

**İÇ ORTAM HAVA KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE  
GÜMÜŞ İYONLARI İÇEREN PVC MALZEMELERİN  
ANTİMİKROBİYAL ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

**DETERMINATION OF ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF PVC  
MATERIAL CONTAINING SILVER IONS FOR  
IMPROVEMENT OF INDOOR AIR QUALITY**

**ESRA KARAMAN**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ÇEVRE Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2013

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....  
(Prof. Dr. Rukiye TIPIRDAMAZ)

Üye (Danışman) :.....  
(Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ)

Üye :.....  
(Prof. Dr. A. Cemal SAYDAM)

Üye :.....  
(Doç.Dr. Selim L. SANİN)

Üye :.....  
(Dr. Hatice ŞENGÜL)

ONAY

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ...../...../..... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunca ...../...../..... tarihinde kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Fatma SEVİN DÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

# İÇ ORTAM HAVA KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE GÜMÜŞ İYONLARI İÇEREN PVC MALZEMELERİN ANTIMİKROBİYAL ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

**Esra Karaman**

## **ÖZ**

İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla gümüş iyonu içeren PVC malzemenin antimikrobiyal etkisinden faydalanmaya yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Malzemeye yönelik antimikrobiyal etkinlik testleri ve bu etkinin süresini belirlemek amacı ile stabilite testleri yapılmıştır. Sonuçlara göre deneyde kullanılacak malzemenin %99,9 antimikrobiyal ve bu özelliğini çevresel koşullarda koruduğu tespit edilmiştir.

İç ortamı temsil etmek üzere belirli özelliklere sahip 1m<sup>3</sup> hacimde sıkıştırılmış cam ile yapılmış oda modeli tasarlanmıştır. İç ortamda en sık görülen mikroorganizmaların çözeltileri belirli süre ve konsantrasyonlarda modele enjekte edilmiştir. Belirli aralıklarla biyoaerosol örnekleri alınarak ortamdaki konsantrasyon değişimi izlenmiştir. Çalışma, iç ortam modeli içinde herhangi bir PVC olmaması, gümüş iyonu içeren antimikrobiyal PVC malzeme olması ve standart PVC malzeme olması durumları olmak üzere 3 ayrı koşulda gerçekleştirilmiştir. Deney süresi boyunca sıcaklık, tanecik boyutu, nem parametreleri izlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre zamana bağlı mikroorganizma konsantrasyonundaki azalma oranı gümüş iyonu içeren PVC malzemenin ortamda olduğu durumda diğer durumlardan yüksektir. Gümüş iyonu taşıyan PVC malzeme, iç ortam havasında mikroorganizma konsantrasyonunun azalmasında etkili olmuştur. Bu etki etkilenen mikroorganizma türüne göre değişiklik göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Biyoaerosoller, iç ortam hava kalitesi, antimikrobiyal, gümüş iyonu, oda deneyi, PVC.

Danışman: Prof.Dr. Gülen GÜLLÜ, Hacettepe niversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yardımcı Danışman: Yrd.Doç.Dr. Sibel MENTEŞE, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

# DETERMINATION OF ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF PVC MATERIAL CONTAINING SILVER IONS FOR IMPROVEMENT OF INDOOR AIR QUALITY

Esra Karaman

## ABSTRACT

In order to improve indoor air quality, experimental studies were conducted for the use of antimicrobial effectiveness of PVC material containing silver ions.

Antimicrobial effectiveness tests and durability tests were conducted for the determination of antimicrobial effect of this material and stability of this effect. According to tests results, PVC material have an antimicrobial property of 99.9% and this property were protected at varying environmental conditions.

To represent the indoor environment, chamber test model was designed that made with compressed glass and volume of 1 m<sup>3</sup>. Most common in indoor environment microorganism's solutions were injected into the model at the certain period and concentration. Bioaerosol samples were taken at certain periods and change in bioaerosol concentration was observed in the chamber test model. This study was carried out at 3 different conditions; with a standard PVC material, with silver ion doped antimicrobial PVC material and without any PVC material in the chamber test model. During the experimental period some parameters such as; temperature, particle size, relative humidity were measured.

According to the test results, reduction in microorganism concentration in the case of with silver ion doped PVC material was highest conditions. Silver ion doped antimicrobial PVC material was effective in reducing the concentration of microorganism in indoor air. This effect varied depends on type of affected microorganisms.

**Key words:** Bioaerosols, indoor air quality, antimicrobial, silver ion, chamber test, PVC.

Advisor: Prof.Dr. Gülen GÜLLÜ, Hacettepe University, Department of Environmental Engineering, Environmental Engineering Section

Co-advisor: Asst.Dr. Sibel MENTEŞE, Canakkale Onsekiz Mart University, Department of Environmental Engineering

## TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ'ye,

Deneyisel çalışmalarımda karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yön gösterici olan yardımcı danışmanım Sayın Yard.Doç.Dr. Sibel MENTEŞE'ye

Çalışmalarımın gerçekleştirilmesi için gerekli olan iç ortam modelini temin eden ERPEN A.Ş. 'ye,

Laboratuvar imkânlarından faydalanmamı sağlayan TOBB ETÜ Hastanesi mikrobiyoloji laboratuvarı çalışanlarına,

Manevi desteklerinden dolayı çalışma arkadaşlarıma,

Her türlü destekleri ile yanımda olan çok değerli aileme ve sevgili eşime içtenlikle teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

## Sayfa

ÖZ .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
1.GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı .....	2
1.2. Çalışmanın Yöntemi ve Planı .....	3
2.GENEL BİLGİLER .....	6
2.1. İç Ortam Hava Kalitesi .....	6
2.2. İç Ortam Hava Kirliliği .....	7
2.3. İç Ortam Hava Kirleticileri: Biyoaerosoller .....	8
2.4. İç Ortam Hava Kalitesinin İyileştirilmesinde Kullanılan Yöntemler .....	11
2.5. Gümüş İyonu ve Antimikrobiyal Özelliği .....	14
2.6. Çalışmada Kullanılan Antimikrobiyal Malzemenin Özellikleri .....	18
3.MATERYAL ve METOD .....	22
3.1. Antimikrobiyal Etkinlik Testi .....	22
3.1.1. Ön Çalışmalar .....	23
3.1.2. Antimikrobiyal Etkinlik Testinin Uygulanması .....	26
3.2. Stabilite Testi .....	29
3.2.1. Ön Çalışmalar .....	30
3.2.2. Stabilite Testinin Uygulanması .....	30
3.3. İç Ortam Havaasının Kalitesinin İyileştirmesine Yönelik Oda Modeli Çalışmaları .....	31
3.3.1. Ön Çalışmalar .....	34
3.3.2. Deneyin Yapılması .....	36
4.SONUÇLAR .....	43
4.1. Antimikrobiyal Etkinlik Testi Sonuçları .....	43
4.2. Stabilite Testi Sonuçları .....	48
4.3. İç Ortam Havaasının Kalitesinin İyileştirmesine Yönelik Oda Modeli Çalışmalarının Sonuçları .....	52
4.3.1. Koloni Sayım Sonuçları .....	52
4.3.2. Biyoaerosol Giderim Oranları .....	62
4.3.3. Karşılaştırmalı sonuçlar .....	72
5.GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	78
KAYNAKLAR .....	84

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1.	Zirkonyum fosfat katkılı gümüş iyonu içeren PVC (üstteki), normal PVC (alttaki) SEM fotoğrafları (Çözünürlük :2500 k) .....	20
Şekil 2.2.	Zirkonyum fosfat katkılı gümüş iyonu içeren PVC (üstteki), normal PVC (alttaki) SEM fotoğrafları (Çözünürlük :7500 k) .....	20
Şekil 2.3.	Zirkonyum fosfat katkılı gümüş iyonu içeren PVC (üstteki), normal PVC (alttaki) SEM fotoğrafları (Çözünürlük :15000 k) .....	21
Şekil 3.1.	Densitometre cihazı .....	24
Şekil 3.2.	E. coli türü ile yapılan antimikrobiyal etkinlik testine ait numuneler: inkübasyon öncesi .....	27
Şekil 3.3.	S. epidermidis türü ile yapılan antimikrobiyal etkinlik testine ait numuneler: inkübasyon öncesi .....	27
Şekil 3.4.	E. coli türü ile yapılan antimikrobiyal etkinlik testine ait numuneler: inkübasyon sonrası .....	28
Şekil 3.5.	S. epidermidis türü ile yapılan antimikrobiyal etkinlik testine ait numuneler: inkübasyon sonrası .....	29
Şekil 3.6.	Oda deneyi modelinin şematik gösterimi .....	32
Şekil 3.7.	Oda deneyi modelinin resmi .....	34
Şekil 3.8.	Oda deneyinde kullanılan PVC plaka numunelerden bir örnek .....	36
Şekil 3.9.	Partikül madde ölçüm cihazı .....	37
Şekil 3.10.	Dijital higrometre cihazı .....	37
Şekil 3.11.	Ultrasonik Nebulizatör .....	38
Şekil 3.12.	Biyoaerosol örnekleme sistemi- Tek basamaklı impaktör .....	39
Şekil 3.13.	Biyoaerosol örnekleme sistemi-Yüksek akımlı pompa .....	39
Şekil 3.14.	DC-Lite akım ölçer .....	40
Şekil 3.15.	Biyoaerosol örnekleme sistemi .....	40
Şekil 3.16.	Yarı-otomatik koloni sayım cihazı .....	42
Şekil 4.1.	Oda modelinde herhangi PVC olmaması (Boş) durumunda, antimikrobiyal özelliğe sahip olmayan PVC (Normal PVC) yerleştirildiği durumda ve antimikrobiyal özelliğe sahip PVC (Gümüşlü PVC) olması durumunda zamana bağlı <i>Bacillus subtilis</i> giderim yüzdelerinin karşılaştırılması .....	72
Şekil 4.2.	Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda (Boş), antimikrobiyal özelliğe sahip olmayan PVC (Normal PVC) yerleştirildiği durumda ve antimikrobiyal özelliğe sahip PVC (Gümüşlü PVC) olması durumunda zamana bağlı <i>Escherichia coli</i> giderim yüzdelerinin karşılaştırılması .....	73
Şekil 4.3.	Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda (Boş), antimikrobiyal özelliğe sahip olmayan PVC (Normal PVC) yerleştirildiği durumda ve antimikrobiyal özelliğe sahip PVC (Gümüşlü PVC) olması durumunda zamana bağlı <i>Staphylococcus aureus</i> giderim yüzdelerinin karşılaştırılması .....	74
Şekil 4.4.	Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda (Boş), antimikrobiyal özelliğe sahip olmayan PVC (Normal PVC) yerleştirildiği durumda ve antimikrobiyal özelliğe sahip PVC (Gümüşlü PVC) olması durumunda zamana bağlı <i>Aspergillus niger</i> giderim yüzdelerinin karşılaştırılması .....	75

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1.	Gümüş iyonlarının toksitite güvenlik testi sonuçları (ConFirm Monitoring System Inc.) .....	17
Çizelge 2.2.	Malzemenin bileşimindeki gümüş miktarı oranları.....	19
Çizelge 3.1.	Logaritmik azalmaya karşılık gelen antimikrobiyal etkinlik yüzdeleri (JIS Z 2801) .....	22
Çizelge 3.2.	Mikroorganizma çözeltilerinin McFarland Standart sonuçlarına karşılık gelen sayısal değerlerinin yorumlanması ve onların 550 nm dalga boyundaki optik yoğunlukları (Kaynak: bioMerieux) .....	25
Çizelge 3.3.	Çalışmada kullanılan mikroorganizma türlerine göre örnekleme periyotları .....	41
Çizelge 4.1.	<i>Escherichia coli</i> için Antimikrobiyal Etkinlik Testi Sonuçları .....	44
Çizelge 4.2.	<i>Staphylococcus aureus</i> için Antimikrobiyal Etkinlik Testi Sonuçları .....	45
Çizelge 4.3.	<i>Staphylococcus epidermidis</i> için Antimikrobiyal Etkinlik Testi Sonuçları .....	46
Çizelge 4.4.	<i>Candida albicans</i> için Antimikrobiyal Etkinlik Testi Sonuçları .....	47
Çizelge 4.5.	<i>Escherichia coli</i> için Stabilite Testi Sonuçları .....	48
Çizelge 4.6.	<i>Staphylococcus aureus</i> için Stabilite Testi Sonuçları .....	49
Çizelge 4.7.	<i>Staphylococcus epidermidis</i> için Stabilite Testi Sonuçları .....	50
Çizelge 4.8.	<i>Candida albicans</i> için Stabilite Testi Sonuçları .....	51
Çizelge 4.9.	Oda modeline herhangi PVC malzeme yerleştirmeksizin yapılan <i>Bacillus subtilis</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	52
Çizelge 4.10.	Oda modeline normal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan <i>Bacillus subtilis</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	53
Çizelge 4.11.	Oda modeline antimikrobiyal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan <i>Bacillus subtilis</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	54
Çizelge 4.12.	Oda modeline herhangi PVC malzeme yerleştirmeksizin yapılan <i>Escherichia coli</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	55
Çizelge 4.13.	Oda modeline normal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan <i>Escherichia coli</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	55
Çizelge 4.14.	Oda modeline antimikrobiyal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan <i>Escherichia coli</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	56
Çizelge 4.15.	Oda modeline herhangi PVC malzeme yerleştirmeksizin yapılan <i>Staphylococcus aureus</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	57
Çizelge 4.16.	Oda modeline normal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan <i>Staphylococcus aureus</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	57



Çizelge 4.17.	Oda modeline antimikrobiyal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan <i>Staphylococcus aureus</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	58
Çizelge 4.18.	Oda modeline herhangi PVC malzeme yerleştirmeksizin yapılan <i>Aspergillus niger</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	59
Çizelge 4.19.	Oda modeline normal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan <i>Aspergillus niger</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	60
Çizelge 4.20.	Oda modeline antimikrobiyal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan <i>Aspergillus niger</i> enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları .....	61
Çizelge 4.21.	Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda <i>Bacillus Subtilis</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	63
Çizelge 4.22.	Oda modelinde normal PVC olması durumunda <i>Bacillus Subtilis</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	64
Çizelge 4.23.	Oda modelinde antimikrobiyal PVC olması durumunda <i>Bacillus Subtilis</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	64
Çizelge 4.24.	Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda <i>Escherichia coli</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	66
Çizelge 4.25.	Oda modelinde normal PVC olması durumunda <i>Escherichia coli</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	66
Çizelge 4.26.	Oda modelinde antimikrobiyal PVC olması durumunda <i>Escherichia coli</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	67
Çizelge 4.27.	Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda <i>Staphylococcus aureus</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	68
Çizelge 4.28.	Oda modelinde normal PVC olması durumunda <i>Staphylococcus aureus</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	68
Çizelge 4.29.	Oda modelinde antimikrobiyal PVC olması durumunda <i>Staphylococcus aureus</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	69
Çizelge 4.30.	Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda <i>Aspergillus niger</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	70
Çizelge 4.31.	Oda modelinde normal PVC olması durumunda <i>Aspergillus niger</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	70
Çizelge 4.32.	Oda modelinde antimikrobiyal PVC olması durumunda <i>Aspergillus niger</i> türü için biyoaerosol giderim oranları .....	71
Çizelge 4.33.	<i>Bacillus subtilis</i> gideriminde Antimikrobiyal PVC malzemenin ilave etkisi .....	77
Çizelge 4.34.	<i>Escherichia coli</i> gideriminde Antimikrobiyal PVC malzemenin ilave etkisi .....	77
Çizelge 4.35.	<i>S. aureus</i> gideriminde Antimikrobiyal PVC malzemenin ilave etkisi .....	77
Çizelge 4.36.	<i>Aspergillus niger</i> gideriminde Antimikrobiyal PVC malzemenin ilave etkisi .....	77

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
ACGIH	: American Conference of Governmental Industrial Hygienists
Ag	: Gümüş
Ag <sup>+</sup>	: Gümüş iyonu
AgNO <sub>3</sub>	: Gümüş Nitrat
AG-PVC	: Gümüş iyonu içeren PVC
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers
ATCC	: American Type of Culture Collection
Au	: Altın
BaSO <sub>4</sub>	: Baryum Sülfat
BRI	: Building Related Illness
°C	: Derece Celsius
Cd	: Kadmiyum
cells/ml	: Mililitredeki hücre sayısı
CEN	: European Committee for Standardisation,
CFU	: Colony forming unit
cm	: santimetre
cm <sup>2</sup>	: santimetrekare
cm <sup>3</sup>	: santimetreküp
Co	: Kobalt
CO	: Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbon dioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
dk	: Dakika
DNA	: Deoksiribonükleik asit
Fe	: Demir
g	: gram

HEPA	: High efficiency particulate arresting
Hg	: Civa
Hz	: Hertz
IARC	: International Agency for Research on Cancer
IBRG	: International Biodeterioration Research Group
ISO	: International Organization for Standardization
$K_2HPO_4$	: Dipotasyum Fosfat
kg	: Kilogram
$KH_2PO_4$	: Potasyundihidrojen fosfat
l	: litre
LOD	: Limit of detection
Log	: logaritma
M.Ö.	: Milattan önce
m	: metre
$m^2$	: metrekare
$m^3$	: metreküp
mg	: miligram
MHz	: megahertz
ml	: mililitre
Mn	: Manganez
mm	: milimetre
Mo	: Molibden
N	: Normalite
NIOSH	: National Institute of Occupational Safety and Health
nm	: nanometre
NTP	: National Toxicology Program
ODTÜ	: Orta Doğu teknik Üniversitesi
Ort	: Ortalama
OSHA	: Occupational Safety and Health Administration

Pb	: Kurşun
PM	: Partikül madde
ppm	: Parts per million
PVC	: Poli vinil klorür
R	: Ortalama logaritmik azalma
RH	: Bağıl nem
RSKK	: Refik Saydam Kültür Koleksiyonu
SBS	: Sick building syndrome
SD	: Standart sapma
SEM	: Scanning electron microscope
SIAA	: Society of Industrial-technology for Antimicrobial Articles
SISA	: Silver Ion Applications and In-Use Safety Assessment
Sn	: Kalay
STAAC	: Systems, Technology and Advanced Concepts
t	: süre
TBS	: Tight Building Syndrom
TiO <sub>2</sub>	: Titanyum dioksit
TOBB ETÜ	: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliđi Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
TUBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
µg	: Mikrogram
µm	: Mikrometre
US EPA	: United States Environmental Protection Agency
UV	: Ultraviyole
VOC	: Volatile Organic Compound
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
Zn	: Çinko

## 1. GİRİŞ

İç ortam hava kalitesi son yıllarda ortaya çıkan sağlık sorunlarından sonra önem kazanmıştır. İç ortam hava kalitesine etki eden faktörler ortamın fiziksel ve coğrafik özellikleri ile birlikte kirleticinin türüne ve kaynağına göre değişmektedir.

Yapılan birçok araştırmada iç ortam hava kalitesine önemli ölçüde etki eden kirleticilerden birinin organik tozlar olarak bilinen biyoaerosoller olduğu tespit edilmiştir. Biyoaerosollerin iç ortamda bulunmasında en önemli faktör ortamdaki insan varlığıdır (Lee et al. 2001). Ortamdaki insan varlığından kaynaklanan dış ortamdaki organik kirletici taşınımı, özellikle solunum başta olmak üzere, sigara içimi, yemek pişirme, banyo tuvalet gibi nemli ortamların varlığı ve su tesisat yapıları, havalandırma ile dış ortamdaki kirletici taşınımı başlıca biyoaerosol kirletici kaynakları olarak gösterilmektedir. Yerleşim yerinin iklimsel özellikleri, kullanılan havalandırma yöntemi, ortamdaki malzemelerin cinsi biyoaerosollerin ve bunların fragmantlerinin bulunmasına ve çoğalmasına etki eden faktörlerdir.

Biyoaerosollere ve onların endotoksin, mikotoksin ve VOC gibi mikrobiyal metabolitlerine maruz kalınması durumunda olumsuz sağlık koşulları oluşabilmektedir (Li et al., 2001). Biyoaerosollere maruz kalma neticesinde insanlarda enfeksiyon hastalıkları, alerjik ve alerjik olmayan hastalıklar gözlemlenmektedir (Aprea et al., 2000).

İç ortam havasının iyileştirilmesine yönelik çözümler kirleticinin türüne, kaynağına ve yayılma şekline göre çeşitlilik göstermektedir. Bu çözümler kaynak kontrolü olabileceği gibi, konsantrasyon azaltma yöntemi ve sadece maruziyetin azaltılmasına yönelik çözümler de olabilmektedir. Biyoaerosollerin neden olduğu iç ortam hava kirliliğinin önlenmesinde kaynak kontrolü yapılması kirletici kaynağı nedeniyle mümkün olmadığı durumlarda sınırlı kalmaktadır. Biyoaerosol konsantrasyonlarının azaltılmasına yönelik kullanılan ürünlerin enerji maliyetlerinin yanı sıra insan sağlığına olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu nedenle havadaki biyoaerosol kompozisyonunu ve konsantrasyonunu azaltmak için biyoaerosollerin optimum büyüme koşullarını azaltacak sürdürülebilir çözümler büyük önem taşımaktadır. Böylece, iç ortam havasında en çok rastlanan

mikroorganizma türlerinin seviyelerinin azaltılması amacıyla, biyoaerosollerin büyümesini engelleme potansiyeli olabilecek gümüş iyonu içeren PVC malzemenin etkinliği araştırılmıştır.

Gümüş iyonlarının antimikrobiyal etkisi eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Bakır, çinko, cıva gibi diğer metallerin iyonlarının da güçlü antimikrobiyal etkiye sahip oldukları bilinse de gümüş, insanlar için toksik etkisi en düşük olan element olduğu için diğerlerinden daha fazla kullanılmaktadır (Zhao et al., 1997). Gümüş iyonlarının oldukça geniş bir mikroorganizma grubunu uzun bir süre etkin bir şekilde yok edebilecek etkiye sahip olduğunu kanıtlayan birçok çalışma mevcuttur (Cowan et al., 2003; Galeano et al., 2003; Rusin et al., 2003; Morishita et.al., 1998).

Bu çalışmada zirkonyum fosfat inorganik taşıyıcı maddesi ile gümüş iyonu kazandırılmış polivinil klorür (PVC) malzemenin antimikrobiyal etkinliği test edilmiş, bu etkinliğin iç ortam hava kalitesine etkisi iç ortam modeli üzerinde yapılan deneysel çalışmalarla araştırılmıştır. Çalışma paralel olarak aynı özelliklere sahip ancak sadece gümüş iyonu taşıyan zirkonyum fosfat maddesi bulunmayan PVC malzeme ile de gerçekleştirilmiştir. Her iki çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

### **1.1. Çalışmanın Amacı**

İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde mikroorganizmaların neden olduğu kirliliğin tespit edilip, çeşitli yöntemlerle önlenmesi mümkün olabilmektedir. Öte yandan gümüşün antimikrobiyal özelliğinin iç ortam hava kalitesini iyileştirme etkisi gümüş nano partikülleri ile yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Benzer çalışmalara iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılan yöntemleri anlatan başlık altında (bkz başlık 2.4.) yer verilmiştir. Ülkemizde ve dünyada son yıllarda gümüş iyonu ile antimikrobiyal etki kazandırılmış kaplama malzemelerin çeşitli alanlarda kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır. Gümüş iyonu içeren antimikrobiyal duvar boyalarının geliştirilmesi, gümüş solüsyonu ile işlem görmüş antimikrobiyal halılar bunlara örnektir. Benzer olarak beyaz eşyaların iç yüzey kaplamalarında gümüş iyonu kullanımı oldukça yaygındır. Bu malzemelerin antimikrobiyal özelliği yüzey

temasına yönelik standart test metodları ile tespit edilmektedir. Gümüş iyonu içeren bir malzemenin iç ortam hava kalitesini iyileştirdiğini test etmeye yönelik bir çalışma henüz bulunmamaktadır. Bununla birlikte günlük yaşantımızda sıklıkla temas halinde bulunduğumuz kapı ve pencere sistemlerinde kullanılmak üzere gümüş iyonu ile antimikrobiyal etkinlik kazandırılmış PVC malzeme ülkemizde ilk defa üretilmiştir. Bu çalışmada gümüş iyonu kazandırılmış bu PVC malzemenin antimikrobiyal özelliğinin iç ortam havasında bulunan mikroorganizmalar üzerinde de etkili olup olmadığını tespit etmek amaçlanmaktadır. Genel olarak çalışmanın amacı aşağıda özetlenmiştir:

- Zirkonyum fosfat taşıyıcı maddesi ile gümüş iyonu kazandırılmış PVC malzemenin antimikrobiyal etkinliğini tespit etmek;
- Malzemeyi çeşitli dozlamalar sonunda zorlanma ve stres parametrelerine karşı stabilite yönünden incelemek;
- Antimikrobiyal etki gösteren malzemenin iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik biyoaerosol konsantrasyonunu azaltmada ilave bir etkisi olup olmadığını tespit etmek;
- Bu etkinin etkilenen mikroorganizma türüne göre değişimini incelemektir.

## **1.2. Çalışmanın Yöntemi ve Planı**

Çalışma birbirini izleyen iki ayrı temel yöntemeye dayanan çalışmadan oluşmaktadır. İlk çalışma malzeme üzerinde uygulanan antimikrobiyal etki tespitine yönelik standart antimikrobiyal etkinlik testleri ve çeşitli parametrelere karşı stabilite testlerinden oluşmaktadır. Malzemeye uygulanan antimikrobiyal etkinlik testleri genel hatlarıyla antimikrobiyal yüzeyin belirli şartlar altında sıvı hedef mikroorganizma kültürü ile belirli bir temas süresi boyunca mikroorganizma üremesini engelleme veya öldürme özelliğinin sayısal analizine dayanmaktadır. Temas süresi sonunda başlangıç konsantrasyonuna göre azalma hesaplanmaktadır. Etkinlik, sayısal olarak antimikrobiyal işlem görmüş numune ile birlikte işlem görmemiş kontrol numunesi için aynı işlemlere tabi tutulması sonucu elde edilen logaritmik azalmalar oranlanarak analiz edilmektedir.

Stabilite testleri ile ise de etkin maddeye uygulanan belli testlerden sonra etki derecesindeki azalma miktarı değerlendirilmiştir. Söz konusu malzemenin stabilite

testi, antimikrobiyal etkinliğe etki eden faktörlerin ve ürünün maruz kalabileceği yıpranma koşullarının etkisinde kaldıktan sonra mikrobiyolojik etkinliği ölçülerek yapılmıştır. Stabilitate test parametreleri ürünün sürekli maruz kalabileceği doğal faktörler düşünülerek belirlenmiştir ve su ile yıkanıp güneşte kurumaya bırakılmasına dayanmaktadır. Böylece ürünün antimikrobiyal etkinliğinin yağış, nem, güneş ışığı, kullanım şartlarından kaynaklanan yıpranma gibi etkiler altında içerdiği gümüş iyonu ile kazandığı antimikrobiyal etkinliğinin değişip değişmediği tespit edilmiştir.

İkinci çalışma ise ilk çalışma sonucu antimikrobiyal özelliği test edilen malzemenin ortam havasındaki biyoaerosol konsantrasyonunu azaltmada etkili olup olmadığının test edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Antimikrobiyal malzemelerin etkinliklerinin belirlenmesine yönelik standart test metotları bulunmasına rağmen, ortam havasındaki etkinliklerinin belirlenmesine yönelik standart metot mevcut değildir. Bu nedenle ortam havasında kirleticilerin giderim hızının tespit edildiği çalışmalardan uyarlanarak oda modeli tasarlanmıştır. Bu amaçla faydalanan oda deneyi çalışmaları örnekleri ilgili literatür incelenmesi bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.

Çalışma için öncelikle iç ortam havasında en çok bulunan bakteri ve mantar türleri tespit edilmiştir. Oda modeli eşit kenarlardan oluşan 1 m<sup>3</sup> hacme sahip olup sıkıştırılmış cam malzemedен yapılmıştır. Modelde havanın sirkülasyonunu sağlamak için 4 adet fan kullanılmıştır. *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Aspergillus niger* türleri ile oluşturulan biyoaerosol örnekleri için oda modelinde belirli şartlar altında farklı konsantrasyonlarda ve farklı örnekleme süreleri ile çalışılmıştır. Her mikroorganizma türü için optimum konsantrasyon ve örnekleme süreleri tespit edilmiştir.

Biyoaerosollerin oda modeli içine enjeksiyonu ultrasonik nebülizör vasıtasıyla yapılmaktadır. Deney süresi boyunca sıcaklık, nem, CO<sub>2</sub>, CO ve partiküler madde konsantrasyonu ve çapı ölçülmüştür. Farklı zaman aralıklarında ortamdaki biyoaerosol konsantrasyonunun tespiti için tek basamaklı impaktör biyoaerosol örnekleme cihazı kullanılmıştır. Yapılan deneyler gümüş iyonu taşıyan zirkonyum fosfat katkılı PVC malzemenin ve bu özelliğe sahip olmayan aynı yüzey alanına sahip normal PVC malzemenin ortama ayrı ayrı dahil edilmesi durumlarında da gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde PVC malzeme, sistem içine uygun bir ip yardımı



ile sarkıtılmıştır. Her deney için aynı yzney alanına sahip aynı boyutlarda farklı PVC plakalar kullanılmıştır.

Bu alışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve planını içeren giriş bölümüdür. İkinci bölümde konu ile ilgili genel bilgiler ve benzer çalışmalardan örnekler yer almaktadır. Çalışmanın nc bölümü ayrıntılı şekilde deney için kullanılan materyaller, test metotları ve hesaplama yöntemlerinden oluşan materyal ve metot bölümüdür. Dördüncü bölümde çalışma kapsamında yapılan deney sonuçları verilmiştir. Son olarak beşinci bölümde çalışmaya ilişkin genel değerlendirmeler yer almaktadır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. İç Ortam Hava Kalitesi

İnsanlar zamanlarının yaklaşık %90'ı kadar büyük bir kısmını iç ortamlarda geçirmektedir. İç ortamlarda solunan havanın insan sağlığını etkilediği boyutta iç ortam hava kalitesinden bahsetmek mümkün olmaktadır. İdeal bir sağlık kavramı içine sadece fiziksel açıdan değil ruhsal ve sosyal açıdan iyi olma hali de eklendiğinde iç ortam hava kalitesinin boyutları geniş boyutlara ulaşmaktadır.

Genel anlamda iç ortam hava kalitesi solunan iç ortam havasının ne kadar temiz veya kirli olduğunu gösteren bir ölçüt olarak tanımlanabilir. Bununla ilgili dünyada referans olarak gösterilebilecek standartlar mevcut olmakla birlikte ülkemizde henüz iç ortam hava kalitesi standartları bulunmamaktadır. Amerikan bir kuruluş olan ASHRAE iç ortam hava kalitesi ile ilgili "*Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (ASHRAE 62-2001)" ve "*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (ASHRAE 55-2004)" standartlarını yayımlamıştır. Bu dökümanlarda "kabul edilebilir iç hava kalitesi" terimi kabul edilmiştir. Kabul edilebilir iç ortam hava kalitesi "içinde, bilinen kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği hava" olarak tanımlanmıştır (ASHRAE 62-2001). Ayrıca Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) tarafından bina içi ortam hava kalitesi ve iç ortamda hava kalitesi için kullanıcıların ihtiyacına yönelik CR 1752 (1998) 2002 "*Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment*" standardını yayımlamıştır (TS CR 1752/Nisan, 2002).

Ancak ülkemizde iç ortam hava kalitesi ile ilgili standart oluşturulmaması ve yasal düzenlemelerin olmaması bu alanın önemli eksikliklerinden biri olarak görülmektedir.

## 2.2. İç Ortam Hava Kirliliği

İç ortamlar, havalandırma sıklığına bağlı olarak özellikle kış döneminde dış ortama göre ortalama 4-6 kat daha kötü hava kalitesine sahiptir (Güllü et al., 2008). İç ortam havası çeşitli etkilerle kirlenmektedir. İç ortam havasının kirlenmesinde iç ortam kaynakları etkili olabileceği gibi, dış ortam kaynaklı da kirlilik oluşması söz konusu olmaktadır. İç ortam faaliyetleri, ortamda sabit bulunan eşyalar, yapı malzemeleri, dış ortamdaki havalandırma ve taşınım ile gelen kirleticiler ve bunların bir araya gelmesinden oluşan ikincil kirleticiler başlıca iç ortam hava kirliliği kaynaklarıdır. İç ortam hava kirliliği dış hava kompozisyonuna, iç ortam faaliyetlerinin türüne, iç ortamda bulunan hava hacmine ve kirleticinin üretim veya yayılma hızına bağlı olarak değişmektedir (Samet et. al. 1988).

Ülkemizde 1980'li yıllarda yapılan çalışmalarda kapalı ortam havasının yapı ve temizlik malzemeleri, boya maddeleri ve ısınma sonucu ortaya çıkan atıklar nedeni ile insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri fark edilmiştir. Özellikle 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizi sonrasında, enerji tasarrufu nedeni ile bina havalandırma ve klima sistemlerinin yarı kapasite ile çalıştırılması kapalı ortam havasına bağlı sağlık sorunlarının ortaya çıkmasını kolaylaştırmıştır. Sonraki yıllarda prefabrike konut yapımının ve sentetik yapı malzemesi kullanımının artması, bilgisayarların yaygınlaşması sorunu daha da karmaşık hale getirmiştir (Soysal et. al. 2007).

Hava kirliliğinin insan sağlığına zararları oldukça yaygın bir şekilde bilinmesine ve kabul edilmesine rağmen iç ortam hava kirliliğinin de insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği çok geç anlaşılmıştır. Oysa ki, iç ortam havasının dış ortam havasından çok daha kirli olduğunu gösteren birçok çalışma mevcuttur. Günümüzde ev, okul, ofis gibi günümüzün büyük bir kısmını geçirdiğimiz mekanlar sağlığımız için büyük risk oluşturmaktadır. Bazı kirleticiler gözlerde ağrı, burun ve boğazda yanma, baş ağrısı, yorgunluk gibi etkiler gösterebilmektedir. Kirletici cinsine ve konsantrasyonuna bağlı olarak astım gibi solunum yolu hastalıkları, kalp rahatsızlıkları, kanser ve diğer kronik hastalıklara neden olabilmektedirler (Samet et al., 1988, Rylander et al., 1989; 1992). Birçok çalışma, iç ortamda geçirdikleri sürenin daha uzun olması, metabolizma ve davranış özellikleri nedeniyle, özellikle yaşlılar ve çocukların kapalı ortamlardaki kirleticilere daha fazla maruz kaldıklarını

göstermektedir (Paustenbach et al., 1997; Liroy et al., 2002; Butte, 2004; Roberts and Ott, 2007).

İç hava kalitesi ile bağlantılı olarak görülen sağlık problemlerinden sonra tıp literatürüne Kapalı Bina Sendromu (Tight Building Syndrom –TBS), Hasta Bina Sendromu (Sick Building Syndrom-SBS ) ve Bina Bağlantılı Hastalıklar (Building Related illness-BRI) olmak üzere çeşitli terimler girmiştir. Bu sağlık problemleri çalışma ortamlarından ev ortamına kadar birçok alandaki kişileri tehdit etmektedir. İç ortam hava kirliliğinin etkisinin ortaya çıkma süresinin uzun olması ve genellikle kronik rahatsızlıklar oluşturması konuya yeteri önemin verilmemesinin başlıca nedenleri olarak görülmektedir.

### **2.3. İç Ortam Hava Kirleticileri: Biyoaerosoller**

Bu bölümde çalışmaya konu olan iç ortam havasını kirleten kaynaklarından biri olan biyoaerosollere ve çalışma kapsamında yapılan çeşitli testlerde kullanılan mikroorganizmaların başlıca özelliklerine yer verilmiştir.

Biyoaerosoller; havadan kaynaklanan, biyolojik kökenli bakteri, mantar, mantar sporları, virüsler ile polen ve onların fragmentlerini içeren tüm organik tozlar olarak bilinmektedir. Biyoaerosoller virüs, bakteri, alerjenler, hayvan tüyleri, mantarlar gibi bileşikler içerebilmektedir. Bu kirleticiler iç ortama, ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemlerinden, kapılardan, pencerelerden, duvar açıklıklarından, su tesisat borularından girebildiği gibi, ayakkabı veya kıyafetler ile de taşınabilmektedir. Mikroorganizmaların iç ortamda büyümesini ise; iç ortamın nem oranı, sıcaklık ve besin (kir, odun, kağıt, boya v.s) varlığı ile, oksijen ve ışık miktarı belirlemektedir. İç ortamda en yaygın bulunan mikroorganizmalar, mantar ve bakterilerdir. Bu biyolojik canlılara ve onların endotoksin, mikotoksin ve VOC gibi mikrobiyal metabolitlerine maruz kalınması durumunda olumsuz sağlık koşulları oluşabilmektedir (Lee et al., 2001). Havalandırmanın yetersiz olması, yapı karakteristiği ve bunlara etki eden coğrafik koşullar nedeniyle virüslerin solunum yolu hastalıklarına neden olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Brundage et al., 1988; Fisk, 2001). Yapılan bazı çalışmalar yüksek konsantrasyonlarda biyoaerosollere maruz kalma ile astım, rinit ve hipersensitif pnomoni gibi

hastalıklar ile hasta bina sendromu arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir (Beaumont, 1988; Siersted et al., 1993; ACGIH, 1989; Dales et al., 1991).

Biyoaerosollerin iç ortamlarda, dış ortamlara göre yüksek bulunması; kaynaklarının iç ortam olduğunu göstermektedir. İç ortamdaki bakteri ve mantarların seviyesinin artışına dış ortamdan içeriye hava girişi, iç ortamda uygun olmayan sıcaklık-nem koşullarının bulunması ve bakteri mantarların çoğalmasına neden olan besinlerin içeride bolca bulunması gösterilebilir (Güllü et al., 2009). İnsan varlığı, iç veya dış ortamda bir biyoaerosol kaynağı olmadığı sürece, iç ortam biyoaerosol seviyesini arttıran en önemli parametre olarak belirtilmektedir (Lee et al. 2001). Dış hava ile temasın az olduğu, yapay havalandırmanın yapıldığı büyük binalarda da iç hava kalitesinin düşük olduğu tespit edilmiştir (Lee et al. 2001). İç ortam havasındaki biyoaerosol seviyeleri, dış ortam havasından giriş ile de değişebilmektedir (Lee et al. 2005). Bu nedenle, mikrobiyal büyümeyi etkileyen temel faktörler olan; dış ortam havasının sıcaklık ve bağıl nem değerleri, iç ortam havasındaki biyoaerosollerin seviyesinde rol oynayabilmektedir.

İç ortamlarda kabul edilebilir biyoaerosol seviyesinin sınırlarının tespiti için dünyada çeşitli düzenlemeler yapılmaktadır. NIOSH Sağlık sorunlarına sebep olabilecek üst limit değer, toplam biyoaerosol miktarı 1000 CFU/m<sup>3</sup>, olarak belirlemiştir (Nevalainen et al., 1992; ACGIH, 1989).

Aşağıda çalışma kapsamında yapılan antimikrobiyal etkinlik testleri ve oda modeli deneylerinde çalışılan mikroorganizmalara ilişkin bazı bilgiler sunulmuştur:

*Escherichia coli*: Gram negatif özellik gösteren bir bakteri türüdür. Etraflarında kapsül bulunmaktadır. Memelilerin kalın bağırsağında yaşayan bir türdür. Genel besiyerlerinde kolayca ürerler. Değişebilen anaerob olup, optimal üreme ısısı 37 °C'dir (15-45 °C). Özellikle 45 °C de üreyebilmeleri benzer bazı bakterilerden ayırt edici bir özelliktir. Optimum üreme pH 7.2'dir. Bu bakteriler ısıya karşı oldukça dirençli olup, 60 °C ısıda bile canlı kalabilmektedirler. Oda koşullarında uzun süre canlı kalabilirler. Dezenfektanlara karşı dirençsiz oldukları bilinir.

*Staphylococcus aureus*: Stafilokoklar cinsine ait yuvarlak şekilli, kapsülsüz, gram pozitif mikroorganizmalardır. Toz, toprak, eşya üzerinde, insan ve hayvan deri, burun mukozası, ağız floralarında sıkça bulunmaktadır. Doğada ve iç ortam havasında sıkça görülen bakteri türlerinden birisidir. İnsanlar en önemli taşıyıcılarıdır. Optimal olarak 37 °C de ve pH 7,4'de ürerler. Patojendirler. Bu mikroorganizmanın çeşitli enfeksiyonlarına sıkça rastlanmaktadır. Bunun nedeni olarak kemoterapötik maddelerin birçoğuna hızla dayanıklılık kazanmış olmaları gösterilmektedir. S. aureus antibiyotik maddelere karşı diğer bakterilere oranla dirençlidir.

*Staphylococcus epidermidis*: Stafilokoklardan gram-pozitif bakteri türüdür. Deri ve üst solunum yolları mukozasında bulunmaktadırlar. Fırsatçı patojendirler ve bağışıklık sistemi düşük hastalar için büyük bir risk oluştururlar. Bu bakteriler geniş bir antibiyotik grubuna direnç gösterirler. Genel olarak stafilokok enfeksiyonları bağışıklık meydana getirmemektedir.

*Bacillus subtilis*: Oksijenli solunum veya geçici oksijenli solunum yapan, 20-30 °C 'de üreyebilen bir bakteri cinsidir. Gram pozitifdir. Çoğu besi yerinde kolayca üreyebilmektedirler. Doğada ve kapalı ortamlarda yaygınca bulunmaktadırlar. Doku içinde ve gözde enfeksiyon oluştururlar. Vejetatif şekilleri dayanıksız olup, sporları bazen kaynama derecelerinde birkaç saat dayanabilirler. İnsanlar ve hayvanlar için patojendirler. Yapılan birçok araştırma sonucu olumsuz şartlara karşı çok dirençli olduğu kanıtlanmıştır. (Burton et al., 2005; Dhayal et al., 2006)

*Candida albicans*: Eşeyli çoğalan, maya tipi bir mantar türüdür. İnsanlarda ağız, üst deri, üreme bölgesi, sindirim sistemi ve diğer çevreye açık ve nemli dokularında yaşayan pek çok organizmadan biridir. Tomurcuklanarak çoğalırlar. Fırsatçı mantarlardır; bağışıklık sistemi zayıfladığında çoğalır ve deri ve vajinal mantar enfeksiyonlarına neden olurlar. Candida albicans tüm mantar enfeksiyonlarının yaklaşık dörtte üçünden sorumludur.

*Aspergillus niger*: Doğada yaygınca bulunan 200 mantar türünden oluşmuş bir cinstir. Yuvarlak hücrelerden oluşmuş mayalardan farklı olarak, ipliksi bir hücre yapısına sahiptirler. Besin maddelerinden yoksun veya başka organizmaların

kullanmadığı besin kaynaklarının olduğu ortamlarda da büyüme yeteneğine sahiptirler. Nemli duvarlar, banyolarda küf şeklinde sıkça bulunurlar. Ayrıca bitki, ağaç ve bunların atıklarında bolca bulunurlar.

## 2.4. İç Ortam Hava Kalitesinin İyileştirilmesinde Kullanılan Yöntemler

EPA, iç ortam hava kalitesi kontrolü için 3 temel strateji belirlemiştir:

1. Kaynakta Kontrol
2. Havalandırmanın geliştirilmesi
3. Hava temizleyicileri

Kaynakta Kontrol: Kirliliğin artırılmasında veya bertaraf edilmesinde temel prensip olan “kaynakta kontrol” , iç ortam hava kirliliğinin kontrolünde de birincil yöntem olarak gösterilmektedir. Bu yöntem ile iç ortamda kirlilik kaynakları tespit edildikten sonra hem bu kaynakları hem de bunların meydana getireceği kirliliği azaltma prensibine dayanmaktadır. Birçok durumda diğer yöntemlerden daha etkili ve ucuzdur. Enerji maliyetleri yoktur. İç ortam hava kirliliğinin en çok görüldüğü yerler evler olduğu için kaynakta kontrol en etkin yöntem gibi görülmektedir. Bununla birlikte iç ortam hava kirliliğinde kirlilik oluşturan kaynağın türüne ve kirleticinin cinsine bağlı olarak bu yöntemin verimliliği değişmektedir. Örneğin iç ortamdaki uçucu organik bileşiklerin kontrolünde daha az emisyon yayan boya kullanılmış mobilya seçimi etkin bir yöntemdir. Ancak biyoaerosol kirliliğinde aynı durum söz konusu olmamaktadır. Biyoaerosollerin iç ortamdaki en büyük kaynaklarının ortamdaki insan varlığı olduğu düşünüldüğünde kaynak kontrolünün bu kirletici için etkin bir yöntem olmadığı görülmektedir. Kaynakta kontrol, kirlilik kontrolünde temel prensip olarak kabul edilse de iç ortamda biyoaerosol kirliliğinin kontrolünde etkinliği ve verimliliği sınırlı kalmaktadır.

Havalandırmanın Geliştirilmesi: Bu yöntem iç ortamda dış ortamdaki daha yüksek konsantrasyonlarda bulunan kirleticilerin konsantrasyonunu azaltması yaklaşımını oluşturmaktadır. Isıtma ve soğutma sistemlerini oluştururlar, hiçbir zaman iç ortama temiz hava sağlayamazlar. Cam ve pencereleri açmak, banyo ve mutfak havalandırmaları, klimalar havalandırma oranını arttıran bazı yöntemlerdir.

Özellikle bazı kısa süreli aktivitelerde yüksek konsantrasyonlardaki kirleticilerden kurtulmak için havalandırma yöntemi kullanıldığında etkinliği artmaktadır. Kapalı ortamlarda yapılan boyama, kaynak yapma, yemek pişirme, zımpara yapma faaliyetlerinde pencerelerin açılması, aspiratörler altında çalışılması bunlara örnek olarak verilebilir. Biyoaerosol kirliliğinin kontrolünde kullanılan havalandırma yöntemine göre havalandırma yönteminin verimliliği değişmektedir. Geliştirilen çeşitli mekanik sistemler iç ortama temiz hava sağlamadıkları gibi önemli ölçüde enerji maliyetleri vardır. Mekanik havalandırma sistemlerinin kontrolü, filtre temizliği gibi bakımlarının yapılması verimliliğine önemli derecede etki etmektedir. Verimliliğini etkileyen diğer önemli unsur da dış ortamdaki biyoaerosol seviyelerinin iç ortamdan daha az olup olmadığıdır. Ayrıca dış ortamın iklimsel ve coğrafik koşullarına bağlı olarak mikroorganizmaların büyümelerine olanak sağlayacak ısı, nem, besi ortamı gibi çevresel faktörlerin kontrol altında tutulması önem taşımaktadır.

Hava Temizleyiciler: Günümüzde kullanılan birçok çeşit hava temizleyici bulunmaktadır. Bunların türleri donanımına ve maliyetine göre oldukça değişmektedir. Birçok çeşidi bulunmasına rağmen çoğu genellikle gaz kirleticileri uzaklaştırmak için dizayn edilmemişlerdir. Enerji maliyetleri vardır. Hava temizleyicilerin verimliliği, sirküle ettiği hava oranı ve havayı filtreleme kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. Son on yıldır özellikle masaüstü temizleyicilerin kullanımı artmıştır. Bu temizleyicilerin insan sağlığına etkilerine yönelik henüz bir çalışma yapılmamıştır. Bununla birlikte EPA hava temizleyicilerin kullanımını önermemektedir.

İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde sözü edilen temel stratejilerin etkinliği iç ortam hava kirleticisinin cinsine ve yoğunluğuna, iç ortamın türüne göre değişebilmektedir. Bununla birlikte çalışmaya konu olan iç ortam kava kirletici kaynaklarından biri olan biyoaerosollere yönelik hava kalitesi iyileştirme yöntemleri, bu kaynağın üreme faaliyetlerini kontrol altına alacak çevresel parametrelerin kontrol yöntemleri ve ilave etkiye neden olacak alternatif yöntemler araştırılmalıdır. Bu çalışmada iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik antimikrobiyal etkiye sahip PVC malzemenin etkinliği araştırılmıştır. Biyoaerosol kaynaklı iç ortam hava kirliliğini iyileştirmek amacıyla antimikrobiyal etkinliğe sahip



bir malzemenin kullanılmasına yönelik standart bir test metodu mevcut değildir. Bu kapsamda ortam havasında bulunan kirleticilerin giderim hızlarının tespit edildiği çalışmalardan faydalanılmıştır.

Çalışmanın bir bölümünü oluşturan iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla antimikrobiyal malzemenin test edilmesine yönelik çember test modeli oluşturulurken faydalanılan çalışmalar kısaca anlatılmıştır:

Lee ve arkadaşları (2008) filtreye depolanmış *S. epidermidis*, *B.subtilis* ve *E. coli* bioaerosollerinin inaktivasyonunda gümüş nano partiküllerin etkisini incelemiştir. Deney düzeneği olarak HEPA filtreden geçirilmiş kuru ve temiz hava girişi, filtrelerin yerleştirildiği, gümüş nano partikülleri için nebulizerin bulunduğu, hava çıkışını içeren ve sıcaklık, bağıl nem değerleri kontrol edilen kapalı bir sistemde çalışılmıştır. Çalışmada biyoaerosol örneklenen filtre gümüş nano partiküllere maruz bırakılmıştır. Aynı işlemler gümüş nano partiküllere maruz bırakılmadığı durumda tekrarlanmıştır. Her iki durum için mikroorganizma ölüm oranları kıyaslanmıştır. Deney sonuçlarına göre bu metot ile biyoaerosollerin kontrolünde gümüş nano partiküllerinden faydalanılabileceği gösterilmiştir.

Sergey ve arkadaşları (2007) iç ortamda bulunan aerosol kirleticilerin mikrobiyal inaktivasyonu ile partikül konsantrasyonlarındaki azalmayı incelemiştir. Bu amaçla 2,75 ve 24,3 m<sup>3</sup> hacimlerinde iki çember test sistemi oluşturulmuştur. Sisteme biyoaerosoller enjekte edilmiş ve sistem içindeki biyoaerosol örnekleyiciler ile ölçüm yapılmıştır. Partikül gideriminin tespitinde kullanmak üzere eş zamanlı partikül boyutu ölçülmüştür. Sıcaklık ve bağıl nem ölçümü yapılan sistemde mikroorganizmaların hayatta kalma oranları tespit edilmiştir. Çalışmaya göre sistem içinde mikroorganizmaların kalma süresi ve giderim hızları mikroorganizma türüne göre değişiklik göstermektedir.

Vohra ve arkadaşları (2006) iç ortam havasının fotokatalitik dezenfeksiyonunun geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmada *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Aspergillus niger*, *Escherichia coli* ve MS2 Bakteriyofaj kullanılmıştır. Havadan kaynaklanan mikroorganizmaların yıkımında kullanılmak üzere gümüş iyonu depolanmış fotokatalitik TiO<sub>2</sub> filtre geliştirilmiştir. Çalışma için hava

sirkülasyonunun sağlandığı deney düzeneği oluşturulmuş, mikroorganizmalar sisteme nebulizer yardımı ile enjekte edilmiştir. Deney süresi boyunca sistemde sıcaklık ve bağıl nem ölçümü yapılmıştır. Filtrelerde biriken mikroorganizmalar temas süresi sonunda analiz edilmiştir. Belli yüzey alanına sahip gümüş iyonu içeren fotokatalitik TiO<sub>2</sub> filtrenin mikroorganizma giderim performansı standart fotokatalitik TiO<sub>2</sub> filtreye göre yüksek bulunmuştur.

Jung ve arkadaşları (2009) hava akışı olan bir sistem oluşturmuş, bu sistemdeki biyoaerosol konsantrasyonu giderimini ve bu giderimde sıcaklığın etkisini incelemiştir. Biyoaerosollerin kontrolünde etkili metot oluşturmak için yapılan çalışmada *E. coli* ve *B. subtilis* mikroorganizmaları ile çalışılmıştır. Mikroorganizmalar sistem içinde sıcaklığa karşı farklı direnç seviyeleri göstermiştir. Oluşturulan deney düzeneğinde temiz hava girişi, biyoaerosol konsantrasyonunu ve boyut dağılımını ölçmek için ölçüm sistemi, termal elektrik ısı sistemi, havalandırma sisteminden faydalanmışlardır.

Virta ve arkadaşları (2005) iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde bina yapılarındaki higrotermal yüklerin oluşturduğu olumsuz etkiyi tespit etmek üzere çember test deney ortamı hazırlamışlardır. Emisyonların binalarda higrotermal yükleri arttırması nedeniyle sistemde emisyon kontrolü yapılmıştır. Tasarlanan sistemde bağıl nem, hava akım oranı, sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Hava girişine çeşitli filtreler yerleştirilmiştir. Mikrobiyolojik aktivite, fiziksel ve kimyasal ölçümler yapılmıştır. Yapılan hava kalitesi ölçüm sonuçları çember test sistemdeki emisyon konsantrasyonunun toplam uçucu organik karbon seviyesi ve mikrobiyolojik aktivite ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir.

## **2.5. Gümüş İyonu ve Antimikrobiyal Özelliği**

Gümüşün antimikrobiyal özelliği eski çağlardan beri bilinmektedir ve kullanılmaktadır (Zhang et al., 2009). İlk defa M.Ö. 4000 yıllarında Mısırlılar ve M.Ö. 2500 yıllarında Çinliler ve Perslerin enfeksiyonları iyileştirmek ve gıda bozulmalarını önlemek amacıyla gümüşten faydalandıkları, Fenikeliler ve Romalıların mikrobiyal bozunmaları engellemek amacıyla su, şarap ve sirkelerini saklamak üzere gümüş malzemeleri kullandıkları bilinmektedir. M.Ö. 69 yılındaki

ilaç kitaplarında gümüş nitratın mikrop öldürücü etkisi yer almaktadır. Modern tıbbın babası sayılan Hipokrat notlarında gümüşün iyileştirici ve enfeksiyon oluşumunu azaltıcı bir madde olduğunu belirtmiştir. 1930'lara kadar tedavi amaçlı yaygın bir şekilde kullanılan gümüş, antibiyotiklerin gelişmesi ile terk edilmiş ancak son yıllarda birçok antibiyotiğe karşı dayanıklı bakterilerin ortaya çıkması sonucu, geniş spektrumlu bir antimikrobiyal olmasından dolayı yeniden dikkatleri üzerine çekmiştir (Fuller et al., 1994; Gulbranson et al., 2000). Gümüşün mikroorganizmalar üzerindeki antimikrobiyal etkisinin gümüş iyonlarından kaynaklandığı 1894'te botanikçi İsveçli bilim adamı Karl Wilhelm tarafından tespit etmiştir. Saf gümüş, canlılar üzerinde toksik etkisi olmayan bir metalken, gümüş iyonları hücre parçalayıcı etki göstermektedir (Chambers et al., 1974).

Pozitif yüklü gümüş iyonları ( $Ag^+$ ) mikroorganizma yapısına 2 şekilde etki etmektedir;

1. Hücre duvarını yıkarak: Elektron verici grup içeren proteinlerle reaksiyona girip; bu proteinler gümüş iyonu ile kararlı kompleksler oluşturmakta ve fonksiyonlarını kaybetmektedirler. Hücre duvarı yıkımı gerçekleşen mikroorganizma yaşamsal faaliyetini yitirmektedir.

2. Hücre membranından sitoplazmaya geçerek: Hücre duvarından geçerek sitoplazmik proteinlere veya hücrenin DNA'sı üzerinde bulunan thio-, amino-, imidazol-, karboksil- ve fosfat gruplarıyla kompleks oluşturarak bu molekülleri etkisiz hale getirir. Böylece hücre yenilenmesi durmaktadır. (Yuranova et al., 2003; Percival et al., 2005). Bu özellikleri ile gümüş iyonunun etkisi mikroorganizmanın hücre duvarı yapısı ile doğrudan alakalıdır. Gram (-) bakterilerin gram (+) bakterilere göre  $Ag^+$  iyonuna karşı daha fazla ve daha kısa sürede morfolojik değişiklik gösterdiği görülmüştür (Feng et al., 2000). Gümüş iyonunun bu şekilde 650'den fazla mikroorganizmaya karşı etki gösterdiği çeşitli çalışmalarla kanıtlanmıştır (Wells et al., 1995). Gümüş iyonunun antimikrobiyal etkisi, sadece bakterilerle sınırlı olmayıp, küf, virus gibi diğer mikro canlılar için de geçerlidir (Thati et al., 2007; Betbeze et al., 2006). Yapılan birçok çalışma ile gümüş iyonunun oldukça geniş bir mikroorganizma grubunu oldukça uzun bir süre etkin bir şekilde yok edebilecek düzeyde olduğu kanıtlanmıştır. (Cowan et al., 2003; Galeano et al., 2003; Rusin et al., 2003; Morishita et al., 1998).

Gümüş, iyon değişimi özelliğini ancak mikroorganizmanın bulunabileceği durumlarda göstermektedir. Mikroorganizmaların üreyebilecekleri nemli ortamlarda iyon değişim özelliği gösteren iyonlar ortama salınırken mikroorganizmaların üremelerine uygun olmayan düşük nemli koşullarda gümüş iyon salımı durmaktadır (Feied et al., 2004). Gümüş iyonunu kolayca serbest bırakabilmesine olanak sağlayan bileşimlerden günümüzde sıklıkla faydalanılmaktadır. Örneğin  $AgNO_3$  bileşimi tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gümüş gibi civa bakır çinko gibi diğer metallerin iyonları da antibakteriyel etkiye sahiptir. Metal iyonlarının antimikrobiyal etkinliği ile ilgili yapılan bir çalışma sonucunda antimikrobiyal etkinlik sıralaması  $Ag > Hg > Cu > Cd > Cr > Pb > Co > Au > Zn > Fe > Mn > Mo > Sn$  olarak verilmiştir (Wells et al. 1995). Bu metaller arasında en çok gümüş iyonunun antimikrobiyal özelliği kullanılmaktadır. Gümüş iyonları güçlü antimikrobiyal etkinliğinin yanı sıra insanlar için toksik etkisi en düşük elementtir (Zhao et al., 1997) Ayrıca nispeten ucuz ve kolay kullanılabilir olması da tercih edilmesi nedenlerinden sayılabilir (Zhao et al., 1997).

Gümüş iyonu insan hücresindeki toksik etkisini çok yüksek konsantrasyonlar söz konusu olduğu durumlarda gösterebilmektedir. Mikroorganizma dezenfeksiyonu için gerekli olan gümüş miktarı 0.1 ppm iken, insan hücresinin toksik etkisi için gerekli olan konsantrasyon bu değer 16 katına eşit olmaktadır (Saravanapavan et al., 2004). Yetişkin bir birey günde 0.027 ile 0.088 mg arasında yiyecekler vasıtasıyla oral yolla vücuduna almakta ve böbrekler yolu ile hemen hemen hepsi atılmaktadır (Hamilton and Minski, 1972). Ayrıca solunum ve deri yolu ile de insan vücuduna gümüş alımı mümkün olmaktadır.

Amerikalı bir enstitünün yayınladığı raporda gümüş iyonlarının toksisitesine yönelik güvenlik ve risk değerlendirme çalışmalarının sonuçları Çizelge 2.1. 'de yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Gümüş iyonlarının toksite güvenlik testi sonuçları (ConFirm Monitoring System Inc.)

<b>Toksitite Testi</b>	<b>Gümüş İyonu Konsantrasyonu 1ppm (1 mg/litre)</b>
Akut oral	>5000 mg/kg.
Deri İrritasyonu	İrrite edici değildir
Göz İrritasyonu	İrrite edici değildir
Akut deri LD50	>5000 mg/kg.
Deri Hassasiyeti	Hassaslaştırıcı etki göstermemiştir.
Kanserojenite	ACGIH, IARC, NIOSH, NTP ve OSHA tarafından listelenmemiştir.

EPA, bir bireyin ortalama yaşamı boyunca oral yolla vücuduna alabileceği gümüş miktarı sınırını vücut ağırlığı ile orantılı olmak üzere 5 µg/kg/gün olarak vermiştir. Solunma yolu ile alınabilecek gümüş dozu ise metalik gümüş için 0.1 mg/m<sup>3</sup>, çözünmüş bileşikler için 0.01 mg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir (Drake and Hazelwood, 2005).

Gümüşün günümüzde organik veya inorganik taşıyıcı bir malzeme içine karıştırılarak kullanılması yaygındır. Seçilecek taşıyıcı malzemenin geniş yüzey alanına sahip, kimyasal olarak stabil, iyon değiştirici özelliğinin yüksek ve toksik etkisinin de olmaması gerekmektedir. İnorganik taşıyıcı malzemeler olarak, silika veya diğer metal oksitleri içeren doğal veya sentetik zeolitler, zirkonyum fosfat, kalsiyum fosfat, kalsiyum-çinko fosfat gibi iyon değiştirici kapasiteleri yüksek bileşikler en iyi antimikrobiyal taşıyıcı malzeme olarak görülmektedir (Schierholz, et al., 1998). Bu malzemelerin sahip oldukları nano boyutlardaki gözenekli yapıları gümüş iyonu ile doldurulduğunda, üretilen malzeme antimikrobiyal özellik kazanmaktadır (Zhang et al., 2009). Gümüş içeren antimikrobiyolojik ajanların arasından, zirkonyum fosfattan mamül edilen seramik ürünler, mukavemet özelliği, yüksek sıcaklığa dayanımı, yüzey alanı büyüklüğü ve sahip olduğu yüksek iyon değiştirici kapasitesi ile elektrik, optik, katalizör ve biyoteknoloji alanlarında, kompozit malzemede, özellikle sentetik elyafların (örn. Polyester, polipropilen, PVC, polietilen, naylon vb) kaplamalarında yaygın olarak uygulanmaktadır (Tan et al., 2008). Polimerik malzemelerden antimikrobiyal ürün elde etmek için antimikrobiyal ajan polimer reçineye karıştırılmakta veya polimer zincirine alkil ve

asetil gruplarından faydalanarak kimyasal olarak bağlanmaktadır. Bu şekilde antimikrobiyal polimerler mikroorganizmaların büyümesini engelleme özelliği kazanmakta ve polimerik biyositler olarak adlandırılmaktadır. Geniş yüzey alanına sahip ve iyon değiştirici kapasitesi yüksek olan zirkonyum fosfat, en çok kullanılan inorganik antimikrobiyal taşıyıcı malzemeler arasındadır.

Gümüş iyonu içeren inorganik gözenekli malzeme ile kaplanan yüzeylerde, malzemenin fiziksel özelliği nedeniyle hava ile temas eden yüzeyde bulunan gümüş iyonları birçok mikroorganizma türünün ölmesinde etkili olmuştur (Cowan et al., 2003).

## **2.6. Çalışmada Kullanılan Antimikrobiyal Malzemenin Özellikleri**

Çalışmada kullanılan malzeme, özellikle kapı ve pencere sistemlerinde kullanılmak üzere üretilmiş ve malzeme yapısına gümüş iyonu taşıyan zirkonyum fosfat karıştırılmış polivinil klorür profildir. Malzeme ERPEN A.Ş. tarafından temin edilmiştir.

Polivinil klorürler günümüzde kimya sektöründe inşaat sektörüne kadar birçok sektörde sıkça kullanılan polimerik esaslı, istenildiği gibi şekillendirilen, kararlı, esnek bir yapıya sahiptirler. Zincirli bir yapıdan oluşması malzemenin mukavemetini arttırmaktadır. Kimyasal olarak tepkimeye girmedikleri ve oksitlenme, aşınma gibi birçok dış etkene karşı dayanıklı oldukları bilinmektedir. Su, sülfürik asit, nitrik asit gibi kimyasallara, alkol, yağ ve benzine karşı dirençlidir. Yüksek elektroliz özelliğine sahiptirler. Hammaddesi genellikle toz halinde bulunmakta ve fabrikasyonda kullanılabilir forma gelmesi için kullanım amacına göre değişmek üzere çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; çeşitli dolgu malzemeleri, ısı dengeleyicileri, plastikler ve alev geciktiriciler, boyalar, yağlayıcılar, doldurucular, UV dengeleyicileri ve anti statik malzemelerdir.

Çalışmada kullanılan PVC numunelerin içine karıştırılmış gümüş iyonu taşıyan zirkonyum fosfat katkı maddesi beyaz renkli toz formundadır ve beyazlık derecesi 90 olarak verilmiştir. Ortalama tanecik boyutu 2-3  $\mu\text{m}$ , yüzey alanı 10-15  $\text{m}^2/\text{g}$ 'dir.

Birim hacimdeki partikül oranı  $3.0 \text{ g/cm}^3$  ve  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığa kadar dayanabilmektedir.

Malzemenin bileşimindeki ve zirkonyum fosfat taşıyıcı maddesinin içindeki gümüş miktarlarının tespit edilmesi için çeşitli laboratuvarlarda kimyasal analizler yaptırılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2.2. 'de sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Malzemenin bileşimindeki gümüş miktarı oranları

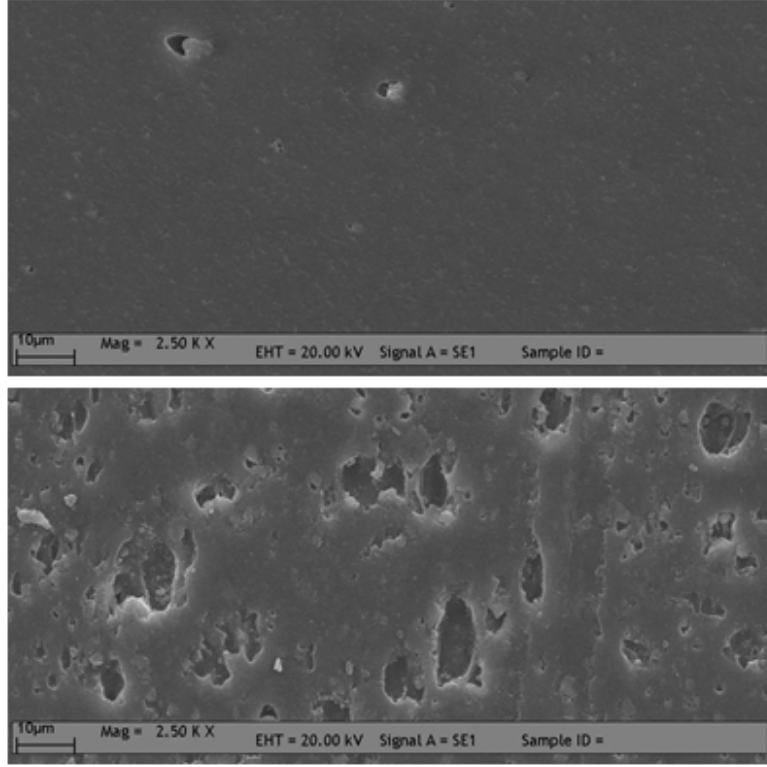
Zirkonyum Fosfat Tozunda Gümüş Miktarı, <sup>(1)</sup>	kütlece % 2,37
PVC Kompound Tozunda Gümüş Miktarı, <sup>(1)</sup>	kütlece % 0,024
PVC malzemesindeki Gümüş miktarı, <sup>(2)</sup>	383,1 mg/kg

(1) ODTÜ, Kimya Mühendisliği Bölümü

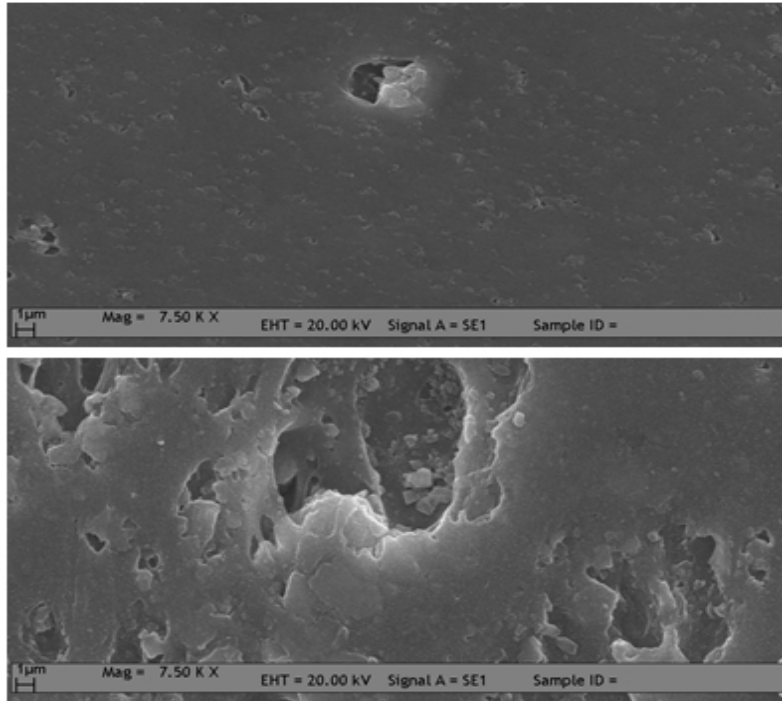
(2) TUBİTAK, Ankara Test ve Analiz Laboratuvarı

ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nde yapılan gümüş iyonu miktarı test metodu gümüş iyonunu taşıyan zirkonyum fosfat yapısının parçalanıp taşınan gümüşün asitli çözeltiye geçirilmesi sonucu atomik absorpsiyon spektrofotometrik (AAS) yöntemle tayin edilmesine dayanmaktadır. Zirkonyum fosfat tozunda bulunan gümüş miktarı kütlece %2,37 iken, PVC bileşeni tozundaki gümüş miktarı kütlece %0,024 olarak bulunmuştur. Buna göre ürüne antimikrobiyal özellik kazandıran ve "etken madde" olarak tanımlanan gümüş iyonu taşıyan zirkonyum fosfat, bileşene %1 oranında karıştırılmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan profillerin ebatları yapılan teste göre değişmektedir. Gümüş iyonu taşıyan zirkonyum fosfat katkılı PVC malzemenin ve bu özelliğe sahip olmayan normal PVC malzemenin çeşitli çözünürlükteki taramalı elektron mikroskop görüntüleri Şekil 2.1.-Şekil 2.3 'de verilmiştir. Buna göre, yüksek mukavemet özelliği nedeniyle birçok alanda özellikle kaplama olarak kullanılan zirkonyum fosfatın PVC malzemeye daha az gözenekli bir yapı kazandırdığı görülmektedir.

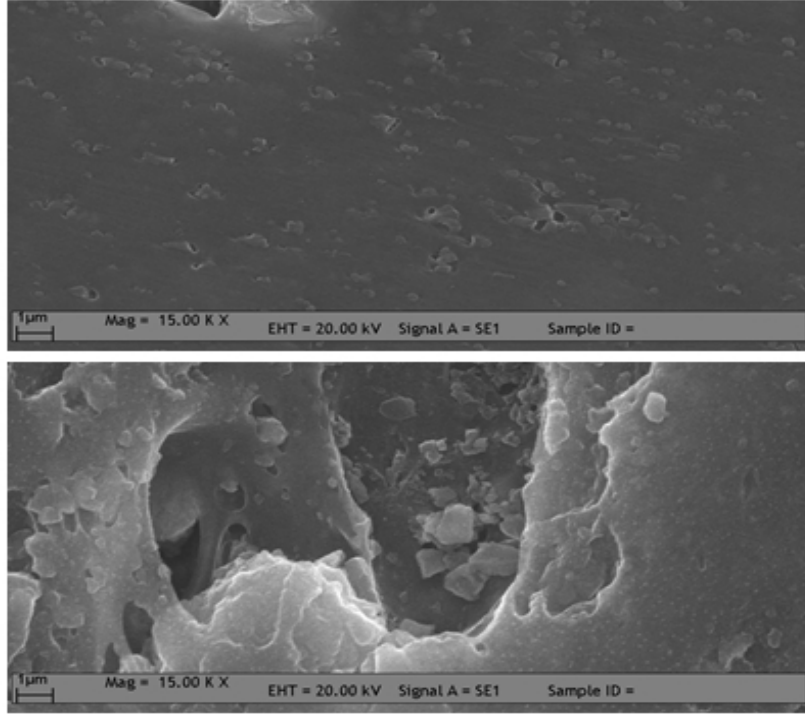


Şekil 2.1. Zirkonyum fosfat katkılı gümüş iyonu içeren PVC (üstteki), normal PVC (alttaki) SEM fotoğrafları (Çözünürlük :2500 k)



Şekil 2.2. Zirkonyum fosfat katkılı gümüş iyonu içeren PVC (üstteki), normal PVC (alttaki) SEM fotoğrafları (Çözünürlük :7500 k)





Şekil 2.3. Zirkonyum fosfat katkılı gümüş iyonu içeren PVC (üstteki), normal PVC (alttaki) SEM fotoğrafları (Çözünürlük :15000 k)

### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1. Antimikrobiyal Etkinlik Testi

Çalışmada “*The Japanese Industrial Standart JIS Z 2801:2000; Test for Antimicrobial Activity of Plastics*” standart test metodu kullanılmıştır. Bu metot özellikle plastik malzemeler olmak üzere hidrofobik rijit polimer malzemelere gümüş iyonu kazandırılarak elde edilen antimikrobiyal yüzeylerin bu özelliklerinin sayısal olarak tespit etmek için geliştirilmiştir. Metot SIAA tarafından organize edilen üniversite ve araştırma kurumları tarafından geliştirilmiş olup, aynı kurumun *IBRG (International Biodeterioration Research Group)* ile işbirliği ile valide edilmiş ve halen ISO standart taslağı biçimindedir. Yöntem antimikrobiyal yüzeyin genellikle sıvı mikroorganizma kültürü ile 24 saatlik temas süresi boyunca aktivitesinin sayısal analizine dayanmaktadır.

Teste göre antimikrobiyal işlem görmüş numunede ve işlem görmemiş kontrol numunesinde temas süresi sonunda sıvı mikroorganizma kültürünün başlangıç konsantrasyonuna göre azalmanın logaritmik değerleri oranlanarak R sayısı elde edilmektedir. JIS Z 2801:2000 'ye göre ürünün antimikrobiyal olabilmesi için logaritmik azalma oranı R'nin en az 2 olması gerekmektedir.

$$R (\text{Ortalama Logaritmik Azalma}) = \text{Log} (B/C),$$

B =Temas süresi sonunda işlem görmemiş kontrol numunesine ait ortalama koloni sayısı

C= Temas süresi sonunda antimikrobiyal işlem görmüş numuneye ait ortalama koloni sayısı

Çizelge 3.1. Logaritmik azalmaya karşılık gelen antimikrobiyal etkinlik yüzdeleri (JIS Z 2801)

R	%
2	99
3	99,9

Tamamen sayısal bir sonuç elde edilmesi, geniş çapta mikrobiyal türler için ve geniş temas süresi ve sıcaklık değerleri için de uygulanabilir olması metodun başlıca özelliklerindedir. Testin uygulama adımları alt başlıklar halinde sunulmuştur.

### 3.1.1. Ön Çalışmalar

Mikroorganizma Seçimi ve Hazırlanması: Antimikrobiyal etkinlik testlerinde *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213), *Staphylococcus epidermidis* (ATCC13518) ve *Candida albicans* (ATCC 10231) mikroorganizma türleri kullanılmıştır. JIS Z 2801:2000 standardı geniş bir mikroorganizma çeşidine uygulanabilir olmasına rağmen polietilen malzemelerin antimikrobiyal etkinlik testlerinde sıklıkla bu mikroorganizmaların kullanılması nedeniyle tercih edilmiştir. Mikroorganizmalar Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı Kültür Koleksiyonu Laboratuvarı'ndan standart ithal suşlar halinde temin edilmiştir. Liyofilize şekildeki suşlar suş açma protokolü ve biyogüvenlik seviyelerinin ve üreme koşullarının yer aldığı formda belirtilen talimatlara uygun olarak rehidrate edilmiştir.

*Escherichia coli* (ATCC 25922) 500 ml Nutrient Broth (LABM) içinde 35-37 °C'de 24 saat,

*Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) 500 ml Trypticase Soy Broth (LABM) içinde 35-37 °C'de 24-48 saat,

*Staphylococcus epidermidis* (ATCC13518) 500 ml Trypticase Soy Broth (LABM) içinde 35-37 °C'de 24-48 saat,

*Candida albicans* (ATCC 10231) 500 ml distile su içinde 26 °C de 24 saat inkübe edilmiştir.

Mikroorganizma Çözeltilerinde Sayım Yöntemi: Sıvı mikroorganizma çözeltilerinde hücre sayısının tayininde standarda dayalı indirekt sayım yöntemlerinden biri olan Mc Farland Standart Metodu kullanılmıştır. Yöntem aynı mikroorganizma çözeltilerinden canlı hücre sayımı, optik yoğunluk, kuru madde veya protein tayinleri

yapılarak sonuçların canlı hücre sayısına karşı bir standart eğri elde edilmesine ve bu eğrinin diğer parametrelerden birinin bilinmesiyle canlı hücre sayısının tespit edilmesine dayanır. Bu metot, mikroorganizmaların fermantasyon sürecinde sabit dalga boyunda optik yoğunluk ölçümü ile hücre konsantrasyonunun kantitatif analizinde kullanılır. Bu tür yöntemlerde, mevcut bulanıklığın canlı hücre sayısını temsil etmesi için mikroorganizmaların logaritmik gelişme dönemleri içinde bulunduğu devrelerde ölçüm yapılmalıdır (Gurgun et al. 1990).

Çalışmada optik olarak yoğunluk tespiti için Grand-bio Densitometer Den-1 kullanılmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Densitometre cihazı

Cihaz 0.3-5.0 McFarland birimi aralığında çözeltilerin bulanıklığını ölçmek için tasarlanmıştır. Daha geniş (5.0-15.0 McFarland units) aralıklarda da ölçüm yapılabilmekle birlikte bu aralıklarda yöntemin standart sapma değeri artmaktadır.

McFarland standart tüpleri baryum klorür ile sülfürik asitin karışımından elde edilen baryum sülfatın belli derişimlerinden oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan standart tüpler Pro-lab Diagnostics'ten temin edilmiş olup, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 birim aralıklarındadır. Çizelge 3.2.'de bu derişimlere karşılık gelen mikroorganizma konsantrasyonu ve belli dalga boyundaki optik yoğunluk değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Mikroorganizma çözeltilerinin McFarland Standart sonuçlarına karşılık gelen sayısal değerlerinin yorumlanması ve onların 550 nm dalga boyundaki optik yoğunlukları (Kaynak: bioMerieux)

Mc Farland Standardı (units)	Kompozisyon BaSO <sub>4</sub>	Mikroorganizma Konsantrasyonu*	550 nm deki teorik optik yoğunluk **
0.5	2.40 10 <sup>-5</sup> mol/l	150 x 10 <sup>6</sup> cells/ml	0.125
1	4.80 10 <sup>-5</sup> mol/l	300 x 10 <sup>6</sup> cells/ml	0.25
2	9.60 10 <sup>-5</sup> mol/l	600 x 10 <sup>6</sup> cells/ml	0.50
3	1.44 10 <sup>-4</sup> mol/l	900 x 10 <sup>6</sup> cells/ml	0.75
4	1.92 10 <sup>-4</sup> mol/l	1200 x 10 <sup>6</sup> cells/ml	1.00
5	2.40 10 <sup>-4</sup> mol/l	1500 x 10 <sup>6</sup> cells/ml	1.25

\*Mikroorganizma konsantrasyonu mikroorganizmanın boyutuna bağlıdır. Sayılar bakteriler için geçerli ortalama değerini temsil etmektedir. Boyutu daha büyük olan mayalar için bu sayılar yaklaşık 30 ile bölünmelidir.

\*\*Değerler mikroorganizma süspansiyonlarının optik yoğunluklarına karşılık gelmektedir. BaSO<sub>4</sub> solüsyonları aynı optik yoğunluğa sahip değildirler. Çünkü boyut ve parçacık şekilleri canlı hücrelerden farklıdır ve ışık farklı şekilde kırılmaktadır.

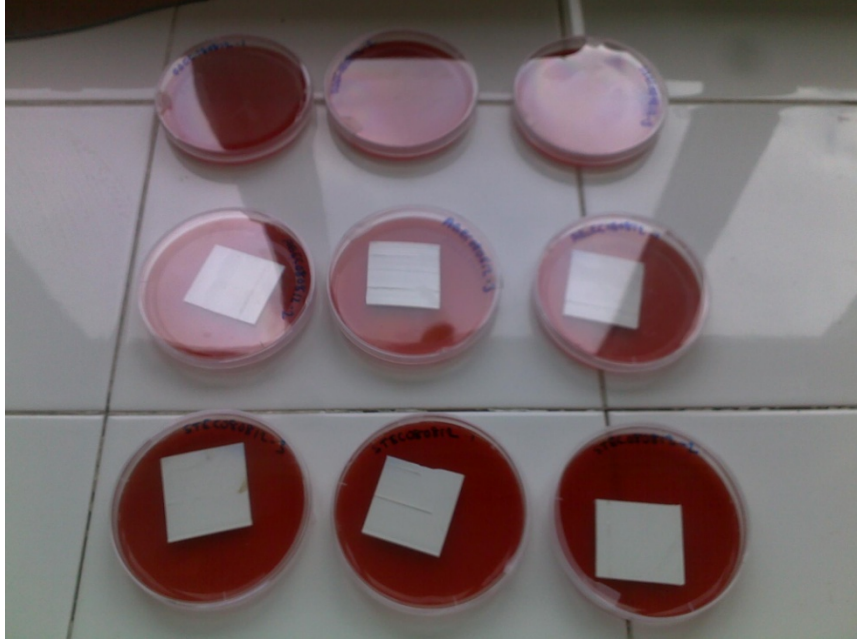
Çalışmada kullanılan mikroorganizmalar 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> CFU/ml konsantrasyon aralığında hazırlanmıştır. McFarland çözeltileri ile bakteri yoğunluğunun kıyaslanmasında bulanıklık veren besiyerinden gelecek etkiyi kaldırmak amacı ile bakteri süspansiyonu santrifüj edilip 1 -3 sefer steril filtreden geçirilmiş fizyolojik tuzlu su ile yıkanmış ve orijinal bakteri süspansiyonu hacmine getirilmiştir.

PVC Numunelerin Hazırlanması: Numuneler Erpen A.Ş. firmasından ilgili antimikrobiyal etkinlik testlerini yaptırmak üzere temin edilmiştir. T.C. Gaziantep Valiliği İl Sağlık Müdürlüğü tarafından zabıt varakası tutularak alınan numuneler Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına mühürlü şekilde ulaştırılmıştır. Polivinil zirkonyum fosfat inorganik taşıyıcı maddesi ile gümüş iyonu kazandırılmış polivinil klorür malzeme antimikrobiyal etkinlik testi için 4 cm x 4 cm lik boyutlarda kestirilmiştir. Malzemenin et kalınlığı 1 mm'dir. Numuneler önce distile steril su ve etil alkol ile yıkanmış, sterilizatörde kurutulmuş ve kullanılıncaya kadar herhangi bir kontaminasyona uğramaması sağlanmıştır.

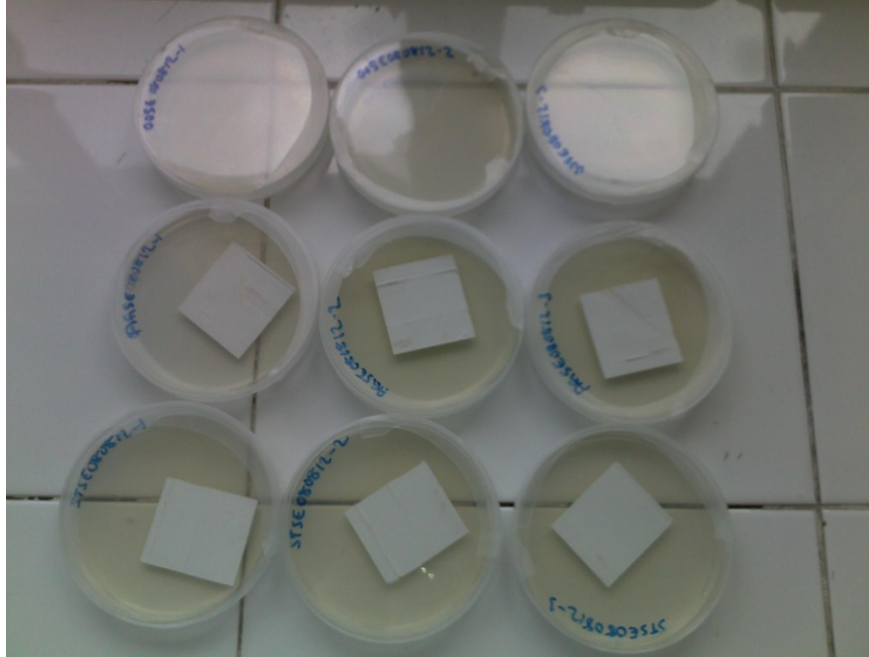
Tampon Çözelti Hazırlanması: Tampon çözeltiler; asit ve baz bileşiminden oluşturulan pH değişimlerine direnç gösteren çözeltiler olarak tanımlanır. Çözeltilerin pH seviyesini kontrol altında tutmak amacının yanı sıra sistemdeki iyonik kuvveti ve çözünen diğer bileşenleri kontrol ederler. Çalışmada mikroorganizmaların numunelere yüzey teması sonrasında sıvı mikroorganizmanın geri kazanımında ortam koşullarının çözeltide pH değişimlerine neden olmaması ve biyokimyasal reaksiyonların stabil kalması için kullanılmıştır. pH 7 ve yakınındaki değerlerde, en çok kullanılan tamponlardan biri olan fosfat tamponu geniş bir çalışma aralığı sağladığı için çalışmada fosfat tampon çözeltisi kullanılmıştır. 0,1 N Fosfat Tampon çözeltisi hazırlamak için 104,5 g  $K_2HPO_4$  ve 72,3 g  $KH_2PO_4$  distile suda çözülmüş, daha sonra 1000 ml'ye tamamlanmıştır.

### **3.1.2. Antimikrobiyal Etkinlik Testinin Uygulanması**

Belirtilen konsantrasyonlarda hazırlanan sıvı mikroorganizma çözeltilerinden 0,1 ml alınarak mikroorganizma türüne uygun besiyeri yüzeyine damla halinde bırakılmıştır. Besiyerleri TOBB ETÜ Hastanesi Mikrobiyoloji Laboratuvarı tarafından hazırlanmıştır. *Escherichia coli* için insan kanlı agar, *Staphylococcus aureus* ve *Staphylococcus epidermidis* için plate count agar, *Candida albicans* için Saboraud Dextros agar kullanılmıştır. Besiyeri yüzeylerindeki damla üzerine 4 cm x 4 cm boyutundaki steril edilmiş numune yerleştirilmiştir. Tüm numunelerin pürüzsüz olan dış yüzeylerinin ve test edilecek etkin yüzeyinin agar yüzeyine temas edecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te *Escherichia coli* ve *Staphylococcus epidermidis* mikroorganizma türlerinin besiyerlerinde numuneler ile teması gösterilmiştir.



Şekil 3.2. E. coli türü ile yapılan antimikrobiyal etkinlik testine ait numuneler: inkübasyon öncesi.

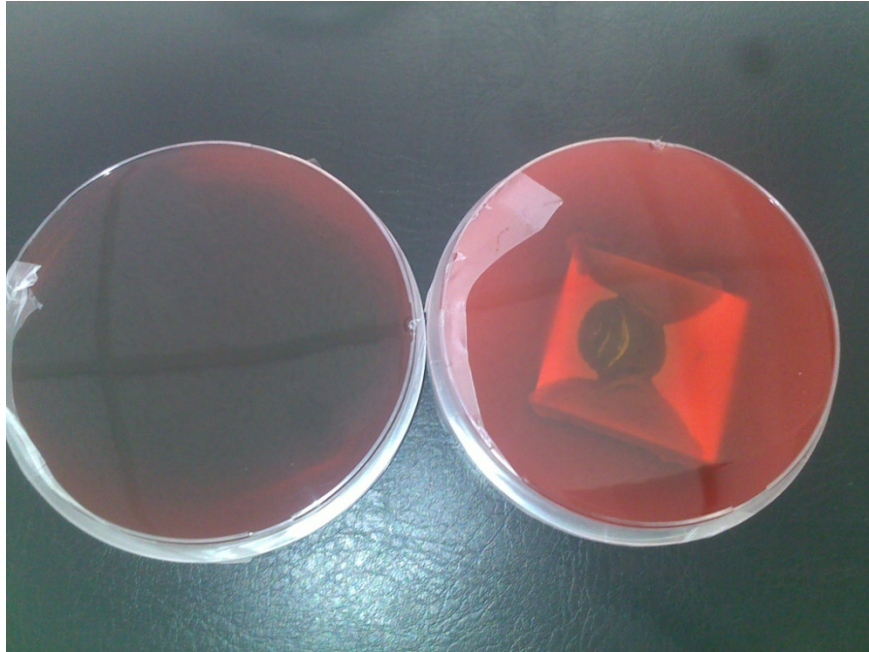


Şekil 3.3. S. epidermidis türü ile yapılan antimikrobiyal etkinlik testine ait numuneler: inkübasyon öncesi.

Bu işlem, çalışılan 4 mikroorganizma türü için uygulanmıştır. Daha sonra petri kapları parafilm ile kapatılıp, her mikroorganizma türü için uygun inkübasyon koşullarına bırakılmıştır.

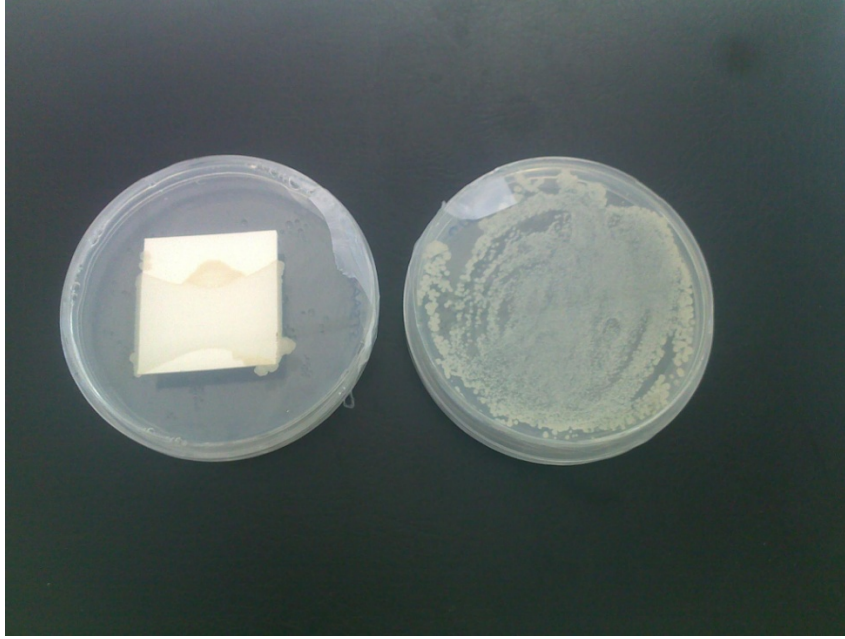
- *Escherichia coli* (ATCC 25922) İnsan kanlı agara ekimi yapılmış ve 35-37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır.
- *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) plate count agara ekimi yapılarak 35-37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir.
- *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 13518) plate count agara ekimi yapılarak 35-37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir.
- *Candida albicans* (ATCC 10231) Saboraud Dextros agara ekilmiş ve 26 °C de 24 saat inkübe edilmiştir.

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' te *Escherichia coli* ve *Staphylococcus epidermidis* mikroorganizma türleri için uygun inkübasyon süresi sonunda antimikrobiyal işlem görmüş PVC numunesi ile kontrol numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. E. coli türü ile yapılan antimikrobiyal etkinlik testine ait numuneler: inkübasyon sonrası.





Şekil 3.5. *S. epidermidis* türü ile yapılan antimikrobiyal etkinlik testine ait numuneler: inkübasyon sonrası.

Numuneler en az % 90 nem koşullarında ve belirtilen şartlarda inkübe edildikten sonra her petri kabına 0,1 N hazırlanan fosfat tampon çözeltisinden 10 ml eklenmiştir. Eklenen tampon çözeltisi PVC örneklerini kaplayacak miktardadır. Bu şekilde petri kapları 3 kez saat yönünde ve 3 kez saat yönünün tersinde eşit dairesel hareketlerle karıştırılıp, elde edilen karışım santrifüj tüplerine aktarılmıştır. Elde edilen çözelti fosfat tampon çözeltisi ile 3 aşamalı 1:10 oranında seyreltilmiştir. Steril pipet yardımı ile karışımlardan 0,1 ml alınarak yayma yöntemi ile uygun katı besiyerlerine ekilmiştir. Petri kapları ters çevrilerek her mikroorganizma türüne uygun koşullar sağlanarak inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası petri kabından plate count yöntemi ile yarı-otomatik koloni sayacı kullanılarak koloni sayımı gerçekleştirilmiştir.

### 3.2. Stabilite Testi

Antimikrobiyal etkinlik testi kapsamında yapılan stabilite testleri, antimikrobiyal etkin maddeye uygulanan belli işlemlerden sonra etkinlik miktarındaki azalmayı ölçmektedir. Antimikrobiyal malzemelerde etkin madde zorlanma ve stres test parametreleri esas alınarak belirlenmiş çeşitli koşullara maruz bırakılması ve tekrar antimikrobiyal etkinliğinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

Çeşitli malzemelerin antimikrobiyal etkinliklerinin stabilitesini ölçmek için standartlaştırılmış metotlar bulunmakla birlikte daha önce polivinil klorür malzemeler ile yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Stabilite testlerinde uygulanan işlemler genel olarak malzemeyi yıprandırma/yaşlandırma esasına dayanmaktadır. Malzemenin stabil olabilmesi için uygulanan yıpratma/yaşlandırma işlemlerinin, bu işlemler öncesi kaydedilen logaritmik azalma değerinde azalma yönünde değişiklik oluşturmaması beklenmektedir.

Çalışmada kullanılan polivinil malzemenin stabilite testi, malzemenin kullanım alanları esas alınarak uygulanmıştır. Test, malzemenin antimikrobiyal etkinliğe etki eden faktörlerin ve ürünün maruz kalabileceği yıpratma koşullarının etkisinde bırakıldıktan sonra mikrobiyolojik etkinliği ölçülerek yapılmıştır. Uygulanan işlemler yağış, nem ve güneş gibi doğal çevre faktörleri ve yıkama faktörleri esas alınarak belirlenmiştir. Mikrobiyolojik etkinlik “*The Japanese Industrial Standart JIS Z 2801:2000; Test for Antimicrobial Activity of Plastics*” standart test metodu kapsamında yapılmıştır.

### **3.2.1. Ön Çalışmalar**

Stabilite testinin uygulanması için öncelikle numunelere antimikrobiyal etkinlik testi uygulanmıştır. Stabilite testleri için antimikrobiyal etkinlik testlerinde kullanılan mikroorganizma türlerinin aynısı kullanılmıştır. Mikroorganizma çözeltileri, PVC numuneler antimikrobiyal etkinlik testinde belirtilen prosedürlerle hazırlanmıştır. Numuneler işlem tekrarlarında yeniden kullanılacakları için kodlandırılmasına dikkat edilmiştir. Kodlandırılan her numunenin antimikrobiyal etkinlik testi yapıp logaritmik azalma değeri kaydedilmiştir.

### **3.2.2. Stabilite Testinin Uygulanması**

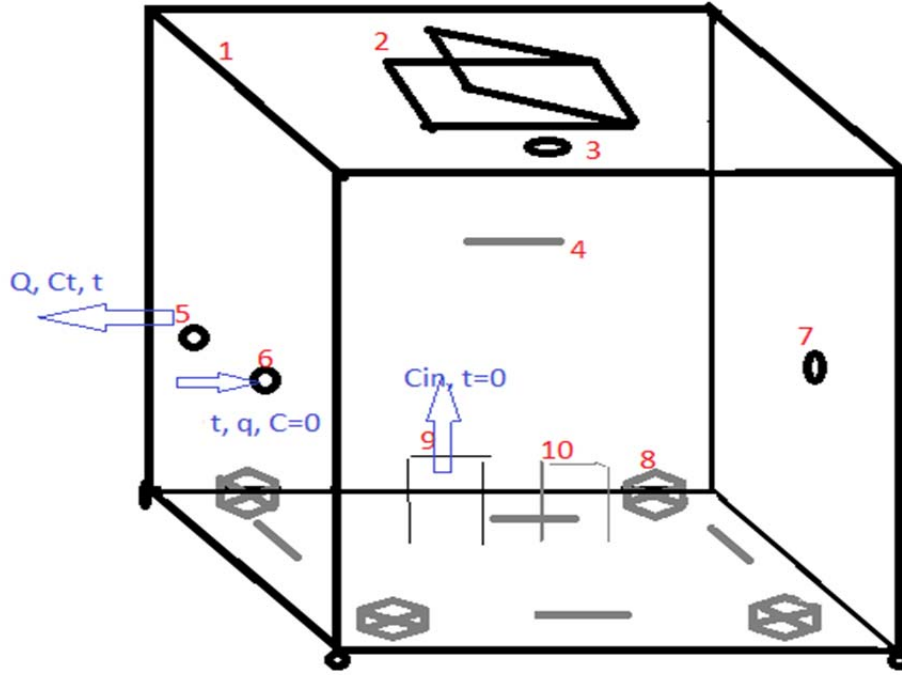
Malzemenin sürekli maruz kalabileceği doğal faktörlerin etkisini tespit etmek amacı ile yıkama ve güneşte kurutma etkileri test edilmiştir. Ayrıca malzemenin kullanımından kaynaklanan yıkama ve silme etkisi test edilmiştir. Bu amaçla çeşitli yüzey silme ve yıkama ürünleri belirlenmiştir. Kullanılan ürünler sırasıyla; ‘*Domestos Ultra Yoğun Çamaşır Suyu*’, ‘*Cif Krem Amonyaklı*’ ve ‘*Pril Bulaşık*

*Deterjani'* dir. Bu amaçla malzeme 24 saat petri kabına konularak çeşme suyu içerisinde, 1 hafta boyunca, gün içinde güneş görebileceği iç ortam pencere kenarında bekletilmiştir. Bekletme süresi sonunda numuneler petri kaplarında ayrı ayrı temizleme ürünleri ve temizleme süngeri yardımı ile silinmiş ve çeşme suyu ile yıkanmıştır. Aynı numuneye 10 tekrarla bu işlem uygulanmıştır İşlemler sonunda malzemeye antimikrobiyal etkinlik testi uygulanmıştır. Deney süresi boyunca ortam sıcaklığı 24-38 °C ve bağıl nem %20-80 aralığında değişmektedir. Böylece ürünün antimikrobiyal etkinliğinin yağış, nem, güneş ışığı yıkama gibi etkiler altında içerdiği gümüş iyonu ile kazandığı antimikrobiyal etkinliğinin değişip değişmediği tespit edilmiştir. Stabilitate testlerinde uygulanan işlemlerden sonra yapılan antimikrobiyal etkinlik testi için numunelerin sterilizasyonu sağlanmıştır.

### **3.3. İç Ortam Havaasının Kalitesinin İyileştirmesine Yönelik Oda Modeli Çalışmaları**

İnorganik malzeme yardımı ile gümüş iyonu kazandırılmış PVC malzemenin iç ortam havasında da bu özelliğini gösterip göstermediği araştırılmıştır. Taşıdığı gümüş iyonlarının etkisiyle kazandığı antimikrobiyal özelliği standart yöntemlerle test edilen ve buna göre yüzeyinde %99.9 antimikrobiyal olan PVC malzemenin iç ortam hava kalitesini iyileştirmede ilave bir etkisinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Antimikrobiyal malzemelerin iç ortam havasındaki etkinliklerinin belirlenmesine yönelik bir standart metot mevcut olmaması, benzer amaçlarla yapılan çeşitli çalışmalardan faydalanarak bir model tasarlamaya yönlendirmiştir. İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılan yöntemler başlığı altında, kapalı ortamlarda biyoaerosollerin giderim hızlarının ve davranışlarının incelendiği çalışmalardan ve ve biyoaerosol giderilmesine yönelik tasarlanan yöntemlerden bahsedilmiştir. Faydalanılan çalışmalardan görüldüğü üzere çeşitli yöntemlerle antimikrobiyal özellik kazandırılmış inorganik materyallerin iç ortamdaki etkinlikleri çember test denilen oda deneyi modelleri geliştirilerek incelenmiştir. Bu amaçla çalışma kapsamında tasarlanan oda deneyi modeli şematik olarak Şekil 3.6' da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Oda deneyi modelinin şematik gösterimi

1. 1m<sup>3</sup> hacminde cam oda modeli 2. Açılabilir cam kapak 3. CO<sub>2</sub>,CO, sıcaklık ve nem örnekleyici prob girişi, 4. UV lambası (eşit dağıtılmış; toplam 6 tane), 5. Biyoaerosol örnekleme noktası, 6. Hepa filtre destekli kontrol vanası. 7. Vakum vanası, 8. Fanlar (eşit dağıtılmış; toplam 4 tane), 9. Biyoaerosol enjeksiyon noktası. 10. Partikül örnekleme noktası.

Oda modeli tasarlandıktan sonra ERPEN A. Ş. firması tarafından yaptırılmıştır. Modeli oluşturan elemanlar şematik gösterim üzerinde numaralandırılmıştır. Yapılan çalışma adımlarına göre başlıklar altında detaylı olarak anlatılmakta birlikte numaralandırmaların ne anlam ifade ettiğine sırası ile aşağıda yer verilmiştir:

Model 1 metrelik eşit kenarlardan oluşmuş ve 1 m<sup>3</sup> hacme sahiptir. Malzeme olarak sıkıştırılmış cam kullanılmıştır. Model kapalı sistem olup, çeşitli amaçlarla kontrol ve numune alma noktaları tasarlanmıştır. 2 numaralı gösterimde olduğu gibi, model ortamına cihaz yerleştirme, temizleme, bakım onarım ve kontrol amaçları ile kullanılacak cam sistemin tavan kısmında 30 cm x 40 cm ebatlarında cam kapak bulunmaktadır. Yine sistemin tavan kısmında CO<sub>2</sub>, CO parametrelerini

ölçen cihaza uygun tasarlanmış prop girişine uygun açıklık (3 numaralı gösterim) bulunmaktadır. Ölçüm yapılmadığı durumlarda bu açıklığı kapatmaya uygun tıpa kullanılmıştır. 4 numaralı gösterim sistemin iç duvarlarına sabitlenen 220 volt 50 hz özellikte 6 adet UV floresan lambalardan birini temsil etmektedir. Floresan lambaların açılıp kapanması sistem dışındaki kontrol düğmesi ile sağlanmaktadır ve bu lambalar sistemin dezenfeksiyonunu sağlamak üzere kullanılmaktadır. Şekil 3.6 'da belirtilen 5 numaralı gösterimde görüldüğü gibi belli bir debi, konsantrasyon ve sürede sistemden biyoaerosollerin örneklenmesi için biyoaerosol örnekleme cihazının yerleştirileceği açıklık bulunmaktadır. 6 numaralı gösterim hepa filtre aparatlı kontrol vanasını temsil etmektedir. Sistemin temizlenmesi gibi amaçlarla sistem içinden vakumla hava çekilmesi durumunda hepa filtre aparatlı kontrol vanası açılarak ortama temiz ve kuru hava girmesinin sağlanması amaçlanmıştır. 7 numaralı gösterim ortam havasının vakumlanarak dışarıya çekilmesi amacıyla hortum girişine uygun açıklığı temsil etmektedir. Sistemdeki bu prop, numune alma noktası ve vana açıklıkları kullanılmadığı durumlarda vidalı tıpa ile kapalı tutulmaktadır. Sistem içinde havanın sirkülasyonunu sağlamak amacıyla zemine ve 4 köşesine sabitlenmiş 4 adet fan bulunmaktadır. Fanların kontrol düğmeleri sistemin dışından müdahale edilebilir şekildedir. Oda modeli içine biyoaerosol enjeksiyonu yapacak cihazı yerleştirmek üzere belli bir yükseklikte platform bulunmaktadır. Aynı şekilde 10 numaralı gösterimde görüldüğü üzere model ortamındaki partiküler madde, sıcaklık, nem parametrelerini ölçecek cihazın yerleştirilmesi için platform bulunmaktadır. Ortam havasında biyoaerosol konsantrasyonundaki değişime etkisi test edilen malzeme olan PVC numunelerin oda modeli içinde belli bir yükseklikte sabit kalması sağlanmıştır. Bunun için numune sistemin tavanında 2 numara ile gösterilen açıklıktan uygun bir ip yardımı sistem içine sarkıtılmıştır. Oluşturulan oda deneyi modelinin resmi Şekil 3.7 'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Oda deneyi modelinin resmi

Ortam havasındaki biyoaerosol konsantrasyonunu azaltmada etkili olup olmadığının test edilmesine yönelik deneyler sisteme herhangi bir PVC numune yerleştirilmeden, normal özellikte PVC yerleştirerek ve antimikrobiyal özelliği sahip gümüş iyonu taşıyan PVC yerleştirilerek 3 ayrı durumda gerçekleştirilmiştir.

### 3.3.1. Ön Çalışmalar

Mikroorganizma Seçimi: Çalışmada iç ortam havasında en çok bulunan mikroorganizma türleri kullanılmıştır. Kullanılan mikroorganizmalar *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) ve *Aspergillus niger* (RSKK 04017) olup, suşlar liyofilize şekilde Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı Kültür Koleksiyonu Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. Suşların rehidrasyon ve inkübasyon koşulları aşağıda verilmiştir;

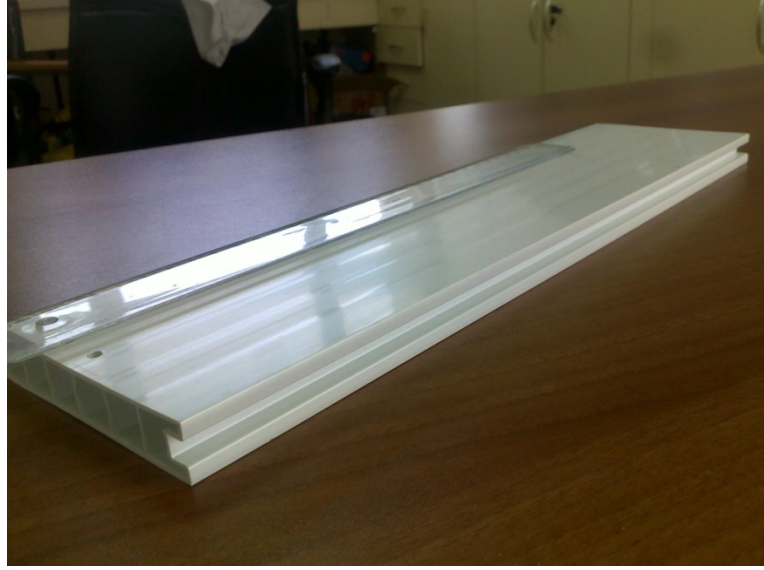
- *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), 500 ml Nutrient Broth (LABM) içinde 30 °C'de 24-48 saat,
- *Escherichia coli* (ATCC 25922), 500 ml Nutrient Broth (LABM) içinde 35-37 °C'de 24 saat,
- *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213), 500 ml Trypticase Soy Broth (LABM) içinde 35-37 °C'de 24-48 saat,
- *Aspergillus niger* (RSKK 04017), 500 ml distile su içinde 26 °C de bir hafta inkübe edilmiştir.

Bioaerosol hazırlanması: İnkübasyon sonucu logaritmik büyüme fazına ulaşan *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) bakteri türleri çözeltileri besiyerinden arındırılmış ve biyoaerosol olarak kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Bu amaçla çözeltiler ayrı ayrı 10 ml steril santrifüj tüplerine eklenerek, 6000 rpm devirle 10 dk santrifüj edilmiştir. Üstte kalan besin çözeltisi dökülüp, steril edilmiş distile su ile durulanmıştır. Santrifüjleme ve yıkama işlemleri bu şekilde 3 kez tekrarlanmıştır. Son olarak çözelti steril distile su ile 20 ml ye tamamlanmış ve tüplerin ağızları hava almayacak şekilde kapatılmıştır. Bakteriler bu şekilde buzdolabında saklanmıştır. *Aspergillus niger* sporları ise bir petri kabına 10 ml ağırlıkça %0,05 lik hazırlanmış Sodyum Dodecyl Sülfat (SDS) eklenip çalkalanması ile elde edilmiştir.

Vorteks karıştırıcı ile karıştırılarak homojenliği sağlanan mikroorganizma çözeltilerinin konsantrasyonlarının belirlenmesi için 0.5, 1, 2, 3, 4 birim aralıklarında Mc Farland standartları ile kalibre edilmiş Grand-bio Densitometer Den-1 optik yoğunluk ölçme cihazı kullanılmıştır. Hazırlanan mikroorganizma konsantrasyonları mikroorganizma çeşidine göre  $10^6$ - $10^8$  CFU/ml arasında değişmektedir.

PVC Numunelerin Hazırlanması: Numuneler ERPEN A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Testler karşılaştırmalı olarak yapılacağı için diğer özellikleri aynı olan antimikrobiyal etkinliğe sahip gümüş iyonu içeren PVC plaka ve gümüş iyonu içermeyen PVC plaka kullanılmıştır.

PVC plaka numuneler standart kapı ve pencere sistemlerinde kullanıldığı standart 10 cm eninde olup ve 40 cm uzunluğunda kestirilmiştir (Şekil 3.8). PVC plaka numuneleri deney için oda modeline ipele sarkıtılacakları için ipin geçmesi için delinmiştir. Plakaların yüzey etkilerinden faydalanmak için iç yüzeylerine biyoaerosol girmemesi amacıyla kesit uçları parafilm ile kapatılmıştır. Böylece oda modeli deneyi çalışmalarında kullanılacak 1 PVC plaka numunesinin çift tarafı ile yüzey alanı  $800 \text{ cm}^2$  olarak ölçülmüştür. Bu ölçüler bir odada bulunabilecek yaklaşık pencere sayısının esas alınması ve pencere boyutlarının  $1 \text{ m}^3$  hacme oranlanması ile belirlenmiştir.



Şekil 3.8. Oda deneyinde kullanılan PVC plaka numunelerden bir örnek

Numuneler önce distile steril su ve etil alkol ile yıkanmış, sterilizatörde kurutulmuş ve kullanılıncaya kadar herhangi bir kontaminasyona uğramaması sağlanmıştır.

### **3.3.2. Deneyin Yapılması**

Ortam Koşullarının Sağlanması: Deney süresi boyunca model ortamındaki sıcaklık, nem, CO<sub>2</sub>, CO parametreleri ve partikül konsantrasyonu ile partikül çapı kaydedilmiştir. Partikül çapı ve konsantrasyonu ölçümü nebulizasyon işlemi ile ortama etkin şekilde biyoaerosol enjeksiyonu yapıp yapılmadığını kontrol etmek için ve deney süresi sonunda ortamda biyoaerosol kalıp kalmadığını tespit etmek için yapılmıştır. CO, CO<sub>2</sub>, nem ve sıcaklık parametreleri ise model içindeki biyolojik aktivasyonun kontrolü amacıyla ölçülmüştür.

Sıcaklık, bağıl nem, partikül konsantrasyonu ve partikül çapı ışık saçılımı prensibine dayanan DATARAM 4 Thermo Electron partikül madde ölçüm cihazı (Şekil 3.9) ile ölçülmüştür. Cihaz model içine 40 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir.





Şekil 3.9. Partikül madde ölçüm cihazı

CO<sub>2</sub>, CO ve bağıl nem ölçmek için KANOMAX IAQ Monitor dijital higrometre cihazı (Şekil 3.10) kullanılmıştır. Cihaz probu modelin üzerinde açılan prob boşluğundan hava almayacak şekilde sarkıtılmıştır.



Şekil 3.10. Dijital higrometre cihazı

Deney süresi boyunca gözlenen sıcaklık 24-28 °C aralığında, bağıl nem değeri aerosol verildiği an en fazla %60 olup deney süresi boyunca azalarak yaklaşık %25 olmaktadır. CO<sub>2</sub> değeri deney süresince çok değişmemekle birlikte tüm deneyler boyunca 350- 450 ppm aralığındadır. Partikül konsantrasyonu enjeksiyon yapılmadan önce yaklaşık 10 µg/m<sup>3</sup>, enjeksiyon bittiği t=0 kabul edildiği anda

yaklaşık 600 µg/m<sup>3</sup> değerlerine kadar çıkmakta ve deney süresi boyunca azalarak tükenmektedir.

Nebülizasyon işlemi: Çalışmada belirli konsantrasyon ve hacimde hazırlanan mikroorganizma çözeltisini oda modelinin içine biyoaerosol olarak nebulize etmek için Plus Med marka PM 002 Ultrasonik Nebulizatör kullanılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Ultrasonik Nebulizatör

Ultrasonik nebulizatörler haznesine konulan sıvıyı ayarlanan sürede ve frekansta (0.8-3 MHz) yaptığı ultrasonik dalgaların titreşim etkisi ile sıvı tanecikleri aerosol (0.3- 10 mikron) şeklinde dışarıya veren cihazlardır. Çalışmada belirlenen konsantrasyonlarda ve 20 ml hacimde hazırlanan spor formdaki mikroorganizma çözeltileri nebulizer cihazın sıvı haznesine aktarılmıştır. Deneme çalışmaları ile nebulizer haznesindeki 20 ml hacimdeki çözeltiyi biyoaerosol olarak sisteme enjekte etme süresi 10 dakika olarak tespit edilmiştir. Nebulizer, oda modeli içine 40 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Oda modeli sisteminin tamamen kapalı olduğundan emin olduktan sonra nebulizer cihazı çalıştırılarak ve sisteme biyoaerosol enjeksiyonu başlatılmıştır. Otomatik olarak 10 dakikaya ayarlanan nebulizerin durduğu an t=0 anı olarak kabul edilmiş ve bu anı temsilen iç ortam modelinden biyoaerosol örnekleme yapılmıştır. Nebulizasyon işlemi başlatılmadan önce oda içindeki mikroorganizma olup olmadığı koşullarını tespit etmek üzere iç ortam modelinden ortam havası numunesi alınmıştır.

Biyoaerosol Örneklerinin Alınması : İç ortam modelinden biyoaerosol örnekleme NIOSH Method-0800 standart metoduna uygun olarak gerçekleştirilmiştir

(Andersen, 1958; NIOSH, 1998). Biyoaerosol örneklemek için SKC marka tek basamaklı bioimpaktör kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Biyoaerosol örnekleme sistemi- Tek basamaklı impaktör

İmpaktör, içine 8 cm çapında petri kabı yerleştirilecek boyuttadır. İmpaktöre hava toplamak için biyoaerosol örneklemesine uygun olarak üretilmiş SKC marka Quick Take 30 yüksek akımlı pompa kullanılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Biyoaerosol örnekleme sistemi-Yüksek akımlı pompa

Pompa 28.3 L/dk sabit çekiş debisinde ve 2 dk süreyle çekiş yapmaya ayarlanmış ve debi SKC marka Dry Cal DC-Lite akım ölçer (Şekil 3.14) ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyon, Quick Take biyoaerosol örnekleme sistemi pompasının debisinin 28.3 L/dk olarak ayarlanıp DC-Lite akım ölçere bağlanarak, 1 saniye periyotlarla

debisinin ölçülüp cihazdan ortalama sonuç alınması ile yapılmıştır. Yapılan periyodik ölçümlerin ortalamasının % 5'lik kabul edilebilir hata payından düşük olduğu görülmüştür. Kalibrasyon işlemi her deney serisinde tekrarlanarak cihaz kontrol edilmiştir.



Şekil 3.14. DC-Lite akım ölçer

Tek basamaklı impaktör ve yüksek akımlı pompadan oluşan biyoaerosol örnekleme sistemi Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Biyoaerosol örnekleme sistemi

Modelin yan tarafında 60 cm yükseklikte bulunan örnek alma noktasına biyoaerosol örnekleme sistemi yerleştirilmiştir. Örnekleme için ortam havasından hava vakumlamak üzere pompa bağlanmıştır. Çalışılan mikroorganizma türüne uygun agar içeren petri kabı örnekleme noktasına yerleştirilmiştir. Agarlar TOBB ETÜ Hastanesi Mikrobiyoloji Laboratuvarı'ndan hazır olarak temin edilmiştir. *Bacillus*

*subtilis* (ATCC 6633) ve *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) için plate count agar, *Escherichia coli* (ATCC 25922) için insan kanlı agar, *Aspergillus niger* (RSKK 04017) ve *Candida albicans* (ATCC 10231) için Saboraud Dextros agar kullanılmıştır. Örnekleme süresi sonunda petri kapları kapatılıp agar yüzeyi yukarıda petri kabı kapağı aşağıda olmak üzere parafilm ile korunmuş ve inkübatöre konulmuştur. *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) 35-37 °C'de 24-48 saat, *Aspergillus niger* (RSKK 04017), 26 °C de bir hafta inkübe edilmiştir.

Biyoaerosollerin türüne göre iç ortam modelinde kalma sürelerinin birbirinden farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Ortama yaklaşık 10<sup>8</sup> CFU/ml konsantrasyonda verilen mikroorganizma sporu çözellileri belli bir süre sonunda yüzeye yapışma, çökme gibi nedenlerle yaklaşık %90 'ının ortamdan uzaklaştığı tespit edilmiştir. Biyoaerosollerin ortamda kalış süresi o mikroorganizma türü için deney süresi olarak belirlenmiştir. Örnek alma süresi sabit olan sistemde örnek alma sıklıkları deney sürelerine bağlı olarak değişmektedir. Her deney serisi için biyoaerosollerin türüne göre ortamda kalma süreleri, buna bağlı olarak belirlenen numune alma periyotları ve numune alma sayısı Çizelge 3.3' te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan mikroorganizma türlerine göre örnekleme periyotları

Mikroorganizma Türü	Model Ortamında Kalma Süresi- (Deney Süresi) (dk)	Örnekleme Aralıkları (dk)	Örnekleme Sayısı
<i>Bacillus subtilis</i>	30	5	7
<i>Escherichia coli</i>	70	10	7
<i>S.aureus</i>	30	5	7
<i>Aspergillus niger</i>	80	10	8

Mikroorganizma konsantrasyonunun iç ortam modelinde değişimi, model ortamına PVC plaka yerleştirilmediği boş durumda, antimikrobiyal özelliğe sahip olmayan PVC plaka yerleştirildiği ve antimikrobiyal özelliği olan PVC plaka yerleştirildiği

durumda olmak üzere 3 farklı durumda gerçekleştirilmiştir. PVC plakalar oda modelinin üstünde açılan kapaktan 10 cm sarkıtılacak şekilde iple asılmış ve hava girişi engellenecek şekilde kapak tekrar kapatılmıştır. Çalışma sistem içinde PVC bulundurup bulundurmama durumuna göre her 3 durum için ve çalışılan her mikroorganizma türü için tüm deneyler en az 3 tekrarlı yapılmıştır.

Numunelerin Analiz Edilmesi : Elde edilen numuneler mikroorganizma türüne uygun şartlar sağlanarak inkübe edildikten sonra plate count metodu ile sayılarak bakteri konsantrasyonu belirlenmiştir. Koloni sayımı Funke Gerber marka koloni sayım cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.16). Cihaz ışıklandırılmış alanda, üzerine yerleştirilen agar yüzeyindeki toplam koloni sayısını elektronik sayıcı kalem yardımı ile referans alanda yarı-otomatik olarak sayma esasına dayanmaktadır.



Şekil 3.16. Yarı-otomatik koloni sayım cihazı

Elde edilen sayı CFU mikroorganizma biriminde olup, biyoaerosol örnekleme sisteminin çekiş debisi (28,3 l/dk) ve örnek alma süresi (2 dk) kullanılarak CFU/m<sup>3</sup> birimine dönüştürülmüştür. Böylece model ortamındaki mikroorganizma konsantrasyonları bulunmuştur.

Sistemin Temizlenmesi: Her deney serisinden önce sistemin biyoaerosollerden arındırmak ve her deney serisine aynı koşulları sağlamak amacı ile oda modeli sistemi temizlenmiştir. Bu işlem model ortamındaki havanın vakum pompa ile çekilmesi ve sonrasında model içine sabitlenen 220 volt 50 hz özellikte 6 adet UV lambanın 2 saat boyunca açık bırakılması ile sağlanmıştır. Deney serilerinden önce temel koşul numuneleri alınarak sistemin temizlendiği doğrulanmıştır.

## 4. SONUÇLAR

### 4.1. Antimikrobiyal Etkinlik Testi Sonuçları

Antimikrobiyal etkinlik testi için 3 bakteri ve 1 mantar olmak üzere 4 farklı mikroorganizma türü ile çalışılmıştır. Mikroorganizma türlerine göre mikroorganizma çözeltilerinin başlangıç konsantrasyonları, hazırlama oranları ve seyreltme katsayıları, inoküle edilen hacimler Çizelge 4.1-Çizelge 4.4 arasında verilmiştir. Ayrıca inkübasyon süresinin sonunda gümüşlü numune ve kontrol numunesinde mikroorganizma sayım sonuçları ve bunların konsantrasyon birimindeki karşılıkları verilmiştir.

JIS Z 2801:2000 standart metoduna göre gümüşlü ürünün antimikrobiyal olabilmesi için logaritmik azalma oranı R'nin en az 2 olması gerekmektedir ve bu oran

$$R \text{ (Ortalama Logaritmik Azalma)} = \text{Log} (B/C),$$

B =İnkübasyon süresi sonunda kontrol numunesine ait ortalama koloni sayısı

C= İnkübasyon süresi sonunda gümüşlü PVC ile temas eden numuneye ait ortalama koloni sayısı formülü ile elde edilmiştir.

Standart metotta geçen (JIS Z 2801:2000) logaritmik azalma katsayısı R'ye karşılık gelen antimikrobiyal etkinlik yüzdeleri ise deney metodunun anlatıldığı bölümde verilmiştir. Çalışılan 4 mikroorganizma türü ile yapılan antimikrobiyal etkinlik testi sonucu elde edilen logaritmik azalma katsayısı R ve buna bağlı olarak hesaplanan antimikrobiyal etkinlik yüzdeleri Çizelge 4.1- Çizelge 4.4 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.1. *Escherichia coli* için Antimikrobiyal Etkinlik Testi Sonuçları

Mikroorganizma Türü	<i>E. coli</i>
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	2.7 Mc Farland birimi
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	$8,1 \cdot 10^8$ CFU/ml
Seyreltme Katsayısı	$10^{-3}$
Başlangıç Konsantrasyonu	$8,1 \cdot 10^5$ CFU/ml
İnoküle edilen hacim	0,1 ml
İnkübasyon süresi sonunda koloni sayım sonuçları	
AECAG1	380 CFU
AECAG2	270 CFU
AECAG3	440 CFU
AECAG Ortalama Konsantrasyon (B)	$3,6 \cdot 10^3$ CFU/ml
AECST1	$1,4 \cdot 10^6$ CFU
AECST2	$3,6 \cdot 10^6$ CFU
AECST3	$6,4 \cdot 10^6$ CFU
AECST Ortalama Konsantrasyon (C)	$3,8 \cdot 10^7$ CFU/ml
Logaritmik Azalma R = Log (B/C)	4,02
Antimikrobiyal Etkinlik	%99,9

AECAG1, AECAG2, AECAG3 kodları antimikrobiyal etkinlik testinde *E.coli* türü ile çalışılan antimikrobiyal işlem görmüş PVC numuneleri, AECST1, AECST2, AECST3 ise antimikrobiyal etkinlik testinde *E.coli* türü ile çalışılan işlem görmemiş kontrol numunelerini temsil etmektedir.



Çizelge 4.2. *Staphylococcus aureus* için Antimikrobiyal Etkinlik Testi Sonuçları

Mikroorganizma Türü	<b>S. aureus</b>
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	2.5 Mc Farland birimi
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	$7,4 \cdot 10^8$ CFU/ml
Seyreltme Katsayısı	$10^{-3}$
Başlangıç Konsantrasyonu	$7,4 \cdot 10^5$ CFU/ml
İnoküle edilen hacim	0,1 ml
İnkübasyon süresi sonunda koloni sayım sonuçları	
ASAAG1	750 CFU
ASAAG2	560 CFU
ASAAG3	920 CFU
ASAAG Ortalama Konsantrasyon (B)	$7,4 \cdot 10^3$ CFU/ml
ASAST1	$5,4 \cdot 10^5$ CFU
ASAST2	$7,2 \cdot 10^5$ CFU
ASAST3	$1,6 \cdot 10^6$ CFU
ASAST Ortalama Konsantrasyon (C)	$9,5 \cdot 10^6$ CFU/ml
Logaritmik Azalma R = Log (B/C)	3,11
Antimikrobiyal Etkinlik	%99,9

ASAAG1, ASAAG2, ASAAG3 antimikrobiyal etkinlik testinde *S. aureus* türü ile çalışılan antimikrobiyal işlem görmüş PVC numuneleri, ASAST1, ASAST2, ASAST3 ise antimikrobiyal etkinlik testinde *S. aureus* türü ile çalışılan işlem görmemiş kontrol numunelerini temsil etmektedir.

Çizelge 4.3. *Staphylococcus epidermidis* için Antimikrobiyal Etkinlik Testi Sonuçları

Mikroorganizma Türü	<b>S. epidermidis</b>
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	2.2 Mc Farland birimi
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	6,5*10 <sup>8</sup> CFU/ml
Seyreltme Katsayısı	10 <sup>-3</sup>
Başlangıç Konsantrasyonu	6,5*10 <sup>5</sup> CFU/ml
İnoküle edilen hacim	0,1 ml
İnkübasyon süresi sonunda koloni sayım sonuçları	
ASEAG1	1240 CFU
ASEAG2	2560 CFU
ASEAG3	750 CFU
ASEAG Ortalama Konsantrasyon (B)	1,5* 10 <sup>4</sup> CFU/ml
AEST1	6,0* 10 <sup>6</sup> CFU
AEST2	1,4* 10 <sup>6</sup> CFU
AEST3	4,2* 10 <sup>6</sup> CFU
AEST Ortalama Konsantrasyon (C)	3,9*10 <sup>7</sup> CFU/ml
Logaritmik Azalma R = Log (B/C)	3,41
Antimikrobiyal Etkinlik	%99,9

ASEAG1, ASEAG2, ASEAG3 antimikrobiyal etkinlik testinde *S. epidermidis* türü ile çalışılan antimikrobiyal işlem görmüş PVC numuneleri, AEST1, AEST2, AEST3 ise antimikrobiyal etkinlik testinde *S. epidermidis* türü ile çalışılan işlem görmemiş kontrol numunelerini temsil etmektedir.

Çizelge 4.4. *Candida albicans* için Antimikrobiyal Etkinlik Testi Sonuçları

Mikroorganizma Türü	<b>C. albicans</b>
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	2.6 Mc Farland birimi
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	7,8*10 <sup>8</sup> CFU/ml
Seyreltme Katsayısı	10 <sup>-3</sup>
Başlangıç Konsantrasyonu	7,8*10 <sup>5</sup> CFU/ml
İnoküle edilen hacim	0,1 ml
İnkübasyon süresi sonunda koloni sayım sonuçları	
ACAAG1	640 CFU
ACAAG2	720 CFU
ACAAG3	50 CFU
ACAAG Ortalama Konsantrasyon (B)	4,7* 10 <sup>3</sup> CFU/ml
ACAST1	4,5* 10 <sup>6</sup> CFU
ACAST2	1,3* 10 <sup>6</sup> CFU
ACAST3	6,2* 10 <sup>6</sup> CFU
ACAST Ortalama Konsantrasyon (C)	4,0*10 <sup>7</sup> CFU/ml
Logaritmik Azalma R = Log (B/C)	3,93
Antimikrobiyal Etkinlik	%99,9

ACAAG1, ACAAG2, ACAAG3 kodları antimikrobiyal etkinlik testinde *C. albicans* türü ile çalışılan antimikrobiyal işlem görmüş PVC numuneleri, ACAST1, ACAST2, ACAST3 ise antimikrobiyal etkinlik testinde *C. albicans* türü ile çalışılan işlem görmemiş kontrol numuneleri temsil etmektedir. Çizelgelerde görüldüğü üzere çalışılan mikroorganizma türleri için, inkübasyon süresi sonunda kontrol numunesine ait ortalama koloni sayısı başlangıç konsantrasyonuna oranla ortalama 10<sup>2</sup> kat artmaktadır. Bununla birlikte antimikrobiyal işlem görmüş PVC numunelerde inoküle edilen mikroorganizma kültüründe inkübasyon süresi sonunda büyümenin sınırlı kaldığı görülmektedir. Kontrol numunelerinde sayılan koloni sayısı antimikrobiyal işlem görmüş PVC ile temas eden numunelerde sayılan koloni sayısından 10<sup>3</sup> -10<sup>4</sup> katı kadar fazla bulunmuştur. Sonuç olarak, 4 farklı mikroorganizma türü için de PVC malzemenin antimikrobiyal etkinlik yüzdesi %99,9 olarak tespit edilmiştir.

#### 4.2. Stabilite Testi Sonuçları

Antimikrobiyal etkinliği test edilen malzemenin çeşitli etkenlere maruz kalması sonucu bu etkinliğinin azalıp azalmadığını ölçmek amacıyla stabilite testleri uygulanmıştır. Stabilite testi için numuneye uygulanan işlemler; nemli ortamda güneşe maruz bırakma, deterjanla silme ve yıkama işlemleridir. Stabilite testlerine ait sonuçlar çalışılan 4 farklı mikroorganizma türü için Çizelge 4.5-Çizelge 4.8 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.5. *Escherichia coli* için Stabilite Testi Sonuçları

Mikroorganizma Türü	E. coli
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	2.9 Mc Farland birimi
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	$8,7 \cdot 10^8$ CFU/ml
Seyreltme Katsayısı	$10^{-3}$
Başlangıç Konsantrasyonu	$8,7 \cdot 10^5$ CFU/ml
İnoküle edilen hacim	0,1 ml
İnkübasyon süresi sonunda koloni sayım sonuçları	
SECAG1	136 CFU
SECAG2	172 CFU
SECAG3	86 CFU
SECAG Ortalama Konsantrasyon (B)	$1,3 \cdot 10^4$ CFU/ml
SECST1	$1,5 \cdot 10^6$ CFU
SECST2	$9,2 \cdot 10^5$ CFU
SECST3	$8,7 \cdot 10^5$ CFU
SECST Ortalama Konsantrasyon (C)	$1,1 \cdot 10^7$ CFU/ml
Logaritmik Azalma R = Log (B/C)	3,92
Antimikrobiyal Etkinlik	%99,9

SECAG1, SECAG2, SECAG3: stabilite testinde *E.coli* türü ile çalışılan antimikrobiyal işlem görmüş PVC numunelerini, SECST1, SECST2, SECST3 kodları ise stabilite testinde *E.coli* türü ile çalışılan işlem görmemiş kontrol numunelerini temsil etmektedir.

Çizelge 4.6. *Staphylococcus aureus* için Stabilite Testi Sonuçları

Mikroorganizma Türü	<b>S. aureus</b>
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	2.3 Mc Farland birimi
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	6,9*10 <sup>8</sup> CFU/ml
Seyreltme Katsayısı	10 <sup>-3</sup>
Başlangıç Konsantrasyonu	6,9*10 <sup>5</sup> CFU/ml
İnoküle edilen hacim	0,1 ml
İnkübasyon süresi sonunda koloni sayım sonuçları	
SSAAG1	222 CFU
SSAAG2	144 CFU
SSAAG3	468 CFU
SSAAG Ortalama Konsantrasyon (B)	2,8* 10 <sup>3</sup> CFU/ml
SSAST1	9,0* 10 <sup>5</sup> CFU
SSAST2	3,4* 10 <sup>6</sup> CFU
SSAST3	6,5* 10 <sup>5</sup> CFU
SSAST Ortalama Konsantrasyon (C)	1,7*10 <sup>7</sup> CFU/ml
Logaritmik Azalma R = Log (B/C)	3,77
Antimikrobiyal Etkinlik	%99,9

SSAAG1, SSAAG2, SSAAG3 kodları stabilite testinde *S. aureus* türü ile çalışılan antimikrobiyal işlem görmüş PVC numunelerini, SSAST1, SSAST2, SSAST3 ise stabilite testinde *S. aureus* türü ile çalışılan işlem görmemiş kontrol numunelerini temsil etmektedir.

Çizelge 4.7. *Staphylococcus epidermidis* için Stabilite Testi Sonuçları

Mikroorganizma Türü	S. epidermidis
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	2.4 Mc Farland birimi
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	7,1*10 <sup>8</sup> CFU/ml
Seyreltme Katsayısı	10 <sup>-3</sup>
Başlangıç Konsantrasyonu	7,1*10 <sup>5</sup> CFU/ml
İnoküle edilen hacim	0,1 ml
İnkübasyon süresi sonunda koloni sayım sonuçları	
SSEAG1	760 CFU
SSEAG2	420 CFU
SSEAG3	1140 CFU
SSEAG Ortalama Konsantrasyon (B)	7,7* 10 <sup>3</sup> CFU/ml
SSEST1	5,2* 10 <sup>5</sup> CFU
SSEST2	1,2* 10 <sup>6</sup> CFU
SSEST3	7,5 * 10 <sup>5</sup> CFU
SSEST Ortalama Konsantrasyon (C)	8,2*10 <sup>6</sup> CFU/ml
Logaritmik Azalma R = Log (B/C)	3,03
Antimikrobiyal Etkinlik	%99,9

SSEAG1, SSEAG2, SSEAG3 kodları stabilite testinde *S. epidermidis* türü ile çalışılan antimikrobiyal işlem görmüş PVC numunelerini, SSEST1, SSEST2, SSEST3 ise stabilite testinde *S. epidermidis* türü ile çalışılan işlem görmemiş kontrol numunelerini temsil etmektedir.

Çizelge 4.8. *Candida albicans* için Stabilite Testi Sonuçları

Mikroorganizma Türü	C. albicans
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	2.7 Mc Farland birimi
Mikroorganizma Çözeltisi Konst.	8,2*10 <sup>8</sup> CFU/ml
Seyreltme Katsayısı	10 <sup>-3</sup>
Başlangıç Konsantrasyonu	8,2*10 <sup>5</sup> CFU/ml
İnoküle edilen hacim	0,1 ml
İnkübasyon süresi sonunda koloni sayım sonuçları	
SCAAG1	1200 CFU
SCAAG2	665 CFU
SCAAG3	230 CFU
SCAAG Ortalama Konsantrasyon (B)	7,0* 10 <sup>3</sup> CFU/ml
SCAST1	6,0* 10 <sup>6</sup> CFU
SCAST2	6,5* 10 <sup>6</sup> CFU
SCAST3	1,2* 10 <sup>7</sup> CFU
SCAST Ortalama Konsantrasyon (C)	8,2*10 <sup>7</sup> CFU/ml
Logaritmik Azalma R = Log (B/C)	4,06
Antimikrobiyal Etkinlik	%99,9

SCAAG1, SCAAG2, SCAAG3 kodlamaları stabilite testinde *C. albicans* türü ile çalışılan antimikrobiyal işlem görmüş PVC numunelerini, SCAST1, SCAST2, SCAST3 ise stabilite testinde *C. albicans* türü ile çalışılan işlem görmemiş kontrol numunelerini temsil etmektedir.

Numunelere ait stabilite testi sonuçları incelendiğinde ürünün antimikrobiyal etkinliğinin yağış, nem, güneş ışığı, yıkama, silme gibi kullanım etkenlerinden değişmediği tespit edilmiştir. Stabilite testi sonucunda çalışılan 4 mikroorganizma türü için de malzeme %99,9 antimikrobiyal etkinliğini korumaktadır.

### 4.3. İç Ortam Havaının Kalitesinin İyileştirmesine Yönelik Oda Modeli Çalışmalarının Sonuçları

#### 4.3.1. Koloni Sayım Sonuçları

Oda modeline belli konsantrasyonda, belli hacimde ve belli sürede enjekte edilen mikroorganizma çözeltileri ortam havasında biyoaerosol fazında davranış göstermişlerdir. Enjeksiyondan önce sistemdeki olası kirliliği tespit etmek amacı ile background ölçümleri yapılmıştır. Enjeksiyon bittiği an t=0 olarak kabul edilerek, mikroorganizma türüne göre tespit edilen deney süresi boyunca belli periyotlarla biyoaerosol numuneleri alınmıştır. Biyoaerosol konsantrasyonu deney süresi boyunca numunelerde yapılan koloni sayım sonucunda bulunmuştur. Çalışmalar belirlenen her mikroorganizma türü için, ortamda herhangi PVC numunesi olmadan, ortama normal PVC yerleştirilmesi durumunda ve antimikrobiyal PVC yerleştirilmesi durumunda olmak üzere 3 ayrı durumda yürütülmüştür. Çalışılan mikroorganizma türünü, PVC numune yerleştirilmesine göre çalışma türünü, çalışılan deney süresini ve örneklem periyotlarını ve deney tekrar sayısını da içerecek şekilde inkübasyon süresi sonunda yapılan koloni sayım sonuçları Çizelge 4.9 - Çizelge 4.20 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.9. Oda modeline herhangi PVC malzeme yerleştirmeksizin yapılan *Bacillus subtilis* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Bacillus subtilis</i>		
Çalışmanın Türü		Boş (model ortamında herhangi PVC olmadan)		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	0	1	15	5.33
0	13122	7722	7047	9297
10	13338	6116	7583	9012
20	4944	3620	5900	4821
30	6760	2830	7550	5713
40	3564	2907	6431	4301
50	4687	1205	2346	2746
60	1960	1040	3588	2196
70	1832	1044	1648	1508



Çizelge 4.10. Oda modeline normal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan *Bacillus subtilis* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Bacillus subtilis</i>		
Çalışmanın Türü		Normal PVC		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	17	62	62	47
0	4190	2335	4334	3619
10	1165	1288	1481	1312
20	1582	1035	895	1171
30	1120	787	895	934
40	993	784	704	827
50	819	800	686	768
60	826	880	448	718
70	686	720	504	637

Çizelge 4.11. Oda modeline antimikrobiyal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan *Bacillus subtilis* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Bacillus subtilis</i>		
Çalışmanın Türü		Antimikrobiyal PVC		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	6	3	53	20.67
0	5562	4169	3945	4559
10	4417	2938	2841	3399
20	860	663	987	837
30	728	708	830	755
40	720	519	620	620
50	708	437	470	538
60	576	376	340	431
70	276	350	370	332

*Bacillus subtilis* türü diğer türlere oranla model ortamında daha uzun süre varlığını korumuştur. Türün hücre duvarı yapısı itibari ile dış etkenlere karşı dirençli olduğu bilinmektedir. Buna göre bu tür ile yapılan çalışmalarda deney süresi 70 dakika olarak belirlenmiştir. Görüldüğü üzere PVC yerleştirilmesi durumuna göre 3 durumda da biyoaerosol miktarı deney süresi boyunca azalma göstermiştir.

Çizelge 4.12. Oda modeline herhangi PVC malzeme yerleştirmeksizin yapılan *Escherichia coli* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Escherichia coli</i>		
Çalışmanın Türü		Boş (model ortamında herhangi PVC olmadan)		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	13	0	0	4.33
0	480	400	440	440.00
5	460	392	428	426.40
10	441	361	406	402.45
15	421	338	367	375.41
20	377	272	338	329.14
25	251	183	251	228.15
30	115	20	108	81.17

Çizelge 4.13. Oda modeline normal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan *Escherichia coli* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Escherichia coli</i>		
Çalışmanın Türü		Normal PVC		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	0	0	0	0.00
0	448	420	928	598.67
5	404	424	692	506.67
10	392	396	438	408.67
15	402	398	404	401.33
20	234	358	320	304.00
25	153	275	178	202.00
30	43	62	23	42.67

Çizelge 4.14. Oda mdeline antimikrobiyal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan *Escherichia coli* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Escherichia coli</i>		
Çalışmanın Türü		Antimikrobiyal PVC		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	0	0	0	0.00
0	912	434	1200	848.67
5	850	356	400	535.33
10	416	100	400	305.33
15	364	32	348	248.00
20	340	0	240	193.33
25	186	0	30	72.30
30	48	0	0	16.11

*Escherichia coli* türü ile yapılan oda modeli deneyi çalışmalarından elde edilen koloni sayım sonuçları incelendiğinde türün ortamda kalış süresinin *Bacillus Subtilis* türünün ortamda kalış süresinden az olduğu gözlenmektedir. Gram negatif olan *Escherichia coli* türü Gram pozitif özellikteki *Bacillus Subtilis* türüne göre daha kolay inaktive olmuştur. Buna bağlı olarak deney süresi 30 dakika olarak çalışılmış ve buna göre numune alma periyotları belirlenmiştir.

Çizelge 4.15. Oda modeline herhangi PVC malzeme yerleştirmeksizin yapılan *Staphylococcus aureus* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Staphylococcus aureus</i>		
Çalışmanın Türü		Boş (model ortamında herhangi PVC olmadan)		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	0	0	0	0.00
0	540	4200	5130	3290.00
5	520	2912	3410	2280.67
10	170	1400	1100	890.00
15	89	300	376	255.00
20	75	250	184	169.67
25	56	202	168	142.00
30	50	188	153	130.33

Çizelge 4.16. Oda modeline normal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan *Staphylococcus aureus* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Staphylococcus aureus</i>		
Çalışmanın Türü		Normal PVC		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	0	0	0	0.00
0	4200	3452	5432	4361.33
5	2492	1585	2980	2352.33
10	1108	1156	954	1072.67
15	898	384	203	495.00
20	592	216	256	354.67
25	265	106	173	181.33
30	223	92	100	138.33

Çizelge 4.17. Oda modeline antimikrobiyal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan *Staphylococcus aureus* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Staphylococcus aureus</i>			
Çalışmanın Türü		Antimikrobiyal PVC			
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU	
background	0	0	0	0.00	
0	4088	2985	2408	3160.33	
5	528	498	508	511.33	
10	313	350	109	257.33	
15	360	74	22	152.00	
20	312	0	0	104.00	
25	315	0	0	105.00	
30	70	0	0	23.33	

Gram pozitif özelliğe sahip *Staphylococcus aureus* türünün ortamda kalış süresi dikkate alınarak deney süresi 30 dakika olarak çalışılmıştır.

Çizelge 4.18. Oda modeline herhangi PVC malzeme yerleştirmeksizin yapılan *Aspergillus niger* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Aspergillus niger</i>		
Çalışmanın Türü		Boş (model ortamında herhangi PVC olmadan)		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	0	0	0	0.00
0	0	516	438	318.00
10	462	486	414	454.00
20	438	380	386	401.33
30	356	316	342	338.00
40	255	228	234	239.00
50	84	84	76	81.33
60	28	66	52	48.67
75	21	28	14	21.00

Çizelge 4.19. Oda modeline normal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan *Aspergillus niger* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Aspergillus niger</i>		
Çalışmanın Türü		Normal PVC		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	0	0	0	0.00
0	440	502	468	470.00
10	420	466	420	435.33
20	384	344	377	368.33
30	258	275	304	279.00
40	130	142	223	165.00
50	36	64	74	58.00
60	25	20	17	20.67
75	22	19	16	19.00



Çizelge 4.20. Oda modeline antimikrobiyal PVC malzeme yerleştirilerek yapılan *Aspergillus niger* enjeksiyonu sonunda belli periyotlarla alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonuçları

Mikroorganizma Türü		<i>Aspergillus niger</i>		
Çalışmanın Türü		Antimikrobiyal PVC		
t (dk)	1. ölçüm CFU	2. ölçüm CFU	3. ölçüm CFU	Ortalama CFU
background	0	0	0	0.00
0	432	456	424	437.33
10	380	368	380	376.00
20	200	292	225	239.00
30	174	160	147	160.33
40	45	102	67	71.33
50	20	63	35	39.33
60	13	20	23	18.67
75	11	12	12	11.67

Bir mantar türü olan *Aspergillus niger* ile yapılan oda modeli deneyi için deney süresi 75 dakika olarak belirlenmiştir.

### 4.3.2. Biyoaerosol Giderim Oranları

Biyoaerosol örneklemeleri sonucu elde edilen koloni sayım sonuçları CFU biriminde bir önceki bölümde verilmiştir. Elde edilen CFU mikroorganizma sayısı biyoaerosol örnekleme sisteminin çekiş debisi olan 28.3 lt/dk ve örnek alma süresi olan 2 dk kullanılarak CFU/m<sup>3</sup> birimine dönüştürülmüştür. Böylece sistemdeki biyoaerosol konsantrasyonu tespit edilmiştir.

Örneğin; Oda modeline herhangi PVC malzeme yerleştirmeksizin yapılan *Bacillus Subtilis* enjeksiyonu sonunda t=0 anında alınan biyoaerosol numunelerindeki koloni sayım sonucu birinci ölçümde 13122 CFU olarak bulunmuştur. Konsantrasyon cinsinden karşılığı: 13122 CFU\* 28.3 l/dk\*2 dk/1000 l m<sup>3</sup>=742.71 CFU/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

Zamana bağlı biyoaerosol giderim oranı ise:  $100*(C_0-C_t)/C_0$  formülü ile tespit edilmiştir. Örneğin; yukarıda örneği verilen deney serisinin t=20 anında koloni miktarı 4944 CFU olarak sayılmıştır. C<sub>0</sub> enjeksiyon bittiği andaki biyoaerosol konsantrasyonu, C<sub>20</sub> enjeksiyon bittikten yirminci dakika sonraki biyoaerosol konsantrasyonu olmak üzere, konsantrasyon karşılığı;

$$C_{20}=4944 \text{ CFU} * 28.3 \text{ l/dk} * 2 \text{ dk} / 1000 \text{ l m}^3 = 279.83 \text{ CFU/m}^3 \text{ olmaktadır.}$$

$$C_0=742.71 \text{ CFU/m}^3 \text{ 'tür.}$$

$$t=20 \text{ anında biyoaerosol giderim oranı} = 100*(C_0-C_t)/C_0$$

$$=100* (742.71-279.83) / 742.71$$

$$= 62.32 (\%) \text{ olarak bulunmuştur.}$$

(bkz. Çizelge 4.21, satır 6; sütun 2 )

Çalışılan dört farklı mikroorganizma türü için PVC numune yerleştirilmesine göre çalışma türünü, çalışılan deney süresini ve örneklem periyotlarını ve deney tekrar sayısını da içerecek şekilde zamana bağlı biyoaerosol giderim oranları % olarak Çizelge 4.21 - Çizelge 4.32 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.21. Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda *Bacillus Subtilis* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Bacillus Subtilis</i>		
Çalışmanın Türü		Boş (model ortamında herhangi PVC olmadan)		
		$100*(C_0-C)/C_0$		
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %
10	-	20.80	-	-
20	62.32	53.12	16.28	43.91
30	48.48	63.35	-7.14	34.90
40	72.84	62.35	8.75	47.98
50	64.28	84.40	66.71	71.80
60	85.06	86.53	49.08	73.56
70	86.04	86.48	76.61	83.04

Çizelge 4.22. Oda modelinde normal PVC olması durumunda *Bacillus Subtilis* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Bacillus Subtilis</i>			
Çalışmanın Türü		Normal PVC			
		$100*(C_0-C)/C_0$			
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %	
10	72.19	44.83	65.82	60.94	
20	62.24	55.67	79.35	65.75	
30	73.27	66.29	79.35	72.97	
40	76.30	66.42	83.75	75.49	
50	80.45	65.73	84.17	76.78	
60	80.28	62.30	89.66	77.42	
70	83.63	69.16	88.37	80.38	

Çizelge 4.23. Oda modelinde antimikrobiyal PVC olması durumunda *Bacillus Subtilis* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Bacillus Subtilis</i>			
Çalışmanın Türü		Antimikrobiyal PVC			
		$100*(C_0-C)/C_0$			
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %	
10	20.59	29.53	27.99	26.03	
20	84.54	84.10	74.98	81.20	
30	86.91	83.02	78.96	82.96	
40	87.06	87.55	84.28	86.30	
50	87.27	89.52	88.08	88.29	
60	89.64	90.98	91.38	90.67	
70	95.04	91.60	90.62	92.42	

*Bacillus Subtilis* türü ile elde edilen biyoaerosollerin oda modeli içinde zamana bağlı konsantrasyonlarındaki azalma yüzdeleri verilmiştir. Buna göre PVC yerleştirme durumuna göre çalışılan 3 durumda da deney süresi boyunca azalma göstermiş ve belirlenen deney süresi sonunda *Bacillus Subtilis* giderim oranı ortalama %80 'in üzerinde olmuştur. Bu oran modele herhangi bir PVC yerleştirilmemesi durumunda %83.04, ortamda normal PVC olması durumunda %80.38, ortamda antimikrobiyal PVC olması durumunda ise %92.42 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.24. Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda *Escherichia coli* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Escherichia coli</i>			
Çalışmanın Türü		Boş (model ortamında herhangi PVC olmadan)			
		$100*(C_0-C)/C_0$			
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %	
5	4.24	2.12	2.72	3.03	
10	8.20	9.82	7.73	8.58	
15	12.34	15.45	16.53	14.77	
20	21.42	31.91	23.21	25.51	
25	47.77	54.32	42.95	48.35	
30	75.96	95.00	75.43	82.13	

Çizelge 4.25. Oda modelinde normal PVC olması durumunda *Escherichia coli* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Escherichia coli</i>			
Çalışmanın Türü		Normal PVC			
		$100*(C_0-C)/C_0$			
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %	
5	9.82	-	25.43	11.43	
10	12.50	5.71	52.80	23.67	
15	10.27	5.24	56.47	23.99	
20	47.77	14.76	65.52	42.68	
25	65.85	34.52	80.82	60.40	
30	90.40	85.24	97.52	91.05	

Çizelge 4.26. Oda modelinde antimikrobiyal PVC olması durumunda *Escherichia coli* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Escherichia coli</i>		
Çalışmanın Türü		Antimikrobiyal PVC		
		100*(C <sub>0</sub> -C)/C <sub>0</sub>		
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %
5	6.80	17.97	66.67	30.48
10	54.39	76.96	66.67	66.00
15	60.09	92.63	71.00	74.57
20	62.72	100.00	80.00	80.91
25	79.56	100.00	97.46	92.34
30	94.70	100.00	100.00	98.23

*Escherichia coli* türü ile elde edilen biyoaerosollerin oda modeli içinde zamana bağlı konsantrasyonlarındaki azalma yüzdeleri verilmiştir. Buna göre PVC yerleştirme durumuna göre çalışılan 3 durumda da deney süresi boyunca azalma göstermiş ve belirlenen deney süresi sonunda *Escherichia coli* giderim oranı ortalama %80 'in üzerinde olmuştur. Bu oran modele herhangi bir PVC yerleştirilmemesi durumunda %82.13, ortamda normal PVC olması durumunda %91.05, ortamda antimikrobiyal PVC olması durumunda ise %98.23 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.27. Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda *Staphylococcus aureus* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Staphylococcus aureus</i>			
Çalışmanın Türü		Boş (model ortamında herhangi PVC olmadan)			
		$100*(C_0-C)/C_0$			
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %	
5	3.70	30.67	33.53	22.63	
10	68.52	66.67	78.56	71.25	
15	83.52	92.86	92.67	89.68	
20	86.11	94.05	96.41	92.19	
25	89.63	95.19	96.73	93.85	
30	90.74	95.52	97.02	94.43	

Çizelge 4.28. Oda modelinde normal PVC olması durumunda *Staphylococcus aureus* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Staphylococcus aureus</i>			
Çalışmanın Türü		Normal PVC			
		$100*(C_0-C)/C_0$			
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %	
5	40.67	54.08	45.14	46.63	
10	73.62	66.51	82.44	74.19	
15	78.62	88.88	96.26	87.92	
20	85.90	93.74	95.29	91.64	
25	93.69	96.93	96.82	95.81	
30	94.69	97.33	98.16	96.73	



Çizelge 4.29. Oda modelinde antimikrobiyal PVC olması durumunda *Staphylococcus aureus* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Staphylococcus aureus</i>		
Çalışmanın Türü		Antimikrobiyal PVC		
		100*(C <sub>0</sub> -C)/C <sub>0</sub>		
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %
5	87.08	83.32	78.90	83.10
10	92.34	88.27	95.47	92.03
15	91.19	97.52	99.09	95.93
20	92.37	100.00	100.00	97.46
25	92.29	100.00	100.00	97.43
30	98.29	100.00	100.00	99.43

*Staphylococcus aureus* türü ile elde edilen biyoaerosollerin oda modeli içinde zamana bağlı konsantrasyonlarındaki azalma yüzdeleri verilmiştir. Buna göre PVC yerleştirme durumuna göre çalışılan 3 durumda da deney süresi boyunca azalma göstermiş ve belirlenen deney süresi sonunda *Staphylococcus aureus* giderim oranı ortalama %94 'ün üzerinde olmuştur. Bu oran modele herhangi bir PVC yerleştirilmemesi durumunda %94.43, ortamda normal PVC olması durumunda %96.73, ortamda antimikrobiyal PVC olması durumunda ise %99.43 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.30. Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda *Aspergillus niger* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Aspergillus niger</i>		
Çalışmanın Türü		Boş (model ortamında herhangi PVC olmadan)		
		$100*(C_0-C)/C_0$		
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %
10	0.00	5.81	5.48	3.76
20	5.19	26.36	11.87	14.47
30	22.94	38.76	21.92	27.87
40	44.81	55.81	46.58	49.06
50	81.82	83.72	82.65	82.73
60	93.94	87.21	88.13	89.76
75	95.45	94.57	96.80	95.61

Çizelge 4.31. Oda modelinde normal PVC olması durumunda *Aspergillus niger* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Aspergillus niger</i>		
Çalışmanın Türü		Normal PVC		
		$100*(C_0-C)/C_0$		
t (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %
10	4.55	7.17	10.26	7.32
20	12.73	31.47	19.44	21.22
30	41.36	45.22	35.04	40.54
40	70.45	71.71	52.35	64.84
50	91.82	87.25	84.19	87.75
60	94.32	96.02	96.37	95.57
75	95.00	96.22	96.58	95.93

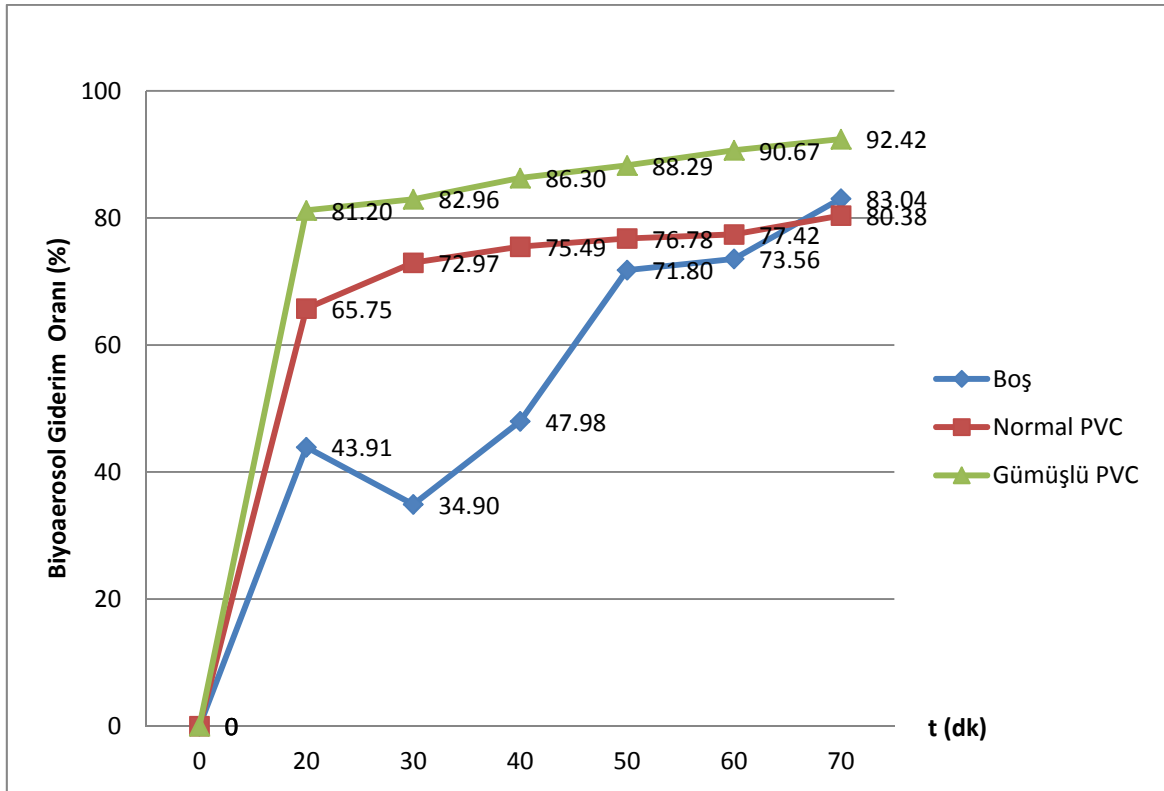
Çizelge 4.32. Oda modelinde antimikrobiyal PVC olması durumunda *Aspergillus niger* türü için biyoaerosol giderim oranları

Mikroorganizma Türü		<i>Aspergillus niger</i>			
Çalışmanın Türü		Antimikrobiyal PVC			
		$100*(C_0-C)/C_0$			
T (dk)	1. ölçüm %	2. ölçüm %	3. ölçüm %	Ortalama %	
10	12.04	19.30	10.38	13.90	
20	53.70	35.96	46.93	45.53	
30	59.72	64.91	65.33	63.32	
40	89.58	77.63	84.20	83.80	
50	95.37	86.18	91.75	91.10	
60	96.99	95.61	94.58	95.73	
75	97.45	97.37	97.17	97.33	

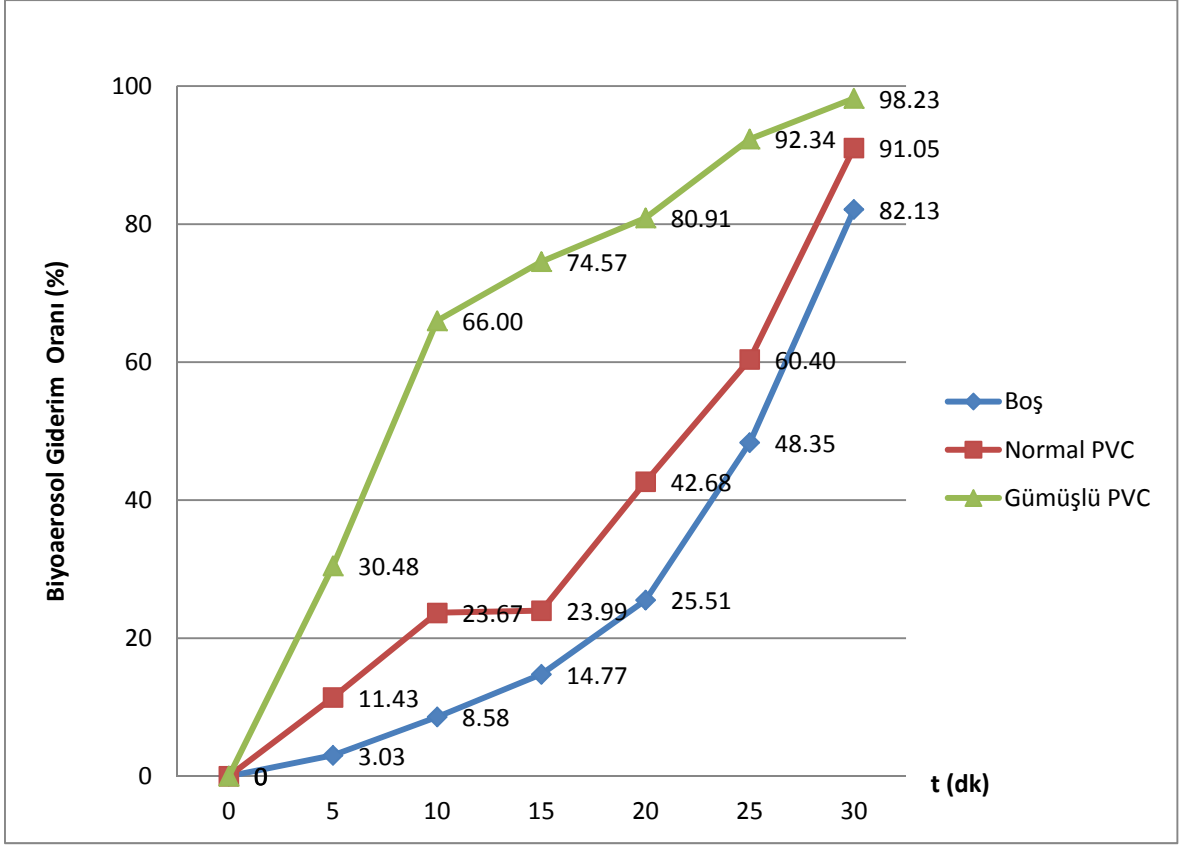
*Aspergillus niger* türü ile elde edilen biyoaerosollerin oda modeli içinde zamana bağlı konsantrasyonlarındaki azalma yüzdeleri verilmiştir. Buna göre PVC yerleştirme durumuna göre çalışılan 3 durumda da deney süresi boyunca azalma göstermiş ve belirlenen deney süresi sonunda *Aspergillus niger* giderim oranı ortalama %95 in üzerinde olmuştur. Bu oran modele herhangi bir PVC yerleştirilmemesi durumunda %95.61, ortamda normal PVC olması durumunda %95.93, ortamda antimikrobiyal PVC olması durumunda ise %97.33 olarak bulunmuştur.

### 4.3.3. Karşılaştırmalı sonuçlar

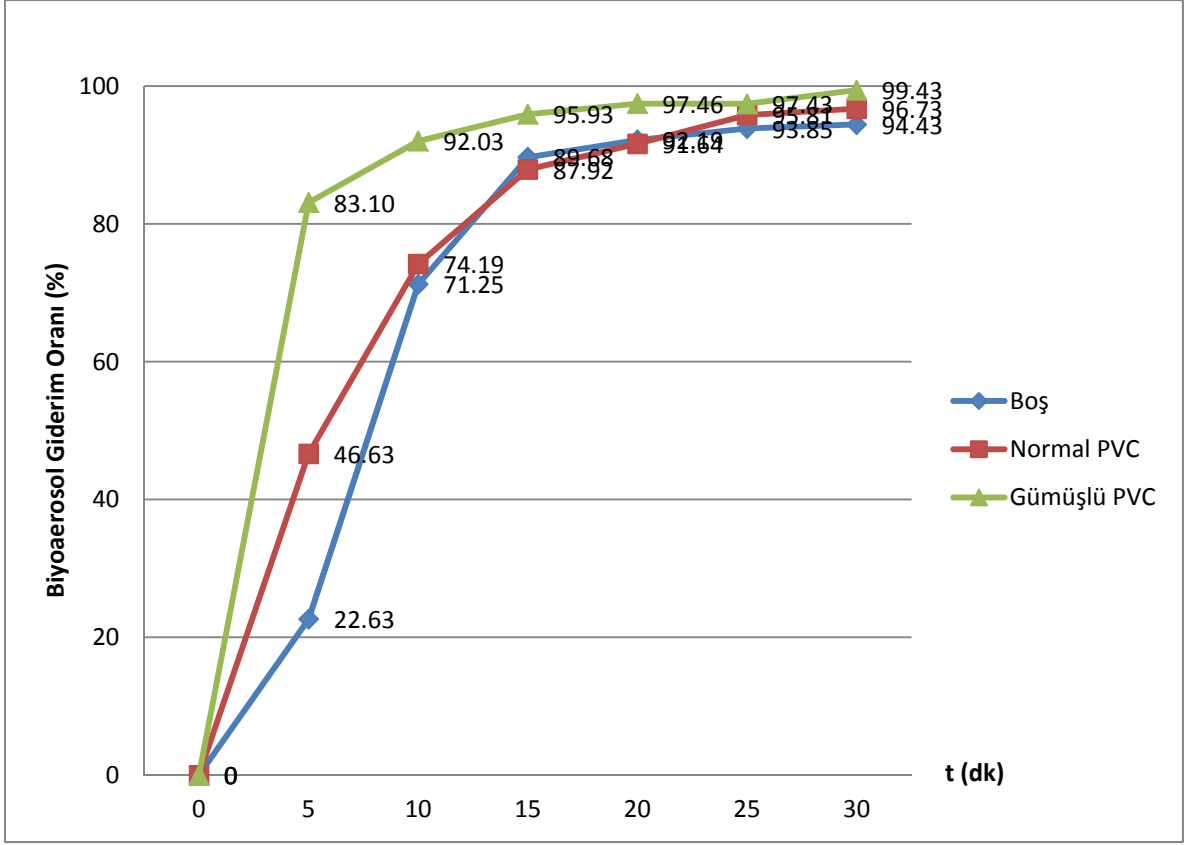
Oda modeli içinde biyoaerosol konsantrasyonlarının zamana bağlı azalma yüzdeleri önceki bölümlerde verilmiştir. Biyoaerosol konsantrasyonlarının zamana bağlı azalma yüzdeleri oda modeli içinde PVC olmaması durumunda, normal PVC olması durumunda ve antimikrobiyal PVC olması durumunda olmak üzere çalışılan 3 farklı durum için karşılaştırılmıştır. 4 farklı mikroorganizma türü için karşılaştırmalı sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 4.1- Şekil 4.4 'te verilmiştir.



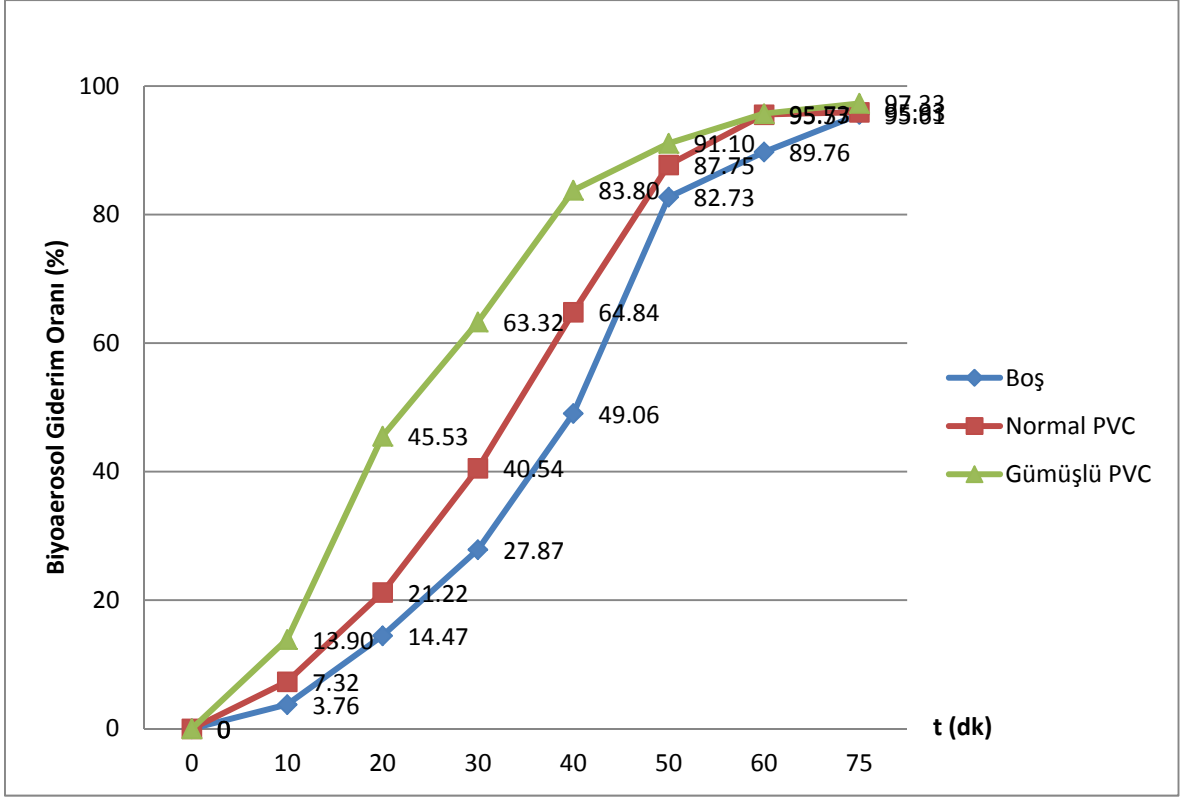
Şekil 4.1. Oda modelinde herhangi PVC olmaması (Boş) durumunda, antimikrobiyal özelliğe sahip olmayan PVC (Normal PVC) yerleştirildiği durumda ve antimikrobiyal özelliğe sahip PVC (Gümüşlü PVC) olması durumunda zamana bağlı *Bacillus subtilis* giderim yüzdelerinin karşılaştırılması



Şekil 4.2. Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda (Boş), antimikrobiyal özelliğe sahip olmayan PVC (Normal PVC) yerleştirildiği durumda ve antimikrobiyal özelliğe sahip PVC (Gümüşlü PVC) olması durumunda zamana bağlı *Escherichia coli* giderim yüzdelerinin karşılaştırılması



Şekil 4.3. Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda (Boş), antimikrobiyal özelliğe sahip olmayan PVC (Normal PVC) yerleştirildiği durumda ve antimikrobiyal özelliğe sahip PVC (Gümüşlü PVC) olması durumunda zamana bağlı *Staphylococcus aureus* giderim yüzdelerinin karşılaştırılması



Şekil 4.4. Oda modelinde herhangi PVC olmaması durumunda (Boş), antimikrobiyal özelliğe sahip olmayan PVC (Normal PVC) yerleştirildiği durumda ve antimikrobiyal özelliğe sahip PVC (Gümüşlü PVC) olması durumunda zamana bağlı *Aspergillus niger* giderim yüzdelerinin karşılaştırılması

Çalışılan 4 mikroorganizma türü için deney süresi boyunca biyoaerosol giderim yüzdeleri model içinde PVC olmaması durumunda, normal PVC olması durumunda ve antimikrobiyal PVC olması durumunda olmak üzere 3 farklı durum için karşılaştırılmıştır. Buna göre model içine PVC yerleştirildiği durumda yapılan deneylerde, herhangi bir PVC yerleştirilmemesi durumunda yapılan deneylere göre biyoaerosol giderim yüzdesi deney süresi boyunca daha yüksek bulunmuştur. Oda modeli içinde belirli bir yüzey alanına sahip PVC malzemenin yerleştirildiği deneylerde boş deneylere kıyasla biyoaerosol giderim oranının yüksek olması malzemenin yüzey alanı etkisi olduğunu göstermektedir. Oda modeline enjekte edilen biyoaerosollerin bir kısmı 800 cm<sup>2</sup> yüzey alanına sahip PVC malzemeye tutunmaktadır. Böylece ortam havasından belirli bir debide hava örnekleme yapıldığında biyoaerosol oranı azalmış hava örneklenmektedir. Çalışmanın amaçları arasında PVC malzemenin yüzey etkisini tespit etmek yer almamaktadır. Bu çalışmada biyoaerosollerin PVC malzemenin yüzeyine yapışma etkisi gösterdiği ve bu etkinin mikroorganizma türüne göre değişiklik gösterdiği görülmüştür.

Oda modeline enjekte edilen mikroorganizmaların bir kısmı PVC malzeme yüzeyine tutunarak ortam havasından uzaklaşmaktadır. Çalışmada asıl elde edilmek istenen gümüş iyonunun mikroorganizma giderimine etkisini tespit etmektir. Bu amaçla aynı yüzey alanına sahip ancak gümüş iyonu içeren ve içermeyen PVC numuneler yerleştirilerek yapılan deney serilerindeki biyoaerosol giderim yüzdeleri incelenmiştir. Gümüş iyonu taşıyan PVC malzeme ile yapılan deney serisinde deney süresi boyunca biyoaerosol giderim yüzdesi diğer iki deney serisine göre en fazladır. Normal PVC ve Gümüşlü PVC deney serilerindeki biyoaerosol giderim oranları karşılaştırıldığında gümüş iyonu kazandırılmış PVC malzemenin oda modeli içinde biyoaerosol giderim oranında ilave bir etkiye neden olduğu görülmektedir. Bu ilave etki deney süresi boyunca ve mikroorganizma türüne göre değişiklik göstermektedir. Çalışmada kullanılan 4 mikroorganizma türü için gümüş iyonu içeren antimikrobiyal PVC malzemenin oda modelinde biyoaerosol konsantrasyonunu azaltmada ilave etkisi Çizelge 4.33 -Çizelge 4.36 arasında verilmiştir.



Çizelge 4.33. *Bacillus subtilis* gideriminde Antimikrobiyal PVC malzemenin ilave etkisi

t (dk)	20	30	40	50	60	70
Giderim farkı (%)	15.45	9.99	10.81	11.51	13.25	12.03

Çizelge 4.34. *Escherichia coli* gideriminde Antimikrobiyal PVC malzemenin ilave etkisi

t (dk)	5	10	15	20	25	30
Giderim farkı (%)	19.15	42.33	50.58	38.22	31.94	7.18

Çizelge 4.35. *S. aureus* gideriminde Antimikrobiyal PVC malzemenin ilave etkisi

t (dk)	5	10	15	20	25	30
Giderim farkı (%)	36.47	17.84	8.01	5.81	1.62	2.70

Çizelge 4.36. *Aspergillus niger* gideriminde Antimikrobiyal PVC malzemenin ilave etkisi

t (dk)	10	20	30	40	50	60	75
Giderim farkı (%)	6.58	24.32	22.78	18.96	3.35	0.16	1.40

## 5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gümüş iyonu taşıyan PVC malzemenin antimikrobiyal etkinliğini belirlemek ve bu malzemenin iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik etkisinin olup olmadığını belirlemek amacıyla çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları ilgili bölümlerde yer almakla birlikte bu bölümde sonuçlarla ilgili genel değerlendirmeler ve öneriler yer almaktadır.

Zirkonyum fosfat taşıyıcı maddesi ile gümüş iyonu kazandırılmış PVC malzemenin antimikrobiyal etkinliği test edilmiştir. Bu kapsamda malzemenin antimikrobiyal etkinliği 3 bakteri (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*) ve 1 mantar (*Candida albicans*) olmak üzere 4 mikroorganizma türü ile test edilmiştir. Antimikrobiyal etkinlik deneyleri sonucu kullanılan malzeme çalışılan tüm mikroorganizma türleri için %99.9 antimikrobiyal özellik göstermiştir. Bu durum malzemeye inorganik bir bileşen ile kazandırılan gümüş iyonlarının malzemeye antimikrobiyal özellik kazandırdığını açıklamaktadır. Antimikrobiyal etkinlik testlerinde de gözleendiği üzere, kontrol numunelerinde mikroorganizma konsantrasyonu başlangıç konsantrasyonuna göre artış gösterirken, gümüş iyonu taşıyan PVC ile temas eden numunelerde mikroorganizma büyümesi sınırlı kalmıştır. Gümüş iyonu mikroorganizmal yapıyı inaktive ederek mikrobiyal üremeyi kontrol altına almaktadır.

Buna göre üzerinde mikroorganizma üremesinin sınırlı kalması malzemenin bu özelliğinin çeşitli amaçlarla kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Plastik malzemelere inorganik taşıyıcılar yardımı ile gümüş iyonu kazandırılarak nihai ürünün antimikrobiyal özellik kazanması, bu malzemelerin endüstrideki kullanım alanlarını arttıracığı beklenmektedir. Polivinil klorür oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle yapı endüstrisinde kullanılmakta olup ucuz ve kolay monte edilebilir özellikte olduğu için geleneksel yapı malzemelerine tercih edilmektedir. Günümüzde başlıca kullanım alanları kapı, pencere profilleri, cephe kaplamaları, boru ve tesisat malzemeleri, elektrik kabloları, döşeme ve hobi malzemeleri olarak görülmektedir. Esnek yapısı ve maliyetinin düşük olması nedeniyle su ve atık su endüstrisinde boru hatları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda sağlık sektöründe kullanılan bazı sıvıların, kan ve

kan ürünlerinin torbalarında ve transfüzyon setlerinde, kateter, kanül ve drenlerde, stoma ürünlerinde polivinil klorür malzemelerin kullanımına rastlanmaktadır. Polivinil klorürün geniş kullanım alanının olması bu malzemelere kazandırılacak antimikrobiyal özellikten çeşitli alanlarda faydalanılabileceğini göstermektedir.

Biyoaerosol düzeyinin yüksek olabileceği ortamlarda antimikrobiyal malzemelerin kullanımının önemli faydaları olacağı açıktır. Özellikle çocuk ve yaşlılar gibi hassas grupların toplu halde bulunduğu, okullar, kreşler; pek çok enfeksiyona rastlanabilecek hastaneler, sağlık ocakları; yüksek seviyede nem ve substrat bulunabilme ihtimalinin fazla olduğu mutfak, banyolarda, bebek odalarında, yer döşemeleri, duvar boyaları, kapı kolları ve pencerelerde iç ortam hava kalitesine de etki eden antimikrobiyal malzemenin bulunması hastalıkların önlenmesi adına faydalı olacaktır.

Antimikrobiyal PVC malzemelerin kapı ve pencere profillerinde kullanımı bu malzemelerin günlük yaşantımızda sıkça temas edilen bölgeler olması ve dış ortamla bağlantı noktaları olması nedeniyle mikrobiyal kirlenmenin engellenmesi söz konusu olduğu için önemli olmaktadır.

İçme suyu şebekelerindeki boru sistemlerinde, bina içi tesisat yapılarında gümüş iyonu kazandırılmış polivinil klorür malzemelerin kullanımı ile suyun taşınımı esnasında mikrobiyal kirlenmeyi kontrol altına almak söz konusu olmaktadır.

Yapı malzemelerinde cephe kaplaması olarak kullanılması, özellikle nem seviyesi yüksek olan bölgelerde mantar oluşumunu önleyeceği için önemlidir.

Masa, sandalye gibi özellikle kreş hobi malzemelerinde antimikrobiyal özellik kazandırılmış PVC malzemelerin kullanımı bakteri ve mantar üremesini kontrol altına alacağından dolayı önerilebilir.

Malzemeye, antimikrobiyal özelliğinin çeşitli çevresel etkenlerden dolayı değişip değişmediğini belirlemeye yönelik stabilite testi uygulanmıştır. Böylece antimikrobiyal malzemenin etken özelliğine etki edecek etkenler belirlenmiş ve uygulanan çeşitli maruziyetler sonunda zorlanma ve stres parametrelerine karşı

stabilite yönünden incelenmiştir. Stabilite testinde antimikrobiyal etkinlik testinde kullanılan mikroorganizma türleri ile çalışılmıştır. Numunelere ait stabilite testi sonuçları incelendiğinde ürünün antimikrobiyal etkinliğinin yağış, nem, güneş ışığı, yıkama, silinme gibi etkilerden azalmadığı tespit edilmiştir. Buna göre malzeme antimikrobiyal etkinlik yönünden stabildir. Diğer bir ifadeyle çalışma kapsamında yapılan stabilite testi sonucunda malzeme %99,9 antimikrobiyal etkinliğini korumaktadır. Malzemenin muhteviyatındaki gümüş iyonunun etkinliğinin yıkama, silme, yağmur, güneş ve nemli koşullara maruz kalma gibi etkenlerden dolayı azalmaması kullanım ömrünün bu amaçla sınırlanmayacağını göstermektedir. Stabilite testlerinde uygulanan maruziyet parametreleri malzemenin sıkça kullanıldığı alanlar göz önüne alınarak belirlendiğinden dolayı, kullanım süresinde antimikrobiyal özelliğini korumasının tüketici için önemli olacağı düşünülmektedir. Kapı ve pencere profillerinde kullanılmak amacıyla üretilmiş olan PVC numune için belirlenen stabilite test parametreleri bu kullanım alanları dikkate alınarak hazırlanmıştır. Su ve tesisat boruları ve sağlık alanı gibi başka kullanım alanlarında stabilite parametreleri farklı olmaktadır.

Antimikrobiyal etkinliği ve stabilitesi test edilen malzemenin iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla biyoaerosol konsantrasyonunu azaltmada bir etkisi olup olmadığını tespit etmek için çalışmalar yürütülmüştür. Bu amaçla çeşitli oda deneyi çalışmaları referans alınmıştır. Çalışma iç ortam havasında sık karşılaşılan 3 bakteri (*Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*) 1 mantar (*Aspergillus niger*) türü ile yürütülmüştür. Ortamda herhangi PVC numunesi olmadan, ortama normal PVC yerleştirilmesi durumunda ve antimikrobiyal PVC yerleştirilmesi durumunda olmak üzere 3 ayrı durumda yürütülen çalışmada biyoaerosollerin model ortamında kalış süresi mikroorganizma türüne göre değişiklik göstermiştir.

Oda modeline PVC malzeme yerleştirilmesinin ortam havasındaki biyoaerosol giderim yüzdesini etkilediği tespit edilmiştir. Gümüş iyonu içerip içermemesine bağlı olmaksızın belirli bir yüzey alanına sahip PVC malzeme model ortamına yerleştirildiğinde model havasındaki biyoaerosollerin bir kısmını yüzeyinde tuttuğu görülmüştür. Böylece PVC malzemenin model ortamında yüzey etkisi gösterdiği tespit edilmiştir.

Biyoaerosol giderim oranları incelendiğinde, biyoaerosol miktarının yaklaşık %90'ının model ortamından giderilmesi *Bacillus subtilis* türü için 70 dakikalık, *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* türleri için 30 dakikalık ve *Aspergillus niger* için 75 dakikalık periyotlarda gerçekleşmiştir. Mikroorganizma türlerinin hücre yapısının ve buna bağlı olarak dayanıklılıklarının farklı olması nedeniyle model ortamında kalış süreleri farklılık göstermiştir. Gram negatif olan *Escherichia coli* türü kararsız ve dayanıksız bir hücre duvarına sahiptir. *Bacillus subtilis* türü, yüksek sıcaklık ve UV ile parçalanmayan, oksidatif strese dayanıklı olduğu bilinen, en zor inhibe edilebilen dayanıklı sporları olan bir tür olarak bilinmektedir (McKenney et al., 2010). Benzer şekilde gram pozitif özellikteki *Staphylococcus aureus*'un çeşitli çevresel etkenlere karşı dirençsiz olduğu bilinmektedir. Çalışmada tespit edilen deney süreleri benzer çalışmalarla kıyaslandığında, bu sürelerin benzer şekilde mikroorganizma türlerinin inhibasyon sürelerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Li ve arkadaşları 2009 yılında yürüttükleri gümüş nano partiküllerinin *E. coli* üzerindeki antimikrobiyal etkinliğini araştıran çalışmada  $10^7$  CFU/ml *E. coli* inhibasyonu için 40 dakikalık süre tespit edilmiştir. Lee ve arkadaşları 2007 yılında yayımladığı bir çalışmada da gümüş nano partiküllerine 1 dakika doğrudan maruz kalması ile  $10^7$  CFU/ml başlangıç konsantrasyonundaki *E. coli*'nin % 90'ının inhibe olduğu saptanmıştır. Aynı çalışmada  $10^7$  CFU/ml miktarında *B. Subtilis*'in %99 oranında inhibe olması için 9 dakika doğrudan maruz kalması gerektiği bulunmuştur. Mikroorganizma türlerinin kapalı ortamdaki konsantrasyon seviyelerini belirlemek, türlerin inaktivasyonunu etkileyen ortam parametrelerini belirlemek başka bir deneysel çalışmanın konusu olabilir.

Deney süresi boyunca belli periyotlarda biyoaerosol örnekleri alınmış ve sonuçlar CFU ve CFU/m<sup>3</sup> biriminde verilmiştir. Çalışılan her mikroorganizma türü için tüm deney serilerinin başlangıç konsantrasyonları temel alınarak her örnek alma periyodunda biyoaerosol giderim oranları belirlenmiştir. Biyoaerosol giderim oranları modele herhangi bir PVC yerleştirilmemesi durumunda, normal PVC yerleştirilmesi ve antimikrobiyal PVC yerleştirilmesi durumunda tespit edilmiştir. Model ortamına herhangi bir PVC yerleştirilmeksizin yapılan deneyler biyoaerosollerin model ortamındaki kalış süresi belirlemek amacı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışılan tüm mikroorganizma türlerinde deney süresi boyunca

biyoaerosol giderim yüzdesi antimikrobiyal PVC ile çalışılan deneylerde, normal PVC ile çalışılan deneylerden daha yüksek çıkmıştır.

Başka bir deyişle, gümüş iyonu ile antimikrobiyal özellik kazandırılan PVC malzeme ortam havasında mikroorganizma konsantrasyonunun azalmasında etkili olmuştur. Bu etki mikroorganizma türüne göre farklılık göstermektedir. Ayrıca her tür için de deney süreleri boyunca örnek alma periyotlarında da farklı oranlarda giderim gerçekleşmiştir. Gümüş iyonunun mikroorganizma konsantrasyonunu azaltmadaki en yüksek ilave etkisi *Escherichia coli* türü ile yapılan deneylerde ilk 15 dakikada %50.58 lik farkla tespit edilmiştir. Başka bir deyişle gümüş iyonu oda modelinde ilk 15 dakika içinde *Escherichia coli* biyoaerosollerinin konsantrasyonlarının azalmasında % 50.58 etki göstermiştir. Bu oranın %42.33 gibi büyük bir kısmı ilk 10 dakikalık periyotta gözlemlenmiştir. *Staphylococcus aureus* ile yapılan deneylerde ise gümüş iyonu ile ilk 5 dakikada %36.47 oranında ilave biyoaerosol giderimi sağlanmıştır. *Bacillus subtilis* türünde gümüş iyonunun ilave etkisi deney süresi boyunca ortalama %10 ile %15 arasında kalmıştır. Gümüş iyonu ortam havasında mantar türü olan *Aspergillus niger* gideriminde %24.32 ilave etkisini ilk 20 dakikada göstermiştir.

Kapalı ortam havasında sıkça rastlanan biyoaerosol türlerinin seviyelerinin azaltılmasına yönelik, biyoaerosollerin büyümesini engelleme potansiyeli olabilecek gümüş iyonu içeren PVC malzemenin etkisi, bu çalışma kapsamında yapılan oda deneyi ile doğrulanmıştır. Antimikrobiyal özellikte olması ile yüzeyinde bakteri ve mantar büyümesi %99.9 kontrol altına alınmış PVC malzeme, aynı zamanda ortam havasının mikroorganizma konsantrasyonunu azaltmıştır. Bu etkiyi yapan PVC numunenin bir odada pencere profili olarak bulunabilecek ortalama miktar hesaplanarak hazırlandığı unutulmamalıdır.

Toplum sağlığının korunması açısından yaşadığımız ve çalıştığımız ortamların hastalık oluşturabilecek mikroorganizmalardan arındırılmasının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu nedendir ki, özellikle günlük yaşantımızda sıklıkla kullandığımız cep telefonları, klavye, kapı kolları, merdiven trabzanları, iç çamaşırı, havlu, halı gibi pek çok ürüne antimikrobiyal etkinlik kazandırmayla ilgili yoğun bir teknolojik gelişme gözlenmektedir. İnsan sağlığına olumsuz etki gösteren ve kapalı

ortam hava kalitesini düşüren biyoaerosollerin konsantrasyonunu azaltacak bir etkinin olması iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde alternatif bir yöntem olarak görülmektedir. Özellikle kapalı ortam havasında bulunan mikroorganizmaların inaktivasyonunda kullanılan yöntemlerin etkinliği tartışılırken özellikle ikincil sağlık etkileri ve maliyetleri de esas alınmalıdır.

## KAYNAKLAR

- ACGIH, 1989. American Conference of Governmental Industrial Hygienists Guidelines for The Assessment About Aerosols in the Indoor Environment. ACGIH, Cincinnati, Ohio.
- Apra, M., Strambi, M., Novelli, T., Lunghini, L., Bozzi, N., 2000. Biologic Monitoring of Exposure to Organophosphorus Pesticides, *Environmental Health Perspectives*, 108: 521–25.
- Berger, T.J., Spadaro, J.A., Chapin, S.E., Becker, R.O., 1976. Electrically Generated Silver Ions: Quantitative Effect on Bacterial and Mammalian Cells, *Antimicrobials Agents and Chemotherapy*, 9(2):357-358.
- Betbeze, C.M., Wu, C.C., Krohne, S.G., Stiles, J., 2006. *Am. J. Vet. Res.* 67:1788
- Brundage, J.F., Scott, R.M., Lednar, W.M., Smith, D.W. and Miller, R.N., 1988. Building-associated risk of febrile acute respiratory diseases in army trainees, *Journal of the American Medical Association*, 259:2108–2112.
- Buzea, C., Blandino I.I.P., Robbie K., 2007. Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity, *Biointerphases* vol. 2(4):MR17 - MR172.
- Chambers, J., Krieger, C.G., Kay, L., Stroud, R. 1974. Silver ion inhibition of serine proteases: Crystallographic study of silver- trypsin, *Biochem. and Biophys. Res. Comm.*, 59: 70-74.
- Cliff, J. 1992. Indoor Air Pollution And Acute Respiratory Infections in Children, *The Lancet*, 339(15):396-398.
- Cowan, M.M., Abshire, K.Z., Houk, S.L., Evans, S.M., 2003. Antimicrobial efficiency of a silver-zeolite matrix coating on stainless steel, *J Ind Microbiol Biotechnol.*, 30(2):102-106.



- Dales, R.E., Zwanenburg, H., Burnett, R., Franklin, C.A. 1991. Respiratory Health Effects of Home Dampness and Molds Among Children, *Am. J. Epidemiol*, 134:196-203.
- Drake, P.L., Hazelwood K.J., 2005. Exposure-Related Health Effects of Silver and Silver Compounds: A Review , *Annals of Occupational Hygiene* , 49(7):575-585.
- Feied, C. Novel Antimicrobial Surface Coatings And The Potential For Reduced Fomite Transmission Of SARS And Other Pathogens 2004.
- Feng, Q.L., Wu, J., Chen, G.Q., Cui, F.Z., Kim, T.N., Kim, J.O. 2000. A Mechanistic Study of the Antibacterial Effect of Silver Ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, John Wiley& Sons, Inc *J Biomed Mater Res*, 52: 662-668.
- Fisk, W. 2002. How IEQ affects health, productivity, *ASHRAE Journal-American Society of Heating Refrigerating and Airconditioning Engineers*, 44(5):56-60.
- Fuller, F.W., Parrish, M., Nance, F.C., 1994. A review of the dosimetry of 1% silver sulfadiazine cream in burn wound treatment. *J Burn Care Rehabil*, 15: 213.
- Galeano, B., Korff, E., Nicholson, W.L.;, 2003. Inactivation of vegetative cells, but not spores, of *Bacillus anthracis*, *B. cereus*, and *B. subtilis* on stainless steel surfaces coated with an antimicrobial silver- and zinc-containing zeolite formulation, *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(7):4329-4331.
- Guidelines for Indoor Air Quality, Illinois Department of Public Health.
- Gulbranson, S.H., Hud, J.A., Hansen, R.C., 2000. Argyria following the use of dietary supplements containing colloidal silver protein, *Cutis*, 66: 373-6.

- Güllü, G., Arısoy, M., Taner, A., Kuntasal, O.O., Menteşe, S., Güner, E.D., 2008. İç Ortam Havasında Biyoaerosol Seviyesinin Tespiti ve Giderim Yollarının Belirlenmesi, 106Y185 Nolu TÜBİTAK Projesi, Final Raporu.
- Güllü, G., Menteşe, S., 2009. Farklı Türdeki İç Ortamlarda Gözlenen İnce Partiküler Madde Konsantrasyonları, Boyut Dağılımları ve Mevsimsel Değişimleri, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi İzmir, Bildiriler kitabı, 633-644.
- Gürgün, V., Halkman, K., 1990. Mikrobiyolojide Sayım Yöntemleri, Standarda Dayalı Sayım Yöntemleri, Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No 7. Ankara.
- Hamilton, E.I., Minski, M.J., 1972. Abundance of chemical elements in man's diet and possible relations with environmental factors, Sci. Total Environ., 1: 375-394.
- Jian Lin, J., Qiu, S., Lewis, K., Klibanov A.M., 2002. Bactericidal Properties of Flat Surfaces and Nanoparticles Derivatized with Alkylated Polyethylenimines, Biotechnol. Prog. 18:1082-1086.
- Jung, J.H., Lee, J.E., Kim, S.S., 2009. Thermal effects on bacterial bioaerosols in continuous air flow, Science of the Total Environment 407:4723-4730.
- Kamısoglu K., Aksoy, E.A., Akata B., Hasirci N., Bac, N., 2008. Preparation and Characterization of Antibacterial Zeolite-Polyurethane Composites, Journal of Applied Polymer Science 110: 2854-2861.
- Karen Tiede K., Hassellöv, M., Breitbarth E., Chaudhry, Q., Boxall, A.B.A., 2009. Considerations for environmental fate and ecotoxicity testing to support environmental risk assessments for engineered nanoparticles, Journal of Chromatography A, 1216: 503-509.
- Klasen, H.J., 2000. A historical review of the use of silver in the treatment of burns. II. Renewed interest for silver, Burns, 26:131-138.

- Kristopher P.K., Wilson, M., Parkin, I.P., 2009. Antimicrobial surfaces and their potential in reducing the role of the inanimate environment in the incidence of hospital-acquired infections, *Journal of Materials Chemistry*, 19: 3819-3831.
- Larson, E.L., Lin,S.X., Pichardo, C.G., Della-Latta, P., 2004. Effect of Antibacterial Home Cleaning and Handwashing Products on Infectious Disease Symptoms, *Ann Intern Med.*140:321-329.
- Lee, S.C., Lam, S., Kin F.H., 2001. Characterization of VOCs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber. *Building and Environment*, 36(7): 837-842.
- Lee, J.H., Jo, W.K. 2005. Exposure to Airborne Fungi and Bacteria While Commuting in Passenger Cars and Public Buses, *Atmospheric Environmental*, 39: 7342-50.
- Lee, J.H., Jo, W.K., 2006. Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols at Korean high-rise apartment buildings. *Environ Res.* 101(1):11-17.
- Lee, Uk B., Yun, S. H., Ji, J. H. Bae, G. N., 2008. Inactivation of S. Epidermis, B. Subtilis and E. coli Bacteria Bioaerosols Deposited on a Filter Utilizing Airborne Silver Nanoparticles, *J.Mic. Bio*, 18(1):176-182.
- Li, W.M., Lee, S.C., Chan L.Y., 2001. Indoor air quality at nine shopping malls in Hong Kong, *Science of The Total Environment*, 273(1-3):27-40.
- Li,W.R., Xie, X.B.,Shi, Q.S., Zeng, H.Y., OUYang, Y.S., Chen, Y.B., 2009. Antibacterial activity and mechanism of silver Nanoparticles on Escherichia coli, *Applied Microbial and Cell Physiology* 10.1007: 00253-009-2159-5.
- Lioy P.J., Freeman N.C.G., Millette J.R.,2002. Dust: a metric for use in residential and building exposure assessment and source characterization, *Environ Health Perspect*, 110:969-83.

- McKenney, P.T., Driks, A., Eskandarian,H.A., Grabowski,P., Guberman,J., Wang,K.H., Gitai, Z., Eichenberger,P., 2010. A Distance-Weighted Interaction Map Reveals a Previously Uncharacterized Layer of the Bacillus subtilis Spore Coat. *Current Biology*, 20:934-938.
- Mentese, S.,Yousefi Rad, A., Arısoy, M., Güllü, G., 2009. İç ortam biyolojik kirliliğinin mekansal değişimi ve dış ortamın etkisi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi TESKON, 6-9 Mayıs 2009, İzmir, Bildiriler kitabı, sf.727-734.
- Monteiroa,D.R., Gorupb, L.F., Takamiyaa,A.S., Ruvollo-Filho, A.C., Camargob, E.R., Barbosaa D.B., 2009. The growing importance of materials that prevent microbial adhesion:antimicrobial effect of medical devices containing silver, *International Journal of Antimicrobial Agents*, 34:103-110.
- Morishita, M., et al.,1998. Pilot Study on the Effects of a Mouthrinse containing Silver Zeolite on Plaque Formation, *J Clinical Dentistry*, 9:94-96.
- Noda I., Miyaji,F., Ando,Y., Miyamoto, H., Shimazaki,T., Yonekura Y., Miyazaki, M., Mawatari,M., Hotokebuchi T., 2009. Development of Novel Thermal Sprayed Antibacterial Coating and Evaluation of Release Properties of Silver Ions, *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*,89B: 456-465.
- Paustenbach D.J., Finley B.L., Long T.F., 1997. The critical role of house dust in understanding the hazards posed by contaminated soils, *Int J Toxicol.*, 16:339-62.
- Percival, S.L., Bowler, P.G., Russell, D., 2005. Bacterial resistance to silver in wound care *J. Hosp. Infect*, 60(1):1-7.
- Piotrowska, G.B., Golimowski, J., Urban,P.L., 2009. Nanoparticles: Their potential toxicity, waste and environmental management, *Waste Management* 29: 2587-2595.

- Rad, Y.A., 2005. Staphylococcus epidermidis ve Escherichia coli'nin Çeşitli Cerrahi İpliklere Yapışma Davranışları, Türk Hij. Den., Biyol. Derg. 62(1,2,3):11-16.
- Rai, M.,Yadav, A., Gade,A., 2009. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials, Biotechnology Advances, 27:76-83.
- Roberts J.W., Ott W.R., 2007. Exposure to pollutants from house dust. In: Ott WR, Steinemann AC, Wallace LA, editors. Exposure analysis. Boca Raton, FL: CRC Press, 319-46.
- Rusin, P., Bright, K., Gerba, C., 2003. Rapid reduction of Legionella pneumophila on stainless steel with zeolite coatings containing silver and zinc ions, Lett. Appl. Microbiol., 36(2):69-72.
- Rylander, R., Sorensen, S.,Goto, H., Yuasa, K., Tanaka, S., 1989. The importance of endotoxin and glucan for symptoms in sick buildings. In: Bieva, C.J., Coutois, Y. And Govaerts, M. (eds) Present and Future of Indoor Air Quality, Proceedings of the Brussels Conference, New York, Excerpta Medica, 219–226.
- Rylander, R., Persson, K., Goto, H. And Tanaka, S.1992. Airborne beta-1,3-glucan may be related to symptoms in sick buildings,Indoor Environment,1:263-267.
- Samet, J. M., Marbury, M. C., and Spengler, J. D. 1988. Health effects and sources of indoor air pollution: Part II. Am. Rev.Respir. Dis. 137: 221-242.
- Saravanapavan, P., Gough, J.E., Jones, J.R., Hench, L.L., 2004. Antimicrobial macroporous gelglasses: dissolution and cytotoxicity. In: Proceedings of the 16th International Symposium on Ceramics in Medicine (BIOCERAMICS-16). Zurich, Switzerland: Trans Tech Publications Ltd., 1087-90.

- Schierholz, J.M.; Lucas, L.J.; Rump, A.; Pulverer, G.J., 1998. Efficacy of silver-coated medical devices, *Hosp Infect*, 40(4): 257-262.
- Sergey A.G., Adhikari, A., Honda, T., Kim, K.Y., Toivola, M., Rao, K.S.R., Reponen, T., 2007. Control of Aerosol Contaminants in Indoor Air: Combining the Particle Concentration Reduction with Microbial Inactivation, *Environ. Sci. Technol.*, 41:606-612.
- Siersted, H.C., Gravesen, S. 1993. Extrinsic Allergic Alveolitis After Exposure to The Yeast *Ehodotorula Rubra*, *Allergy*, 48: 298-99.
- Silberstein, S., 1979. Energy Conservation And Indoor Air Pollution, *Energy and Buildings*, 2(3):185-189.
- Soysal, A., 2007. Kapalı Ortam hava kirliliği , *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 6 (3):221-226.
- Tan, S., Ouyang, Y., Zhang, L., Chen, Y., Liu, Y., 2008. Study on the structure and antibacterial activity of silver-carried zirconium phosphate, *Materials Letters*, 62: 2122-2124.
- Thati, B., Noble, A., Rowan, R., Creaven, B.S., Walsh, M., McCann, M., Egan, D., Kavanagh, K., 2007. *Toxicol. In Vitro* 21:801
- Trenholme, M., Raymond, L., Karakusis, P Stine, T., Fuhrer, j., Landau, W., Levin, S., 1989. Clinical Impact of Rapid Identification and Susceptibility Testing of Bacterial Blood Culture Isolates, *Journal of Clinical Microbiology*, 27 (6): 1342-1345.
- Virta, J., Koivula, M., Hussein, T., Koponen, S., Hakkarainen, H., Kymalainen, H.R., Hameri, K., Kulmala, K., Hautala, M., 2005. Emissions from thermal insulations -part 1: development and characteristics of the test apparatus, *Building and Environment*, 40:797-802.

- Vohra, A., Goswami D.Y., Deshpande. D.A., Block, S.S., 2006. Enhanced photocatalytic disinfection of indoor air, *Applied Catalysis B: Environmental* 65: 57-65.
- Wells, T.N., Scully, P., Paravicini, G., Proudfoot, A.E, Payton, M.A., 1995. Mechanism of irreversible inactivation of phosphomannose isomerases by silver ions and flomoxone, *Biochemistry*, 34(24):7896-7903.
- Yuranova, T., Rincon, A.G., Bozzi, A., Parra, S., Pulgarin C., Albers, P., Kiwi, J., 2003. Antibacterial textiles prepared by RF-plasma and vacuum-UV mediated deposition of silver, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 161: 27-34.
- Zhang, Y., Zhong, S., Zhang, M., Lin, Y., 2009. Antibacterial activity of silver-loaded zeolite A prepared by a fast microwave-loading method, *J Mater Sci.* 44(2):457-462.
- Zhao, G., Stevens, S.E., 1997. Multiple Parameters for the Comprehensive Evaluation of the Susceptibility of *Escherichia coli* to the Silver Ion, *Biometals*,11(1):27-32.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Esra KARAMAN

Doğum Yeri : Adıyaman

Doğum Yılı : 1987

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 2001-2004 Batıkent Lisesi, Ankara

Lisans 2004-2008 Çukurova Üniversitesi

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2009-2012 Hacettepe Üniversitesi

Çevre Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil: : İngilizce

İş Tecrübesi :

2009-2011, Ekoloji Çevre Teknolojileri Ltd. Şti. Ankara Çevre Laboratuvarı / Laboratuvar Müdür Yardımcısı

2011-devam Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Eğitim ve Araştırma Merkezi / Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Uzman Yrd.



Yayınlar :

Dolaş, E., Güllü, G., Menteşe, S., 2010. İç Ortam Hava Kalitesinin İyileştirilmesinde Gümüş İyonları İçeren PVC Malzemelerin Antibakteriyel Etkisinin Belirlenmesi, IV. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 25-27 Ekim 2010, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kültür ve Kongre Merkezi Ankara, HKK 2010 Bildiriler Kitabı, sf. 188-195.

Dolaş, E., Güllü, G., Menteşe, S., 2010. İç Ortam Hava Kalitesinin İyileştirilmesinde Gümüş İyonları İçeren PVC Malzemelerin Antimikrobiyal Etkisinin Belirlenmesi, 1. Ulusal Biyosidal Kongresi 04-07 Kasım 2010 Antalya, Bildiriler Kitabı, sf. 26-28.

Dolaş, E., Güllü, G., Menteşe, S., 2011. İç Ortam Hava Kalitesinin İyileştirilmesinde Gümüş İyonları İçeren PVC Malzemelerin Antimikrobiyal Etkisinin Belirlenmesi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi TESKON, 13-15 Nisan 2011, Bildiriler Kitabı Cilt 2, sf. 1703-1712.

Karaman, E., Güllü, G., Menteşe, S., 2011. Determining the Effect of Antimicrobial PVC Materials Contain Silver Ions for Improving Indoor Air Quality, 2nd International Conference on Air Pollution and Control CAPAC-II, 19-23 September 2011 in Antalya, Turkey.

Karaman, E., Erdoğan, G., 2012. Mevsimlik Gezici Tarım İşçilerinin Çalışma ve Sosyal Hayatlarının İyileştirilmesi Projesi (METİP) ve 184 Sayılı ILO Sözleşmesinin Karşılaştırılması, 1. Tarım Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Çevresel ve Mesleki Riskler, 6-7 Nisan 2012 Şanlıurfa, Bildiriler Kitabı, sf. 276-281.