

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

Esra DOLAŞ
Gülen GÜLLÜ
Sibel MENTEŞE

ÖZET

İç ortam hava kirliliği son yıllarda buna bağlı olarak ortaya çıkan sağlık sorunlarından sonra önem kazanmıştır. Yapılan birçok araştırmada iç ortam kalitesine önemli ölçüde etki eden kirleticilerden birinin organik tozlar olarak bilinen biyoaerosoller olduğu tespit edilmiştir. İç ortam havasının iyileştirilmesinde kullanılan ürünlerin enerji maliyetlerinin yanısıra insan sağlığına olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Bu nedenle iç ortamda bulunan mikroorganizma konsantrasyonlarının azaltılmasına yönelik geliştirilen sürdürülebilir çözümler değer kazanmaktadır.

Çalışmaya konu olan gümüş iyonlarının bakteri, küf, virus gibi mikroorganizmalar üzerinde etkili olduğu eski çağlardan beri bilinmektedir ve kullanılmaktadır.

Bu çalışma gümüş iyonu içeren zirkonyumfosfat katkılı PVC malzemenin ortam havasında en çok rastlanan bakteri ve mantar türlerinin seviyelerinin azaltılmasındaki etkisinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen oda modeli çalışmalarını kapsamaktadır.

Oda deneyi sonuçlarına göre, 1m³ kapalı bir cam hacim içinde belli yüzey alanına sahip gümüş iyonu içeren PVC malzeme ürün ortam havasındaki mikroorganizma konsantrasyonunun azalmasında etkili olmuştur.

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

ABSTRACT

Studies on indoor air pollution have gained importance in recent years after emerging health problems. According to a lot of research has proven that significantly affecting the quality of indoor air pollutant is organic dust knowns as bio-aerosols. Products that used to improve the indoor air quality are both energy costs and negative effects on human health is known. Therefore sustainable solutions developed for reduction of concentrations of microorganisms in the indoor environment is important.

Silver ions that are subject to the study, affect on the microorganisms such as bacteria, fungi and viruses; and this effect is known and used since ancient times.

This work includes chamber test that made with the most common bacterial and fungal species in ambient air levels developed in order to determine the effectiveness of reducing the room model studies.

According to the chamber test results, silver ions doped PVC material has a specific surface area in 1m³ closed glass room model effective in reducing indoor air concentrations of microorganisms.

Key Words: Bio-aerosols, indoor air quality, antimicrobial, silver ion, chamber test, PVC.

GİRİŞ

Yaşadığımız çevrede hastalıklara yol açan önemli etkenlerin başında gelen mikroorganizmalar ile her an temasta bulunmaktayız. Toplum sağlığının korunması açısından yaşadığımız ve çalıştığımız ortamların hastalık oluşturabilecek mikroorganizmalardan arındırılmasının önemi her geçen gün artmaktadır.

Günümüzde birçok sanayi ürününün üretilmesinde istenilenildiği gibi şekillendirilebilen, kararlı esnek bir özelliğe sahip PVC (Poli Vinil Klorür) gibi polimerik esaslı malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimerik malzemelere antimikrobiyal etkinlik kazandırabilmek için en sık kullanılan teknikler, antimikrobiyal ajanı polimer reçine ile beraber karıştırmak (eklemek) ya da polimer zincirine alkil ve asetil gruplarından faydalanarak kimyasal olarak bağlamaktır. Polimerik biyositler olarak da adlandırılan antimikrobiyal polimerler, bakteri ve mantar gibi mikroorganizmaların büyümesini engelleyen bir işlevselliğe sahiptir.

Çok eski dönemlerden beri antimikrobiyal etkisi olduğu bilinen gümüş, cıva, bakır, çinko gibi metal iyonları içinden, en sıklıkla kullanılan, insanlar için toksik etkisi en düşük olduğu bilinen gümüştür [1]. Gümüş iyonlarının malzemeye eklenebilmesi için nano gözenekli inorganik bir yapıya sahip taşıyıcı bir ortama gereksinim duyulmaktadır. İnorganik taşıyıcı malzemeler olarak, silika veya diğer metal-oksitleri içeren doğal veya sentetik zeolitler, zirkonyumfosfat, kalsiyumfosfat, kalsiyum-çinko fosfat gibi iyon değiştirici kapasiteleri yüksek bileşikler en iyi antimikrobiyal taşıyıcı malzeme olarak görülmektedir [2]. Bu malzemelerin sahip oldukları nano boyutlardaki gözenekli yapıları gümüş iyonu ile doldurulduğunda, antimikrobiyal ajan olarak kullanıma hazır olmaktadır. Antimikrobiyal ajanın eklenmesiyle elde edilen ürün de antibakteriyel özellik kazanmaktadır [3].

Gümüş iyonu içeren inorganik gözenekli malzeme içeren yüzeylerde, malzemenin fiziksel özelliği nedeniyle hava ile temas eden yüzeyde bulunan gümüş iyon konsantrasyonunun bakteri, mantar ve virüsler gibi oldukça geniş bir mikroorganizma grubunu oldukça uzun bir süre etkin bir şekilde yok edebilecek düzeyde olduğu yapılan birçok çalışma ile gösterilmiştir [4]. Bu tür malzemelerin yüzeylerinde mikroorganizmaların hızla öldüğünü gösteren pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada, gümüş iyonu içeren zirkonyum fosfat katkılı PVC malzemenin iç ortam havasında en çok rastlanan bakteri ve mantar türlerinin seviyelerinin azaltılmasındaki etkinliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 1 m³ kapalı bir cam oda içine nebulizör yardımıyla enjekte edilen bakteri sporlarının ortamda PVC yokken, Ag içeren PVC plaka ve Ag içermeyen PVC plaka bulunması durumunda, zamana karşı konsantrasyonlarındaki değişim incelenmiştir.

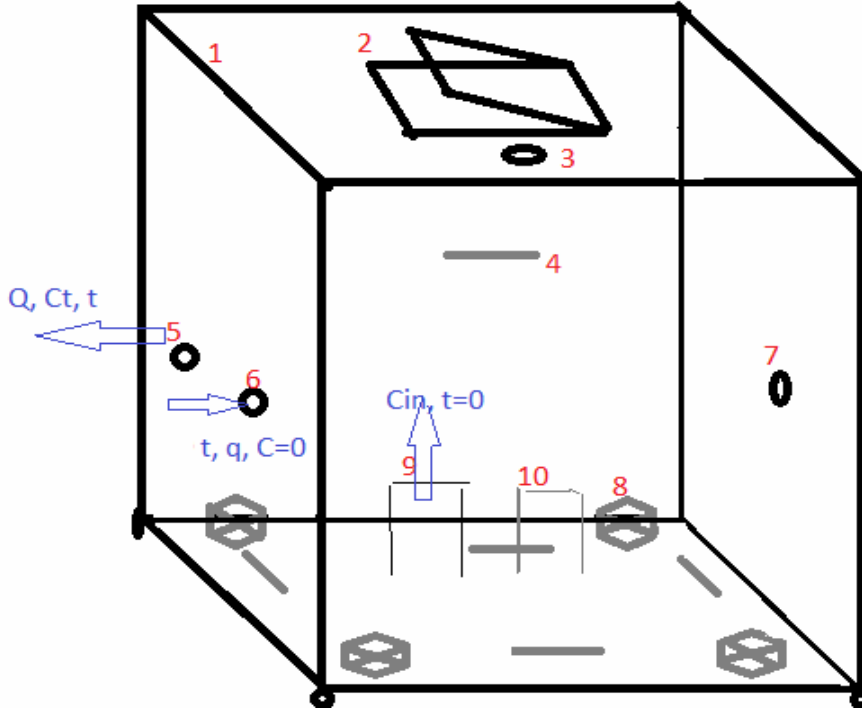
Biyoaerosollerin oda modelinde giderim hızı ve yüzdesi mikroorganizma türüne göre farklılık göstermektedir. Bütün mikroorganizma türleri için yapılan deneylerde oda içine gümüş iyonu içeren PVC yerleştirilmesi durumunda mikroorganizma konsantrasyonundaki giderim yüzdesi deney süresi boyunca Ag içermeyen PVC'ye göre belirgin olarak daha yüksek bulunmuştur.

Aşağıdaki bölümlerde çalışmada kullanılan deney düzeneği, bakteri hazırlama koşulları ve deney prosedürü ile elde edilen veriler yer almaktadır.

MATERYAL VE METODLAR

Çalışma için kullanılan deney düzeneği aşağıdaki şekilde verilmektedir. Modelde şematik olarak belirtildiği gibi oda içinde havanın karşınına sağlamaya yönelik fanlar bulunmaktadır. Oda içine biyoaerosollerin enjeksiyonu ultrasonik nebülizör vasıtasıyla verilmektedir. Deney sırasında sıcaklık, nem, CO₂, CO ve partiküller madde konsantrasyonu ve çapı sürekli olarak ölçülmüştür. Farklı zaman aralıklarında ortamdaki bakteri konsantrasyonunun tespiti için SKC tek basamaklı impaktör biyoaerosol örnekleyicisi kullanılmıştır. İç ortamdaki biyoaerosol giderimine etkisi test edilen malzeme, sistem içine uygun bir ip yardımı ile sarkıtılmıştır. Gümüş iyonu taşıyan zirkonyumfosfat katkılı PVC malzemenin ortamdaki antimikrobiyal etkisi, sisteme yerleştirilen bu özelliğe sahip olmayan aynı boyutta normal PVC malzeme ile karşılaştırılmıştır. Malzemenin yüzey etkisini tespit edebilmek ve bakteri sporlarının doğal koşullarda değişimini görebilmek için, ortam boş olduğu durumda da bakteri giderim yüzdesi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Antimikrobiyal malzemelerin etkinliklerinin belirlenmesine yönelik standart test metotları bulunmasına rağmen, bu malzemeler, ortam havasındaki etkinliklerinin belirlenmesine yönelik bir standart metot mevcut değildir. Ortam havasında kirleticilerin giderim hızının tespit edildiği çalışmalardan uyarlanarak bu tasarım hazırlanmıştır (Oda deneyi çalışmaları örnekleri: , Sergey A. Grinshpun, Control of Aerosol Contaminants in Indoor Air: Combining the Particle Concentration Reduction with Microbial Inactivation, Env. Sci. Tec. 2007[5], Lee,Byung Uk, Inactivation of S. Epidermis, B. Subtilis and E. Coli Bacteria Bioaerosols Deposited on a Filter Utilizin Airborne Silver Nanoparticles, J.Mic. Bio, 2008 [6]).

Oda deneyi modeli Şekil.1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Oda Deneyi Modelinin Şematik Gösterimi

1. 1m³ hacminde cam oda modeli 2. Açılabilir cam kapak 3. CO₂,CO, sıcaklık ve nem örnekleyici prob girişi, 4. UV lambası (eşit dağıtılmış; toplam 6 tane), 5. Numune alma noktası, 6. Hepa filtreden geçen temiz kuru hava girişi. Numune alındığı anda vakum etkisi yaratmaması amacıyla vanası açılmaktadır. 7. Vakum vanası, 8. Fanlar (eşit dağıtılmış; toplam 4 tane), 9. Enjeksiyon noktası. Nebulizer yerleştirilmiştir. 10. Partikül örnekleyici yerleştirilmiştir.

ÖN ÇALIŞMALAR

Mikroorganizma Seçimi: Çalışmada Bacillus Subtilis (ATCC 6633), Escherichia Coli (ATCC 25922), Staphylococcus Aureus (ATCC 29213), Candida Albicans (ATCC 10231) kullanılmıştır. Mikroorganizma suşları liyofilize şekilde Refik Saydam Hıfsızihha Merkezi Başkanlığı Kültür Koleksiyonu Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. Mikroorganizma suşları uygun besiyeri çözeltisi ile rehidre edilerek, her mikroorganizmaya uygun şartlar sağlanarak inkübe edilmiştir.

Bioaerosol hazırlanması: Mikroorganizma çeşitlerine uygun steril sıvı besiyerlerine ekim yapıp, inkübasyon koşulları sağlanmıştır. İnkübasyon süresi sonunda çözeltilerden 10 ml santrifüj tüplerine eklenerek, 6000 rpm devirle 10 dk santrifüj edilmiştir. Üstte kalan besin çözeltisi dökülüp, steril edilmiş distile su ile durulanmış ve santrifüjleme işlemi bu şekilde 3 kez tekrarlanmıştır. Son olarak steril distile su ile 20 ml ye tamamlanmıştır. Vorteks karıştırıcı ile karıştırılarak homojenliği sağlanmış çözelti nebulizer haznesine yerleştirilmiştir. Hazırlanan mikroorganizma konsantrasyonları mikroorganizma çeşidine göre 10^6 - 10^8 CFU/ml arasında değişmektedir.

DENEYİN YAPILMASI

Biyoaerosollerin örneklenmesi ve analizinde NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) Method-0800 "Bioaerosol Sampling (Indoor Air)" metaodundan yararlanılmıştır. Örneklem süresince oda modelinin içine yerleştirilen partikül örnekleyici (DATARAM) ve dijital higrometre (KANOMAX) ile ortamdaki sıcaklık, bağıl nem, CO₂, CO, partikül konsantrasyonu ve partikül boyutu kaydedilmiştir. Sistem içindeki sıcaklık ve nem değeri laboratuvar koşulları ile değişmekte olup, 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.

Nebülizasyon işlemi: Nebulizer, oda içine 40 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Nebulizer haznesine 20 ml bakteri spor çözeltisi konulup; sisteme enjekte edilmiştir.

Örnek Alınması: Modelin örnek alma noktasına monte edilen tek basamaklı Andersen tipi biyoaerosol örnekleyici (SKC) kullanılarak ortamdaki biyoaerosollerini örnekleyiciye yerleştirilen plate count besiyeri yüzeyine toplanmıştır. Örnekleyicinin bağlı olduğu vakum pompanın (SKC) çekiş debisi 28.3 L/dk olup, örneklem süresi 2 dk.dır. Bakteri enjeksiyonu yapılmadan önce oda içindeki temel koşulları tespit etmek üzere, enjeksiyon bittiği an ve sonrasında mikroorganizma türünün ortamda kalış süresinin farklılığına bağlı olarak farklı zaman aralıklarında örnekler alınmıştır. Tüm deneyler en az 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Sistemin temizlenmesi: Her deney serisinden önce sistemin biyoaerosollerden arındırılması sağlanmalıdır. Bu işlem her seri öncesinde ortamdaki havanın vakum pompa ile çekilmesi ve sonrasında 2 saat boyunca 220 volt 50 hz gücünde 6 adet UV lamba ile sağlanmıştır. Deney serilerinden önce alınan temel koşul numuneleri sistemin sterilizasyonunun bu yöntem ile sağlanabildiğini göstermektedir.

Sonuçların Elde Edilmesi: Deney süresi boyunca elde edilen numuneler mikroorganizmaya uygun şartlar sağlanarak inkübe edildikten sonra plate count metodu ile sayılarak bakteri konsantrasyonu belirlenmiştir. Koloni sayımı floresan ışık altında yarı-otomatik koloni sayacı kullanılarak yapılmıştır. Sayılan koloni miktarı çekiş debisi (28,3 lt/dk) ve örnek alma süresi (2 dk) kullanılarak CFU/m³ birimine dönüştürülmüştür. Mikroorganizma konsantrasyonunun iç ortam modelinde değişimi;

- Boş (PVC plakasız)
- Normal PVC plakalı (plakanın toplam yüzey alanı: 1520 cm²)
- Gümüş iyonu içeren PVC plakalı (plakanın toplam yüzey alanı: 1520 cm²)

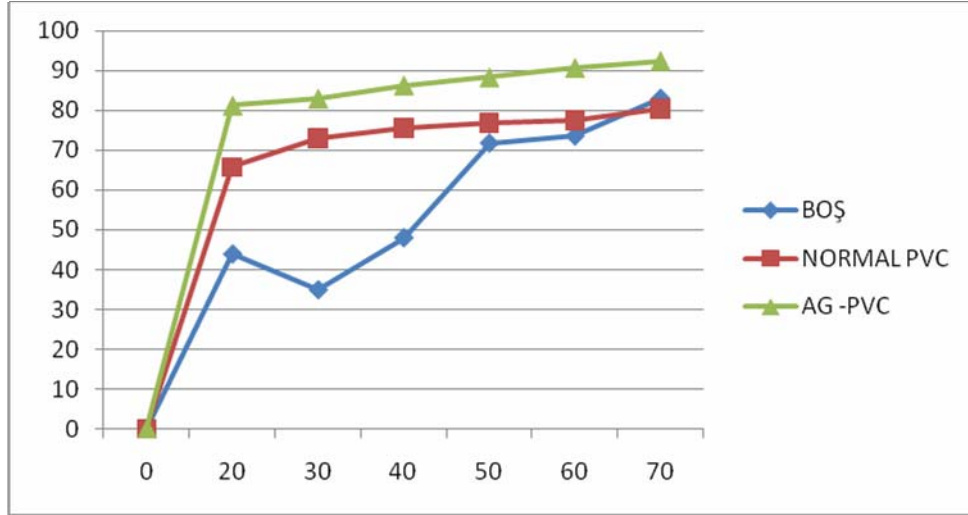
olmak üzere 3 durumda izlenmiştir. Ortamdaki biyoaerosollerin zamana karşı giderim yüzdeleri grafiğe aktarılmıştır.

$$\text{Giderim Yüzdesi} = ((C_0 - C) / C_0) * 100$$

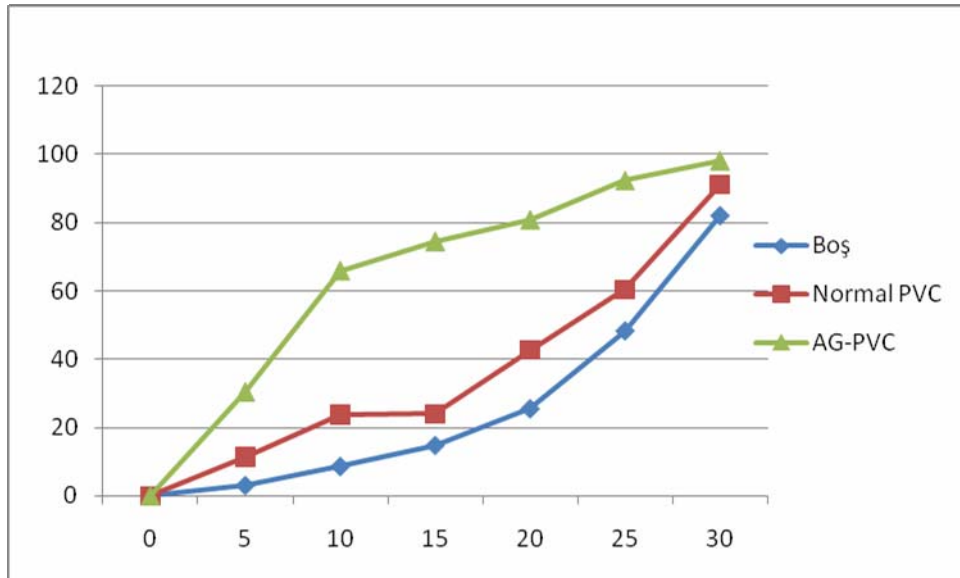
C_0 = Enjeksiyon bittiği andaki (t=0) m.org. konsantrasyonu
 C = t anındaki mikroorganizma konsantrasyonu

ortamın sıcaklık nem gibi değişkenlerine bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmüştür.

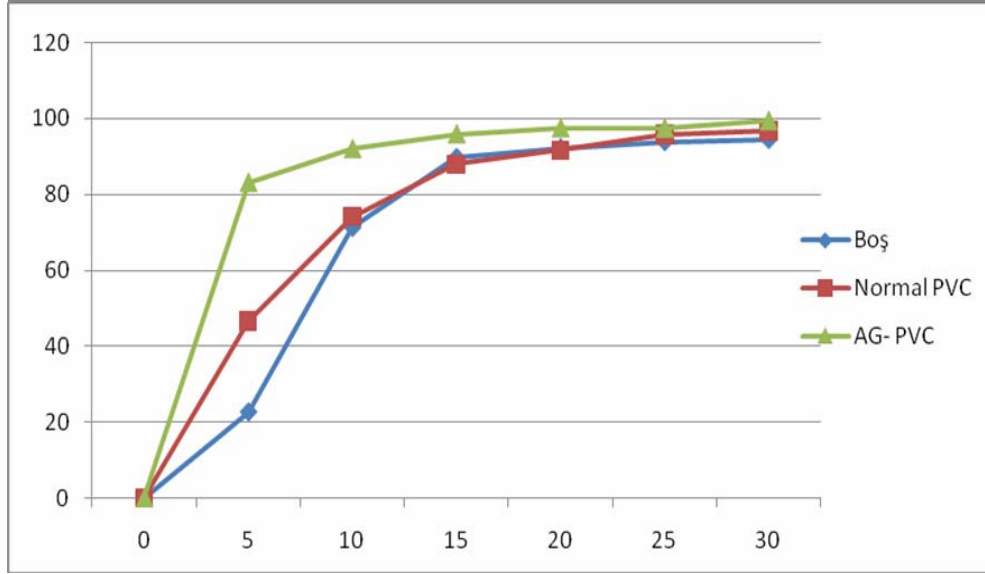
Grafik 1. Çalışılan 3 durum (Boş, Gümüş plakalı, Normal Plakalı) için B.subtilis konsantrasyonunun zamana bağlı ortalama giderim yüzdeleri



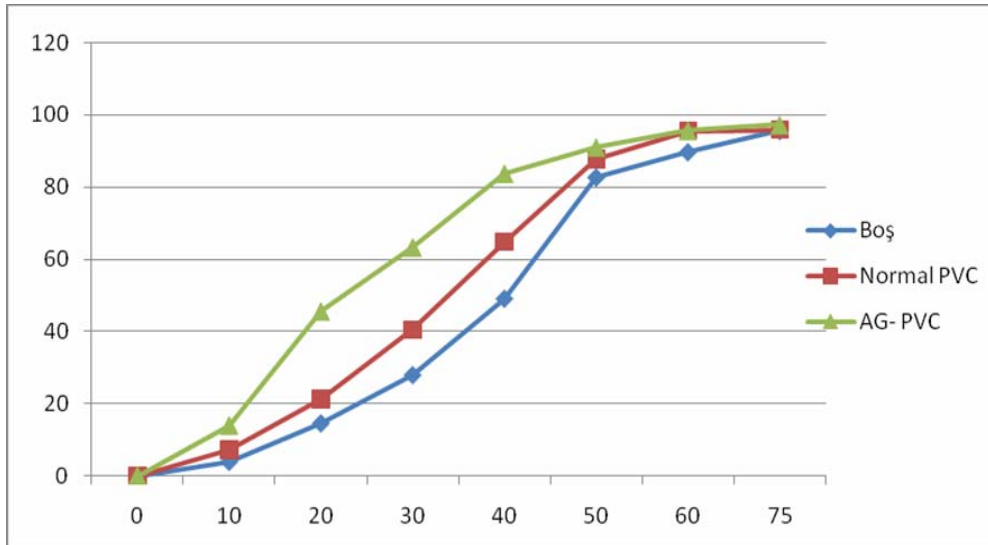
Grafik 2. Çalışılan 3 Durum (Boş, Gümüş Plakalı, Normal Plakalı) İçin E. Coli Konsantrasyonunun Zamana Bağlı Ortalama Giderim Yüzdeleri



Grafik 3. Çalışılan 3 Durum (Boş, Gümüş Plakalı, Normal Plakalı) için S. Aureus Konsantrasyonunun Zamana Bağlı Ortalama Giderim Yüzdeleri



Grafik 4. Çalışılan 3 Durum (Boş, Gümüş Plakalı, Normal Plakalı) için A. Niger Konsantrasyonunun Zamana Bağlı Ortalama Giderim Yüzdeleri



Oda deneyi modelinde zamana bağlı mikroorganizma konsantrasyonundaki değişim izlenmiştir. Ortama yaklaşık 10^8 CFU/ml konsantrasyonda verilen mikroorganizma sporu çözeltileri deney süresi sonunda yüzeye yapışma, çökme gibi nedenlerle ortalama %80 'inin ortamdaki uzaklaştığı tespit edilmiştir. Çalışılan tüm mikroorganizma türlerinde sisteme, gümüş iyonu içeren PVC yerleştirilmesi durumunda mikroorganizma konsantrasyonlarındaki giderim yüzdesi deney süresi boyunca normal PVC yerleştirildiği durumdaki mikroorganizma konsantrasyonlarındaki giderim yüzdesinden yüksek bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre mikroorganizma giderim yüzdesi mikroorganizma çeşidine göre ve zamana göre değişmektedir. Tüm deney süresince gümüş iyonu içeren PVC'nin ortamdaki mikroorganizma giderimine sağladığı ilave giderimler Tablo 8 - Tablo 11 de verilmiştir.

Tablo 1. Gümüş iyonu içeren PVC ürünün mikroorganizma giderimine ilave etkisi, %, B. Subtilis

t (dk)	20	30	40	50	60	70
B. Subtilis	%15,45	%9,99	%10,81	%11,51	%13,25	%12,03

Tablo 2. Gümüş iyonu içeren PVC ürünün mikroorganizma giderimine ilave etkisi, E. Coli

t (dk)	5	10	15	20	25	30
E. Coli	%19,05	%42,33	%50,58	%38,22	%31,94	%7,11

Tablo 3. Gümüş iyonu içeren PVC ürünün mikroorganizma giderimine ilave etkisi, S. Aureus

t (dk)	5	10	15	20	25	30
S. Aureus	%36,47	%17,84	%8,01	%5,81	%1,62	%2,70

Tablo 4. Gümüş iyonu içeren PVC ürünün mikroorganizma giderimine ilave etkisi, A.Niger

t (dk)	10	20	30	40	50	60	75
A.Niger	%6,58	%24,32	%22,78	%18,96	%3,35	%0,16	%1,40

SONUÇ

Malzeme, ortam havasında mikroorganizma konsantrasyonunun azalmasında etkilidir. Bu etki mikroorganizma türüne göre farklılık göstermekle birlikte deney süresi boyunca ortalama en az %12,17, en çok % 31,54 olarak bulunmuştur. Çalışmada kullanılan B. Subtilis, E.Coli, S. Aureus, Aspergillus Niger olmak üzere 3 bakteri ve 1 mantar için en düşük giderim B. Subtilis ilk 20 dakikada % 15,45 lik ilave giderim sağlamıştır. En yüksek verim gram (-) olan E. Coli de % 50,58 ilave giderimi ilk 15 dakika da sağlamıştır. S. Aureus deneylerinde ise malzeme ilk 5 dakika içinde etki göstererek ortamdaki mikroorganizma konsantrasyonunda % 36,47 azalmaya neden olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ZHAO G, "Multiple Parameters for the Comprehensive Evaluation of the Susceptible of Escherichia coli to the Silver Ion", Department of Microbiology and Molecular Cell Sciences, The University Memphis, USA, 1997.
- [2] SCHIERHOLZ J. Hosp Infect 1998, 40, 257.
- [3] ZHANK Y., "Antibacterial activity of silver-loaded zeolite A prepared by a fast microwave-loading method", J Mater Sci (2009) 44:457–462
- [4] COWAN M, et al. "Antimicrobial efficacy of a silver-zeolite matrix coating on stainless steel" J Ind Microbiol Biotechnol. 2003 Feb;30(2):102–6
- [5] SERGEY A. "Control of Aerosol Contaminants in Indoor Air: Combining the Particle Concentration Reduction with Microbial Inactivation" Env. Sci. Tec. 2007;
- [6] LEE B, "Inactivation of S. Epidermis, B. Subtilis and E. Coli Bacteria Bioaerosols Deposited on a Filter Utilizing Airborne Silver Nanoparticles", J.Mic. Bio, 2008
- [7] GALEANO B, KORFF E, NICHOLSON WL: "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. 2003 Jul;69(7):4329–31.
- [8] MORISHITA M. "Pilot Study on the Effects of a Mouthrinse containing Silver Zeolite on Plaque Formation" J Clinical Dentistry, 1998, 9:94–96

- [9] PETER T. “A Distance-Weighted Interaction Map Reveals a Previously Uncharacterized Layer of the Bacillus subtilis Spore Coat”. Current Biology, 2010
- [10] RUSIN P. “Rapid reduction of Legionella pneumophila on stainless steel with zeolite coatings containing silver and zinc ions”. Lett Appl Microbiol. 2003;36(2):69–72.

ÖZGEÇMİŞ

Esra DOLAŞ

1987 doğumludur. 2008 yılında Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2009 yılı itibari ile Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans yapmaktadır. Çevresel ölçüm ve analiz hizmetleri veren yeterlilik ve akredite bir çevre laboratuvarında 2 yıl çalıştıktan sonra bir kamu kurumunda uzman yardımcısı olarak çalışmaya başlamıştır. Yüksek Lisans tezine konu olan proje kapsamında iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar sürdürmektedir.

Gülen GÜLLÜ

1965 yılı Ankara doğumludur. 1987 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1989 yılında Yüksek Mühendis ve 1996 yılında Doktor ünvanını almıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesinde 1987–1996 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1996–1999 yılları arasında uzman olarak görev yapmıştır. Doçentlik ünvanını 1999 yılında Hacettepe Üniversitesinde Öğretim Üyesi iken alan, Dr. Güllü, 2006 yılından bu yana Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Prof. Dr. olarak görev yapmaktadır. Dr. Güllü, İç ve dış ortam hava kirliliği konularında çalışmaktadır.

Sibel MENTEŞE

1981 doğumlu Menteşe, 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2004 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. Sosyal Çevre konuları üzerine de ilgisi olan Menteşe, 2007 yılında Ankara Üniversitesi Sosyal Çevre Bilimleri Bölümünden ikinci Yüksek Lisans derecesini almıştır. 2004–2009 yılları arasında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma görevliliği yapmıştır. 2010 yılı itibari ile Çanakkale Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nde Yardımcı Doçent olarak çalışmaktadır.