



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BORİK ASİT ESTERİNİN
BOYA SANAYİSİNDE
ANTİBAKTERİYEL PERFORMANSININ
SAPTANMASI**

MURAT UZAN

DOKTARA TEZİ
İş Güvenliği Anabilim Dalı
İş Güvenliği Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Emin ARCA

İSTANBUL, 2024



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BORİK ASİT ESTERİNİN
BOYA SANAYİSİNDE
ANTİBAKTERİYEL PERFORMANSININ
SAPTANMASI**

MURAT UZAN

726418009

DOKTARA TEZİ
İş Güvenliği Anabilim Dalı
İş Güvenliği Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Emin ARCA

İSTANBUL, 2024

İTHAF

Büyükbabam Hasan Uzan'a ithaf ediyorum

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana rehberlik eden, bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren kıymetli danışmanım Prof. Dr. Emin Arca'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hocamın akademik bilgi birikimi ve araştırma alanındaki derin bilgisi, bu çalışmanın başarısında büyük rol oynamıştır. Kendisi, tez sürecinin her aşamasında sabırla ve özveriyle bana yol gösterdi.

Deneyisel çalışmalarda bana büyük destek sağlayan Zekir Şenol ve Seval Karahasan'a da ayrıca teşekkür etmek isterim. Laboratuvar çalışmaları sırasında gösterdikleri iş birliği ve sağladıkları değerli katkılar olmadan bu araştırma mümkün olamazdı. Deneylerin planlanması ve yürütülmesi aşamalarında sundukları yardımlar, çalışmanın kalitesini önemli ölçüde artırmıştır.

Tez çalışmamın makale yayını sürecinde desteğini esirgemeyen Dr. Hande Ergin Esen'e de içten teşekkürlerimi sunarım. Makale yazımı ve yayını sırasında sağladığı geri bildirimler ve tavsiyeler, çalışmamın bilimsel değerini ve yaygın etkisini artırmada çok önemli olmuştur.

Ayrıca, bu süreçte bana her zaman manevi destek olan, sabır ve anlayışla yanımda duran sevgili aileme sonsuz minnettarım. Onların varlığı, bu zorlu süreçte bana güç ve motivasyon kaynağı oldu. Her adımda yanımda olduklarını bilmek, karşılaştığım zorlukları aşmamda büyük bir destek sağladı.

Son olarak, bu çalışmada dolaylı ya da dolaysız katkısı olan tüm arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma da teşekkür ederim. Onların teşvik edici sözleri ve değerli fikirleri, bu çalışmamın tamamlanmasında önemli bir rol oynadı.

Ağustos, 2024

Murat UZAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
YENİLİK BEYANI	ix
SEMBOLLER LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. GENEL BİLGİLER	3
1.1.1. Boya.....	3
1.1.1.1. Bağlayıcılar	4
1.1.1.2. Pigmentler	5
1.1.1.3. Çözücüler	5
1.1.1.4. Katkı Maddeleri	6
1.1.2. Bakteriler.....	9
1.1.3. Teknik Bilgiler	11
1.1.3.1. pH.....	11
1.1.3.2. Temas Açısı	11
1.1.3.3. Yüzey Gerilim Enerjisi.....	13
1.1.4. Antibakteriyel Boya ve İSG	15
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
2.1. PH ÖLÇÜMÜ	19
2.1.1. Numunenin Hazırlanması	20
2.1.2. pH Metre Kullanımı.....	20
2.1.3. pH Değerinin Okunması	20
2.2. ANTİBAKTERİYEL ETKİNLİK TESTLERİ.....	21
2.2.1. Escherichia Coli Etkinlik Testi	21
2.2.1.1. İnkübasyon Süreci.....	21
2.2.1.2. Azalma Oranlarının Belirlenmesi	22
2.2.1.3. Koloni Oluşturmayan Birimler	22

2.2.2. Staphylococcus Aureus Etkinlik Testi.....	22
2.2.2.1. İnkübasyon Süreci.....	23
2.2.2.2. Azalma Oranlarının Belirlenmesi	23
2.2.2.3. Koloni Oluşturmayan Birimler	23
2.3. ÖRTME GÜCÜ TESTİ.....	24
2.3.1. Örnek Hazırlığı ve Kurutma	24
2.3.2. Renk Ölçüm Prosedürü.....	24
2.4. PARLAKLIK ÖLÇÜMÜ	25
2.4.1. Örnek Hazırlığı.....	25
2.4.2. Ölçüm Yöntemi	25
2.4.3. Veri analizi ve Sınıflandırma	26
2.5. TEMAS AÇISI ÖLÇÜMÜ	26
2.6. YÜZEY GERİLİM ÖLÇÜMÜ	27
2.7. VİSKOZİTE ÖLÇÜMÜ	28
2.7.1. Spindle Seçimi.....	28
2.7.2. Numune Hazırlığı ve Uygulama	28
2.7.3. Cihazın Çalıştırılması	28
2.7.4. Ölçüm ve Veri Kaydı.....	29
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
3.1. E.COLİ ETKİNLİK TESTİ SONUÇLARI	30
3.2. S. AUREUS ETKİNLİK TESTİ SONUÇLARI.....	31
3.3. TEMAS AÇISI ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	32
3.4. YÜZEY GERİLİM ENERJİSİ SONUÇLARI	33
3.5. FİZİKSEL ANALİZ SONUÇLARI.....	34
4. SONUÇLAR	36
KAYNAKÇA	39
ÖZGEÇMİŞ.....	44

ÖZET

BORİK ASİT ESTERİNİN BOYA SANAYİSİNDE ANTİBAKTERİYEL PERFORMANSININ SAPTANMASI

Mikroorganizmalar, insan sağlığını olumsuz olarak etkileyen enfeksiyonlara neden olduğu için bakteri, mantar ve parazitlerin kontrolü önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde mikroorganizmaların çoğalmasının kontrolü sağlamak amacıyla antibakteriyel maddeler kullanılmakta olmasına rağmen yeterli gelmemektedir. Mikroorganizma çoğalmasını engellemenin en önemli parametresi tutunabileceği yeri ortadan kaldırmaktır. İşverenler, çalışanların sağlık ve güvenliğini korumak amacıyla biyolojik etkenlere karşı önlem almak zorundadır. Çalışma koşulları, biyolojik etkenlerin ortama yayılmasını engelleyici nitelikte olmalı veya ortamda mümkün olan en az düzeyde olmasını sağlamalıdır. Alınacak hijyen önlemleri biyolojik etkenlerin dışarıya taşınmasına izin vermemeli, sızması engellenmeli veya bu etkenlerin azaltılmasını sağlamaya uygun nitelikte olmalıdır. Bor, doğada bileşikler halinde bulunan ve çok çeşitli uygulamalarda kullanılan bir elementtir. Sağlık alanında da bor ve bor bileşenlerinin önemli bir yeri vardır, özellikle antibakteriyel özellikleri öne çıkmaktadır. Türkiye'nin değerli yeraltı kaynaklarından biri olan bor madeninin yan ürünü borik asidin, kapsamlı in vitro ve in vivo araştırmalardan sonra alternatif bir antibakteriyel ajan olarak potansiyel taşıdığı sonucuna varılmıştır. Covid-19 pandemisi ile birlikte salgın hastalıklara karşı antimikrobiyal özellikte olan ürünlerin üretilmesi hız kazanmıştır. Borik asit organik bazlar ile reaksiyona sokularak borik asit esteri sentezlendi. Borik asit esteri çeşitli oranlarda iç cephe boyasının içine katıldı ve boyanın yapısını bozmadığı tespit edildi. Yapılan literatür araştırmasında borik asit kullanılarak antibakteriyel duvar boyası üretilmediği saptandı. Bu çalışmada, gram-negatif ve gram-pozitif özellikte iki çeşit bakteri türü kullanıldı. Sağlık sorunlarına neden olan ve çeşitli antimikrobiyal maddelere karşı zamanla direnç geliştiren Escherichia coli ve Staphylococcus aureus bakterileri üzerinde çalışma yapılmıştır. Şahit numuneye belirli oranlarda eklenen borik asit esterinin: yüzey enerjisi, pH, parlaklık, örtme gücü ve viskozite değerlerini hangi ölçüde etkilediği belirlendi. Çalışma, en düşük yüzey enerjisine sahip kuru filmin %0,075 aktif madde içeren numune olduğunu ortaya koydu. %0,075 aktif madde içeren numunenin escherichia coli bakterisi üzerinde en yüksek antibakteriyel etki seviyesi sergilerken staphylococcus aureus üzerinde en düşük antibakteriyel etkiyi gösterdi.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE ANTIBACTERIAL PERFORMANCE OF BORIC ACID ESTER IN THE PAINT INDUSTRY

Microorganisms, which cause infections negatively impacting human health, make the control of bacteria, fungi, and parasites a significant issue. Although antibacterial agents are used to control microbial growth today, they often prove insufficient. The most critical parameter in preventing microorganism proliferation is to eliminate potential sites of adhesion. Employers are required to take measures against biological agents to protect the health and safety of their employees. Working conditions should either prevent the spread of biological agents into the environment or minimize their presence to the lowest possible level. Hygiene measures should not allow the transfer of biological agents outside, prevent leakage, or should be appropriate for reducing these agents. Boron is an element found in nature in compound forms and is used in a wide range of applications. In the healthcare sector, boron and its compounds hold significant importance, particularly due to their antibacterial properties. It has been concluded that boric acid, a by-product of boron ore one of Turkey's valuable mineral resources has potential as an alternative antibacterial agent based on comprehensive in vitro and in vivo studies. The COVID-19 pandemic has accelerated the production of antimicrobial products against infectious diseases. Boric acid was reacted with organic bases to synthesize boric acid esters. These esters were added to interior wall paint in various proportions, and it was determined that they did not alter the paint's structure. A literature review revealed that antibacterial wall paint using boric acid had not been produced. This study utilized two types of bacteria with gram-negative and gram-positive characteristics. Research was conducted on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, which cause health problems and develop resistance to various antimicrobial agents over time. The study determined the impact of boric acid ester, added in specific proportions to the control sample, on surface energy, pH, brightness, coverage, and viscosity values. The research identified that the sample with 0.075% active substance had the lowest surface energy in the dry film. This sample with 0.075% active substance exhibited the highest antibacterial effect against *Escherichia coli* but showed the lowest antibacterial effect against *Staphylococcus aureus*.

YENİLİK BEYANI

BORİK ASİT ESTERİNİN BOYA SANAYİSİNDE ANTİBAKTERİYEL PERFORMANSININ SAPTANMASI

Bu doktora tezi, borik asit esterinin boya sanayisinde antibakteriyel performansını inceleyerek önemli bir yenilik sunmaktadır. Çalışmamız, birkaç açıdan özgün ve yenilikçidir:

1. Antibakteriyel Boyaların Geliştirilmesi: Bu çalışma, bor madeninden elde edilen borik asitin antibakteriyel özelliklerini kullanarak, iç cephe boyalarında etkin bir antibakteriyel çözüm geliştirmeyi hedeflemektedir. Dünyadaki bor rezervlerinde Türkiye'nin payı %72,3'tür. Literatür araştırmaları, borik asit esteri kullanılarak antibakteriyel duvar boyası üretimi üzerine yapılan çalışmaların olmadığını göstermektedir. Bu bağlamda, çalışma, antibakteriyel boyaların geliştirilmesi alanında önemli bir boşluğu doldurmaktadır.
2. İnovatif Sentetik Yaklaşımlar: Borik asit esterlerinin sentezi ve bu bileşiklerin boya matrisine entegre edilmesi, yeni ve yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışma, borik asit esterlerinin sentezi ve uygulama yöntemlerinin optimize edilmesiyle, boya sanayisinde kullanılabilecek etkili antibakteriyel katkı maddeleri geliştirmektedir.
3. Geniş Spektrumlu Antibakteriyel Etki: Çalışmada, gram-negatif escherichia coli ve gram-pozitif staphylococcus aureus gibi önemli patojenler üzerinde borik asit esterlerinin antibakteriyel etkileri değerlendirilmiştir. Bu, geniş spektrumlu antibakteriyel etkinliğe sahip boyaların geliştirilmesi açısından önemli bir adımdır.
4. Yüzey Enerjisi ve Diğer Fiziksel Özelliklerin İncelenmesi: Borik asit esterlerinin boyanın yüzey enerjisi, pH, parlaklık, örtme gücü ve viskozite gibi fiziksel özellikler üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu parametrelerin optimize edilmesi, boyaların hem estetik hem de fonksiyonel açıdan üstün özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır.
5. Pandemi ve Çalışan Sağlığı İçin Önemi: Covid-19 pandemisi ile birlikte, antimikrobiyal özelliklere sahip ürünlerin önemi artmıştır. Bu çalışma, salgın hastalıklara karşı koruyucu önlemler geliştirilmesine katkı sağlamakta olup halk sağlığını ve çalışan sağlığını korumaya yönelik inovatif çözümler sunmaktadır.

SEMBOLLER LİSTESİ

θ : Temas açısı

γ_{sl} : Katı-sıvı ara yüzey gerilimi

γ_{lv} : Sıvı-hava yüzey gerilimi

γ_{sv} : Katı-hava yüzey gerilimi

γ_{sv}^d : Katı-hava yüzey gerilim enerjisinin dispersive bileşeni

γ_{sv}^h : Katı-hava yüzey gerilim enerjisinin hidrojen bileşeni

γ_{lv}^d : Sıvının hava ile teması sırasında yüzey enerjisinin dispersif (polar olmayan) bileşeni

γ_{lv}^h : Sıvının hava ile temasındaki yüzey enerjisinin hidrojen bağları (polar) ile ilgili bileşeni

β : Neumann's sabiti

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece

%: Yüzde

<: Küçüktür

>: Büyüktür

KISALTMALAR

B₂O₃: Amorf Bor Oksit

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

E.Coli : Escherichia Coli

S.Aureus: Staphylococcus Aureus

İSG: İş Sağlığı ve Güvenliği

SFE: Yüzey Gerilim Enerjisi

DNA: Deoksiriboz Nükleik Asit

PVC: Polivinil Klorür

Atm: Atmosfer Basıncı Birimi

Rpm: Revolutions Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)

TEA: Triethanolamin

EN ISO: European Norm International Organization of Standardization

pH: Asitlik Derecesi

J: Joule

L: Litre

µm: Mikrometre

µl: Mikrolitre

cm: Santimetre

cm²: Santimetrekare

ATCC: American Type Culture Collection

KOB: Koloni Oluşturan Birim

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Gram Negatif ve Gram Pozitif Bakterilerinin Hücre Yapıları	10
Şekil 1.2 Temas açısı yüzey gerilimi	12
Şekil 1.3 Gonyometre.....	13
Şekil 1.4 Sıvı molekülleri arası çekim kuvveti	14
Şekil 1.5 Biyolojik tehlike işareti.....	18
Şekil 2.1 pH Ölçüm Cihazı.....	20
Şekil 2.2 Spektrofotometre Cihazı	24
Şekil 2.3 Glossmetre Cihazı	25
Şekil 2.4 Temas Açısı Ölçüm Düzeneği.....	27
Şekil 2.5 Gonyometrede Çekilmiş Bazı Fotoğraflar	27
Şekil 3.1 Aktif madde oranının bir fonksiyonu olarak yüzey enerjisi	34

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Şahit Numune Bileşenleri.....	19
Tablo 2.2 Kuru Film Üzerindeki Canlı Mikroorganizma sayıları (0. Saat).....	22
Tablo 2.3 Kuru Film Üzerindeki Canlı Mikroorganizma sayıları (0. Saat).....	23
Tablo 2.4 Parlaklık Sınıflandırması	26
Tablo 3.1 Kuru film üzerindeki escherichia coli mikroorganizma sayıları (0. ve 24. saat).....	30
Tablo 3.2 Kuru film üzerindeki escherichia coli mikroorganizma sayıları (0. ve 24. saat).....	31
Tablo 3.3 Bakterilerin azalma oranları	31
Tablo 3.4 Temas açısı ölçüm sonuçları.....	32
Tablo 3.5 Yüzey gerilim enerjisi sonuçları	33
Tablo 3.6 Fiziksel analiz sonuçları	34

1. GİRİŞ

Antibakteriyel boyalar, yüzeylerinde bakteri üremesini ve çoğalmasını engelleyen veya mevcut bakterileri yok eden özelliklere sahip boyalardır. Bu boyaların temel amacı, bakteri ve küf oluşumunu engellemek, hava geçirgenliğini sağlamak ve ortamın mikroorganizma yükünü azaltmaktır. Antibakteriyel boyalar, hastalıkların topluma yayılma riski yüksek olan hastaneler, alışveriş merkezleri, iş merkezleri, marketler, mağazalar ve eğitim kurumları gibi yoğun kullanılan alanlarda tercih edilmektedir. Mikroorganizma üreme olasılığı yüksek ortamlarda antibakteriyel boya kullanımı, önemli bir koruma yöntemi olarak değerlendirilmektedir.

Sağlık hizmetlerinin sunulduğu yerlerde, gıda üretimi yapılan fabrikalarda, atıkları imha eden fabrikalarda, kanalizasyon ve arıtma tesislerinde, hayvanlarla ve/veya hayvansal ürünlerle ilgili çalışma yapan işyerlerinde, klinik, veterinerlik ve teşhis laboratuvarlarında, tarımsal faaliyetlerde bulunan işyerlerinde antibakteriyel boya kullanımı önem arz etmektedir.

İşverenler, çalışanların sağlık ve güvenliğini korumak amacıyla biyolojik etkenlere karşı gerekli önlemleri almakla yükümlüdür. Çalışma koşulları, biyolojik etkenlerin ortama yayılmasını engelleyici veya bu etkenlerin ortamda mümkün olan en düşük düzeyde bulunmasını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Alınacak hijyen önlemleri, biyolojik etkenlerin dışarıya taşınmasını önlemeli, sızmasını engellemeli ve bu etkenlerin azaltılmasını sağlayacak nitelikte olmalıdır [1].

Mikroorganizmalar, insan sağlığını olumsuz etkileyen enfeksiyonlara yol açabildiğinden, bakteri, mantar ve parazitlerin kontrolü önemli bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Günümüzde mikroorganizmaların çoğalmasını kontrol etmek amacıyla antibakteriyel maddeler kullanılmakta olmasına rağmen, bu tedbirler çoğu zaman yeterli gelmemektedir. Zamanla mikroorganizmalar, antibakteriyel maddelere karşı direnç geliştirmekte ve bu durum, hastaların mikrobiyal enfeksiyonlarının antibiyotiğe dirençli hale gelerek tedavisinin zorlaşmasına yol açmaktadır. Bu sorunu önlemenin en etkili yolu, mikroorganizmaların tutunup çoğalabileceği ortamların ortadan kaldırılmasıdır. Bakteriler, tutundukları yüzeylerde polisakkarit temelinde biyofilm oluşturmakta ve oluşturdukları biyofilm, biyositlere dirençlerini bin kat artırabilmektedir. Bu durum, hem sağlık koşullarını olumsuz yönde etkilemekte hem de yüzeylerin yapısını bozmaktadır [2].

Boyalar, büyük ölçüde organik yapıya sahip olmaları nedeniyle mikroorganizmalar için bir besin kaynağı teşkil etmektedir. Çevrede yaygın olarak bulunan mikroorganizmalar, kaplamalar üzerinde çürümeye, viskozite kaybına, emülsiyon bozulmasına, gaz oluşumuna ve diğer istenmeyen fiziksel ve kimyasal değişimlere neden olabilir. Bu etkiler, renk bozulması, yapışma kaybı ve kaplamanın tamamen bozulması gibi sonuçlara yol açmaktadır. Mikroorganizmalar, film üzerindeki etkilerinin yanı sıra, üretim sürecinde de boyayı çeşitli yollarla kirletebilirler. Üretim sürecinde kullanılan ham maddeler, su, kaplar ve ekipmanlar, hijyenik olmayan koşullarda olabilir ve bu durum mikroorganizma kontaminasyonuna neden olabilir [3].

Kaplamaların ıslak haldeyken, yani kutu içinde bulunduğu durumda bakteriler, mantarlar ve alglerden korunması için kutu içi koruma sağlayacak maddelerin eklenmesi önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, birçok üretici firma hem kutu içi koruma sağlamak hem de kaplama filmini korumak amacıyla boya formülasyonlarına antimikrobiyal ajanlar dahil etmektedir. Mikroorganizmalar, gaz üretimine yol açarak tenekelelerin şişmesine ve patlamasına, ayrıca rahatsız edici kötü kokuların yayılmasına neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra, mikroorganizmalar film ve uygulama özelliklerinin bozulmasına da yol açmaktadır [3].

Türkiye'nin önemli yeraltı kaynaklarından biri olan bor madeninin bir yan ürünü olan borik asidin, kapsamlı in vitro ve in vivo araştırmalar sonucunda alternatif bir antibakteriyel ajan olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir [4].

Türkiye, dünya genelinde en büyük bor rezervlerine sahip ülkedir ve küresel bor rezervlerinin %72,3'ünü barındırmaktadır. Buna karşın, ABD'nin bor rezervleri bu oranın %6,8'ini, Rusya'nın ise %8,5'ini oluşturmaktadır. Türkiye'deki bor rezervlerinin ömrü yaklaşık 567 yıl olarak hesaplanmaktadır. Dünyanın ikinci büyük bor rezervine sahip ülkesi olan Rusya'nın rezervleri ise sadece 67 yıl sürecek kapasiteye sahiptir. Bu nedenle Türkiye, bor mineralinin en büyük ihracatçısı konumundadır [5].

Bor, doğada bileşikler halinde bulunan ve geniş bir kullanım yelpazesine sahip bir elementtir. Bor ve bor bileşenleri, iletişim teknolojileri, savunma, tekstil, tarım, cam, seramik, inşaat ve ilaç sanayilerinden enerji sektörüne kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. [6]. Bor ve bor bileşenleri, sağlık alanında da çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu bileşenlerin sağlık alanındaki en önemli özelliklerinden biri antibakteriyel etkileridir. Bu özelliği nedeniyle, antibiyotiklerde, antiseptiklerde, sterilizasyon işlemlerinde ve antibakteriyel kremlerde kullanılmaktadır [7]. Bor ve bor ürünleri, sağlık alanında antimikrobiyal özellikleri nedeniyle

antiseptik olarak lens solüsyonları, kremler, gargara ve göz damlaları gibi çeşitli tıbbi ürünlerin formülasyonlarında yer almaktadır [8].

Bor bileşikleri, gram-negatif ve gram-pozitif bakterilerini yok etme ve antifungal etkiye sahiptirler [9]. Bor bileşenleri, mikrobiyal membranla fosfolipidler, lipopolisakkaritler ve glikoproteinler gibi bileşenlerle etkileşime girerek fonksiyonel aktivitelerini değiştirebilir. Bunun yanı sıra borik asit ayrıca mikrobiyal membranı geçebilir ve metabolik süreçleri bozan enzimleri engelleyerek inhibe edebilme yeteneğine sahiptir [10]. Yapılan bazı çalışmalar, borun bakterilerde gen ekspresyonunu koordine eden moleküler sinyal verme sistemi olan bakteri yoğunluğu algısı üzerindeki etkisini de göstermektedir [11].

Bu nedenle yapılan bu çalışmada bor madeninden elde edilen borik asidin kullanılmasına karar verildi. Son dönemde yaşadığımız Covid-19 pandemisi, salgın hastalıklara karşı antimikrobiyal özellikte olan ürünlerin üretilmesi hız kazanmıştır. Halk ve çalışan sağlığı açısından önemli olan bu çalışmalara katkı sağlamak ve Türkiye’de rezervleri oldukça yüksek olan bor minerallerinden elde edilen borik asidin kullanılması adına bu çalışma yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında, sağlık sorunlarına sebep olan ve gün geçtikçe çeşitli antimikrobiyal maddelere karşı direnç geliştiren Escherichia coli ve Staphylococcus aureus bakteri türleri seçilmiştir. Diğer bir neden, Türk boya sanayisindeki üretim parametreleridir. Ulusal mevzuat kapsamında yer alan Biyosidal Ürün Analizleri ve Yetki Verilen Laboratuvarlar Hakkında Talimat bu parametleri belirlemiştir. Bu talimatta, umumi ve kişisel alanlar ile medikal alanlar için üretilecek biyosidal boyaların, özellikle Escherichia coli ve Staphylococcus aureus bakterilerini hedef alarak test edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Antibakteriyel etkinlik ölçümünün yanı sıra, tüm numunelerin yüzey enerjisi, pH, parlaklık, örtme gücü ve viskozite gibi fizikokimyasal özellikleri de değerlendirilmiştir.

1.1. GENEL BİLGİLER

1.1.1. Boya

Tarihte boya kullanılan malzemelere ilk olarak Mısır döneminde rastlanmaktadır ve bu eserler 25000 yıl öncesine aittir [12]. Eski çağlarda boya kullanılmasının asıl amacı renklendirme yapmak ve bazı eşyaların görselliğini arttırmaktı [13]. Yunanlılar ve Romalılar M.Ö. 600 – M.S 400 döneminde boyamanın sadece görselliği arttırmakla kalmayıp aynı zamanda malzemeyi koruduğunu da gözlemlemişlerdir. Orta Çağ döneminde boya vernikle korunmaya

başlanmış ve on sekizinci yüzyılın sonlarına doğru boya ve vernik kullanımı artış göstermiştir [14].

Sanayi devrimi ile beraber boya ihtiyacı artmıştır ve boya endüstrisinin gelişimi hız kazanmıştır. Çünkü demir ve çeliğin kullanımı artmıştır ve bu malzemeleri paslanmaya ve korozyona karşı korumak önem kazanmıştır [15].

Günümüzde, malzemelerin boyanması ya da kaplanması nüfusun hızlı artışı, sanayileşme ve teknolojinin artmasıyla birlikte daha da çok önem kazanmıştır. Çünkü nüfusun hızlı artması, sanayileşme ve teknolojinin artması farklı tehlike kaynaklarını doğurmuş ve insanların boyanın koruyucu özelliğini fark etmesine yol açmıştır. Boya ürünlerinin hem inşaat sektöründe hem de imalat sektöründe kullanılması nedeniyle bu sektörleri girdi olarak etkileyen önemli bir parametre olarak yer almakla birlikte boya sanayisi de bu sanayi kollarındaki dinamiklerden etkilenmektedir [16].

Boya, bir bağlayıcı içine katılmış pigment, çözücü ve katkı maddelerinin karışımından oluşan akışkan bir kimyasaldır [16]. Kaplama malzemeleri, üretim sürecinde genellikle dört temel bileşenden oluşur: bağlayıcılar, pigmentler, çözücüler ve katkı maddeleri. Bu dört bileşen, kaplama malzemelerinin ana sınıflarını temsil eder [17]. Boyanın içerikleri kullanım amacına göre çeşitlilik göstermekle beraber genel olarak içeriğini dört ana grup altında toparlayabiliriz [14].

1.1.1.1. Bağlayıcılar

Boya için en önemli madde bağlayıcılar olabilir çünkü boyanın koruyuculuğunu, dayanıklılığını, yıkanabilirliğini ve su geçirgenliğini belirlemektedir. Bağlayıcılar, pigmentleri bir araya getirerek bunların yüzeyde bir film tabakası oluşturmasını sağlamak amacıyla kullanılır. Bağlayıcının asıl işi, boyada var olan farklı maddelerin bir arada bulunmasını sağlamaktır. Ayrıca uygulanan yüzeye yapışmasını sağlamak ve koruyucu bir yüzey yaratmaktır [18]. Günümüz boya sanayisinde en fazla tercih edilen ve geniş kapsamlı olarak kullanılan bağlayıcılar aşağıdaki gibidir.

Alkidler: İsmi asit ile alkol kelimelerinin birleşmesiyle elde eden alkidler genel olarak yağ bazlı boyalardır. İçindeki yağ asidi oranına göre çok yağlı, orta yağlı ya da az yağlı olarak tanımlanırlar. Alkidler, atmosferde bulunan oksijenle hızlıca ve kolayca bağlanabilir. Bu özelliğinden dolayı çabuk kururlar [16].

Amino Reçineler: Aminlerin, aldehit bileşikleriyle girmiş olduğu tepkimeler sonucunda oluşan polimerlere denilmektedir. Sanayide en çok tercih edilen aldehit bileşiği formaldehittir ve üre melamin gibi amin grubu içeren kimyasallarla tepkimeye girerek amino reçineleri oluştururlar [19].

Epoksi Reçineler: Alkali maddelere, kimyasallara ve suya karşı son derece dayanıklı olan epoksi reçineler korozyona karşı da etkili olmasıyla bilinmektedir [20].

Doğal Reçineler: Yeryüzünde kendiliğinden var olan katkı maddesi ya da pigment içermeyen ağaç gövdelerinden çıkan sıvılardır. Son yıllarda en yaygın olarak kullanılan ve tercih edilen doğal reçine çeşidi çam reçinesidir [21].

Poliüretanlar: En yaygın olarak tercih edilen bağlayıcılar arasında toluen diizosiyanat (TDI) ve metilen difenil diizosiyanat (MDI) bulunur. Bu maddeler, polimerin işlenmesini kolaylaştırmak amacıyla kullanılır. Geniş bir kullanım alanına sahip olmaları, bu iki bağlayıcıyı sektörde en çok tercih edilenler arasında yapmaktadır. Dünya genelinde kullanılan bağlayıcı pazarında, bu iki bileşen %90 gibi yüksek bir orana sahip olup sektörde lider konumdadır [22].

1.1.1.2. Pigmentler

Boyanın dört temel bileşeninden biri olan pigmentler, kaplama filmine fiziksel görünümünü kazandıran unsurdur [23]. Ultraviyole ışınlarına karşı boyaların dayanıklılığını artıran pigmentler, aynı zamanda korozyona karşı da direnci artırır. Bu dayanıklılığın temel nedeni, pigmentlerin parçacık boyutlarının boyalara kıyasla daha büyük olmasıdır. Pigmentler, renklerine göre beyaz ve renkli pigmentler olarak iki ana gruba ayrılır [24].

Pigmentler, yapısal özelliklerine göre organik ve inorganik olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır [14]. Pigmentlerin kaplamalara eklenmesini gerektiren sebepleri beş temel üzerine değerlendirebiliriz. Bu beş temel; renk katmak, alt tabakayı gizlemek, boyanın uygulama özelliğini değiştirmek, maliyeti düşürmek ve filmin performans özelliğini değiştirmektir [15].

1.1.1.3. Çözücüler

Çözücüler, film tabakası oluşturan maddeler ile kimyasal tepkimeye girmeden bu ajanları tamamen fiziksel olarak çözebilen, boyanın karıştırılmasına, vizkozitesine ve uygulanmasına

yardımcı olan bir veya daha fazla bileşen içeren sıvılardır. Kaplama uygulandıktan sonra çözücü buharlaşır ve kuru bir film tabakası bırakır [25].

Çözücüler kaplamanın geçici bileşenleri olmasına rağmen, kaplamanın dış görünüşünü, yüzey özelliklerini ve dayanıklılığını etkilemekle birlikte vizkoziteyi de düşürerek daha iyi püskürtülebilirlik ve kaplanabilirlik sağlamaktadır [15].

Çözücüler, kimyasal yapılarına göre iki ana gruba ayrılmaktadır: organik çözücüler ve inorganik çözücüler. İnorganik çözücülere örnek olarak amonyak ve su verilebilirken, organik çözücüler ise üç alt kategoriye ayrılır. Bu alt kategoriler hidrokarbon çözücüler, oksijenli çözücüler ve halojenli çözücülerdir [26].

Hidrokarbon çözücüler: Büyük çoğunluğu petrolden bir kısmı bitkilerden elde edilen bu nedenle doğal ürün olarak kabul edilen hidrojen ve karbon atomlarının bir araya gelmesiyle oluşan organik bileşiklerdir [27]. Hidrokarbon çözücüler, karbon iskeletine bağlı olarak alifatik, aromatik ve neftenik hidrokarbonlar olmak üzere üç ana sınıfa ayrılır. Bu sınıflar arasında en çok tercih edilen hidrokarbonlu çözücü ise tiner olarak bilinir [28].

Oksijenli çözücüler: Üretimi sentetik olarak yapılan ve yapısında oksijen bulunduran maliyeti hidrokarbon çözücülere kıyasla yüksek olan çözücülerdir [15]. Oksijenli çözücüler; ketonlar, alkoller, esterler, eterler ve glikol eterler gibi sınıflara ayrılmaktadır [28]. Hızlı uçuculuk özelliği sayesinde boya sanayisi için önemli bir çözücü grubudur [27].

Halojenli çözücüler: Genel olarak kuru temizlemede kullanılan çözücüler olmakla birlikte iyodin, klorin veya bromin içerirler [26].

1.1.1.4. Katkı Maddeleri

Kaplamanın istenilen bazı özelliklerini iyileştirmek ve değiştirmek için kullanılan %5'den daha düşük oranlarda boyaya ilave edilen maddelerdir [15]. Katkı maddeleri düşük oranlarda kaplamaya ilave edilmesine rağmen teknolojik özelliklerinde önemli ölçüde değişiklik yapma kabiliyetine sahiptir [29]. Çok az miktarda eklenen katkı maddeleri kaplama imalatını, işlenmesini, film oluşumunu ve buna bağlı olarak kaplama filminin mekanik ve optik özelliklerini etkilemektedir. Kaplama filminin direncini artırarak yaşlanma süresini uzatabilir [30]. Çok fazla miktarda katkı maddesi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır; korozyon önleyiciler, rutubet önleyiciler, kayganlık önleyiciler, aşınma karşıtı katkı maddeleri, köpük kesiciler, matlaştırıcılar, sertleştiriciler ve kalınlaştırıcı katkı maddeleri olarak sıralanabilir [26,30]. Ayrıca antimikrobiyal maddeler de katkı maddeleri arasında yer almaktadır [3].

Korozyon önleyiciler: Korozyon önleyici katkı maddesi ihtiva eden kaplama malzemeleri metallere üzerine uygulandıktan sonra bir film tabakası oluşturularak metallere oksidasyonunu engelleyerek bir bariyer görevini yerini getirmektedirler. Böylece metallere korozyona karşı korumaktadırlar. Korozyon önleyici katkı maddelerine örnek olarak zirkonyum, metal tuzları ve siyanür asitlerin çinko tuzları verilebilir [31].

Rutubet önleyiciler: Kaplama malzemelerinde rutubete yol açan riskleri ortadan kaldırmak amacıyla rutubet önleyici kaplama maddeleri kullanılmaktadır. Özellikle sahile yakın bölgede bulunan konutlarda, gemilerde ve köprülerde kullanılacak olan kaplama malzemelerinde kullanılması rutubeti engellemek amacıyla önem arz etmektedir. Kaplama malzemelerinin içindeki rutubet genellikle pigmentler ve dolgu maddelerinin su emilimi yüzünden meydana gelmektedir. Yüksek oranda katı madde ihtiva eden kaplama malzemelerinin düşük katı madde bulunduranlara kıyasla daha çok sorun teşkil etmektedir. Bunun temel sebebi ise katı madde içeriğinin rutubet ile tepkimeye girerek oluşturduğu karbondioksit salınımıdır. Bunun neticesinde kaplama malzemesinin üzerinde kabarcıklar oluşarak özelliğini yitirmeye başlamaktadır. Eğer kaplama malzemesinin içerisinde rutubet oluşumunun önüne geçilmek isteniyor ise bunu engellemenin dört temel yolu bulunmaktadır. Kaplama malzemesinin içerisine; moleküler elekler, p-toluensulfonil isosiyanat, oksazolidin ve rutubet avcıları ilave edilmelidir. Moleküler elekler; potasyum, sodyum ve kalsiyum gibi maddelerden oluşurken, rutubet avcıları hidrofil belirleyici silikalardan oluşmaktadır. Oksazolidinler ise keton yapılı kimyasallardan üretilmektedirler [26].

Kayganlık önleyiciler: Kaplamaların yüzey kayganlık katsayısını düşürerek yüzeyin daha pürüzlü bir hale gelmesini ve kayganlığın önlenmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Başlıca kullanılan kayganlık önleyici maddeler polyofelinlerdir. Bu maddeler yüzeyin kayganlık katsayısını düşürmekte önemli rol oynarlar [32].

Aşınma karşıtları: Aşınma direnci elastikiyet, sertlik, mukavemet, tokluk ve kalınlık gibi temel faktörlerin bir kombinasyonudur. Ayrıca çizilme ve kayma ile yakından ilgilidir. Bu durumdan dolayı bu özellikleri geliştirilen kaplamaların aşınma direnci de gelişecektir. Aşınma direncini arttırmak için kullanılan bileşiklerden bazıları şunları içerir; silika cam küreler, güneş küreleri gibi özel cam küreler ve sertliği arttırıcı benzer bileşikler [27].

Köpük kesiciler: Kaplama malzemesindeki köpüğü azaltmak veya yok etmek için kullanılan, köpüğü durduran ve oluştuktan sonra balonu kıran yüzey aktif maddelerdir. Sulu bir

formülasyona sahip bir kaplama da tüm köpüğü yok etmek neredeyse imkansızdır ama kurumuş bir filmdeki köpükten ve hava boşluğundan kaynaklanacak kusurların giderilmesinde fayda sağlamaktadır. Lateks boyalar çalkalamaya maruz kaldığında kolayca köpük oluşturduklarından dolayı bu köpüğün ortadan kaldırılması üretim süreci, depolama ve iyi uygulama için son derece önemlidir. Köpük gidericilerin bileşik içinde çözünmez olması ve mükemmel dağılılabirliğe sahip olması gerekmektedir. Köpük gidericiler çok fazla çözünür ise köpürmeyi arttırmaktadırlar. Sulu sisteme sahip köpük kesiciler mineral yağ, bitkisel yağ, glikol, eter ve alkol gibi maddeler içerirler [27].

Matlaştırıcılar: Kaplama malzemesinin uygulanması sonucu oluşan film tabakasının mat bir görüntüye sahip olması amacıyla kullanılmaktadırlar [33]. Parlaklık olgusu bir kaplamanın temel özellikleri arasında yer almaktadır. Parlaklık kaplama yüzeyinin pürüzsüzlüğü ile ilgili bir durumdur. Bir yüzeyden gelen ve yansıyan ışığın açısına bağlı olarak mat veya parlak yüzey olarak adlandırılmaktadır. Çok pürüzsüz bir yüzey ışık ışınlarının çoğunu yansıtırken yüzey pürüzlü hale geldikçe ışınları daha az yansıtacak ve daha az parlak görünüme sahip olacaktır. Boyutları 1 ila 50 mikro arasında değişen maddeler kullanılarak boya yüzeyine pürüzlülük verilmektedir [3].

Sertleştiriciler: Korozyona karşı korumada kritik öneme sahip olan sertleştiriciler petrol boruları, gaz hattı ve su borularının kaplamasında dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Uzun bir süre paslanma etkisini azaltmasının yanı sıra farklı basınç ve sıcaklıkta kaplamanın özelliğini korumak için kullanılmaktadırlar [34]. Sıvı kauçuklar, çekirdek-kabuk partikülleri, cam boncuklar ve termoplastik modifiyeli epoksiler ve bunların çeşitli kombinasyonları kullanılan sertleştirici maddelere örnektir [3].

Kalınlaştırıcılar: Kaplama malzemelerinin viskozitesini arttıran maddeler kalınlaştırıcılardır. Bu maddeler viskoziteyi arttırarak pigmentlerin boya içerisinde daha iyi dağılmasını sağlayarak homojen bir yapı elde etmeyi sağlamakla birlikte topaklanma faktörünün de önüne geçilmesini sağlamakta ve pigmentlerin dibe çökmesini engellemektedirler [35].

Antimikrobiyal maddeler: Antimikrobiyal terimi genellikle bakteri, mantar, virüsler gibi istenilmeyen zararlı mikroorganizmaların yok edilmesi, gelişmesinin önüne geçilmesi için kullanılan madde veya madde karışımlarını ifade etmektedir. Tarihsel olarak bakıldığında ise antibiyotik terimi özellikle insanlarda bakteriyel enfeksiyonlarının kontrol altına alınması için kullanılan maddeler olarak tanımlanmaktadır. Canlı veya cansız maddeler üzerinde maya ve mantarları kontrol eden veya yok eden maddeler için kullanılan terim mantar önleyici olarak adlandırılırken virüsleri inhibe edenler için antiviral terimi kullanılır [3].

Antimikrobiyal maddeler için kullanılan bu terimlerin yanı sıra birçok endüstride bakterisitler, fungusitler, virüsitler, koruyucular ve biyositler gibi terimler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarihsel olarak bakıldığında biyosit terimi, ıslak bir formülasyona sahip kaplamalarda mikrobiyal bozulmayı önlemek için kullanılan maddeleri belirtmek için kullanılmıştır [3].

Boyalar büyük ölçüde organik yapıya sahip olduklarından dolayı mikroorganizmalar için bir besin kaynağıdır. Her yerde bulunan mikroorganizmalar kaplamalar üzerinde çürümeye, vizkozite kaybına, emülsiyon bozulmasına, gaz oluşumuna ve istenmeyen diğer fiziksel ve kimyasal değişimlere sebep oldukları için renk bozulması, yapışma kaybı yaşanarak kaplamanın tamamen bozulmasına yol açarlar. Mikroorganizmalar film üzerinde yaptığı etkinin yanı sıra üretim sürecinde de boyayı çeşitli yolları kullanarak kirletebilirler. Üretim sürecinde kullanılan ham maddeler, kullanılan su, kullanılan kaplar ve ekipmanlar sağlıklı koşullara sahip olabilir [3].

Kaplamaları ıslak haldeyken yani kutu içinde bulunduğu durumda bakteri, mantar ve alglerden korumak için kutu içi koruma sağlayacak bir maddenin eklenmesi önemli bir parametredir. Bu nedenle birçok üretici firma hem kutu içi koruma sağlamak hem de kaplama filmini korumak amacıyla boyanın formülasyonuna antimikrobiyal ajan dahil etmektedir. Mikroorganizmalar gaz üretimine yol açarak tenekelerin şişmesi ve patlamasına ayrıca rahatsız edici kötü kokuların yayılmasının yanı sıra film ve uygulama özelliklerini yitirmesine yol açmaktadır [3].

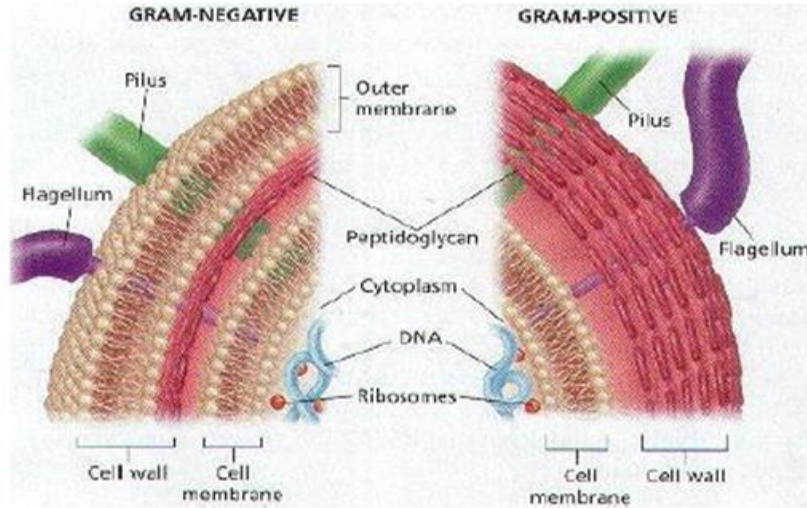
1.1.2. Bakteriler

Bakteriler, şekil ve boyut açısından geniş bir çeşitlilik gösterir ve bugüne kadar 5000'den fazla farklı türü tanımlanmıştır. Bu mikroorganizmalar genellikle 0,5-5 mikrometre uzunluğunda olan tek hücreli prokaryotlardır. Morfolojik olarak, küresel, çubuk, vibrio ve spiral gibi çeşitli formlar sergileyebilirler. Ancak, en yaygın olarak gözlemlenen türler genellikle küresel veya çubuk şeklindedir. Bu çeşitlilik, bakterilerin çevresel koşullara uyum sağlama yeteneklerini ve işlevlerini yerine getirme kapasitelerini belirleyen önemli bir faktördür. Farklı hücre şekilleri, bakterilerin beslenme stratejilerini, yüzeylere tutunma yeteneklerini, sıvı içinde hareket edebilme özelliklerini veya doğal avcılardan kaçma mekanizmalarını etkileyebilir [36].

Bakteriler, prokaryotik hücre yapısına sahip olduklarından, ökaryotik hücrelerde bulunan zarla çevrili organelleri, örneğin çekirdek, mitokondri, kloroplast, golgi aygıtı ve endoplazmik retikulum gibi yapıları içermezler. Bakterilerin hücresel bileşenleri arasında sitoplazma,

sitoplazmik membran, hücre duvarı, nükleoid (DNA), ribozomlar ve plazmidler bulunur. Bazı bakteri türlerinde ise kapsül, kamçı, pilus veya spor gibi özel yapılar gözlemlenebilir [37].

Bakterilerin temel yapısal bileşenlerinden biri olan hücre duvarı, bakterilerin hayatta kalmasını sağlamak için kritik bir işlev görür. Hücre duvarı, bakterilere dayanıklılık, yapısal bütünlük ve koruma sağlar. Bakteriler, hücre duvarı özelliklerine göre iki ana gruba ayrılır: gram pozitif ve gram negatif. Gram negatif bakterilerde, peptidoglikan tabakasını saran bir dış membran bulunur. Oysa gram pozitif bakterilerde bu dış membran yer almaz. Gram pozitif bakterilerin hücre duvarı, kalın bir peptidoglikan tabakası ve bir sitoplazmik membran içerirken; gram negatif bakterilerde ise hücre duvarı, sitoplazmik membran, ince peptidoglikan tabakası ve dış membran yapısından oluşur[38]. Aşağıda yer alan şekilde gram-negatif ve gram-pozitif bakterilerinin hücre yapısı gösterilmiştir [39].



Şekil 1.1 Gram Negatif ve Gram Pozitif Bakterilerinin Hücre Yapıları [39]

Gram-pozitif bakteriler, teikoik asit ve peptidoglikan içeren kalın bir hücre duvarına sahiptir. Öte yandan, gram-negatif bakteriler, ince bir peptidoglikan tabakasının üstünde lipopolisakkarit içeren bir dış zarla kaplıdır. Bu dış zar, Gram-negatif bakterilerin antimikrobiyal ajanlara karşı gram-pozitif bakterilere kıyasla daha yüksek bir direnç göstermesine neden olur. Dış zar, antimikrobiyal maddelerin bakteriyel hücreye geçişini engelleyerek etkili bir bariyer işlevi görür [40,41].

Bor bileşikleri, gram-pozitif ve gram-negatif bakterilerini yok edebilme yeteneğine sahiptirler [42]. Bor bileşenleri, mikrobiyal membranla fosfolipidler, lipopolisakkaritler ve glikoproteinler gibi bileşenlerle etkileşime girerek fonksiyonel aktivitelerini değiştirebilir.

Bunun yanı sıra borik asit mikrobiyal membranı geçebilir ve metabolik süreçleri bozan enzimleri engelleyerek inhibe edebilme yeteneğine sahiptir [43]. Yapılan bazı çalışmalar, borun bakterilerde gen ekspresyonunu koordine eden moleküler sinyal verme sistemi olan bakteri yoğunluğu algısı üzerindeki etkisini de göstermektedir [44].

1.1.3. Teknik Bilgiler

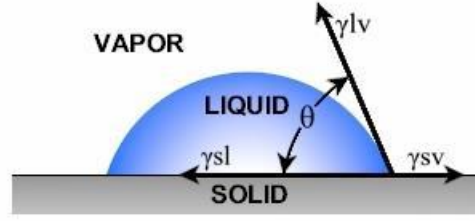
1.1.3.1. pH

Su bazlı boyalarda pH değeri; renk şiddeti, pigmentlerin stabilitesi, kaplamada oluşabilecek korozyon ve bağlayıcının koagülasyon oluşturmaması için önem arz etmektedir. Kullanıma hazır boyadaki pH değeri 8 ile 9 aralığında olmalıdır [45].

1.1.3.2. Temas Açısı

Bir sıvının bir katı yüzey ile oluşturduğu açıya temas açısı denilmektedir. Temas açısı yöntemi genellikle katıların yüzey gerilim enerjilerini belirlemek için kullanılmaktadır. Bir sıvı damlası, bir katı yüzeye bırakıldığında oluşan ve katı-sıvı-gaz arayüzeyler arasındaki temas açısı (θ) ile belirlenir. Temas açısı, 1805 yılında Thomas Young tarafından ilk kez katı-sıvı (γ_{sl}), sıvı-buhar (γ_{lv}) ve katı-buhar (γ_{sv}) arayüzeyler arasındaki enerji dengelemesi kullanılarak hesaplanmıştır. Zaman içinde bu amaçla çeşitli ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir [26].

Katı-sıvı, sıvı-buhar ve katı-buhar açılarının örneği Şekil 1.2'te gösterilmiştir. Aynı şekil üzerinde temas açısı ayrıca gösterilmiştir. Bu açı, 0 ile 180 derece arasında değişiklik gösterebilir [46]. Sıvı yüzeyi katı bir yüzeye değdiğinde, temas açısı 0° ile 90° arasında olduğunda yüzey hidrofilik, yani suyu çeken bir özelliktedir. Temas açısı 90° derecenin üzerinde olduğunda sıvı yüzey katıyı ıslatmaz ve bu durum, yüzeyin hidrofobik, yani suyu itici olduğunu gösterir [47]. Eğer katı-hava ara yüzey gerilimi, katı-sıvı yüzey geriliminden büyük ise, $\cos\theta$ pozitif olacaktır. Bu durumda sıvı yüzeyi katı yüzeye ıslatır ve temas açısı 0° ile 90° arasında olur. Bu tür yüzeylere hidrofilik denir. Eğer katı-sıvı yüzey gerilimi, katı-hava yüzey geriliminden büyük ise, $\cos\theta$ negatif olacaktır. Bu durumda sıvı yüzeyi katı yüzeye ıslatmaz ve temas açısı 90° ile 150° arasında olur. Bu tür yüzeylere hidrofobik denir [15].

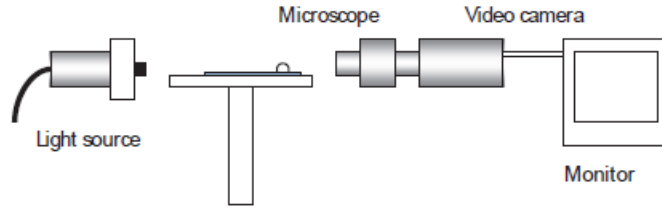


Şekil 1.2 Temas açısı yüzey gerilimi [48]

Polimerik yüzeylerin hidrofilik veya hidrofobik özelliklerini belirlemek için genellikle temas açısı yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, bir sıvının bir yüzey üzerinde oluşturduğu temas açısını ölçerek yüzeyin hidrofilik (suyla iyi ıslanan, düşük temas açısı) veya hidrofobik (suyla kötü ıslanan, yüksek temas açısı) özelliklerini belirlemeye yarar. [15]. Hidrofobik özellik gösteren bakteriler genellikle su itici özellikte olan yüzeyleri tercih ederken, hidrofilik özellik gösteren bakteriler ise suyu çeken yüzeyleri tercih etmektedir. [49-55].

Bir malzemenin yüzey gerilimi, sıvının malzeme üzerinde oluşturduğu temas açısı ile ilişkilendirilir. [56]. Temas açısı ölçümleri kullanılarak malzemenin yüzey enerjisi hesaplanabilir. Bu hesaplama genellikle Young eşitliği temel alınarak yapılır; bu yöntem, kuru bir yüzey üzerinde sıvı damlasının oluşturduğu kuvvet dengesini açıklar. Eğer bir yüzey hidrofobikse, su ile yaptığı temas açısı o yüzeyde daha belirgin bir şekilde gözlemlenir. Diğer bir ifadeyle, düşük serbest yüzey enerjisine sahip yüzeyler genellikle daha yüksek su temas açısına sahiptir. Hidrofilik yüzeyler ise hidrofobik yüzeylere nazaran düşük temas açısı ve yüksek yüzey enerjisi ile karakterize edilir. [57].

Katı bir yüzey üzerindeki sıvı damlanın temas açısı, genellikle gonyometreli bir teleskop veya fotoğraf yardımıyla ölçülmektedir [58]. Endüstriyel uygulamalarda sıvı ve katı maddelerin özelliklerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan gonyometreler, Şekil 1.2'de gösterildiği üzere, bir şırınga pompası veya pipet, numune alanı, ışık kaynağı ve yüksek hızlı, yüksek çözünürlüklü bir kameradan oluşur.



Şekil 1.3 Gonyometre [59]

Gonyometre, damla görüntülerini kaydederek zamanla damlanın şeklini otomatik olarak analiz eder. Damlanın şekli, sıvının yüzey gerilimi ile çevresindeki ortam arasındaki yoğunluk farkının bir fonksiyonu olarak ortaya çıkar. Katı yüzeylerde, damlanın şekli ve temas açısı, yüzeyin yüzey gerilim enerjisiyle ilişkilidir. Temas açısı, yüzey gerilimi, ara yüzey gerilimi ve yüzey gerilim enerjisi ölçümleri, malzemenin ıslanabilirlik, sıvı emilimi, sıvının yüzeyde tutulma kapasitesi, sıvının yayılma özellikleri, yüzey temizliği, yüzey heterojenliği ve emülsiyon kararlılığı gibi özellikleri hakkında bilgi verir. Durağan, asılı, eğimli damla, sabit kabarcık ve menisküs damla tipleri uygulanabilir. Bu damla tipleri ile statik temas açıları, sıvının ön kısmında gözlemlenen yayılma temas açısı ve sıvının arka kısmında gözlemlenen çekilme açısı olarak iki şekilde tayin edilir. Katı maddeler için statik veya dinamik temas açısı ve yüzey gerilim enerjisi ölçümleri yapılır, sıvı numuneler için ise yüzey gerilimi ölçümleri gerçekleştirilir [15].

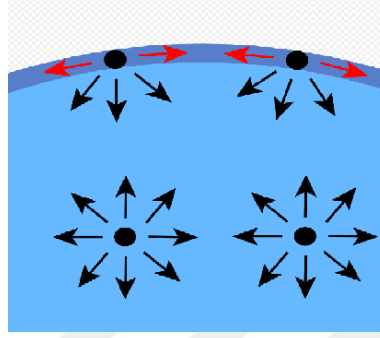
Yüzey nitelikleri bilinmeyen katı numunelerin üzerine, yüzey gerilim enerjileri bilinen sıvı numuneler, şırınga pompası kullanılarak damlatılır ve yüksek hızlı kamera ile görüntüler kaydedilir. Alınan damlacık görüntülerinin temas açılarını ölçmek için çeşitli yazılımlar kullanılmakla birlikte, en yaygın kullanılan program Image-J'dir [15].

Yapılan in vivo ve in vitro çalışmalarda yüzey gerilim enerjisi yüksek olan hidrofilik yüzeylerde, düşük yüzey enerjisine sahip hidrofobik yüzeylere kıyasla daha fazla bakteri birikimi gözlemlenmiştir [56].

1.1.3.3. Yüzey Gerilim Enerjisi

Sıvıların içindeki moleküller, her yönden eşit kuvvetlerle çevrelendiklerinden dolayı bu kuvvetlerin vektörel toplamı sıfır olur. Ancak yüzeyde bulunan moleküller, yalnızca içe doğru bir kuvvetin etkisi altındadır. Bu durum, yüzeydeki moleküllerin sıvının içine çekilmesine neden olarak kohezyon kuvvetlerinin bir kısmının kaybına yol açar. Bu nedenle sıvılar, en

küçük yüzey alanına sahip olma eğilimi gösterirler. Bu çekilmenin bir sonucu olarak, sıvı yüzeyinde bir gerilme meydana gelir. Yüzey boyunca her yönde ve her noktada eşit olarak etki eden bu kuvvet, yüzey gerilimi olarak adlandırılır. Bu olgu, "Yüzey Gerilim Enerjisi" veya "Yüzey Serbest Enerjisi" olarak bilinen enerjinin ortaya çıkmasına neden olur. SFE, bir maddenin yüzey alanını birim miktarında artırmak için gereken enerji olarak tanımlanır ve mN/m, mJ/m², dynes/cm veya γ/Nm^{-1} birimleriyle ifade edilir [60].



Şekil 1.4 Sıvı molekülleri arası çekim kuvveti [61]

Sıvılarda, moleküller arasında etki eden kuvvetler dengelendiği için yüzey gerilim enerjisi oluşur. Bununla birlikte, katı yüzeylerde moleküller üzerine etki eden kuvvetlerin dengelenmemesi nedeniyle yüzey gerilim enerjisi meydana gelir. Sıvılarda yüzey gerilim enerjisi tüm yüzey boyunca homojen bir şekilde dağılırken, katı yüzeylerde bu enerji her noktada eşit dağılmamış olabilir [62].

Yüzey gerilim enerjisinin, temas açısı yöntemi ile hesaplanabilmesi için kullanılan bazı denklemler ve yöntemler aşağıdaki gibidir.

Young Denklemi: Katı bir yüzey üzerindeki sıvı damlacığının temas açısı, Young denklemi (Denklem 1.1) kullanılarak hesaplanabilir.

$$(\gamma_{lv}) \cdot (\cos\theta) = (\gamma_{sv}) - (\gamma_{sl}) \quad (1.1)$$

Owens ve Wendt Modeli: Bu iki model, Young modeline ek olarak düşük yüzey enerjisine sahip malzemelerin analizi için geliştirilmiştir. Owens ve Wendt modelindeki hesaplamalar, aşağıda verilen Denklem 1.2 kullanılarak gerçekleştirilir. [26].

$$1 + \cos\theta = 2\sqrt{\gamma_{sv}^d} \left(\frac{\sqrt{\gamma_{lv}^d}}{\gamma_{lv}} \right) + \sqrt{\gamma_{sv}^d} \left(\frac{\sqrt{\gamma_{lv}^d}}{\gamma_{lv}} \right) \quad (1.2)$$

γ^d ve γ^h , bir sıvının havaya karşı yüzey enerjisinin bileşenlerini temsil eder. γ^d , Van der Waals kuvvetlerinin sağladığı bağlanma kuvveti ile ilişkili olarak polar olmayan yüzey enerjisini temsil etmektedir. γ^h ise hidrojen bağı ile ilgili olan polar bağlanma enerjisini açıklamaktadır [63].

Fowkes Modeli: Bu model, Owens ve Wendt modelinin aksine polar bağlanma enerjilerini incelememiştir. Fowkes modeli, bağlar arası etkileşimlerde London kuvvetlerinin önemli rol oynadığını varsayarak, bu varsayıma dayalı denklemini denklem 1.3'te sunmuştur [64]. Bu denklem, yüzey enerjisi bilinen iki farklı sıvının kullanılmasını gerektirmektedir.

$$\gamma_{sl} = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} - 2 \sqrt{\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d} - 2 \sqrt{\gamma_{sv}^p \gamma_{lv}^p} \quad (1.3)$$

Wu Modeli: Bu model, Owens ve Wendt'in modelini referans alarak geliştirilmiş ve buna dayanarak ilgili denklem oluşturulmuştur. Wu'nun modelinin en önemli farkı, geometrik ortalama yerine harmonik ortalamanın kullanılmasıdır [64]. Başka modellerde olduğu gibi, Wu modelinde de yüzey gerilim enerjisini belirlemek için iki farklı sıvının kullanılması gerekmektedir. Wu modeline ait denklem, denklem 1.4'te yer almaktadır.

$$\left[\frac{\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d}{(\gamma_{sv}^d + \gamma_{lv}^d)} + \frac{\gamma_{sv}^p \gamma_{lv}^p}{(\gamma_{sv}^p + \gamma_{lv}^p)} \right] = 0,25\gamma_{lv} + 1\cos\theta \quad (1.4)$$

Neumann's Modeli: Bu model geniş bir şekilde incelenmiştir. Neumann's modeli, diğer modellerin bir sentezi olarak kabul edilir ve tartışmaların merkezinde, denklemde kullanılan β sabitinin tanımının yapılamaması yer almaktadır [64,65,66]. Neumann denklemi Şekil 1.5'te sunulmuştur.

$$\left[\frac{\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d}{(\gamma_{sv}^d + \gamma_{lv}^d)} + \frac{\gamma_{sv}^p \gamma_{lv}^p}{(\gamma_{sv}^p + \gamma_{lv}^p)} \right] = 0,25\gamma_{lv} + 1\cos\theta \quad (1.5)$$

$$\beta = 0,0001247$$

1.1.4. Antibakteriyel Boya ve İSG

İş Sağlığı ve Güvenliği çerçevesinde ulusal mevzuat değerlendirildiğinde, çalışanların işyerlerinde biyolojik etkenlere maruziyetten kaynaklanan veya maruziyetten doğabilecek sağlık ve güvenlik risklerini önlemeye yönelik asgari düzenlemeleri belirleyen Biyolojik Etkenlere Maruziyet Risklerinin Önlenmesi Hakkında Yönetmelik'in uygulamaya konulduğu görülmektedir. Bu yönetmelik, 20 Haziran 2012 tarihli ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği

Kanunu'na tabi olan işyerlerinde geçerlidir. 6331 sayılı Kanun, kamu ve özel sektör ayrımı gözetmeksizin tüm işyerleri ve iş süreçleri için uygulanabilir; ancak bazı iş kolları ve kişisel durumlar bu kanunun kapsamı dışında kalabilmektedir [67]. Bu kanunda yer alan kısıtlamalar şunlardır:

- Ev hizmetleri.
- Çalışan istihdam etmeksizin kendi nam ve hesabına mal ve hizmet üretimi yapanlar.
- Hükümlü ve tutuklulara yönelik infaz hizmetleri sırasında, iyileştirme kapsamında yapılan iş yurdu, eğitim, güvenlik ve meslek edindirme faaliyetleri.
- Afet ve acil durum birimlerinin müdahale faaliyetleri.
- Fabrika, bakım merkezi, dikimevi ve benzeri işyerlerindeki hariç Türk Silahlı Kuvvetleri, genel kolluk kuvvetleri ve Milli İstihbarat Teşkilatı Müsteşarlığının faaliyetleri.

İş sağlığı ve güvenliği açısından, işyerlerinde biyolojik risklere karşı alınacak tedbirler hayati önem taşımaktadır. Mikroorganizmalar, genellikle gözle görülemeyen ancak potansiyel olarak hastalıklara yol açabilen ve yayılma riski taşıyan ajanlar olarak bilinmektedir. Çalışanlar, meslekleri gereği biyolojik etkenlere maruz kalabilecekleri gibi, bu riskle temas etmeyen işyerlerinde bile bu tür tehlikelerle karşı karşıya kalabilirler. İşverenler, işçilerin biyolojik etkenlere maruz kalma riskini en aza indirmek için gerekli tedbirleri almakla yükümlüdürler. Bu bağlamda, iş süreçleri ve teknik önlemler, biyolojik etkenlerin işyerinde yayılmasını engelleyecek veya en düşük seviyede tutacak şekilde yapılandırılmalıdır. Öncelikle, kolektif koruma önlemleri uygulanmalıdır. Hijyen standartları ise biyolojik etkenlerin işyerinden dışarıya taşınmasını veya sızmasını engelleyecek veya azaltacak nitelikte olmalıdır. Biyolojik etkenlerle doğrudan çalışılmayan veya bu etkenlerin kullanılmadığı ancak çalışanların biyolojik risklere maruz kalabileceği işler aşağıda belirtilmiştir [1].

- Sağlık hizmetlerinin sunulduğu yerlerde, özellikle karantina dahil morglarda çalışmak,
- Gıda üretimi yapılan fabrikalarda iş yapmak,
- Atıkları imha eden fabrikalarda çalışmak,
- Kanalizasyon ve arıtma tesislerinde çalışmak,
- Hayvanlarla ve/veya hayvansal ürünlerle çalışmak,
- Mikrobiyolojik teşhis laboratuvarları dışındaki klinik, veterinerlik ve teşhis laboratuvarlarında iş yapmak,

- Tarımsal faaliyetlerde bulunmak gibi işler, biyolojik etkenlerle potansiyel temas riskini artırabilecek çalışma alanları arasında yer almaktadır.

Bu işlerde çalışanlar, özel koruyucu ekipman kullanımı, hijyen protokolleri ve ilgili eğitimler aracılığıyla biyolojik risklere karşı korunmalıdır. Bu önlemler, iş sağlığı ve güvenliği standartlarının sürdürülebilirliği açısından kritik önem taşır [1].

İşyerlerinde insan sağlığını korumaya yönelik alınması gereken tedbirlerin yanı sıra, alışveriş merkezleri, iş merkezleri, marketler, mağazalar, hastaneler ve eğitim kurumları gibi toplu kullanım alanlarında mikroorganizmaların yayılmasını önlemek amacıyla kapsamlı önlemlerin alınması büyük önem arz etmektedir. Bu tür mekanlarda hijyen standartlarının yüksek seviyede tutulması, düzenli dezenfeksiyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve havalandırma sistemlerinin etkin bir biçimde çalıştırılması sağlanmalıdır. Ayrıca, bu alanlarda görev yapan personelin biyolojik riskler konusunda bilinçlendirilmesi ve eğitim alması, potansiyel bulaşma risklerini minimize etme açısından kritik bir öneme sahiptir. Toplu kullanım alanlarında alınacak önlemler, bireysel sağlığın korunmasının yanı sıra, toplum sağlığını da güvence altına alarak bulaşıcı hastalıkların yayılmasını engelleyecektir. Dolayısıyla, bu mekanlarda hijyen ve sanitasyon uygulamalarının titizlikle takip edilmesi ve düzenli olarak denetlenmesi gerekmektedir.

Biyolojik etkenler, enfeksiyon, alerji veya zehirlenmeye sebep olabilen mikroorganizmaları, hücre kültürlerini ve insan endoparazitlerini içeren bir grup olarak tanımlanmaktadır. Bu etkenler, genetik olarak değiştirilmiş olanları da içermektedir. Biyolojik etkenler, enfeksiyon risk düzeyine göre dört farklı risk grubuna ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma, etkenlerin potansiyel tehlikesine göre aşağıdaki gruplara ayrılmıştır [1].

Risk Grubu 1: Düşük risk taşıyan etkenler. Genellikle insanlar üzerinde hastalık oluşturma potansiyelleri düşüktür.

Risk Grubu 2: Orta düzeyde risk taşıyan etkenler. İnsanlarda hastalık oluşturma potansiyelleri vardır, ancak genellikle etkili tedavi seçenekleri bulunmaktadır.

Risk Grubu 3: Yüksek risk taşıyan etkenler. İnsanlarda ciddi hastalıklara yol açabilirler ve tedavi seçenekleri sınırlı olabilir.

Risk Grubu 4: En yüksek risk taşıyan etkenler. Hızlı yayılabilen ve ciddi hastalıklara neden olabilen etkenlerdir. Tedavi seçenekleri sınırlı veya mevcut değildir.



Şekil 1.5 Biyolojik tehlike işareti [1]

İşverenler, alışanların sağlık ve güvenliğini koruma sorumluluğu altında biyolojik etkenlere karşı önleyici tedbirler almak zorundadır. İşyeri koşulları, biyolojik etkenlerin ortam içinde yayılmasını sınırlayıcı veya en aza indirgeyici özellikte olmalıdır. Bu çerçevede alınacak hijyen önlemleri, biyolojik etkenlerin dış ortama yayılmasını engellemeli, potansiyel sızıntıları önlemeli ve etkenlerin miktarını kontrol altında tutacak nitelikte olmalıdır. Bu stratejiler, işçilerin potansiyel sağlık risklerine maruz kalma riskini azaltarak işyeri sağlığı ve güvenliğini sağlama çabalarını destekler [1].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneyisel çalışmalar, $25\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve 1 atm basınç koşullarında gerçekleştirilmiştir. Şahit numune olarak %41 PVC içeren su bazlı yarı mat iç cephe boyası kullanılmıştır. Bu boya, çeşitli oranlarda %40'lık Triethanolamin-Borik Asit çözeltisi ile formüle edilmiştir. TEA-Borik Asit çözeltisinin içindeki aktif madde oranı ise %8'dir.

Şahit numune, Tablo 2.1'de yer alan bileşenlerden oluşmaktadır. Mikser içerisine, karıştırıcı altında bağlayıcıya kadar olan bileşenler (1-8 numaralı) sırasıyla konular. Mikser hızı yüksek devire (yaklaşık 1500 rpm) getirilerek, içinde bulunan sıvı ve toz karışımın yaklaşık 30-45 dakika ezilerek homojen hale gelmesi sağlanır. Mikser hızı 800 rpm altına düşürülerek (yaklaşık 600-800 rpm) bağlayıcı ve geri kalan bileşenler (10-12 numaralı) boyaya ilave edilip, karıştırılarak boya tamamlanır.

Tablo 2.1 Şahit Numune Bileşenleri

Bileşen	Miktar (%)	Bileşen	Miktar (%)
1. Su	41,2	7.Kıvamlaştırıcı	0,3
2.Su sertliği giderici	0,4	8.pH düzenleyici	0,15
3.Dispersant	0,4	9.Bağlayıcı	17
4.Köpük kesici	0,3	10.Kutu içi koruyucu	0,25
5.Titan	22	11.Donma önleyici	2
6.Dolgular	14	12.Yüzey düzenleyici	2

Şahit numune olarak adlandırdığımız bu ürüne, aktif madde oranı %0,005, 0,010, %0,020, %0,075, %0,15, %0,3 ve %0,6 olacak şekilde borik asit esteri eklenerek, yedi adet farklı ürün elde edilmiştir. Elde edilen yedi adet farklı ürün ve şahit numune laboratuvar ortamında bir dizi testten geçirilmiştir. Asitlik derecesi (pH), Escherichia coli etkinliği, örtme gücü, parlaklık, temas açısı ve viskozite testleri yapılmıştır. Escherichia coli etkinlik testi için numuneler seramik plakalara, tek katta $7\text{ m}^2 / \text{L}$ sarfiyatta olacak şekilde uygulanmıştır. Örtme gücü testi zebra kart (siyah-beyaz) üzerine $150\ \mu\text{m}$ kalınlıkta çekilirken, parlaklık ölçümünde numuneler cam plaka üzerine $150\ \mu$ kalınlıkta çekilmiştir.

2.1. PH ÖLÇÜMÜ

Bu deneylerde kullanılan cihaz pH metre olup, ölçümler $25\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık kontrolü altında gerçekleştirilmiştir. pH ölçümünün doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

2.1.1. Numunenin Hazırlanması

Ölçüm yapılacak numune, ölçüm öncesinde, belirlenen çalışma sıcaklığı olan $25\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşana kadar uygun bir sıcak su banyosu veya soğuk su banyosu içinde karıştırılmıştır. Bu işlem, numunenin homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamasını ve pH ölçümünün tutarlı sonuçlar vermesini amaçlamaktadır.

2.1.2. pH Metre Kullanımı

Numune, pH metre cihazının elektrodu numunenin içine daldırılacak şekilde hazırlanmıştır. Elektrodun numune içinde uygun şekilde yerleşmesi sağlanmış ve cihazın ölçüm yapabilmesi için yeterli süre beklenmiştir. Bu bekleme süresi, elektrodun numunenin pH değerine tam olarak uyum sağlamasını ve ölçümün doğruluğunu artırmasını temin eder.

2.1.3. pH Değerinin Okunması

Elektrodun numune içinde stabil hale gelmesinin ardından, pH metre cihazının ekranından pH değeri okunmuş ve kayıt altına alınmıştır. Bu adım, pH ölçümünün sonuçlarının doğru bir şekilde elde edilmesini ve analiz için kullanılmasını sağlar.

Bu prosedür, pH ölçümünün doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar vermesi için gerekli olan tüm adımları kapsamlı bir şekilde açıklamaktadır. Her bir adım, deneyin güvenilirliğini ve sonuçların geçerliliğini sağlamak amacıyla titizlikle uygulanmıştır.



Şekil 2.1 pH Ölçüm Cihazı

2.2. ANTİBAKTERİYEL ETKİNLİK TESTLERİ

Bu çalışmada, bakteri türlerinin seçiminde dikkat edilen önemli bir kriter, bir türün gram-pozitif ve diğerinin gram-negatif özellikte olmasıdır. Bu kapsamda, sağlık açısından önemli sorunlara yol açan ve çeşitli antimikrobiyal maddelere karşı zamanla direnç geliştiren *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri kullanılmıştır. Bu iki bakteri türünün seçilmesinin bir diğer gerekçesi, ulusal mevzuat kapsamında biyosidal ürün analizleri ile ilgili düzenlemelerdir. İlgili mevzuatta, umumi ve kişisel alanlar ile medikal alanlar için üretilecek biyosidal boyaların etkinliğini değerlendirmek üzere *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* türlerinin hedef alınması öngörülmüştür.

Özel sektörde ipek mat boya olarak bilinen, ancak bu çalışmada referans örnek olarak adlandırılan iç cephe boyası, borik asit esteri eklenerek %0,005, %0,010, %0,020, %0,075, %0,15, %0,3 ve %0,6 konsantrasyonlarında hazırlanmıştır. Bu süreç sonucunda yedi farklı ürün varyantı oluşturulmuştur.

Bu örneklerin antibakteriyel özelliklerini değerlendirmek amacıyla, EN ISO 17025 standartlarının gereksinimlerini karşılayan Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Egemikal Çevre Sağlığı Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Testler için, örnekler yaklaşık 4,8 cm kenar uzunluğunda kare seramik plakalar üzerine 7 m²/L oranında uygulanmıştır. Her bir örnek ve bir kontrol örneği, ayrı ayrı 24 seramik plaka üzerine tatbik edilmiştir. Antibakteriyel aktivite testi, ISO 22196 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. *Escherichia Coli* Etkinlik Testi

Bu çalışmada, *Escherichia coli* (ATCC 10536) bakterileri, Tablo 2.2'de belirtilen oranlarda yedi örnek ve bir kontrol örneği içine eklenmiştir. Deneyin amacı, farklı konsantrasyonlarda antibakteriyel etkilerin değerlendirilmesidir. Borik asit esteri ihtiva etmeyen şahit numunenin diğer örneklerdeki antibakteriyel etkisi dikkate alınmamıştır.

2.2.1.1. İnkübasyon Süreci

Numunelere eklenen *Escherichia coli* bakterileri, belirlenen oranlarda hazırlanmış ve inkübasyon için uygun bir ortamda 24 saat süreyle bırakılmıştır. Bu inkübasyon süresi, bakteriyel büyüme ve çoğalma süreçlerinin etkili bir şekilde gözlemlenebilmesi için yeterli süreyi sağlamaktadır.

2.2.1.2. Azalma Oranlarının Belirlenmesi

İnkübasyon süresinin ardından, numunelerdeki bakteriyel kontaminasyon düzeyi değerlendirilmiştir. Azalma oranları, sayım sonuçlarına dayanarak belirlenmiştir. Sayım sonuçları, koloni oluşturan birimler (kob) olarak ifade edilmiştir.

2.2.1.3. Koloni Oluşturmayan Birimler

Bakteriyel sayımda, sayılan materyalde canlı kalabilen ancak gelişme ve çoğalma yeteneklerini kaybetmiş hücrelerin bulunabileceği göz önünde bulundurulmuştur. Bu hücreler, koloni oluşturma yeteneklerini kaybettiklerinden, koloni oluşturan birim olarak sayılmamışlardır. Bu durum, bakteriyel canlılık ve etkinlik düzeylerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için önemlidir.

Bu prosedür, bakteriyel kontaminasyonun ve antibakteriyel etkinliklerin doğru bir şekilde analiz edilmesi için titizlikle uygulanmıştır.

Tablo 2.2 Kuru Film Üzerindeki Canlı Mikroorganizma sayıları (0. Saat)

Aktif Madde Oranı (%)	Organizma	0. saat (kob/cm ²)
0	<i>Escherichia coli</i>	78000
0,005	<i>Escherichia coli</i>	30000
0,01	<i>Escherichia coli</i>	30000
0,02	<i>Escherichia coli</i>	30000
0,075	<i>Escherichia coli</i>	30000
0,15	<i>Escherichia coli</i>	20000
0,3	<i>Escherichia coli</i>	20000
0,6	<i>Escherichia coli</i>	20000

2.2.2. Staphylococcus Aureus Etkinlik Testi

Staphylococcus aureus (ATCC 6538) bakterileri, Tablo 2.3'de belirtilen oranlarda yedi örnek ve bir kontrol örneği içerisine eklenmiştir. Bu süreç, antibakteriyel etkilerin değerlendirilmesi için uygulanmıştır. Borik asit esteri içermeyen şahit numunenin diğer örneklerdeki antibakteriyel etkisi dikkate alınmamıştır.

2.2.2.1. İnkübasyon Süreci

Staphylococcus aureus bakterileri, belirtilen oranlarda hazırlanarak numunelere eklenmiş ve 24 saat süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi, bakteriyel büyüme ve çoğalma süreçlerinin değerlendirilmesi için gerekli süreyi sağlamaktadır.

2.2.2.2. Azalma Oranlarının Belirlenmesi

İnkübasyon süresinin sonunda, numunelerdeki bakteriyel kontaminasyon düzeyi belirlenmiştir. Azalma oranları, elde edilen sayım sonuçlarına göre hesaplanmıştır. Sayım sonuçları, koloni oluşturan birimler (KOB) olarak rapor edilmiştir.

2.2.2.3. Koloni Oluşturmayan Birimler

Sayılan materyalde, canlı kalabilen ancak gelişme ve çoğalma yeteneklerini kaybetmiş hücrelerin bulunabileceği dikkate alınmıştır. Bu hücreler, koloni oluşturma yeteneklerini kaybettiklerinden, koloni oluşturan birimler olarak sayılmamışlardır. Bu durum, bakteriyel canlılık ve etkinlik düzeylerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak amacıyla önem arz etmektedir.

Bu prosedür, Staphylococcus aureus bakteriyel kontaminasyonunun ve antibakteriyel etkinliklerin doğru ve güvenilir bir şekilde analiz edilmesini temin etmek için titizlikle uygulanmıştır.

Tablo 2.3 Kuru Film Üzerindeki Canlı Mikroorganizma sayıları (0. Saat)

Aktif Madde Oranı (%)	Organizma	0. saat (kob/cm ²)
0	Staphylococcus aureus	32000
0,005	Staphylococcus aureus	11100
0,01	Staphylococcus aureus	11100
0,02	Staphylococcus aureus	11100
0,075	Staphylococcus aureus	11100
0,15	Staphylococcus aureus	39000
0,3	Staphylococcus aureus	39000
0,6	Staphylococcus aureus	39000

2.3. ÖRTME GÜCÜ TESTİ

Deneylerde kullanılan cihaz, Spektrofotometre (Xrite Ci7800) olup, aşağıda belirtilen prosedür doğrultusunda çalışılmıştır. Spektrofotometre cihazına ait görsel Şekil 2.2’de verilmiştir.

2.3.1. Örnek Hazırlığı ve Kurutma

Boyalar, zebra kartı olarak bilinen siyah-beyaz kartlar üzerine 150 µm kalınlığında bir tabaka halinde uygulanmıştır. Uygulama sonrasında, kartlar şartlandırma odasına yerleştirilmiştir. Şartlandırma odası, $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve %50 bağıl nem koşullarında düzenlenmiş olup, bu ortamda kartlar 7 gün süresince doğal koşullarda kurutulmuştur. Bu kurutma süreci, boyaların düzgün ve homojen bir şekilde kurumasını sağlamak amacıyla titizlikle kontrol edilmiştir.

2.3.2. Renk Ölçüm Prosedürü

Kuruma işlemi tamamlanan kart, renk ölçüm cihazının okuma yüzeyine yerleştirilmiştir. Bu işlem, renk ölçüm cihazının doğru sonuçlar vermesi için gerekli bir adımdır. Boya kaplı kartın her iki rengi (beyaz ve siyah) sırasıyla ölçülmüştür. Ölçüm işlemi, spektrofotometre cihazının sensörleri tarafından gerçekleştirilmiş ve örtücülük (kapama) değeri spektro yazılım programı aracılığıyla elde edilmiştir. Bu yazılım, ölçülen değerlerin analizini yaparak, kart üzerindeki boya kaplamasının örtücülük performansını belirlemek için kullanılmıştır.



Şekil 2.2 Spektrofotometre Cihazı

2.4. PARLAKLIK ÖLÇÜMÜ

Deneylerde kullanılan cihaz Glossmetre (Rhopoint IQ) olup, aşağıda belirtilen örnek hazırlığı, ölçüm yöntemi ve sınıflandırma kriterleri prosedürü doğrultusunda çalışılmıştır. Şekil 2.3’de parlaklık ölçümü yapılan cihazın fotoğrafı yer almaktadır.



Şekil 2.3 Glossmetre Cihazı

2.4.1. Örnek Hazırlığı

Boya örnekleri, cam plakalar üzerine 150 µm kalınlığında uniform bir tabaka halinde uygulanmıştır. Uygulama işlemi sonrasında, plakalar şartlandırma odasına yerleştirilmiştir. Şartlandırma odası, 23±2°C sıcaklık ve %50 bağıl nem koşullarında düzenlenmiştir. Bu ortamda plakalar, 7 gün süreyle doğal olarak kurutulmuştur. Bu süre, boya filminin homojen bir şekilde kurummasını ve gerekli fiziksel özelliklerin elde edilmesini sağlamak amacıyla belirlenmiştir.

2.4.2. Ölçüm Yöntemi

Glossmetre cihazı, kurutulan film üzerine yerleştirilmiş ve 60° ve 85° açılarında üçer okuma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen okumaların ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Eğer 60° açısında ölçülen yansıma değeri 10'dan küçük ise, bu ölçüm 85° açısında yeniden yapılmıştır. 85° açısında elde edilen değer kaydedilmiş ve Tablo 2.4'e göre sınıflandırma yapılmıştır.

2.4.3. Veri analizi ve Sınıflandırma

Parlaklık değerlerinin sınıflandırmasında, Tablo 2.4'te görüldüğü gibi, EN ISO 2813 standardına uygun olarak yapılan ölçümler esas alınmıştır. Bu standart, 60° ve 85° açıları için elde edilen parlaklık değerlerine dayanmaktadır.

Tablo 2.4 Parlaklık Sınıflandırması

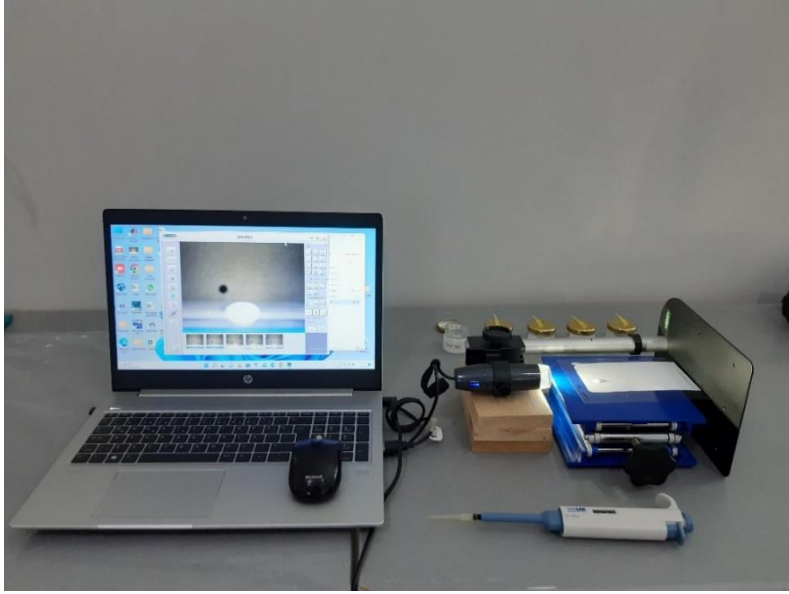
Sınıflandırma	Geliş açısı	Yansıma
Tam mat	85°	<5
Mat	85°	<10
Yarı mat	60°	<60
	85°	≥10
Parlak	60°	≥60

2.5. TEMAS AÇISI ÖLÇÜMÜ

Asetat filmler, uygulayıcı bir cihaz kullanılarak boyalar ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında, filmler 25±0,5°C sıcaklıkta ve 1 atm basınç altında izole bir ortamda kurutulmaya bırakılmıştır.

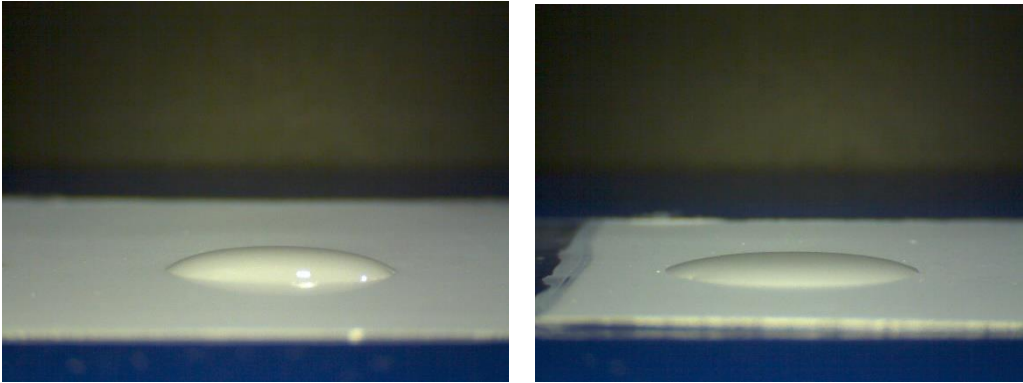
Temas açılarının ölçümü için özel bir gonyometre tasarlanmıştır. Bu ölçümler, farklı özellikteki hidrofobik ve hidrofilik davranışlar gösteren kimyasallarla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kimyasallar şunlardır: gliserin, formamid, dietilen glikol ve parafin.

Kuru film üzerine, bu kimyasallardan mikropipet kullanılarak 30 µL hacminde damlalar bırakılmıştır. Damlaların temas açılarının belirlenmesi için, damlaların nihai statik durumlarına ulaştıktan sonra USB mikroskobu ile fotoğrafları çekilmiştir. Bu fotoğraflar, damlaların dengeye ulaştığı ve bu nedenle temas açılarının doğru bir şekilde ölçülebileceği bir aşamada çekilmiştir. Temas açısı ölçümü için kullanılan düzenek görseli Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4 Temas Açısı Ölçüm Düzeneği

Damlaların temas açıları, ImageJ yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Her bir fotoğraf üzerinde temas açıları, üç kez ayrı ayrı ölçülmüş ve bu ölçümlerin ortalaması alınarak kayıt edilmiştir. Temas açısı, 30 μ L hacmindeki damlanın sol ve sağ kenarlarından ölçülen açılarının ortalaması olarak belirlenmiştir. Gonyometrede çekilmiş bazı fotoğraflar Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5 Gonyometrede Çekilmiş Bazı Fotoğraflar

2.6. YÜZEY GERİLİM ÖLÇÜMÜ

Laboratuvar çalışmaları kapsamında, yüzey enerjilerinin (SFE) hesaplanması için Matlab yazılımı kullanılarak özelleştirilmiş bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu

hesaplamalarda, çeşitli teorik modellerin kullanımı gerçekleştirilmiştir. Özellikle, Fowkes, Owens ve Wendt, Neumann's ve Wu'nun modelleri uygulamaya konulmuştur.

Her bir model çerçevesinde yüzey gerilim enerjileri ayrı ayrı hesaplanmış ve bu hesaplamalardan elde edilen değerler titizlikle değerlendirilmiştir. Çalışmada, her modelden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak genel bir yüzey gerilim enerjisi değeri belirlenmiştir. Bu ortalama değer, çeşitli modellerin hesaplamalarının entegrasyonu sonucunda elde edilen yüzey gerilim enerjisini temsil etmektedir ve çalışmanın yüzey enerjisi değerlendirmelerinde referans olarak kabul edilmiştir.

2.7. VİSKOZİTE ÖLÇÜMÜ

Bu çalışmada kullanılan cihaz, ICI Viskozimetresi (Sheen Cone and Plate Viscometer CP1) olup, viskozite ölçümleri $25\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ çalışma sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Viskozite ölçüm süreci aşağıdaki adımlarla yürütülmüştür:

2.7.1. Spindle Seçimi

Ölçüm yapılacak numunenin viskozite değerine uygun olarak, viskozimetrede kullanılacak koni plaka spindle (uygulayıcı ucu) özenle seçilmiştir. Bu seçim, numunenin viskozite özelliklerinin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Seçilen spindle, numunenin viskozite aralığına ve özelliklerine en uygun şekilde ayarlanarak, ölçüm sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmayı hedeflemiştir.

2.7.2. Numune Hazırlığı ve Uygulama

Numuneden küçük bir miktar alınarak, viskozimetrenin 25°C sıcaklıkta ayarlı test plakası üzerine titizlikle yerleştirilmiştir. Bu adım, numunenin viskozite ölçümüne uygun bir şekilde hazırlanmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır. Numunenin düzgün bir şekilde test plakası üzerine uygulanması, viskozite ölçümünün doğruluğunu ve güvenilirliğini temin eden önemli bir aşamadır.

2.7.3. Cihazın Çalıştırılması

Viskozimetrenin kolu indirilerek test plakaları birleştirilmiş ve cihazın çalıştırılması sağlanmıştır. Bu işlem, viskozite ölçümünün gerçekleştirilmesi için gerekli olan fiziksel bağlantıyı oluşturur. Plakaların sıkıca birleşmesi, viskozite ölçümünün doğru ve güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için kritik öneme sahiptir.

2.7.4. Ölçüm ve Veri Kaydı

Ölçüm, 900 rpm hızında gerçekleştirilmiştir. Cihazın ekranından viskozite değeri okunmuş ve elde edilen sonuçlar poise birimi cinsinden kaydedilmiştir. Bu adım, numunenin viskozite özelliklerinin belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir ve elde edilen veriler, numunenin akışkanlık özelliklerini nitelendirmek için temel bir referans sağlar.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. E.COLİ ETKİNLİK TESTİ SONUÇLARI

Aktif madde içeren numunelerde şahit numunenin antibakteriyel etkisi dikkate alınmamıştır. Bakteri sayımlarında şahit numunenin antibakteriyel etki gösterdiği mikroorganizmalar (KOB) hesaba dahil edilmemiştir. Bu sebepten dolayı her numunenin başlangıç saati sıfır olarak kabul edilmiştir. %0,15, %0,3 ve %0,6 oranında aktif madde içeren kuru film numunelerine ekilen bakteri miktarı, %0,05, %0,01, %0,02 ve %0,075 oranında aktif madde içeren kuru filmlerden farklılık arz etmektedir. Bunun sebebi her iki gruba farklı zamanlarda bakteri ekimi gerçekleştirilmiştir. Aktif madde oranı %0, %0,005, 0,010, %0,020, %0,075, %0,15, %0,3 ve %0,6 olan boya numunelerinin e.coli azalma oranları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Kuru film üzerindeki escherichia coli mikroorganizma sayıları (0. ve 24. saat)

Aktif Madde Oranı (%)	Organizma	0. saat (kob/cm ²)	24. saat (kob/cm ²)
0	Escherichia coli	78000	30000
0,005	Escherichia coli	30000	50
0,01	Escherichia coli	30000	39
0,02	Escherichia coli	30000	45
0,075	Escherichia coli	30000	20
0,15	Escherichia coli	20000	16500
0,3	Escherichia coli	20000	10800
0,6	Escherichia coli	20000	8400

Borik asit ester oranı %0 olan şahit numunenin e.coli bakterisine karşı %61,54 azaltma gösterdiği tespit edilmiştir. E.coli bakterisine karşı en yüksek antibakteriyel etki %0,075 aktif madde içeren numunede, en düşük antibakteriyel etki ise %0,15 aktif madde içeren numunede ölçülmüştür.

3.2. S. AUREUS ETKİNLİK TESTİ SONUÇLARI

Bakteri sayımlarında, şahit numunenin antibakteriyel etki gösterdiği mikroorganizmalar (KOB) hesaplamalara dahil edilmemiştir. Bu nedenle, her numunenin başlangıç saati sıfır olarak kabul edilmiştir. %0,15, %0,3 ve %0,6 oranında aktif madde içeren kuru film numunelerine eklenen bakteri miktarı, %0,05, %0,01, %0,02 ve %0,075 oranında aktif madde içeren kuru filmlerden farklılık göstermektedir. Bu farklılık, her iki gruba farklı zaman dilimlerinde bakteri ekimi yapılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Aktif madde oranı %0, %0,005, 0,010, %0,020, %0,075, %0,15, %0,3 ve %0,6 olan boya numunelerinin e.coli azalma oranları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Kuru film üzerindeki escherichia coli mikroorganizma sayıları (0. ve 24. saat)

Aktif Madde Oranı (%)	Organizma	0. saat (kob/cm ²)	24. saat (kob/cm ²)
0	Staphylococcus aureus	32000	11100
0,005	Staphylococcus aureus	11100	4200
0,01	Staphylococcus aureus	11100	3800
0,02	Staphylococcus aureus	11100	4700
0,075	Staphylococcus aureus	11100	10600
0,15	Staphylococcus aureus	39000	19900
0,3	Staphylococcus aureus	39000	19700
0,6	Staphylococcus aureus	39000	14400

Borik asit esteri oranı %0 olan şahit numunenin s.aureus bakterisine karşı %65,31 azaltma gösterdiği tespit edilmiştir. S.aureus bakterisine karşı en yüksek antibakteriyel etki %0,075 aktif madde içeren numunede, en düşük antibakteriyel etki ise %0,01 aktif madde içeren numunede ölçülmüştür. Bakterilerin kuru film üzerinde yüzdesel olarak azalma oranları tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3 Bakterilerin azalma oranları

Aktif Madde Oranı (%)	Escherichia coli (% azalma)	Staphylococcus aureus (% azalma)
0	61,54	65,31
0,005	99,83	62,16
0,01	99,87	65,77
0,02	99,85	57,66
0,075	99,93	4,50
0,15	17,5	48,97
0,3	46	49,48
0,6	58	63,07

3.3. TEMAS AÇISI ÖLÇÜM SONUÇLARI

Aktif madde oranı %0, %0,005, 0,010, %0,020, %0,075, %0,15, %0,3 ve %0,6 olan boya numuneleri hazırlanarak su, gliserin, formamid, dietilen glikol, parafin ile temas açıları ayrı ayrı üçer kez ölçüldü ve ortalama değer kaydedildi. Temas açısı ölçüm sonuçları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Temas açısı ölçüm sonuçları

	Aktif madde oranı, %	Kimyasallar	Su	Gliserin	Formamid	Dietilen glikol	Parafin
Şahit	0	1	75,808	64,395	41,056	58,404	30,486
		2	75,348	74,886	36,950	60,315	31,012
		3	74,71	69,193	29,367	61,052	28,331
		Ortalama	75,289	69,491	35,791	59,924	29,943
1	0,005	1	75,213	70,572	37,774	59,862	34,946
		2	75,54	72,701	33,189	62,382	34,413
		3	74,894	71,891	33,588	62,148	31,948
		Ortalama	75,216	71,721	34,850	61,464	33,769
2	0,01	1	73,705	75,189	32,742	54,529	24,181
		2	72,409	74,256	36,702	57,234	27,643
		3	75,822	75,813	33,631	62,686	34,354
		Ortalama	73,979	75,086	34,358	58,150	28,726
3	0,02	1	75,2	70,06	42,842	58,919	25,762
		2	70,474	71,744	40,135	58,411	25,534
		3	74,476	70,527	32,005	61,311	30,371
		Ortalama	73,383	70,777	38,327	59,547	27,222
4	0,075	1	75,132	76,293	41,658	59,286	28,414
		2	73,18	74,003	35,764	56,864	27,782
		3	74,881	74,063	41,273	61,742	33,84
		Ortalama	74,398	74,786	39,565	59,297	30,012
5	0,15	1	72,075	76,467	36,336	61,002	26,181
		2	72,428	74,640	35,766	57,293	27,213
		3	71,449	71,731	32,775	58,339	29,513
		Ortalama	71,984	74,279	34,959	58,878	27,636
6	0,3	1	73,717	74,066	34,663	59,668	27,877
		2	70,75	75,950	38,386	54,671	33,812
		3	71,381	74,101	31,848	61,4	28,166
		Ortalama	71,949	74,706	34,966	58,580	29,952
7	0,6	1	69,034	72,022	31,908	60,813	32,909
		2	64,395	73,439	32,946	55,968	28,402
		3	61,675	73,898	33,505	61,887	25,645
		Ortalama	65,035	73,120	32,786	59,556	28,985

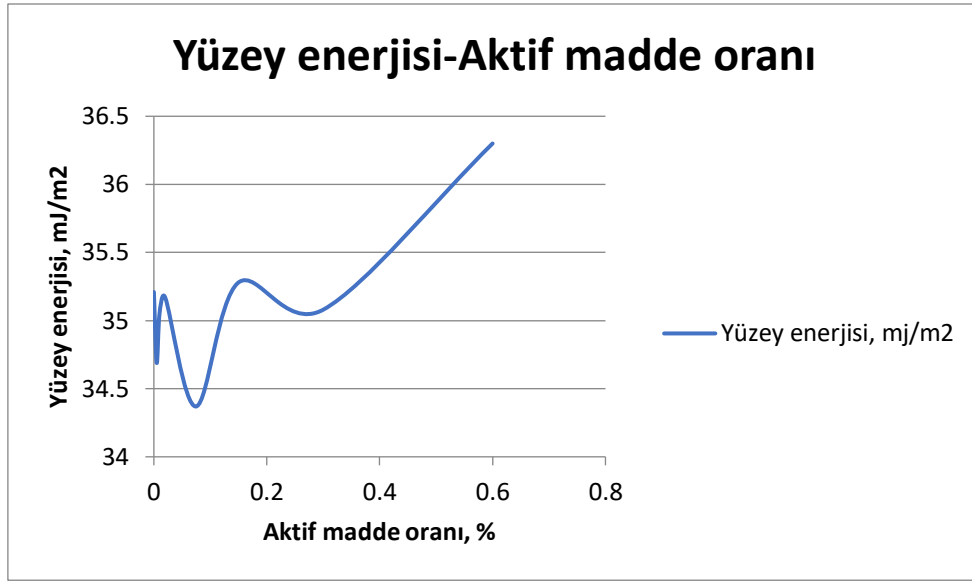
3.4. YÜZEY GERİLİM ENERJİSİ SONUÇLARI

DeneySEL çalışmalar kapsamında, yüzey enerjilerinin (SFE) hesaplanmasına yönelik özel bir bilgisayar programı Matlab yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Bu hesaplamalarda, Fowkes, Owens ve Wendt, Neumann's ve Wu modelleri gibi çeşitli teorik yaklaşımlar uygulanmıştır. Her bir model çerçevesinde yüzey gerilim enerjileri bağımsız olarak hesaplanmış ve elde edilen değerler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Araştırma, her modelden elde edilen sonuçların ortalamasını alarak genel bir yüzey gerilim enerjisi değeri belirlemeyi amaçlamıştır. Bu ortalama değeri, çeşitli modellerin hesaplamalarının entegrasyonu sonucunda elde edilen yüzey gerilim enerjisini temsil etmekte olup, çalışmanın yüzey enerjisi değerlendirmelerinde referans değeri olarak kullanılmaktadır. Tablo 3.5'de yüzey gerilim enerjisi sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.5 Yüzey gerilim enerjisi sonuçları

Aktif Madde Oranı (%)	Yüzey Gerilim Enerjisi (mJ/m ²)
0	35,21
0,005	34,69
0,01	35,05
0,02	35,17
0,075	34,37
0,15	35,28
0,3	35,08
0,6	36,3

Borik asit esteri içermeyen şahit numunede yüzey gerilim enerjisi 35,21 mJ/m² olarak ölçülmüştür. En yüksek yüzey gerilim enerjisi %0,6 aktif madde içeren numunede ölçülürken, en düşük yüzey gerilim enerjisi ise 0,075 aktif madde içeren numunede tespit edilmiştir. %0,005, %0,01, %0,02, 0,075 ve %0,3 aktif madde içeren numuneler yüzey gerilim oranını düşürürken %0,15 ve % 0,6 olan numunelerin yüzey gerilim enerjisini arttırdığı saptanmıştır. Aktif madde oranına göre ölçülen yüzey gerilim enerjileri grafiksel olarak şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1 Aktif madde oranının bir fonksiyonu olarak yüzey enerjisi

3.5. FİZİKSEL ANALİZ SONUÇLARI

Aktif madde oranları değişen boya ile kaplı yüzeylerin pH ölçüm sonuçları, örtme gücü, viskozite ve parlaklık değerleri Tablo 3.5'te verilmektedir. Parlaklık değeri 60° geliş açısı kullanılarak ölçüldü. 60°'deki yansımaya değeri 10'dan düşük olan numunelerin ölçümleri 85°'de tekrarlandı ve bu değer kaydedildi. Tablo 3.6'da örtme gücü oran, viskozite, pH ve parlaklık sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.6 Fiziksel analiz sonuçları

Aktif Madde Oranı (%)	Örtme Gücü (% , 150 μ)	Viskozite (900 rpm, poise)	pH	Parlaklık (60° veya 85°)
0	94,97	1,31	8,38	49 (85°)
0,005	96,72	1,30	8,40	51,4 (85°)
0,01	95,57	1,22	8,39	49,1 (85°)
0,02	94,72	1,16	8,35	49,8 (85°)
0,075	95,64	1,24	8,26	50,1 (85°)
0,15	95,68	1,02	8,19	10,1 (60°)
0,3	94,63	1,01	8,07	11,7(60°)
0,6	93,58	0,80	7,89	15,9(60°)

Borik asit esteri içermeyen şahit numunenin örtme gücü %94,97 olarak ölçülmüştür. %0,02, %0,3 ve %0,6 borik asit esteri içeren numuneler örtme gücünü düşürürken diğer numuneler örtme gücünü arttırmıştır. En yüksek örtücülüğe sahip numune %0,005 aktif madde içeren numune iken en düşük örtücülüğe %0,6 aktif madde içeren numunedir.

Borik asit esteri içermeyen şahit numunenin 900 rpm hızında viskozite değeri 1,31 poise olarak ölçülmüştür. Numuneler arasında bu ölçüme en yakın değer 0,005 aktif madde içeren üründe rastlanmıştır. Bu numunenin 900 rpm hızında ölçülen viskozite değeri 1,30 poise olarak tespit edilmiştir. Borik asit esteri tüm numunelerin viskozite değerini düşürdüğü saptanmıştır.

Borik asit esteri içermeyen şahit numunenin pH değeri 8,38 olarak ölçülmüştür. Kullanıma hazır boyadaki pH aralığı 8-9 olmalıdır. Bu değer aralığını uymayan tek numune içinde %0,6 aktif madde içeren numunedir. Borik asit esteri genel olarak pH değerlerini önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir.

Borik asit esteri içermeyen şahit numunenin parlaklık sınıflandırması yarı mat boya olarak belirlenmiştir. Borik asit esteri eklenen tüm numunelerin parlaklık sınıflandırma kategorisi değişmemiştir. Tüm numunelerin parlaklık sınıflandırması yarı mat boya olarak tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Şahit numuneye, aktif madde oranı %0,005, 0,010, %0,020, %0,075, %0,15, %0,3 ve %0,6 olacak şekilde borik asit esteri eklenerek yedi adet farklı ürün elde edilmiştir. Aktif madde oranları farklı boya ile kaplı yüzeylerin e. coli ve s.aures azalma yüzdeleri, yüzey gerilim enerjisi, pH, örtme gücü ve parlaklık değerleri ölçülmüştür.

Yapılan bu çalışma ile borik asitten elde edilen borik asit esterinin boya sanayisinde bir antibakteriyel madde olarak kullanılabileceği ispatlanmıştır. Özellikle %0,075 aktif madde içeren numunenin escherichia coli bakterisi üzerinde yüksek derecede azalma ortaya koyduğu belirlenmiştir. %0,075 aktif madde içeren numune ile boyanmış yüzeyin e.coli bakterisi üzerinde %99,93 antibakteriyel etki gösterdiği tespit edildi. %0,005 aktif madde içeren numune ile boyanmış yüzeyde antibakteriyel etki %99,83 olarak ölçülürken, %0,01 aktif madde içeren yüzeyde %99,87 olarak belirlenmiştir. %0,02 aktif madde içeren numunede ise %99,85 antibakteriyel etki kaydedilmiştir. En düşük antibakteriyel etki, %0,15 aktif madde içeren numunede %17,5 olarak ölçülmüştür.

Staphylococcus aureus bakterisi için en yüksek antibakteriyel etki %0,01 aktif madde içeren numunede saptanmıştır. Bu numunenin s.aureus bakterisi üzerinde %65,77 antibakteriyel etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur. En düşük antibakteriyel etki ise %0,075 aktif madde içeren numune tespit edilmiştir. 0,075 aktif madde içeren numunenin staphylococcus aureus üzerinde %4,50 antibakteriyel etki ortaya koyduğu saptanmıştır.

Her iki bakteri türü birlikte ele alındığında ise en yüksek antibakteriyel etki, %0,01 aktif madde içeren numunede saptanmıştır. Bu numune e.coli bakterisine karşı %99,87 azalma sağlar iken s.aureus bakterisine karşı %65,77 azalma sağlamıştır.

Yüzey enerji değerlerine bakıldığında en düşük yüzey enerjisi değeri %0,075 aktif madde içeren numunede olduğu saptanmıştır. Yapılan literatür araştırmasında hidrofobik özellik gösteren bakteriler genellikle su itici özellikte olan yüzeyleri tercih ederken, hidrofilik özellik gösteren bakteriler ise suyu çeken yüzeyleri tercih etmektedir. Hidrofilik özellikte olan e.coli bakterisi yüzey enerjisi en düşük olan kuru film üzerinde %99,93 azalma göstermiştir. Hidrofobik özellik gösteren s.aureus bakterisi ise aynı özellikteki kuru filmde %4,5 azalma göstermiştir.

S.aureus bakterisine karşı en yüksek antibakteriyel etki %65,77 ile içerisinde 0,01 aktif madde içeren kuru filmde tespit edilmiştir. Aynı kuru filmdeki antibakteriyel etki e.coli bakterisine karşı ise %99,87 olarak ölçülmüştür.

Örtme gücü oranlarına bakıldığında ise en yüksek örtme gücü değeri %95,68 ile 0,15 aktif madde içeren numunede tespit edilmiştir. Hazırlanan tüm numunelerde örtme gücü yüzdeleri iyi durumdadır. Borik asit esterinin, %0,005, %0,01, %0,075 ve %0,15 aktif madde içeren numunelerde örtme gücünün yükselttiği saptanmıştır.

Parlaklık oranlarına bakıldığında tüm numunelerin parlaklık sınıflandırmasının değişmediği ve yarı mat olarak sınıflandırılmaya devam ettiği tespit edilmiştir.

Vizkozite değerleri incelendiğinde ise içinde aktif madde bulunmayan şahit numunenin 900 rpm hızında vizkozite değeri 1,31 poise olarak ölçülmüştür. Bu vizkozite değerine en yakın vizkoziteye sahip numune 1,3 poise ile %0,005 aktif madde içeren numune iken, en uzak değer ise 0,8 poise ile %0,6 aktif madde içeren numunedir.

Bu çalışma, borik asit esterlerinin antibakteriyel özelliklerini kullanarak iç cephe boyalarında etkili bir antibakteriyel çözüm geliştirmiştir. Borik asit esterlerinin sentezi ve uygulama yöntemlerinin optimize edilmesi sonucu, boya sanayisinde kullanılacak etkili bir antibakteriyel katkı maddesi olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında, borik asit esterlerinin boyanın yüzey enerjisi, pH, parlaklık, örtme gücü ve viskozite gibi fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Covid-19 pandemisi ile birlikte antimikrobiyal özelliklere sahip ürünlerin önemi artmış olup, bu çalışma salgın hastalıklara karşı koruyucu önlemler geliştirilmesine katkı sağlamak ve halk sağlığı ile çalışan sağlığını korumaya yönelik inovatif çözümler sunmaktadır.

İş sağlığı ve güvenliğinin sürdürülebilirliği açısından, işyerlerinde biyolojik risklere karşı alınacak önlemler büyük bir önem arz etmektedir. Gözle görülemeyen mikroorganizmalar, insanlarda hastalıklara yol açabilen, çalışanlar için tehlike oluşturan ve toplumda yayılma riski taşıyan ajanlar olarak tanımlanır. Çalışanlar, gerçekleştirdikleri işlerden dolayı biyolojik etkenlere maruz kalabilecekleri gibi, biyolojik etkenlerle doğrudan çalışılmayan veya biyolojik etkenlerin kullanılmadığı işyerlerinde dahi bu riskle karşı karşıya kalabilirler. İşverenler, çalışanların biyolojik etkenlere maruziyet riskini azaltmak amacıyla gerekli önlemleri almakla yükümlüdür. Çalışma prosesleri ve teknik kontrol önlemleri, biyolojik etkenlerin çevreye yayılmasını önleyecek veya bu etkenlerin ortamda en az düzeyde bulunmasını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. İlk olarak, toplu koruma önlemleri alınmalıdır. Hijyen tedbirleri, biyolojik etkenlerin çalışma alanlarından kazara dışarı taşınmasını veya sızmasını önlemeye veya azaltmaya uygun olmalıdır. İşyeri ortamında insan sağlığını koruyacak önlemlerin yanı sıra, hastaneler, alışveriş merkezleri, iş merkezleri, marketler, mağazalar, eğitim kurumları gibi toplu olarak kullanılan alanlarda da

mikroorganizmaların yayılmasını önleyici tedbirler alınmalıdır. Bu tez çalışmasında, borik asit esteri katkılı duvar boyasının antibakteriyel özelliklere sahip olduğu ve iş sağlığı ve güvenliği açısından işyerlerinde toplu koruma önlemi olarak kullanılabilceğı tespit edilmiştir.



KAYNAKÇA

- [1] T.C Resmi Gazete, (2013), Biyolojik Etkenlere Maruziyet Risklerinin Önlenmesi Hakkında Yönetmelik, 28678.
- [2] Demiralp, B. (2017) Synthesis Of Quaternary Poly(4-Vinyl Pyridine) Based Submicron Particles For Preparing Biocidal Dispersions And Permanent Antibacterial Cotton Fabrics, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Graduate School Of Science Engineering And Technology, İstanbul, Turkey.
- [3] Koleske J. V., Springate R. and Brezinski D. (2011) Additives Handbook, Paint and Coatings Industry.
- [4] İlhan Z, Ekin İ.H, Gülaydın Ö. (2019) Antimicrobial Activity of Boric Acid Solution Against *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus*, Van Veterinary Journal, 30(3), 163-166.
- [5] Yenmez N (2010) Stratejik bir maden olarak bor minerallerin Türkiye için önemi, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi, 19, 59-94.
- [6] Kuru R, Yarat A (2017) Bor ve sağlığımıza olan etkilerine güncel bir bakış. Clin Exper Health Sci, 7 (3), 107-115.
- [7] Yılmaz MT. (2012) Minimum inhibitory and minimum bactericidal concentrations of boron compounds against several bacterial strains, Turk J Med Sci, 42 (Sup. 2), 1423-1429.
- [8] Baker SJ, Ding CZ, Akama T, Zhang YK, Hernandez V, Xia Y. (2009) Therapeutic potential of boron-containing compounds, Future Med Chem, 1 (7), 1275-1288.
- [9] Baker S J, Tomsho J W, Benkovic S.J. (2011) Boron-containing inhibitors of synthetases, Chem. Soc. Rev. 40, 4279–4285.
- [10] Borokhov O, Schubert D. (2007) Antimicrobial properties of boron derivatives, ACS Symp Ser, 412–435.
- [11] Dembitsky V M, Quntar M. (2011) Natural and synthetic small boroncontaining molecules as potential inhibitors of bacterial and fungal quorum sensing, Chem Rev, 111, 209–237.
- [12] Dyke, J.C. (1919) Colloge Histories of Art, Longmans Green and Co., s:3-12.
- [13] Bahn, P.G. (1998) The Cambridge Illustrated History of Prehistoric Art. Cambridge Illustrated History. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

- [14] Lambourne, R., Strivens, T.A. (1999) Paint and Surface Coatings Theory and Practice, Woodhead Publishing, Cambridge.
- [15] Esen Ergin, H. (2020) Poliüretan Bazlı Boyaların Hazırlanması ve Ses Kaybı Performanslarının Matematiksel Modellemesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [16] Gündüz, G. (2015) Boya Bilgisi, Kimya Mühendisleri Odası.
- [17] McGonigle, F. ve Ciullo P. (1996) Paints&Coatings, Industrial Minerals and Their Uses, Noyes Publication, Westwood New Jersey, 125-136.
- [18] Talbert, R. (2007) Paint Technology Handbook, CRC Press, Boca Raton
- [19] M. Sancak. (2002) Polimer Kimyası, Gazi Kitapevi, Ankara.
- [20] May, C. A. (2018) Epoxy resins-chemistry and technology, 2nd Edition, Boca Raton, New York.
- [21] Grıswold, M. (2014) The Larger Vision, Landscape Architecture Magazine, cilt 104 (6), 126-139.
- [22] Allpor, D., Gilbert D. Ve Outterside, S. (2003) MDI and TDI: Safety, Health and the Environment, John Wiley & Sons Ltd, Southern Gate, England.
- [23] Shira, S. (2015) Chemical and Physical Properties of Inorganic Pigments, Paint & Coatings, Cilt November 1, 1-3.
- [24] Kumar, A., Dixit, U., Singh, K., Gupta, S. P. ve Beg, M. S. J. (2021) Structure and Properties of Dyes and Pigments, Dyes and Pigments - Novel Applications and Waste Treatment, IntechOpen, Raffaello Papadakis.
- [25] Tracton, A. A. (2006) Coatings Technology Handbook Taylor & Francis Group, s: 405-409.
- [26] Yalçın, G.E. (2022) Metalik ve Grafit İçerikli Kaplar Malzemelerin Ses İletim Özelliklerinin Ölçülmesi ve Matematiksel Modellemesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [27] J. V. Koleske. (2012) Paint and Coating Testing Manual, Fifteenth Edition of the Gardner, Sward Handbook., GARDCO, Bridgeport, USA
- [28] Poole, C. F. ve Karunasekara, T. (2012) Solvent Classification for Chromatography and Extraction, JPC – Journal of Planar Chromatography – Modern TLC, cilt 25, 190-199.
- [29] Tracton, A. A. (2005) Coatings Technology Handbook, 3rd Eddition, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA.
- [30] Goldschmidt, A., Streitberger, H.J. (2007) BASF Handbook on Basics of Coating Technology (American Coatings Literature), Vincentz

- [31] Hare, C. (1994) Protective Coatings, Technical Publishing Company, Pittsburgh.
- [32] Calbo, L. (1992) Handbook of Coatings Additives, Marcel Dekker, New York, USA.
- [33] Schick, M. (1987) Nonionic Surfactants, Physical Chemistry, Surfactant Science Series, Marcel Dekke, New York, USA.
- [34] Zorll, U. (2000) European Coatings Handbook, Vincentz Verlag, Germany.
- [35] Orr, E. (1998) Performance Enhancement in Coatings, Hanser/Gardner Publications, Inc., Cincinnati, USA.
- [36] Raven, P., Johnson, G., Mason, K., Singer, S. and Losos, J. (2004) Biology, McGraw Hill Science.
- [37] Lodish, H., Berk, A., Matsudaira, P., Kaiser, C.A., Krieger, M., Scott, M.P., et al. (2005) Molecular cell biology. 5th Edition, W.H. Freeman and Co., New York.
- [38] Beveridge, T.J. and Graham, L.L. (1991) Surface layers of bacteria. American society for microbiology, Microbiol Rev, 55 (4): 684-705.
- [39] Microbe Wiki, Bacterial Derived Plastics, Gram Positive vs. Gram Negative Strains,
- [40] <http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/File:Gram.jpg> (Erişim Tarihi: 01.07.2024)
- [41] Beveridge, T. J. (1999) Structures of gram-negative cell walls and their derived membrane vesicles, Journal of Bacteriology, 181(16), 4725.
- [42] Russell, A.D. (1998) Bacterial resistance to disinfectants: Present knowledge and future problems, Journal of Hospital Infection, 43, 57.
- [43] Baker, S. J., Tomsho J. W., Benkovic S.J. (2011) Boron-containing inhibitors of synthetases, Chem. Soc. Rev. 40, 4279–4285.
- [44] Borokhov, O., Schubert, D. (2007) Antimicrobial properties of boron derivatives, ACS Symp Ser, 412–435.
- [45] Dembitsky, V. M., Quntar, M. (2011) Natural and synthetic small boroncontaining molecules as potential inhibitors of bacterial and fungal quorum sensing, Chem Rev, 111, 209–237.
- [46] Kocabař, E. (2009) Su Bazlı Boya Üretimi Atıksularının Fiziko-Kimyasal Yöntemlerle Arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 13.
- [47] Yenice, E. (2015) Plazma destekli kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile su itici nano kaplama sentezi ve karakterizasyonu, Selçuk Üniversitesi, Kimya Mühendislięi Bölümü, Konya, Türkiye.

- [48] Karakeçili, A. (2019) *Biyomedikal Uygulamalar İçin Malzemeler*, Ankara Üniversitesi, Ankara
- [49] Von Fraunhofer, J. (2012) Adhesion and Cohesion, *International journal of dentistry*, 8.
- [50] Absolom, D.R. Lamberti, F.V., Policova, Z., Zingg, W., Van Oss, C.J., and Neumann, A.W. (1983) Surface thermodynamics of bacterial adhesion, *Appl. Environ. Microbiol*, 46(1), 90-97.
- [51] Satou, J., Fukunaga, A., Satou, N., Shintani H. and Okuda K. (1988) Streptococcal adherence on various restorative materials, *J. Dent. Res*, 67(3), 588-591.
- [52] Van Loosdrecht, M.C., Norde, W., Zehnder A.J. (1990) Physical-chemical description of bacterial Adhesion, *J. Biomater. Appl*, 5, 91–106.
- [53] Satou, J., Fukunaga, A., Morikawa, A., Matsumae, I., Satou, N. And Shintani H. (1991) Streptococcal adherence to uncoated and saliva-coated restoratives, *J. Oral Rehabil*, 18, 421-429.
- [54] Satou, N., Morikawa, A., Ohmoto, K., Urabe, H., Shintani, H., Wakasa, K. and Yamaki, M. (1996) Adhesion of streptococci to saliva-coated and uncoated composite-based resins, *J. Mater. Sci. Mater. Med*, 7, 749-752.
- [55] Verran J. and Maryan, C.J. (1997) Retention of candida albicans on acrylic resin and silicone of different surface topography, *J. Prosthet Dent*, 77, 535-539
- [56] Grivet, M., Morrier, J.J., Benay G. and Barsotti, O. (2000) Effect of hydrophobicity on in vitro streptococcal adhesion to dental alloys, *J. Mater. Sci. Mater. Med.*,11, 637-642
- [57] Ergin Esen, H., Yagimli, M., Tozan, H., Yalcin, G.E. and Arca E. (2020) Mathematical modelling of sound transmission loss performances of different coloured surfaces coated with polyurethane-based paint, *Transactions of the IMF*, 98:5, 271-276
- [58] Murat, S. (2012) *Hipoalerjenik Protez Kaide Materyallerinin Yüzey Özellikleri ve Bakteri Tutunumlarının İn-Vitro Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 30-31.
- [59] Fox, H.W., Zisman, W.A., (1950) *J. Colloid Science*, 5, 520.
- [60] Kuang, P., Constant, K.P. (2015) Increased wettability and surface free energy of polyurethane by ultraviolet ozone treatment, *Materials Science and Engineering*, 85-103.
- [61] Combe, E.C., Owen, B.A., Hodges, J.S. (2004) A protocol for determining the surface free energy of dental materials, *Dental Materials*, s:262–268
- [62] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Gonyometre> (Erişim Tarihi: 03.07.2024)

- [63] Dobrzanski, L.A. (2006) Engineering Materials and Materials Design, Fundamentals of Materials Science and Physical Metallurgy, WNT, Warsaw.
- [64] Owens D. K., Wendt R. (1969) Estimation of the surface free energy of polymers. Journal of Applied Polymer Science, 13(8): 1741–1747.
- [65] Erbil, H.Y. (2014) The debate on the dependence of apparent contact angles on drop contact area or three-phase contact line: A review, Surface Sciences Reports 69, 325-365.
- [66] Li D., Neumann A.W. (1992) Equation of state for interfacial tensions of solid-liquid systems, Department of Mechanical Engineering, University of Toronto Toronto.
- [67] Neumann A. W., Good R. J. Hope C. J., Sejpal M., (1974) J. Colloid Interface Sci., 49, 291.
- [68] T.C Resmi Gazete (2012) 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı:

Murat UZAN

Eğitim Bilgileri:

Doktora, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Anabilim Dalı 2019-2024

Tezli Yüksek Lisans, Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı 2017-2018

Tezsiz Yüksek Lisans, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği, 2015-2015

Lisans, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 2008-2012

Önlisans, Kocaeli Üniversitesi, Hereke Meslek Yüksek Okulu, Makine, 2019-2021

İş Deneyimi:

A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, Akademik Başarı OSGB, 2021-Devam

B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, 2DR OSGB, 2016-2021

B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, Medicana Hastanesi, 2015-2016

C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, İsaş İnşaat A.Ş., 2014-2015

Mesul Müdür, Kimyager, Akın Bio Dizel, 2012-2014

Yayımlar:

Uzan, M. (2018) İnşaat Sektöründeki İşveren/İşveren Vekili ve Çalışanların Acil Durumlar ve Müdahale Yöntemleri Hakkındaki Bilinç Düzeyi ve Öneriler, Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.