





Evaluation of the effectiveness of antibacterial wall paint to enhance the hygienic conditions of the interiors

Seval Bal¹ , Nazmiye Özlem Şanlı² 

¹Institute of Graduate Studies in Science, Istanbul University, 34116, Istanbul, Turkey

²Istanbul University, Faculty of Science, Department of Biology, Section of Biotechnology, 34134 Istanbul, Turkey

Highlights:

- Imparting antimicrobial properties to indoor wall paint
- Prevention of cross-contamination by antimicrobial paint
- In-can preservative with long-term protection against bacteria and fungi

Keywords:

- Antimicrobial paint
- Preservative effect
- SilQUAT biocide
- *S. aureus*,
- *E. coli*

Article Info:

Research Article
Received: 22.01.2020
Accepted: 02.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.678683

Acknowledgement:

This study was supported by TUBITAK (117M565), and by the Research Fund of Istanbul University (FKD-2017-23569, BEK-2016-23307). The authors thank Prof. Dr. Yusuf Menciloglu (Sabanci University), Polisan Kansai Paint Ind. and Trd. Inc. R&D and MSc. student Jale Nil Gursoy, for supplying test materials/ scientific support, preparing the paint, respectively.

Correspondence:

Author: Seval Bal
e-mail:
seval.bal@ogr.iu.edu.tr
phone: +90 538 614 6724

Graphical/Tabular Abstract

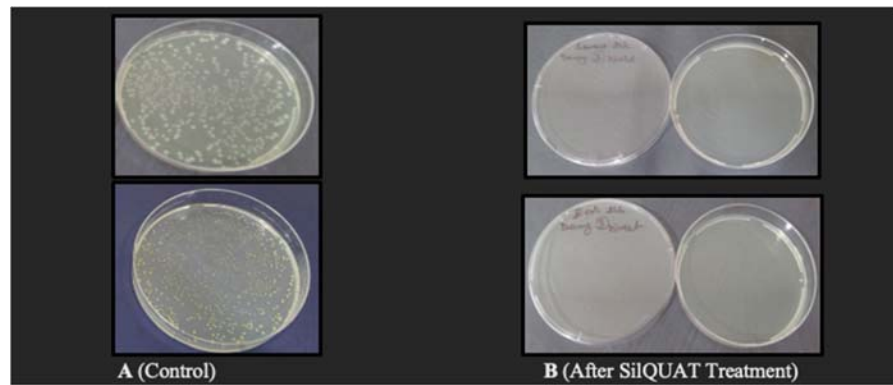


Figure A. *In vitro* antibacterial effect of SilQUAT treated paint against *E. coli* and *S. aureus*

Purpose: The aim of the study is to examine the antibacterial and in-can-preservative effect of the SilQUAT-containing paint against different representative microorganisms in laboratory conditions. Figure A shows *in vitro* activity of SilQUAT treated paints.

Theory and Methods:

The antibacterial effect of the paint was tested against the *S. aureus* and *E. coli* bacteria, by modifying ISO 22196 standard test method. The in-can preservative effect of the treated paints against bacteria and fungi was evaluated by using modified International Biodeterioration Research Group's method. In each step, treated samples was compared with untreated paint samples, under the same standard conditions.

Results:

Tested paint samples showed a strong antibacterial effect with a decrease of > 99.99% ($R > 2$) against *S. aureus* and *E. coli* bacteria after 24 hours of contact time. Additionally, paint samples containing the tested compound as an in-can preservative showed a strong resistance against simulated microbiological attack, while there was no reduction in microorganism growth in the control samples.

Conclusion:

Antibacterial paints can be used to enhance the hygienic conditions of the interiors and to keep indoor surfaces as safe and clean as possible. Antibacterial paint additives, whose safety and efficacy were tested and proved scientifically, will also provide effective protection against biodeterioration. According to the results of the study, the tested compound can be used effectively as an interior wall paint to provide hygienic conditions. Additionally, the compound can be used as an in-can preservative to protect the paint products against microbial attack during the production process, storage and transport conditions.



İç mekan hijyen koşullarının artırılmasında antibakteriyel duvar boyasının etkinliğinin değerlendirilmesi

Seval Bal^{1*}, Nazmiye Özlem Şanlı²

¹İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 34116, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Anabilim Dalı, 34134 İstanbul, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- İç mekan duvar boyasına antimikrobiyal özellik kazandırılması
- Antimikrobiyal boya uygulaması ile çapraz kontaminasyonun önlenmesi
- Kutu içerisinde bakteri ve mantarlara karşı uzun süreli koruyucu etki

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 22.01.2020
Kabul: 02.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.678683

Anahtar Kelimeler:

Antimikrobiyal boya,
koruyucu etki,
SilQUAT bileşiği,
S. aureus,
E. coli

ÖZET

Hastane, okul, konut gibi insanların uzun vakit geçirdiği iç mekamlarda, duvar ve zemin gibi yüzeylerde insan ve çevre kaynaklı mikrobiyal üreme görülmektedir. Kontamine havanın solunması ve kontamine yüzeylere temas ile enfeksiyonlar meydana gelmektedir. Bu enfeksiyonların önlenmesinde duvar gibi yüzeylerin antimikrobiyal kaplanması etkili olmaktadır. Yüzeyler, gümüş, metal oksit nanopartikülleri gibi bileşikler içeren antimikrobiyal boyalar ile boyanmaktadır. Ancak kullanılan bu kimyasalların uzun süreli maruziyette insan hücrelerine toksik etkisi vardır. Çalışmamızda hem antimikrobiyal hem de insana ve çevreye toksik olmayan SilQUAT (3-(trimetoksilyl)-propyl, cocodimethylammonium chloride) biyositi eklenmiş boyanın ve koruyucu maddesinin temsilci mikroorganizmalara karşı etkisi değerlendirilmiştir. SilQUAT içeren boyanın antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir. Bunun yanında yapılan koruyucu etkinlik testlerinde de bileşiğin etkili olduğu gözlenmiştir.

Evaluation of the effectiveness of antibacterial wall paint to enhance the hygienic conditions of the interiors

H I G H L I G H T S

- - Imparting antimicrobial properties to indoor wall paint
- - Prevention of cross-contamination by antimicrobial paint
- - In-can preservative with long-term protection against bacteria and fungi

Article Info

Research Article
Received: 22.01.2020
Accepted: 02.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.678683

Keywords:

Antimicrobial paint,
preservative effect,
SilQUAT compound,
S. aureus,
E. coli

ABSTRACT

Microbial growth is common on interior walls and floor surfaces, where people spend a period of long time such as hospitals, schools, residences, with the influence of environmental factors and human activity. Inhalation of contaminated air and contact to contaminated surfaces cause infections. Antimicrobial coating of surfaces such as walls is effective in preventing these infections. Antimicrobial wall paints generally comprise different compounds such as silver, metal oxide nanoparticles. However, these chemicals have toxic effects on human cells in long-term exposure. In our study, the antimicrobial and in-can preservative effect of SilQUAT (3- (trimethoxysilyl) -propyl, cocodimethylammonium chloride) biocide added paint were evaluated against representative microorganisms. It was determined that the paint containing SilQUAT compound showed strong antimicrobial effect. Additionally, it was shown that the compound was also effective as an in-can preservative.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: *seval.bal@ogr.iu.edu.tr, nosanli@istanbul.edu.tr, / Tel: +90 538 614 6724

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günlük hayatta insanlar zamanının çoğunu iç mekanlarda geçirmektedir. Bu süre zarfında bulunulan ortamdaki kontamine yüzeylere temas edilmektedir. Dünyadaki ölümlerin %20'sine neden olan bulaşıcı hastalıkların, yaklaşık olarak %80'inin kontamine olmuş yüzeyle temastan kaynaklandığı tahmin edilmektedir [1]. Mikroorganizmalar yüzeylerde günler, haftalar ve hatta aylarca hayatta kalabilmektedir. Kirlenmiş yüzeylerle doğrudan ve/veya dolaylı temas çapraz enfeksiyonlara neden olmaktadır [2]. Gıda işleme tesisleri, gıda hasat depoları, ofisler, konutlar ve özellikle hastanelerde mikroorganizmalar yüzeyde kolonize olabilmektedir. Gıda içeren alanlarda depolanan ürünlere bulaş ile ekonomik kayıplara [3]; hastane gibi ortamlarda ise enfeksiyonlara yol açarak risk oluşturmaktadır. Kapalı ortamlardaki hava kirliliğinin özellikle çocukluk çağında ölüm sonuçlanabilen solunum yolu enfeksiyonlarına neden olduğu da belirtilmektedir [4]. Bu nedenle iç mekanlarda hava örnekleme ile birlikte yapı malzemelerinden örnek alınarak rutin izlem yapılması tavsiye edilmektedir [5].

İzlem çalışmalarına göre sahip oldukları geniş yüzey ile bina ve iç mekanların duvarlarından, Gram negatif bakteriler ve mikobakteriler en sık rastlanan gruplar olmak üzere, birçok mantar ve bakteri türünün izole edildiği raporlanmıştır [5, 6]. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi'nin (CDC) 2007 yılında yayınladığı bir rapora göre hastanelerde yaklaşık 1,7 milyon insan hastane kaynaklı enfeksiyona yakalanmış ve bunların 99.000'i hayatlarını kaybetmiştir. Hastane kaynaklı bu enfeksiyonların %70'inin hastane yüzeylerinin ve tıbbi cihazların bakteriyel kontaminasyonundan kaynaklandığı belirtilmiştir [7]. Ofis, sınıf ve ev gibi insanların uzun zaman geçirdiği iç ortamların yüzeylerinden alınan örneklerde de insan ve çevre kaynaklı çok sayıda ve çeşitlilikte bakteri izole edilmiştir [8-10].

Gerek iç hava kalitesinin sağlanması ve korunması, gerekse yüzey kontaminasyonunun giderilmesinde antibakteriyel malzemelerle silme ve silme yöntemleri ile dekontaminasyon işlemleri uygulanmaktadır. Ancak su, deterjan ve dezenfektanların kullanımı, her alana ulaşma zorluğu, uygulanan maddelerin kalıcı etki sağlamayışı gibi nedenler ile dekontaminasyon açısından güvence sağlamamaktadır. Risk kaynağı nesne, cihaz veya duvar gibi geniş yüzeylerin antimikrobiyal madde ile kaplanması mikroorganizma kaynaklı çapraz bulaş önlemede daha kalıcı bir seçenek sağlamaktadır [11]. Bu amaçla hastane, gıda depo ve işleme alanları ile banyo, mutfak gibi bakteri yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde boya içerisine fotoaktif metal oksitleri, akrilikler, kuarternar amonyum tuzları, gümüş nanoparçacıkları ve N-halamin gibi ajanlar eklenerek antibakteriyel özellik kazandırılmaktadır [2, 12].

Çalışmamızda fırça, rulo ve havalı tabanca ile uygulanabilen, iki bileşenli (5/1), düşük oranda solvent içeren poliüretan reçine esaslı, elastik boya içerisine SilQUAT biyositi

eklenmiştir. Boya içerisine eklenen biyosit kuarternar amonyum yapısında olup silan grupları içermektedir. Bileşiğin kuarternar bölgesi hücre membranına etki ederek mikroorganizmaları etkisiz hale getirirken silan grupları kimyasalın yüzeye tutuklanmasını sağlamaktadır [13]. SilQUAT biyositi, Gram negatif *Escherichia coli* ve Gram pozitif *Staphylococcus aureus* temsilci bakterilerine karşı kullanım koşullarındaki antibakteriyel etkinliği laboratuvar ortamında ISO 22196:2011 standart testi modifiye edilerek değerlendirilmiştir [14]. Bunun yanında boya içerisine eklenen bileşiğin, raf ömrü süresince sırasıyla bakteri, maya ve küf temsilci organizmaları olan *S. aureus*, *E. coli*, *Candida albicans* ve *Aspergillus niger*'e karşı antimikrobiyal koruyucu etkinliği de değerlendirilmiştir [15]. SilQUAT bileşiğinin boya ve kutu içi koruyucu olarak etkinliği ile ilgili çalışmaya rastlanmamış olup, bu açıdan özgün bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kullanılan bileşiğin antimikrobiyal etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

2.1. Test Organizmalarının Hazırlanması (Preparation of Test Organisms)

Çalışmada *S. aureus* ATCC 6538 ve *E. coli* ATCC 8739 bakteri suşları ile *C. albicans* ATCC 10231 maya suşu ve *A. niger* ATCC 16404 küfü kullanılmıştır.

E. coli ve *S. aureus* bakteri suşları fosfat tamponu ve gliserin süspansiyonunda - 86°C' de muhafaza edilmiştir. Deneyde kullanılmak üzere, dondurulmuş bakteriler Nutrient Agara (NA, Oxoid) ekim yapıp 24 saat 37°C'de inkübe edilerek canlandırılmıştır. 24 saat bekleme süresi sonunda, bakteriler steril fosfat tamponu içerisinde McFarland 1 bulanıklığına süspansiyon edilip deney standardında belirtildiği üzere son konsantrasyonu 1x10⁵ kob (koloni oluşturan birim) /ml olacak şekilde 1/500 Nutrient Broth (NB, Oxoid) içerisinde sulandırılmıştır.

C. albicans Tryptic Soy Agar (TSA, Oxoid) besiyerine ekim yapıp 30°C'de 24-48 saat; *A. niger* Sabouraud Dextrose Agar (SDA, Oxoid) besiyerine üç nokta ekim yöntemi ile ekilip 28-30°C'de 7 gün inkübe edilerek canlandırılmıştır. Bekleme süresi sonunda, sırasıyla Tryptic Soy Broth (TSB, Oxoid) ile Sabouraud Dextrose Broth (SDB, Oxoid) içerisinde son konsantrasyonu 10⁷ kob/ml olacak şekilde süspansiyon hazırlanmıştır.

2.2. Boyanın in vitro koşullarda Antibakteriyel Etkinliğinin Değerlendirilmesi

(Evaluation of the Antibacterial Effect of Paint at in vitro Conditions)

Antibakteriyel duvar boyasının *S. aureus* ve *E. coli* bakterilerine karşı etkinliği, porsuz, sert yüzeylerin antibakteriyel etkisinin değerlendirilmesinde kullanılan ISO 22196:2011 (International Organization for Standardization - Measurement of Antibacterial Activity of Plastic and Nonporous Surfaces) standardı modifiye edilerek test

edilmiştir. Standarda uygun ebattaki cam levhalar (5x5 cm) üzerine ayrı gruplar halinde antibakteriyel madde içeren boya ve içermeyen boya sürülerek kuruması beklenmiştir. Kurumuş levhalar, üzerlerindeki mikrobiyal yükü gidermek için %70'lik alkol ile silinmiştir. Kurumuş levhalar üzerine 1×10^5 kob/ml bakteri süspansiyonlarından 400 µl damlatılmıştır. Bakteri süspansiyonu ile örneğin tam teması için süspansiyonun üzeri 4x4 cm boyutlarında steril streç film ile kaplanmıştır. Boyalı levhaların bakterilerle %90 oranında nem içeren, 37°C'lik inkübatörde 24 saat süresince teması sağlanmıştır (Şekil 1).

Temas süresi sonunda örnekler nötralize edici solüsyona (SCDLP Broth: Soybean Casein Lecithin Polysorbate 80 Medium) alınarak antibakteriyel maddenin etkinliği durdurulmuştur. 5 dakika nötralizasyon süresi sonunda örnekler homojenizasyon cihazında (stomacher, Biobase, Korea) tutularak, levhalar üzerindeki bakterilerin nötralize edici sıvıya geçmesi sağlanmıştır. Nötralize edici solüsyon steril fosfat tamponu içerisinde 1:10 oranında seri sulandırılmış, tüm sulandırma tüplerinden 1 ml alınarak Plate Count Agar besiyerine (PCA, Oxoid) ekim yapılmıştır. 37 °C'de 24 saat bekletilen Petri kaplarında oluşan koloniler sayılıp, ISO 22196 standardında belirtilen (R) ifadesine göre hesaplama yapılmıştır. Deneyle 3 tekrarlı olarak yürütülmüştür.

$$R = (U_t - A_t)$$

R: Antibakteriyel aktivite değeri

U_t : 24 saatlik temas süresi sonunda kontrol örneklerindeki canlı hücrelerin (kültüre edilebilen / kob/cm²) sayısının logaritması

A_t : 24 saatlik temas süresi sonunda test parçalarındaki canlı hücrelerin (kültüre edilebilen /kob/cm²) sayısının logaritması

Standarda göre 2 ve üzeri R değeri "antibakteriyel" kabul edilmiştir.

2.3. Bileşiğin Boya Katkısı Olarak Koruyucu Etkinliğinin Değerlendirilmesi

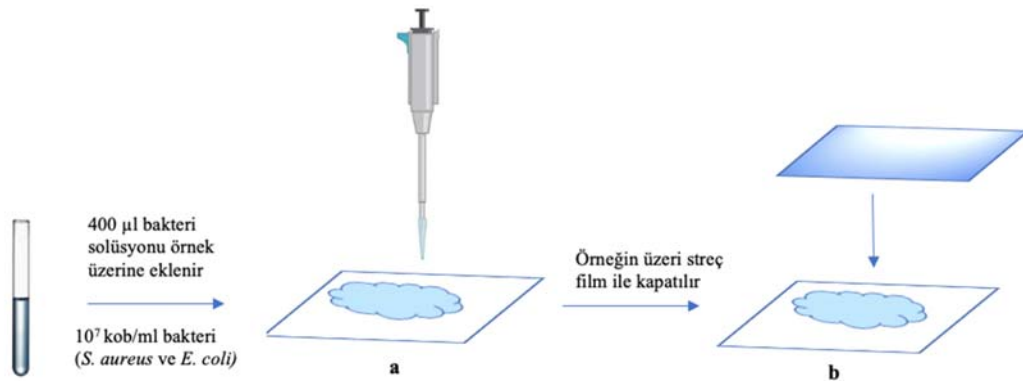
(Evaluation of the Preservative Efficacy of the Compound as a Paint Additive)

Bileşiğin mikrobiyal atağa karşı koruyucu etkisi Uluslararası Biyobozunma Araştırma Grubu'nun (International Biodeterioration Research Group, A Method for Evaluating the Resistance of Water-based Paints to Bacterial Growth in the Wet-State) metodu modifiye edilerek test edilmiştir [15]. Testin ilk aşamasında, boya örneklerinden 1 ml alınarak bakteriler için TSA, küf ve maya sayımı için SDA besiyerlerine ekim yapılarak boya örneklerinin mikrobiyal yükü belirlenmiştir.

Koruyucu etkinlik testlerinde 10 farklı örnek ile deneyler yapılmıştır. Numunelerden dokuzu farklı oran ve özellikle SilQUAT biyositi içerirken, bir adet biyositi içermeyen kontrol grubu hazırlanmış ve boya örneklerine 1'den 9'a kod verilmiştir. 1, 2 ve 3 numaralı örnekler sırasıyla %0,5; 1 ve %1,5 oranında toz halde SilQUAT; 4, 5 ve 6 sırasıyla %0,5; 1 ve %1,5 oranında solvent bazlı SilQUAT; 7, 8 ve 9 sırasıyla %0,5; 1 ve %1,5 oranında su bazlı SilQUAT içeren boya örnekleridir.

Testin ikinci aşamasında, koruyucu etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla tek tek ve karışım olarak bakteri, maya ve küf süspansiyonları hazırlanarak boya örneklerine inokule edilmiştir. İnokulasyon 5 hafta süresince haftalık olarak %0,4 (w/v) olarak tekrarlanmıştır. Boya örneklerine mikroorganizmaların inokulasyonu sonrası, oda sıcaklığında inkübasyonun ardından her boya numunesinden (2. ve 6. günde) örnekler alınarak bakteri sayımı için TSA, küf ve maya sayımı için SDA besiyerlerine ekim yapılmış ve uygun sıcaklıkta inkübe edilmiştir.

Süre sonunda oluşan koloniler sayılarak boya örneklerinin mikroorganizma atağına direnci belirlenmiştir. Dayanıklılık testinin değerlendirilmesi standarda uygun olarak aşağıda belirtilen şekilde yapılmıştır:



Şekil 1. Boya örneklerinin antimikrobiyal etkinliği testini gösteren şema a) 5x5 cm boyutlarında kesilmiş, üzerine bakteri solüsyonu eklenmiş örnek b) Bakteri solüsyonunun temasını arttırmak için levhanın üzerine yerleştirilmiş 4x4 cm boyutlarında steril streç film

(Diagram shows the evaluation of the antibacterial activity test of paint samples a) Samples with a surface area of 5x5 cm and inoculation of bacterial solution b) Coverage with a sterile stretch film (4x4 cm) to ensure maximum contact of bacteria with the sample surfaces)

0 koloni üreme yok	: Çok İyi
1 – 10 koloni	: İyi
11 – 100 koloni	: İyi
101 – 1000 koloni	: Orta
> 1000 koloni	: Yetersiz

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Patojen mikroorganizmalar ile mücadelede enfeksiyondan korunmanın bir yolu da iç mekan duvar yüzeylerinde var olan kontaminasyonları azaltmaktır. Ruiz-Calderon vd. [16] farklı çevresel koşullara sahip evlerde yaptıkları çalışmada, evlerin duvar ve zeminlerinden çok sayıda mikroorganizma izole etmişlerdir. Meadow vd. [17] Amerika’da bir üniversite sınıfının duvar, sıra ve zemininden aldıkları örnekler üzerinde yaptıkları çalışmalarda da toprak, içme suyu veya insan mikrobiyotası kaynaklı bakteri türleri bulmuşlardır. Ayrıca, hastane odalarında yapılan çalışmalardan izole edilen *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus* türleri, *Clostridium difficile*, *Acinetobacter* türleri ve norovirüs gibi etkili patojenlerin insanlara bulaşmasında yüzey/duvar kontaminasyonları önemli bir rol oynamaktadır [18]. Nitekim, son dönemde tüm dünya ülkelerinde salgına yol açan Covid-19 virüsünün de sıcaklık ve nem oranına bağlı olarak farklı yüzeylerde 1 saatten 5 güne kadar hayatta kalabildiği belirlenmiştir [19, 20].

Günümüzde duvar yüzeylerinden kaynaklı kontaminasyonu azaltmak için gümüş içerikli boyalar sıklıkla tercih edilmektedir. Antibakteriyel etkiye sahip olsa da gümüş içeren bileşiklerle dermal ve inhalasyon yoluyla temas, toksik etkiye neden olmaktadır. Sapro vd. [21] yaptığı çalışmada gümüş, kollodial gümüş, mikroskobik gümüş parçalarına uzun süre maruziyet sonucunda arjiri (mavi cilt sendromu) adı verilen hastalığa neden olduğunu bildirmişlerdir. Yine antibakteriyel etkinlik oluşturmak için boya maddesi içerisinde kullanılan metal oksit

nanopartiküllerinin (Titanyum dioksit, çinko oksit, magnezyum oksit) de insan hücrelerine toksik olduğu düşünülmektedir. Karlsson vd [22]; Lai vd. [23] başta titanyum dioksit (TiO₂) olmak üzere metal oksit nanopartiküllerin toksisitesine dair çalışmalar yapmıştır. Singh [24] yaptığı çalışmada yüzey kaplamalarda kullanılan çinko oksit (ZnO) ile uzun süreli maruziyetin toksisite artışında kritik olduğunu belirtmiştir.

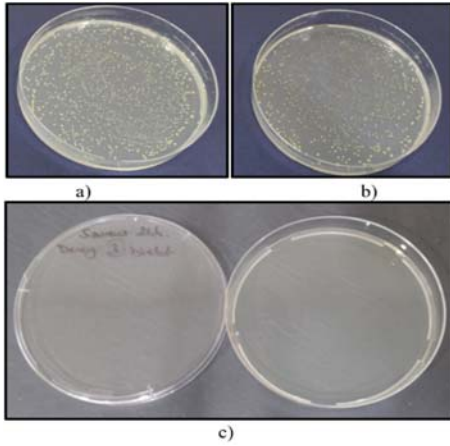
Çalışmada kullanılan SilQUAT biyositininin çevreye ve insana toksik olmadığı ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından (United States Environmental Protection Agency-EPA) belgelenmiştir [25]. Ayrıca Şanlı vd. [26] ve Bal vd. [27] yaptıkları çalışmalarda aynı biyositin farklı materyallerde patojen mikroorganizmalara karşı antibakteriyel etki gösterdiğini belirlemişlerdir.

3.1. Boyanın in vitro Koşullarda Antibakteriyel Etkinliği (The Antibacterial Efficacy of Paint at in vitro Conditions)

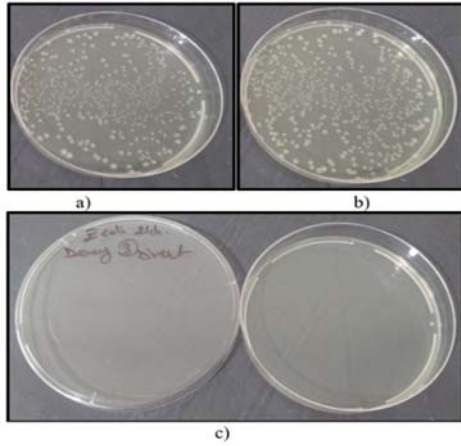
SilQUAT biyositininin saha kullanımından önce boya içerisindeki etkin dozunun belirlenmesi ve antibakteriyel etkinliğinin laboratuvar ortamında test edilmesi gerekmektedir. Antibakteriyel yüzeylerin etkinliklerinin test edilmesi için farklı standartlar tanımlanmıştır. Alıcılar vd. [28] boyanın antibakteriyel etkinliğinin değerlendirilmesinde kalitatif bir yöntem olan disk difüzyon testi kullanmışlardır. Hochmannova ve Vytrasova [29] tarafından yapılan çalışmada ise boya maddesinin antibakteriyel etkinlik testlerinde JIS Z2801, ISO 22196 gibi kantitatif, porsuz ve statik koşullarda kontaminasyona karşı etkinin değerlendirilmesinde kullanılan standartlar kullanılmıştır. Çalışmamızda da Hochmannova ve Vytrasova’nın çalışmalarına paralel olarak, ISO 22196 standardı modifiye edilerek uygulanmıştır. SilQUAT bileşiği eklenmiş antibakteriyel boya örneklerinin 24 saatlik temas süresi sonunda *S. aureus* ve *E. coli* bakterilerine karşı > %99,99 (R > 2) düşüşle güçlü antibakteriyel etki gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 1, Şekil 2-3).

Tablo 1. SilQUAT uygulanmış boyanın ISO 22196 standardına göre *S. aureus* ATCC 6538 ve *E. coli* ATCC 8739 suşlarına karşı 24 saat temas süresi sonunda antibakteriyel etkinliği
(The antibacterial activity of the SilQUAT treated paint against *S. aureus* ATCC 6538 and *E. coli* ATCC 8739 strains after 24 hours of contact time according to ISO 22196)

Örnek	Bakteri	Mikrobiyal Yük kob/ml	% Öldürme Oranı	R değeri
SilQUAT içeren Boya Uygulanmış Levha	<i>S. aureus</i> ATCC 6538	< 10	99,99	4,44
	<i>E. coli</i> ATCC 8739	< 10	99,99	4,62
Kontrol Levha	<i>S. aureus</i> ATCC 6538	1,02 x10 ⁵ (0. saat)	2,76x10 ⁵ (24. saat)	-
	<i>E. coli</i> ATCC 8739	1,30 x10 ⁵ (0. saat)	4,20x10 ⁵ (24. saat)	-
	<i>S. aureus</i> ATCC 6538		1,90x10 ⁵	
Bakteri Kontrol	<i>E. coli</i> ATCC 8739		3,33 x10 ⁵	



Şekil 2. SilQUAT uygulanmış boyanın *S. aureus* bakterisine karşı antibakteriyel aktivitesi a) 0.saat kontrol örneği b) 24.saat kontrol örneği c) 24.saat deney örneği
(The antibacterial activity of the SilQUAT treated paint against *S. aureus* bacteria a) control sample at 0 hour b) control sample after 24 hours contact time c) test sample after 24 hours contact time)



Şekil 3. SilQUAT uygulanmış boyanın *E. coli* bakterisine karşı antibakteriyel aktivitesi a) 0.saat kontrol örneği b) 24.saat kontrol örneği c) 24.saat deney örneği
(The antibacterial activity of the SilQUAT treated paint against *E. coli* bacteria a) control sample at 0 hour b) control sample after 24 hours contact c) time test sample after 24 hours contact time)

3.2. Boya katkısı Antibakteriyel Koruyucu Etkinliği (Evaluation of the Preservative Efficacy of the Compound as a Paint Additive)

Testte bakteriler 1×10^9 kob/ml, maya ve küf 1×10^7 kob/ml inokulum konsantrasyonlarında kullanılmıştır.

Antibakteriyel boya numunelerinin üretimden dağıtım, depolama ve son kullanımına kadar geçen sürede uygulanan bileşiğin koruyucu etkinliğinin devamlılığı, Uluslararası Biyolojik Bozunum Araştırma Grubu'nun yayınladığı standarda göre test edilmiş [15] ve antibakteriyel boyanın depolama süresince bakteri ve küflere karşı çok iyi derecede dayanıklılık gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 3- 9). Dayanıklılık testi öncesinde örneklerin mikrobiyal yük sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Boya örneklerinin mikrobiyal yükleri (kob/g)
(Microbial loads of tested paint samples (cfu* / g))

Örnekler	Bakteri	Mantar
Kontrol	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0

*cfu: colony forming unit

SilQUAT bileşiğinin kutu içi koruyucu etkinliği ve mikroorganizma atağına karşı dayanıklılığı Tablo 3- 9'da verilmiştir. Bakteri ve küf ve mayaların üreme oranları;
0: Üreme yok, **6:** Yoğun üreme olarak belirlenmiştir.

Kutu içi koruyucu içermeyen (negatif kontrol) örneğinde mikroorganizma üremesi gözlenirken, koruyucu içeren örnekler bakteri, mantar, maya organizmalarının tek başlarına ve karışım halde üremelerini engelleyerek “çok iyi derecede” dayanıklılık göstermiştir.

Tablo 3. SilQUAT bileşiği örneklerinin *E. coli* ATCC 8739 suşuna karşı kutu içi koruyucu etkinliği
(In-can preservative efficacy of SilQUAT compounds against *E. coli* ATCC 8739 strain)

Örnekler	Zaman									
	Hafta 1		Hafta 2		Hafta 3		Hafta 4		Hafta 5	
	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün
Kontrol	0	0	0	1	1	2	3	3	4	5
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 4. SilQUAT bileşigi örneklerinin *S. aureus* ATCC 6538 suşuna karşı kutu içi koruyucu etkinliği
(In-can preservative efficacy of SilQUAT compounds against *S. aureus* ATCC 6538 strain)

Örnekler	Zaman									
	Hafta 1		Hafta 2		Hafta 3		Hafta 4		Hafta 5	
	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün
Kontrol	0	0	1	2	3	3	4	5	6	6
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5. SilQUAT bileşigi örneklerinin *S. aureus* ve *E. coli* karışımına karşı kutu içi koruyucu etkinliği
(In-can preservative efficacy of SilQUAT compounds against *S. aureus* and *E. coli* mixture)

Örnekler	Zaman									
	Hafta 1		Hafta 2		Hafta 3		Hafta 4		Hafta 5	
	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün
Kontrol	0	0	1	2	2	2	4	4	5	5
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 6. SilQUAT bileşigi örneklerinin *A. niger* ATCC 16404 küfüne karşı kutu içi koruyucu etkinliği
(In-can preservative efficacy of SilQUAT compounds against *A. niger* ATCC 16404 mold)

Örnekler	Zaman									
	Hafta 1		Hafta 2		Hafta 3		Hafta 4		Hafta 5	
	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün
Kontrol	0	0	1	1	1	1	2	3	3	3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 7. SilQUAT bileşiği örneklerinin *C. albicans* ATCC 10231 mayasına karşı kutu içi koruyucu etkinliği
(In-can preservative efficacy of SilQUAT compounds against *C. albicans* ATCC 10231 yeast)

Örnekler	Zaman									
	Hafta 1		Hafta 2		Hafta 3		Hafta 4		Hafta 5	
	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün
Kontrol	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 8. SilQUAT bileşiği örneklerinin *A. niger* ve *C. albicans* karışımına karşı kutu içi koruyucu etkinliği
(In-can preservative efficacy of SilQUAT compounds against *A. niger* and *C. albicans* mixture)

Örnek Kodları	Zaman									
	Hafta 1		Hafta 2		Hafta 3		Hafta 4		Hafta 5	
	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün
Kontrol	0	0	1	1	1	2	2	3	3	4
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 9. SilQUAT bileşiği örneklerinin *S. aureus*, *E. coli*, *A. niger* ve *C. albicans* karışımına karşı kutu içi koruyucu etkinliği(In-can preservative efficacy of SilQUAT compounds against *S. aureus*, *E. coli*, *A. niger* and *C. albicans* mixture)

Örnek Kodları	Zaman									
	Hafta 1		Hafta 2		Hafta 3		Hafta 4		Hafta 5	
	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün	2. gün	6. gün
Kontrol	0	0	1	2	2	3	4	5	6	6
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmanın sonuçlarına dayanarak antibakteriyel özelliklere sahip boyanın kullanılması ile iç ortamlarda yüzeye temas ile oluşabilecek çapraz kontaminasyon ve enfeksiyonların önüne geçilebilecektir. Çalışmamızda kullanılan bileşik çevreye ve insana toksik olan partikül salınımı yapmadığı için uzun süreli maruziyette herhangi bir toksisite tehlikesi

oluşturmamaktadır. Hem toksik olmaması hem de güçlü antibakteriyel etkisiyle SilQUAT eklenmiş boyanın iç mekan duvar yüzeylerinde kullanılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (Proje Numarası FGD-2017-23569; BEK-2016-23307) ve

TÜBİTAK (Proje Numarası 117M565) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, test materyalinin sağlanması ve bilimsel desteği için Prof. Dr. Yusuf Menceloğlu'na (Sabancı Üniversitesi); test edilen boya örneklerinin hazırlanması için Polisan Kansai Boya San. Tic. AŞ. AR-GE ekibine, deneylerdeki yardımları için yüksek lisans öğrencisi Jale Nil Gürsoy'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hoque J., Akkapeddi P., Yadav V., Manjunath G.B., Uppu D.S, Konai M. M., Yarlagadda V., Sanyal K., Haldar J., Broad Spectrum Antibacterial and Antifungal Polymeric Paint Materials: Synthesis, Structure–Activity Relationship, and Membrane-Active Mode of Action, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 7 (3), 1804–1815, 2014.
2. Kocer H.B., Cerkez I., Worley S. D., Broughton R. M., Huang T.S., N-Halamine Copolymers for Use in Antimicrobial Paints, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 3 (8), 3189–3194, 2011.
3. Çalışkan S., Altunok T., Başkaya Ş., Güngüneş H.M, Numerical Analysis of a Commercial Display Cabinet With Air Curtain, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26 (2), 415-425, 2011.
4. Lika M., Mankolli H., The Relationship Between the Air Pollution Elements and Environmental Microorganisms: Durres, Albania Example, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (1), 145-150, 2013.
5. Verdier T., Coutand M., Bertron A., Roques C., A Review of Indoor Microbial Growth Across Building Materials and Sampling and Analysis Methods, *Build. Environ.*, 80, 136- 149, 2014.
6. Elumalia P., Elumalia E.K., David E., Fungi Associated with Deteriorations of Painted Wall Surfaces: Isolation and Identification, *European Journals of Academic Essays*, 1 (3), 48-50, 2014.
7. Hwang G.B., Patir A., Allan E., Nair S., Parkin I.P., Superhydrophobic and White Light-Activated Bactericidal Surface through a Simple Coating, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 9 (34), 29002-29009, 2017.
8. Kelley S.T., Gilbert J.A., Studying the Microbiology of the Indoor Environment, *Genome Biol.*, 14 (2), 202, 2013.
9. Chase J., Fouquier J., Zare M., Sonderegger D.L., Knight R., Kelley S.T., Siegel J., Caporaso J.G., Geography and Location are the Primary Drivers of Office Microbiome Composition, *MSystems*, 1 (2), e00022-16, 2016.
10. Maamar S.B., Hu J., Hartmann E.M., Implications of Indoor Microbial Ecology and Evolution on Antibiotic Resistance, *J. Exposure Sci. Environ. Epidemiol.*, 1-15, 2019.
11. Mukherjee K., Rivera J.J., Klibanov A.M., Practical Aspects of Hydrophobic Polycationic Bactericidal “Paints”, *Appl Biochem. Biotechnol*, 151 (1) , 61–70, 2008.
12. Krishnamoorthy K., Premanathan M., Veerapandian M., Kim S. J., Nanostructured Molybdenum Oxide-Based Antibacterial Paint: Effective Growth Inhibition of Various Pathogenic Bacteria, *Nanotechnology*, 25 (31), 315101, 2014.
13. Menceloğlu Y. Z., Acataş K., Simsek E., Taralp A., Preparation of Substantially Quaternized Ammonium Organosilane Composition and Selfstabilizing Aqueous Solution Thereof, *PCT/IB2010/051747*, 2011.
14. ISO 22196:2011. Measurement of Antibacterial Activity on Plastics and Other Non-Porous Surfaces. <https://www.iso.org/standard/54431.html>. Yayın Tarihi Ağustos, 2011. Erişim Tarihi Aralık 15, 2019.
15. Biodeterioration Research Group (IBRG draft P00/009.1(A Method for Evaluating the Resistance of Water-based Paints to Bacterial Growth in the Wet-State. - Draft (9). <http://www.ibrg.org>. Yayın Tarihi Kasım, 2000. Erişim Tarihi Aralık, 2019.
16. Ruiz- Calderon J.F., Cavallin H., Song S.J., Novoselac A., Pericchi L.R., Hernandez J.N., Rios R., Branch O.H., Pereira H., Paulino L.C., Blaser M.J., Knight R., Dominguez-Bello M.G., Walls Talk: Microbial Biogeography of Homes Spanning Urbanization, *Sci. Adv.*, 2 (2), e1501061, 2016.
17. Meadow J.F., Altrichter A.E., Kembel S.W., Moriyama M., O’connor, T.K., Womack A.M., Brown G.Z., Green J.L., Bohannon B.J.M., Bacterial Communities on Classroom Surfaces Vary with Human Contact, *Microbiome*, 2 (1), 7, 2014.
18. Bellotti N., Deya C., Natural Products Applied to Antimicrobial Coatings, *Stud. Nat. Prod. Chem.*, 60, 485-508, 2018.
19. Dietz L., Horve P. F., Coil D. A., Fretz M., Eisen J. A., Kevin V.D.W., 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations to Reduce Transmission, *Msystems*, 5 (2), e00245-20, 2020.
20. Kampf G., Todt D., Pfaender S., Steinmann E., Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and its inactivation with biocidal agents, *Journal of Hospital Infection*, 104, 246-251, 2020.
21. Sapra K., Sapra A., Argyria: The Blue Skin Rare Disease, *Asian Pac. J.Health Sci.*, 1 (3), 193-196, 2014.
22. Karlsson H.L., Gustafsson J., Cronholm P., Möller L., Size-Dependent Toxicity of Metal Oxide Particles—A Comparison Between Nano- and Micrometer Size, *Toxicol. Lett.*, 188 (2), 112–118, 2009.
23. Lai J.C.K., Lai M.B., Jandhyam S., Dukhande V.V., Bhushan A., Daniels C.K., Leung S.W., Exposure to Titanium Dioxide and Other Metallic Oxide Nanoparticles Induces Cytotoxicity on Human Neural Cells and Fibroblasts, *Int. J. Nanomed.*, 3 (4), 533–545, 2008.
24. Singh S., Zinc Oxide Nanoparticles Impacts: Cytotoxicity, Genotoxicity, Developmental Toxicity, and Neurotoxicity, *Toxicol. Mech. Methods*, 29 (4), 300-311, 2019.
25. EPA 739-R-07-007, United States Environmental Protection Agency. <https://nepis.epa.gov>. Yayın Tarihi, 2007. Erişim Tarihi Aralık, 2019.

26. Şanlı N.Ö., Menceloğlu Y.Z., Bal S., The Effectiveness of the Antimic® Biocide against Nosocomial Bacteria Specified by Different Standard Methods, *Eur J Biol*, 76 (2), 51-6, 2017.
27. Bal S., Şanlı N.Ö., Menceloğlu Y.Z., Alternative Pathogen Control Chemistry of Glass Fiber-Reinforced Polyester Panels for Cooling Towers, *J. Mater. Eng. Perform.*, 28 (10), 6011-6024, 2019.
28. Alicılar A., Ökenek F., Kayran B., Tutak M., Flame Retardation, Smoke Suppression and Antibacterial Efficiencies of Boron Additives in Styrene Acrylic Paints, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (4), 701-709, 2015.
29. Hochmannova L., Vytrasova J., Photocatalytic and Antimicrobial Effects of Interior Paints, *Prog. Org. Coat.*, 67 (1), 1-5, 2010.