

**NANO TEKNOLOJİK HAVA
STERİLİZASYON
ÜNİTESİ GELİŞTİRİLMESİ**

Onur GENÇOĞLU
Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknoloji Anabilim Dalı
Nanoteknoloji Programı
Temmuz-2009

Bu tez çalışması Türkiye Cumhuriyeti Sanayi Bakanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 00086.STZ.2007-1

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Onur Gençoğlu'nun "Nano Teknolojik Hava Sterilizasyon Sistemi" başlıklı **İleri Teknoloji** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 14 Temmuz 2009 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. AYDIN DOĞAN

Üye : Prof. Dr. A. SAVAŞ KOPARAL

Üye : Yard. Doç. Dr. M. ERDEM ÜREYEN

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANOTEKNOLOJİK HAVA STERİLİZASYON ÜNİTESİ GELİŞTİRİLMESİ

Onur GENÇOĞLU

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İleri Teknoloji Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Aydın DOĞAN
2009, 68 sayfa**

Bu çalışmada, metal katyonlu antibakteriyel malzeme içeren dolgu malzemelerinin, yüksek tutuculuk özellikli filtreler ve nanoteknolojik ürünlerle geliştirilmiş reaktör sistemiyle birlikte kullanılarak havadaki patojen mikroorganizmaların sterilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Hava arıtma sisteminin kontaminasyon riski taşıyan tüm yüzeyleri antimikrobiyal hale getirilerek mevcut sistemlerde insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri giderilmiştir. Kısa dalga boylu C sınıfı UV (ultraviyole) ışık kaynağı ve nano partikül TiO₂ katalizörle desteklenmiş fotokatalitik reaktör yardımıyla da tüm mikroorganizmaların sterilizasyonu sağlanmıştır. Tüm yüzeylerin antimikrobiyal etkinliği kanıtlanmış ve cihazın kapalı ortamlarda sterilizasyon etkinlik testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda hava sterilizasyon cihazının ortamdaki kirli havayı temizlediği ve mikroorganizmalardan arındırdığı kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal, Sterilizasyon, Fotokatalitik, Nanoteknoloji,
Ultraviyole

ABSTRACT

Master of Science Thesis

IMPROVE THE NANOTECHNOLOGIC AIR STERILIZATION DEVICE

Onur GENÇOĞLU

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Advanced Technologies Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Aydın DOĞAN
2009, 68 pages**

In this study, filler materials which have metal cation containing antimicrobial materials are used together with the reactor system, which has improved with the high efficiency filters and nanotechnological products, for the sterilization of pathogen microorganisms in the air. All the surfaces of the air refining system that entertain a contamination risk were rendered to antimicrobial state and by the way hazardous affects of the present systems on the human health were eliminated. By using a short wavelength C class UV (ultraviolet) light source and a photocatalytic reactor that supported with a TiO₂ catalyst, sterilization of the all microorganisms were achieved. Closed atmosphere tests of the equipment were carried out and antimicrobial effectiveness of the all surfaces were proved. As a result of this study, it is verified that this equipment is cleaned the dirty air and decontaminate the microorganisms.

Keywords: Antimicrobial, Sterilisation, Photocatalytic, Nanotechnology, Ultraviolet

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımın baőlangıcından itibaren her konuda desteğini, hoőgörösünü ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Aydın DOğAN'a;

Görüő ve önerileri ile çalıőmama katkıda bulunan sayın hocam Prof. Dr. Savaş KOPARAL'a;

Deęerli yardımları ve önerileri için Araő. Gör. Mevlüt Gürbüz, Ayőe Kalemtaő, Pervin Daę, Göktuę Günkaya, Aslı Çavdar, Esra Gerek, Ceren Pekően'e ;

Bugüne kadar her durumda sevgileri ve destekleri ile yanımda olan sevgili aileme en içten teőekkürlerimi sunarım.

Onur GENÇOğLU

Temmuz 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. MİKROBİYOLOJİK TANIMLAR	3
2.2. Hava Mikrobiyolojisi	4
2.2.1. Mikroorganizmaların Havada Taşınması.....	5
2.2.2. Kapalı Mekanlarda Hava Kirliliği	6
2.3. Mikrobiyoloji Çalışmaları	6
2.3.1. Sterilizasyon.....	7
2.3.2. Isıl İşlem Uygulaması	7
2.3.3. Işınlama İle Sterilizasyon.....	7
2.3.4. Mekanik Yöntemlerle Sterilizasyon	7
2.3.5. Kimyasal Yolla Sterilizasyon	8
2.3.6. Besiyeri (Ortam)	8
2.3.7. Mikrobiyolojik Örnek Alma ve Kültür Yapma (Kültivasyon)	8
2.3.8. Bakteri morfolojisi ve bakterileri boyama	9
2.4. Mikroorganizmaların Sayım Yöntemleri	9
2.5. Havadaki Mikroorganizmaları Sayma Yöntemleri	10
2.5.1. Sedimentasyon	10

2.5.2. Süzme Yöntemi.....	11
2.5.3. Barbotaj Yöntemi.....	11
2.5.4. Çöktürme.....	12
2.5.5. Çarpıcı Örnekleyiciler.....	12
2.5.6. Andersen Örnekleyici	12
2.6. Antimikrobiyal Sistemler	13
2.6.1. Bakteriyostatik	13
2.6.2. Bakteriosidal	13
2.6.3. Steril.....	13
2.6.4. Dezenfektan	13
2.6.5. Septik	13
2.6.6. Aseptik	13
3. HAVA ARITIMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER.....	14
3.1. Genel Hava Arıtma Sistemleri	15
3.2. Fotokatalitik Sistemler	15
3.3. Filtre Elemanları.....	19
3.3.1. Kaba Filtre	19
3.3.2. Karbon Filtre.....	19
3.3.3. Varicel-V Filtre.....	20
3.3.4. Hepa Filtre	21
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	22
4.1. Kabin Tasarımı	23
4.2. Filtrasyon Sterilizasyon Çemberinin Tasarımı.....	23
4.3. Antimikrobiyal Seramik Tozun Hazırlanması	25
4.3.1. Antimikrobiyal Tozun Tane Boyutunun Küçültülmesi.....	26
4.4. Aktif Karbon Filtrelere Yüzeylerine Antimikrobiyal Etki Kazandırılması	26
4.5. TiO ₂ Yüzeylerinin Etkisinin Araştırılması için Prototip Reaktör Üretimi	27
4.6. Reaktör Yüzeylerinin Ag+TiO ₂ Kaplama Çalışmaları.....	29

4.7. Antimikrobiyal Kabin Yüzeylerinin Üretim Sürecinin Geliştirilmesi.....	31
4.8. Filtrasyon Cihazının Parçalarının Birleştirilmesi.....	32
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	35
5.1. ABT Tozunun FAZ ve Tane Boyut Analizi.....	35
5.2. TiO ₂ Tozun XRD Analizleri.....	37
5.3. Antimikrobiyal Tozun SEM Analizi	38
5.4. Karbon Filtrenin SEM ve EDX Analizleri.....	39
5.5. Kabin Yüzeylerinin SEM ve EDX Analizleri	40
5.6. Reaktör Yüzeylerinin SEM ve EDX Analizleri	41
5.7. Üretilen ABT Tozun Antimikrobiyal Etkinlik Analizi	46
5.8. Karbon Filtrenin Antimikrobiyal Etkinlik Analizi.....	47
5.9. Reaktör Yüzeylerinin Antimikrobiyal Etkinlik Analizleri.....	48
5.10. Antimikrobiyal Fotokatalitik Test Düzeninin Hava Arıtımındaki Dezenfeksiyon Etkinlik Analizleri	49
5.11. Hava Sterilizasyon Sisteminin Sterilizasyon Etkinlik Test Sonuçları	52
5.12. Hava Sterilizasyon Ünitesinin Zaman Etkinlik Test Sonuçları.....	61
6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. (a) E. Coli bakteri hücresi (b) E. Coli bakteri kolonisi .	3
3.1. Tutucu sistemler (a) Hepa filtre, (b) Aktif karbon (AK).....	14
3.2. (a) AK/ TiO ₂ hava arıtma sistemleri (b) Fotokatalitik monolit arıtmasistemleri.....	15
3.3. Fotokatalitik etki mekanizması	16
3.4. TiO ₂ faz yapıları (a) tetragonal anataz (b) ortorombik rutil	16
3.5. Kaba filtre.....	19
3.6. Aktif karbon filtre	19
3.7. V-4 Filtre görünüşü.....	20
3.8. Hepa filtre görünüşü.....	21
3.9. Hepa filtre verileri.....	21
4.1. İzlenen çalışma süreci.	22
4.2. Hava filtrasyon kabin tasarımı	23
4.3. İlk reaktör tasarımının izometrik görünüşü.....	24
4.4. İkinci reaktör tasarımının (a) izometrik görünüşü (b) üstten görünüşü	24
4.5. Antimikrobiyal seramik tozun hazırlanması.	25
4.6. Attritör değirmen.....	27
4.7. TiO ₂ kaplı reaktör test düzeneği.....	28
4.8. TiO ₂ kaplı reaktör ile hava dezenfeksiyonu	28
4.9. Hava filtrasyon ünitesinin antimikrobiyal ve fotokatalitik hale getirilmesine ait akış diyagramı.....	29
4.10. Filtrasyon sterilizasyon reaktörünün izometrik görünüşü.....	30
4.11. Filtrasyon sterilizasyon reaktörünün alttan görünüşü.	30
4.12. (a) Şahit boya (b) antimikrobiyal boya yüzeylerinin optik mikroskop görüntüsü.	31
4.13. Filtre ekipmanlarından hepa filtre montajı.....	32
4.14. Filtre ekipmanlarından (a) V filtre (b) karbon filtre montajı.	33
4.15. (a) Kaba filtre montajı (b) reaktör ve kontrol paneli montajı.....	34
4.16. Hava sterilizasyon ünitesi.	34

5.1. ABT kodlu antimikrobiyal tozun XRD analizi sonucu.....	35
5.2. ABT kodlu antimikrobiyal tozun tane boyut analizi sonucu.	35
5.3. ABT2 kodlu solüsyonun tane boyut analizi sonucu.....	36
5.4. ABT3 kodlu antimikrobiyal solüsyonun tane boyut analizi sonucu	36
5.5. TiO ₂ tozunun (a) ısıtıl işlem öncesi ve sonrası (b) XRD grafiği.....	37
5.6. Modifiye edilmiş TiO ₂ tozun 950°C ısıtıl işlem sonrası XRD analizi.	38
5.7. Başlangıç tozunun SEM görüntüsü.....	38
5.8. Şahit karbon filtre SEM görüntüsü ve EDX analizi.....	39
5.9. Antimikrobiyal karbon filtre SEM görüntüsü ve EDX analizi.	39
5.10. Şahit boyanın SEM görüntüsü ve EDX analizi.....	40
5.11. Antimikrobiyal boyanın SEM görüntüsü ve EDX analizi	40
5.12. ABT tozun boya yüzeylerinde EDX analizi sonunda haritalandırma görüntüleri a) Ca b) P.....	41
5.13. Şahit emaye yüzeyine ait SEM görüntüsü ve EDX analizi.....	42
5.14. Antimikrobiyal özellik kazandırılmış emaye yüzeyine ait SEM görüntüsü.....	42
5.15. Emaye yüzeyine tutunmuş ABT tanelerine ait SEM görüntüsü ve EDX analizi.	43
5.16. Emaye yüzeyindeki camsı faza ait SEM görüntüsü ve EDX analizi.	43
5.17. TiO ₂ ile kaplanmış antimikrobiyal emaye yüzeyine ait SEM görüntüsü ve EDX analizi.....	44
5.18. Antimikrobiyal emaye üzerine kaplanmış TiO ₂ 'nin farklı büyütmelerde a)2,500 büyütme b) 10,000 büyütme SEM görüntüleri.	44
5.19. Antimikrobiyal emaye üzerine kaplanmış TiO ₂ 'nin (80,000 büyütme büyütme) SEM görüntüsü.....	45
5.20 (a) Orijinal plakanın EDX analizi (b) Antimikrobiyal toz katkılı ve TiO ₂ kaplı plakanın EDX analizi	46
5.21. ABT kodlu antimikrobiyal tozun halo test sonucu (a) şahit (b) metal iyon katkılı toz.....	46
5.22. Aktif karbon filtresi şahit numunelere (a) küf (b) bakteri ekimi ile gerçekleştirilen mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	47

5.23. Antimikrobiyal özellik kazandırılmış aktif karbon hava filtrelerine numunelere (a) küf (b) bakteri ekimi ile gerçekleştirilen mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	47
5.24. a) Şahit emaye b) antimikrobiyal emaye numunelerine halo test metodu uygulanarak gerçekleştirilen mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	48
5.25. (a) Şahit emaye (b) TiO ₂ kaplanmış emaye (c) ABT kaplanmış emaye d) ABT+TiO ₂ kaplanmış emaye numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	49
5.26. Şahit çalışmaya ait mikrobiyolojik analiz sonuçları	50
5.27. Antibakteriyal dolgulu kolon çalışmasına ait mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	50
5.28. UV kolon çalışmasına ait mikrobiyolojik analiz sonuçları	50
5.29. Foto-katalitik destekli UV kolon çalışmasına ait mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	51
5.30. Antimikrobiyal dolgulu kolon ve foto-katalitik destekli UV kolonun birlikte kullanıldığı çalışmaya ait mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	51
5.31. Küf kullanılarak gerçekleştirilen hava dezenfeksiyon işlemine ait (a) şahit (b) antimikrobiyal + fotokatalitik destekli UV kolon, mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	52
5.32. Kapalı ortam koşulları.....	52
5.33. Kapı girişinden alınan örneklerin 3 gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları	53
5.34 Cihaz aktifken kapı girişinden alınan örneklerin 3. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	53
5.35.Cihazın üzerinden alınan örneklerin 3 gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları	54
5.36. Cihaz aktifken cihaz üzerinden alınan örneklerin 3. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	54
5.37. Pencere önünden alınan örneklerin 3 gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları	55
5.38. Cihaz aktifken pencere önünden alınan örneklerin 3. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	55

5.39. Masa üzerinden alınan örneklerin 3 gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	56
5.40. Cihaz aktifken masa üzerinden alınan örneklerin 3. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	56
5.41. Kapı girişinden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	57
5.42. Cihaz aktifken kapı girişinden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	57
5.43. Cihaz üzerinden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	58
5.44. Cihaz aktifken cihaz üzerinden alınan örneklerin 5. gün sonunda ki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	58
5.45. Pencere önünden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	59
5.46. Cihaz aktifken pencere önünden alınan örneklerin 5. gün sonunda ki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	59
5.47. Masa üstünden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	60
5.48. Cihaz aktifken masa üzerinden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	60
5.49. Kapı önünden alınan şahit numune ve zaman etkin test numunelerinin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları (a) şahit (b)2. saat (c) 4.saat (d) 6. saat.....	62
5.50. Pencere önünden alınan şahit numune ve zaman etkin test numunelerinin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları (a) Şahit (b) 2. saat (c) 4. saat (d) 6. saat.....	63
5.51. Masa üzerinden alınan alınan şahit numune ve zaman etkin test numunelerinin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları (a) Şahit (b) 2. saat (c) 4. saat (d) 6. saat.....	64
5.52. Cihaz üzerinden alınan şahit numune ve zaman etkin test numunelerinin 5. günsonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları (a) sahit (b) 2. saat (c) 4. saat (d) 6. saat.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1. V-4 Filtre verileri	20
4.1. ABT kodlu tozla hazırlanan numuneler ve verilen kodlar.....	26

1. GİRİŞ

Çağımızda büyük bir risk haline gelen çevre kirliliği artan insan nüfusuyla beraber önüne geçilmez boyutlara yaklaşmıştır. Temel canlı kaynağı olan su ve havanın temizliği 1990'lı yıllardan beri sektörün ve bilim insanlarının giderek gündemine yerleşmiştir. Bu sorunu gidermek üzere kaynakların temizlenmeleri ve geri dönüşümlü olarak kullanılması üzerine önemli çalışmalar yapılmakta ve yeni sistemler geliştirilmektedir. Yapılan araştırmalar incelendiğinde çalışmaların hava kirliliği üzerinde daha da yoğunlaştığı gözlenmektedir. Havayla insanın ilişkisi gözönünde bulundurulduğunda bu ilginin sebebi daha iyi anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucu 1999 yılının sonunda insan sağlığını tehdit eden hava kirliliklerinin %80'i açık hava kaynaklı değil kapalı ortamlardaki kirlilik ve kontaminasyonlardan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Başta da belirtildiği üzere günümüzde artan nüfusla da tehlike had safhaya ulaşmıştır. Bu nedenle 1999 yılında USEPA (United States Environmental Protection Agency) kapalı ortamlarda gözlenen hava kirliliklerini en önemli çevresel riskler arasında birinci sıraya taşımıştır [1,2].

Önemi giderek artan bu sorunu çözmek üzere yapılan çalışmalar ve izlenen prensiplere bakıldığında hava temizliğinde üç ana prensip göze çarpmaktadır. Birinci prensip kaynağın kontrolüdür. Fakat bu yöntem büyük şehirlerde imkansız hale geldiği için alternatif çözümler araştırılmasına ve geliştirilmesine gidilmiştir. İkinci ana prensip hava sirkülasyonu yani ortam havasının farklı bir ortama taşınmasıdır. Bu yöntemde de kirli hava dış ortama yok edilmeden verildiğinden ötürü kirlenme giderilememiş, sadece belli süre uzaklaştırılmış olmaktadır. Üçüncü prensip olan hava sterilizasyonunda ise hava farklı prensipler kullanılarak temizlenmekte ve taşıdığı mikroorganizmalar yok edilmektedir [1,3].

Hava filtrasyonun da kullanılan temel yöntemler incelendiğinde günümüzde artık hiç bir yöntemin tek başına kullanılmadığı gözlenmektedir. Ayrıca karşılaşılan bazı yöntemler insan sağlığı açısından da riskler taşımaktadır. Buna rağmen hava filtrasyonunda bu yöntemler önemli bir etkiye ve potansiyele sahip oldukları için riskleri göze alınmaktadır [3].

Bu yöntemlerin başında geniş yüzeyleri nedeniyle yüksek tutuculuk özelliğine sahip aktif karbon ve hepa filtreler gibi perdeleme üniteleri dikkat çekmektedir. Fakat bu yöntemlerin mikroorganizmalar üzerinde öldürücü bir etkileri bulunmayışından zamanla önemli riskler doğurmaktadırlar [1,2]. 1970'li yılların başlarında ilk olarak TiO₂ elektrotlarda fotoindüklenmiş su moleküllerinin parçalanmasının bulunmasıyla anlaşılan fotokatalitik malzemelerin organikler üzerindeki parçalayıcılık özelliğinden faydalanarak hava sterilizasyonunda büyük bir potansiyele sahip yeni sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. Fakat bu yöntemde temel etken olan UV ışınımdan faydalanılması ve malzemenin tutuculuk özelliğinin fazla olmamasından ötürü sistem karanlık ortamlarda ve yüksek debili hava akışlarında etkin bir rol oynamamaktadır [3,4].

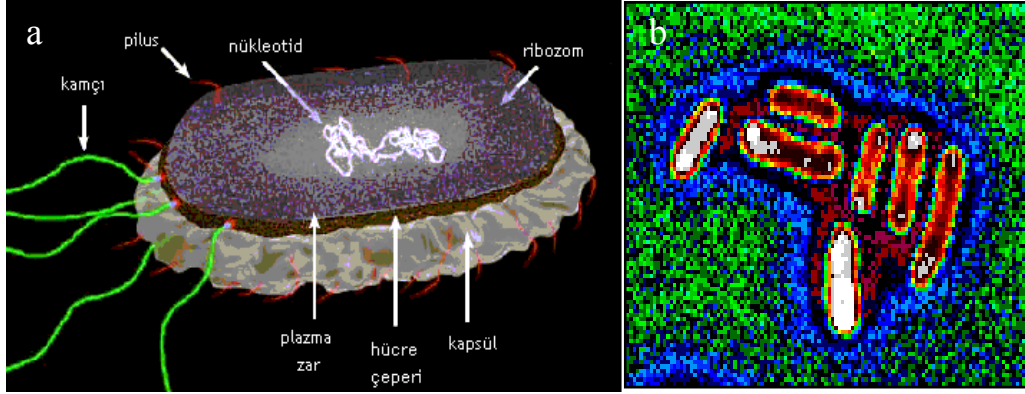
Bu çalışmada antimikrobiyal özellik kazandırılmış filtre ve boya sistemlerinin yanı sıra Ag+TiO₂ katalizörlü UV sistemleri sinerji oluşturmak üzere kombine şekilde kullanılarak hava arıtımında etkin sterilizasyon sağlanması amaçlanmıştır. Antimikrobiyal etki kazandırılmış filtre elemanlarıyla tutulan bakterilerin yaşam şansları yok edilerek klasik filtrelerde zamanla karşılaşılan filtre kaynaklı kontaminasyonların engellenilmesi hedeflenmektedir. Tutulamayan mikron altı organizmalarda Ag+TiO₂ katalizörlü UV sisteminde yok edilerek sistem sistemin tüm açıkları giderilmiş olacaktır. Bu aşamada da yüksek hava debileri için özel reaktör tasarımı gerçekleştirilecek bu sayede sistemin etki süresi de kısaltılacaktır. Antimikrobiyal boya ile kaplanan dış yüzeyler sayesinde de sistem mikroorganizmalardan tamamen izole edilmiştir.

2. Mikrobiyolojik Tanımlar

2.1. Bakteriler Hakkında Genel Bilgi

Bakteriler dünyanın her yerinde, karada, havada, tatlı ve tuzlu suda hatta buzullar içinde bile yaşarlar. Toprağın 5 m derinliğine kadar mevcuttur. Bakterilerin boyu 0,5-10 μm , çapı 0,2-1 μm arasında değişir. Hücre çeperi diaminopimelik asit adı verilen bir aminoasit türevidir (bu sadece bakteriler ve mavi-yeşil alglerde bulunur) ve bir glikoz türevidir olan muramikasitten ibarettir. Bazılarında hücre çeperine ilaveten dışta polisakkaritlerden oluşan bir kapsül bulunur. Mitokondri, nükleus zarı, endoplazmik-retikulum (E.R.) ve golgi yoktur. Hücre stoplazmasında dağıntık olarak bulunan DNA molekülü bakteriden 500 defa daha uzundur [5].

Canlıya, dolayısıyla hücreye ait moleküler seviyede olan bugünkü bilgilerin çoğu, bakteri araştırmalarından, özellikle insan ve diğer memeli bağırsaklarında zararsız bir parazit olan *Escherichia Coli* (*E.Coli*) bakterisiyle yapılan araştırmalardan elde edilmiştir [5].



Şekil 2.1. (a) E. Coli bakteri hücresi [3] (b) E. Coli bakteri kolonisi [5].

Escherichia Şekil 2.1-(a)'da görüldüğü gibi yaklaşık olarak 2-6 μm boyunda ve 1-1,5 μm eninde düz, uçları yuvarlak çomakçık şeklinde bir bakteri türüdür. Bazı kültürlerde koka benzer küçük ve kısa, bazı kültürlerde de normalden uzun ve hatta Y harfi şeklinde dallanan filamenli şekillerde bulunabilirler. Her iki şeklin birlikte bulunması olasıdır. Genellikle etraflarında bulunan kirpikleri aracılığı ile hareketli olmakla beraber bu hareketleri yavaştır. Hatta hareketsiz görünebilirler. Bakteriyolojik boyalarla kolayca boyanabilirler.

Etraflarında kapsül maddeleri bulunmamakla beraber organizmada bağırsak dışındaki yerlerden soyutlanan kökenlerin çoğunda kapsül yada mikro kapsül bulunur. *E.Coli* buyyon ve eloz gibi genel besiyerlerinde kolayca ürerler. Değişebilen (fakültatif) anaerob olup genel üreme ısısı 37°C' dir. 15-45°C aralarında da üreyebilirler. Özellikle 44°C' de üreyebilmeleri benzer bazı bakterilerden ayırt edici bir özelliktir. Ortalama pH 7,2 'de iyi ürerler. *E.Coli* oldukça dirençli bir bakteridir. 60 °C sıcaklık da 30 dakika, oda sıcaklığında uygun ortamda olmak koşulu ile uzun süre canlı kalabilirler [6-7].

2.2. 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 [8].

Havada yer alan mikroorganizmalar, havaya rüzgâr, 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 [8].

Hapşırma ile 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 solunumuyla bu kapalı ortamlardaki patojenleri bünyelerine almamaları hemen hemen olanaksızdır [8].

2.2.1. 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 [8].

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 [8]. 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 m'ye 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 [8].

2.2.2. Kapalı mekanlarda hava kirliliği

21 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 [9].

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 [9].

Mikrobiyolojik kirliliğe neden olan mikroorganizmaların en iyi bilinenlerinden biri *Legionella*'dır. *Legionella* salgınları kirlenmiş suların aerosol haline gelmesi ve bunların solunması sonucu oluşur [9].

Bina içi havanın mikrobiyolojik kirlenmesi sonucunda alerji, astım, hasta bina sendromu ve çeşitli bulaşıcı hastalıklar görülebilir. Bina içi havanın mikrobiyolojik kirlilik kaynakları, genellikle 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. Küf mantarları en iyi bilinen alerjenlerdir, fakat bazı mantarlar çok ciddi sağlık sorunlarına da yol açabilir [9].

2.3. Mikrobiyoloji Çalışmaları

Mikrobiyoloji çalışmalarında önemli olan adımlar sırasıyla;

1. Sterilizasyon
2. Ortam
3. Mikrobiyolojik örnek alma ve bakteri ekimi (kültivasyon)
4. Bakteri morfolojisi ve bakterileri boyama
5. Mikrobiyolojik sayım yöntemi [5].

2.3.1. Sterilizasyon

Sterilizasyon genelde bir ortamdaki bütün organizmaları öldürme yada ortamdaki uzaklaştırma işlemi olarak tanımlanır. Mikrobiyoloji uygulamaları dikkate alındığında sterilizasyon; laboratuvar ekipmanlarının ve besiyerlerinin, bilinen herhangi bir yöntemle üzerinde veya içinde bulunan mikroorganizmaların öldürülmesi ya da ortamdaki uzaklaştırılması işlemidir. Sterilizasyon işlemi uygulanmış materyale steril denir. Bazı mikroorganizmaların iki şekli vardır ve jetatif formlar nispeten kolay öldürülebilmekte, dayanıklı spor formlarını ise öldürmek ise daha zor olmaktadır. Başarılı sterilizasyon tekniği, en dayanıklı spor formunu bile öldürmeyi amaçlar. Ancak her zaman mutlak bir sterilizasyon olmayabilir [10].

Sterilizasyon yöntemleri; ısı işlem uygulaması, ışınlama ile sterilizasyon, mekanik yöntemlerle sterilizasyon, kimyasal yolla sterilizasyon olarak sınıflandırılabilir [11].

2.3.2. Isıl işlem uygulaması

Hücrelerin yanma ve oksidasyon ile tahrip edilmesidir. Sırası ile aşağıda verilen işlemler yapılmaktadır.

- Alevden geçirmek
- Alevde tutmak
- Kuru sıcak havada bekletmek
- Basınçlı buhar (Otoklav)
- Basınçsız buhar [10].

2.3.3. Işınlama ile sterilizasyon

- İyonize olmayan ışınlar (UVJR)
- İyonize ışınlar [10].

2.3.4. Mekanik yöntemlerle sterilizasyon

- Filtrasyon
- Santrifügasyon
- Ultrasonik vibrasyon [10].

2.3.5. Kimyasal yolla sterilizasyon

- Dezenfektanlar
- Kemoterapötikler
- Boyalar [10]

2.3.6. Besiyeri (Ortam)

Mikroorganizmaların üretilmesi, canlılıklarının devam ettirilmesi, saf kültürlerinin elde edilmesi, makroskopik morfolojilerinin incelenmesi, biyolojik ve metabolik ürünlerinin elde edilmesi v.b. amaçlarla onları buldukları ortamın dışında çoğaltmak için kullanılan ve amaca uygun olarak genelde mikroorganizmaların gereksinim duyduğu maddeleri ve özellikleri içeren besleyici ortamlara besiyeri denir [10].

Besiyerleri mikroorganizmaların gereksinim duyduğu temel bazı maddeleri içerecek şekilde düzenlenmelidir. Bu maddeler;

1. Su
2. Karbon ve enerji kaynağı maddeler (çeşitli karbonhidratlar) karbonhidratların yokluğunda da proteinler
3. Azot kaynağı maddeler (proteinler, peptonlar, aminoasitler, KNO_3)
4. İnorganik maddeler (Makro elementler; Na, K, Cl, P, S, Ca, Mg, Fe; Mikro elementler :Zn, Mn, Br, B, Cu, Co, Mo, V, Sr vb.)
5. Üreme faktörleri (vitaminler, aminoasitler, pürn ve pirimidin) [10].

2.3.7. Mikrobiyolojik örnek alma ve kültür yapma (Kültivasyon)

Üzerinde veya içinde mikroorganizma üretilmiş besiyerlerine kültür denir. Saf kültür; Besiyerinde sadece tek bir mikroorganizma türü üretilmiş kültürlerdir. Karışık kültür; İki veya daha fazla çeşitte mikroorganizma türü aynı besiyerinde üretilmişse buna karışık kültür denir. Sıvı kültür; Sıvı besiyerlerinde oluşturulmuş kültürlerdir.

Kültür yapma; mikroorganizmaların buldukları ortamdan belli teknikler alınarak, uygun besleyici ortama aktarılması ve burada gelişmelerinin sağlanması aşamalarını içerir [12].

2.3.8 Bakteri morfolojisi ve bakterileri boyama

Koloni; bir bakteri hücrelerinin katı bir besiyerinde düştüğü herhangi bir noktada çok sayıda bölünmeler gerçekleştirerek oluşturduğu ve çıplak gözle görülebilen hücre topluluğu şeklinde bir yapı olarak tarif edilebilir. Bu durumda kolonide sadece belli bir bakteri türüne ait hücreler bulunur. Koloni sayımlarında da bu tanımdan hareketle, bir koloninin bir hücreye eşdeğer olduğu varsayılır. Her bakteri belli besiyerinde, koşullar değişmediği sürece kendine özgü karakterde koloniler oluşturur. Aynı bakteri değişik besiyerine ekildiğinde ise farklı bir koloni morfolojisi gösterir. Bakterileri boyayarak bakteri morfolojilerini dizilişlerini daha iyi gözlemlenebilir. Bakterilerin boyanması hem fiziksel hem kimyasal bir olaydır [12].

2.4. Mikroorganizmaların Sayım Yöntemleri

Katı (agarlı) besiyerinde sayım, canlı hücrelerin koloni oluşturması ve bu kolonilerin sayılarak "her canlı hücre bir koloni oluşturur" prensibi ile materyaldeki canlı hücre sayısının hesaplanması esasına dayanır. Bu amaçla sayım yapılacak materyalden belli bir miktar alınır ve besiyerine aktarılır. Koloni oluşması için inkübasyon süresinin sonunda petri kutusundaki koloniler sayılarak materyaldeki canlı hücre sayısı hesaplanır. Ölü hücreler üreyip koloni meydana getiremeyeceği için bu yöntemde sadece canlı hücreler sayılır [7].

Canlı mikroorganizma sayısı yüksek olan örneklerde sayım, dilüsyon (seyreltme) tekniği ile yapılır. Dilüsyon tekniğinin esası; materyaldeki hücre sayısını bir seri seyreltme yaparak kademeli bir şekilde azaltmaktır. Bu amaçla genellikle 1:9 oranında seyreltme yapılır. Hesaplamalarda kolaylığın ve standartlığın sağlanması amacıyla dilüsyon genellikle 1:9 oranı ile yapılır. Dilüsyon tekniği ile bir seri tüp kullanılarak tüplerdeki canlı hücre sayısı giderek 10'ar misli seyreltilmektedir [7].

Dilüsyon işlemi tamamlandıktan sonra besiyerine ekim yapılır. Eğer materyaldeki mikroorganizma yükü tahmin edilebiliyorsa, tüm dilüsyonlarda ekim yapmaya gerek yoktur. Ekim bittikten sonra vakit kaybetmeden petri kutuları inkübasyona bırakılmalıdır. Gereğinden uzun yada kısa inkübasyon süreleri sayımda yanıltıcı sonuçların alınmasına yol açabilir. Inkübasyon bittiğinde oluşan

kolonilerin hemen sayılması gerekmektedir. Ancak herhangi bir nedenle koloniler hemen sayılmıyorsa petri kutuları en çok 24 saat süre ile buzdolabında (+4°C) depolanır [7].

2.5. 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 [13].

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 yöntemde 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 [13].

Havadaki mikroorganizmaların sayımı için birçok hava örnekleme cihazı da geliştirilmiştir. Bu cihazlar kullandıkları hava akımına göre aktif ve pasif olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. Pasif teknikler parçacıkların örnekleme platformu üzerine çökmesi esasına dayanır. Aktif teknikler ise örnekleme yüzeyi üzerinden havanın geçebileceği şekilde düzenlenmiştir [13].

2.5.1. Sedimentasyon

Sedimentasyon olayından yararlanılarak uygulanan pasif yöntem şeklindedir. 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 [13].

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 [13].

2.5.2. Süzme yöntemi

Aktif teknik sınıfındaki 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 [13].

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 [13].

2.5.3. Barbotaj yöntemi

Bu örnekleyciler havanın eğri bir borudan geçerek sıvı ortamda toplanması ilkesine dayanır. Aktif teknik sınıfındaki 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 [13].

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[13].

2.5.4. Çöktürme

Aktif teknik sınıfındaki 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 [13].

Elektrostatik tortulama örnekleyicileri, 1 mm'den daha küçük çaplı parçacıkları toplamak için kullanılan örnekleyicilerdir. Elektrostatik uygulamada havadaki parçacıkların çekimi bir elektriksel alan ile sağlanır [13].

2.5.5. Çarpıcı örnekleyiciler

Geliştirilen bu cihazlar ilk hava örnekleyici sistemlerdir. Hava bir delikten yüksek hızda geçerken agar yüzeyi üzerine toplanır. Besiyeri üzerine düşen mikroorganizmaların oluşturduğu koloniler sayıldığı için seçilecek besiyeri büyük önem taşır [13].

2.5.6. 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 [14].

2.6. Antimikrobiyal Sistemler

Antimikrobiyal etkenler ve bunların kullanılışı ile ilgili olarak genellikle karşılaşılan başlıklar şunlardır. Bakteriyostatik, bakteriosidal, steril, dezenfektan, septik, aseptik.

2.6.1. Bakteriyostatik

Bakterilerin çoğalmasını önleyen maddelere denir. Bunların ortadan uzaklaştırılmasından sonra bakteriler yeniden üremeye başlarlar [11].

2.6.2. Bakteriosidal

Bakterileri öldürebilen maddelerdir. Bu etkinin bakteriyostatikten farkı burada işlemin geri dönüşmez olmasıdır. Öldürülmüş bir organizma etkenden tamamen uzaklaştırılsa bile artık üreyemez. Bazı hallerde etken hücreleri eritici etkiye sahiptir. Diğer bazı hallerde hücreler bozulmamış ve hatta metabolik bakımdan aktif halde kalabilirler [11].

2.6.3. Steril

Her şekildeki hayattan arı demektir. Sterilizasyon, süzme suretiyle (özellikle sıvılar ve hava) ya da mikropları öldüren etkenlerle yapılabilir [11].

2.6.4. Dezenfektan

Yüzeylerdeki mikroorganizmaları öldürmek için kullanılan fakat direkt olarak dokulara uygulanamayacak kadar toksik olan maddelerdir [11].

2.6.5. Septik

Canlı dokularda patojen mikropların bulunması ile tanımlanır [11].

2.6.6. Aseptik

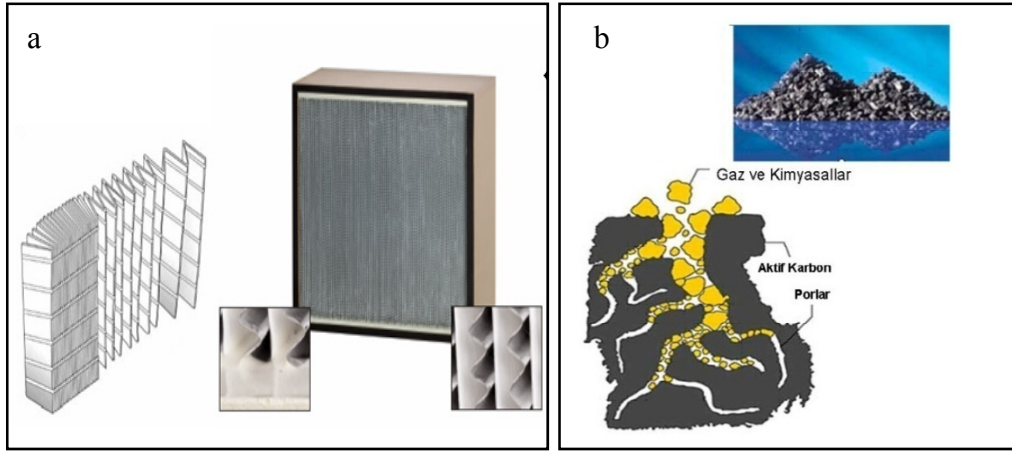
Ortamda patojen mikropların bulunmayışı ile tanımlanır [11].

3. HAVA ARITIMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Genel Hava Arıtma Sistemleri

Hızla gelişen sanayi ve artan insan nüfusunun küresel dünyaya getirdiği yük yaşadığımız ortamdaki havayı insan sağlığı açısından önemli bir tehdit haline getirmiştir. Bu nedendir ki 1990'ların başlarından itibaren soluduğumuz havayı arıtmak ve kalitesini arttırmak üzerinde önemle durulan bir araştırma konusu olmaktadır [15]. Aşağıda bu konu üzerinde nano teknoloji dalını kullanarak yürütülmekte olan araştırmalara değinilmiştir.

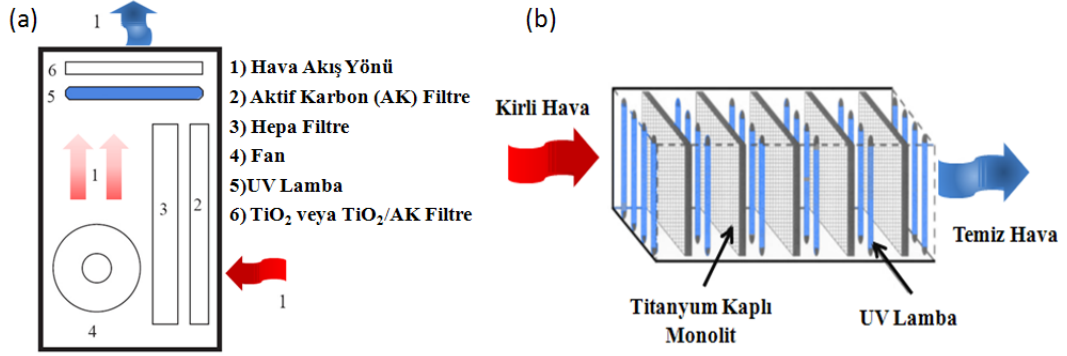
Genel hava arıtma sistemleri iki başlık altında sınıflandırılabilir. Birincisi günümüzde tutucu sistemler olarak ön plana çıkan geniş yüzey alanlarına sahip aktif karbon ve hepa filtrelerdir (Şekil3.1) İkinci başlıkta ise kimyasal süreçler sınıfına giren UV, Ozon (O_3), H_2O_2 , fotokatalitik kimyasal sterilizasyon yöntemleri yer almaktadır.



Şekil 3.1. Tutucu sistemler a) Hepa filtre, b) Aktif karbon (AK)[15]

Uygulanan teknikler incelendiğinde ya mikroorganizmaların tutulduğu yada kimyasal yıkımla yok edildiği görülmüştür. Sterilizasyondan yoksun tutuculuk yöntemleri başlangıçta insan sağlığına bir risk taşımasa da uzun vadede bakteri üreme yüzeyleri oluşturmaları nedeniyle problemlere sebebiyet vermektedirler. Kimyasal yöntemlerde ise organizmalar insan metabolizmasına da etki eden Ozon ve kısa dalga UV ışınımı etkilerinden yararlanılarak yok edildiklerinden insan yaşamına karşı önemli riskler taşımaktadırlar.

Mevcut hava arıtma sistemleri incelendiğinde iyileştirme çalışmaları için iki farklı prensibe rastlanmaktadır. Birinci prensip tutucu yüzeylerin fotokatalitik etki kazandırılması ikinci prensipse fotokatalitik yüzeylere tutuculuk özelliği kazandırılmasıdır.



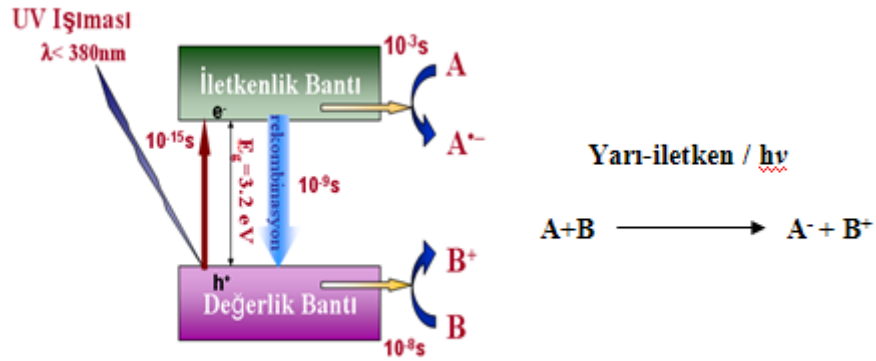
Şekil 3.2. (a) AK/ TiO₂ hava arıtma sistemleri[1] (b) Fotokatalitik monolit arıtma sistemleri[16].

Şekil 3.2(a)'da görülen sıralamaya esinlenerek geliştirilen yeni cihazın son ölçüleri kullanılacak filtre ekipmanlarına göre tasarlanmıştır.

3.2. Fotokatalitik Sistemler

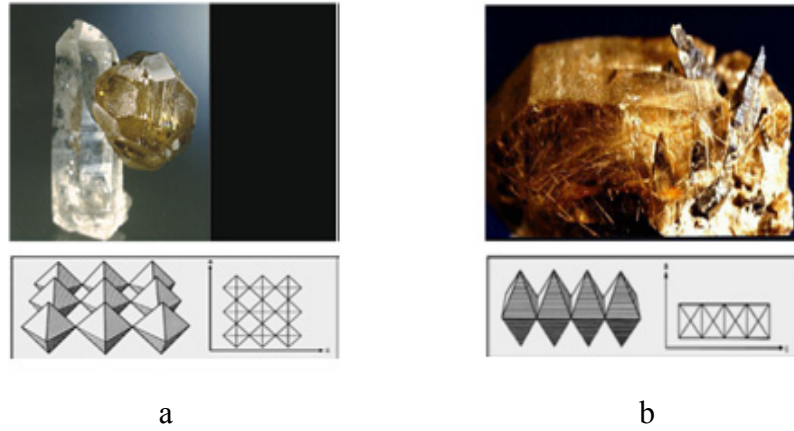
Fotokatalitik etki konusuna değinecek olursak ilk olarak yarı iletken malzemelerdeki UV ışık altında gerçekleşen yüzey tepkimelerinden bahsetmek gerekir. Şekil 3.3 de şematik olarak gösterilen yarı iletken malzemelerde fotokatalitik etki basamaklar halinde sıralanmıştır [17].

- Foto-uyarım
- Elektron atlaması (VB-CB)
- Boşluk oluşumu (valence band)
- Yüzey redoks tepkimesi [17].



Şekil 3.3. Fotokatalitik etki mekanizması [17].

Günümüzde bu alanda kullanılacak en iyi fotokatalitik etkiye sahip malzemenin nano partikül anataz TiO_2 fazı olduğu gözlenmiştir. Kısaca TiO_2 özelliklerine değinirsek doğada 3 temel faza sahiptir. Bu fazlardan anataz ve rutil (Şekil3.4. (a) ve (b)) fazları endüstride kullanım alanına sahiptir fakat brookite fazının teknolojik değeri bulunmamaktadır.



Şekil 3.4. TiO_2 faz yapıları (a) tetragonal anataz (b) ortorombik rutil [17].

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 UV 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

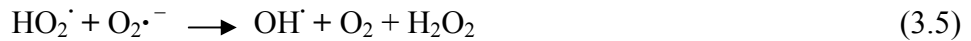
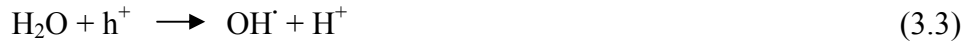
arındırılması gibi özelliklere sahiptir. 3.2 eV band enerjisi seviyesinde her türlü molekülün yükseltgenme enerjisinin üzerindedir [17].

TiO₂ ucuz, kararlı olması ve organik bileşikleri UV ışınması altında O₂, su ve CO₂ gibi zararsız bileşiklere döndürmesi nedeniyle literatürde en çok kullanılan yarı iletken malzemedir. Dezenfeksiyon amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [17].

TiO₂/UV fotokatalitik yükseltgeme işlemi temel olarak solar enerji (hν) ile TiO₂ yüzeyinde elektron (e⁻) ve boşluk (h⁺) çiftinin katalizör yüzeyindeki maddeler ile çeşitli tepkimeler vermesine dayanmakta ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [17].



UV ışınlanması ile oluşan elektron ve boşluklar aşağıdaki eşitlikler ile açıklandığı şekilde peroksit anyon radikali (O₂⁻) ve hidroksil radikali (HO[•]) oluşturabilirler [17].



Organik molekülün fotokatalitik parçalanması durumunda aktif yapı OH[•], hidroksil radikalidir. OH[•] çok güçlü bir yükseltgeyicidir ve pek çok organik madde ile reaksiyona girerek organik maddelerin CO₂'ye oksidasyonunda önemli rol oynar [17].

Fotokatalik yöntem ile hava dezenfeksiyon çalışmalarında 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 87m³ 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 kültürlenabilir 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 [18].

TiO₂ 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 tıbbi riskler oluşturabilir. Titanyumdioksit kaplı yüzeylerde fotokatalitik yükseltgeme bir alternatif olarak önerilebilir. Su ve oksijen varlığında TiO₂ 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 log₁₀ kattan daha fazla gözlenmiştir. *Candida albicans* kullanıldığında ise giderim verimliliği 60 dakikada 2 log₁₀ kat gözlenmiştir [18].

3.3. Filtre Elemanları

3.3.1. Kaba filtre

İlk filtreme basamağı olan kaba filtre 287x592x70 mm ebadındadır. Şekil 3.5'de gösterilen filtre, kaba partikülleri hedeflediği için çok yüksek tutuculuk özelliği yoktur.



Şekil 3.5. Kaba filtre

3.3.2. Karbon filtre

6 mm kalınlığındaki aktif karbon filtre (Şekil 3.6) hem yüksek partikül tutuculuğu hem de koku önleyici özelliğe sahip olması nedeniyle seçilmiştir. Bu özellikler ile kaba filtrenin etkisini iyileştirmesi hedeflenmektedir.



Şekil 3.6. Aktif karbon filtre

3.3.3. Varicel-V filtre

V-4 sınıfındaki Şekil 3.7’de gösterilmiş olan filtre saatte maksimum 2125 m³ hava geçişine izin vermektedir. Bu noktada Tanlo3.1’de gösterildiği üzere V filtre %60-65 tutuculuk verimliliğine sahip olmasıyla ikincil yüksek verimli filtredir.



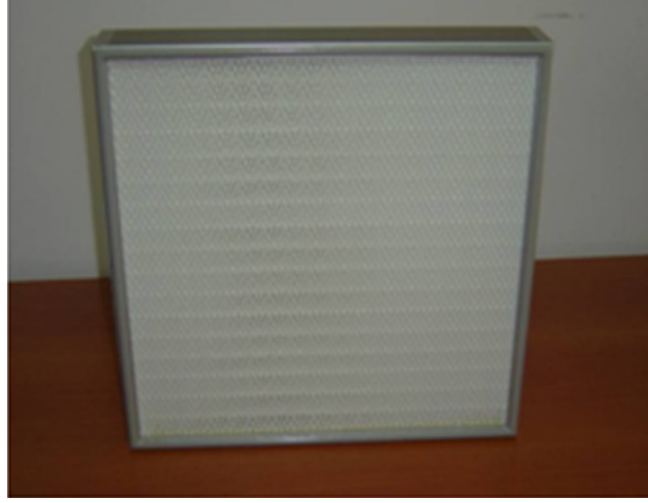
Şekil 3.7. V-4 Filtre görünüşü.

Tablo 3.1. V-4 Filtre verileri [19].

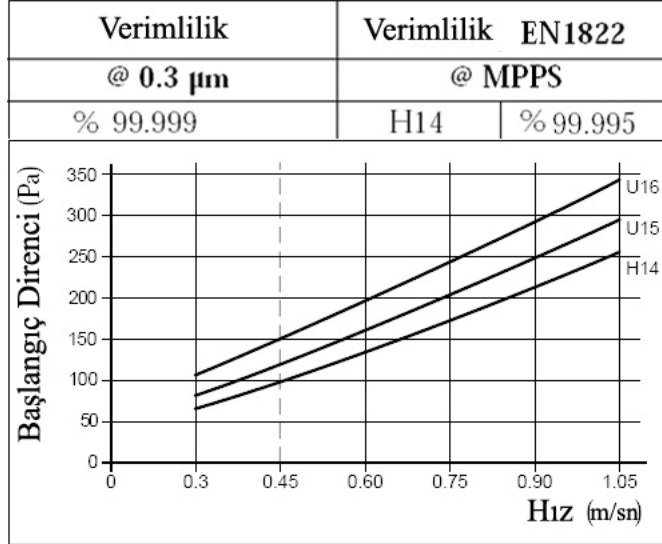
Filtre Tipi	Boyut (mm) YxExB	Hava Akışı				Ortalama Verim ² %	Nominal Akıştaki İlk Direnç (Pa)	Final Direnci ³ (Pa)
		Maksimum		Nominal				
		m ³ /sn	m ³ /d	m ³ /sn	m ³ /d			
VV6-6- 24.24-124)	592 x 592 x 292	5000	1,39	4250	1,18	60-65	110	600
VV6-6- 20.24-124)	490 x 592 x 292	4165	1,15	3540	0,98	60-65	110	600
VV6-6- 12.24-124)	287 x 592 x 292	2500	0,69	2125	0,59	60-65	110	600

3.3.4. Hepa filtre

Son filtre elemanı olan Hepa filtreler 0.45 m / sn hava akış hızında saatte 523 m³ hava akışına izin vermektedir. Şekil 3.8'de gösterilen 494x494 mm boyutlarındaki Hepa filtre 0.3 µm tane boyutuna kadar %99.995 tutuculuk verimiyle çalışmaktadır (Şekil3.9) [19].



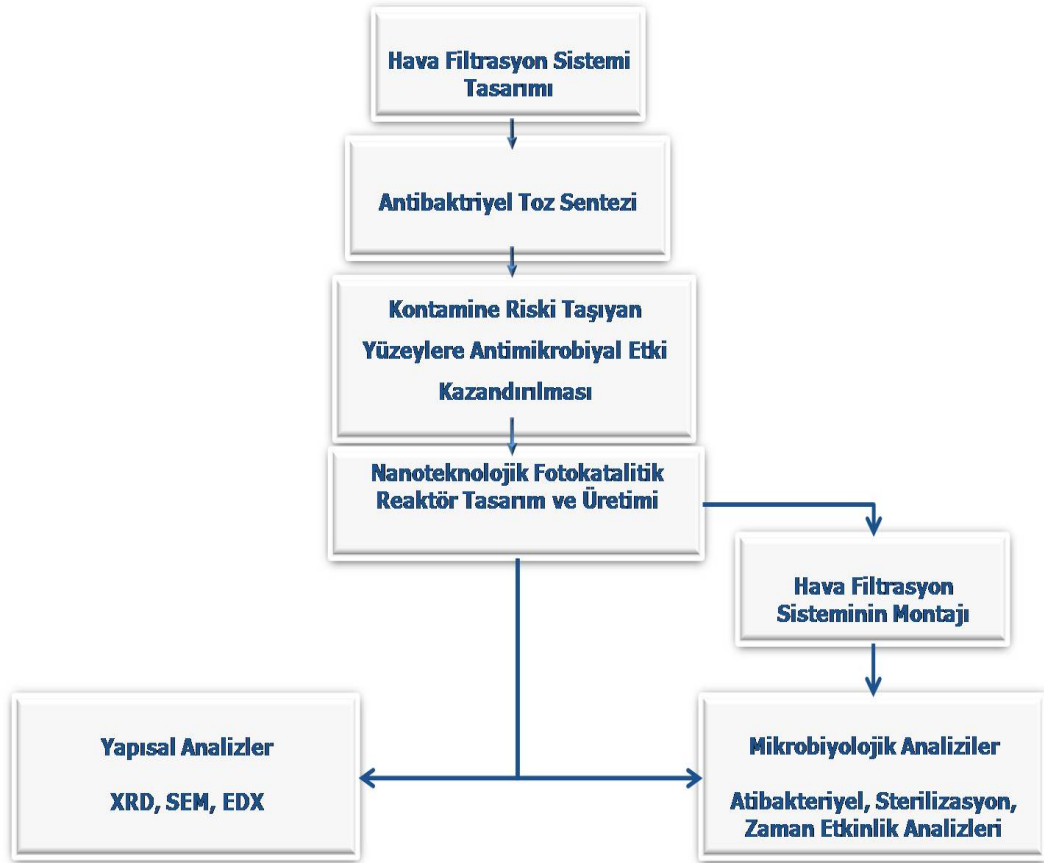
Şekil 3.8. Hepa filtre görünüşü.



Şekil 3.9. Hepa filtre verileri [19].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

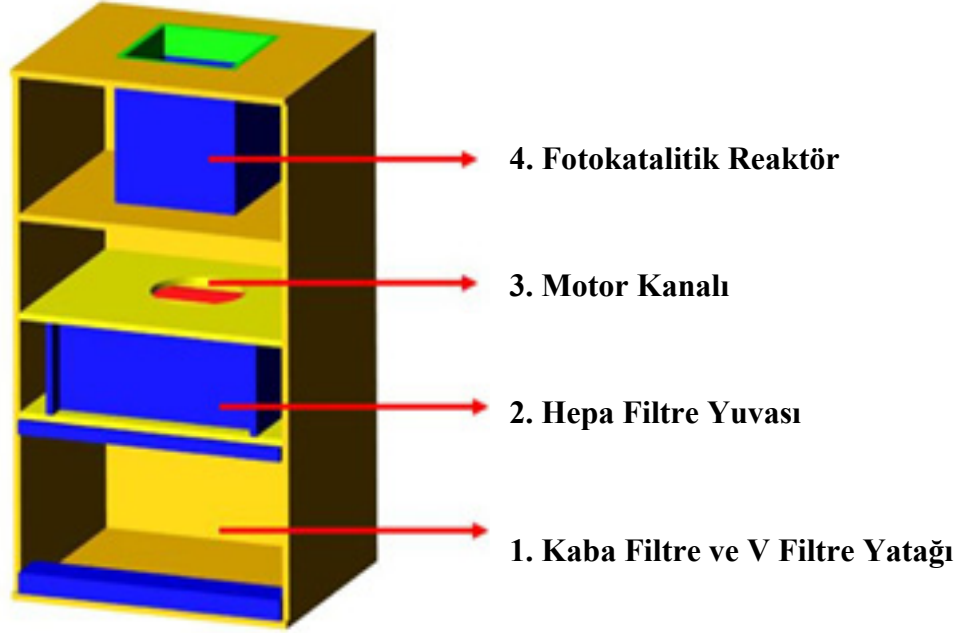
Yapılan çalışmalardaki genel amaç mevcut hava filtrasyon sistemlerinin eksikliklerini gidermek için nanoteknolojik ürünlerden faydalanarak etkinliği yüksek yeni hava sterilizasyon sistemi tasarlamak ve üretmektir. Hava arıtımında karşılaşılan eksiklikleri ve riskleri gidermek üzere bu çalışmada kontaminasyon riski taşıyan tüm yüzeylere antimikrobiyal özellik kazandırılması hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra Ag+TiO₂ destekli fotokatalitik reaktör tasarım çalışmasıyla da etkinliği yüksek bir hava sterilizasyon sistemi geliştirmek temel amaçtır. Şekil 4.1’de verilen akım şemasında çalışmalarda kat edilen aşamalar gösterilmektedir.



Şekil 4.1. İzlenen çalışma süreci.

4.1. Kabin Tasarımı

Hava filtrasyon ünitesinin ilk tasarımı seçilen filtre ve motor elemanlarına göre boyutlandırılarak Şekil 4.2’de görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Bu çizim esnasında tasarım programlarından AutoCad 2006 kullanılmıştır.



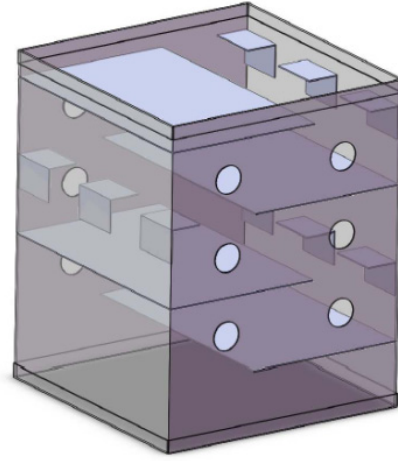
Şekil 4.2. Hava filtrasyon kabin tasarımı.

Tasarım Şekil 4.2’de gösterildiği gibi 4 kısımdan oluşmaktadır İlk kısımda kaba aktif karbon ve V filtrenin bulunacağı yatak kısmı gelmektedir. Ayrıca bu kısım hepa filtrenin yuvasına yerleşmesi içinde geçiş bölgesi oluşturmaktadır. Bu bölmelerin sızdırmazlığını ve motordan kaynaklı titreşimleri sönmölemek için ilk kabinimiz suntadan imal edilmiştir. Şekil 4.2. de gösterilen 3. bölüm ise fanın yerleştirileceği bölümdür.

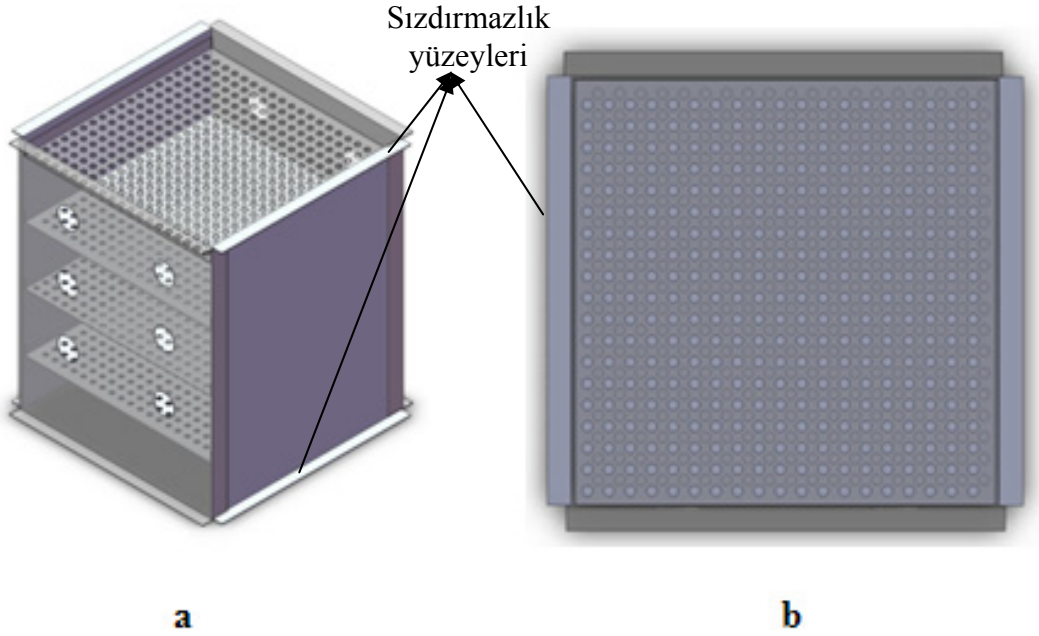
4.2. Filtrasyon Sterilizasyon Çemberinin Tasarımı

Gerçekleştirilen hava sterilizasyon testlerinin sonrasında belirlenen yüzeyler ve lambaların etki mesafesine göre Şekil 4.3’de ilk tasarımı görülen reaktör bilgisayar ortamında 2 farklı şekilde tasarlanmıştır. Kare alana oturacak

şekilde tasarlanan rektörlerimizde üretimin kolaylığı ve etkinliği nedeniyle Şekil 4.4'de gösterilen gözenekli yapı kullanılmıştır. Bu sayede reaktör içerisinde hava akışını şaşırtmacalı kanallardan geçirilerek yapılmasıyla etkileşimin artırılması hedeflenmektedir. Reaktör kulakçıkları sızdırmazlığın artırılması amacıyla dışa büküm olarak tasarlanmış ve sızdırmazlıkları contalarla sağlanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. İlk reaktör tasarımının izometrik görünüşü.

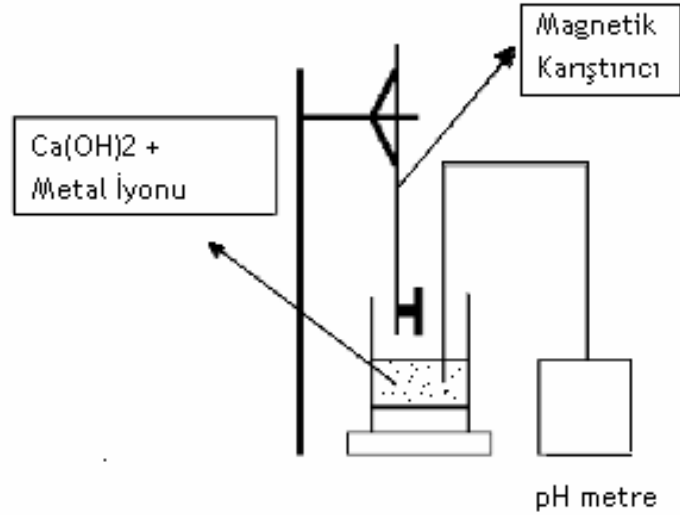


Şekil 4.4. İkinci reaktör tasarımının (a) izometrik görünüşü (b) üstten görünüşü.

4.3. Antimikrobiyal Seramik Tozun Hazırlanması

Tasarım çalışmalarından sonra sağlık ve sofrta gereçleri kaplamalarında kullanılan metal iyon katkılı antimikrobiyal seramik tozunun hava arıtma sistemi için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Öncelikle antimikrobiyal toz sentezlenme çalışmaları yapılmış, daha sonrasında tozun tane boyutu küçültülmüştür.

Metal iyon katkılı antimikrobiyal seramik tozun hazırlanması sırasında yaş kimyasal yöntem kullanılmıştır. Yaş kimyasal yöntemde Şekil 4.5’de görüldüğü gibi, önce metal iyonları saf suda mikser yardımıyla tamamen çözülmüştür. Çözeltinin içerisine kalsiyum hidroksit eklenerek süspansiyon hazırlanmış ve yavaş yavaş asit ilave edilerek devamlı karıştırma ile kimyasal reaksiyona girmesi sağlanmıştır. Kalsiyum fosfat yapısına yakın bir yapı oluşturmak için pH belli bir değerde sabitleninceye kadar karıştırmaya devam edilmiştir. Oluşan çözelti filtreden geçirilmiştir. 80°C’de etüvde kurutulan çökelti kuru öğütülerek toz haline dönüştürülmüştür. Üretilen tozun faz analizleri Rigaku marka, Rint 2200 model X-ışını kırınım (XRD) cihazı ile yapılmıştır. X-ışını kaynağı olarak Cu tüpü ($\lambda=1,54 \text{ \AA}$) kullanılmıştır. XRD ölçümlerinde çekim hızı 2°/dakika olarak seçilmiştir.



Şekil 4.5. Antimikrobiyal seramik tozun hazırlanması.

4.3.1. Antimikrobiyal tozun tane boyutunun küçültülmesi

Antimikrobiyal tozun sentezlenmesinden sonra bu toz ile kaplanan filtre elemanlarının ve kaplama esnasında kullanılan pistole iğnelerinin tıkamaması için tane boyutu küçültme çalışmaları yapılmış ve gerekli antimikrobiyal özelliği gösterecek optimum kaplama miktarı saptanmaya çalışılmıştır. Başlangıç tozu gümüş iyon katkılı kalsiyum fosfat esaslı antimikrobiyal tozdur. Başlangıç tozunun tane boyut dağılımı 1 µm ile 100 µm arasındadır. Tane boyutunun küçültülmesi amacıyla attritör değirmen kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında gerçekleştirilen tane boyut analizleri Malvern Mastersizer 2000 kullanılarak yapılmıştır

Öğütmede kullanılacak su miktarının etkisini belirlemek amacıyla değişik toz/su oranına sahip 3 farklı numune hazırlanmıştır. Tablo 4.1’de hazırlanan numuneler ve verilen kodlar verilmiştir.

Tablo 4.1. ABT kodlu tozla hazırlanan numuneler ve verilen kodlar.

Toz/Su Oranı	Numune Adı
30%	ABT1
20%	ABT2
10%	ABT3

4.4. Aktif Karbon Filtrelere Yüzeylerine Antimikrobiyal Etki Kazandırılması

20 g ABT-05 kodlu antimikrobiyal toz 80 g suyla birlikte attritör değirmende (Şekil 4.6) 1 saat öğütülmüştür. Tekstil bağlayıcısı olarak kullanılan akrilik esaslı A bağlayıcısı ile yine tekstil de çapraz bağlayıcı olarak kullanılan B bağlayıcısı 80/20 oranında karıştırılmıştır. Daha sonra hazırlanan toz/su karışımından 10 g ve tekstil bağlayıcısı karışımından 20 g alınarak bir kaptaki 70 g suyla beraber 10 dakika boyunca karıştırılmıştır. Sonuç olarak ağırlıkça da %2 ABT antimikrobiyal toz, %20 bağlayıcı ve çapraz bağlayıcı karışımı ve % 78 sudan oluşan solüsyon elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Attritör değirmen.

Aktif karbon filtre elamanları geniş yüzeylerinde tutuculuk özelliğini tamamen kapatmaması için kaplama tekniği olarak spreyc yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede aktif karbonun tüm gözenekleri de kullanılan solüsyonla kaplanmamış ve tutuculuk özelliği engellenmemiştir.

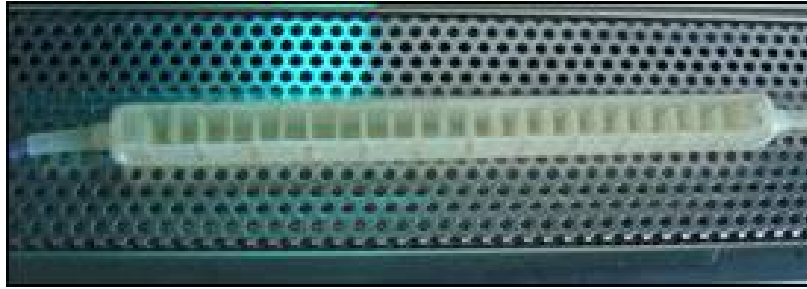
Aktif karbon filtre malzemesi tekstil bağlayıcılarıyla hazırlanmış antimikrobiyal solüsyon kullanarak kaplanmıştır. Antimikrobiyal tozun yüzeye yapışması için filtreler kaplama sonrası 200 °C sıcaklıkta 2 dakika ısıl işleme tabi tutulmuştur.

Kaplanan yüzeylerin içyapı analizleri Oxford Instruments marka 7430 model enerji saçınımlı X-ışını (EDX) spektrometresine sahip Zeiss marka Supra 50 VP model alan yayınımlı elektron tabancalı (FEG) taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Zeiss Evo 50 EP cihazında (Bruker firmasına ait Quantax 400 yazılımı kullanılarak yarı kantitatif EDX analizleri) gerçekleştirilmiştir.

4.5. TiO₂ Yüzeylerinin Etkisinin Araştırılması için Prototip Reaktör Üretimi

Havadaki mikroorganizmaların dezenfeksiyon ön çalışmaları, antimikrobiyal 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 fotokatalitik destekli reaktör için şeffaf plexi glass malzemesi 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 4.7 ve fotokatalik reaktör ile UV sistem Şekil 4.8 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. TiO₂ kaplı reaktör test düzeneği.

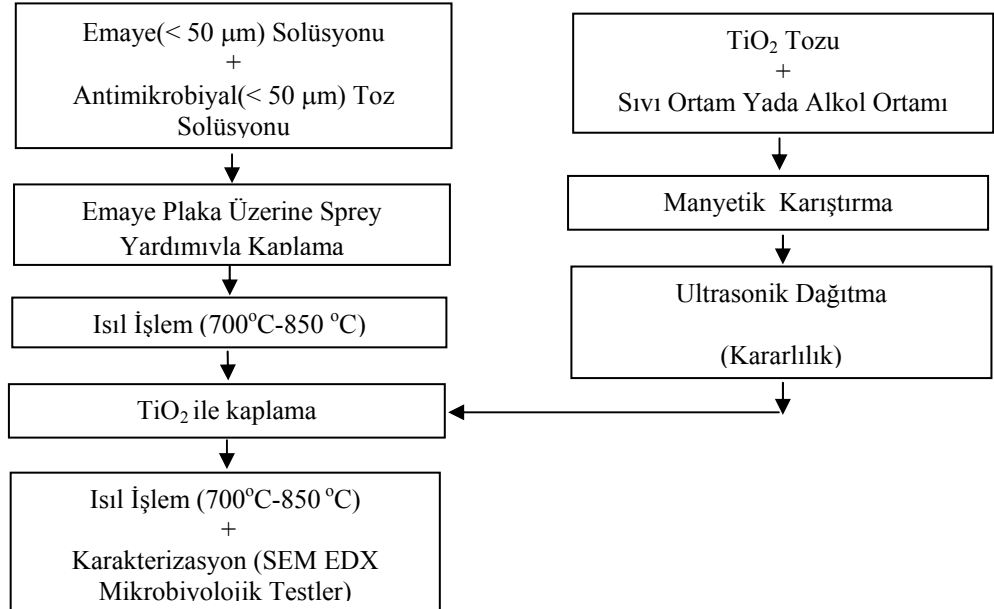


Şekil 4.8. TiO₂ kaplı reaktör ile hava dezenfeksiyonu

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 g etil asetat ve 20 g TiO₂ tozunun 15 dakika karıştırılması ile hazırlanmıştır. Test sırasında yüksek verimliliği nedeniyle C sınıfı kısa dalga UV lamba tercih edilmiştir.

4.6. Reaktör Yüzeylerinin Ag+TiO₂ Kaplama Çalışmaları

Yapılan ön çalışmalar sonucunda ve UV ışık kaynağının boyutu ve etki mesafesi göze alınarak tasarlanan reaktörümüzün kaplamasında kimyasal kararlılığı ve fiziksel mukavemeti nedeniyle parçacıklar camsı yüzeylere tutturulmuştur. Prosesin kolaylığı ve istenilen gözenekli morfolojinin elde edilmesi için kaplama tekniği olarak sprej yöntemi seçilmiştir. Şekil 4.9'da akış diyagramında verildiği gibi sıvı ortamlarda ayrı ayrı açılan seramik tozu ve antimikrobiyal tozu karıştırılarak sprej kaplama yöntemiyle reaktör yüzeylerine kaplanmıştır. Daha sonrasında ise 700°C'nin üzerinde ısıl işleme tabi tutulan yüzeylerin yapışması sağlanmıştır. İlk yapışma gerçekleştikten sonra modifiye edilmiş nano boyutlu TiO₂ (%70 anataz, %30 rutil) kullanılarak hazırlanan süspansiyon tekrar sprej yöntemiyle yüzeye uygulanmıştır. İkinci defa kısa süreli uygulanan ısıl işlem sonucu tozun yüzeye tutunması sağlanmıştır. Kaplamanın iki basamakta gerçekleştirilmesinin sebebi ise sadece UV ışınına maruz kalan dış yüzeylerin TiO₂ kaplanması ve TiO₂ parçacıklarının emaye yüzeyine tamamen gömülmesinin önüne geçilmek istenmesidir. Aksi durumda camsı faz altında kalan TiO₂ tanecikleri katalitik etkisini gösterememektedir.

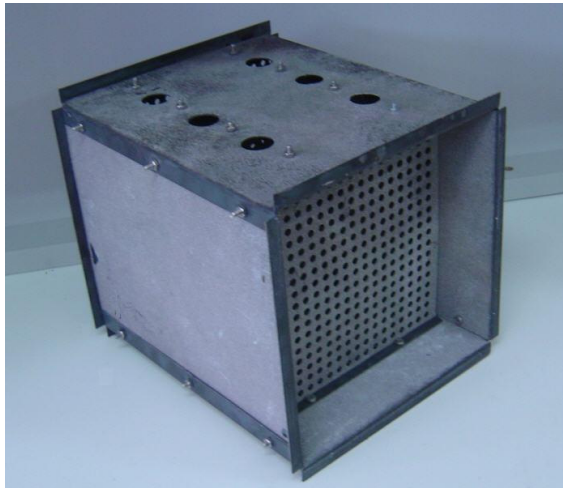


Şekil 4.9. Hava filtrasyon ünitesinin antimikrobiyal ve fotokatalitik hale getirilmesine ait akış diyagramı.

Tasarlanan ölçüler doğrultusunda şekillendirilen ve hem antimikrobiyal hem de fotokatalitik fonksiyonel özelliğe sahip emaye plakaları Şekil 4.10'da gösterilen paslanmaz vidalar ile tutturulmuştur. Şekil 4.11'de görüldüğü üzere lambalar 2 şerli olarak 3 kata yerleştirilmiştir. Böylece fonksiyonel emaye kaplamalarının yanında UV kullanılarak sistemin etkinliğinin artırılması planlanmıştır. Dolayısıyla antimikrobiyal toz ile bakteri çoğalması engellenmekte, fotokatalitik etki ile zararlı organizmalar parçalanmakta ve UV ile bu iki özelliğin etkinliği arttırılmaktadır.



Şekil 4.10. Filtrasyon sterilizasyon reaktörünün izometrik görünüşü.



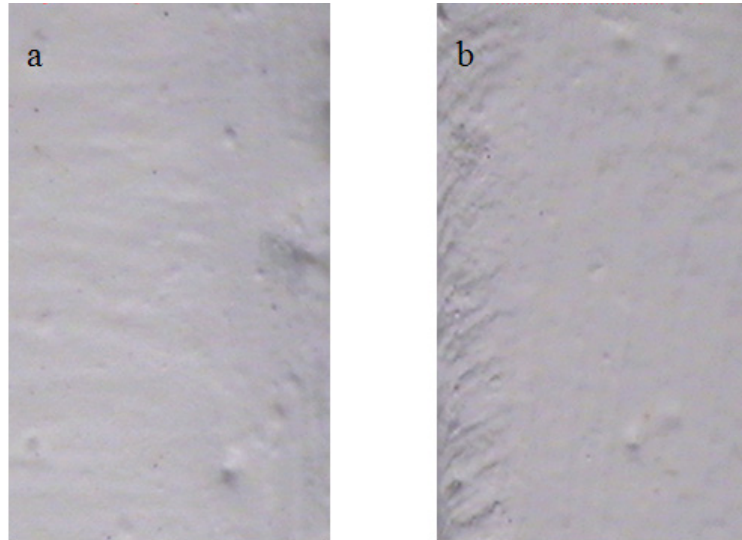
Şekil 4.11. Filtrasyon sterilizasyon reaktörünün alttan görünüşü.

4.7. Antimikrobiyal Kabin Yüzeylerinin Üretim Sürecinin Geliştirilmesi

Bu bölümde üretilen hava arıtma sistemini hava harici dış kontaminasyonlardan izole etmek ve sistemin güvenilirliğini bir kat daha arttırmak hedeflenmektedir.

Bu sebeple bu aşamada antimikrobiyal tozun kabin yüzeylerinin boyanacağı boya içerisinde homojen şekilde dağıtılması ve gerekli antimikrobiyal özelliği gösterecek kaplama miktarının belirleme konusunda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Başlangıç tozu ZAG kodlu gümüş ve çinko iyon katkılı kalsiyum fosfat esaslı antimikrobiyal tozdur. Başlangıç tozunun tane boyut dağılımı 1 µm ile 100 µm arasındadır.

Ahşap gövdeden üretilen kabinin kaplanması için kapaticılığı yüksek selülozik boya seçilmiştir. Boyanın kuru ağırlığından yola çıkılarak katı oranının % 40 olduğu hesaplanmıştır. Katı ağırlık oranı hesabına göre % 2 ZAG kodlu çinko ve gümüş esaslı antimikrobiyal toz, boyanın açıcı solüsyonunda attritör değirmeninde 30 dakika boyunca dağıtılmıştır. Daha sonrasında hazırlanan solüsyon ve boya mekanik karıştırıcıda karıştırılarak pistole yardımıyla kabin yüzeyine kaplanmıştır. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi tüm yüzeylere kaplanan antimikrobiyal katkı boyanın renginde hiçbir değişiklik gözlenmemiştir.



Şekil 4.12. (a) Şahit boya (b) antimikrobiyal boya yüzeylerinin optik mikroskop görüntüsü.

4.8. Filtrasyon Cihazının Parçalarının Birleştirilmesi

Antimikrobiyal boyayla kaplanmış kabin yataklarına, hazırlanan filtre elemanları ve reaktör montajı gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 de görüldüğü gibi ilk olarak hepa filtre takıldıktan sonra sırayla V filtre ve antimikrobiyal karbon filtre takılmıştır. En son montajı gerçekleştiren kaba filtreyle cihazın tutucu sistemi tamamlanmıştır.

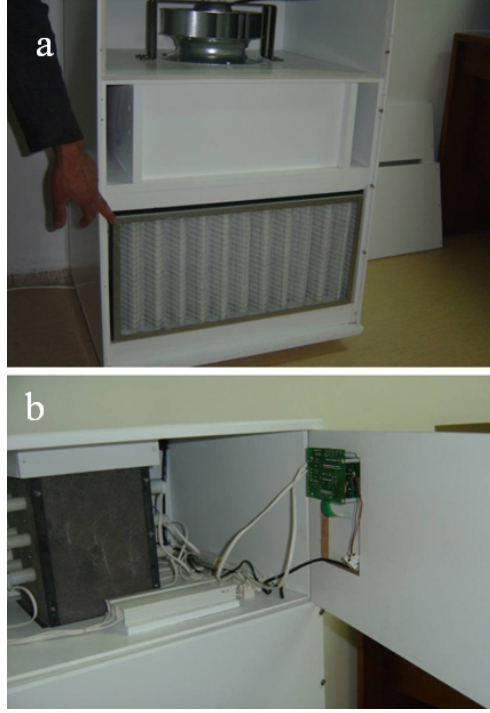


Şekil 4.13. Filtre ekipmanlarından hepa filtre montajı.



Şekil 4.14. Filtre ekipmanlarından (a) V filtre (b) karbon filtre montajı.

Montajı tamamlanan filtre elemanlarından sonra en üst bölmeye dezenfeksiyon hücresi olan foto katalitik reaktör ve kontrol paneli yerleştirilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. (a) Kaba filtre montajı (b) reaktör ve kontrol paneli montajı.

Tüm bileşenleri tamamlanan hava sterilizasyon ünitesinin kapakları montelenerek kapalı ortam testlerine geçilmiştir (Şekil 4.16).

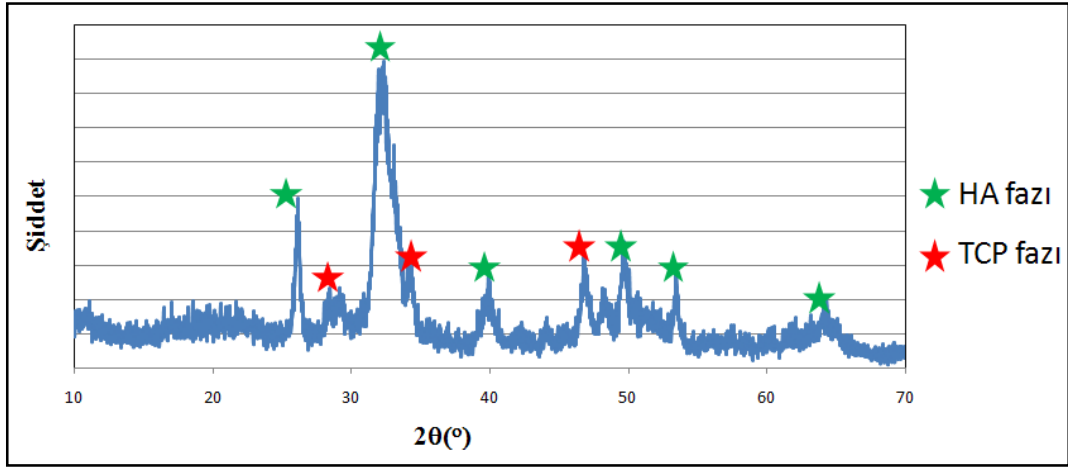


Şekil 4.16. Hava sterilizasyon ünitesi.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

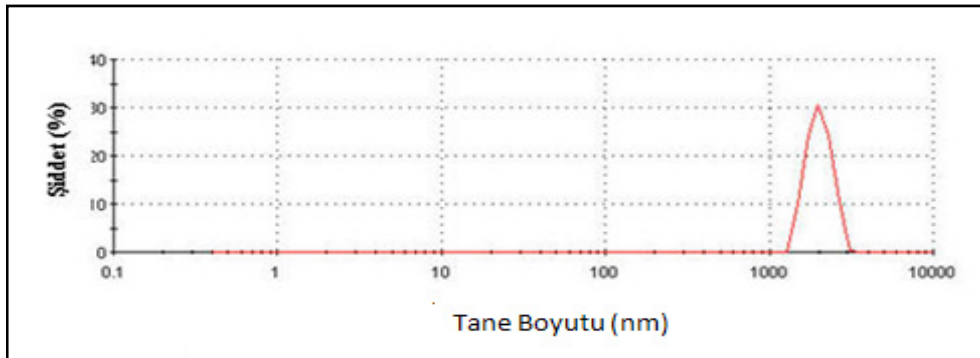
5.1. ABT Tozunun Faz ve Tane Boyut Analizi

Yapılan XRD analizi sonucu elde edilen grafikteki (Şekil 5.1) pikler JCPDS kataloğundaki verilerle karşılaştırılmış ve ABT kodlu antimikrobiyal tozun hidroksiapatit (HA) ve tri-kalsiyum fosfat (TCP) yapısında olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak toz kalsiyum fosfat fazlarının bulunduğu bir yapıdır.

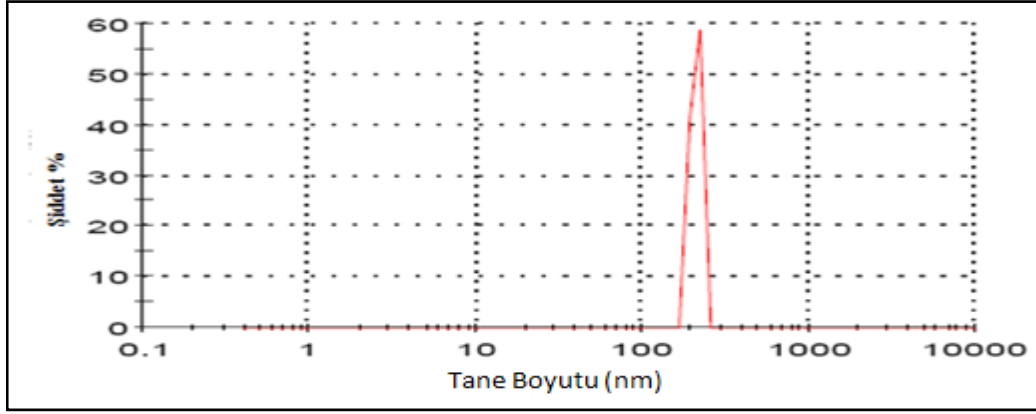


Şekil 5.1. ABT kodlu antimikrobiyal tozun XRD analizi sonucu.

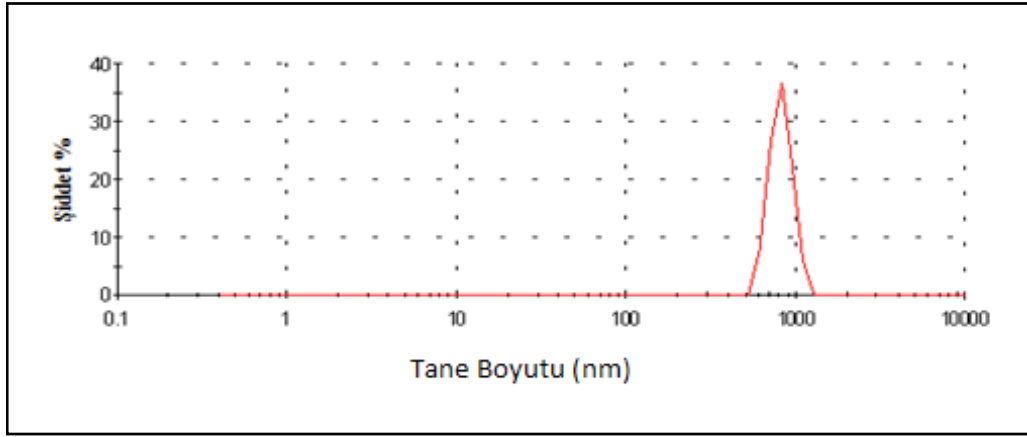
Yapılan analiz sonucunda (Şekil 5.2) öğütülmemiş antimikrobiyal seramik tozunun ortalama tane boyutunun 2 µm olduğu görülmüştür. Şekil 5.3’de grafikte gösterildiği gibi attritör değirmeninde 1 saat öğütmeden sonra % 20’lik ABT2 solüsyonunun tane boyutu 200 nm’ye kadar düşmüştür.



Şekil 5.2. ABT kodlu antimikrobiyal tozun tane boyut analizi sonucu.



Şekil 5.3. ABT2 kodlu solüsyonun tane boyut analizi sonucu.



Şekil 5.4. ABT3 kodlu antimikrobiyal solüsyonun tane boyut analizi sonucu.

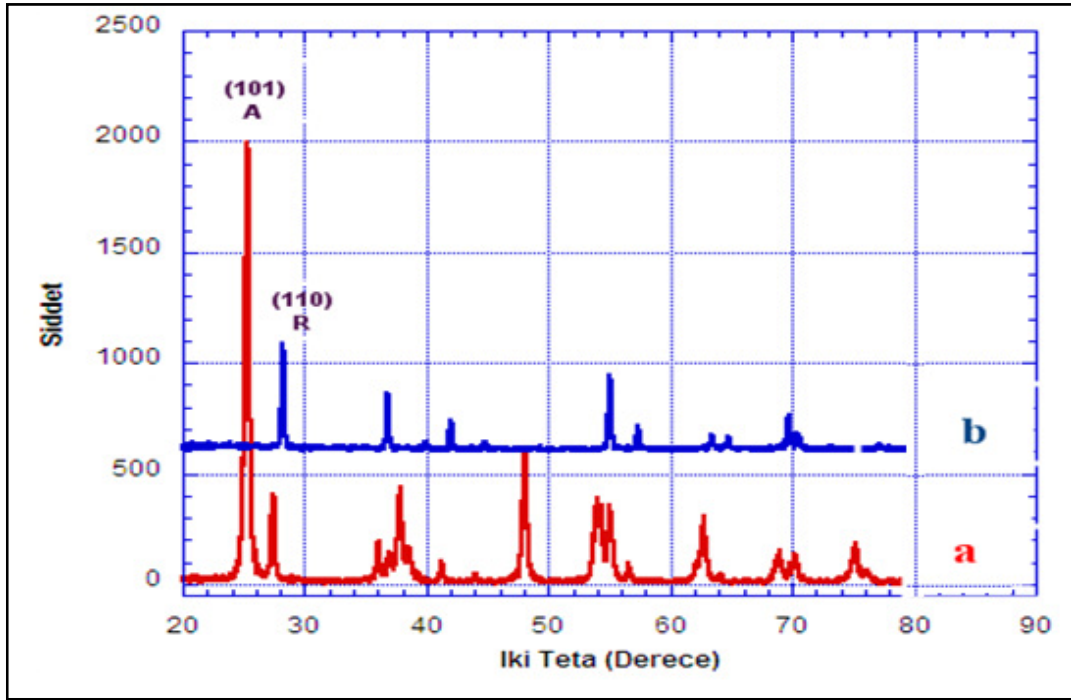
Tablo 5.1. Numunelerin 1 saat öğütüldükten sonraki ortalama tane boyutları

Numune	ABT1	ABT2	ABT3
1 saat	-	200 nm	750 nm

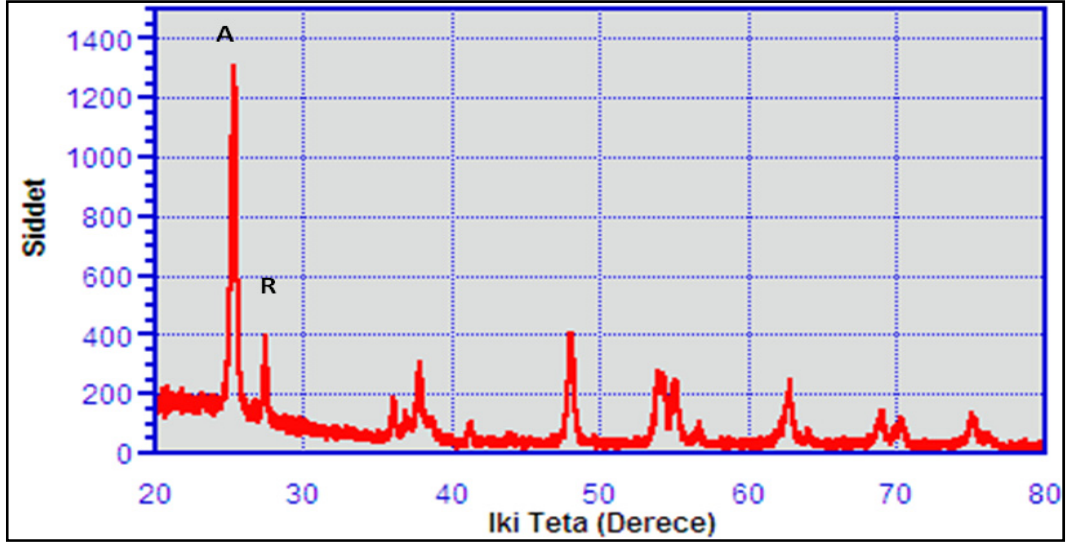
%30'luk toz solüsyonunun toz oranının fazlalığından dolayı zirkon bilyeler değirmen çeperlerine yapışmış ve öğütme gerçekleşmemiştir. Bu nedenle ABT1 kodlu tozun öğütme verileri Tablo 5.1 bulunmamaktadır. ABT3 kodlu solüsyonun öğütülmesinde ise toz oranının düşük olmasından dolayı zirkon bilye ve toz etkileşimi yetersiz gelerek taneler istenilen tane boyutuna düşürülemediği. Bu nedenle %20 toz oranına sahip ABT2 solüsyonu yüksek yüzey alanı sebebiyle kaplama esnasında daha örtücü davranacağından çalışma kapsamında kullanılmak üzere seçilmiştir.

5.2. TiO₂ Tozun XRD Analizleri

Kaplaması yapılan TiO₂'nin ısıtılma sonrasında anataz yapısını koruması için yüzeyi modifiye edilmiştir. Şekil 5.5'de 950°C'de ısıtılma öncesi (a) ve sonrası (b) tozların kristal yapılarına ait XRD paterni verilmektedir. Grafikten anlaşıldığı üzere ısıtılma öncesi yapıda anataz fazı mevcutken ısıtılma sonrası yapı tamamen rutile dönüşmektedir. Bu nedenle anataz yapıdan rutile yapısına faz dönüşümünün engellenmesi için yüzeyi modifiye edilmiştir. Şekil 5.6'da ise yüzeyi modifiye edilen ve ısıtılma maruz bırakılmış tozun XRD grafiği görülmektedir. Buradan görüldüğü gibi modifikasyonu yapılan toz 950°C'de bile yapıda anataz fazını korumakta ve ısıtılma öncesindeki tozla benzer yapı göstermektedir. Bu nedenle emaye pişirimi süresince kullanılan ısıtılma sıcaklık aralığı (700-800 °C) daha düşük olduğu için modifiye edilen toz bu sıcaklıkta rahat bir şekilde kullanılmıştır.



Şekil 5.5. TiO₂ tozunun (a) ısıtılma öncesi ve (b) sonrası XRD grafiği.



Şekil 5.6. Modifiye edilmiş TiO₂ tozun 950°C ısıtma işlemi sonrası XRD analizi.

5.3. Antimikrobiyal Tozun SEM Analizi

Tane boyut dağılımını belirlemek için başlangıç tozunun Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüsü alınmıştır.

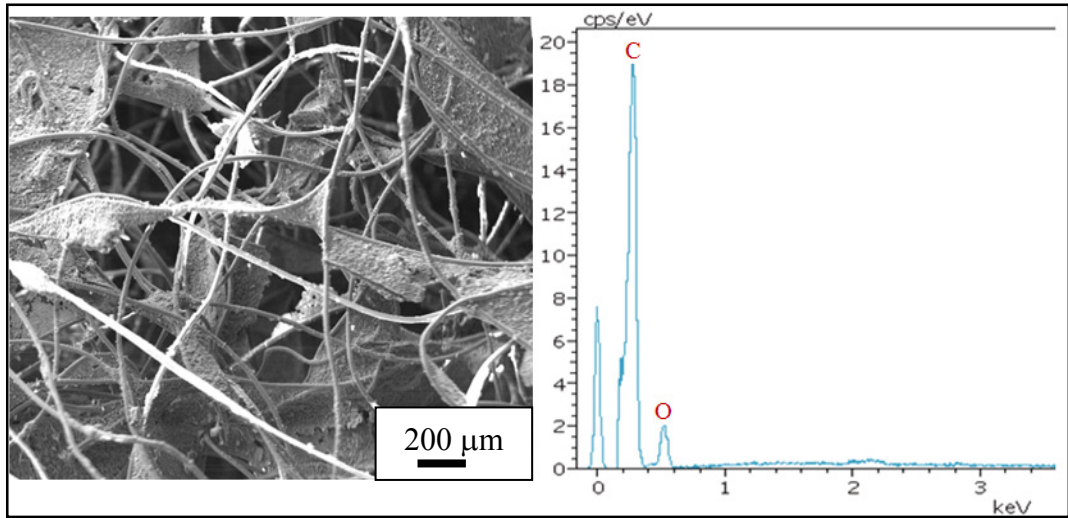
Şekil 5.7’de başlangıç tozuna ait SEM görüntüsü verilmektedir. Görüntüde de görüldüğü üzere başlangıç tozunun yüksek tane boyutuna ve geniş bir tane boyut dağılımına sahip olduğu saptanmıştır.



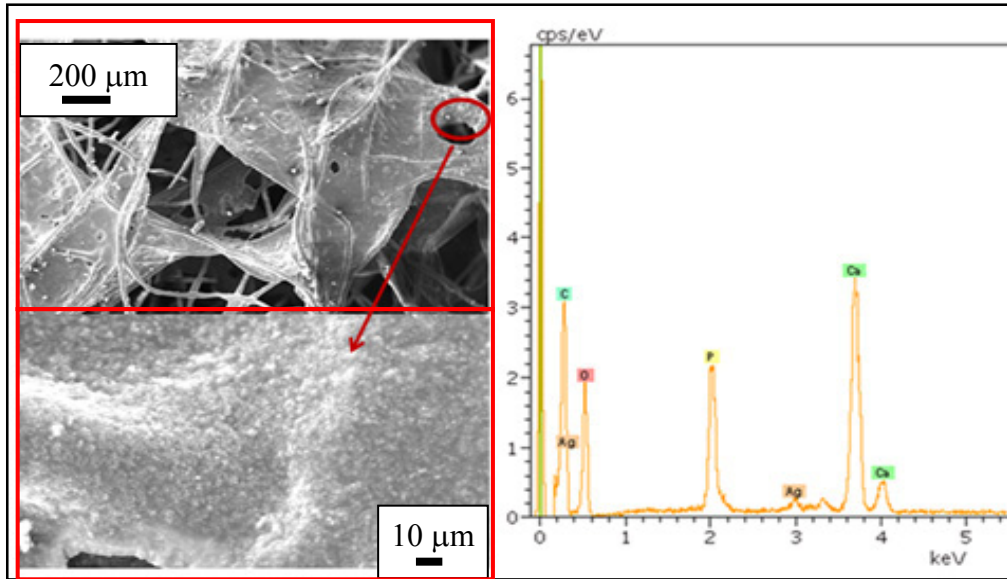
Şekil 5.7. Başlangıç tozunun SEM görüntüsü.

5.4. Karbon Filtrenin SEM ve EDX Analizleri

Şahit karbon filtrenin Şekil 5.8 de sunulan EDX analizlerinde karbon harici hiçbir elemente rastlanmamıştır. Tekstil bağlayıcısıyla karbon filtre yüzeylerine tutunması sağlanan ABT tozunun SEM görüntüsü Şekil 5.9’da verilmiştir. EDX grafiğinin’de görüldüğü üzere sisteme karbon harici kalsiyum fosfat ve gümüş iyonları dahil edilerek filtre yüzeyleri antimikrobiyal hale getirilmiştir.



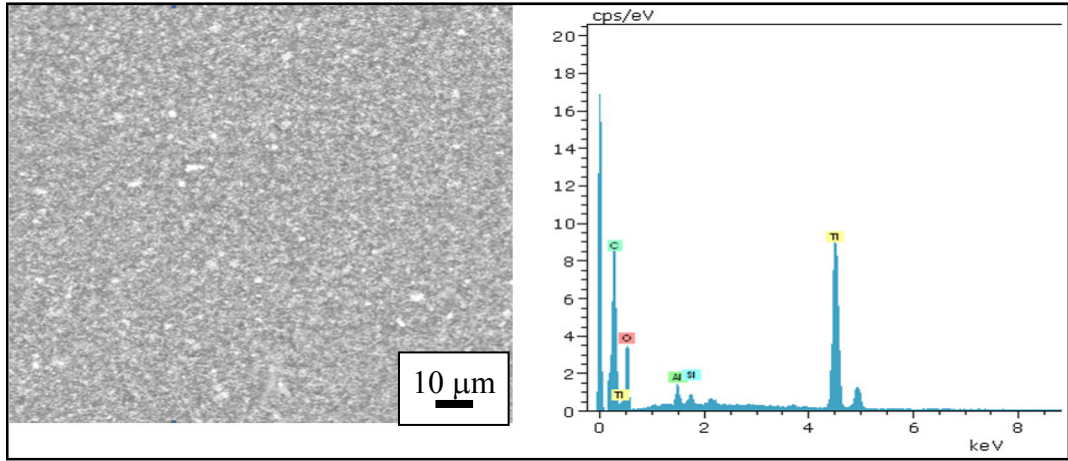
Şekil 5.8. Şahit karbon filtre SEM görüntüsü ve EDX analizi.



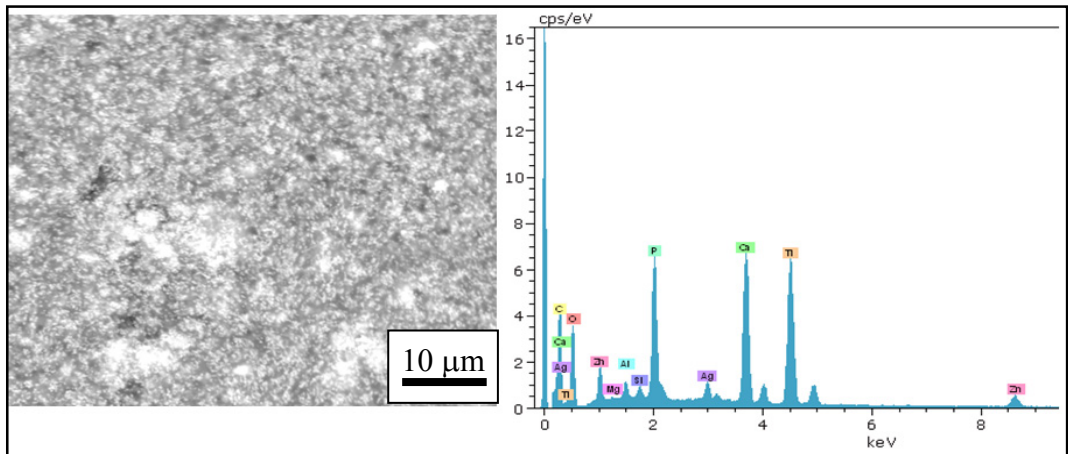
Şekil 5.9. Antimikrobiyal karbon filtre SEM görüntüsü ve EDX analizi.

5.5. Kabin Yüzeylerinin SEM ve EDX Analizleri

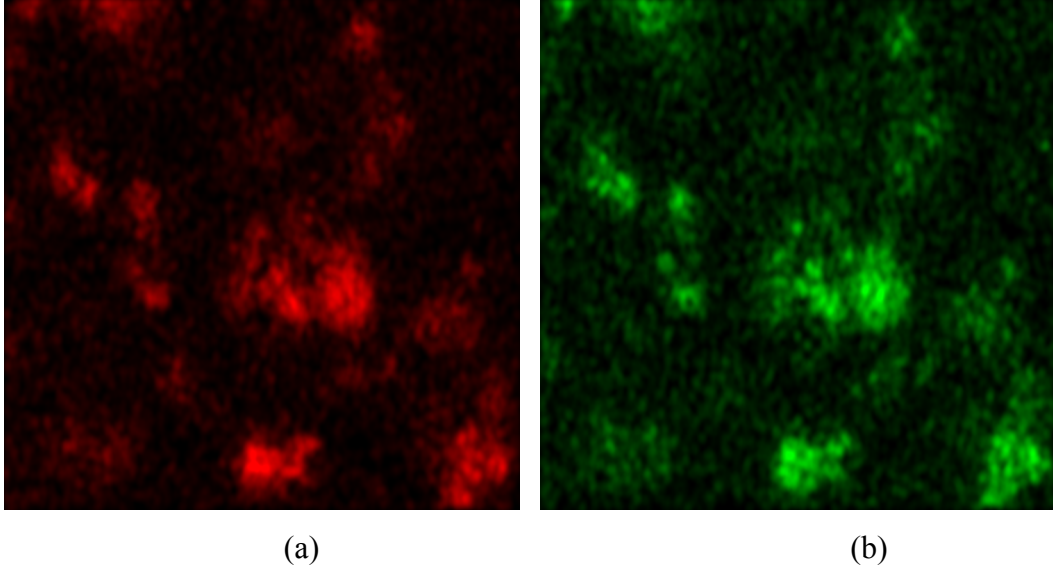
Şekil 5.10'daki şahit boya numunesi ve EDX grafiği ile Şekil 5.11'de gösterilen antimikrobiyal özellik kazandırılmış boya numunesine EDX grafiği karşılaştırıldığında çinko ve gümüş esaslı ZAG kodlu tozun yüzeyde tutunmuş olduğu gözlenebilmektedir. Şekil 5.12 deki EDX analizinde haritalandırılmış kırmızı renkte gösterilen kalsiyum ve yeşil renkte gösterilen fosfat dağılımı incelendiğinde kalsiyum fosfat bazlı antimikrobiyal tozun boya yüzeyinin tüm bölgelerine dağıldığı fakat bazı bölgelerde yoğun olarak kümелendiği gözlenmektedir. Bunun nedeni boya kaplamasının homojen şekilde gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.10. Şahit boyanın SEM görüntüsü ve EDX analizi.



Şekil 5.11. Antimikrobiyal boyanın SEM görüntüsü ve EDX analizi.

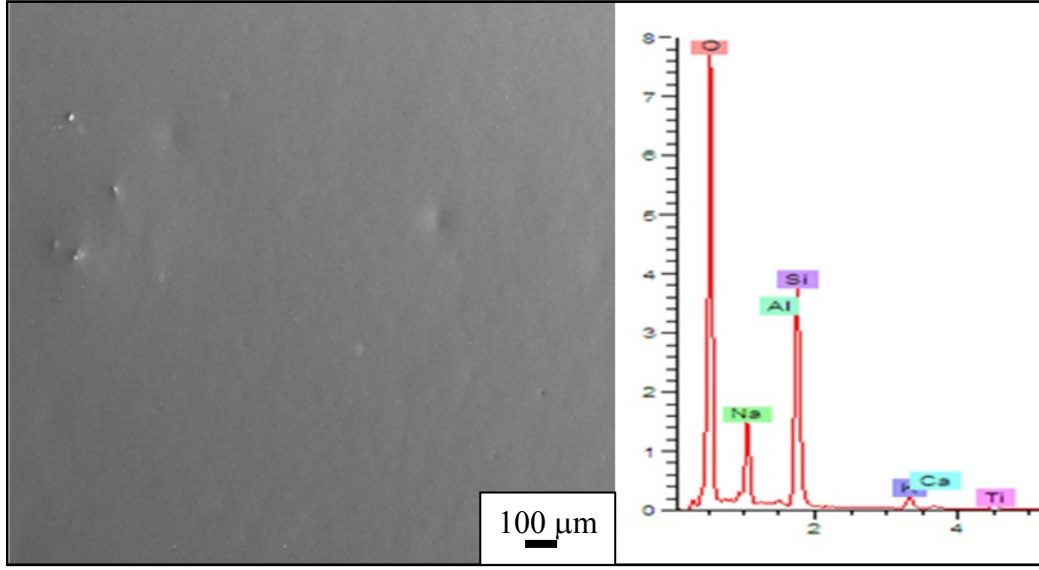


Şekil 5.12. ABT tozun boya yüzeylerinde EDX analizi sonunda haritalandırma görüntüleri a) Ca
b) P.

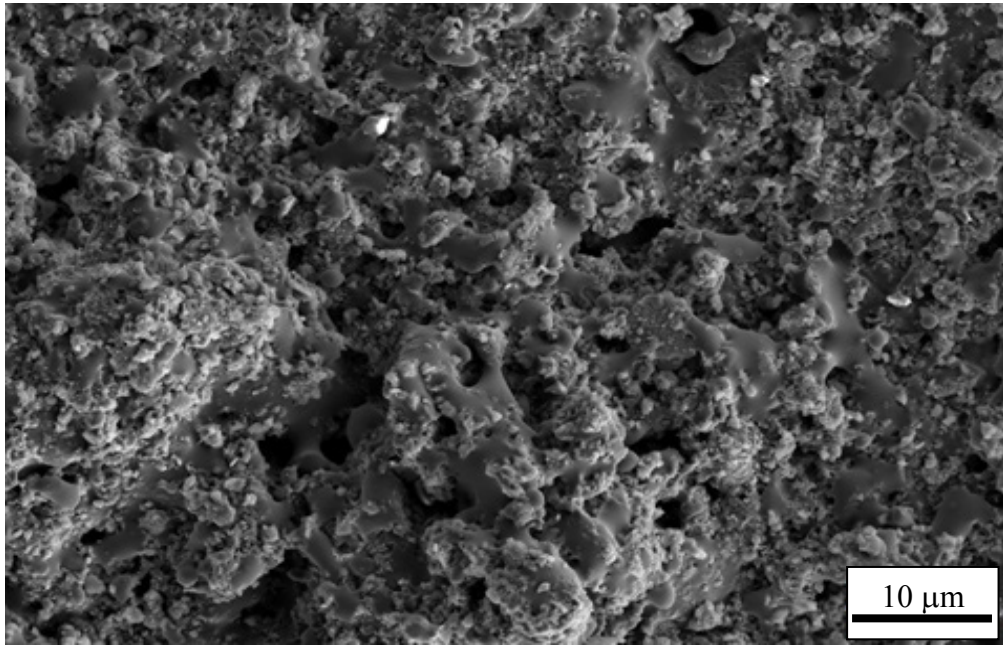
5.6. Reaktör Yüzeylerinin SEM ve EDX Analizleri

Yapılan EDX analizinde şahit emayede Na, Al, Si, K, Ca ve Ti elementlerinin olduğu görülmektedir (Şekil 5.13). Şekil 5.14’de ise antimikrobiyal tozla hazırlanmış seramik yüzey görülmektedir. Antimikrobiyal tozla etkileşime giren seramik yüzeyde kalsiyum fosfat yüksek ergime noktasından ötürü pürüzlü yapılar oluşmuştur. Bu tür yapıların hava sirkülasyonu sırasında zararlı mikroorganizmaların tutulması için avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

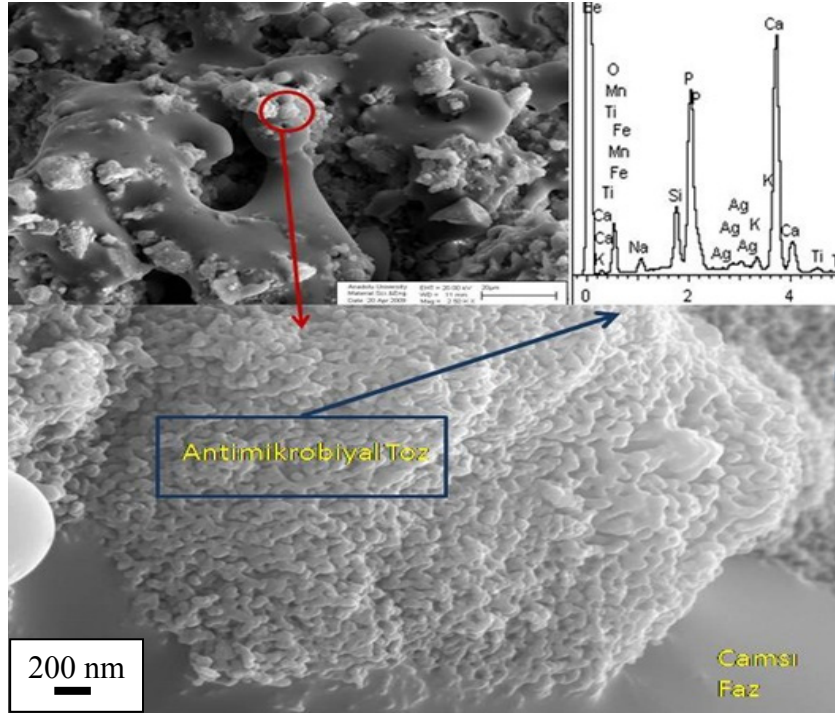
Şekil 5.15’deki EDX grafiği ile Şekil 5.16 daki grafik karşılaştırıldığında, antimikrobiyal toz nedeniyle yapı Ca, P,ve Ag elementlerinin katıldığı gözlenmiştir. Şekil 5.17’deki daha yüksek büyütmedeki SEM görüntüsü incelendiğinde tozun bir bölümünün yeniden camsı fazın içerisine girdiği büyük bir kısmının ise seramik yüzeyler üzerine tutunduğu görülmektedir.



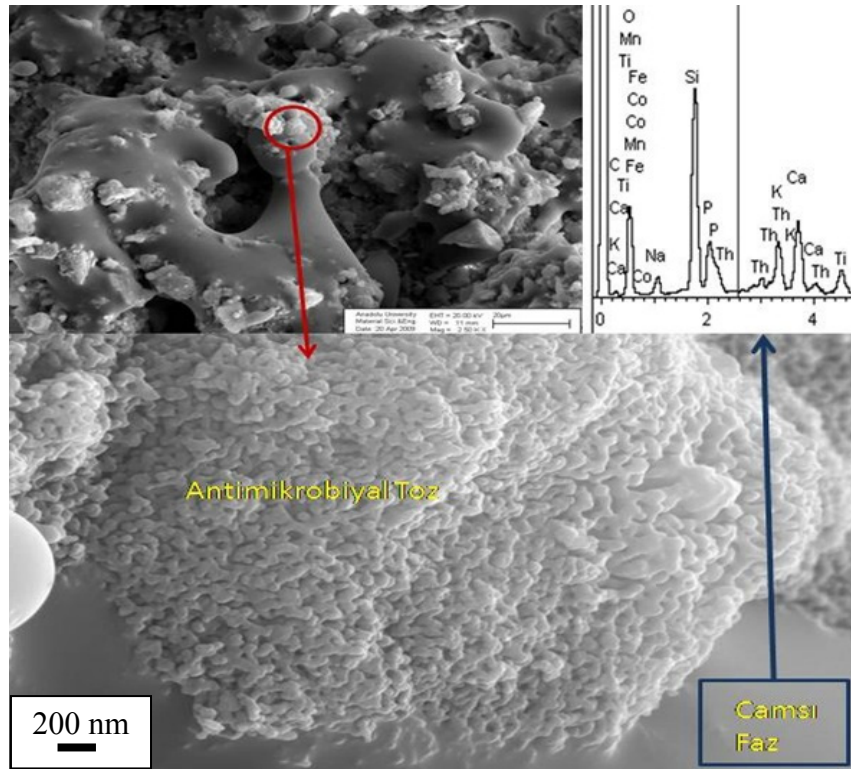
Şekil 5.13. Şahit emaye yüzeyine ait SEM görüntüsü ve EDX analizi.



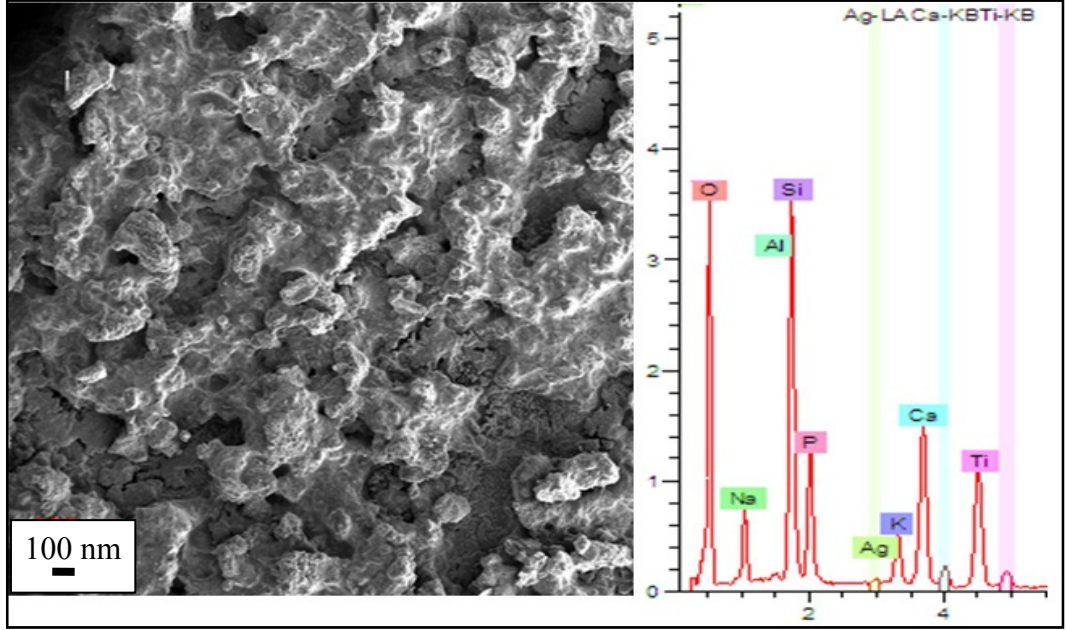
Şekil 5.14. Antimikrobiyal özellik kazandırılmış emaye yüzeyine ait SEM görüntüsü.



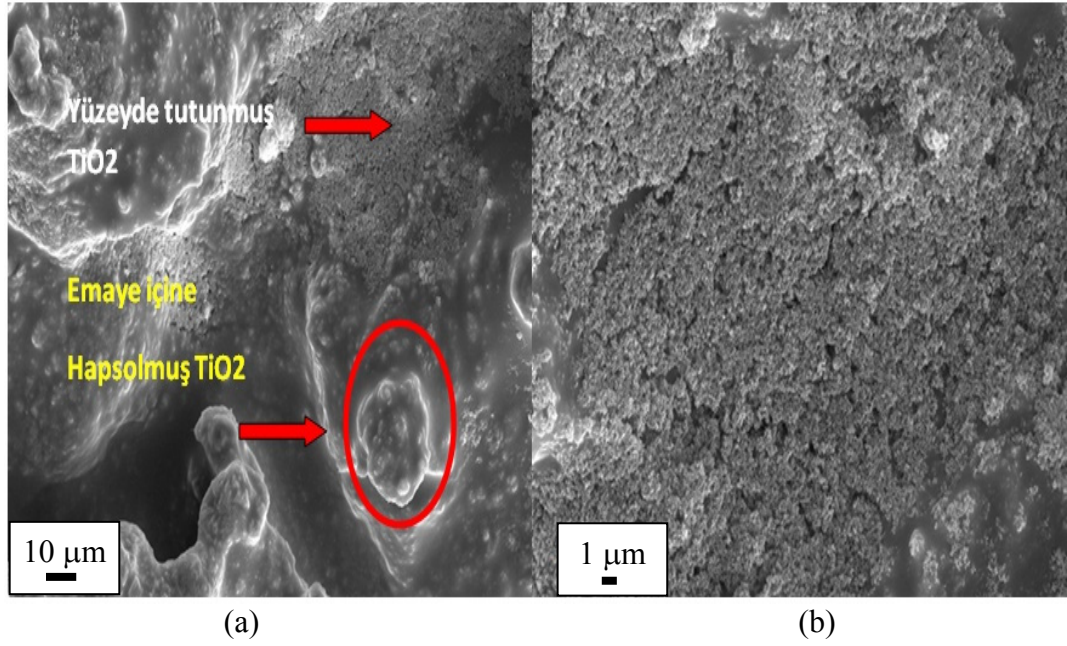
Şekil 5.15. Emaye yüzeyine tutunmuş ABT tanelerine ait SEM görüntüsü ve EDX analizi.



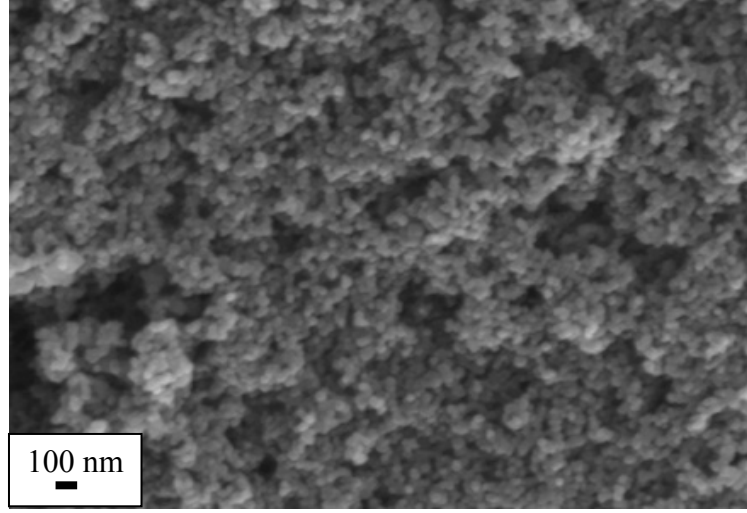
Şekil 5.16. Emaye yüzeyindeki camsı faza ait SEM görüntüsü ve EDX analizi.



Şekil 5.17. TiO₂ ile kaplanmış antimikrobiyal emaye yüzeyine ait SEM görüntüsü ve EDX analizi.



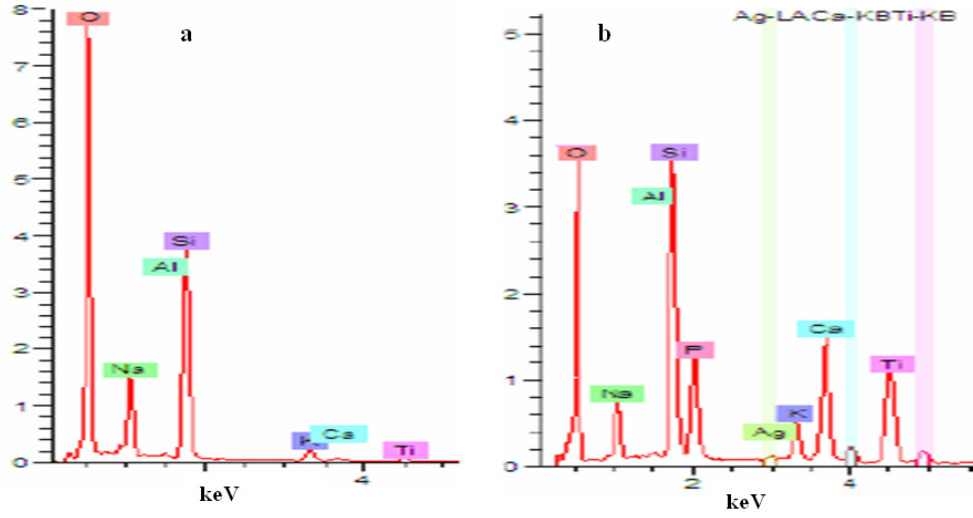
Şekil 5.18. Antimikrobiyal emaye üzerine kaplanmış TiO₂'nin farklı büyütme a) 2,500 büyütme b) 10,000 büyütme SEM görüntüleri.



Şekil 5.19. Antimikrobiyal emaye üzerine kaplanmış TiO_2 'nin (80,000 büyütme) SEM görüntüsü.

Emaye yüzeyine ısı işlem sonrası tutunan TiO_2 ait farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri Şekil 5.18'de gösterilmiştir. Şekil 5.18 (a) ve (b)'de verilen görüntüde titanyum dioksitin bir kısmının emaye içinde hapsediği, bir kısmının ise yüzeyde tutunduğu görülmektedir. Tutunan bu tozların boyutunun 100 nm'den küçük olduğu Şekil 5.19'da görülmektedir. Tozun boyutunun bu kadar düşük olması ya da yüzey alanının yüksek olması hem hava hem de UV ile etkileşimini arttırmaktadır. Bu da hava filtrasyonu için avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

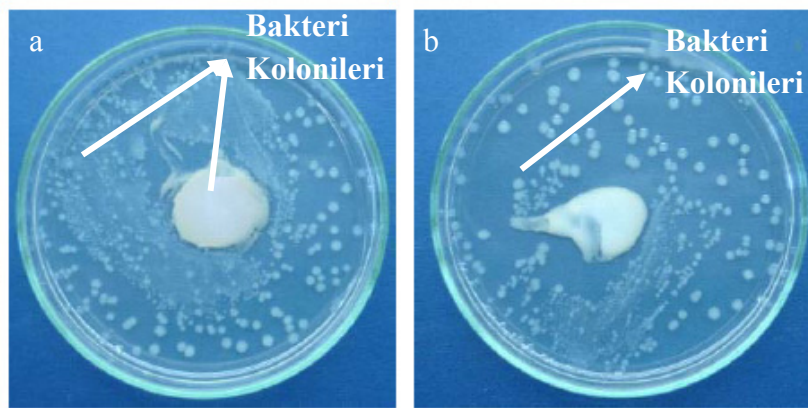
Şekil 5.20'de ise orijinal ve kaplanmış plakaların EDX grafikleri verilmiştir. 5.20 (a)'da görüldüğü üzere plakada Na, Al, Si, K, Ca az miktarda Ti bulunmaktadır. Kaplanmış plakalarda ise Ag ve P ilave edilmiştir. Ayrıca mevcut Ti ve Ca miktarları da arttığı görülmektedir. Bu pikler antimikrobiyal ve TiO_2 tozunun emaye yüzeyine kaplamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.20 (a) Orijinal plakın EDX analizi (b) Antimikrobiyal toz katkılı ve TiO₂ kaplı plakın EDX analizi.

5.7. Üretilen ABT Tozun Antimikrobiyal Etkinlik Analizi

Metal iyon katkılı kalsiyum fosfat esaslı tozun antimikrobiyal etkinliğini belirlemek amacı ile halo test metodu kullanılmıştır. Halo test metodu kullanılarak metal iyon katkılı kalsiyum fosfat esaslı tozların *E.coli* bakterisine karşı antimikrobiyal etkinliği saptanmıştır (Şekil 5.21).



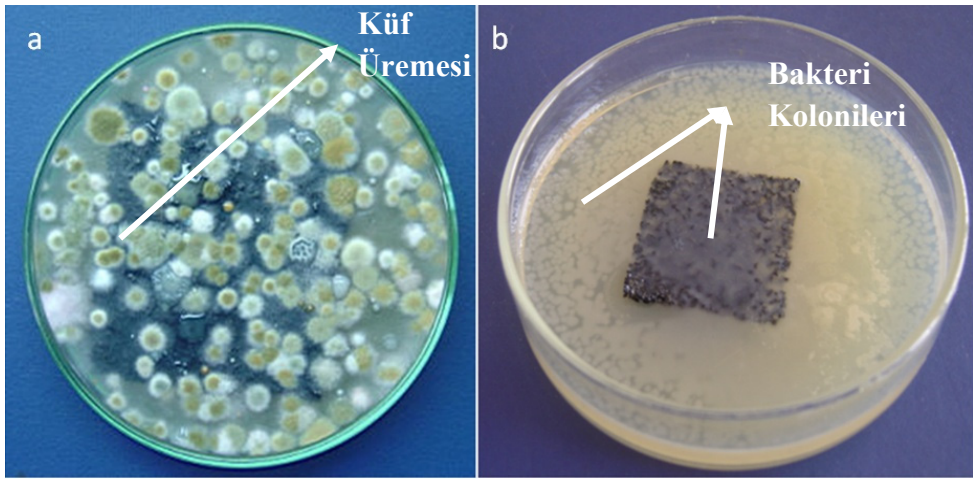
Şekil 5.21. ABT kodlu antimikrobiyal tozun halo test sonucu (a) şahit (b) metal iyon katkılı toz.

Halo testi sonuçlarında Şekil 5.21’de görüldüğü gibi antimikrobiyal tozun etrafında ve toz üzerinde bakteri yaşamazken etrafında bakterilerin yaşadığı

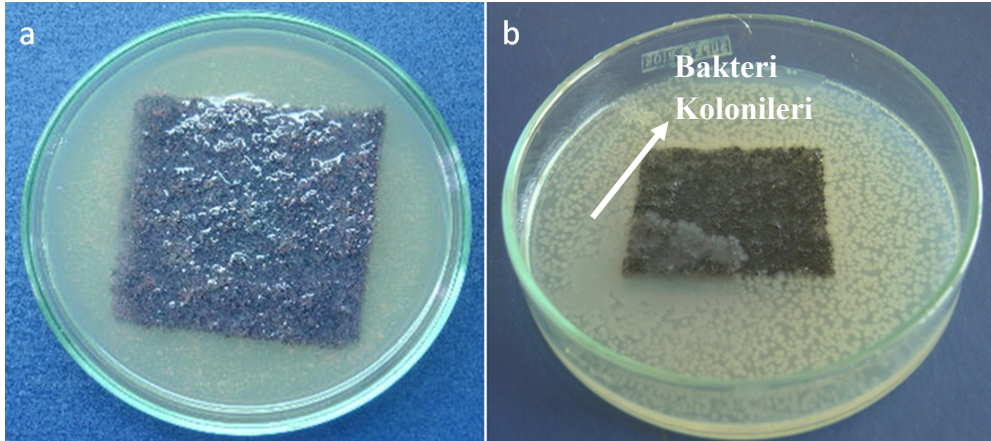
görülmüştür. Tozun etrafında oluşan inkübasyon alanı difüze olup dışarı saçılan metal katyonlarının yayılım mesafesini ve miktarını göstermektedir.

5.8. Karbon Filtrenin Antimikrobiyal Etkinlik Analizi

Metal iyon katkılı kalsiyum fosfat esaslı tozla kaplı aktif karbon filtreler antimikrobiyal etkinliğini belirlemek amacı ile halo test methodu kullanılmıştır. Halo test metodu kullanılarak Aktif Karbon filtrelere *E.coli* bakterisine ve Küf üremesine karşı antimikrobiyal etkinliği saptanmıştır (Şekil 5.22-5.23).



Şekil 5.22. Aktif karbon filtresi şahit numunelere (a) küf (b) bakteri ekimi ile gerçekleştirilen mikrobiyolojik analiz sonuçları.

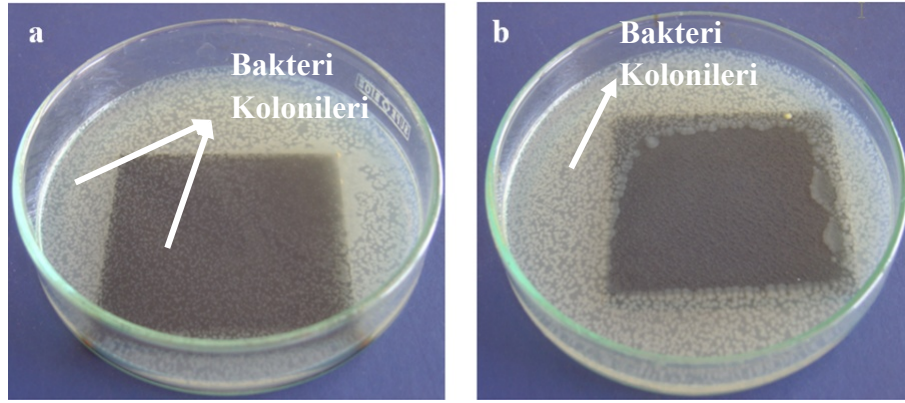


Şekil 5.23. Antimikrobiyal özellik kazandırılmış aktif karbon hava filtrelerine numunelere (a) küf (b) bakteri ekimi ile gerçekleştirilen mikrobiyolojik analiz sonuçları.

Halo testi sonuçlarında Şekil 5.22’de gösterilen şahit numunelerde filtre üzerinde küf ve bakteri oluşumu gözlenirken, antimikrobiyal toz ile kaplanan numune yüzeylerin de küf ve bakteri oluşumu gözlemlenmemiş ve bir inkübasyon alanı belirlenmiştir (Şekil 5.23).

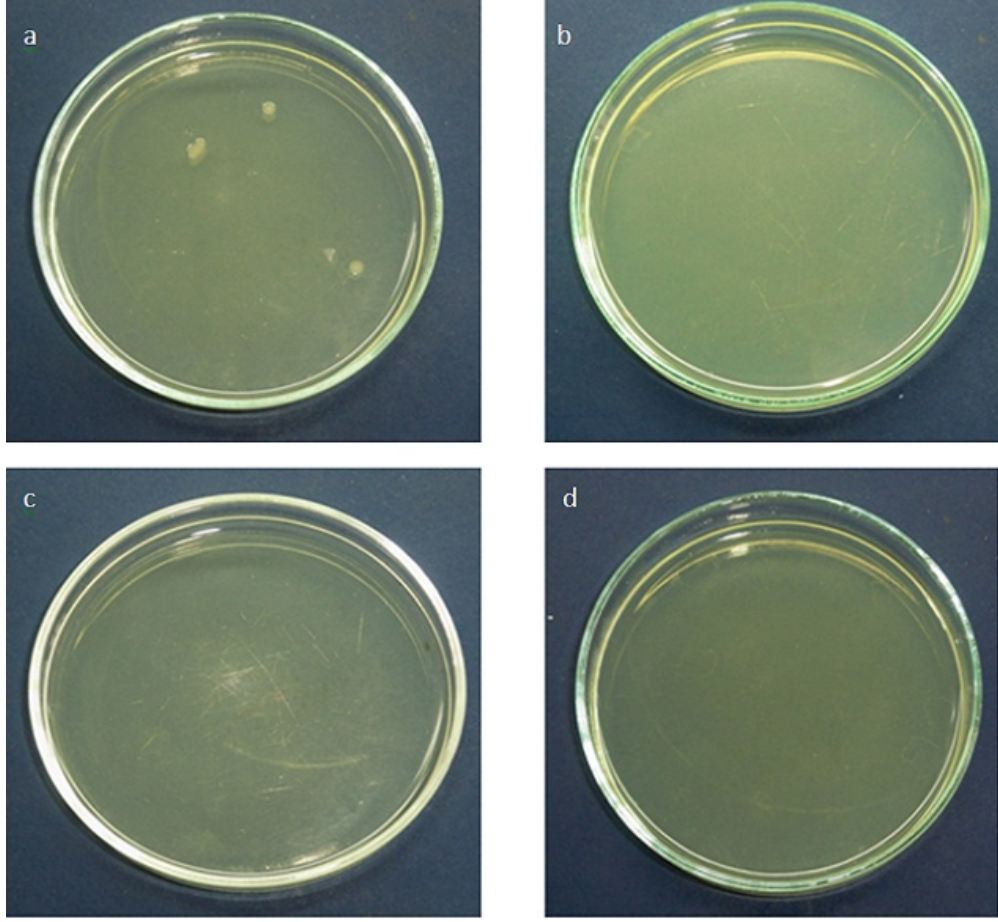
5.9. Reaktör Yüzeylerinin Antimikrobiyal Etkinlik Analizleri

Kaplanan reaktör yüzeylerinin antimikrobiyal etkisini görmek için şahit emaye plakasıyla halo test metodu kullanılarak etkinliği test edilmiştir.Şekil 5.24 de gözlendiği gibi şahit numunenin üzerindeki bakteri kolonileri ABT katkılı emaye yüzeyinde üreyememişlerdir. Böylelikle reaktörün her koşulda bakterilere karşı yaşam alanı oluşturmadığı kanıtlanmıştır.



Şekil 5.24. a) Şahit emaye b) antimikrobiyal emaye numunelerine halo test metodu uygulanarak gerçekleştirilen mikrobiyolojik analiz sonuçları.

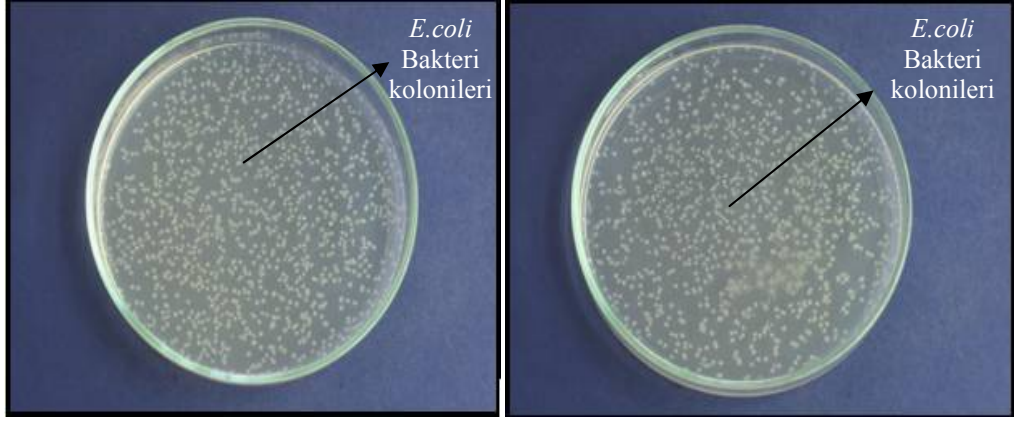
Daha sonrasında TiO_2 ile kaplı reaktör yüzeylerinin etkisini araştırmak amacıyla katkısız emaye yüzeyleri TiO_2 kaplanmıştır. Daha sonra hem TiO_2 hem de $ABT+TiO_2$ ile sistemin gün ışığı yansıtılarak kontak test metodu ile antimikrobiyal etkileri araştırılmıştır. Şekil 5.25 (a)’da şahit üzerinde üremenin gözlendiği fakat hem TiO_2 ’li sistemde hem antimikrobiyal hem de $ABT+TiO_2$ ’li ikili sistemde bakteri üremesi oluşmadığı gösterilmiştir. Böylelikle sistemlerin ayrı ayrı ve birlikte sterilizasyon etkinlikleri kanıtlanmıştır.



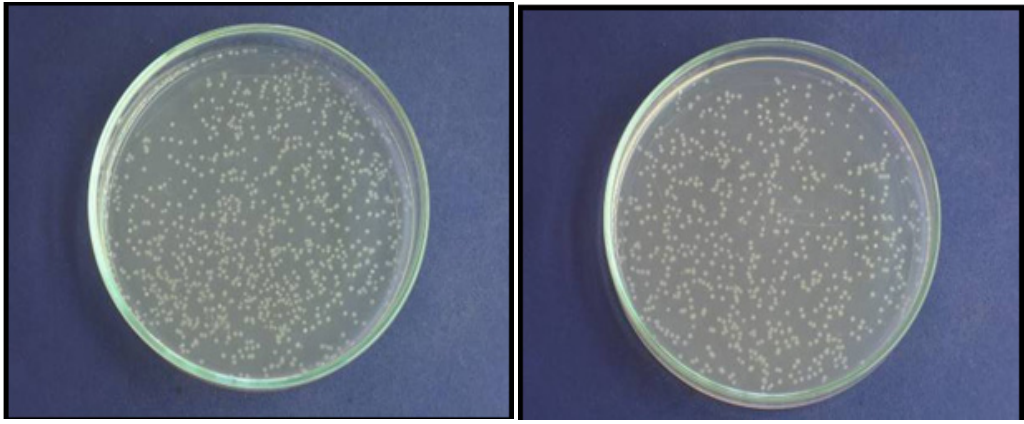
Şekil 5.25. (a) Şahit emaye (b) TiO₂ kaplanmış emaye (c) ABT kaplanmış emaye d) ABT+TiO₂ kaplanmış emaye numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları.

5.10. Antimikrobiyal Fotokatalitik Test Düzeneginin Hava Arıtımındaki Dezenfeksiyon Etkinlik Analizleri

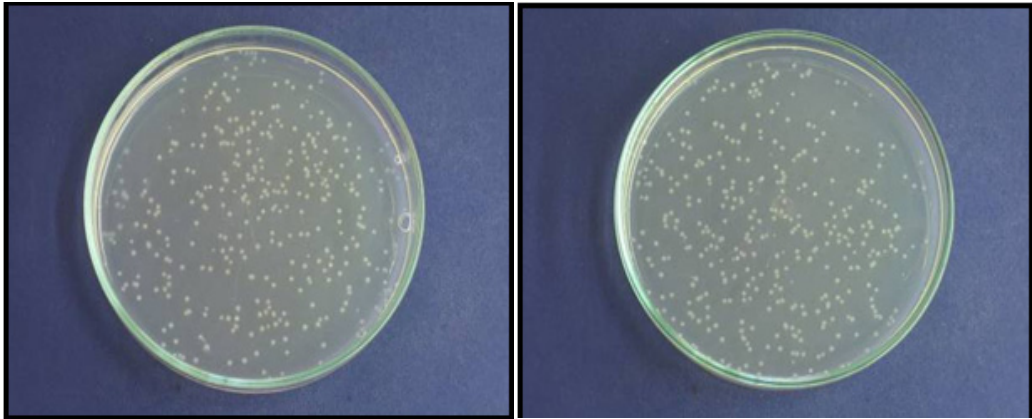
Hava dezenfeksiyon sisteminde gerçekleştirilen çalışmalara ait şahit, antimikrobiyal dolgulu kolon, UV kolon, foto-katalitik destekli UV kolon ve birlikte kullanıldıkları sisteme ait mikrobiyolojik çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 5.26-5.31'de verilmiştir. Sistemlere hava ile birlikte 10⁸/mL derişimde *E.coli* bakterileri basınçlı nebulizer ile doğrudan verilmiştir.



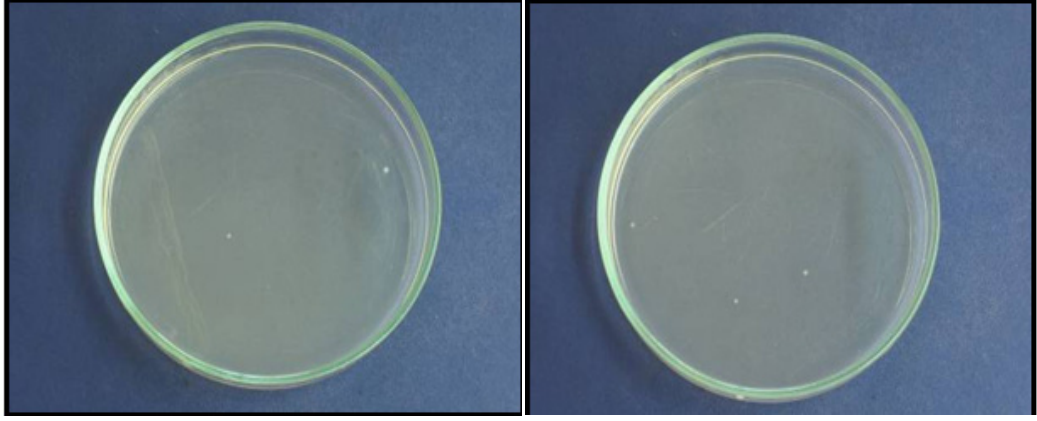
Şekil 5.26. Şahit çalışmaya ait mikrobiyolojik analiz sonuçları.



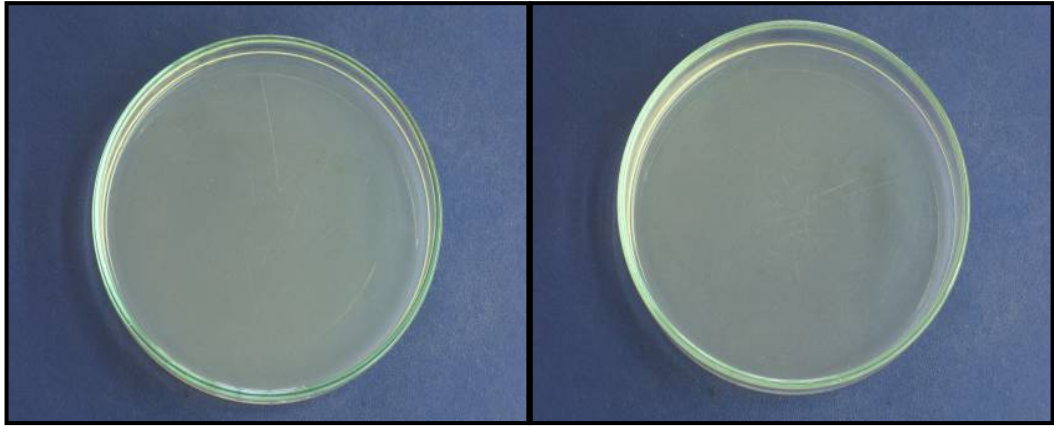
Şekil 5.27. Antibakteriyal dolgu kolon çalışmasına ait mikrobiyolojik analiz sonuçları.



Şekil 5.28. UV kolon çalışmasına ait mikrobiyolojik analiz sonuçları.

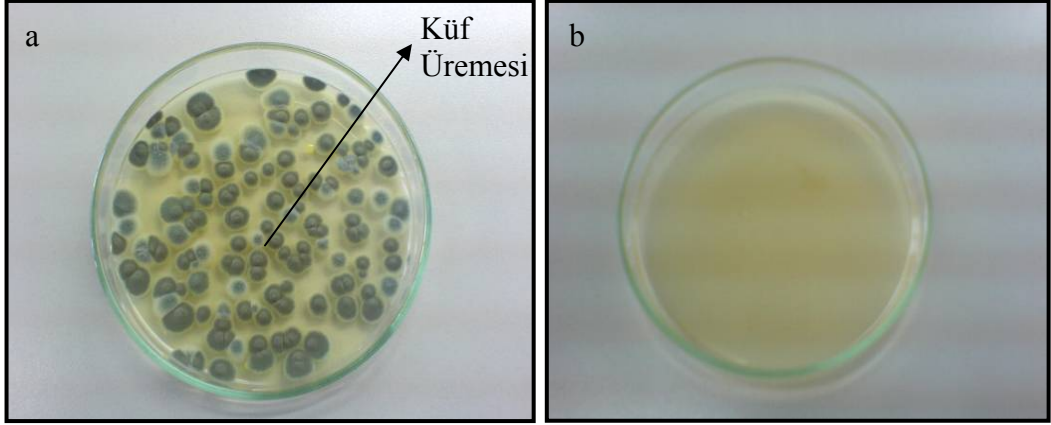


Şekil 5.29. Fotokatalitik destekli UV kolon çalışmasına ait mikrobiyolojik analiz sonuçları.



Şekil 5.30. Antimikrobiyal dolgulu kolon ve fotokatalitik destekli UV kolonun birlikte kullanıldığı çalışmaya ait mikrobiyolojik analiz sonuçları.

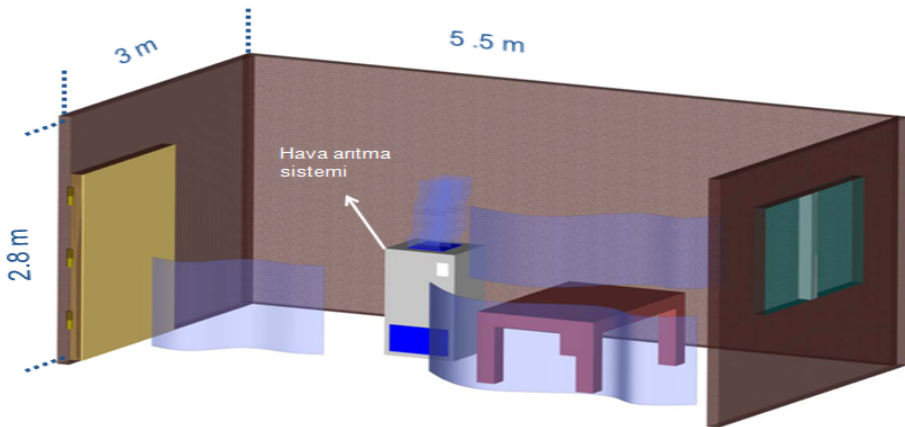
Çalışmalarda reaktörden geçirilen havadan alınan numuneden işlem sonunda yıkama şişesindeki çözeltilerden nutrient agar katı besi ortamlarına ekim yapılmış ve bakterilerin gelişmesi için nutrient agarda 37 °C’de inkübe edilmiştir. Çalışmalar ayrıca ortamdan izole edilmiş küfler ile de gerçekleştirilmiştir. 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. Şahit numune üzerinde Şekil 5.31(a)’da gözlemlendiği gibi gelişen küfler antimikrobiyal dolgulu kolon ve foto-katalitik destekli UV kolon sisteminde yaşam alanı bulamamıştır (Şekil5.31(b)).



Şekil 5.31. Küf kullanılarak gerçekleştirilen hava dezenfeksiyon işlemine ait (a) şahit (b) antimikrobiyal + foto-katalitik destekli UV kolon, mikrobiyolojik analiz sonuçları .

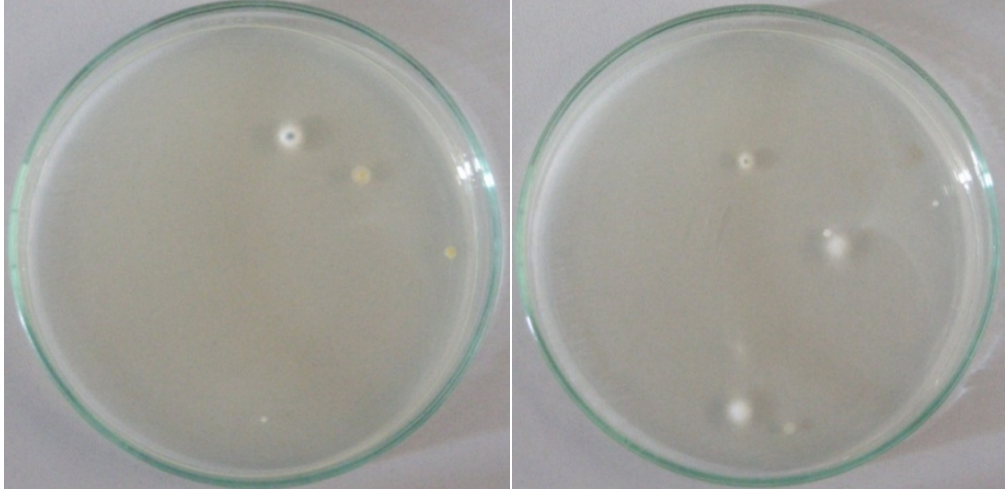
5.11. Hava Sterilizasyon Sisteminin Sterilizasyon Etkinlik Test Sonuçları

Hava sterilizasyon ünitesinin montajından sonra 46 m³ kapalı bir ortamda sterilizasyon etkinlik testleri yapılmıştır. Hava sterilizasyon sisteminin oda içerisindeki konumu ve oda ölçüleri Şekil 5.32’de gösterildiği gibidir. İlk olarak 25x20x20 cm boyutunda reaktör kullanılarak gerçekleştirilen testlerde cihaz kapalıyken odanın değişik bölgelerine yerleştirilen besiyer numunelerinden örnekler alınarak 3 gün bekletilmiştir. Şekil 5.33-5.35-5.37-5.39’da gösterildiği gibi şahit numuneler üzerinde küf ve bakteri oluşumları gözlenmiştir. Şahit numuneler 5 günün sonunda da Şekil 5.41-5.43-5.45-5.47 de görüldüğü üzere üremeye devam etmiştir.

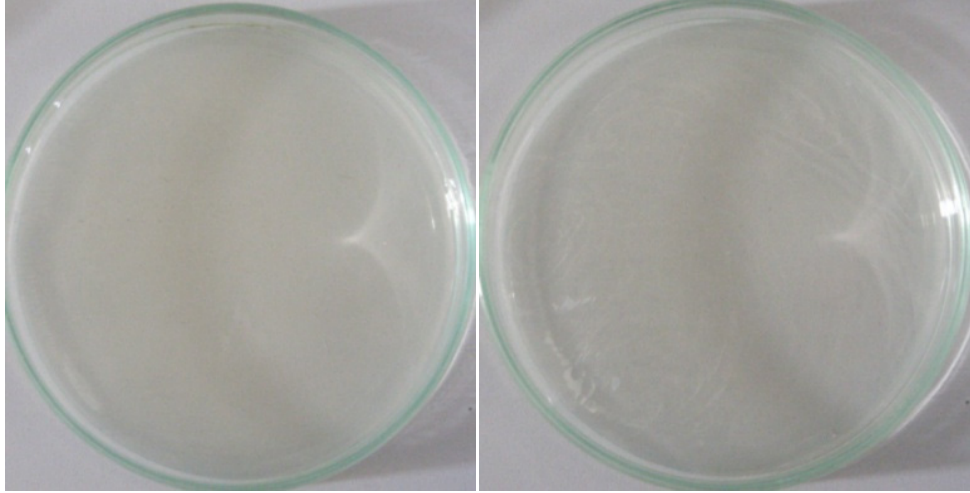


Şekil 5.32. Kapalı ortam koşulları.

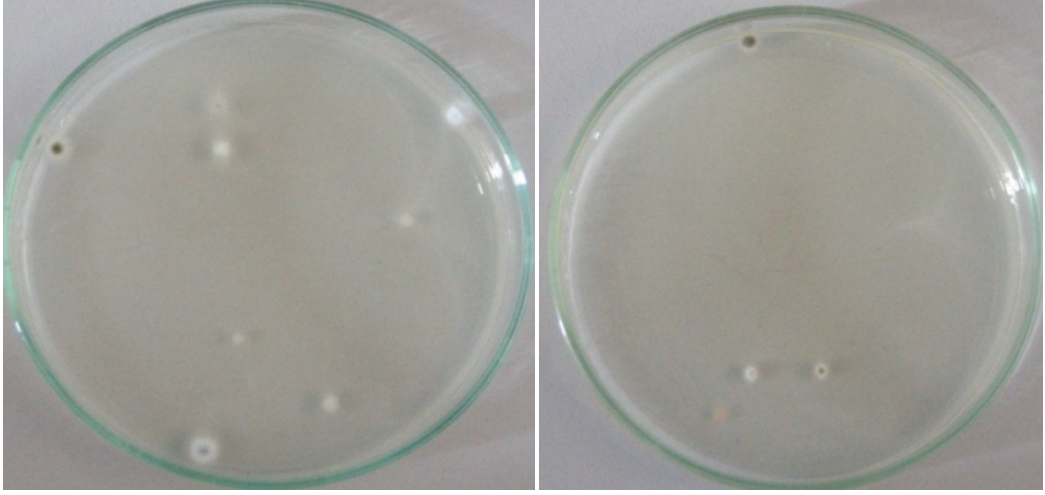
Cihaz kapalıyken yapılan testlerde odanın farklı noktalarından alınan her örnekte 3. ve 5. gün sonunda küf üremesi gözlenmiştir. Bir sonraki aşamada ise cihaz 24 saat süresince ortam sterilizasyonunu gerçekleştirdikten sonra örnekler alınmıştır.



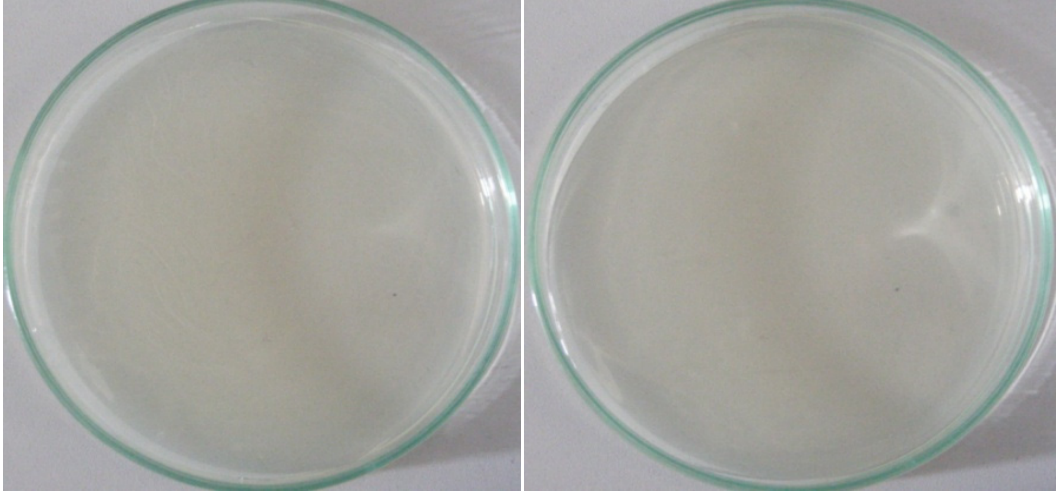
Şekil 5.33. Kapı girişinden alınan örneklerin 3 gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



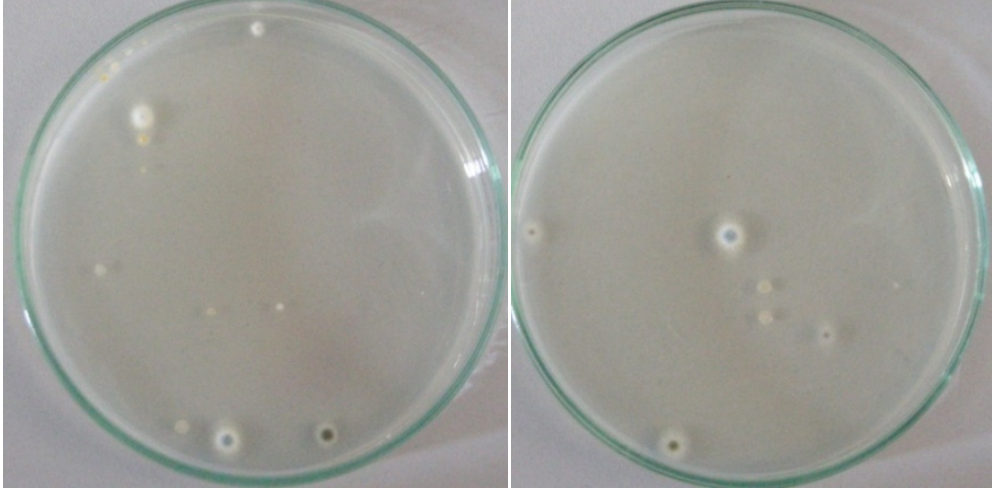
Şekil 5.34 Cihaz aktifken kapı girişinden alınan örneklerin 3. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



Şekil 5.35.Cihazın üzerinden alınan örneklerin 3 gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



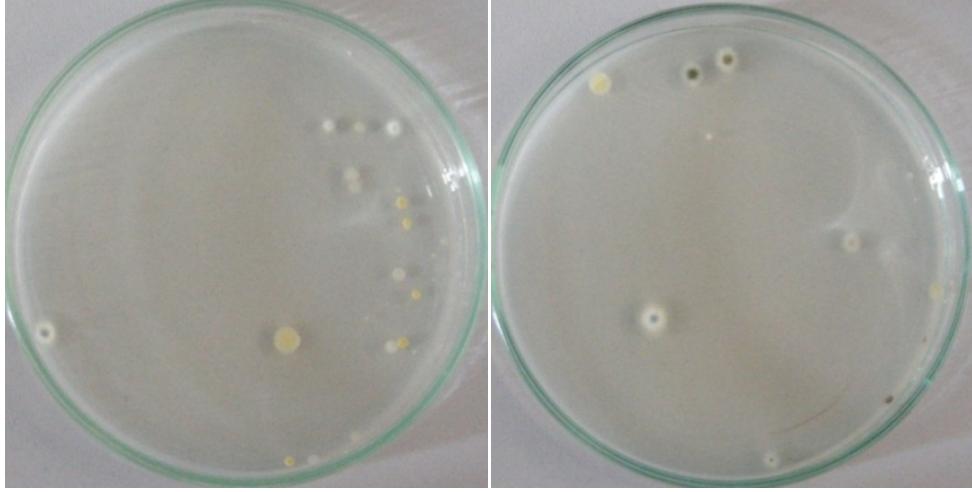
Şekil 5.36. Cihaz aktifken cihaz üzerinden alınan örneklerin 3. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



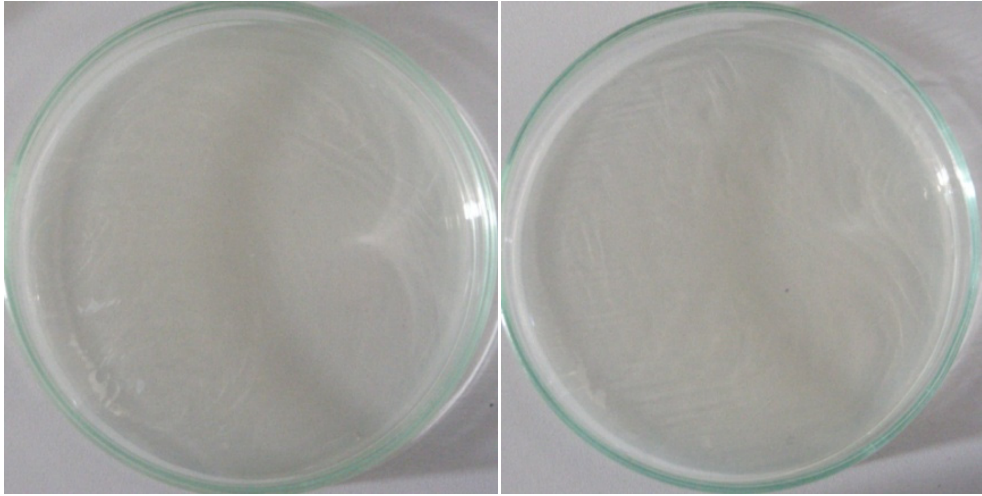
Şekil 5.37. Pencere önünden alınan örneklerin 3 gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



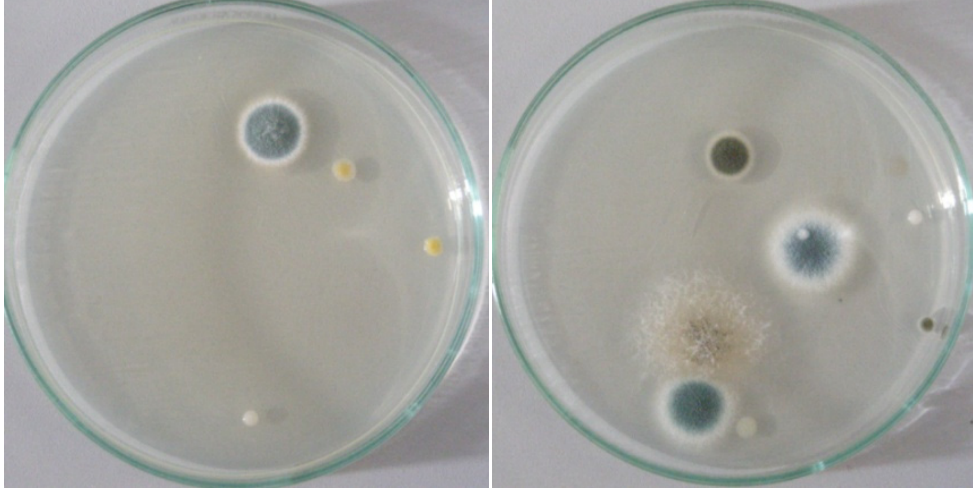
Şekil 5.38. Cihaz aktifken pencere önünden alınan örneklerin 3. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



Şekil 5.39. Masa üzerinden alınan örneklerin 3 gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



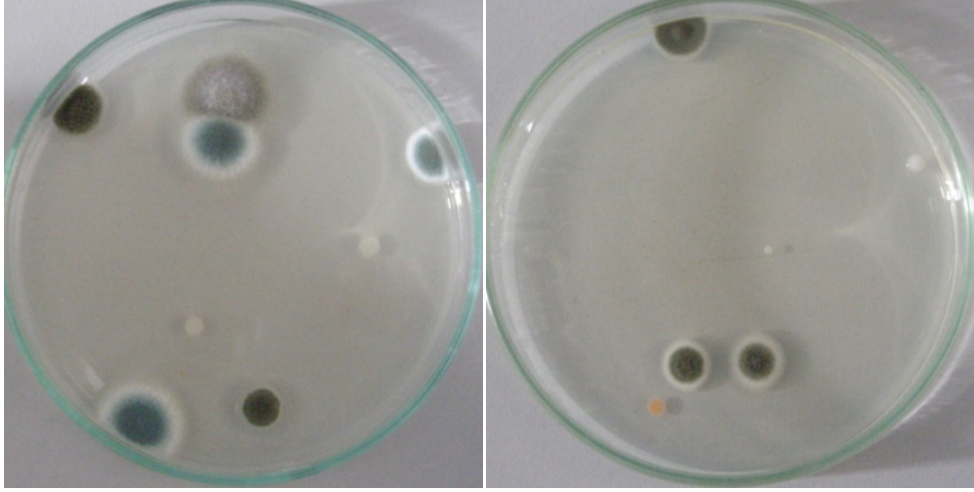
Şekil 5.40. Cihaz aktifken masa üzerinden alınan örneklerin 3. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



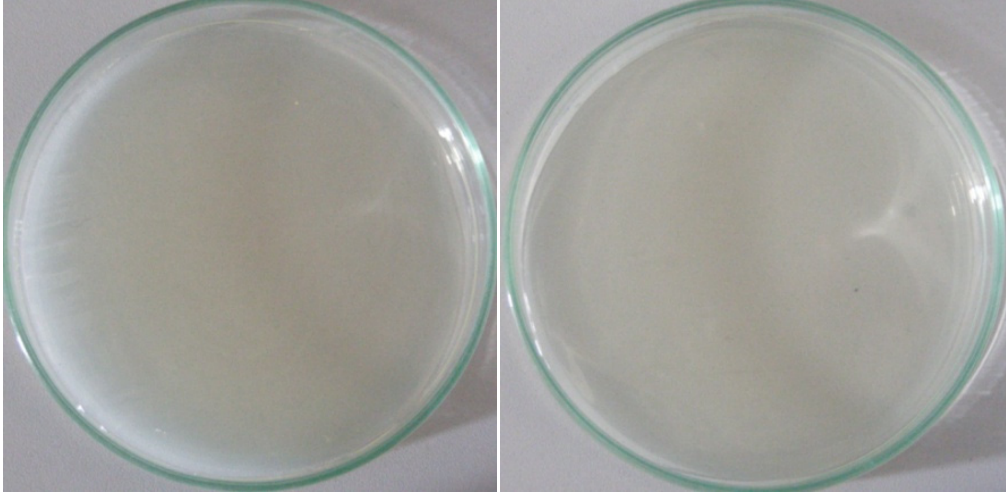
Şekil 5.41. Kapı girişinden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



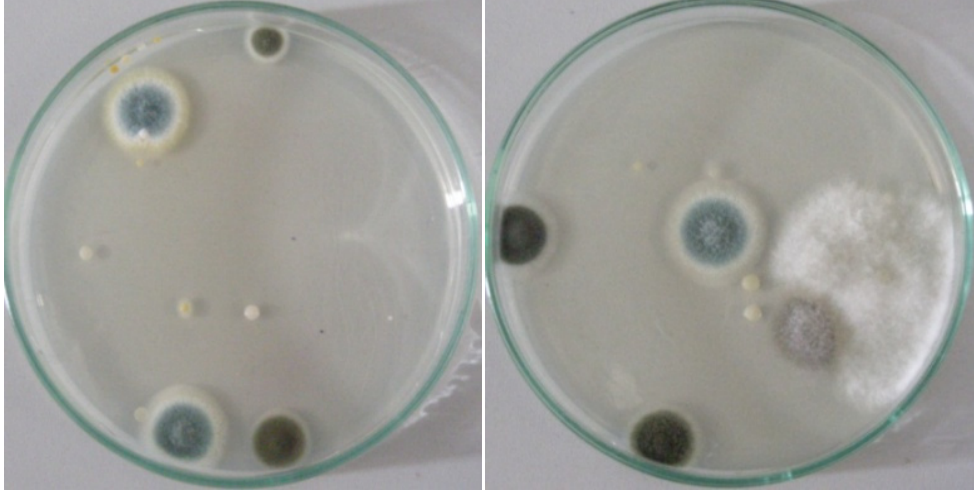
Şekil 5.42. Cihaz aktifken kapı girişinden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



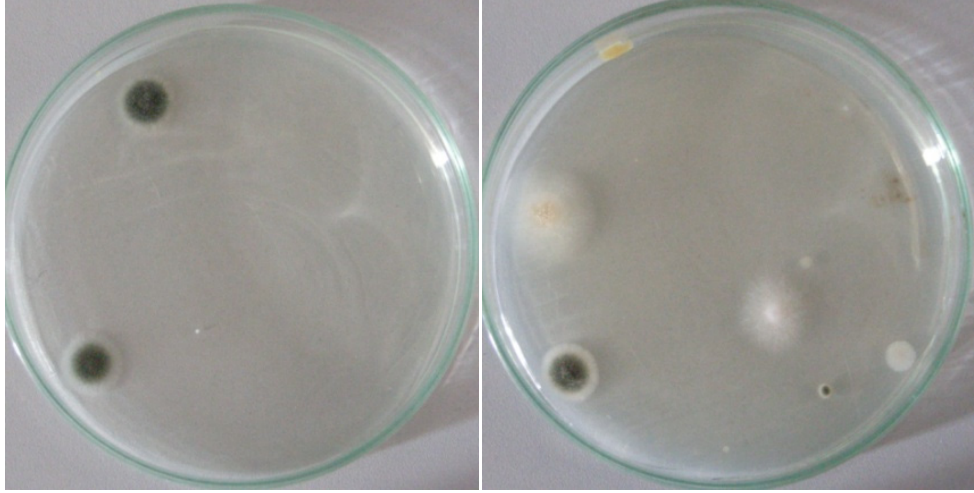
Şekil 5.43. Cihaz üzerinden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



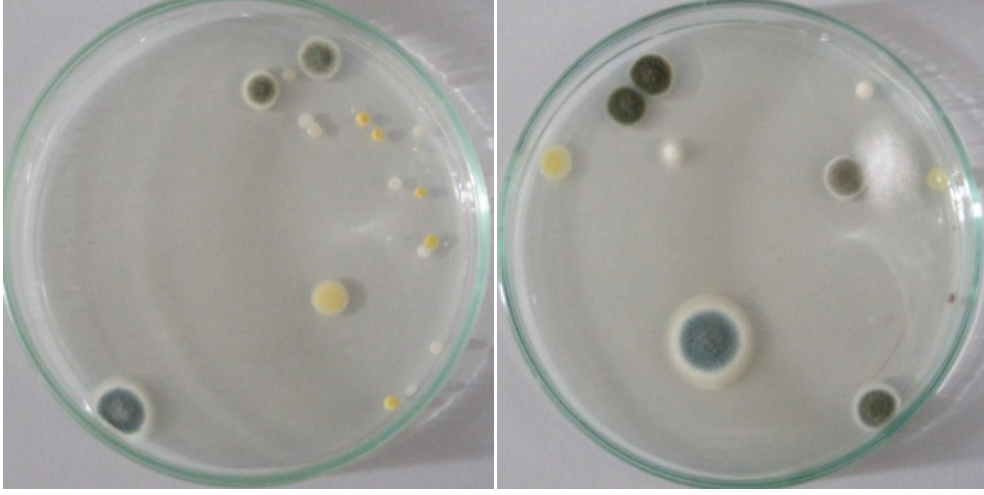
Şekil 5.44. Cihaz aktifken cihaz üzerinden alınan örneklerin 5. gün sonunda ki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



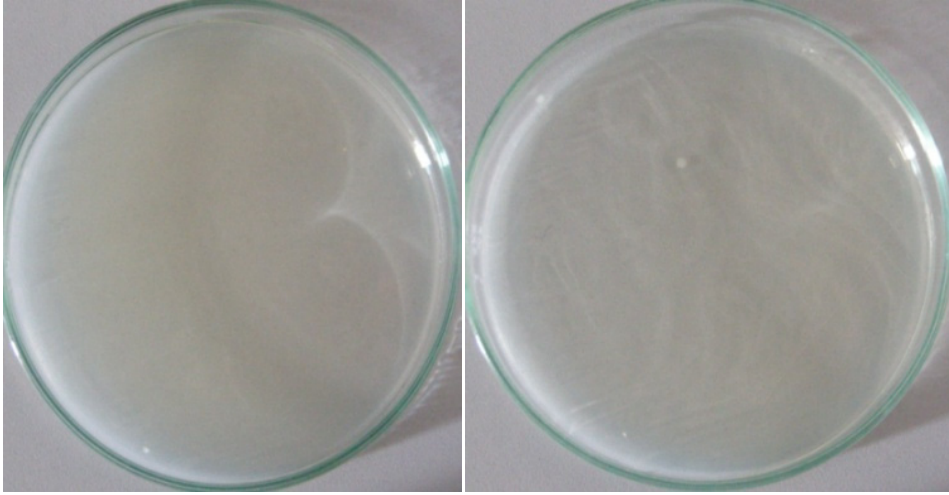
Şekil 5.45. Pencere önünden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



Şekil 5.46. Cihaz aktifken pencere önünden alınan örneklerin 5. gün sonunda ki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



Şekil 5.47. Masa üstünden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.



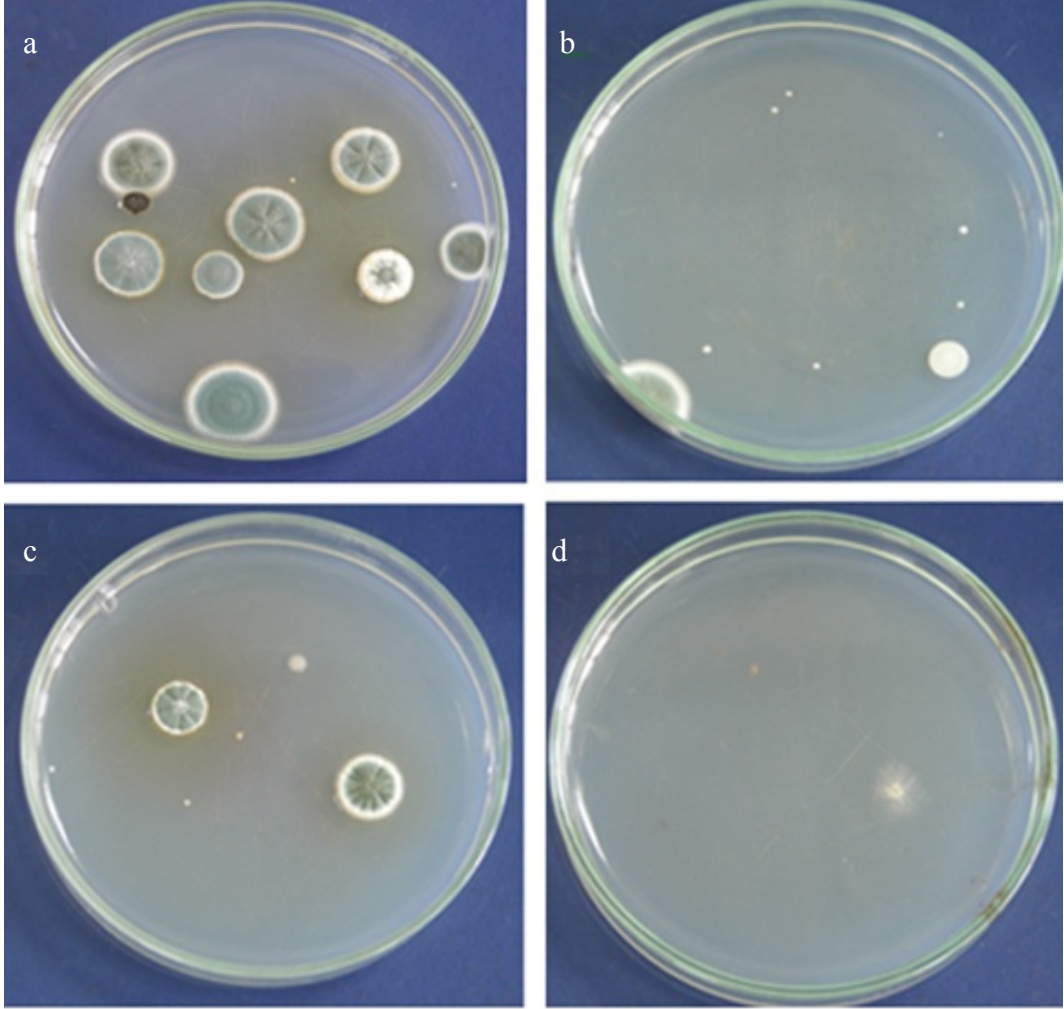
Şekil 5.48. Cihaz aktifken masa üzerinden alınan örneklerin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları.

Cihaz aktifken alınan numunelerin mikrobiyolojik analiz sonuçlarına bakıldığında hava sirkülasyonunun fazla olduğu kapı (Şekil 5.42) ve pencere girişlerinde (Şekil 5.46) başlangıç değerlerinden düşük olmak kaydıyla küf üremesi gözlenmektedir. Diğer bulgulara bakıldığında 16,5 m² taban alanına sahip odanın merkezine yerleştirilen cihaz 24 saat sonunda odanın havasını mikroorganizmalara karşı önemli ölçüde temizlediği belirlenmiştir. 24 saat sonrasında odanın bazı bölgelerinde oluşan küfler nedeniyle hava debisinin hızlı bir sterilizasyon için artırılması gerektiği düşünülmüştür. Bu nedenle cihazın zaman etkinlik testleri 25x27x27 cm ebatlarında tasarlanan daha geniş reaktör ile gerçekleştirilmiştir. Bu sayede hava akışında karşılaşılan direnç düşürülmüştür.

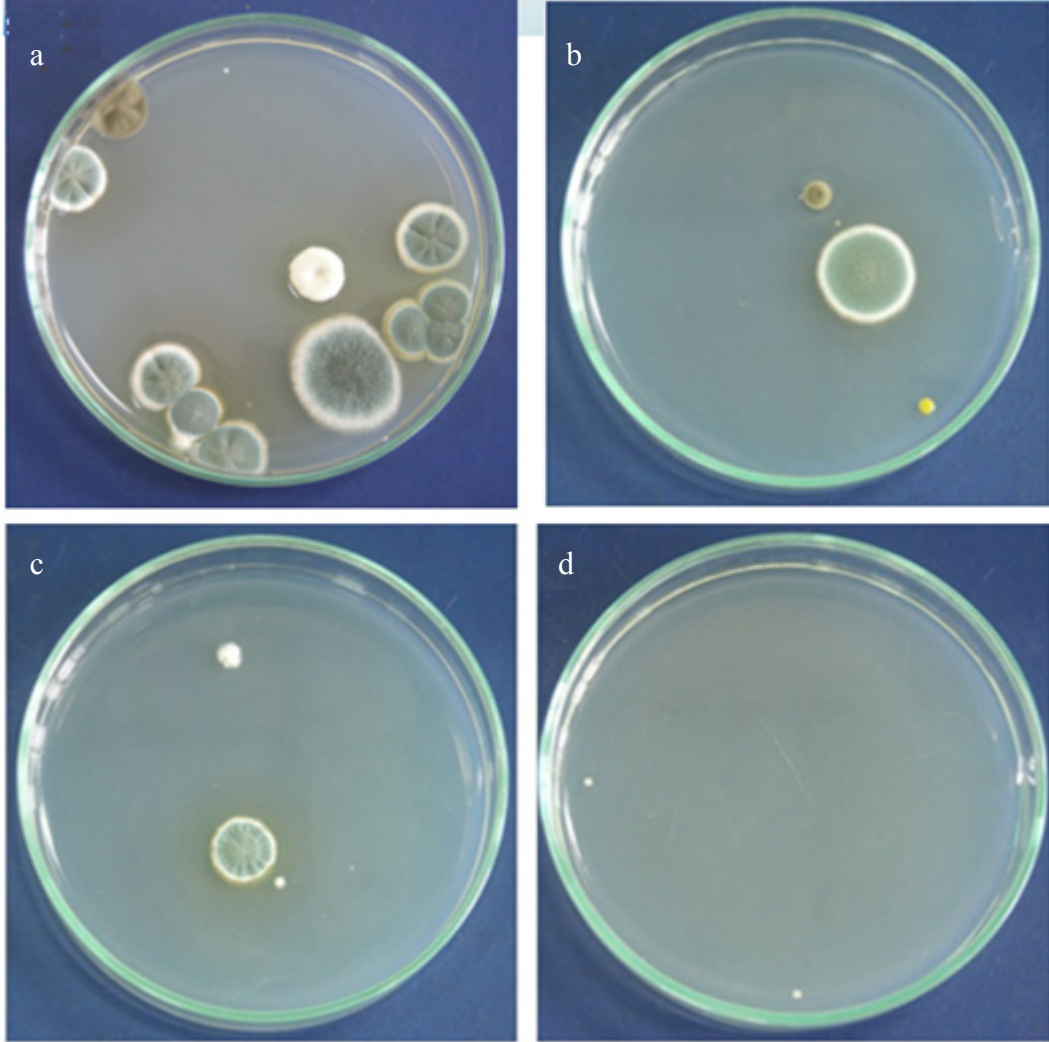
5.12. Hava Sterilizasyon Ünitesinin Zaman Etkinlik Test Sonuçları

Hava Sterilizasyon ünitesinin gün aşımı testleri tamamlandıktan sonra 25x27x27 cm ebatlarında tasarlanan daha geniş reaktör ile 46m³ kapalı ortamda 2 saat aralıklarla sterilizasyon testleri yapılmıştır. İlk olarak cihaz kapalıyken odanın değişik bölgelerine yerleştirilen besiyeri ortamları 15 dakika havayla etkileşime bırakılmış ve 5 gün sonunda durumları gözlenmiştir. Daha sonra cihaz aktif hale getirilerek 2 şer saat arayla şahit numunelerle aynı noktalardan örnekler alınmıştır. Şekil 5.49-5.52' de aynı konumdaki şahit numunelerle cihaz aktifken zamana bağlı alınan örnekler gösterilmektedir.

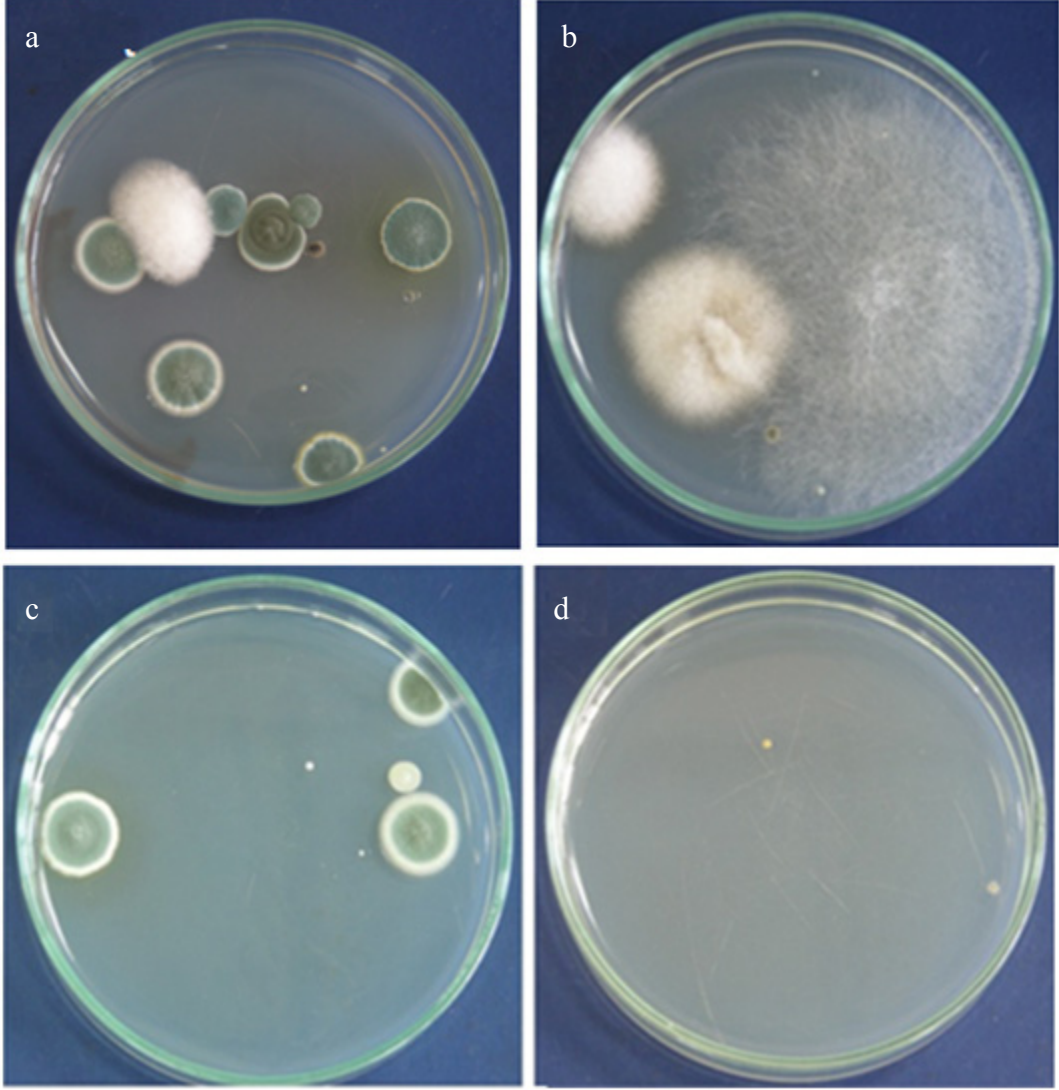
Şekil 5.49-.5.52'de görüldüğü gibi 2. saatin sonunda kirliliğin hava çıkışında tamamen giderildiği odanın farklı bölgelerinde ise zamana bağlı olarak azaldığı gözlenmektedir. Cihaz aktifken 6. saatin sonunda hava sirkülasyonunun yoğun olduğu bölgelerde dahil başarılı bir arıtma gerçekleştirdiği gözlenmektedir.



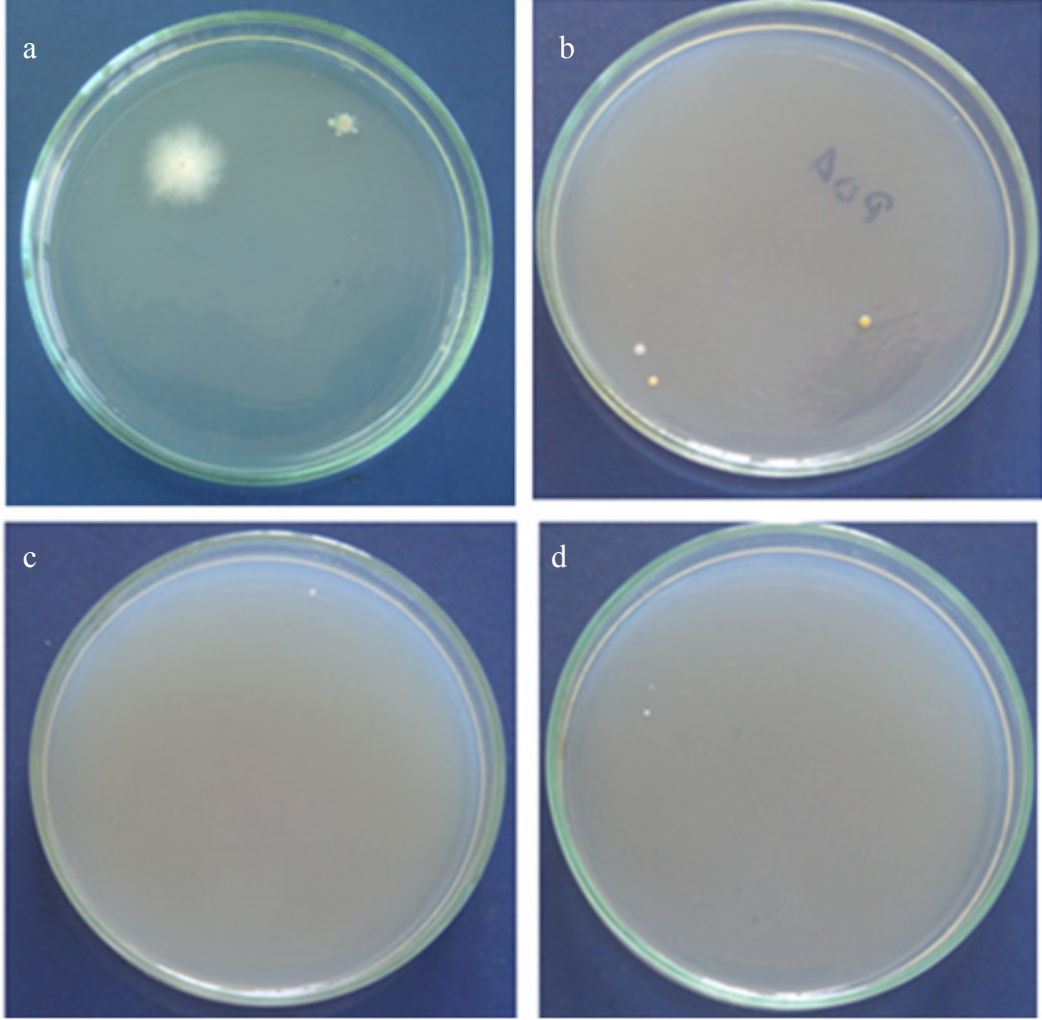
Şekil 5.49. Kapı önünden alınan şahit numune ve zaman etkin test numunelerinin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları (a) şahit (b)2. saat (c) 4.saat (d) 6. saat.



Şekil 5.50. Pencere önünden alınan şahit numune ve zaman etkin test numunelerinin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları (a) Şahit (b) 2. saat (c) 4. saat (d) 6. saat.



Şekil 5.51. Masa Üzerinden alınan alınan şahit numune ve zaman etkin test numunelerinin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları (a) Şahit (b) 2. saat (c) 4. saat (d) 6. saat.



Şekil 5.52. Cihaz üzerinden alınan şahit numune ve zaman etkin test numunelerinin 5. gün sonundaki mikrobiyolojik analiz sonuçları (a) Şahit (b) 2. saat (c) 4. saat (d) 6. saat.

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hem mevcut hava arıtma sistemlerinin eksikliklerini gideren hem de nanoteknolojik ürünlerden faydalanılarak daha etkili bir hava arıtma sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Yaş kimyasal metot kullanılarak sentezlenen antimikrobiyal seramik tozları filtre ve reaktör elemanlarına kalıcı şekilde kaplanmış ve etkinliği test edilmiştir.

Testler sonucunda cihazın kontaminasyonlara açık tüm yüzeyleri antimikrobiyal etkinliğe kavuşturulmuş ve bu sayede cihaz kabin yüzeylerinde veya filtre yüzeylerinde küf ve bakteri üremesinin önüne geçilmiştir. Geleneksel filtreleme sistemlerinden bu özellikleriyle ayrılan filtre elemanları yüksek parçacık tutuculuğuyla da güvenli bir koruma sağlamaktadır.

Kaplama tekniği olarak kullanılan sprey metodunun kolaylığı nedeniyle sistemin seri üretime uygundur. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken husus sistemin geleneksel seramiklerden farklı olarak steril bir ortamda kaplanarak pişirilme ihtiyacıdır.

Geliştirilen fotokatalitik reaktör ve kullanılan C sınıfı UV lambalar sayesinde de filtre elemanlarının tutamadığı ve öldüremediği küçük mikro organizmalar dezenfekte edilmiştir. Çalışma sonucunda üretilen hava sterilizasyon cihazının kapalı ortam testleri gerçekleştirilmiş ve etkinliği kanıtlanmıştır.

46 m³ kapalı alanda odanın farklı noktalarından alınan şahit numunelerle cihaz aktifken belirli zaman aralıklarına alınan numuneler üzerinde küf üreme miktarları karşılaştırılarak sterilizasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Cihaz aktif edildikten 6 saat sonra odanın her noktasında küf üremesi tamamen durduğu saptanmıştır. Bu sayede hava kalitesi oldukça iyileştirilmiştir.

Çalışma sonucunda etkili ve hızlı bir arıtma sağlamak için hava debisinin önemi ortaya çıkmıştır. Bu nedenle iç hacmi büyük alanlarda hava sirkülasyonunu arttırmak için farklı kabin ve reaktör tasarımlarına gidilmelidir. Buna ek olarak cihazın ev kullanıcıları için boyutunda optimizasyona gidilerek farklı filtre boylarında daha ufak ebatlarda kabin tasarımları geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Ao C.H., Lee S.C., “*Indoor Air Purification by Photocatalyst TIO₂ Immobilized on An Activated Carbon Filter Installed in An Air Cleaner*” Chemical Engineering Science Volume, **60** (1), 103-109, 2005
- [2] Zhao J., Yang X., “*Photocatalytic Oxidation For Indoor Air Purification*” Building and Environment, **38** (5), 645-654, 2003
- [3] Hager S., Bauer R., “*Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Organics for Air Purification by Near Uv Irradiated Titanium Dioxide*” Chemosphere, **38** (7), 1549-1559, 1999
- [4] Kim H., Choi W., “*Effects of Surface Fluorination of Tio₂ on Photocatalytic Oxidation of Gaseous Acetaldehyde*” Applied Catalysis B: Environmental, **69** (3-4), 127-132, 2007
- [5] Başaran, A., Tıbbi biyoloji, 1985
- [6] Bilgehan, H., Klinik Mikrobiyoloji, Barış Yayınları, İzmir 1993.
- [7] Gürgün, V., ve Halkman, A. K., Mikrobiyolojide Sayım Yöntemleri, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Cilt 7
- [8] Atlas, R.M., Bartha, R. “*Microbial Ecology Fundamentals and Applications*” The Benjamin/Cummings Pub. Comp., California 1987
- [9] Çobanoğlu, N., Kiper N. “*Bina İçi Solunan Havada tehlikeler*” Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi, **49**, 71-75, 2006
- [10] Temiz A., Genel Mikrobiyoloji Uygulama teknikleri, 1996
- [11] Akman, M., Gülmezoğlu, E. Tıbbi Mikrobiyoloji, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 1976.
- [12] Bayrakçı F., “*Antibakteriyel Dolgu Kolonlarda Su Dezenfeksiyonu*” Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Anabilim Dalı , 2002

- [13] Bayrakçı F., “*Antibakteriyel Malzeme ve Sistemlerin Geliştirilmesi ve Dezenfeksiyon Uygulamaları*” Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Anabilim Dalı, 2008
- [14] Levin, M.A. Seidler, R.J., Rogul, M., ”*Microbial Ecology Principles Methods and Applications*” The Quarterly Review of Biology **68** (3), 456, 1993
- [15] <http://www.airpurifiers.com>
- [16] Raupp G.B., Alexiadis A., Hossain M., Changrani R., “*First-Principles Modeling, Scaling Laws and Design of Structured Photocatalytic Oxidation Reactors for Air Purification*” Catalysis Today, **69** (1-4), 41-49, 2001
- [17] Guillard, C., Bui,T., Felix, C., Moules, V., Lina B., Lejeune, P. “*Microbial Disinfection of Water and Air Photocatalysis* ” C.R. Chimie, **11** (1-2), 107-113, 2007
- [18] Xu, P., Peccia, J., Fabian, P., Martyny, J.W., Fennely, K.P., Hernandez; M., Miller,S.L., “*Efficiency of Ultraviolet Germicidal Irradiation of Upper-Room Air in Inactivating Airborne Bacterial Spores and Mycobacteria in Full-Scale Studies*” Atmospheric Environment, **37**,405-409, 2003
- [19] <http://www.aafintl.com/>