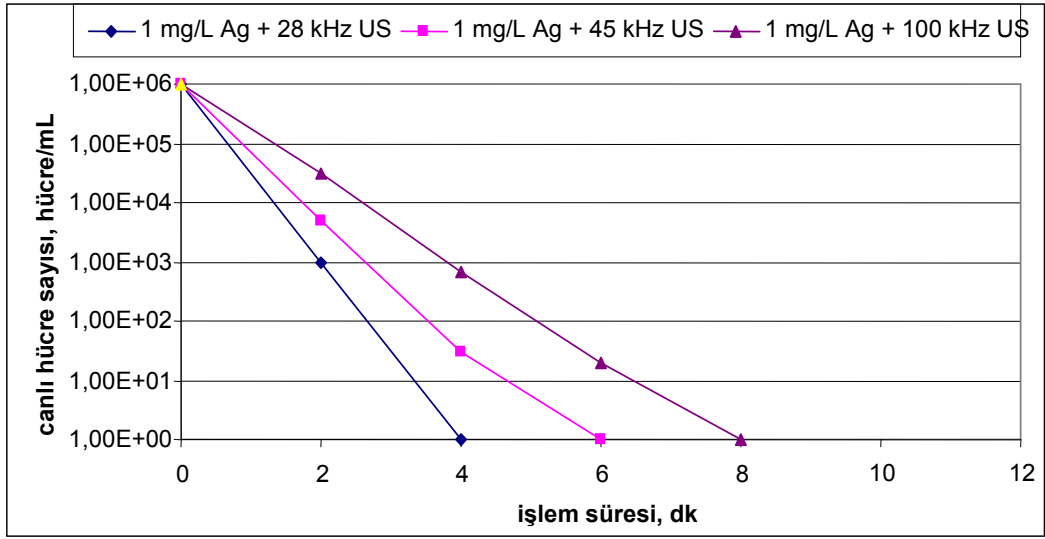
Şekil 6. 39. 45 kHz'de Ag⁺ iyonunun etkisi



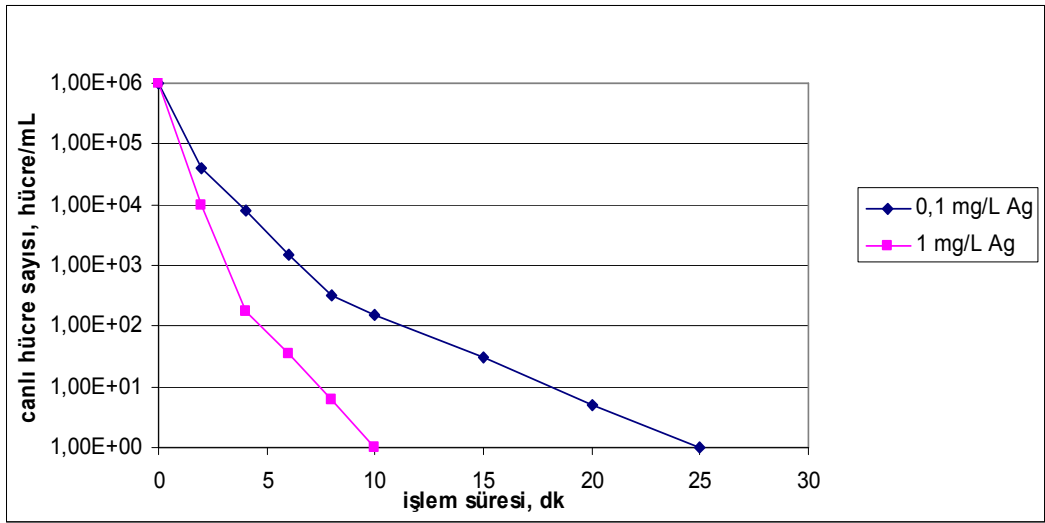
Şekil 6. 40. 100 kHz'de Ag⁺ iyonunun etkisi



Şekil 6. 41. 0,1 mg/L Ag⁺ iyonunun 1x10⁶ başlangıç bakteri derişiminde ve farklı frekanslarda etkisi



Şekil 6. 42. 1 mg/L Ag⁺ iyonunun 1x10⁶ başlangıç bakteri derişiminde ve farklı frekanslarda etkisi

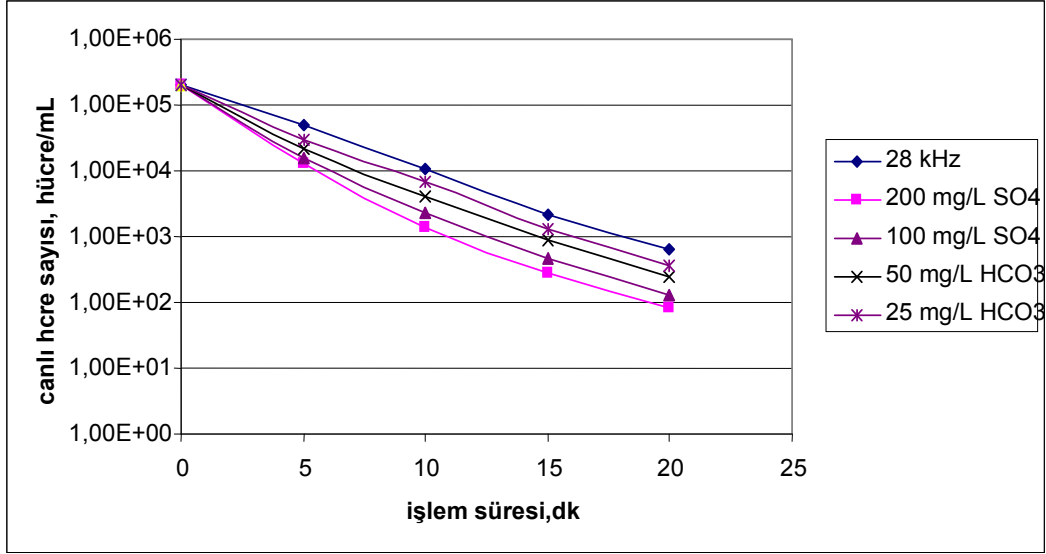


Şekil 6. 43. 1x10⁶ başlangıç bakteri derişiminde Ag⁺ iyonunun etkisi

6.3.1.4 Suda eşlik eden iyonların dezenfeksiyona etkisinin incelenmesi

Bu çalışmada sodyum tuzları olarak bikarbonat ve sülfat iyonları kullanılmıştır. Çalışmada 2x10⁵/mL başlangıç bakteri derişiminde, 100 mL çalışma çözeltisi ile 28 kHz ultrasonik frekansta 200 mg/L SO₄²⁻, 100 mg/L SO₄²⁻,

50 mg/L HCO_3^- ve 25 mg/L HCO_3^- iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.44'de verilmiştir.

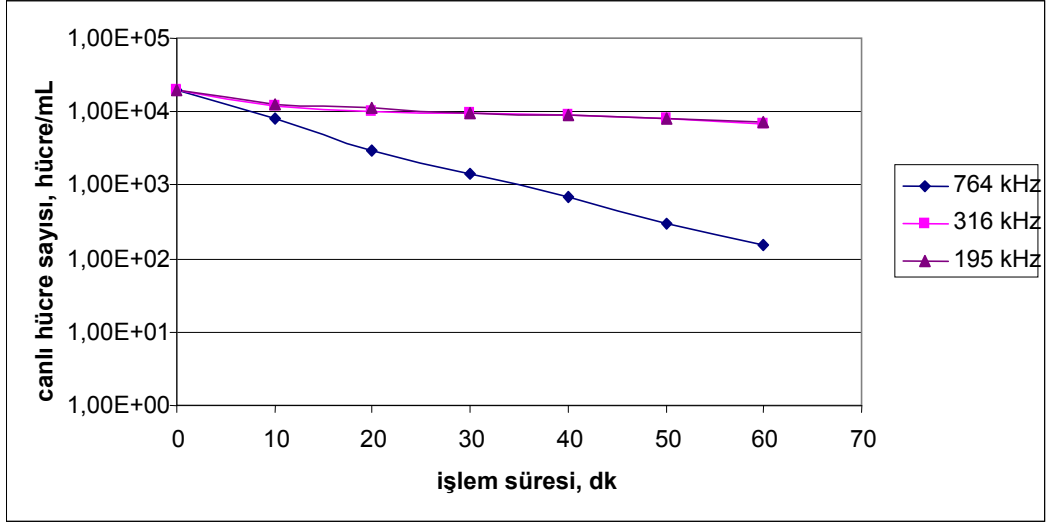


Şekil 6. 44. SO_4^{2-} ve HCO_3^- iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi

6.3.2. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktörün etkinliğinin incelenmesi

6.3.2.1 Ultrasonik frekansın etkisinin incelenmesi

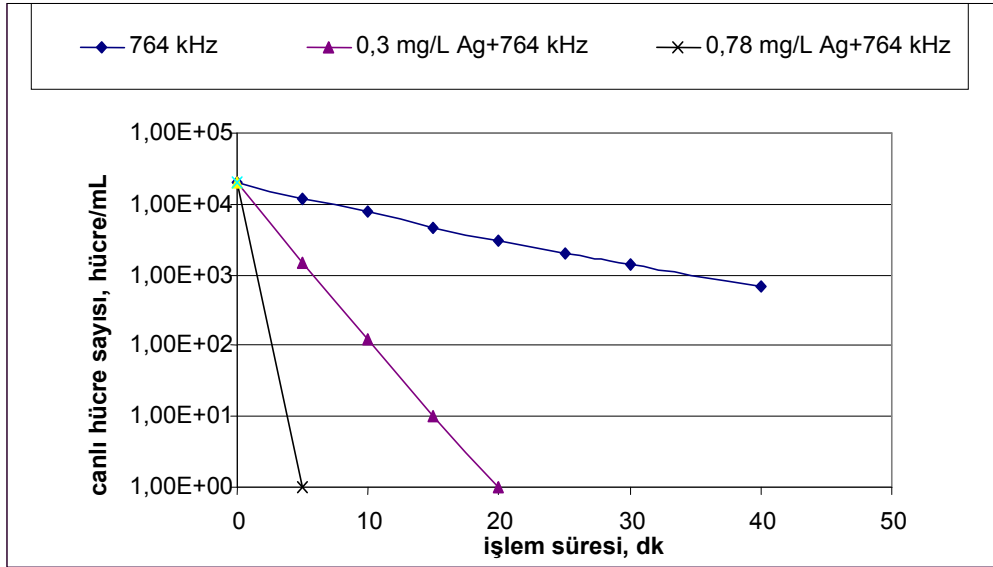
2×10^4 /mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilen frekans etkisinin incelendiği çalışmanın sonuçları Şekil 6.45'te verilmektedir.



Şekil 6. 45. 2×10^4 /mL başlangıç bakteri derişimininde ultrasonik frekansın etkisi

6.3.2.2 Ag^+ iyonunun etkisinin incelenmesi

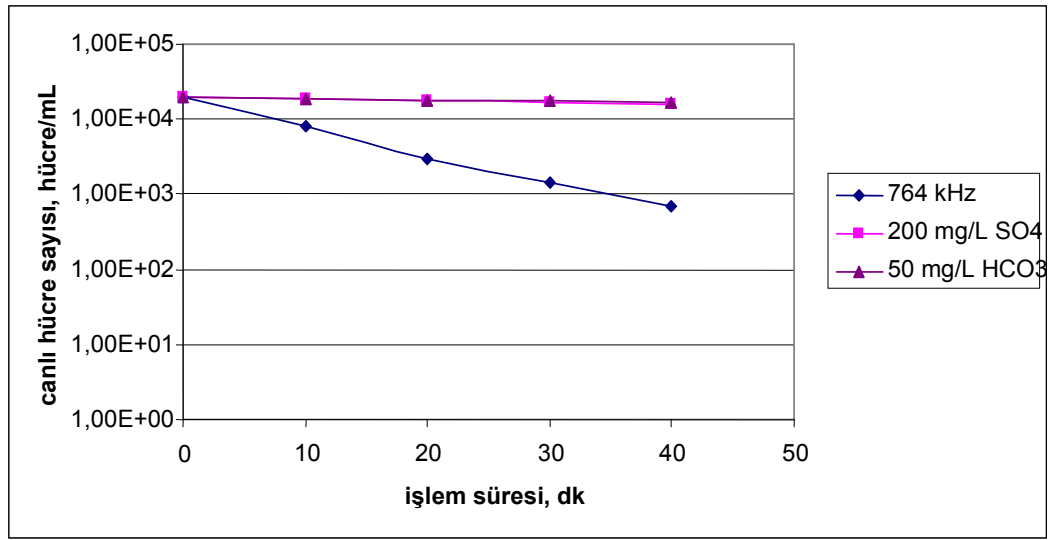
Başlangıç hücre derişim 2×10^4 hücre / mL olan ve farklı Ag^+ iyon derişimleri içeren çalışma çözeltilisine 764 kHz frekansta ultrasonik güç uygulanmıştır. Elde edilen sonuç Şekil 6.46'da verilmiştir.



Şekil 6. 46. Ag^+ iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi

6.3.2.3 Suda eşlik eden iyonların dezenfeksiyona etkisinin incelenmesi

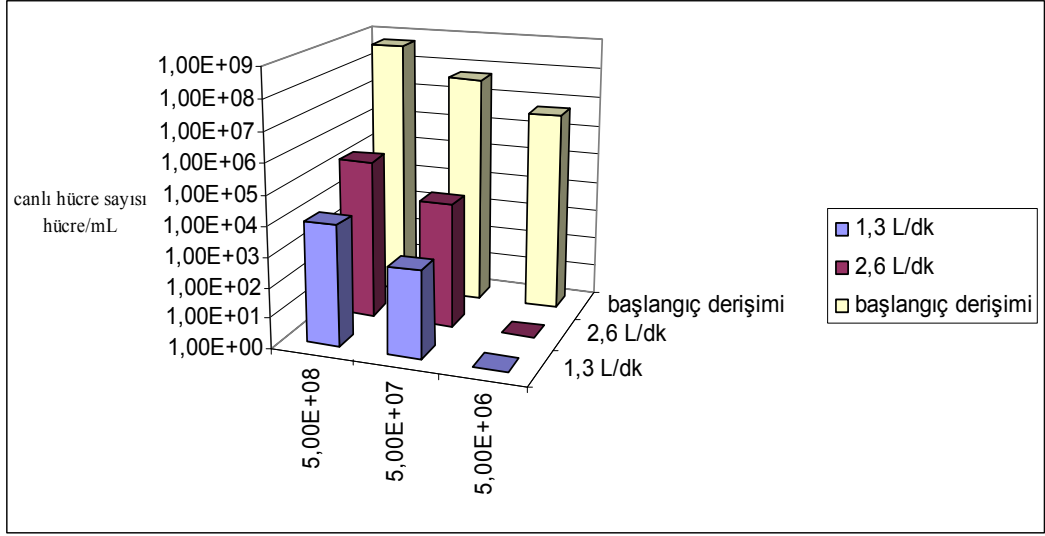
Bu çalışmada sodyum tuzları olarak bikarbonat, sülfat iyonları kullanılmıştır. Çalışmada, 2×10^4 hücre/ml bakteri derişimine sahip çalışma çözeltilisine 50 mg/L HCO_3^- ve 200 mg/L SO_4^{2-} eklenerek safsızlıkların ultrasonik dezenfeksiyona etkisi incelenmiştir. Çalışmalar en iyi dezenfeksiyon veriminin elde edildiği 764 kHz frekans’da gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 6.47’de verilmiştir.



Şekil 6. 47. SO_4^{2-} ve HCO_3^- iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi

6.4. UV Sistemin Etkisinin İncelenmesi

Bu çalışmada üç farklı başlangıç bakteri derişiminin ($5 \times 10^8/\text{mL}$, $5 \times 10^7/\text{mL}$, $5 \times 10^6/\text{mL}$) ve iki farklı akış hızının (1,3 L/dk, 2,6 L/dk) sürekli akış sisteminde UV dezenfeksiyon sistemine etkisi incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 6.48’de verilmiştir.

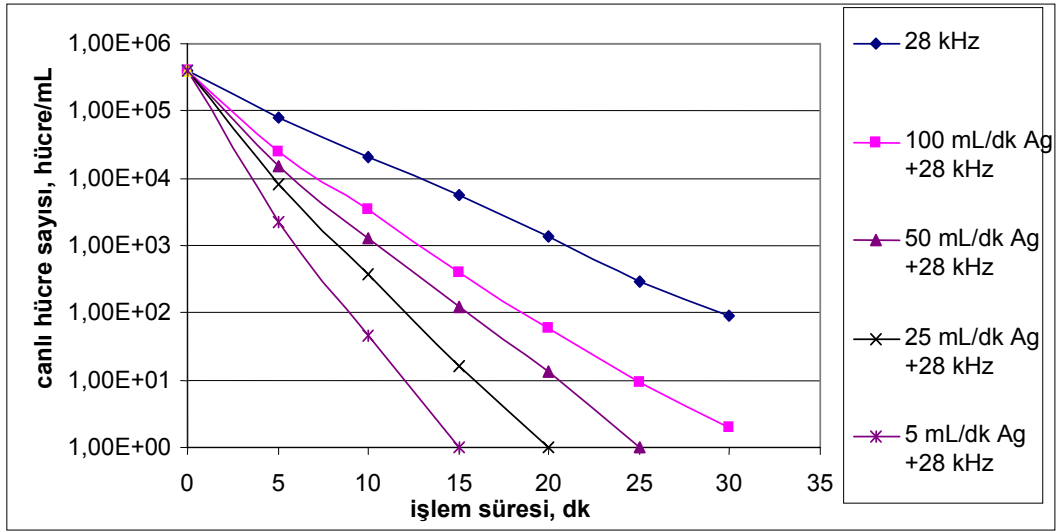


Şekil 6. 48. Başlangıç derişiminin ve akış hızının UV reaktöre etkisi

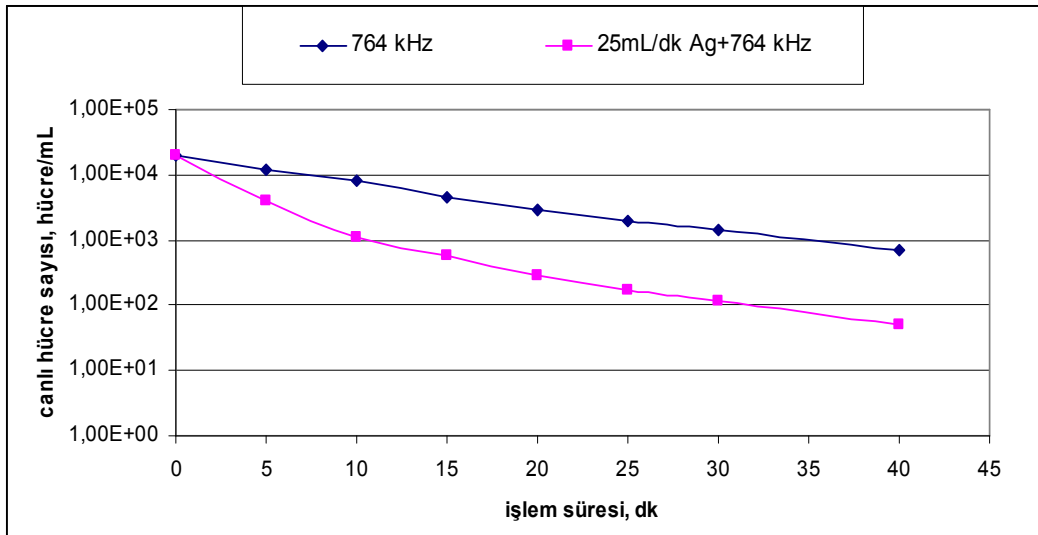
6.5. Melez ve Ardışık Sistemlerin Etkisinin İncelenmesi

6.5.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik sistem ile su dezenfeksiyonu

Bu çalışmada antibakteriyel dolgulu kolonun düşük ve yüksek frekanslı ultrasonik reaktörlerle birlikte olan etkisini görmek amacıyla dolgulu kolon ile ön işlem ve ardından ultrasonik reaktörler ile çalışılmıştır. Çalışmalar düşük frekans için en iyi sonuçların elde edildiği 28 kHz ve yüksek frekans için en iyi sonuçların elde edildiği 764 kHz frekanslarda gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.49 ve Şekil 6.50’de görülmektedir.



Şekil 6. 49. 4×10^5 başlangıç bakteri derişiminde, farklı akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolondan sonra 28 kHz'de ultrasonik reaktörün etkisi

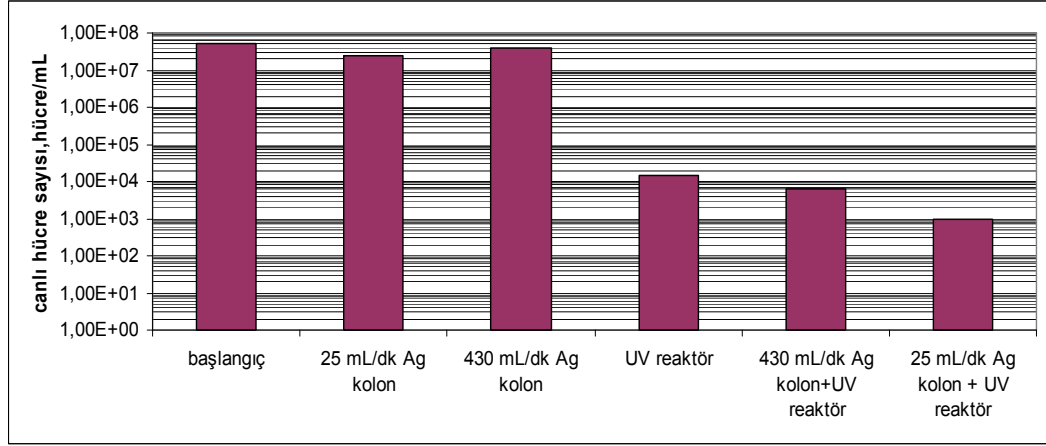


Şekil 6. 50. 2×10^4 başlangıç bakteri derişiminde, 25 mL/dk akış hızında antibakteriyel dolgulu kolondan sonra 764 kHz'de yüksek frekanslı ultrasonik reaktörün etkisi

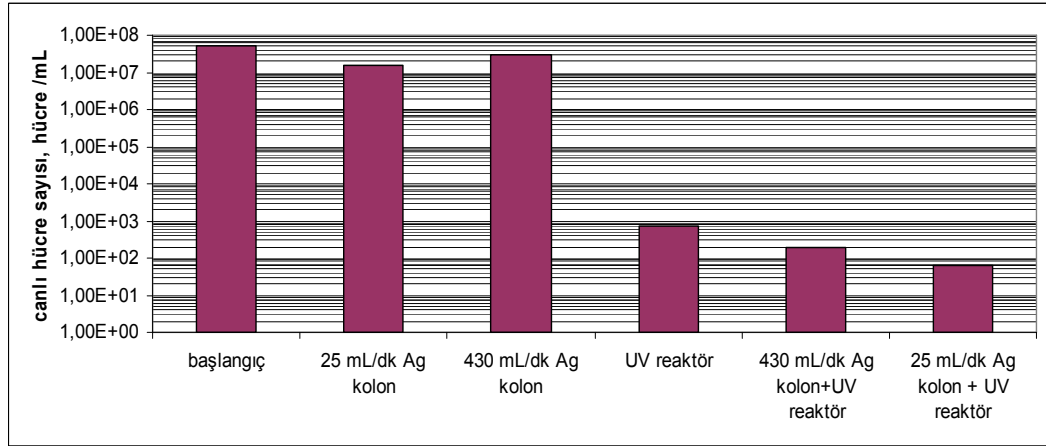
6.5.2. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ile su dezenfeksiyonu

Antibakteriyel dolgulu kolon ile UV reaktör birlikte kullanıldığında gösterdikleri etkiyi belirlemek amacıyla farklı akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolon ve UV reaktör ile ard arda çalışılmıştır. Çalışmalar 5×10^7 /mL

başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.51 ve Şekil 6.52’de verilmiştir.



Şekil 6. 51. 5×10^7 başlangıç bakteri derişiminde, farklı akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolondan sonra 2,6 L/dk akış hızında UV reaktörün etkisi

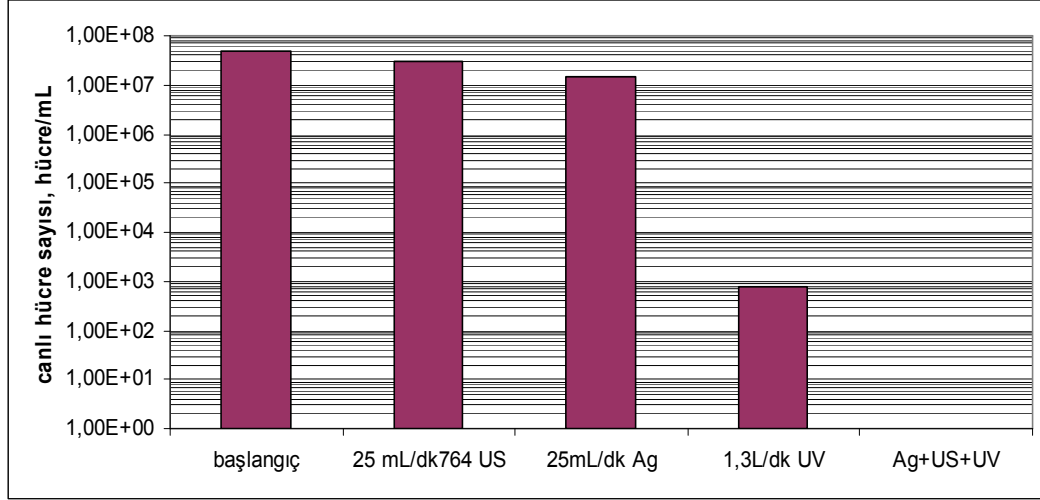


Şekil 6. 52. 5×10^7 başlangıç bakteri derişiminde, farklı akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolondan sonra 1,3 L/dk akış hızında UV reaktörün etkisi

6.5.3. Antibakteriyel dolgulu kolon, ultrasonik sistem ve UV sistem’in birlikte kullanıldığı su dezenfeksiyonu

Bu çalışma üç sistem ardışık olarak kullanıldığında dezenfeksiyon etkinliğini görmek amacıyla 25 mL/dk akış hızında antibakteriyel dolgulu kolon ve yüksek

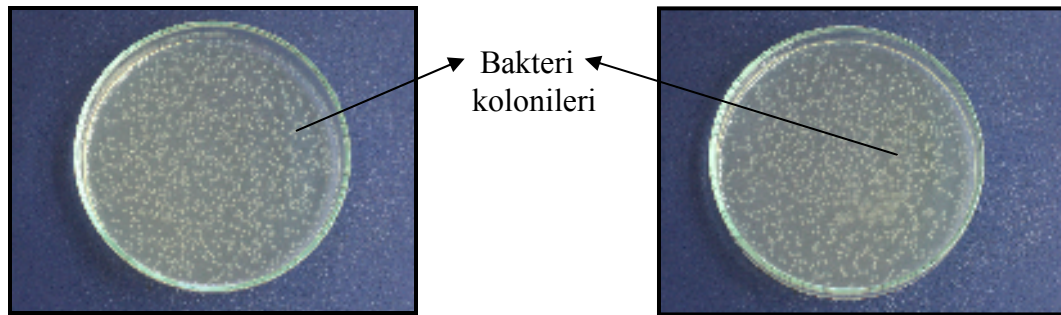
frekanslı ultrasonik reaktör ve 1,3 L/dk akış hızında UV reaktör ile sistemler ayrı ayrı ve birlikte olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada başlangıç bakteri derişimi 5×10^7 /mL'dir. Bu çalışmadan elde edilen sonuç Şekil 6.53'de verilmiştir.



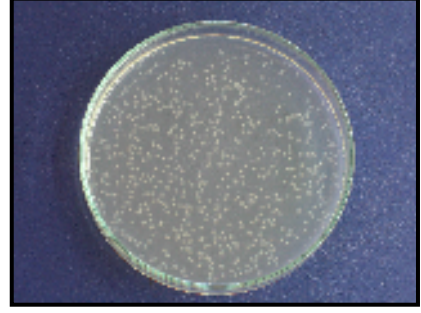
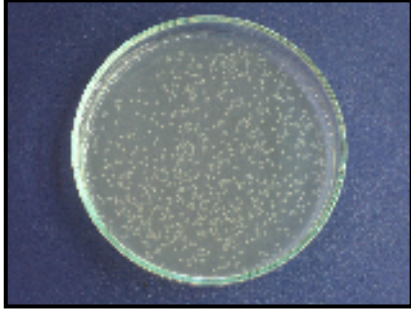
Şekil 6. 53. 5×10^7 başlangıç bakteri derişiminde, 25 mL/dk akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolon ve 764 kHz ultrasonik reaktörden sonra 1,3 L/dk akış hızında UV reaktörün etkisi

6.6. Hava Dezenfeksiyonu Sisteminin Etkisinin İncelenmesi

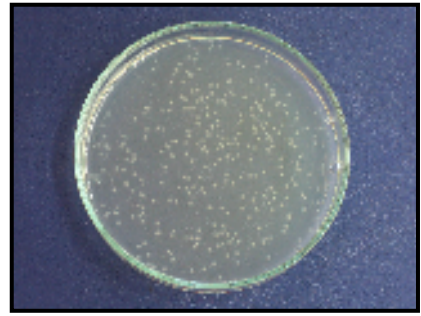
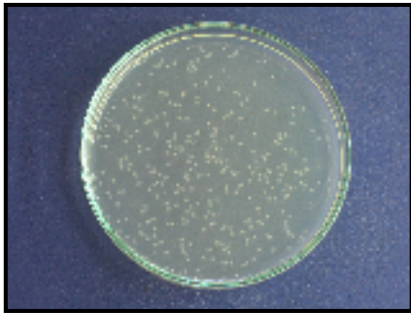
Hava dezenfeksiyon sisteminde gerçekleştirilen çalışmalara ait şahit, antibakteriyel dolgulu kolon, UV kolon, foto-katalitik destekli UV kolon ve birlikte kullanıldıkları sisteme ait elde edilen sonuçlar Şekil 6. 54-60'ta verilmiştir.



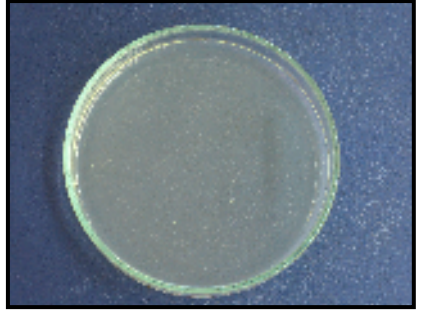
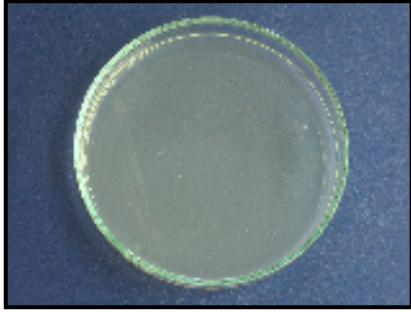
Şekil 6. 54. 10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminde şahit çalışmaya ait fotoğraflar



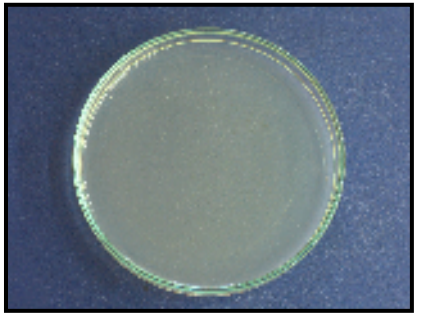
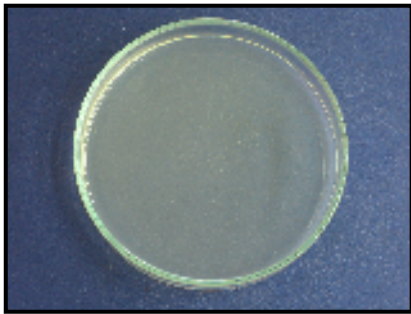
Şekil 6. 55. 10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminde antibakteriyel dolgulu kolon çalışmasına ait fotoğraflar



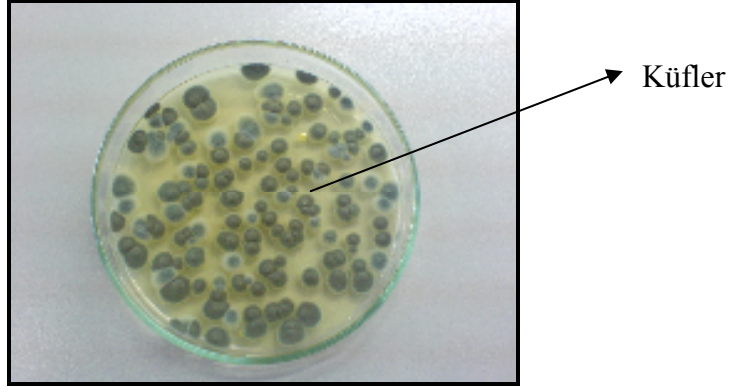
Şekil 6. 56. 10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminde UV kolon çalışmasına ait fotoğraflar



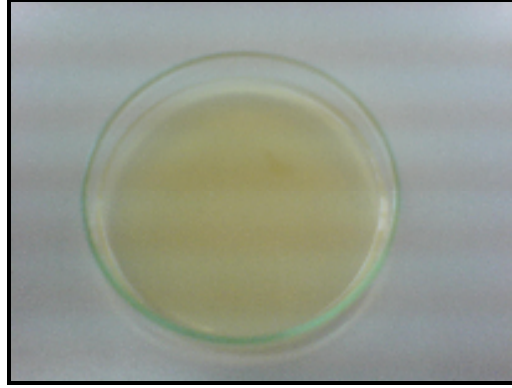
Şekil 6. 57. 10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminde foto-katalitik destekli UV kolon çalışmasına ait fotoğraflar



Şekil 6. 58. 10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminde antibakteriyel dolgulu kolon ve foto-katalitik destekli UV kolonun birlikte kullanıldığı çalışmaya ait fotoğraflar



Şekil 6. 59. Küf kullanılarak gerçekleştirilen şahit çalışmaya ait fotoğraf



Şekil 6. 60. Küf kullanılarak gerçekleştirilen hava dezenfeksiyon işlemine ait fotoğraf

7. BULGULARIN TARTIŞILMASI

7.1. Antibakteriyel Malzeme Geliştirilmesi

Kullanılan doğal malzemelerden kaolinitin iyon değişim ve yüzeyde tutma özellikleri zayıftır. Bu yüzden fiziksel olarak yapılan işlem ile gümüş iyonlarının diğer malzemelere göre (sepiyolit, klinoptilolit) kaolinite daha az dahil edildiği görülmektedir (Çizelge 6.5, Şekil 6.6). Bu sebeple gerçekleştirilen kimyasal işlemler ile gümüş iyonlarının kaolinit bünyesine dahil edilmesi gerçekleştirilmiş ve kaolinitte bulunan gümüş miktarında önemli artış sağlanmıştır. Çalışılan diğer iki malzemedeki klinoptilolit iyi iyon değişim özelliğine sahip olması sepiyolit ise çok büyük yüzey alanına (doğal nano malzeme) sahip olmasıyla yüzeyde tutma özelliğinin yüksek oluşu nedeniyle gümüş iyonlarını fiziksel olarak kaolinite göre daha yüksek miktarda bünyelerine dahil edilebilmiştir (Şekil 6.10, Şekil 6.13, Çizelge 6.7, Çizelge 6.9). Benzer şekilde her ikisine kimyasal işlem yoluyla gümüş ilavesi çalışmaları bünyelerindeki gümüş miktarlarını artırmış ancak bu artış kaolinitteki kadar yüksek olmamıştır. (Şekil 6.4, Şekil 6.8, Şekil 6.12, Çizelge 6.4, Çizelge 6.6, Çizelge 6.8)

Yapılan SEM analizlerine bakıldığında öğütme yapılmamış kaolinite ve klinoptilolite numunelerinin topraklar halinde olduğu ve topağı oluşturan tanelerin yaklaşık 3-5 µm arasında olduğu görülmektedir. Sepiyolit numunesi ise diğer malzemelere göre oldukça küçük tane boyutuna sahip olduğu ve küresel yapıda olduğu görülmektedir. Kaolinitin ise tabakalı yapıda olduğu görülmektedir.

Hazırlanan malzemelerin antibakteriyel etkiye sahip olduğu yapılan deneyler sonucunda görülmüştür. Antibakteriyel etki gösteren malzeme üzerinde mikroorganizmalar yaşamazken, malzemenin çevresinde mikroorganizmaların yaşayabildiği görülmektedir. (Şekil 6.16-24)

Antibakteriyel hale getirilmiş doğal malzemelerde bünyedeki gümüşün su ortamına salımı ile ilgili yapılan çalışmalarda kimyasal yolla kaolinite dahil edilen gümüş iyonlarının klinoptilolit ve sepiyolite dahil edilenlere göre salımının daha

düşük olduğu görülmüştür. (Şekil 6.25, Şekil 6.27, Şekil 6.29, Çizelge 6.10-12). Daha kontrollü salım gerçekleşmesi sağlanarak antibakteriyel etkinin daha uzun süre ve ani salınımlar ile tehlikeli derişimlere ulaşmaksızın kullanılabilmesinde ilave bir avantaj sağlanabileceği görülmüştür.

7.2. Antibakteriyel Dolgulu Kolonda Su Dezenfeksiyonu

Antibakteriyel dolgulu kolonda gerçekleştirilen çalışmalarda başlangıç bakteri derişiminin azalmasıyla birim etkin antibakteriyel yüzeye düşen bakteri derişimi azalacağından bakteri gideriminin artması gerektiği bilinmektedir. Yapılan deneysel çalışmalardan, başlangıç bakteri derişimi azaldıkça bakteri gideriminin arttığı görülmektedir (Şekil 6.31).

Geri döngülü sistemde çalışma süresinin artmasıyla ve sürekli sistemde akış hızının azalmasıyla bakterilerin etkin yüzeye temas süresi de artmakta bunun sonucu olarak da bakteri gideriminde beklendiği gibi artış görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalara da beklenen bu sonuç görülmektedir. (Şekil 6.32-34)

7.3. Ultrasonik Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu

7.3.1. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör

Düşük frekanslı ultrasonik reaktörde gerçekleştirilen çalışmalarda en iyi sonuç 28 kHz frekansta elde edilmiştir (Şekil 6.35-43).

Sisteme ilave edilen suda eşlik eden iyonların kavitasyon başlatıcı zayıf noktaları oluşturma etkisi ile daha çok miktarda kavitasyon oluşturduğu bilinmektedir. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör sisteminde hem SO_4^{2-} hem de HCO_3^- 'in bu yönde etkisi görülmüş, her ikisi için de derişim arttıkça dezenfeksiyonda artış olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.44).

7.3.2. Yüksek frekanslı ultrasonik reaktör

Yüksek frekanslı ultrasonik reaktörle yapılan çalışmalarda en iyi sonuç 764 kHz frekansta elde edilmiştir. Burada oluşturulan kavitasyonların düşük frekanslı ultrasonik reaktörde oluşturulanlara göre daha az güçte olduğu bilinmektedir. Gerek ultrasonik sistemde gerekse gümüş iyonlu ultrasonik sistemlerde dezenfeksiyon etkinliğinin yüksek frekansta düşük frekansa göre düşmekte olduğu deney sonuçlarından da gözlemlenmiştir (Şekil 6. 45- 46).

Yüksek frekanslı ultrasonik reaktörde SO_4^{2-} ve HCO_3^- iyonlarıyla, çok sayıda daha az güçte oluşan kavitasyonun artarak gücünün daha da azalmasına yol açması ve bu frekansta oluşan radikallerin SO_4^{2-} ve HCO_3^- iyonlarınca tutulması dezenfeksiyon verimini azaltan etkenlerden olabilir (Şekil 6.47).

7.4. UV Sistem ile Su Dezenfeksiyonu

UV reaktör ile dezenfeksiyon yapılan sistemde 5×10^8 /mL olan çok yüksek başlangıç bakteri derişimlerinde de etkin dezenfeksiyon gerçekleştirilebildiği ve 5×10^6 /mL başlangıç bakteri derişiminde UV reaktör ile tüm bakterilerin giderilebildiği görülmüştür (Şekil 6.48).

7.5. Melez ve Ardışık Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu

7.5.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik sistem ile su dezenfeksiyonu

Ultrasonik sistemlerin kütle aktarımını artırıcı etkisinden yararlanılarak gümüş iyonları sıvı içerisinde daha kolay ve homojen şekilde dağıtılabilmekte ve bunun sonucu olarak sıvı içinde her noktada gümüş – bakteri teması sağlanarak dezenfeksiyonun etkinliği artırılmaktadır. Ayrıca ultrasound'un bakterilerin hücre zarına zarar vermesi ve hasarlı hücre zarında gümüş iyonlarının daha fazla etki göstermesi dezenfeksiyon verimini arttıran bir başka etkidir. (Şekil 6.49-50).

7.5.2. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ile su dezenfeksiyonu

Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV reaktörün birlikte kullanıldığı dezenfeksiyon çalışmalarında da ultrasonik sistemlerde görüldüğü gibi sistemlerin tek başlarına olan etkilerinden daha güçlü dezenfektan etki sağladıkları görülmüştür (Şekil 6. 51-52).

7.5.3. Antibakteriyel dolgulu kolon, ultrasonik sistem ve UV sistem'in birlikte kullanıldığı su dezenfeksiyonu

Antibakteriyel dolgulu kolon, ultrasonik reaktör ve UV reaktörün birlikte kullanıldığı melez ve ardışık sistem çalışmalarında en etkin dezenfeksiyonun gerçekleştiği görülmüştür. Her birinin dezenfeksiyon etkisi dezenfektanların bakteriler ile en uygun şekilde temas ettirilmesi ile artabilecektir. Burada yukarıda bahsedilen etkilerin dışında ultrasoundun etkisi ile koloni oluşturmuş bakterilerin birbirlerine kalkan olma durumları azaltılarak birlikte etkiye ilave olarak bu şekilde bir katkının da sağlanabildiği söylenebilir (Şekil 6.53).

7.6. Hava Dezenfeksiyon Sistemi

Hava dezenfeksiyon çalışmalarında antibakteriyel dolgulu kolon, UV sistem ve foto-katalitik destekli UV sistemin ayrı ayrı antibakteriyel etkinlikleri görülmektedir. Ancak sistemler birlikte kullanıldıklarında su dezenfeksiyon sistemlerinde gözlemlediğimiz gibi daha kuvvetli dezenfeksiyon sağlanabildiği görülmüştür. Ortamda bulunan küflerin giderilmesi için yapılan dezenfeksiyon işleminde de etkin bir dezenfeksiyon sağlanabilmektedir. Buradan hareketle havada bulunabilen mikroorganizmaların pek çoğu için etkin dezenfeksiyonun sağlanabileceği öngörülebilir (Şekil 6.54-60).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada hedeflenen üç ana sonuca ulaşılmıştır. Doğal malzemeler ile antibakteriyel malzeme üretimi gerçekleştirilmiş ve dezenfeksiyon etkinliği gösterilmiştir. Alt sonuç olarak kimyasal destekli antibakteriyel sistemlerde daha fazla gümüşün bünyeye ilave edilebildiği ve daha kontrollü gümüş salımlarının gerçekleştiği bulunmuştur. İkinci ana sonuç su ortamında dezenfeksiyon başarılı şekilde gerçekleştirilebilmiştir. Burada uygulanan melez ve ardışık sistemler ile dezenfeksiyonda etkinliğin artırılabilirdiği alt sonuç olarak verilebilir. Son ana sonuç ise tasarlanan hava dezenfeksiyon sisteminin etkin olduğunun görülmesidir. Burada da çoklu sistem kullanılarak havadaki mikroorganizmaların dezenfeksiyonunda etkinliğin arttığı alt sonuç olarak değerlendirilmiştir. Genel olarak hem hava hem su ortamında daha güvenli dezenfeksiyonun sağlanabildiği, bu gerçekleştirilirken her bir aşamanın etkinliğinin de belirlendiği söylenebilir.

Yapılan çalışmalar küçük ölçekli (laboratuvar ortamında) gerçekleştirilmiş olup Bu çalışma sonucuna göre çalışmaların pilot ölçekli ve daha büyük sistemlerde denemesi önerilebilir. Ayrıca dezenfeksiyon ortamında bulunabilecek hedeflenen spesifik mikroorganizmalar için de çalışmalar yapılması, bu sistemler için dezenfeksiyon güvenilirliğinin test edilmesi de önerilebilir.