



ANKARA

HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TRANSPARAN VE DAYANIKLI KAYGAN SIVI
EMDİRİLMİŞ KAPLAMALARIN HAZIRLANMASI**

Büşra Nur ÇAĞLAR

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Gökçen DEMİREL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI**

HAZİRAN 2024



**TRANSPARAN VE DAYANIKLI KAYGAN SIVI EMDİRİLMİŞ
KAPLAMALARIN HAZIRLANMASI**

Büşra Nur ÇAĞLAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI**

**ANKARA HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2024

ETİK BEYAN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Büşra Nur ÇAĞLAR

11.06.2024

TEZ ONAY SAYFASI

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Büşra Nur ÇAĞLAR öğrencisi tarafından hazırlanan “Transparan ve Dayanıklı Kaygan Sıvı Emdirilmiş Kaplamaların Hazırlanması” Başlıklı tez çalışması 11/06/2024 10:00 tarih ve saatinde yapılan tez savunma sınavında aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak KABUL edilmiştir.

Kabul

Ret

Başkan (Unvan/Ad-Soyad/Kurum):

☒

☐

Doç. Dr. Hakan ERDOĞAN
Sağlık Bilimleri Üniversitesi

Üye (Unvan/Ad-Soyad/Kurum):

☒

☐

Dr. Öğr. Ü. Esmâ MUTLUTÜRK
Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

Üye (Unvan/Ad-Soyad/Kurum):

☒

☐

Prof. Dr. Gökçen DEMİREL
Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

TRANSPARAN VE DAYANIKLI KAYGAN SIVI EMDİRİLMİŞ KAPLAMALARIN
HAZIRLANMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Büşra Nur ÇAĞLAR

ANKARA HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
Haziran 2024

ÖZET

Bu çalışmada nanopartikül ile pürüzlendirilmiş yüzeylere yağ infüzyonu ile yüksek mekanik dayanıma sahip, son derece şeffaf ve kaygan yüzeyler hazırlanmıştır. Literatürde kaygan yüzey kaplamaların hazırlanması üzerine pek çok çalışma bulunmaktadır. Fakat bu çalışmada ilk kez yüksek mekanik dayanıma sahip ve kendi kendini temizleyebilen bu yüzey kaplamaların hazırlanmasında yapışkan ve bağlayıcı özelliğe sahip laponit nanokili (LAP) kullanılmıştır. Bu amaçla temizlenmiş yüzeyler LAP ile kaplandıktan sonra farklı boyutlarda sentezlenen silika nanopartiküller ile kademeli olarak sprey kaplama yöntemiyle pürüzlendirilmiştir. Pürüzlendirilmiş yüzeyler Trimetoksi(oktasil)silan (OTS) ile modifiye edilmiştir. Kaygan sıvı katkılı gözenekli yüzeylerin (SLIPs) eldesi, kaygan yağlayıcının pürüzlü yüzeyin gözenekli yapısına infüzyonu ile gerçekleştirilmiştir. Yüzeylerin pürüzlendirilmesinde 37 nm ve 63 nm olacak şekilde farklı boyutlarda SiO₂ nanoparçacıkları kullanılmıştır. Bu parçacıklar cam yüzeyler üzerine farklı tabaka sayısında ve farklı derişimlerde parçacıklar püskürtülmüştür. Kaplamalarda bu optimizasyonlar yapılarak en optimum yüzey kaplaması 6 Tabaka ve SiO₂ derişimi %0,4 (a/h) olarak belirlenmiştir. Kaplamaların ıslanabilirliği su değme açısı ölçümleri ile karakterize edilmiştir. Gözenekli yüzeylere, florakarbon bazlı bir yağ olan Krytox-GPL103 ve çeşitli bitkisel yağların infüzyonu gerçekleştirilmiştir. Yüzeylerin, kendi kendine temizleyebilme özelliği test edilmiş ve yüzeylerin 5°, 10° ve 15° 'lik kayma açılarında su damlasının yüzeyleri ıslatmadan ayrıldığı görülmüştür. LAP kaplamanın mekanik dayanıma etkisi farklı döngülerde zımpara kâğıdı ile sırtme testi yapılarak incelenmiş ve Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir. Ek olarak, mekanik dayanımı, kendi kendini temizleme, buzlanma geciktirme, kimyasal çözeltilere karşı gösterdiği performans, anti bakteriyel ve yüzeyde su toplama testleri yapılmıştır. Yüzeylerin transparanlığını belirlemek amacıyla UV-Vis spektrometresi ile karakterize edilmiştir. Bu SLIPs kaplamaların farklı yüzeylere de uygulanarak etkinliği incelenmiştir. Bu tez çalışmasında, son derece şeffaf, sağlam ve kaygan kaplamaların imalatı yapılmıştır. Geliştirilen kaplamalardan elde edilen başarılı sonuçlar ile literatüre basit, dayanıklı, kir tutmayan, buz geciktirme ve anti bakteriyel özellikli, endüstriyel uygulamalar için uygun yeni bir kaplama yöntemi kazandırılmıştır.

Bilim Kodu : 20107
Anahtar Kelimeler : SLIPs, süperhidrofobik yüzeyler, silika nanopartikül, sprey kaplama, kendi kendini temizleyebilme, anti bakteriyel yüzey
Sayfa Adedi : 95
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Gökçen DEMİREL

TRANSPARENT AND DURABLE SLIPPERY LIQUID-INFUSED POROUS SURFACES COATINGS

(M.Sc. Thesis)

Büşra Nur ÇAĞLAR

ANKARA HACI BAYRAM VELİ UNIVERSITY
THE INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

June 2024

ABSTRACT

In this study, highly transparent and slippery surfaces with high mechanical strength were prepared by infusion of oil onto nanoparticle-roughened surfaces. There are many studies in the literature on the preparation of slippery surface coatings. However, in this study, laponite nanoclay (LAP), which has adhesive and binding properties, was used for the first time in the preparation of these surface coatings that have high mechanical strength and can self-clean. For this purpose, after the cleaned surfaces were coated with LAP, they were gradually roughened by the spray coating method with silica nanoparticles synthesized in different sizes. Roughened surfaces were modified with Trimethoxy(octacyl)silane (OTS). Obtaining slippery liquid doped porous surfaces (SLIPs) was achieved by infusing the slippery lubricant into the porous structure of the rough surface. SiO₂ nanoparticles of different sizes, 37nm and 63nm, were used to roughen the surfaces. These particles were sprayed on glass surfaces with different numbers of layers and different concentrations. By making these optimizations in the coatings, the most optimum surface coating was determined as 6 layers and SiO₂ concentration as 0.4% (w/v). The wettability of the coatings was characterized by water contact angle measurements. Infusion of fluorocarbon based lubricant, Krytox-GLP103 and various vegetable oils was carried out on porous surfaces. The self- cleaning feature of the surfaces was tested and it was observed that the water droplet separated from the surfaces at sliding angles of 5°, 10° and 15° without wetting the surfaces. The effect of LAP coating on mechanical strength was examined by abrasion test with sandpaper in different cycles and characterized by Scanning electron microscope (SEM). In addition, mechanical strength, self-cleaning, frost delay, performance against chemical solutions, anti- bacterial and surface water collection tests were performed. UV-Vis spectrometry was characterized to determine the transparency of the surfaces. The effectiveness of these SLIPs coatings was examined by applying them to different surfaces.

In this thesis study, extremely transparent, durable and slippery coatings were manufactured. With the successful results obtained from the developed coatings, a new coating method that is simple, anti- bacterial, durable, dirt-repellent and ice retardant and suitable for industrial applications has been introduced to the literature.

Science Code : 20107
Key Words : SLIPs, superhydrophobic surfaces, silica nanoparticle, spray coating, self-cleaning, anti-bacterial surface
Page Number : 95
Supervisor : Prof. Dr. Gökçen DEMİREL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, manevi ve bilimsel olarak her zaman tecrübelerini büyük bir sabırla paylaşan değerli hocam sayın Prof. Dr. Gökçen BİRLİK DEMİREL'e sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, tecrübelerini büyük bir sabırla her daim paylaşan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Esmâ MUTLUTÜRK'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen, Gazi Üniversitesi Kimya Bölümü Prof. Dr. Gökhan DEMİREL'e ve Arş. Gör. Görkem LİMAN'a çok teşekkür ederim.

Bu tezin yazılmasında bana en büyük desteği veren, her zaman yanımda olan canım babam Musa ÇAĞLAR'a, canım annem Makbule ÇAĞLAR'a, canım ablam Ayşenur KOÇAK'a ve canım arkadaşım Esranur ŞİMŞEK'e sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Kimya Bölümü Dr. Öğr. Üyesi Ebru AKDOĞAN ve Dr. Öğr. Üyesi Hasret Tolga ŞİRİN'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Biyoloji Bölümü Prof. Dr. Nalan Oya SAN KESKİN'e ve yüksek lisans öğrencisi İmre TÜZÜN'e çok teşekkür ederim.

İçerisinde olmaktan gurur ve mutluluk duyduğum GBD araştırma grubundaki değerli arkadaşlarım Ecem IŞIK'a, Burak Kaan KARATAŞ'a ve diğer tüm laboratuvar arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamızı TYL-2023-14 kodlu ve "Süperhidrofobik Yüzey Tasarımları İçin Farklı Kaplamaların Geliştirilmesi" isimli proje kapsamında çalışmalarımı destekleyen Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1. Yüzey Islanabilirliği	7
2.1.1. Islanabilirliğin Yüzey Pürüzlülüğüne Bağlılığı.....	7
2.1.2. Islanabilirliğin Yüzey Enerjisine ve Yüzey Kimyasına Bağlılığı ...	8
2.1.3. Doğada Islanabilirlik	8
2.2. Islanabilirlik Terimleri.....	9
2.2.1. Hidrofobik ve Hidrofilik Yüzeyler	9
2.2.2. Süperhidrofobik ve Süperhidrofilik Yüzeyler.....	10
2.3. Temas Açısı ve Kayma Açısı	10
2.3.1. Temas Açısı (CA).....	10
2.3.1.1. Temas açısı karmaşası veya histerezisi (CAH).....	12
2.3.1.2. Pürüzlü ve homojen olmayan yüzeylerde temas açısı	13
2.3.1.2.1. Wenzel modeli.....	13
2.3.1.2.2. Cassie-Baxter modeli.....	14
2.3.1.2.3. Wenzel ve Cassie-Baxter modeli arasındaki geçiş.....	15
2.3.2. Kayma Açısı (SA)	16

	Sayfa
3. SÜPERHİDROFOBİK VE SLIPS YÜZEYLERİN TASARIMI	19
3.1. Süperhidrofobik Yüzeylerin Tasarımı	19
3.1.1. Pürüzlendirme İçin Kullanılan Nanoparçacıklar	19
3.1.2. Pürüzlü Bir Yüzeyi Hidrofobik Ajan ile Modifiye Etmek	20
3.2. Sıvı Emdirilmiş Kaygan Gözenekli Yüzeyler (SLIPs)	20
3.2.1. Biyolojik Arka Plan	22
3.2.2. SLIPs Yüzeylerin Eldesi	23
3.2.3. SLIPs'in Mekanik Kararlılığı	24
3.2.4. SLIPs Yüzeylerde Yağlayıcılar	24
3.2.4.1. Silikon yağı	25
3.2.4.2. Florokarbon	25
3.2.4.3. Bitkisel yağlar	26
3.2.4.4. İyonik sıvılar	27
3.2.4.5. Diğer yağlayıcılar	28
3.2.5. SLIPs'lerin Uygulama Alanları	28
3.2.5.1. Korozyon önleyici	28
3.2.5.2. Buzlanma önleyici	29
3.2.5.3. Kendi kendini temizleme	30
3.2.5.4. Anti bakteriyel	30
3.2.6. Yüzeylerin Mekanik Dayanıma Etkisi	31
3.2.6.1. Laponit kili	32
4. MATERYAL VE METOD	35
4.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Özellikleri	35
4.2. DeneySEL Yöntemler	36
4.2.1. SLIPs Kaplamaların Hazırlanması	36
4.2.2. Cam Yüzeylerin Temizlenmesi ve Laponit Kaplanması	37

	Sayfa
4.2.2.1. Cam yüzeylerin temizlenmesi	37
4.2.2.2. Yüzeyin laponit kaplanması	38
4.2.3. Silika Nanoparçacıkların Sentezi	39
4.2.3.1. SiO ₂ nanoparçacıkların çözeltisinin hazırlanması	40
4.2.3.2. Süperhidrofobik yüzeylerin SiO ₂ partiküller ile pürüzlendirilmesi.....	40
4.2.4. Nanoparçacıklar ile Pürüzlendirilmiş Yüzeylerin Hidrofobik Ajan ile Kaplanması.....	42
4.2.5. Sıvı Emdirilmiş Kaygan Gözenekli Yüzeylerin (SLIPs) Eldesi	43
4.2.6. Farklı Yüzeylere Uygulama	43
4.3. Yüzeylerin Kimyasal Karakterizasyonu	44
4.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	44
4.3.2. Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM).....	44
4.3.3. UV-vis Spektrometresi	44
4.3.4. Su Temas Açısı Ölçümleri	44
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	47
5.1. Sıvı Emdirilmiş Kaygan Gözenekli Yüzeylerin (SLIPs) İmalatı	47
5.1.1. Sentezlenen SiO ₂ Nanoparçacıkların Karakterizasyonu	47
5.1.2. Optimum SLIPs Cam Yüzeylerin Hazırlanması	49
5.1.2.1. Kaplamada kullanılacak SiO ₂ nanoparçacık çözeltisinin derişiminin belirlenmesi.....	49
5.1.2.2. Kaplama yapılacak yüzeylerin tabaka sayısının belirlenmesi	49
5.1.3. Yüzeylerin Kayma Açısının (SA) Belirlenmesi	53
5.1.4. Slips Yüzeylerde Farklı Yağlayıcıların Mekanik Dayanıma Etkisi.....	55
5.1.5. Süperhidrofobik/ Slips Yüzeylerin Laponit Kilinin Mekanik Dayanıma Etkisi	57

	Sayfa
5.1.5.1. Süperhidrofobik / SLIPs yüzeylerin yüzey morfolojisi.....	60
5.1.6. Yüzey Transparanlığının Belirlenmesi.....	61
5.1.7. SLIPs Yüzeylerin Kimyasal Çözeltilere ve UV Işığa Karşı Dayanıklılığı.....	64
5.1.8. Yüzeylerin Kendi Kendini Temizleme Davranışı	66
5.1.9. Yüzeylerin Buzlanma Önleyici Davranışı.....	68
5.1.9.1. Buzlanma-buz çözme davranışı.....	70
5.1.10. SLIP'lerin Çevre ve Zorlu Koşullar Altında Dayanıklılık Testi ...	72
5.1.11. Yüzeylerde Akıllı Yüzey Uygulamaları.....	73
5.1.11.1. Yüzey üzerinde desen çalışması.....	73
5.1.11.2. Yüzeylerde su toplama hareketi	73
5.1.12. Slips Yüzeylerde Bitkisel Yağlayıcıların Kullanımı	74
5.1.13. Farklı Yüzeylerde SLIPs Hazırlanması	75
5.1.14. Anti-Bakteriyel Özellik	79
6. SONUÇ	81
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Slips yüzeylerdeki florokarbon yağlayıcıların özellikleri	26
Çizelge 3.2. Slips yüzeylerdeki bitkisel yağlayıcının özellikleri	27



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Lotus bitkisinin kendi kendini temizleme özelliği b) Lotus bitkisine ait SEM görüntüsü.....	2
Şekil 1.2. SLIPs'lerin tasarlanmasına ait şematik gösterimi	4
Şekil 2.1. Katı bir yüzeyin ıslanma davranışlarını gösteren şematik gösterimi....	7
Şekil 2.2. Doğada ıslanabilirlik gösteren çeşitli hayvan ve bitkilerin fotoğrafları ve yüzey mikro yapıları (SEM görüntüleri)	9
Şekil 2.3. a) Hidrofilik yüzey ve b) Hidrofobik yüzeye ait su değme açısının şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.4. a) Süperhidrofilik yüzey ve b) Süperhidrofobik yüzeye ait su değme açısının şematik gösterimi	10
Şekil 2.5. Katı bir yüzeydeki bir su damlacığının yüzey gerilim bileşenleri.....	12
Şekil 2.6. Temas açısı karmaşası veya histerezisi (CAH): Θ_a : ilerleyen, Θ_r : gerileyen temas açısı.....	13
Şekil 2.7. Wenzel modeline göre pürüzlü yüzeydeki bir sıvı damlasına ait şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.8. Cassie-Baxter modeline göre pürüzlü yüzeydeki bir sıvı damlasına ait şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.9. Cassie -Wenzel modeline göre pürüzlü yüzeydeki bir sıvı damlasına ait şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.10. Bir yüzey üzerinde kayan bir damlacığın ilerleme (Θ_a) ve gerileme (Θ_r) açılarına bağlı olarak kayma açısı (SA) gösterimi.....	16
Şekil 3.1. a) Süperhidrofobik b) Kaygan yüzeylerde damla görüntüsünün şematik gösterimi.....	21
Şekil 3.2. Nepenthes sürahi bitkisi	23
Şekil 3.3. Laponitin disk şekli ve kimyasal yapısının şematik gösterimi.....	32
Şekil 4.1. SLIPs kaplamaların hazırlanma sürecinin şematik gösterimi.....	37
Şekil 4.2. Temiz cam yüzeylerin laponit kaplanmasının şematik gösterimi	39
Şekil 4.3. Laponit kaplı yüzeylere partiküllerin kademeli olarak uygulanması ...	41

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Pürüzlü yüzeylere OTS kaplanması ile süperhidrofobik yüzeylerin hazırlanma süreci.....	42
Şekil 4.5. Süperhidrofobik pürüzlü yüzeylere yağ infüzyonu ile kaygan kaplamaların hazırlanması.....	43
Şekil 5.1. SiO ₂ nanoparçacıkların TEM görüntüleri ve dağılım grafikleri	48
Şekil 5.2. Farklı derişimlerde hazırlanan SiO ₂ nanoparçacık çözeltilerin, farklı tabaka sayılarındaki su değme aç değeri	50
Şekil 5.3. Slips yüzeylerde farklı derişimlerde hazırlanan SiO ₂ nanoparçacık çözeltilerin, farklı tabaka sayılarındaki su değme aç değeri	52
Şekil 5.4. Optimum yüzeyler için su değme aç görüntüleri	53
Şekil 5.5. SHC ve SLIPs yüzeylerin farklı SiO ₂ derişimlerde ve farklı kaplama sayılarında kayma aç değeri	54
Şekil 5.6. Farklı yağlayıcılar kullanılarak 20 döngü boyunca sürtme testinin su değme aç değeri.....	56
Şekil 5.7. Sürtme testi	58
Şekil 5.8. Sürtme testi yapılan yüzeylerin döngü sayısına karşılık su temas aç değeri	59
Şekil 5.9. 20 döngü için aşınma testi öncesi ve sonrası SEM görüntüleri.....	60
Şekil 5.10. SHC yüzeylerde farklı kaplama tabaka sayıları için UV-vis spektrometresi ile transparanlık analizi	62
Şekil 5.11. SLIPs yüzeylerde farklı kaplama tabaka sayıları için UV-vis spektrometresi ile transparanlık analizi	63
Şekil 5.12. Farklı kaplama tabaka sayılar için SHC ve SLIPs cam yüzeylerin transparanlık ölçütleri	64
Şekil 5.13. HCl (pH =3), NaOH (pH= 13), NaCl (1M) çözeltilerine daldırılarak ve UV ışık ile (365 nm, 8W) yüzeyden 15 cm mesafe ile 10 saat boyunca bekletilen yüzeylerin su temas aç değeri	65
Şekil 5.14. SLIPs yüzeylerin, farklı test sıvılarında kendi kendini temizleme özelliği	67
Şekil 5.15. Boş cam ve SLIP'lerin kendi kendini temizleme işlemi; ketçap, bal, kan, mayonez	68

Şekil	Sayfa
Şekil 5.16. Buzlanma önleyici davranışı.....	69
Şekil 5.17. SHC, LAP/SHC ve SLIPs yüzeyler 50 buzlanma-buz çözme döngüsünün su temas açısı değerleri.....	71
Şekil 5.18. SLIP'lerin çevre ve zorlu koşullar altında dayanıklılık testinin CA ölçümleri.....	72
Şekil 5.19. Yüzeylerde bant ile hidrofilik desen oluşturma.....	73
Şekil 5.20. Yüzeylerde robotik su toplama çalışması.....	74
Şekil 5.21. Slips yüzey üretimi için bitkisel yağlayıcıların temas açısı değerleri ve görüntüleri.....	75
Şekil 5.22. SHC kaplı farklı yüzeylerin su temas açısı değerleri ve su damlacığının görüntüleri.....	76
Şekil 5.23. SLIPs kaplı farklı yüzeylerin su temas açısı değerleri ve su damlacığının görüntüleri.....	77
Şekil 5.24. SHC ve SLIPs kaplı yüzeylerin 15°'lik bir kayma açısında su damlacıklarının farklı yüzeylerde görüntüleri	78
Şekil 5.25. Kaplamaların anti-bakteriyel performansı.....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
a	Ağırlık
cm²	Santimetrekaare
cm³	Santimetreküp
nm	Nanometre
r	Pürüzlülük faktörü
v	Hacim
γ	Yüzey gerilimi
γ_{lv}	Sıvı/buhar ara fazlarının yüzey gerilimi
γ_{sl}	Katı/sıvı ara fazlarının yüzey gerilimi
γ_{sv}	Katı/buhar ara fazlarının yüzey gerilimi
θ	Temas açısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
CA	Temas açısı
LAP	Laponit
MB	Metilen mavisi
OTS	Trimetoksi(oktadesil)silan
SA	Kayma Açısı
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SHC	Süperhidrofobik yüzey
SLIPs	Sıvı emdirilmiş kaygan gözenekli yüzeyler
TEM	Transmisyon elektron mikroskobu
TEOS	Tetraetil ortosilikat

1. GİRİŞ

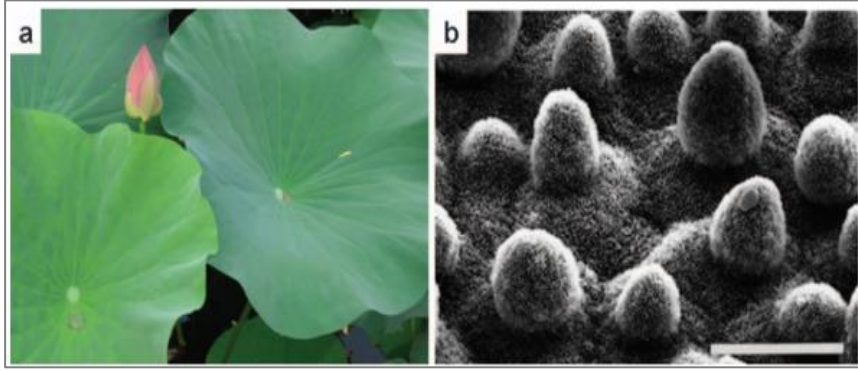
Islanabilirlik, bir sıvının katı bir yüzeyi ıslatma yeteneğidir. Islanabilirliğin bir diğer tanımı ise hidrofobik ve hidrofilik kavramları ile verilir. Latince “hidro” kelimesi su, “filik” aşk ve “fobi” ise korku anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bu kelimelerin birleşmesi ile hidrofilik bir yüzey suyu seven yani yüzeyinin ıslatabilen, hidrofobik yüzey ise suyu sevmeyen yani yüzeyi ıslatmayan olarak ifade edilir. Yüzey ıslanabilirliği, katı yüzeyin bir sıvı damlası ile temas etmesi halinde katı-sıvı-hava ara yüzünün üç fazlı temas noktasının belirlenmesi ile oluşan temas açısının (CA) ölçülmesiyle karakterize edilir. Burada yüzey üzerindeki biriken bir damlacık ile yüzeyin kendisi arasındaki açı (Θ) ölçülür (Volpe, Gaudioso, & Ancona, 2020). Temas açısının büyüklüğü, bir sıvının kohezyon kuvvetlerine yani sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvveti ile adezyon kuvvetleri yani sıvı katı arasındaki çekim kuvvetlerinin arasındaki farka bağlıdır. Temas açısı değerinin büyük olması için kohezyon kuvvetlerinin büyüklüğü, adezyon kuvvetlerinin büyüklüğünden fazla olması beklenir (Shi, Liu, Gao, Wu, & Chen, 2023).

Su temas açısı $90^\circ \leq \Theta \leq 150^\circ$ ise hidrofobik yani düşük yüzey enerjisine sahip, $0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$ ise hidrofilik malzemeler yani, yüksek yüzey enerjisine sahip yüzeyler olarak tanımlanmaktadır (Commentary, 2014). Katı yüzeyin bir sıvı damlası ile temas etmesi halinde katı-sıvı-hava ara yüzünün üç fazlı temas noktasının belirlenmesi ile oluşan su temas açısının $\Theta \geq 150^\circ$ ’den büyük ise süperhidrofobik, $\Theta \leq 10^\circ$ ’den küçük ise süperhidrofilik yüzey olarak tanımlanmaktadır (Roach, Shirtcliffe, & Newton, 2008). Katı yüzey üzerinde hareket eden bir damlacığı karakterize eden bir başka açı da yuvarlanma açısıdır. Yuvarlanma açısı (SA) kayma açısı olarak ifade edilir. Katı yüzey üzerindeki bir sıvı damlacığının yüzeyden ayrılma kabiliyetinin yüksek olması için yüzeyin kayma açısı değerinin küçük olması beklenir. Bu değer, $SA \leq 10^\circ$ ‘den küçük bir açı değerindeyse damlacık yüzeyden kolayca ayrılır. $SA > 10^\circ$ ise damlacık yüzeyden zor ayrılır ve yüzeyden yuvarlanması zordur (Bormashenko, 2013).

1805 yılında İngiliz fizikçi Thomas Young, temas açısı kavramını ilk olarak geliştirdiği “Young Eşitliği” ile açıklamaktadır. Yüzeylerin ıslanma davranışına ilişkin tüm araştırmaların başlangıç noktasıdır (Zaera, 2011). Young eşitliği, kimyasal olarak homojen ve gözenekli olmayan katı yüzeyler için geliştirilmiştir. Ancak homojen olmayan yüzey yapısı belirli bir gözeneğe veya pürüzlülük içeren yüzeylerde ilk kez

1936 yılında Wenzel, temas açısının pürüzlülük ile olan ilişkisini açıklamıştır. Wenzel, sıvı damlacığının katı bir yüzeydeki pürüzlü bölgelerle uyum sağlayarak bu boşluklara tamamen girebileceği bir modeldir. Pürüzlü bir yüzey göz önüne alındığında, biriken bir damlacık için iki olası modelden ikincisi Cassie-Baxter modelidir. İlk kez 1944 yılında Cassie ve Baxter tarafından açıklanan bu model ise sıvının oluklara nüfuz etmediği durumlarda geçerlidir (I. Ahmad & Kan, 2016).

Islatma yeteneği evrenseldir. Doğada, bitkiler ve hayvanlar hayatta kalmak ve zorlu ortamlarda ayırt edici özellikleriyle ıslanma ve ıslanmama özellikleri göstererek çevrelerine mükemmel uyum sağlarlar (Bonn, Eggers, Indekeu, & Meunier, 2009). Doğa her zaman insanlar için sonsuz bir ilham kaynağı olmuştur. Örneğin, Lotus yaprağı üzerine düşen yağmur damlası yuvarlanarak yüzeydeki kirlilikleri uzaklaştırır, bu da nilüfer yaprağının kendi kendine temizlemesine neden olur. Bu fenomene “Lotus Etkisi” denir. Lotus etkisi süperhidrofobik malzemelerin tasarımında çıkış noktası olmuştur. (Şekil 1.1). Pek çok araştırmacı ise nilüfer çiçeğinden esinlenerek yüksek su itme kabiliyetine sahip yüzey tasarımı geliştirmiştir (Barthlott & Neinhuis, 1997).



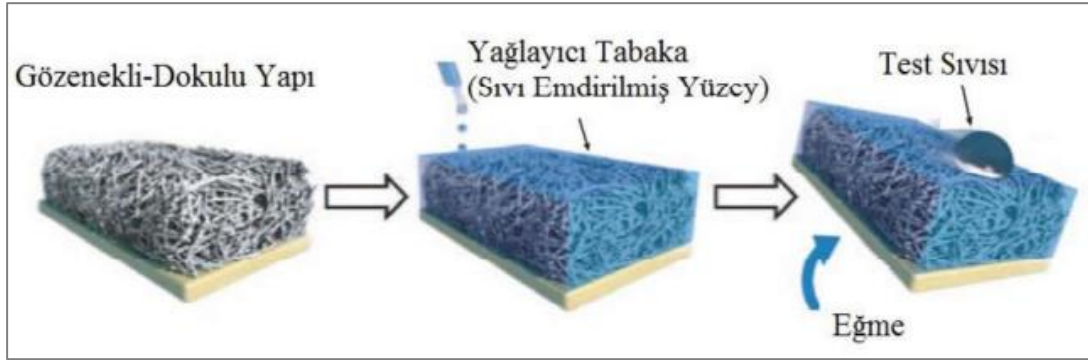
Şekil 1.1. Lotus bitkisinin kendi kendini temizleme özelliği b) Lotus bitkisine ait SEM görüntüsü (Barthlott & Neinhuis, 1997)

Yüksek su temas açısı ve düşük kayma açıları sayesinde bu yüzeyler kendi kendini temizleme, buzlanma önleyici (Volpe vd., 2020) bakteri önleyici (Park vd., 2021) ve korozyon önleyici (De Leon, Pernites, & Advincula, 2012) gibi üstün özelliklere sahiptir (K. Liu, Yao, & Jiang, 2010). Süperhidrofobik yüzeylerin imalatında yaygın olarak iki strateji kullanılır. Bunlardan ilki yüzeyin pürüzlendirilerek su iticiliğinin sağlanması (X. Lv, Zhang, Xing, & Lin, 2016; Nooney, Kalyanaraman, Kennedy, &

Maginn, 2001) ikinci olarak, düşük enerjili bir malzeme ile kaplanarak hidrofobitesini artırılmasıdır(Ipekci, Arkaz, Onses, & Hancer, 2016). Bu yaklaşımdan yola çıkılarak süperhidrofobik kaplamalar da pürüzlü bir yapıyı oluşturmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları; Daldırma yöntemi ile kaplama(M. Liu vd., 2017), sol jel(Z. Cai vd., 2023), kimyasal aşındırma(Xiao, Xie, & Ye, 2019), kimyasal buhar biriktirme (CVD) (F. Zhang vd., 2017), çok tabakalı kaplama (layer-by-layer) ve spreycaplama(K. Li, Zeng, Lai, & Chai, 2017) bu yöntemlere örnek verilebilir.

Süperhidrofobik kaplamaların deformasyonlara karşı özelliklerini kaybetmemesi son derece önemlidir. Bu amaçla yüzeydeki kaplamanın ile yüzey arasındaki etkileşimi arttırmak için farklı bağlayıcılar kullanılmıştır. Bir çalışmada, Deng ve ark. bir cam yüzeyinde elektrostatik etkileşimlerle güçlendirilmiş mekanik dayanıma sahip süperhidrofobik kaplamalar geliştirmiştir(X. Deng vd., 2011). Li ve ark. yaptığı bir çalışmadan epoxy reçine bağlayıcı kullanılarak ZnO ve TiO₂ partikülleri ile pürüzlendirilmiş süper hidrofobik kaplamalar geliştirilmiştir(M. Li, Liu, Chen, & Li, 2019). Mekanik dayanımı güçlendirme ile ilgili pek çok yöntem geliştirilmiş olsa da süperhidrofobik yüzeylerin pratik uygulamaları hala kısıtlıdır(Dong vd., 2018; Luo vd., 2022). Örneğin, pürüzlü yapıda hazırlanan yüzeylerde var olan hava paketleri kararlılıklarını uzun süreli kullanımlarda koruyamayabilirler ve bu durum süperhidrofobik yüzeylerin kullanım kararlılıklarında büyük engel teşkil etmektedir(Xiaoyu Gao & Guo, 2018; Gnedenkoy, Sinebryukhov, Egorkin, & Vyaliy, 2016; He vd., 2009; C. Liu, Su, & Liang, 2014). Bu tür yüzeylerdeki pürüzlü nano/mikro yapılu gözeneklerde bulunan hava boşlukları çeşitli sıvılarla doldurularak bu problem giderilmeye çalışılmıştır(Labonte, Robinson, Bauer, & Federle, 2021). Bu amaçla, 2011 yılında Aizenberg ve ark. ilk olarak *Nepenthes* sürahi bitkisinden ilham alarak kaygan sıvı ile aşılınmış gözenekli yüzeyler (SLIPs) geliştirilmiştir(Wong vd., 2011). Kaygan yağ ile gözenekleri doldurulmuş SLIPs kaplamalar, kendi kendini temizleme(L. Zhang, Zhang, Wei, & Zhang, 2019), buzlanmayı önleme(J. Zhang, Gu, & Tu, 2017), korozyon önleyici(Jing & Guo, 2019), şeffaflık, termal dayanım(Prakash & Prasanth, 2020; Wong vd., 2011) ve antibakteriyel(C. Wei, Zhang, Zhang, Zhan, & Chen, 2016) gibi üstün özelliklere sahiptir. SLIPs 'lerin hazırlanmasında kullanılan yağlayıcılar uygun kaplamanın eldesinde büyük bir rol oynamaktadır. İstenen özelliklere sahip SLIPs'lerin eldesinde tercih edilen yağlayıcının yüzey içerisine

infüzyonu son derece önemlidir. Bu amaçla silikon yağ, florokarbonlar, iyonik sıvılar çoğunluklar tercih edilen yağlayıcılar arasındadır(Wong vd., 2011). Uygun yağlayıcı ile yüzeye infüz edildikten sonra istenilen sıvı (test sıvısı) yüzeye damlatılır ve yüzey belirli bir SA'ya getirildiğinde test sıvısının katı yüzeyden ayrılması beklenir. SLIPs yüzeylerin şematik gösterimi Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. SLIPs'lerin tasarlanmasına ait şematik gösterimi (Wong vd., 2011)

Literatürde SLIPs'lerin hazırlanması ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Örneğin bir çalışmada yüzeylerin hazırlanmasında yapışkan özelliği ve hidroksil fonksiyonel grupları ile polidopamin tercih edilmiştir. Polidopamin kaplama, sırasıyla 3 aminopropil, trietoksisilan ve florlanmış (hekzoflorabütıl metakrilat-glisisidilmetakrilat) kopolimeri ile modifiye edilmiştir. Son olarak yüzeylerde florokarbon yağ infüzyonu ile kaygan yüzeyler elde edilmiştir(S. Li vd., 2022). Çelik ve ark. doğal katı yağlayıcı karnauba mumu ve alkil-silan ile modifiye edilmiş nanoparçacıklardan oluşan bir süspansiyonun tek aşamada spreyle kaplanması ile SLIPs üretimini gerçekleştirmişlerdir(Peppou-Chapman, Hong, Waterhouse, & Neto, 2020). Ayrıca, Soumyadip Sett ve ark. su ile karışmayan 5–2700 cSt arasında viskoziteye sahip yağlayıcılar kullanılmıştır(Sett, Yan, Barac, Bolton, & Miljkovic, 2017). Tüm bu yüzeyler hazırlanırken kaplamanın yüzey üzerinde kararlı olabilmesi için yüzeyler öncelikle adhesiv tabaka denilen epoxy yapıştırıcı veya polidopamin gibi polimerik bağlayıcılar ön işleme tabi tutulmaktadır.

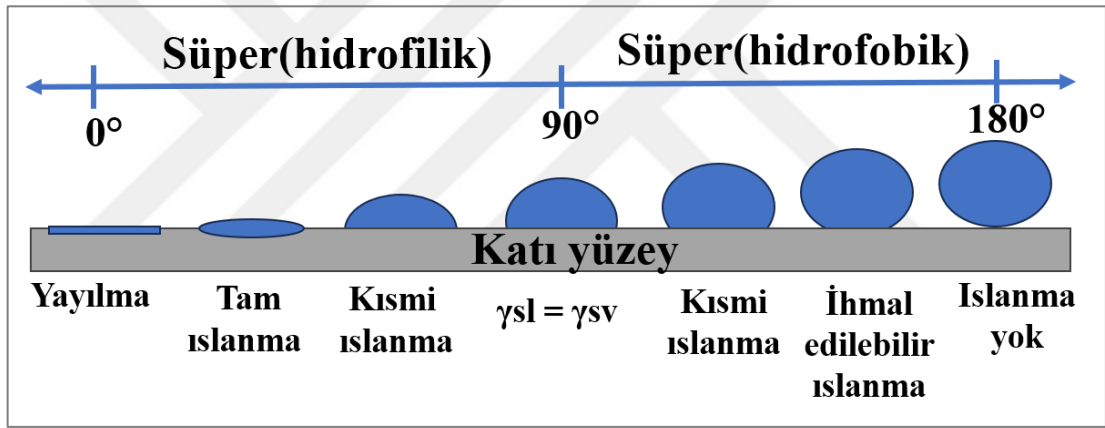
Bu tez çalışma kapsamında, silika nanopartikül ile pürüzlendirilmiş ve laponit ile mekanik dayanımı artırılmış, kendi kendini temizleme, buzlanma önleyici, son derece şeffaf ve sağlam SLIPs kaplamaların hazırlanması amaçlanmıştır. Bu yüzey kaplaması

ile doğaya ve insan sağlığına zararsız, düşük maliyetli ve kimyasal ön işleme gerek kalmadan kolayca uygulanabilen kaplamalar geliştirilmiştir. Laponit (LAP), lityum magnezyum sülfat olarak da bilinen yaklaşık olarak 25 nm çapında ve 1 nm kalınlığında disklerden oluşan bir kil yapısıdır(Ruzicka & Zaccarelli, 2011; Saha, Bandyopadhyay, & Joshi, 2015). Çok sayıda pozitif ve negatif yüklere ve hidroksil fonksiyonel gruplara sahip LAP kili suda kolaylıkla dağılarak düşük viskozitede çözelti oluşturur(Murugesan & Scheibel, 2020). Bu özellikleri sayesinde LAP özellikle polimerik yapılarda mekanik dayanıklılık ve yapışkanlık artırıcı olarak tercih edilmektedir(Sandri vd., 2016). Bu tez çalışmasında, LAP bağlayıcı ile güçlendirilmiş, yüzeylerde herhangi bir kimyasal ön işleme gerek kalmadan hazırlanabilen kaplamalar geliştirilmiştir. LAP kaplı cam yüzeylerde su iticiliğinin artırılması için kademeli olarak yaklaşık 37 nm ve 63 nm çaplara sahip silika partiküller (SiO_2 NPs) ile pürüzlendirme yapılmış ve sonrasında hidrofobik ajan trimetoksi(oktadesil)silan (OTS) ajanı ile modifiye edilmiştir. Geliştirilen kaplamalara farklı yağ infüzyonu yapılarak kaygan sıvının etkisi belirlenmiştir. Ayrıca bu kaplamalar çelik, alüminyum, tahta, asetat kâğıdı gibi farklı yüzeylere herhangi bir kimyasal ön işleme gerek kalmadan kolaylıkla uygulanmıştır. Hazırlanan LAP kaplı SLIPs yüzeylerin, yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü arttırmak için kullanılan SiO_2 NPs boyutları ve morfolojileri geçirmeli elektron mikroskobu (TEM) ile incelenmiştir. Yüzeylerin şeffaflığı UV-Vis spektrometresi ile analiz edilmiştir. Son olarak yüzeylerin, hidrofobik karakterleri değme açısı ölçüm cihazı (Contact Angle) kullanılarak su değme açılarının ölçülmesi ile belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yüzey İslanabilirliği

İslanabilirlik, bir sıvının katı bir yüzeyi ıslatma yeteneğidir. Islatma yeteneğine bağlı olarak katı yüzey bir sıvı damlası ile temas ettiğinde ıslanabilirlik derecelerine göre hidroforik ve hidrofilik olarak nitelenir. Bu terimlere ek olarak aşırı durumlarını tanımlamak için süper ön eki almaktadır. Ayrıca yüzey ıslanabilirliği, bir damlacık ile yüzeyin kendisi arasındaki değme açısı (Θ) ölçümü ile karakterize edilir(Jothi Prakash & Prasanth, 2021; Volpe vd., 2020). Karakterize edilen damlacık ile katı yüzey arasında temas açı değerlerine göre su damlacığı belirli ıslanma davranışları sergiler. İslanma davranışları şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Katı bir yüzeyin ıslanma davranışlarını gösteren şematik gösterimi

2.1.1. İslanabilirliğin Yüzey Pürüzlülüğüne Bağlılığı

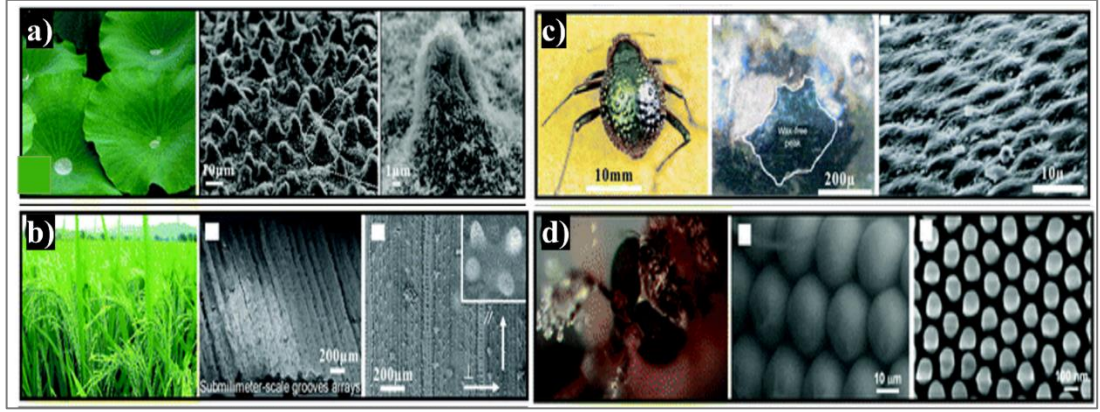
Yüzey pürüzlülüğü, bir yüzeyin ıslanabilirliğini değiştirmede önemli bir etki sağlar. Bu bağlamda, yüzey pürüzlülüğünün artması, yüzeydeki ıslanabilirliği azaltır. Bu davranışa bağlı olarak damlacığın eğriliği değişir ve temas açısında bir artışı gözlenir. Böylece, yüzey topografyası, yüzey kimyasına bağlı olarak istenilen hidrofilikliği ve hidroforikliğin eldesinde kullanılabilir(Jothi Prakash & Prasanth, 2021; Simpson, Hunter, & Aytug, 2015).

2.1.2. Islanabilirlik Kavramının Yüzey Enerjisine ve Yüzey Kimyasına Bağlılığı

Yüzey enerjisinin değişiminde değişen yüzey kimyasının güçlü bir etkisi vardır. Yüzey kaplamasında dikkat edilmesi gereken en önemli özelliklerden biri de kaplama için kullanılan öncü maddelerin fonksiyonel gruplarıdır. Islanabilirlik fazla ise yüzey, yüksek yüzey enerjili malzemelerle kullanılarak geliştirilmiştir. Benzer şekilde, ıslanabilirliğin az olması hedefleniyorsa yani katı bir yüzeyden sıvı damlacığının yüzeyden ayrılması kolay ise yüzey kaplamasında düşük yüzey enerjili bir malzeme tercih edilmelidir(Jothi Prakash & Prasanth, 2021).

2.1.3. Doğada Islanabilirlik

Bir malzemenin yüzey ıslanabilirliği, katı bir yüzeyin sıvı tarafından ıslatma yeteneğine bağlıdır. Islatma yeteneği evrenseldir. Şekil 2.2'de doğada ıslanabilirlik gösteren çeşitli hayvan ve bitkilerin fotoğrafları ve yüzey mikro yapıları (SEM görüntüleri) verilmiştir. Örneğin Şekil 2.2a'da bir nilüfer yaprağı yüzeyinde bulunan mikroyapılar ile asla ıslanmaz. Bir su damlacığı yüzey üzerinden yuvarlanma davranışı ile kirletici maddeleri çıkarabildiğinden, kendi kendini temizleme özelliği sergiler(Barthlott & Neinhuis, 1997). Benzer bir ıslatmama davranışı Şekil 2.2b'de verilen pirinç yaprağında da mevcuttur(D. Wu vd., 2011). Islatma davranışı hayvanlar için de önemlidir. Örneğin Şekil 2.2c'de verilen Namib çöl böcekleri sırtlarındaki hidrofobik ve hidrofilik yapılar sayesinde nemli havadan su toplama yetenekleri nedeniyle kendilerini çok kuru ortamlarda hayatta kalmaya adapte etmişlerdir(Parker & Lawrence, 2001). Başka bir ıslatma davranışı ise Şekil 2.2d'de verilen bir sivrisinek gözünün buğulanmayı önleme özelliği ile verilebilir(Xuefeng Gao vd., 2007). Tüm bu doğadaki yapılar incelendiğinde hepsinde yüzeylerde nano/mikro yapıların bulunduğu görülmektedir. Doğada gözlemlenen bu benzersiz yapılar araştırmacılara yeni nesil kaplama malzemelerinin geliştirilmesi için ilham kaynağı olmuştur(D. Ahmad, van den Boogaert, Miller, Presswell, & Jouhara, 2018; Yong, Chen, Yang, Huo, & Hou, 2017).

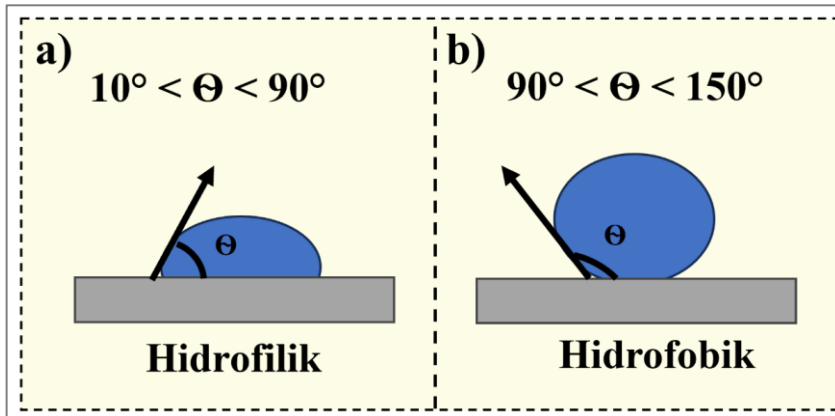


Şekil 2.2. Doğada ıslanabilirlik gösteren çeşitli hayvan ve bitkilerin fotoğrafları ve yüzey mikro yapıları (SEM görüntüleri): a) Lotus yaprağı, b) Pirinç yaprağı, c) Namib çöl böcekleri ve d) Sivrisinek gözü

2.2. Islanabilirlik Terimleri

2.2.1. Hidrofobik ve Hidrofilik Yüzeyler

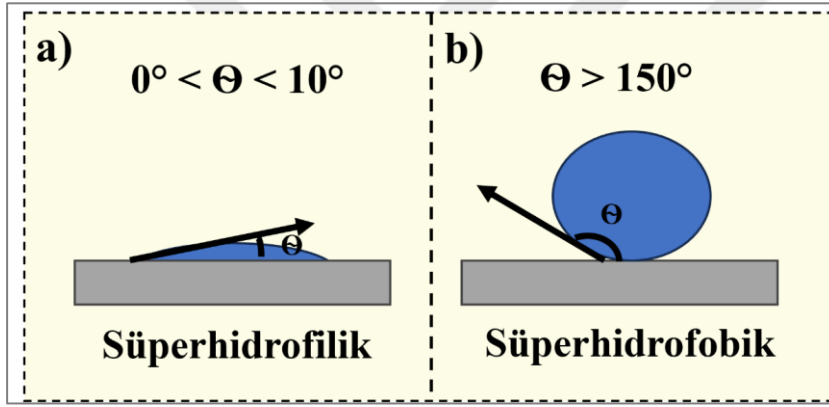
Islatma kabiliyetine göre katı yüzeyin bir sıvı damlası ile temas etmesi halinde katı-sıvı-hava arayüzünün üç fazlı temas noktasının belirlenmesi ile oluşan su temas açısının (Θ) 90° 'den büyük ise hidrofobik, (Θ) değeri 90° 'den küçük ise hidrofilik olarak tanımlanmaktadır (Riveiro, Maçon, del Val, Comesaña, & Pou, 2018; Volpe vd., 2020). Hidrofobik ve hidrofilik yüzeylere ait su değme açısı görüntülerinin şematik çizimi Şekil 2.3 'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. a) Hidrofilik yüzey ve b) Hidrofobik yüzeye ait su değme açısının şematik gösterimi

2.2.2. Süperhidrofobik ve Süperhidrofilik Yüzeyler

Süperhidrofilik yüzeyler aşırı suyu seven yani damlacığın yüzeyde yayılması ile yüzey üzerinde tamamen bir su filmi oluşturan yüzeylerdir.(Si, Dong, & Jiang, 2018). Süperhidrofobik terimi ise sıvı damlacığının katı yüzey üzerindeki görünümünün neredeyse küresel kaldığı yüzeyin üstün iticiliği ile tanımlanmaktadır. Buna göre katı yüzeyin bir sıvı damlası ile temas etmesi halinde katı-sıvı-hava ara yüzünün üç fazlı temas noktasının belirlenmesi ile oluşan su temas açısının (Θ) değeri 150° 'den büyük ise süperhidrofobik, $\Theta < 10^\circ$ 'den küçük ise süperhidrofilik yüzey olarak tanımlanmaktadır(Roach vd., 2008). Süperhidrofobik ve süperhidrofilik yüzeylere ait su değme açısı görüntülerinin şematik çizimi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. a) Süperhidrofilik yüzey ve b) Süperhidrofobik yüzeye ait su değme açısının şematik gösterimi

2.3. Temas Açısı ve Kayma Açısı

2.3.1. Temas Açısı (CA)

Islatma yeteneğine bağlı olarak katı yüzey bir sıvı damlası ile temas ettiğinde katı-sıvı-hava ara yüzünün üç fazlı temas noktasının belirlenmesi ile oluşan temas açısının (CA) ölçülmesiyle karakterize edilir. Temas açısının büyüklüğü, bir sıvının kohezyon kuvvetlerine yani sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvveti ile adezyon kuvvetleri yani sıvı katı arasındaki çekim kuvvetlerinin arasındaki farka bağlıdır. Temas açısı değerinin büyük olması için kohezyon kuvvetlerinin büyüklüğü, adezyon kuvvetlerinin büyüklüğünden fazla olması beklenir(Shi vd., 2023). Temas açısını

belirleyen bazı parametreler vardır. Bunlar; yüzeyde pürüzlülük, yüzey enerjisi, yüzey hazırlama şekli ve temizliğidir(Nosonovsky & Bhushan, 2005).

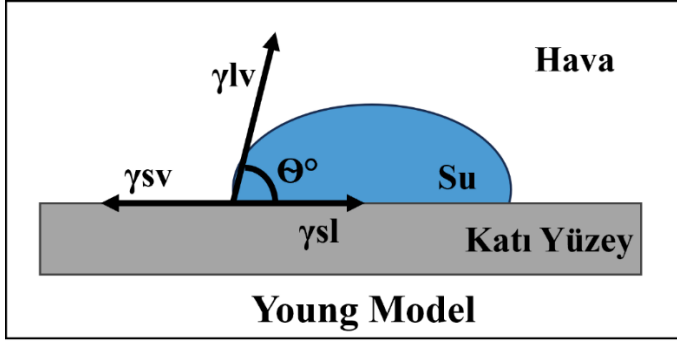
Temas açısı kavramını ilk olarak 1805 yılında İngiliz fizikçi Thomas Young tarafından tanımlanmıştır. Thomas Young bu kavramı geliştirdiği bir denklem ile açıklamıştır. Bu denkleme “Young Eşitliği” denilmektedir. Bu eşitlik, katı-sıvı-hava ara yüzünün üç fazlı kesişim noktasındaki kuvvetlerin vektörel olarak toplamını vermektedir. Young denklemi olarak da adlandırılan bu ilişki, yüzeylerin ıslanma davranışına ilişkin tüm araştırmaların başlangıç noktasıdır(Shirtcliffe, 2008).

Young eşitliği incelendiğinde (denklem 1.1)’ de verilmiştir.

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cdot \cos\Theta \quad (2.1)$$

$$\cos\Theta = (\gamma_{sv} - \gamma_{sl}) / \gamma_{lv} \quad (2.2)$$

Denklem 1.1’e göre, $\cos(\Theta)$; Young temas açısını, γ_{sv} , γ_{sl} ve γ_{lv} ise sırasıyla katı/buhar, katı/sıvı ve sıvı/buhar ara fazlarının yüzey gerilimini gösterir. Denklem 1.2 ‘de denge durumundaki $\cos\Theta$, katı-buhar (γ_{sv}) ve katı-sıvı (γ_{sl}) ara yüzey gerilimleri farkı ile doğru, sıvı-buhar (γ_{lv}) arayüzey gerilimi ile ters orantılıdır. Young denkleminde, homojen olmayan kimyasal bileşimin veya düzgün olmayan topografyanın mevcut olduğu ideal olmayan yüzeyler için ıslanabilirlik Denklem (1.1.) ile açıklanamaz. Bu durum homojen bir katı yüzey üzerindeki sıvı damlacığının temas açısı ölçümü ile sınırlı kalmaktadır(I. Ahmad & Kan, 2016; Volpe vd., 2020). Young eşitliğinde, üçlü fazın belirlenmesinde katı yüzeye bir sıvı damlacığı bırakıldığında (Şekil 2.5)’te görüldüğü gibi katı-sıvı (sl), katı-buhar (sv) ve sıvı-buhar (lv) noktaları ara yüzey gerilimlerini ifade eder ve üç kuvvet birbiri ile dengededir. Temas açısı, yüzey üzerindeki biriken bir damlacık ile yüzeyin kendisi arasındaki açı (Θ) değeri ile belirlenir. Yüzeylerin ıslanma derecelerine göre katı yüzeyin bir sıvı damlası ile temas etmesi halindeki temas açısının değeri $0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$ ise sıvı yüzeyi ıslatıyordur. Sıvı damlacığı yüzeyi ıslatmıyorsa $90^\circ \leq \Theta \leq 180^\circ$ ‘dir. $\Theta \geq 150^\circ$ olduğunda ıslanmanın hiç olmadığını ifade eder(Jeevahan, Chandrasekaran, Britto Joseph, Durairaj, & Mageshwaran, 2018; Nosonovsky & Bhushan, 2005).

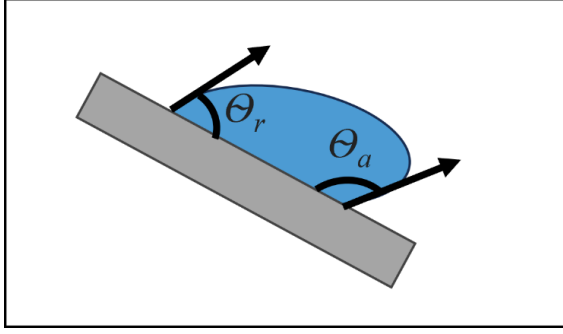


Şekil 2.5. Katı bir yüzeydeki bir su damlacığının yüzey gerilim bileşenleri (I. Ahmad & Kan, 2016)

2.3.1.1. Temas açısı karmaşası veya histerezisi (CAH)

Young eşitliği denklem 1.1 'de kimyasal olarak homojen ve gözenekli olmayan katı yüzeyler için geliştirilmiştir. Bu yüzeylerde, katı yüzeydeki bir sıvı damlacığının ölçülen temas açısı, yüzeyin ıslanma davranışı hakkında bilgi verir. Ancak homojen olmayan yüzey yapısı belirli bir gözeneğe veya pürüzlülük içeren yüzeylerde sıvı damlacığının temas ettiği alan boyunca birden fazla temas açısı değeri okunabilmektedir. Tek bir ölçümle belirlenen temas açısı değeri ile doğru bilgi edinmek zordur. Bu zorluğun önüne geçmek için birden fazla temas açısı değeri alınarak ortalaması ve standart sapması alınarak belirlenir. Yüzeylerin ilerleyen (Θ_a) damlanın katı yüzeyden ölçülen ileri temas açısı ve gerileyen (Θ_r), damlacığının katı yüzeyden geri çekilirken ölçülen temas açısı ölçümlerinin arasındaki fark, temas açısı karmaşası yani histerezisi (CAH) ile ifade edilir. CAH değerini denklem 2.1'de verilir. Bu değer idealden ne kadar sapma olduğunu ve ilerleyen ve gerileyen açılar arasındaki farka eşit olduğunu göstermektedir (Shirtcliffe, 2008). Şekil 2.6'da görüldüğü üzere ideal olmayan bir yüzeye kayma açısı verildiğinde üzerinde bulunan bir su damlacığının, düşük değerli temas açısı artarken (Θ_a), yüksek değerdeki temas açısı azalır (Θ_r) ve damla yüzeyden kayar (Johnson & Dettre, 1964).

$$CAH = \Theta_a - \Theta_r \quad (2.3)$$



Şekil 2.6. Temas açısı karmaşası veya histerezisi (CAH): θ_a : ilerleyen, θ_r : gerileyen temas açısı

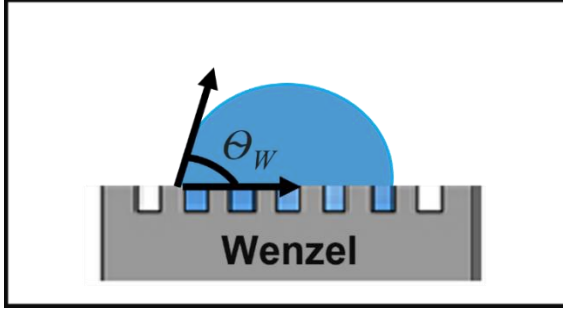
CAH değeri genellikle $10-50^\circ$ arasında değişiklik gösterir. Yüzey ne kadar ideale yakınsa ilerleyen ve gerileyen temas açısı değerleri birbirine yakın olur ve temas açısı karmaşası değeri azalır. CAH değeri azaldıkça, damlacığın yüzeyden ayrılması kolaylaşır. Temas açısı karmaşasına etki eden parametreler mevcuttur. Bunlar; yüzeydeki kirlilik, damlanın hacmi, yüzey pürüzlülüğü, yüzey deformasyonu ve yüzeydeki kimyasal heterojenlik temas açısı karmaşasına etki eder(Zaera, 2011).

2.3.1.2. Pürüzlü ve homojen olmayan yüzeylerde temas açısı

Young denkleminde, homojen olmayan kimyasal bileşimin veya düzgün olmayan topografyanın mevcut olduğu ideal olmayan yüzeyler için ıslanabilirlik Denklem (1.1) ile açıklanamaz. Heterojen yüzeylerin veya herhangi bir yüzeyin pürüzlülüğü, malzemelerin ıslanabilirliğini doğrudan etkileyerek su temas açısı değerini değiştirebilir. Bu etkiyi kontrol etmek için pürüzlü yüzeylerde iki klasik damlacık modeli geliştirilmiştir(Riveiro vd., 2018).

2.3.1.2.1. Wenzel modeli

Pürüzlü bir yüzey göz önüne alındığında, biriken bir damlacık için iki olası modelden ilki wenzel modelidir. Wenzel, ilk kez 1936 yılında temas açısının pürüzlülük ile olan ilişkisini açıklamıştır(I. Ahmad & Kan, 2016). Wenzel, sıvı damlacığının katı bir yüzeydeki pürüzlülüğe uyum sağlayan bir modeldir. Şekil 2.7’de Wenzel modeline ait su değme açısı görüntüsünün şematik gösterimi verilmiştir(Wenzel, 1936).

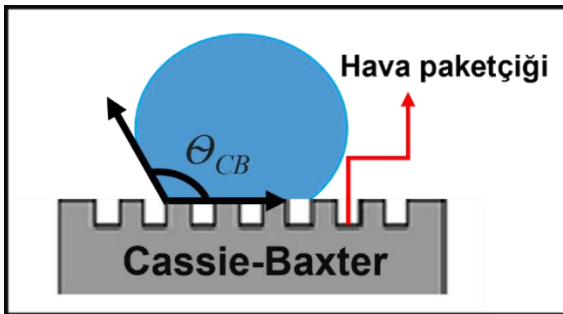


Şekil 2.7. Wenzel modeline göre pürüzlü yüzeydeki bir sıvı damlasına ait şematik gösterimi

Wenzel tarafından verilen sonuçlar, sıvının pürüzlülük oluklarına nüfuz ettiği homojen ıslatma varsayımına dayanmaktadır. Bu durumda yüzey hidrofobik ise, yüzey pürüzlülüğü arttığında daha da hidrofobik yani temas açısı artışına, hidrofilik ise temas açısında azalmaya neden olur(Riveiro vd., 2018).

2.3.1.2.2. Cassie-Baxter modeli

Pürüzlü bir yüzey göz önüne alındığında, biriken bir damlacık için iki olası modelden ikincisi Cassie- Baxter modelidir. İlk kez 1944 yılında Cassie ve Baxter tarafından açıklanan bu model ise sıvının oluklara nüfuz etmediği durumlarda geçerlidir (I. Ahmad & Kan, 2016). Pürüzlü yüzeylerdeki boşlukları Wenzel durumunda sıvı damlacıkları doldururken Cassie durumunda, su damlacığı yerini hava paketleri ile doldurarak sıvı damlacığı pürüzlülüğün tepe noktası üzerinde durur(Shang & Zhou, 2016). Şekil 2.8 ‘de Cassie- Baxter modeline ait su değme açısı görüntüsünün şematik gösterimi verilmiştir.

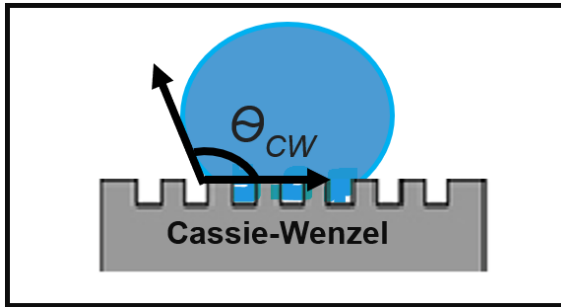


Şekil 2.8. Cassie-Baxter modeline göre pürüzlü yüzeydeki bir sıvı damlasına ait şematik gösterimi

Sıvı damlacığı hava paketleri varlığının etkisi ile sıvıyı tamamen yukarı ittiği için sıvı damlacığı küreselliğe yakın veya küresel durma eğilimi gösterir. Bu durum, içsel ıslanabilirliğinden bağımsız olarak temas açısı artışı yani hidrofobikliğini artırma eğilimindedir(Volpe, 2019). Pürüzlü bir yüzey göz önüne alındığında, biriken bir damlacık için iki olası model sonucu Cassie-Baxter modelinde pürüzlü yüzeyler üzerindeki su damlacığı katı-hava-su arayüzü oluşturmasını önermektedir. Oluşan hava paketçikleri damlacığın altında sıkışır. Wenzel modelinde ise hava paketçikleri oluşmaz ve yüzey damlacık tarafından tamamen ıslanabilir(Riveiro vd., 2018).

2.3.1.2.3. Wenzel ve Cassie-Baxter modeli arasındaki geçiş

Genel olarak, çok pürüzlü yüzeylerin Cassie-Baxter rejimini takip etme olasılığının daha yüksek olduğu ve düşük pürüzlü yüzeylerin Wenzel'in modelini izleyeceği gözlenmektedir(Riveiro vd., 2018). Bu iki model arasında bir geçiş durumu vardır. (Şekil 2.9.) Bir sıvı damlacığı Wenzel modelinde olduğu gibi kısmen pürüzlü yapının içerisine giriyor ve Cassie modelinde olduğu gibi kısmen pürüzlü yapının üzerinde durmayabilir. Bu durumdaki yüzeyler iki model arasında bir sıvı yapışmasına sahiptir(Yong vd., 2017).



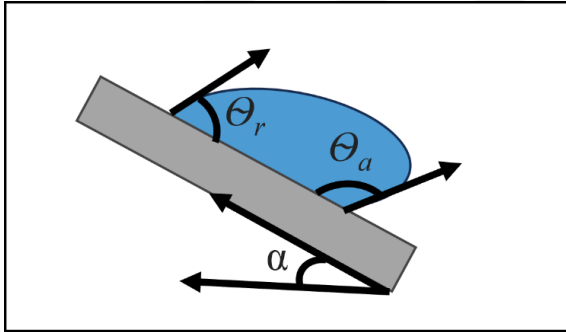
Şekil 2.9. Cassie -Wenzel modeline göre pürüzlü yüzeydeki bir sıvı damlasına ait şematik gösterimi

Ayrıca, Cassie durumundaki yüzeyler basınç ve dış uyaranlar tarafından uyarıldığında Wenzel durumuna dönüşecektir(Koishi, Yasuoka, Fujikawa, Ebisuzaki, & Xiao, 2009; K. Zhang, Li, Xin, Li, & Sun, 2023). Bu durum pürüzlü yüzeylerdeki Cassie durumundaki hava paketçiklerinin etkisi ile yüzey damlacık tarafından ıslanmazken

Wenzel durumuna geçişte hava paketçikleri oluşmaz ve yüzey damlacık tarafından tamamen ıslanabilen bir geçiş yapabilir(Riveiro vd., 2018).

2.3.2. Kayma Açısı (SA)

Katı yüzey üzerinde hareket eden bir damlacığı karakterize eden bir başka açı da yuvarlanma açısıdır. Yuvarlanma açısı veya kayma açısı (SA) olarak ifade edilir. Kayma açısı (SA), katı bir yüzeyden sıvı damlacığının eğimli bir yüzeyden aşağı kaymaya başlayacağı minimum açıya denir. Kayma açısı, Şekil 2.10' da şematik olarak verilmiştir. Katı yüzey üzerindeki bir sıvı damlacığının yüzeyden ayrılma kabiliyetinin yüksek olması için yüzeyin kayma açı değerinin küçük olması beklenir. Bu değer, $SA < 10^\circ$ 'den küçük bir açı değerindeyse damlacık yüzeyden kolayca ayrılır. $SA > 10^\circ$ ise damlacık yüzeyden zor ayrılır ve yüzeyden yuvarlanması zordur. Damlacığın yüzeyden yuvarlanmasını etkileyen faktörler, sıvı damlacığının viskozitesi, su temas açısı (CA) ve temas açısı karmaşası veya histerezisi (CAH) 'ne bağlıdır(Zaera, 2011).



Şekil 2.10. Bir yüzey üzerinde kayan bir damlacığın ilerleme (Θ_a) ve gerileme (Θ_r) açılarına bağlı olarak kayma açısı (SA) gösterimi

Kayma açısı (SA), Şekil 4'te gösterildiği gibi ilerleyen (Θ_a) ve gerileyen (Θ_r) temas açılarına bağlıdır. Burada, ilerleyen (Θ_a) yani damlanın katı yüzeyden ilerlerken ölçülen temas açısıdır. Kayma açısında etkili olan diğer açı ise gerileyen (Θ_r) yani ilerleyen temas açı değerinin tersi bir açı olmakla birlikte sıvı damlacığının katı yüzeyden geri çekilirken ölçülen temas açısı ile ifade edilir. İlerleyen ve gerileyen temas açılarına bağlı olarak kayma açısı denklem 2.2'de açıklanmıştır.

$$\sin\alpha = \gamma R / kmg(\cos\theta_r - \cos\theta_a) \quad (2.4)$$

Denklem 2.2'ye göre; γ yüzey gerilimi, R ve k uzunluk ölçeği ve damlacık profilini tanımlayan şekil sabitleridir. r genellikle damla yarıçapı olarak alınır, k ise deneysel sabiti, m damlacığın kütlesi ve g yerçekimi ivmesidir. Bu nedenle, küçük bir histerezis, küçük bir SA 'ya karşılık gelir(Volpe vd., 2020).





3. SÜPERHİDROFOBİK VE SLIPS YÜZEYLERİN TASARIMI

3.1. Süperhidrofobik Yüzeylerin Tasarımı

Süperhidrofobik yüzeylerin imalatında yaygın olarak iki strateji kullanılır. Bunlardan ilki yüzeyin pürüzlendirilerek su iticiliğinin sağlanması(X. Lv vd., 2016; Nooney vd., 2001) ikinci olarak, düşük enerjili bir malzeme ile kaplanarak hidrofobitesini artırılmasıdır (Ipekci vd., 2016). Bu yaklaşımdan yola çıkılarak süperhidrofobik kaplamalar da pürüzlü bir yapıyı oluşturmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları; daldırma yöntemi ile kaplama(M. Liu vd., 2017), sol jel(Z. Cai vd., 2023), kimyasal aşındırma(Rubbi vd., 2023), kimyasal buhar biriktirme (CVD)(F. Zhang vd., 2017), plazma işleme(Gnedenkov vd., 2016), çok tabakalı kaplama (layer-by-layer) ve spreyl kaplama(K. Li vd., 2017) bu yöntemlere örnek verilebilir. Bu yöntemler arasında, mikro/nano-parçacıklara dayalı süperhidrofobik yüzey üretimi için spreyl kaplama ve daldırma kaplama yöntemleri, pratik, yüksek verimlilik, düşük maliyet ve evrensel uygulanabilirlik nedeniyle yaygın endüstriyel uygulamalarda umut verici yöntemlerdir.

3.1.1. Pürüzlendirme İçin Kullanılan Nanoparçacıklar

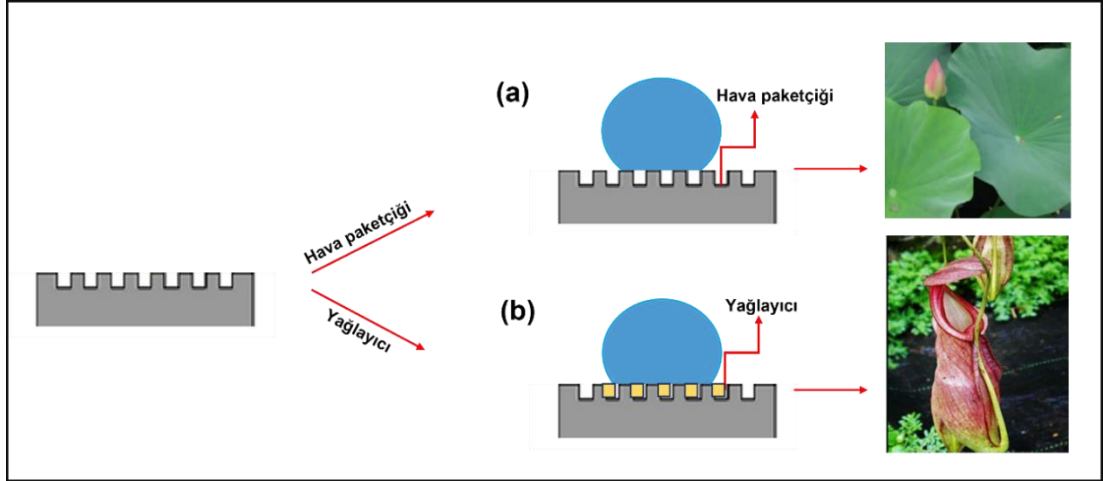
Nanoparçacıklar (NPs), özellikle pürüzlü yüzeyler elde etmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Corral, Alvarez, & Poon, 2024). İnorganik nanoparçacıklar özellikle silika nanoparçacıklar düşük maliyetli olmaları ve büyük ölçekli üretim kolaylığı, kararlı yapıları, kolay modifikasyon ve ayarlanabilir yapıları nedeniyle süperhidrofobik yüzey tasarımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır(C. Cai vd., 2016). Yapay süperhidrofobik yüzeyleri oluşturmak için hiyerarşik pürüzlülük gereklidir. Hiyerarşik pürüzlülüğe sahip yüzeyler için ıslanabilirlik Wenzel modelinden Cassie-Baxter modeline geçilir ve böylece su itici özellik sağlanır. Bu hiyerarşik yapıları elde etmek için, farklı boyutlu parçacıkların yüzeyde biriktirilmesi basit bir yaklaşımdır. Örneğin, Xiaoxiao ve arkadaşları iki farklı boyutta hidrofobik/hidrofilik silika parçacıklarının tek adımlı bir kaplaması ile hidrofobik kaplama yapmışlardır (Zhao vd., 2020). Başka bir örnekte Chunhong ve arkadaşları ise çiçek benzeri OTS- SiO₂ nano silika lifleri kullanarak buzlanmayı önleyen yüzey tasarımı yapmışlardır(Qi vd., 2020).

3.1.2. Pürüzlü Bir Yüzeyi Hidrofobik Ajan ile Modifiye Etmek

Süperhidrofobik yüzey elde etmek için ikinci öncül ise pürüzlü bir alt tabaka yaptıktan sonra onu düşük yüzey enerjili uzun zincirli bir malzeme ile modifiye ederek yüzeyin hidrofobilitasını arttırmaktır. Literatürde yüzeyin hidrofobilitasını arttırmak amacıyla yönelik ajan ile kaplanmasına dair birçok çalışma vardır. Bunlar ilki 2006 yılında hazırlanan pürüzlü yüzeyin en basit silanlardan biri olan triklorometilsilan (TCMS) ile kaplanması ile rapor edilmiştir (Artus vd., 2006). Düşük yüzey enerjili ve kimyasal olarak kararlı olan polisiloksanlar reaksiyon koşullarına ve silan yapısındaki hidroliz olabilen grup sayısına bağlı olarak, yüzeylerdeki hidroksil (-OH) gruplarıyla reaksiyona girer (Z. Liu vd., 2017). Polisiloksanlar literatürde yaygın olarak organoflorin bileşikler olarak yani yapısında flor içeren polimerler olarak kullanılmıştır. Fakat flor içeren bileşikler, toksik ve çevreye karşı sorun teşkil etmektedir. Bu sebeple florsuz düşük yüzey enerjili polisiloksan ile kaplanan yüzeyler araştırmacıların çok fazla ilgisini çekmektedir.

3.2. Sıvı Emdirilmiş Kaygan Gözenekli Yüzeyler (SLIPs)

Süperhidrofobik yüzeyler, yüksek temas açısı ve düşük kayma açısına sahiptir. Bu özellikleri ile yüzeyden su damlacığı, kolayca yuvarlanır ve yüzey kendi kendini temizleme, buzlanma önleme (Volpe vd., 2020) bakteri tutunmasını önleme (Park vd., 2021) ve korozyon önleme (De Leon vd., 2012) gibi üstün özelliklere sahip olur (K. Liu vd., 2010). Bununla birlikte, süperhidrofobik yüzeyler hazırlanırken özellikle yüzeyde pürüzlü bir yapı oluşturur. Bu yapının gözenekleri arasında var olan hava paketleri uzun süreli kullanımlarda kararlılığı korumayabilmektedir. Bu durumda kaplama kalitesi düşmektedir (Xiaoyu Gao & Guo, 2018; Gnedenkov vd., 2016; He vd., 2009; C. Liu vd., 2014). Bu kısıtlamayı aşmak için yüzeylerdeki gözeneklerde bulunan hava boşlukları çeşitli sıvılarla doldurularak bu problem giderilmeye ve daha kararlı yüzey kaplamalarının geliştirilmesine çalışılmıştır (Labonte vd., 2021). Bu amaçla, 2011 yılında Aizenberg ve ark. ilk olarak *Nepenthes* sürahi bitkisinden ilham alarak kaygan sıvı ile aşılınmış gözenekli yüzeyler (SLIPs) geliştirilmiştir (Wong vd., 2011). Şekil 3.1' de süperhidrofobik ve SLIPs'e ait bir sıvı damlacığının şematik görüntüleri verilmiştir.



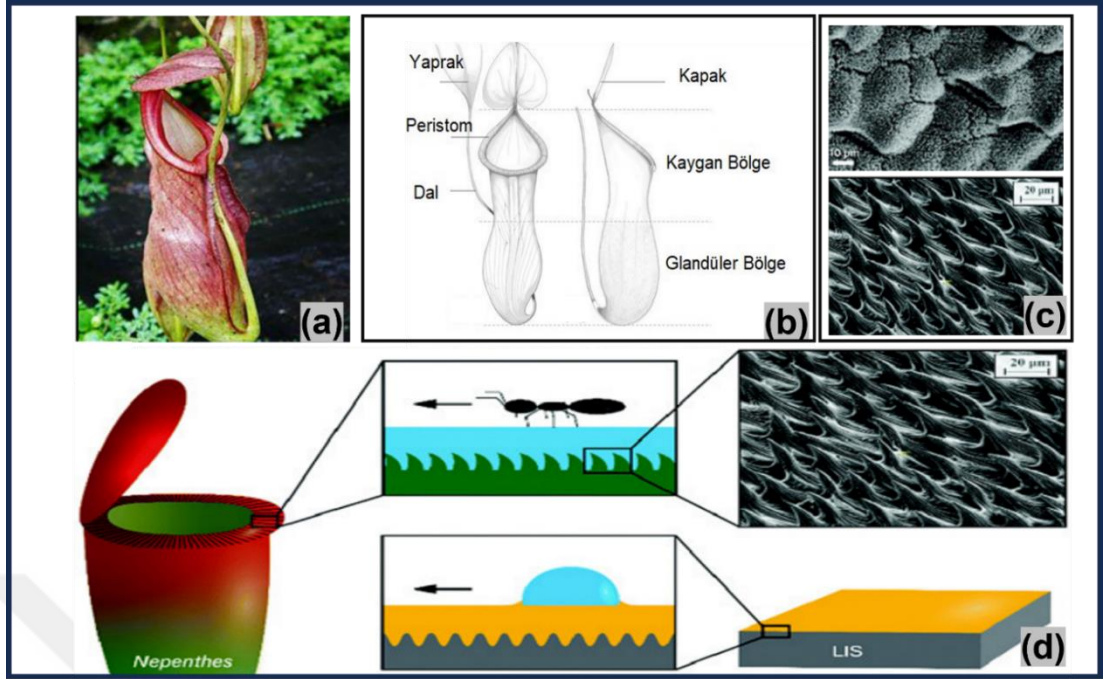
Şekil 3.1. a) Süperhidrofobik b) Kaygan yüzeylerde damla görüntüsünün şematik gösterimi (Yao, Wu, Sun, Jiang, & Pan, 2022)

Şekil 3.1a’ da gösterildiği gibi nilüfer çiçeğinden ilham alan pürüzlü yüzeyde oluşan hava paketçigi etkisi ile katı yüzeydeki bir sıvı damlacığı küresele yakın görüntüdedir. Şekil 3.1b’de ise *Nepenthes* sürahi bitkisinden ilham alan pürüzlü bir yüzeye yağlayıcı infüze ederek hava boşlukları yağlayıcı ile doldurulur ve böylece katı yüzeydeki bir sıvı damlacığı küresel görünümünden uzaklaşır. Genel olarak süperhidrofobik yüzeylerde, 150° ’den fazla yüksek temas açısı, 5° ’den düşük kayma açısı ile sıvı iticiliği sunarken sıvı emdirilmiş kaygan yüzeylerde (SLIPs) 150° ’den çok daha küçük temas açısı ve 5° ’den daha düşük kayma açısı ile sıvı iticiliği sunar. Bu nedenle sürtünmeyi azaltma, kirlenmeyi önleme, buzlanmayı önleme ve korozyon önleme gibi birçok alanda önemli etkiye sahiptir. Ayrıca SLIPs’ler yüksek sıcaklık ve basınç gibi zorlu koşullar altında iticiliğini koruyabilir ve süperhidrofobik yüzeyler tarafından sağlanamayan iyi bir kendi kendini iyileştirme performansı sergileyen kararlı yapılardır. Bu da pratikteki önemini daha çok vurgulamaktadır (Yao vd., 2022).

3.2.1. Biyolojik Arka Plan

Nepenthes sürahi bitkisi

SLIPs'ler doğayı taklit ederek keşfedilen, böcek yiyen çiçeklerden biri olan sürahi (Nepenthes) bitkisinden esinlenerek geliştirilmiştir. Nepenthes üzerinde çalışılan etobur bir bitkidir ve bu bitki biyologlarının dikkatini çeken bir dizi ekolojik özellik göstermektedir. Sindirim sürahisinin olağanüstü doku organizasyonu, günlük yaşamda kullanılabilecek yeni ve orijinal materyallerin üretiminde yardımcı olabilmektedir. Sürahi bitkisinin boyut, şekil ve renk desenindeki çeşitlilik yüzyıllardan beri ilgi çekmektedir(Miguel, Hehn, & Bourgaud, 2018). Sürahi bitkisine ait fotoğraf Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.2a-b' de *Nepenthes* sürahi organizasyonu, Şekil 3.2c' de sürahi bitkisinin bu bölgelerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.2d'de görüldüğü gibi *Nepenthes* sürahi bitkisi, peristomunda doğal bir kayganlaştırıcıyı hapsederek kaygan tabakası oluşturur. Sürahi bitkisinin tüp şeklinde bir yapısı ile iç kısmının açıklığını çevreleyen renkli ve yaka şeklindeki gözenekli bir yapıya karşılık gelen peristome, avın çekilmesi ve yakalanmasında rol oynar(Bauer, Bohn, & Federle, 2008). Gözenekli yapının iç kısmı kaygan alan yani avını yakalanmayı kolaylaştıran balmumu ile kaplanmıştır. Sürahi bitkisinin alt kısmında yer alan sindirim bölgesi, yakalanan avları tutmak ve sindirmek için asidik visko elastik bir sıvı üreten bezlerle kaplıdır(Bauer vd., 2008). Böcekler anizotropi ve peristomun kaygan özelliği nedeniyle sürahinin iç kısmına düşer(Bohn & Federle, 2004). Bu yapıdan esinlenilerek yüzeyde bir lubrikant tabakanın hapsedilmesiyle SLIPs'ler oluşturulur.



Şekil 3.2. Nepenthes sürahi bitkisi a) bitkinin görüntüsü b) bitkinin bölümleri c) SEM görüntüleri d) sürahi bitkisine ait kaygan sıvı tabakası(Miguel vd., 2018; Yao vd., 2022)

3.2.2. SLIPs Yüzeylerin Eldesi

SLIPs elde etmek için yaygın olarak üç strateji kullanılır. İlk olarak, yüzeyde mikro/nano pürüzlü yapılar oluşturulur; daha sonra alt-tabaka uygun düşük yüzey enerjili kaplama ile yüzey modifiye edilir ve en son olarak, mikro/nano yapılara düşük yüzey gerilimli bir kayganlaştırıcı infüze edilir(R. Deng vd., 2020; Wong vd., 2011). Bu noktada, SLIPs yüzeyleri geliştirmek için dikkat edilmesi gereken üç kriter vardır: (i) Gözenekli yapıya infüz edilecek yağlayıcı, micro/nano yapılı yüzey pürüzlerinin içine kararlı bir şekilde girmeli ve gözenekli yapının içinde kalmalı, (ii)seçilen yağlayıcı ile test sıvıları birbirine karışmayan sıvılar seçilmeli, (iii) yağlayıcının, test sıvısına göre gözenekli yapısında ıslatma konusunda daha güçlü bir yeteneğe sahip olmalıdır(Peppou-Chapman vd., 2020). Genel olarak kullanılan yağlayıcı, iyonik bir sıvı veya düşük yüzey gerilimli yağdır. Bu nedenle, SLIPs'leri geliştirmek için yağlayıcıları infüz etmek için kimyasal olarak inert ve oldukça hidrofobik bir arayüz gereklidir. Yani, hidrofobik dokulu bir yapı geliştirildikten sonra bunu yağlayıcıların infüzyonu takip eder(Yao vd., 2022) .

3.2.3. SLIPS'in Mekanik Kararlılığı

SLIPs'lerin tasarımında zayıf mekanik kararlılık geniş uygulama alanlarında kullanılabilmeleri için önemli bir parametredir. Genel olarak, süperhidrofobiklik, SLIPs üretimi için bir ön koşuldur. Çünkü pürüzlü veya gözenekli yapıları yağlayıcı barındırabilir. Bu nedenle bazı dış etmenlere maruz bırakıldığında süperhidrofobikliğin dayanıklılığı SLIPs yüzeyler için oldukça önemlidir(Yuan vd., 2021). SLIPs yüzeylerde gözenekleri dolduracak yağlayıcının etkisi de önemlidir. Yağlayıcının etkisi azaldıkça stabilitesi de azalmaktadır. Bu nedenle zayıf mekanik kararlılık etkisi yağlayıcının tükenmesine bağlıdır. Yüzeylerin kararlılığını belirlemek için bazı mekanik testler yapılarak belirlenebilir. Örneğin, buzlanma önleyici etki için buz oluşum sıcaklığında, 60°C'de termal kararlılık, bant soyma testleri, yüzeyde farklı yönlerde doğru fiziksel kesikler uygulama(Jamil vd., 2020), sıcak su buharına maruz bırakma, ultraviyole ışınlamaya maruz bırakmak, kimyasal çözeltilere daldırma, zımpara kâğıdı ile aşındırma(M. Yu vd., 2020) gibi testler uygulanarak SLIPs'lerin stabilitesi değerlendirilmiştir. Kılcal etki nedeniyle yağlayıcı, fiziksel boşlukları yeniden doldurmak için hasarlı bölgeye serbestçe akabilir(Bjelobrck vd., 2016). Bu kendini onarma etkisi ile yüzeyler, stabilite testlerinden sonra kaygan ve hidrofobik performansı koruyabilmektedir.

3.2.4. SLIPS Yüzeylerde Yağlayıcılar

SLIPs tasarımında bir yağlayıcı tabakanın varlığı ve makul seçimi, malzemelerin özellikleri için son derece önemli ve yağlayıcı ile katı arasındaki kimyasal uyumluluk hayati öneme sahiptir(Peppou-Chapman vd., 2020). Yağlayıcılar, SLIPs'in iyi özelliğini sağlayabilmesi için üç koşulu sağlamalıdır. İlk olarak, yağlama sıvısı alt tabaka içinde emilmeli, ıslatılmalı ve kararlı bir şekilde emilim sağlamalıdır. Katı malzeme, test sıvısı ile değil yağlayıcı tarafından ıslatılmalıdır. Son olarak kullanılan yağlayıcı ile test sıvısı birbirine karışmamalıdır. Böylece en yaygın kullanılan yağlayıcılar, kimyasal olarak inert PFPE ve silikon yağdır. Ek olarak bitkisel yağlar ve iyonik sıvılarda yukarıda bahsedilen koşulları sağladığı için yaygın olarak kullanılmaktadır(Huang & Guo, 2019).

3.2.4.1. Silikon yağı

Silikon yağı, mükemmel özellikleri nedeniyle en yaygın kullanılan yağlayıcılardan biridir. Oda sıcaklığında sıvı kalan doğrusal polisiloksan ürünlerdir. Yüzey gerilimi sudan ve çoğu yüzey aktif maddeden daha düşüktür. Düşük uçuculuğa sahip ve kimyasal olarak inerttir. Silikon yağı, yaygın olarak kullanılmasına rağmen pratik uygulamalarda kaçınılmaz sorunları vardır. Örneğin, silikon yağının düşük yüzey gerilimi nedeniyle, infüz ederken malzemenin özelliğinin azalmasına neden olur. Ayrıca aşırı basınç sorunlarına neden olabilecek büyük bir termal genleşme katsayısına sahiptir. Bu nedenle, mekanik özelliklerinde azalma yaşanır (Peppou-Chapman vd., 2020).

3.2.4.2. Florokarbon

Florokarbonlar, yüksek stabilite sergiler, kimyasal olarak inerttir, yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır, yüksek şeffaflığa ve düşük kırılma indisine sahiptir. Düşük yüzey enerjisine sahiptir ve iyi bir hidrofobik özellik sergiler. Düşük uçuculuğa sahiptir. Florokarbonlar, iyi özelliklerinden dolayı SLIPs yüzeylerde yağlayıcı seçiminde tercih edilir. En sık kullanılan iki madde perfloropolieter (PFPE) perflorodekalindir (PFD)'dir. PFPE'ler ilk olarak 1960'larda incelenmiştir. Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan ve molekül ağırlıkları 500-15.000 arasında değişir. Molekül ağırlığı arttıkça viskozite indeksi de artar. En çok tercih edilen florokarbonların türleri ve bunların kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir (Huang & Guo, 2019; Xiaobo Wang, Huang, & Guo, 2022).

Çizelge 3.1. Slips yüzeylerdeki florokarbon yağlayıcıların özellikleri (a: 20°C’ de, b: 25°C’ de, c: 0°C’ de)(Xiaobo Wang vd., 2022)

Yağlayıcı	Yoğunluk g/cm ³	Kinematik viskozite ^a (cSt)	Dinamik viskozite ^a (mPa.s)	Yüzey gerilimi ^a (mN/m)	Buhar basıncı ^a (kPa)	Akma noktası ^a (°C)	Ref.
krytox GPL 100	1.870 ^c	12.4	—	16-20	—	<-70	(Peppou-Chapman vd., 2020)
krytox GPL 101	1.890 ^c	17.4	—	16-20	—	<-70	(Peppou-Chapman vd., 2020)
krytox GPL 102	1.650	38	62.8	16-20	—	<-63	(Mylona, Assael, Karagiannidis, Jannakoudakis, & Wakeham, 2015; Peppou-Chapman vd., 2020)
krytox GPL 103	1.920 ^c	82	—	16-20	—	-60	(Peppou-Chapman vd., 2020)
krytox GPL 104	1.930 ^c	177	—	16-20	—	-51	(Peppou-Chapman vd., 2020)
krytox GPL 105	1.940 ^c	522	—	16-20	—	-36	(Peppou-Chapman vd., 2020)
krytox GPL 106	1.950 ^c	822	—	16-20	—	-36	(Peppou-Chapman vd., 2020)
krytox GPL 107	1.950 ^c	1535	—	16-20	—	-30	(Street, Marchetti, Vander Wal, & Tomasek, 2004)
KRİTOKS- 1506	1.880	60	113	17	5×10 ⁻⁸	-60	(Sett vd., 2017)
krytox- 1506 XP	1.880	60	113	17 ^b	—	-60	(Erbil, 2016)

3.2.4.3. Bitkisel yağlar

Bitkisel yağ, doğal bitkilerin meyvelerinden veya tohumlarından elde edilen bir molekül ve üç farklı yağ asidi molekülünden oluşur. Bitkisel yağlar, petrolün ortaya çıkmasından önce, kullanılmaya başlanmış yağlardır. Bitkisel yağlardaki yağ zincirinin uzunluğu 12-22 karbon atomu arasında değişir. Düşük uçuculuk, düşük parlama noktası, yüksek viskozite indeksi, geniş bir sıcaklık aralığında kullanılması, mükemmel aşınma direncine sahip olmaları ve en önemli özelliklerden biri de toksik olmamalarıdır(Bellini, Bianchi, Zaccheria, & Ravasio, 2021; Singh, Farooq, Raza, Mahmood, & Jain, 2017). Bitkisel yağların yağlayıcı olarak kullanılmasında zayıf oksidasyon stabilitesi ve düşük sıcaklık özellikleri sergilemeleri ve bu yağlayıcının oda sıcaklığında zayıf akışkanlık sergilemeleri birer dezavantaj olabilmektedir (Mahadi vd., 2019). SLIPs yüzeylerde defne yağı, keten tohumu yağı, hindistan cevizi

yağı, karanfil yağı, zeytinyağı, fıstık yağı ve hint yağı gibi bitkisel yağlar, en çok tercih edilen bitkisel yağ türleridir. Sıklıkla kullanılan bitkisel yağ türleri ve bunların fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2 ‘de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Slips yüzeylerdeki bitkisel yağlayıcının özellikleri (a: 20°C’ de, b: 25°C’ de, c: 40°C’ de)(Xiaobo Wang vd., 2022)

Yağlayıcı	Yoğunluk ^a (g/cm ³)	Kinematik viskozite ^a (cSt)	Dinamik viskozite ^a (mPa.s)	Yüzey gerilimi ^a (mN/m)	Akma noktası ^a (°C)	Ref.
Defne yağı	0,921	23.2	21.367	—	—	(Demirbas, 2008; Hartmann, Lauerwald, & Moosdorf, 2014)
Karanfil yağı	0,810	11.975	9.7	28	—	(Hartmann vd., 2014; Sett vd., 2017)
Hint yağı	0,945-0,965b -	250.24c -	—	38	—	(Hartmann vd., 2014; Mahadi vd., 2019)
Hindistancevizi yağı	0,922	23	21.16	18	20	(J. Lv, Song, Jiang, & Wang, 2014; Mahadi vd., 2019; Peppou-Chapman vd., 2020; Q. Wang, Sun, Tong, Yang, & Hao, 2021)
Mısır yağı	0,914	35.4	33.311	—	-40	(Demirbas, 2008; Hartmann vd., 2014)
Pamuk yağı	0,92	73	70.4	35	-15	(Demirbas, 2008; Lisd, 1949; Peppou-Chapman vd., 2020)
Keten tohumu yağı	0,921	27.2	25.051	—	—	(Demirbas, 2008; J. Wu vd., 2020)
Zeytin yağı	0,914	75	69	32	-9	(Demirbas, 2008; Hartmann vd., 2014; Peppou-Chapman vd., 2020; J. Wu vd., 2020)

Hayvansal yağlayıcılar genellikle katıdır ve sıvı enjeksiyon yüzeylerine uygulanamaz. Örneğin balık yağının hazırlanma süreci daha karmaşıktır. Maliyeti artar ve oksitlenen hayvan yağı korozyona bile neden olabilir. Bu nedenle, hayvansal yağlar için SLIPs yağlayıcı olarak bitkisel yağlardan daha az rapor edilmektedir(Bartz, 1978).

3.2.4.4. İyonik sıvılar

İyonik sıvılar, asimetrik katyonlar ve anyonlar içeren iyon çiftlerinden oluşan nispeten düşük sıcaklıklarda erimiş tuzlardır(Zhou, Liang, & Liu, 2009). İyonik sıvıların özellikleri, katyonların zincir uzunluğundan ve simetrisinden büyük ölçüde etkilenebilir. Örneğin, daha yüksek katyon simetrisi veya daha uzun alkil kısımları

daha yüksek bir viskoziteye neden olur(Barnhill vd., 2014). İyonik sıvılar kokusuzdur, yanıcı değildir ve son derece düşük buhar basıncına sahiptir. Bu da buharlaşmanın neden olduğu çevre kirliliği büyük ölçüde azaltılabilir. Fakat yağlayıcı olarak iyonik sıvılar, yüksek maliyet ve yüksek polariteleri nedeniyle sınırlı kullanımlara sahiptir(Somers, Howlett, MacFarlane, & Forsyth, 2013).

3.2.4.5. Diğer yağlayıcılar

SLIPs yüzeyler için yaygın olarak kullanılmayan farklı yağlayıcılardan biri mineral yağlar diğeri ise sıvı kristallerdir. Mineral yağlar, doymuş hidrokarbonlardan oluşur. Mineral yağların sera etkisinin kaynaklarından biri olduğunu ve vücudumuza besinlerle girdiğinde vücutta birikir ve insan sağlığına zarar verir(Aluyor & Ori-jesu, 2009). Sıvı kristaller ise genellikle mezo kristalin bir durumu olarak tanımlanır. Yaygın yağlayıcılardan ayıran şey, sıvı kristallerin düşük bir sürtünme katsayısı elde edebilmesi ve malzemeyi değiştirmek için monomerler ekleyerek yük taşıma kapasitesini arttırabilmesidir. Sıvı kristallerinin dezavantajları, yüksek maliyet ve termal kararlılıklarının düşük olmasıdır(Siam, 1989). SLIPs yüzeylerde yağlayıcı seçiminin oldukça önemli olduğu ve her yağlayıcının özellikleri farklı olduğu açıklanmıştır. Bu durumda doğru yağlayıcıyı seçmek oldukça önemlidir.

3.2.5. SLIPs'lerin Uygulama Alanları

SLIPs'ler; sürtünmeyi azaltma, korozyon önleme, buzlanmayı önleme, kendi kendini temizleyebilme ve bakteriyel oluşum önleme gibi çeşitli alanlarda kapsamlı uygulama potansiyeli sunar.

3.2.5.1. Korozyon önleyici

Korozyon, metalik malzemenin ömrünü azaltarak ekonomik ve çevresel kayıplara (binalar, petrol, gaz tesisleri ve su sistemleri) neden olmaktadır. Metal korozyon, kimyasal ve elektrokimyasal olarak ikiye ayrılır. Kimyasal korozyonda bir metalin yüzeyi ile ortam arasındaki doğrudan kimyasal reaksiyonun neden olduğu korozyondur. Elektrokimyasal korozyon ise metal malzemenin elektrolit çözeltisiyle temas ettiğinde elektrot reaksiyonun neden olduğu korozyonu ifade eder. Bu sorunu çözmek için araştırmacılar, korozyona dayanıklı SLIPs yüzeyler geliştirme üzerine

çalışmaktadır(Xia, Zhang, & Guo, 2023). Yağlayıcı infüz edilen yüzeyler, korozyon ortam ile elektron transferini engellemek için metalik substratlar arasındaki doğrudan teması önleyebilir. Aynı zamanda katı fazdaki kusurları doldurur ve stabiliteyi korur(Tuo, Zhang, Liu, & Song, 2021). Yang ve ark. 316L paslanmaz çelik üzerine yaptıkları süperhidrofobik kaplamaya yağlayıcı infüz ederek stabilite karşılaştırması yapmışlardır. Süperhidrofobik yüzeylerde daldırma süresine göre hidrofobikliği kademeli olarak azalmıştır. Buna karşılık SLIPs'te 72 saat aşındırıcı çözeltiye daldırılma sonrasında bile stabilite devam etmiştir. SLIPs kaplamalar iyi bir korozyon koruması sergilemiştir(Z. Yang, Liu, & Tian, 2020).

3.2.5.2. Buzlanma önleyici

Buz biriken yüzeylerde yüksek enerji tüketimi, yüksek maliyet ve az verimlilik sağlanır. Özellikle güç ve iletişim kuleleri, güneş panelleri ve uçakların altyapılarında yer aldığı sistemlerin bozulmasına neden olur. Bu durum büyük ekonomik kayıplara neden olabilir ve hatta insan hayatını tehdit edebilir(J. Lv vd., 2014). Donmanın olumsuz etkilerine dayanarak, çeşitli buz çözme teknikleri benimsenmiştir. Buz çözme yöntemleri üç türe ayrılabilir; (i) malzemelerin yüzeyini ısıtmak, (ii) suyun donma noktasını düşürmek için kimyasal malzeme kullanmak ve (iii) mekanik buz çözmek. Bu yöntemler zaman alıcı, pahalı yöntem ve çevreye zararlı olabilmektedir. Bu tekniklerin sınırlaması nedeniyle, araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmüş ve bu sorunu çözmek için süperhidrofobik yüzeyler geliştirerek donma sürecini geciktirmişlerdir. Fakat bu yüzeyler, buz kristallerinin çekirdeklenmesinin neden olduğu yüzey pürüzlülüğünün bozulması ve dışarıdan gelen mekanik hasara karşı dayanıklı olmayışı süperhidrofobik yüzeyin veriminin düşmesine neden olur. Bu sorunu gidermek için sürahi bitkisinden ilham alan bilim insanları SLIPs'lerin mükemmel buz önleyici ve ultra düşük buz yapışma kuvveti sergilediğini gösterdiler(Irajizad, Hasnain, Farokhnia, Sajadi, & Ghasemi, 2016). Kaygan yüzeylerde yağlama yağı, pürüzlü yüzeye infüz ederek düzgün ve pürüzsüz bir yağ filmi oluşturur. Suyu karışmayan yağlayıcı kullanıldığında, su bu yüzeyin pürüzlü yapısına temas edemez, bu da buz çekirdeklenme oranını ve buz yapışma mukavemetini azaltır. Yaygın olarak kullanılan florlül yağlayıcılar hidrofobikliği ve buz iticiliğini artırır. Böylece SLIPs yüzeyler buz çözme performanslarına sahip olup düşük enerji tüketimi, düşük maliyet ve çok verimlilik için umut verici ve pratik

uygulamalarda oldukça ilgi görmektedir(Nath, Ahmadi, & Boreyko, 2017; Xiangzhao Wang vd., 2023; Xia vd., 2023).

3.2.5.3. Kendi kendini temizleme

Doğada birçok biyolojik yüzey, sıvıları ve kirletici maddeleri kolayca itip, temiz kalmalarını ve istenmeyen maddelerden arınmış olmalarını sağlayacak şekildedir(X. Liu vd., 2018). Bu tür özellikler buz çözücü sistemlerde ve kirlenme önleyici malzemeler de yüksek enerji tüketimi, verimlilik ve elektronik dahil olmak üzere geniş bir uygulama alanında arzu edilir(P. Lv, Zhang, Han, & Sun, 2021). Bu tür özelliklere sahip süperhidrofobik yüzeyler bu uygulamalarda özellikle faydalıdır. Çünkü kirlenmeyi önleyerek performansı artırır ve sistemlerin ömrünü uzatmaya yardımcı olabilirler. Araştırmacılar, bu doğal yüzeylerin ardındaki mekanizmayı inceleyerek bu özellikleri taklit edebilecek çeşitli teknolojik uygulamalarda kullanılmak üzere SLIPs kaplamalar üzerine çalışmaktadır. Böylece kendi kendini temizleme özelliği ile günlük hayatta ve endüstride umut vaat etmekte ve ticari olarak büyük potansiyele sahip olarak görülmektedir(K. Chen vd., 2023).

3.2.5.4. Anti bakteriyel

Bakteriler, proteinler ve lipopolisakkaritler aracılığıyla malzeme yüzeyi ile kimyasal bağlar oluşturarak malzeme yüzeyine yapışır(Bi vd., 2021). Malzemelerin yüzeyinde uzun süreli yapışma veya bakterilerin birikmesi, bakteriyel biyofilm oluşumuna yol açar. Bu durum bakteriyel biyofilm kirliliğine neden olabilir, özellikle tıp ve gıda endüstrilerinde önemli hasara neden olmaktadır(Fu, Bing, & Liu, 2024). Bu sorunu çözmek için bugüne kadar, malzeme yüzeyindeki bakteriyel yapışmayı ve biyofilm oluşumunu önlemek için birçok türde antimikrobiyal kaplama ve bakteri öldürücü ilaçlar keşfedilmiş ve geliştirilmiştir(T. Wei, Qu, Zou, Zhang, & Yu, 2021). Malzeme yüzeyinin fiziksel ve kimyasal özellikleri bakteriyel yapışmasında ve büyümesinde etkilidir. Bunlar arasında yüzey morfolojisi, pürüzlülük, sertlik, ıslanabilirlik, yüzey yükü ve hidrofobik kaplamalar kullanılarak antibakteriyel yüzeyler oluşturulabilir. Bakteriyel yapışma da en yaygın yöntemlerden biri yüzeyin ıslanabilirliğinin değiştirilmesidir. Böylece süperhidrofobik yüzeyler, biyofilm oluşumunu etkili bir şekilde inhibe eder ve biyolojik kirlenmeyi azaltır(Georgakopoulos-Soares, Papazoglou, Karmiris-Obratański, Karkalos, & Markopoulos, 2023). Yüzeyle ilişkili

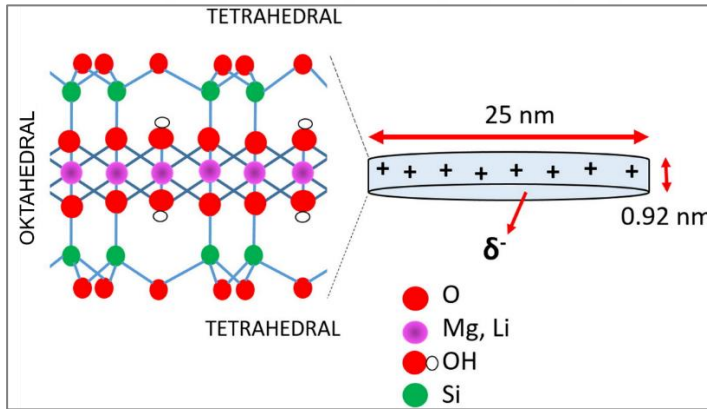
kontaminasyonlara karşı gelecek vaat eden süperhidrofobik yüzeylere ek olarak SLIPs'ler pürüzsüz ve stabil bir arayüz sunar(Epstein, Wong, Belisle, Boggs, & Aizenberg, 2012). SLIPs, yağlama sıvısını kimyasal olarak uyumlu ve pürüzlü gözenekli substratlara infüzyonu bakteriyel biyolojik kirlenmeye direnebilen ve biyofilm oluşumunu önleyebilen son derece düşük yapışma arayüz sergiler(Hao vd., 2022).

3.2.6. Yüzeylerin Mekanik Dayanıma Etkisi

Süperhidrofobik yüzeyler küçük bir stres uygulandığında bile ıslanma önleyici özelliklerini kaybedebilirler. Özellikle pürüzlü yapılarında var olan hava paketlerini uzun süreli kullanımlarında kararlılıklarını koruyamaması, yağlı kirlenmelere karşı hassasiyet gösterememesi ve yüzey gerilimi düşük sıvıları itmede yetersiz kalması endüstriyel uygulamalarda karşılaşılan bazı dezavantajlarıdır(Gnedenkov vd., 2016; Labonte vd., 2021). Geliştirilen kaplamaların mekanik dayanımını arttırmak amacıyla yüzeylere kimyasal bir ön işlem uygulanır ve kaplama ile yüzey arasındaki etkileşimi arttırmak için farklı bağlayıcılar kullanılır. Bir çalışmada Deng ve ark. bir cam yüzeyinde elektrostatik etkileşimlerle güçlendirilmiş mekanik dayanıma sahip süperhidrofobik kaplamalar geliştirmiştir(X. Deng vd., 2011). Li ve ark. yaptığı bir çalışmadan epoxy reçine bağlayıcı kullanılarak ZnO ve TiO₂ partikülleri ile pürüzlendirilmiş süperhidrofobik kaplamalar geliştirilmiştir(M. Li vd., 2019). Yüzeylere uygulanan kimyasal ön işlemler pahalı ve uzun prosesler olabilmekte ve hatta bazı durumlarda yüzey yapısını bozabilmektedir. Örneğin, en sık kullanılan epoksi bazlı reçineler ise uzun kürleme süresi ve yüksek maliyet gibi dezavantajlara sahiptir(Ellinas, Tserepi, & Gogolides, 2017). Wang ve ark. yaptığı bir çalışmada 164° yüksek su temas açısına ve 5°'den küçük kayma açısına sahip süperhidrofobik, politetrafloroetilen/poliviniliden florür (PTFE/PVDF) kompozit yüzeyini hazırlamışlar ve zımpara kâğıdı ile 100 aşınma döngü ile mekanik dayanım etkisini çalışmışlardır(F. J. Wang, Lei, Ou, Xue, & Li, 2013). Kaplamalarda gözlenen mekanik dayanım ve farklı yüzeylere uygulanabilme güçlüklerinin giderilerek yüksek mekanik dayanıma sahip, farklı yüzeylere uygulanabilecek kaplamalar geliştirilmesidir. Bu amaçla bu çalışma da ilk kez yüzey ve partiküller arasında etkileşimi arttıracak yapışkan özelliğe sahip Laponit nano kil yapısı kullanılmıştır.

3.2.6.1. Laponit kili

Çoğu kil minerali fillosilikatlardır, yani bileşim ve boyut bakımından farklılık gösterebilen tabaka silikat kristal yapılarından oluşurlar(Guggenheim & Martin, 1995; M. Isabel Carretero, 2002). Fillosilikat kil mineralleri uygun fizikokimyasal özelliğinin yanı sıra düşük maliyetlerinden dolayı biyomedikal uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Laponit (LAP), Lityum magnezyum sülfat olarak da bilinen sentetik bir mineral kilidir. LAP kristalleri disk şeklinde yaklaşık 25 nm çapında ve 0,92 nm yüksekliğindedir ve $\text{Na}^{+0.7}[(\text{Si}_8\text{Mg}_{5.5}\text{Li}_{0.3}) \text{O}_{20}(\text{OH})_4]^{-0.7}$ ampirik formülüne sahiptir(M. Isabel Carretero, 2002; Tomás, Alves, & Rodrigues, 2018) (Şekil 3.5). Yapısında ki magnezyumun yerini rastgele olarak değiştiren lityum katyonları alır. Bu katyon yer değiştirme işleminin bir sonucu olarak, LAP disklerinde ki kristaller arasındaki boşlukta bulunan sodyum iyonlarının ve çevredeki su moleküllerinin pozitif yüküyle dengelenen negatif yüke sahip olur. Ayrıca LAP kristallerinin kenarları ise proton alabilen ve dolayısıyla çevrede ki pH'a bağlı olarak pozitif veya daha az negatif yük gösteren açıkta kalan hidroksil gruplarına sahiptir(Tawari, Koch, & Cohen, 2001).



Şekil 3.3. Laponitin disk şekli ve kimyasal yapısının şematik gösterimi (Tomás vd., 2018)

Kristalin dairesel yüzeyleri, oktahedral katmanında Mg^{2+} ve Li^+ ile yer değiştirmesi nedeniyle negatif yüke sahiptir. Kenarlar, açığa çıkan hidroksil gruplarının proton sayısına bağlı olarak pozitif yüke sahiptir. Ayrıca LAP kili, suda kolaylıkla dağılarak düşük viskozitede çözelti oluşturur(Murugesan & Scheibel, 2020). Bu özellikleri sayesinde LAP özellikle polimerik yapılarda mekanik dayanım ve yapışkanlığı artırıcı olarak tercih edilmektedir(Sandri vd., 2016). Bu çalışmada, LAP kilin üstün

özellikleri; düşük maliyeti, uygulanabilirliği kolay, üstün yapışma ve yüksek mekanik dayanım etkisi gösterir. Bu üstün özellikleri sayesinde bu çalışmada, ilk kez yüzey ve partiküller arasında etkileşimi arttıracak yapışkan özelliğine sahip LAP kili kullanılmıştır. Ayrıntılı bir şekilde deneysel bölümde verilmiştir.

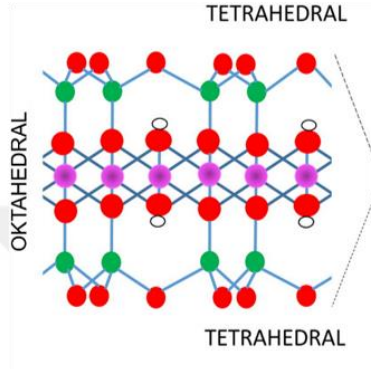




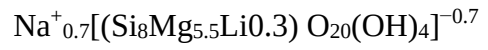
4. MATERYAL VE METOD

4.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Özellikleri

SLIPs yüzeylerde, ilk defa literatürden farklı olarak kullanılan mekanik dayanımın artırılmasını sağlayarak Laponit (LAP) kili kullanılmıştır. LAP'ın yapısı aşağıda verilmiştir.

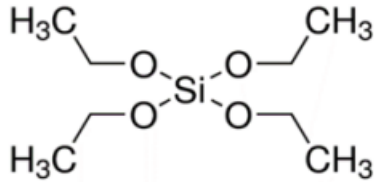


Laponite XLG



Yoğunluk: 2,53 g/cm³

SLIPs yüzeylerin fabrikasyonunda pürüzlü yapıyı hazırlamada kullanılan SiO₂ nanoparçacıkların sentezinde Sigma-Aldrich firmasından temin edilen tetraetil ortosilikat (TEOS), amonyum hidroksit ve etil alkol kullanılmıştır. Kullanılan kimyasalların formülleri aşağıda verilmiştir.



Tetraetil ortosilikat (TEOS)

Molekül kütlesi: 208,33 g/mol

Yoğunluk: 0,933 g/ml

NH₄OH (%25-28)

Amonyum hidroksit

Molekül kütlesi: 35,05 g/mol

Yoğunluk: 0,892-0,910 g/ml

C₂H₅OH

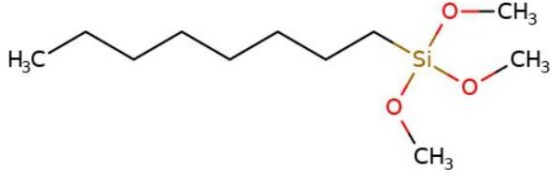
Etil Alkol

Molekül kütlesi: 46,07 g/mol

Yoğunluk: 0,789 g/ml

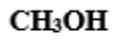
Slips yüzeylerin, yüzey enerjisini düşürüp hidrofobik hale getiren ve florsüz bir silan türevi olan ajan olarak Sigma-Aldrich firmasından temin edilen

Trimetoksi(oktadesil)silan (OTS) kullanılmıştır. Bu kimyasal malzemenin formülü aşağıda verilmiştir.



Trimetoksi(oktadesil)silan(OTS)
Molekül kütlesi: 320.84 g/mol
Yoğunluk: 25 ° C'de 0.907 g/ml

Bu çalışmada kullanılan organik solventlerin kimyasal formülleri aşağıda verilmiştir.

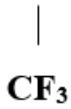
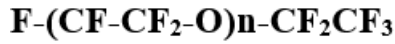


Metil Alkol (Metanol)
Molekül kütlesi: 32,04 g/mol
Yoğunluk: 0,791 g/ml



Aseton
Molekül kütlesi: 58,08 g/mol
Yoğunluk: 0,79 g/ml

SLIPs yüzeylerde, kayganlığı sağlamak için kullanılan florokarbonlardan Dupont firmasından temin edilen Krytox yağlayıcıları kullanılmıştır. Aşağıda bu yağlayıcılar verilmiştir.



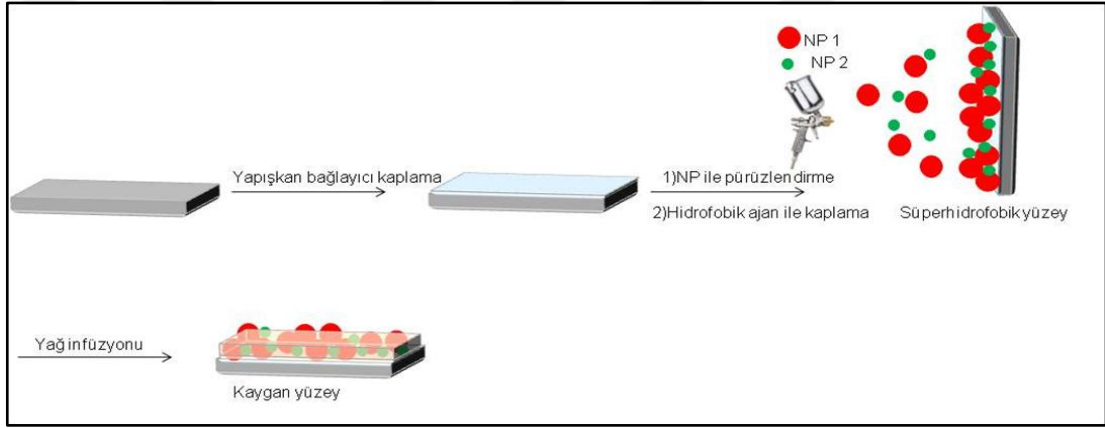
Krytox, GPL 103
Krytox, GPL 105
Krytox, GPL 107

4.2. Deneysel Yöntemler

4.2.1. SLIPs Kaplamaların Hazırlanması

Bu çalışmada, yüzeylerde herhangi bir kimyasal ön işleme gerek kalmadan, pratik bir yöntemle hazırlanabilen kaplamalar geliştirilmiştir. Yüzeydeki kaplama ile yüzey arasındaki etkileşimi arttırmak için ilk defa bağlayıcı olarak LAP kili kullanılmıştır. Sentezlenen farklı iki boyutta SiO₂ nanoparçacıklar kullanılarak sprey yöntemiyle yüzeyde biriktirilerek pürüzlendirilmiştir. Ardından pürüzlendirilmiş yüzeyler florsuz

Trimetoksi(oktadesil)silan (OTS) ajanı ile modifiye edilerek hidrofobilitesi artırılmıştır. Süperhidrofobik yüzeylerin uzun süreli kullanımında kararlılığını koruyamaması ve mekanik dayanımda yetersizlik gibi engellerin ortadan kaldırılması amacıyla gözenekli yüzeylere yağlayıcı infüz edilerek SLIPs yüzeyler üretilmiştir. Hazırlanan kaplamalarda su temas açısı ölçümleri farklı eğimlerde alınmış ve yüzeylerin morfolojisi SEM ile karakterize edilmiştir. Kaygan süperhidrofobik yüzeylerin, mekanik dayanımı, kendi kendini temizleyebilme, buz önleyici özellikleri ve farklı çevre koşullarında stabil kalma testleri yapılmıştır. En son bu kaplama cam yüzeylerle sınırlı kalmayıp, farklı yüzeylerde kaplama yapılarak endüstride ve akademik anlamda geniş bir alanda yer edinmesi hedeflenmiştir. SLIPs kaplamaların hazırlanma süreci Şekil 4.1’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.1. SLIPs kaplamaların hazırlanma sürecinin şematik gösterimi

4.2.2. Cam Yüzeylerin Temizlenmesi ve Laponit Kaplanması

4.2.2.1. Cam yüzeylerin temizlenmesi

Süperhidrofobik yüzeylerin hazırlanmasında kullanılacak lameller yaklaşık olarak 1 x 2,5 cm² boyutlarında elmas kalem ile kesilip, yüzeylerde bulunabilecek kirlilikleri uzaklaştırmak için sırasıyla aseton, saf su ve etanolde ultrasonik banyoda 15'er dakika boyunca bekletilmiştir. En son etanol ile yıkanmış yüzeyler N₂ gazı ile kurutulup ardından 70°C' de yaklaşık 3 saat etüvde kurutulmuştur. 3 saat etüvde kurutulduktan sonra temiz cam yüzeyler kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Farklı yüzeylerin temizlenmesi

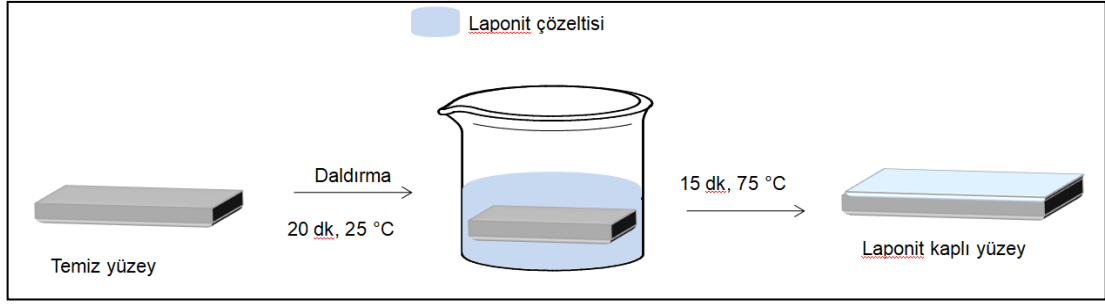
Ayrıca süperhidrofobik yüzeylerin kullanımında cam yüzeyler ile sınırlı kalmamış uygulanabilirliğini genişleterek farklı yüzeyler kullanarak süperhidrofobik kaplamaların imalatı yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan farklı yüzeyler; alüminyum, çelik, ahşap ve asetat kağıdı olmak üzere 4 farklı yüzey kullanılmıştır. Süperhidrofobik yüzeylerin hazırlanmasında kullanılacak farklı yüzeyler yaklaşık 1 x 2,5 cm² boyutlarında kesilip, yüzeylerde bulunabilecek kirlilikleri uzaklaştırmak için sırasıyla su ve etanolde ultrasonik banyoda 15'er dakika boyunca bekletilmiştir. En son etanol ile yıkanmış yüzeyler N₂ gazı ile kurutulup ardından 40°C' de yaklaşık 3 saat etüvde kurutulmuş ve yüzeyler kullanıma hazır hale getirilmiştir.

4.2.2.2. Yüzeyin laponit kaplanması

Literatürde çoğunlukla epoxy yapıştırıcılar veya polidopamin gibi bağlayıcılar ile yüzey kaplama etkileşimi artırılmış ve mekanik dayanımı güçlendirilmiş kaplamalar çalışılmıştır. Yüzeylerde belirli özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla bu çalışmada literatürden farklı olarak ilk kez yüzey ile kaplama arasında etkileşimi arttırmak üzere LAP kili kullanılmıştır. Bu çalışmada, LAP kili, yüzeylerde herhangi bir kimyasal ön işleme gerek kalmadan pratik bir yöntemle hazırlanıp uygulanabilen bir kaplama geliştirilmiştir.

Laponit kaplanması

Laponit kili saf su içerisinde (%2(a/h)) oda sıcaklığında 1 gün manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak hafif viskoz çözeltisi hazırlanmıştır. Temizlenen cam yüzeyler, hazırlanan laponit çözeltisinde 20 dk boyunca oda sıcaklığında daldırma yöntemi ile bekletilmiştir. Ardından, yaklaşık 75°C'de 15dk süre boyunca tavlansmıştır. Laponit kaplama süreci şekil 4.2' de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.2. Temiz cam yüzeylerin laponit kaplanmasının şematik gösterimi

4.2.3. Silika Nanoparçacıkların Sentezi

Bu çalışmada, süperhidrofobik cam yüzeylerin hazırlanmasında yüzey pürüzlendirilmesi amacıyla iki farklı boyutta SiO₂ nanoparçacık sentezlenmiştir.

Farklı boyutlardaki SiO₂ nanoparçacık aşağıdaki şekilde sentezlenmiştir.

- i. Silika nanoparçacık sentezi için öncelikle, 100 mL etil alkol ve 4mL %25'lik NH₄OH karıştırılmıştır. Bu karışımın üzerine 2 mL TEOS damla damla sabit bir hızla ilave edilmiştir. Çözelti oda sıcaklığında 18 saat boyunca 600 rpm'de manyetik olarak karıştırılmıştır. 18 saat sonra çözelti santrifüj edilip, 3 kez etanol-su 1:1 karışımında yıkanmıştır. Elde edilen silika nanopartiküller 40°C'de vakum altında gece boyunca kurutulmuştur. Ardından kurutulan parçacıklar 3 saat boyunca 550°C'de kalsinasyonu gerçekleştirilmiştir(Zhao vd., 2020). Bu aşamada sentezlenen silika nanoparçacıklara SiO₂-1 ile ifade edilecektir.
- ii. Silika nanoparçacık sentezi için öncelikle, 100 mL etil alkol ve 5mL %25'lik NH₄OH karıştırılmıştır. Bu karışımın üzerine 2,5 mL TEOS damla damla sabit bir hızla ilave edilmiştir. Çözelti oda sıcaklığında 18 saat boyunca 600 rpm'de manyetik olarak karıştırılmıştır. 18 saat sonra çözelti santrifüj edilip, 3 kez etanol-su 1:1 karışımında yıkanmıştır. Elde edilen silika nanopartiküller 40°C'de vakum altında gece boyunca kurutulmuştur. Ardından kurutulan parçacıklar 3 saat boyunca 550°C'de kalsinasyonu gerçekleştirilmiştir(Zhao vd., 2020). Bu aşamada sentezlenen silika nanoparçacıklara SiO₂-2 ile ifade edilecektir.

Sentezlenen farklı boyutlardaki nanoparçacıkların boyutlarının ve morfolojisinin belirlenmesi amacı ile TEM ile nanoparçacıklar karakterize edilmiştir.

4.2.3.1. SiO₂ nanoparçacıkların çözeltisinin hazırlanması

Süperhidrofobik cam yüzeylerin hazırlanmasında yüzey pürüzlendirilmesi amacıyla iki farklı boyutta sentezlenen SiO₂ nanoparçacıkların çözeltisini hazırlamak için iki farklı boyutun sırası ile %0,2 (a/h) etanol çözeltisinde 20 dakika boyunca ultrasonik banyoda dağıtılarak homojen dağılımı sağlanmıştır. SiO₂ çözeltisi cam yüzeylerin kaplamasında kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Farklı derişimlerde hazırlanan SiO₂ nanoparçacık çözeltileri önemli parametrelerden biridir. Bu bağlamda ağırlıkça %0,2 (a/h), %0,3 (a/h) ve %0,4 (a/h) derişimlerde etanol içerisinde dağıtılan nanoparçacıklar belirli tabaka sayısının da adım adım yüzeyde biriktirilmiştir. Ardından OTS ile modifiye edilerek yüzeyler hidrofobilitesi arttırılmış ve yağlayıcı infüz edilerek SLIPs yüzeyler elde edilmiştir. Hazırlanan yüzeylerin su temas açısı alınmıştır. Temas açısı sonucu en iyi derişim belirlenmiştir.

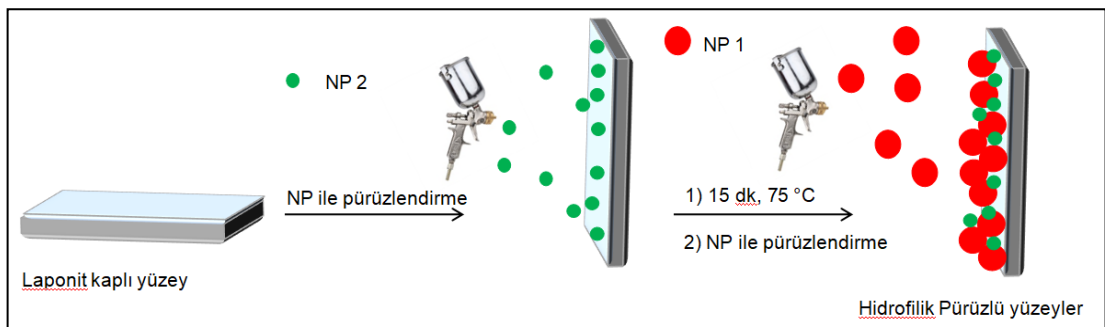
4.2.3.2. Süperhidrofobik yüzeylerin SiO₂ partiküller ile pürüzlendirilmesi

Süperhidrofobik yüzeylerin imalatında yaygın olarak iki strateji kullanılır. Bunlardan ilki yüzeyin pürüzlendirilerek su iticiliğinin sağlanması ikinci olarak, düşük enerjili bir malzeme ile kaplanarak hidrofobilitesi arttırılmasıdır (Ipekci vd., 2016). Bu yaklaşımdan yola çıkılarak süperhidrofobik yüzey kaplamalar için çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmıştır. Bu tür yöntemler arasında kimyasal buhar biriktirme, lazer/plazma aşındırma, sol-jel yöntemi, litografik desen oluşturma, elektro spinin, sprey kaplama gibi yöntemler süperhidrofobik yüzeylerin hazırlanmasında kullanılmaktadır (Jianjun Li vd., 2014; Qiu vd., 2023; Y. Wang vd., 2016; H. Yang vd., 2011; F. Zhang vd., 2017). Fakat bu yöntemlerin çoğu, endüstriyel üretime uygun olmayan ve zaman alıcı süreçlere dayanmaktadır. Bu yöntemlerden sprey kaplama süperhidrofobiklik elde etmek için kullanılabilecek en basit ve zamandan tasarruf edilen bir yöntemdir.

Bu yaklaşımdan yola çıkarak kaplanacak yüzeylerin pürüzlendirmesinde elde edilen SiO₂ nanoparçacıklar ilk adımda kullanılan temiz cam yüzey ile partiküller arasında etkileşimi arttıran yapışkan özelliğe sahip laponit kullanılmıştır. Laponit bağlayıcısının üzerine belirli bir mesafeden sprey kaplama yöntemini kullanarak parçacıklar yüzeyde biriktirilerek pürüzlendirilmiştir.

SiO₂ Partiküllerin sprej kaplama ile yüzeyin pürüzlendirilmesi

Süperhidrofobik yüzeylerin pürüzlendirme aşamasında basit ve zamandan tasarruf sağlamak için sprej kaplama yöntemi tercih edilmiştir. Sprej kaplama ile kaplanacak yüzeylerin pürüzlendirmesinde iki farklı prosedür kullanılarak SiO₂ nanoparçacıklar sentezlenmiştir. SiO₂ nanoparçacık sentezinde boyutları yaklaşık 37 nm (SiO₂-1) ve 63 nm (SiO₂-2) olmak üzere iki farklı boyutta nanoparçacık elde edilmiştir. Sentezlenen nanoparçacıklar %0,4 (a/h) optimum derişimde, SiO₂-1 ve SiO₂-2 nanoparçacıklar etanolde hazırlanmış ve partikül çözeltileri sırasıyla 3,6 ve 9 tabaka olarak yüzeye püskürtülerek kademeli bir pürüzlendirme sağlanmıştır. Her bir yüzey için sprej başlığının haznesine hacimce 250 µL silika çözeltisi, 15 cm mesafeden 1 kPa basınç ile yüzeye püskürtülmüştür. SiO₂ nanopartikülleri her spreylemeden sonra 75°C sıcaklıkta 15 dakika bekletilmiştir. Böylece yüzeydeki fazla etanolün uçurulması ve parçacıkların laponit ile yüzeydeki etkileşimi artırılmıştır. Partikül kaplaması yapılan yüzeylerin daha iyi bağlanmasını sağlamak için 1saat 550°C sıcaklıkta kalsinasyonu gerçekleştirilmiştir. Yüzeyin nanoparçacıklar ile pürüzlendirme süreci Şekil 4.3'te şematik olarak verilmiştir. Benzer pürüzlendirme işlemi farklı tabaka sayıları için tekrarlanmıştır. Farklı tabaka sayıları incelenmesi gereken bir diğer önemli parametre olarak belirlenmiştir. Bu amaçla SiO₂ nanoparçacıklar kullanılarak 3, 6 ve 9 tabaka olacak şekilde yüzeyler hazırlanmıştır.



Şekil 4.3. Laponit kaplı yüzeylere partiküllerin kademeli olarak uygulanması

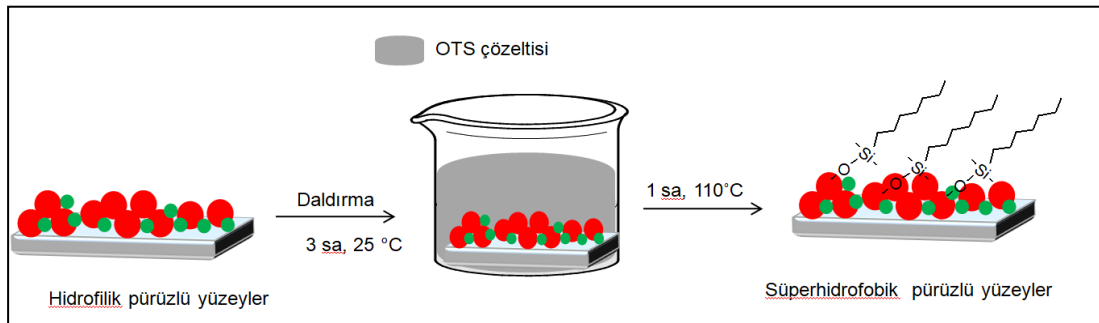
3, 6 ve 9 tabakalı kaygan süperhidrofobik cam yüzeylerin hazırlanması

Sentezlenen SiO₂-1 nanoparçacıklar, %0,4 (a/h) derişimde hazırlanan solüsyon, yüzeye 15 cm mesafeden püskürtülerek ardından 75°C sıcaklıkta 15 dakika

bekletilmiştir. Sentezlenen SiO₂-2 boyutundaki nanoparçacıklar SiO₂-1 ile aynı prosedür de hazırlanmıştır. Bu iki boyutlu SiO₂ nanoparçacıkların sırası ile yüzeyde biriktirilmesi bir tabakaya denk gelmektedir. Farklı boyutlardaki nanoparçacıkların yüzeye püskürtülmesi 3 kez tekrarlanması ile 3 tabakalı yüzeyler elde edilmiştir. Partikül kaplaması yapılan yüzeylerin daha iyi bağlanmasını sağlamak için 1saat 550°C sıcaklıkta kalsinasyonu gerçekleştirilerek pürüzlendirilmiş yüzeyler hazırlanmıştır.

4.2.4. Nanoparçacıklar ile Pürüzlendirilmiş Yüzeylerin Hidrofobik Ajan ile Kaplanması

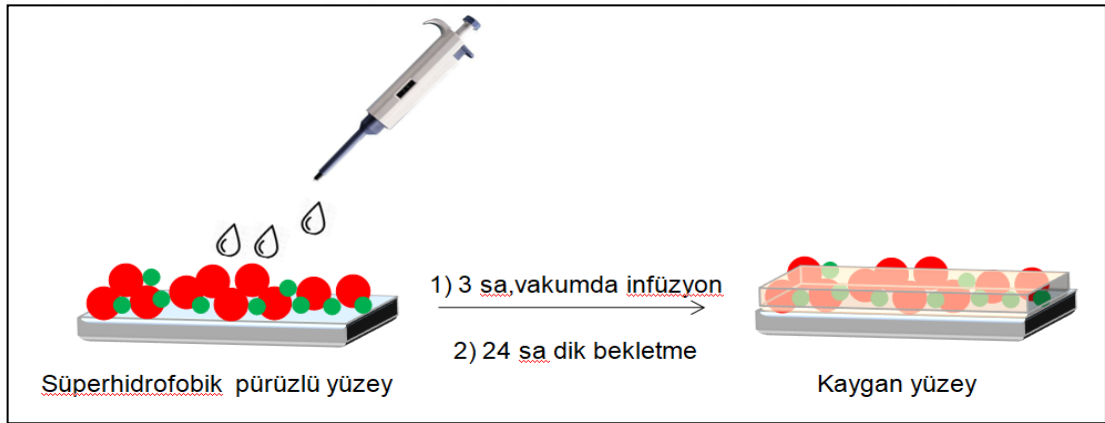
Bu çalışmada, SiO₂ ile pürüzlendirilmiş yüzeylerin su itici özellik kazandırmak amacıyla düşük yüzey enerjili, kimyasal olarak kararlı ve florsuz hidrofobik bir ajan Trimetoksi(oktadesil)silan (OTS) tercih edilmiştir. Metanol içerisinde %1 (v/v)'lik derişimde Trimetoksi(oktadesil)silan (OTS) hazırlanmıştır. Bir gece boyunca buzlukta saklanmıştır. Buzluktan alınan OTS çözeltisi, manyetik karıştırıcı ile oda sıcaklığında 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. SiO₂ nanoparçacık ile pürüzlendirilen yüzeyler, hazırlanmış OTS çözeltisine 3 saat boyunca daldırma yöntemi ile bekletilmiştir. Daldırma süresinin ardından alınan yüzeyler 1 saat 110°C etüvde kurutulmuştur. Bu sürenin sonunda etüvden alınan OTS ile modifiye edilmiş yüzeyler oda sıcaklığına geldikten sonra yüzeylerdeki hidroksil (-OH) gruplarıyla bağlanmayan yapıların giderimi için etanol ile yıkanarak azot ile kurutularak hidrofobik yüzeyler elde edilmiştir. Pürüzlü yüzeylere OTS kaplanması ile süperhidrofobik yüzeylerin hazırlanma süreci Şekil 4.4'te şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.4. Pürüzlü yüzeylere OTS kaplanması ile süperhidrofobik yüzeylerin hazırlanma süreci

4.2.5. Sıvı Emdirilmiş Kaygan Gözenekli Yüzeylerin (SLIPs) Eldesi

Bu çalışmada, süperhidrofobik pürüzlü yüzeylere KRYTOX kaygan sıvının infüzyonu sağlanmıştır. Yağ infüzyonu için yaklaşık 50 µl yağ damlatılmış yüzeyler vakumda 3 saat ve ardından bir gün boyunca dik bir şekilde bekletilerek yağın fazlalığı giderilmiştir. Süperhidrofobik yüzeylere yağ infüzyonu ile SLIPs eldesi Şekil 4.5’de şematik olarak verilmiştir. Yağ infüzyonu için önemli parametrelerden biri gözenekli yüzeyi dolduracak yağlayıcıyı seçimini iyi yapmaktır(Yao vd., 2022). Bu bağlamda, kimyasal olarak KRYTOX GPL-103, KRYTOX GPL-105 ve KRYTOX GPL-107 yağlayıcılar seçilerek kıyaslama yapılmıştır. Bu çalışmaya ek olarak esansiyel yağlar; keten tohumu yağı, karanfil yağı, hint yağı ve zeytinyağı ile süperhidrofobik yüzeylere yağ infüzyonu sağlanmıştır. SLIPs yüzeylerin farklı eğimlerde kayma açılarının video görüntüleri çekilmiş ve su temas açıları ölçülmüştür. Optimum yüzey için KRYTOX GPL-103 yağlayıcı seçilmiştir. SLIPs yüzeyin mekanik dayanımı belirlemek için zımpara kâğıdı ile farklı döngülerde sürtme testi yapılmıştır. Ayrıca kendi kendini temizleyebilme, buzlanma önleyici ve farklı çevre koşullarda stabil kalma gibi testler yapılarak SLIPs yüzeylerin tasarımı kanıtlanmıştır.



Şekil 4.5. Süperhidrofobik pürüzlü yüzeylere yağ infüzyonu ile kaygan kaplamaların hazırlanması

4.2.6. Farklı Yüzeylere Uygulama

SLIPs yüzey eldesinde ilk olarak cam yüzeyler kaplanmıştır. Cam yüzeylerde süperhidrofobik SLIPs kaplamalar başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda kaplamalarda cam yüzeyler ile sınırlı kalmayıp geniş bir uygulama alanı sağlaması için farklı yüzeylerin kaplaması gerçekleştirilmiştir. Farklı yüzeyler; ahşap,

alüminyum, çelik ve asetat kağıdı olarak belirlenmiştir. Bu farklı yüzeylerin kaplama prosedürü cam yüzey ile aynı yöntem ile uygulanmıştır. Cam yüzeyden farklı olarak özellikle ahşap ve asetat yüzeyler yüksek sıcaklığa dayanıklı olmadığı için SiO₂ nanoparçacık ile pürüzlendirme basamağından sonra 550°C sıcaklıkta kalsinasyon yerine 40 °C sıcaklıkta 1 saat bekletilmiştir. Bir sonraki basamakta ise pürüzlendirilmiş yüzeylerin hidrofobik ajan ile kaplanmasında daldırma işleminden sonra 110 °C sıcaklık yerine 40 °C sıcaklıkta 1 saat kurutmaya bırakılmıştır. En son kaygan sıvı ile yüzeye infüzyonu sağlanarak SLIPs yüzeyler elde edilmiştir. Hazırlanan yüzeylerin su temas açıları ölçülmüştür.

4.3. Yüzeylerin Kimyasal Karakterizasyonu

4.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Hazırlanan LAP kaplı SLIPs yüzeylerin, yüzey morfolojisini ve zımpara kağıdı ile farklı döngülerde sürtme testi sonrası yüzeyde oluşan hasarın etkisi görmek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (SEM QUANTA 400F) ile görüntülenmiş ve incelenmiştir.

4.3.2. Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM)

Sentezlenen silika nanopartiküllerin boyutlarına geçirmeli elektron mikroskobu (TEM), (FEI Tecnai G2 Spirit BioTwin CTEM, 120 kV) ölçümü alınmıştır.

4.3.3. UV-vis Spektrometresi

Hazırlanan SLIPs yüzeylerin, şeffaflığını belirlemek amacıyla katı numuneler UV-Vis (Shimadzu, UV-3600) ölçümleri alınmıştır.

4.3.4. Su Temas Açısı Ölçümleri

Hazırlanan SHC ve SLIPs yüzeylerin ıslanabilirliği için su değme açısı (Krüss, DSA-100) ölçümleri alınmıştır. Yüzeylere damlatılan su damlacığının hacmi 5µL'dir. Her bir yüzey için farklı noktalardan 3 ayrı damla kullanılarak ölçüm alınmıştır. Bu 3

ölçüm için standart sapması ve ortalaması alınan yüzeyin hesaplanması sonucunda su temas açısı değeri belirlenmiştir.





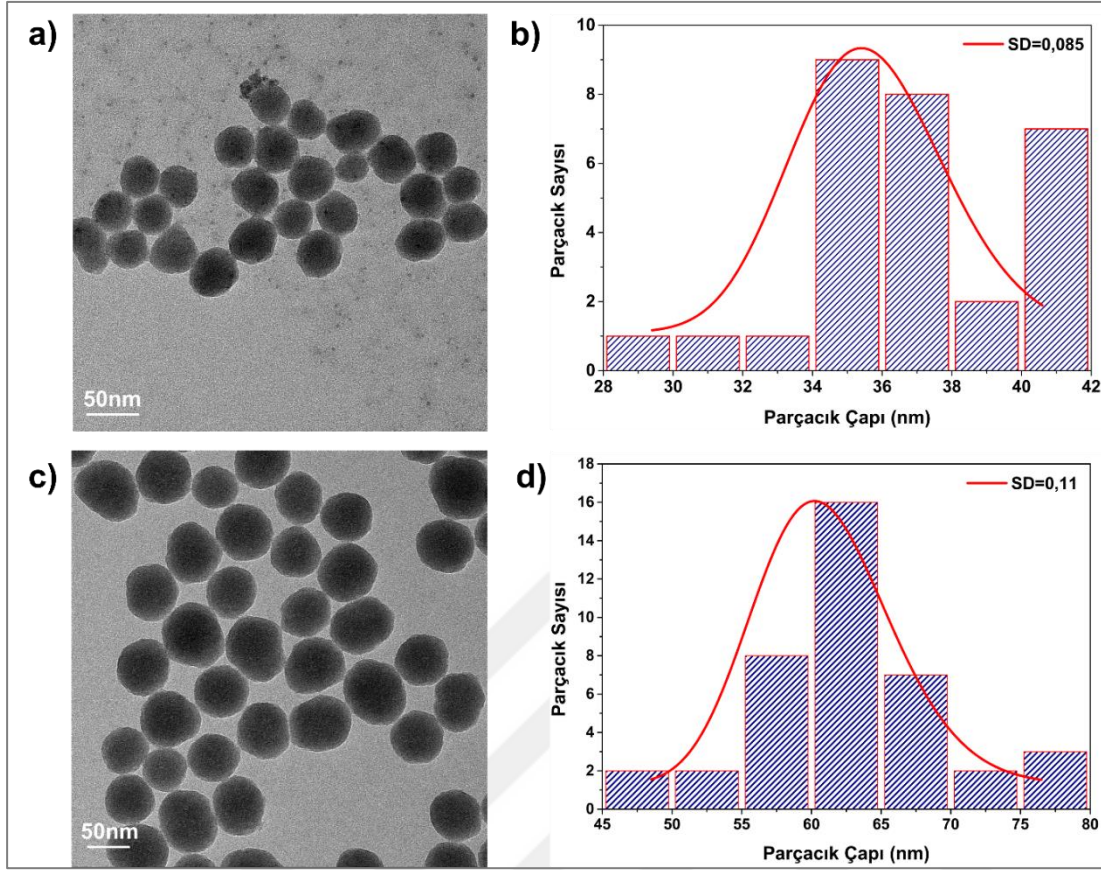
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Sıvı Emdirilmiş Kaygan Gözenekli Yüzeylerin (SLIPs) Hazırlanması

Bu tez çalışmasında, kaplama yapılan yüzeylerin şeffaf, doğaya ve insan sağlığına zararsız, düşük maliyetli, mekanik dayanımı literatürden farklı olarak LAP kili ile iyileştirilmiş ve yüzeylere kolayca uygulanabilen bir kaplama ile sıvı emdirilmiş kaygan gözenekli yüzeyler (SLIPs) elde edilmiştir. Yüzey kaplamasında optimum yüzey belirlenmiş ve optimum yüzey ile kaplamaların su temas açıları ve yüzey morfolojisi karakterize edilerek kendi kendini temizleme, buz geciktirme, anti bakteriyel, yüzey transparanlığı, kimyasal çözeltilere ve UV ışığa karşı dayanıklılık ve sürtme testi ile mekanik dayanım özellikleri incelenmiştir. SLIPs yüzeyler için kullanılacak yağlayıcının sentetik ve bitkisel yağlayıcı uygulamaları incelenmiştir. Son olarak, kaplama yapılacak yüzeylerin cam yüzey ile sınırlı kalmayıp farklı yüzeylerde; ahşap, çelik, alüminyum ve asetat kağıdı gibi kimyasal ön işleme gerek kalmadan kaplamaların imalatı yapılmıştır.

5.1.1. Sentezlenen SiO₂ Nanoparçacıkların Karakterizasyonu

Deneyisel kısımda ayrıntılı olarak açıklanan silika nanoparçacıkların sentezi iki farklı prosedür ile verilmiştir. Bu SiO₂ nanoparçacıkların morfolojisi TEM analizi ile karakterize edilmiştir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 37 nm ve 63 nm SiO₂ nanoparçacıkların TEM görüntüleri ve SiO₂ nanoparçacıkların, parçacık çapına karşılık parçacık sayısının dağılım grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.1. SiO₂ nanoparçacıkların TEM görüntüleri ve dağılım grafikleri a) 30nm SiO₂ nanoparçacık b) 37 nm SiO₂'nin parçacıkların dağılım grafiği c) 65 nm SiO₂ nanoparçacık d) 63 nm SiO₂'nin parçacıkların dağılım grafiği

Sentezlenen iki farklı boyutta SiO₂ nanoparçacıkların boyutunu karakterize etmek için TEM ile analiz edilmiştir. Nanoparçacıkların görüntüleri Şekil 5.1 a-c' de verilmiştir. Buna karşılık sentezlenen nanoparçacıkların parçacık çapına (nm) karşılık, parçacık sayılarının dağılım grafiği verilmiştir (Şekil 5.1 b-d). Şekil 5.1. b' de verilen grafik incelendiğinde, 29 nanoparçacık ölçümü için, parçacık boyutları 28-42 nm arasındadır. En yüksek dağılım ortalaması 34-37 nm 'dir. Bu değerler sonucunda nanoparçacık boyutu 37 ± 5 nm olarak belirlenir. Şekil 5.1.d'de verilen grafik incelendiğinde 40 nanoparçacık ölçümü için, parçacık boyutları 45-80 nm arasındadır. En yüksek dağılım ortalaması yaklaşık olarak 63 nm'dir. Bu değerler sonucunda nanoparçacık boyutu 63 ± 10 nm olarak belirlenmiştir.

5.1.2. Optimum SLIPs Cam Yüzeylerin Hazırlanması

Deneyisel bölümünde detaylıca açıklandığı gibi süperhidrofobik yüzeylerin imalatında yaygın olarak iki stratejiden biri olan yüzeyin pürüzlendirilerek su iticiliğinin sağlanmasıydı. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü iki farklı boylarda sentezlenen SiO₂ nanoparçacıkların kombinasyonu ile sağlanmıştır.

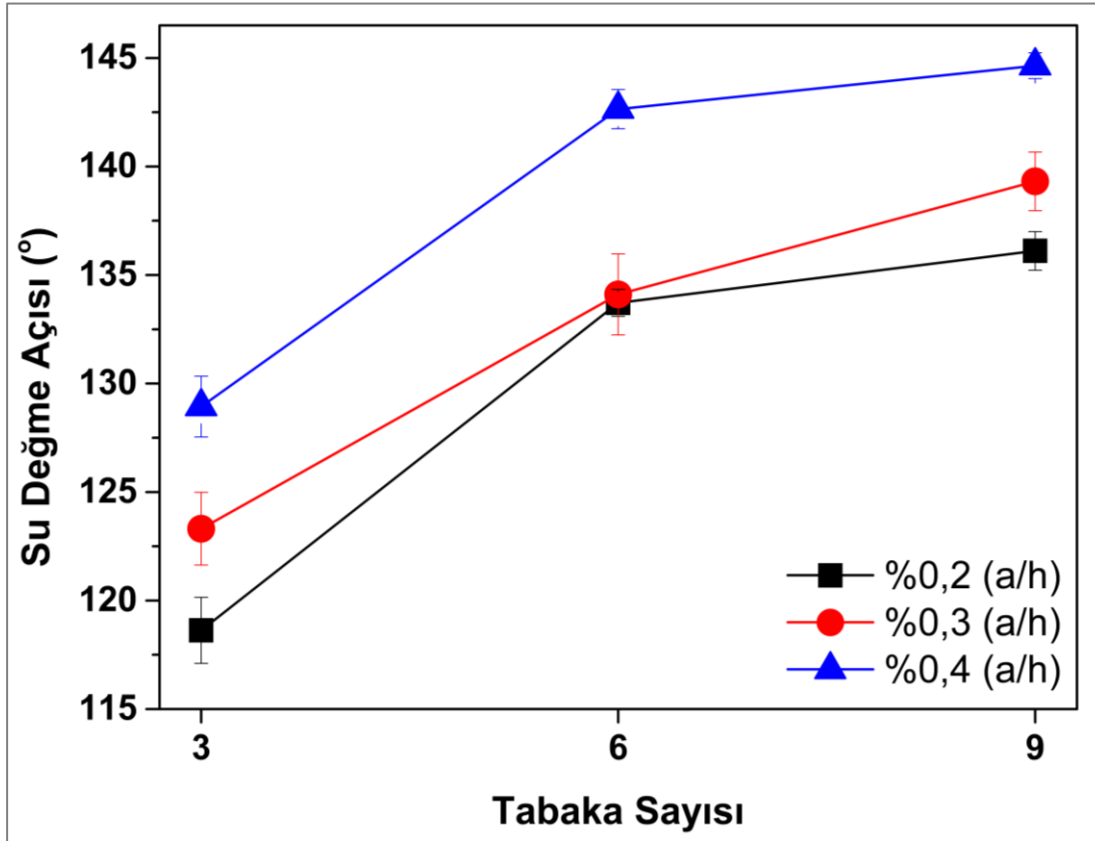
5.1.2.1. Kaplamada kullanılacak SiO₂ nanoparçacık çözeltisinin derişiminin belirlenmesi

Sentezlenen farklı iki boyutta SiO₂ nanoparçacıklar etanol içerisinde dağıtılarak hazırlanan çözelti sprey kaplama ile püskürtme yöntemiyle pratik bir şekilde kaplanmıştır. Hazırlanan çözeltiler de optimum derişimi belirlemek için üç farklı derişim kullanılmıştır. Bu derişimlerden birincisi %0,2 (a/h) etanolde dağıtılmış SiO₂ nanoparçacıklar, ikincisi %0,3 (a/h) etanolde dağıtılmış SiO₂ nanoparçacıklar son olarak da %0,4 (a/h) etanolde dağıtılmış SiO₂ nanoparçacıklar hazırlanmıştır. Püskürtme yöntemiyle yüzeylere kaplanarak pürüzlendirme yapılmıştır. SiO₂ nanopartikülleri her spreylemeden sonra 75°C sıcaklıkta 15 dakika ısıtılmıştır. Nanoparçacıklar yüzeye daha iyi tutunması için spreyleme adımı bittikten sonra 550°C sıcaklıkta kalsinasyonu gerçekleştirilmiştir. Ardından OTS ile modifiye edilmiştir. Farklı derişimlerde hazırlanan SiO₂ nanoparçacık çözeltilerinin hidrofobik etkisine bakmak için yüzeylerin su temas açıları ölçülmüştür (Şekil 5.2.). Aynı işlemler SLIPs yüzeyler içinde tekrarlanmış ve su temas açıları ölçülmüştür (Şekil 5.3.).

5.1.2.2. Kaplama yapılacak yüzeylerin tabaka sayısının belirlenmesi

Pürüzlendirme işleminde kullanılan farklı iki boylardaki SiO₂ nanoparçacıkların çözeltileri sprey yöntemi ile farklı derişimlerde uygulanırken yüzeylerin hidrofobilitelerini, stabilitesini ve yüzeyin şeffaflığını etkileyecek bir diğer parametre olan püskürtme yöntemiyle kaplanacak yüzeylerin tabaka sayısıdır. Tabaka sayısı belirlenirken sentezlenen iki farklı boylardaki parçacıklar sırası ile SiO₂-1 ve SiO₂-2 nanoparçacık yüzeyde spreyleme yöntemiyle biriktirilmesi sonucun da 1 tabakalı yüzey elde edilir. Buna bağlı olarak kaplamanın optimum tabaka sayısını belirlemek için deneyisel bölümünde detaylıca anlatıldığı gibi 3, 6 ve 9 tabakalı olacak şekilde yüzeyler hazırlanmış ve OTS ile modifiye edilmiştir. Kaplama sayısının hidrofobik

etkisine bakmak için yüzeylerin su temas açıları ölçülmüştür (Şekil 5.2.). Aynı işlemler Slips yüzeyler içinde tekrarlanmış ve su temas açıları ölçülmüştür (Şekil 5.3.).

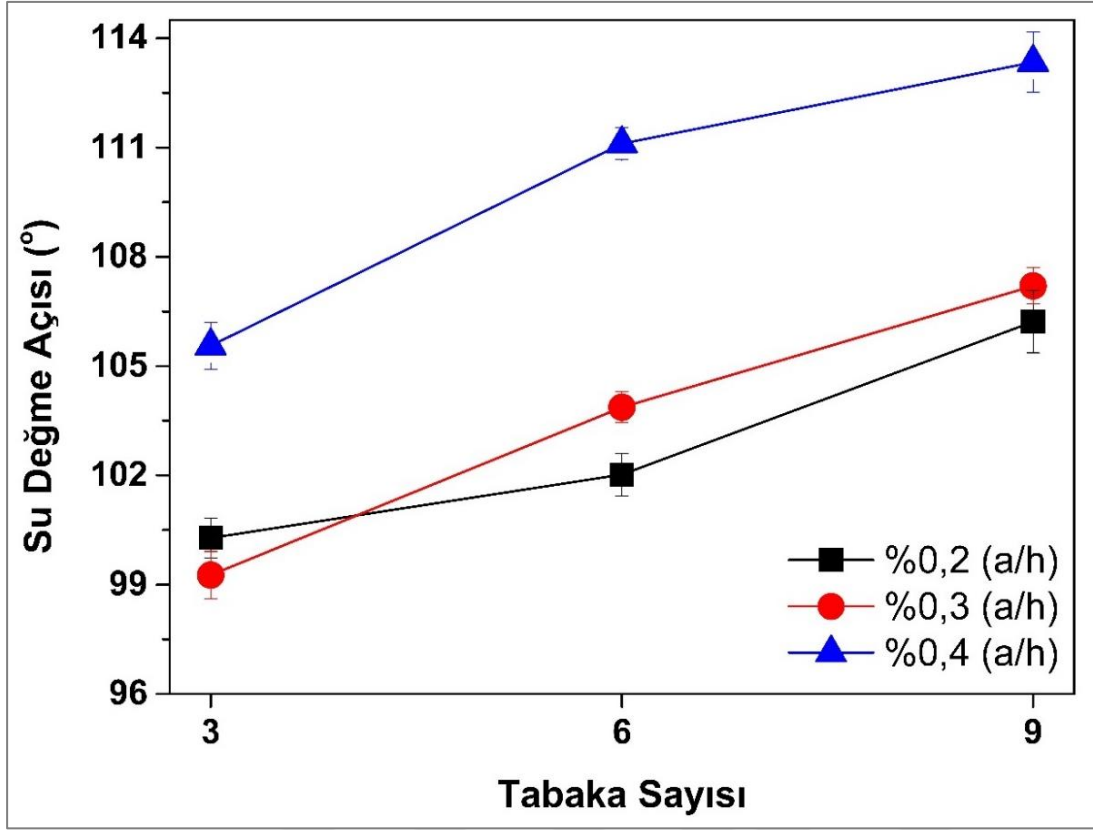


Şekil 5.2. Farklı derişimlerde hazırlanan SiO₂ nanoparçacık çözeltilerin, farklı tabaka sayılarındaki su değme açı değerleri (her ölçüm n=3 kez tekrar edilmiştir)

Optimum yüzeyi belirlenirken, iki farklı boylardaki SiO₂ nanoparçacıklarının farklı derişimlerdeki çözeltilerine karşılık kaplama tabaka sayısına bağlı olarak su temas açıları alınmıştır. Şekil 5.2’de verilen ilgili grafik incelendiğinde, ilk önce 3 tabakalı yüzey kaplaması için 3 farklı derişim için sırası ile %0,2 a/h ‘de su temas açısı $118,62 \pm 1,52^\circ$, %0,3 a/h ve %0,4 a/h ‘de ise $123,31 \pm 1,68^\circ$ ve $128,94 \pm 1,40^\circ$ olarak ölçülmüştür. 6 tabakalı yüzey kaplaması için 3 farklı derişim için sırası ile %0,2 a/h’ de su temas açısı $133,72 \pm 0,62^\circ$, %0,3 a/h ve %0,4 a/h ‘de ise $134,11 \pm 1,87^\circ$ ve $142,64 \pm 0,91^\circ$ olarak ölçülmüştür. Son olarak 9 tabakalı yüzey kaplaması için 3 farklı derişim için sırası ile %0,2 a/h’ de su temas açısı $136,11 \pm 0,89^\circ$, %0,3 a/h ve %0,4 a/h’ de ise $139,31 \pm 1,35^\circ$ ve $144,84 \pm 0,59^\circ$ olarak ölçülmüştür. Çözeltilerinin artan derişimlere göre doğru bir orantı ile su temas açı değerleri artmıştır. Optimum derişim için %0,4

a/h SiO₂ solüsyonu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak kaplama sayıları incelendiğinde artan tabaka sayısına göre su temas açısı değerinde artış olmuş fakat 6 tabakalı yüzey ile 9 tabakalı yüzey arasında net bir fark olmadığı görülmüştür. Böylece zamandan ve malzemeden tasarruf etmek için 9 tabakaya kıyasla daha transparan bir yüzey elde etmek amacıyla optimum yüzey 6 Tabakalı olarak kabul edilmiştir.

Literatür incelendiğinde, Wang ve arkadaşları, metal yüzeylerde kullanılabilecek dört tip hidrofobik organik kaplama yapmışlardır. Elde ettikleri pürüzlü yüzeylerin su temas açısı ölçümleri dört farklı kompozisyona göre 101,6°, 100,0°, 103,1° ve 108,5° değişiklik göstermiştir(H. Wang vd., 2024). Başka bir çalışmada, 2013 yılında Hwa-Min Kim ve arkadaşları PTFE ince filmin geliştirilmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Film, iyi bir şeffaflığa sahip süperhidrofobik yüzey geliştirmek amacıyla cam altlık üzerine yapılmıştır. Filmler, püskürtme yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Bir cam altlık üzerine biriktirilen 450 nm kalınlığındaki PTFE ince filmin 122,3° temas açısına sahip hidrofobik bir yüzey sağlamış ve magnetron püskürtme kullanılarak tampon katman olarak PTFE filmi, 150°nin üzerinde süperhidrofobik bir yüzey göstermiştir(Kim, Sohn, & Sun, 2013). Genel olarak literatürü incelediğimizde, birçok çalışmada, yüzeye uygun bir pürüzlülük kazandırılarak hidrofobisitede artış gözlemlenmektedir. Bu tez çalışmasında, püskürtme ile kaplanan farklı tabaka sayıları ve çözelti derişimi ile yüzey pürüzlülüğünün etkisi optimize edilerek %0,4 (a/h) ve 6 Tabaka belirlenmiş ve yüzeyin su temas açısı $144,84 \pm 0,59^\circ$ olarak ölçülmüştür.

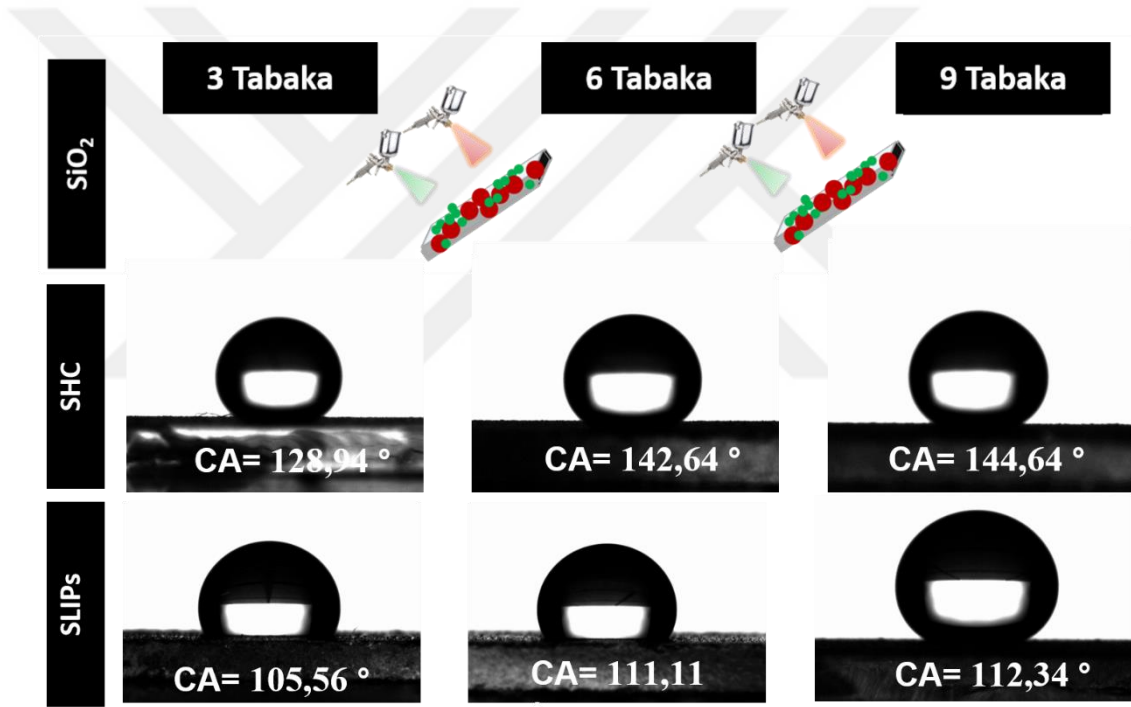


Şekil 5.3. Slips yüzeylerde farklı derişimlerde hazırlanan SiO₂ nanoparçacık çözeltilerin, farklı tabaka sayılarındaki su değme aç değeri (her ölçüm n=3 kez tekrar edilmiştir)

Optimum slips yüzeyi belirlenirken iki farklı boylardaki SiO₂ nanoparçacıkları kullanarak farklı derişimlerdeki çözeltilerine karşılık yüzey kaplamasının yapılacağı tabaka sayısına bağlı olarak su temas açıları alınmıştır. Temas açıları ilk önce 3 tabakalı yüzey kaplaması için 3 farklı derişim için sırası ile %0,2 a/h ‘de su temas açısı 100,28 ± 1,52°, %0,3 a/h ve %0,4 a/h ‘de ise 99,26 ± 0,65° ve 105,56 ± 0,60° olarak ölçülmüştür. 6 tabakalı yüzey kaplaması için 3 farklı derişim için sırası ile %0,2 a/h ‘de su temas açısı 102,02 ± 0,58°, %0,3 a/h ve %0,4 a/h ‘de ise 103,87 ± 0,43° ve 111,11 ± 0,43° olarak ölçülmüştür. Son olarak 9 tabakalı yüzey kaplaması için 3 farklı derişim için sırası ile %0,2 a/h ‘de su temas açısı 106,2 ± 0,86°, %0,3 a/h ve %0,4 a/h ‘de ise 107,20 ± 0,50° ve 113,34 ± 0,83° olarak ölçülmüştür. Su temas aç değeri incelendiğinde süperhidrofobik yüzeylerde artan derişime göre su temas açısı artarken SLIPs yüzeylerde %0,2 a/h ve %0,3 a/h derişimler de su temas aç değeri net bir fark olmamıştır. En yüksek değeri %0,4 a/h ‘de sonuç alınmış ve optimum derişim olarak kabul edilmiştir. Kaplama sayıları incelendiğinde tabaka sayılarının artması ile

su temas açısı değerinde artma olmuştur. Süperhidrofobik yüzeylerdeki gibi 6 tabakalı yüzey ile 9 tabakalı yüzey arasında net bir fark olmadığı görülmüştür. Böylece zamandan, malzemedan tasarruf etmek ve 9 tabakaya kıyasla daha transparan bir yüzey elde etmek amacıyla optimum yüzey 6 Tabakalı olarak kabul edilmiştir. Bundan sonraki testler için optimum yüzey, %0,4 a/h etanolde dağıtılmış SiO_2 çözeltisi ve kaplama yapılacak tabaka sayısının 6 olarak belirlenen yüzeyler ile devam edilmiştir.

Derişimi belirlenmiş optimum yüzeyler için süperhidrofobik yüzeyler (SHC) ve sıvı emdirilmiş kaygan gözenekli yüzeylerin (SLIPs) farklı tabaka sayılarının su değme açısı görüntüleri Şekil 5.4’ te verilmiştir.

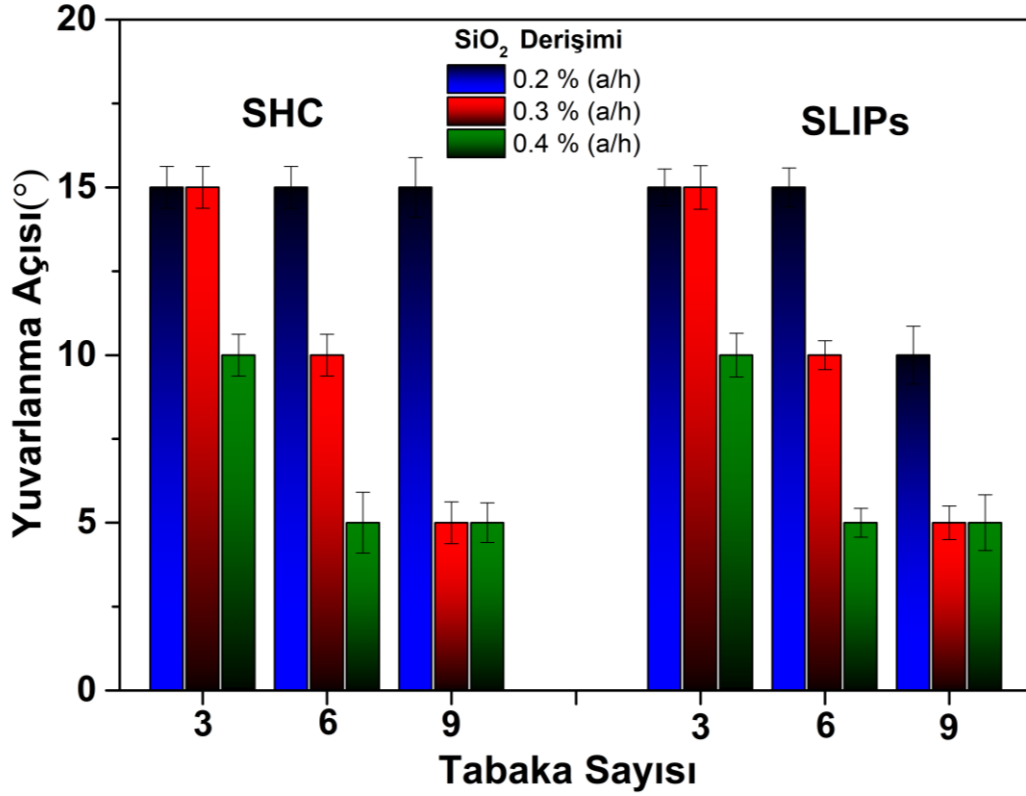


Şekil 5.4. Optimum yüzeyler için su değme açısı görüntüleri

5.1.3. Yüzeylerin Kayma Açısının (SA) Belirlenmesi

Kayma açısı (SA), katı bir yüzeyden sıvı damlacığının eğimli bir yüzeyden aşağı kaymaya başlayacağı minimum açısıdır. Katı yüzey üzerindeki bir sıvı damlacığının yüzeyden ayrılma kabiliyetinin yüksek olması için yüzeyin kayma açısı değerinin küçük olması beklenir. Bu değer, $\text{SA} < 10^\circ$ ‘den küçük bir açı değerindeyse damlacık yüzeyden kolayca ayrılır. $\text{SA} > 10^\circ$ ise damlacık yüzeyden zor ayrılır ve yüzeyden yuvarlanması zordur (Zaera, 2011). Böylece SHC ve SLIPs yüzeyler için

farklı SiO₂ derişimlerde ve farklı kaplama sayılarında hazırlanan katı yüzeylere 10µL su damlacığı damlatılarak 5°, 10° ve 15° kayma açılarındaki analiz edilip SA değerleri belirlenir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. SHC ve SLIPs yüzeylerin farklı SiO₂ derişimlerde ve farklı kaplama sayılarında kayma açı değerleri

Farklı SiO₂ derişimlerde %0,2 (a/h), %0,3 (a/h) ve %0,4 (a/h) farklı kaplama tabakalarını her bir yüzey için kayma açıları incelediğimizde, %0,2 (a/h) derişimde her tabaka sayısı için SA=15° ölçülmüştür. Bu durum yüzeydeki pürüzlülüğün daha az ve yüzeydeki ıslanabilirliği fazla olduğunun göstergesidir. Katı bir yüzeyin su damlacığı ile teması yani ıslanabilirliği ne kadar az olursa yüzeyden ayrılması kolay ve kayma açısı da düşük olur. %0,3 (a/h) ve %0,4 (a/h) derişimlerinde her tabaka sayısı için SHC ve SLIPs yüzeylerinde SA değeri, ≤10° olacak şekilde ölçüldü. Optimum yüzey için incelediğimizde %0,4 (a/h) SiO₂ derişimde 6 Tabaka değerler için SHC ve SLIPs yüzeylerin kayma açı değerleri SA=5° olacak şekilde ölçüldü. SHC katı yüzeye su damlacığı damlatıldığında yüzeyden sıçrayarak hızla ayrılmaktadır. SLIPs yüzeyde ise daha yavaş bir kayma ile akmaktadır. Bu etki katı-sıvı temas alanının artmasıyla

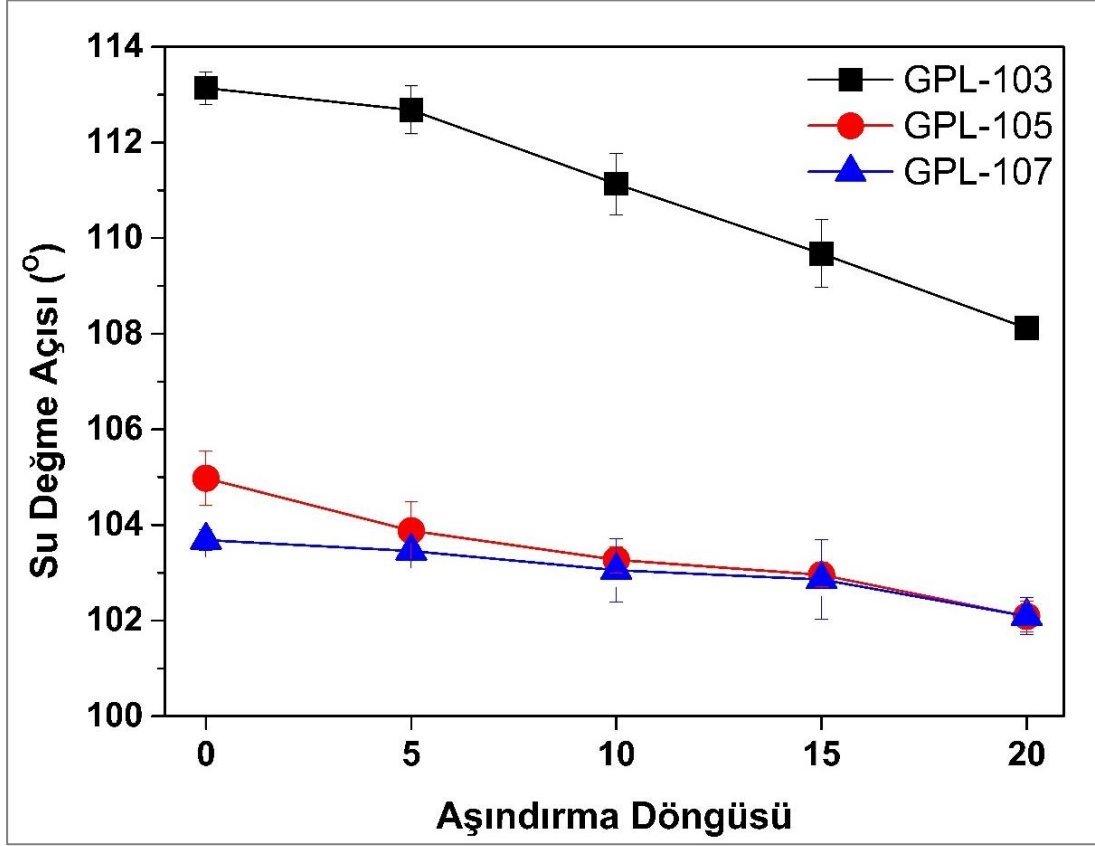
açıklanabilir. SLIPs'te yağlayıcının, nanoyapılar arasına nüfuz etmesinden dolayı çöküntülerin yumuşatılmasına bu da kaplamanın ıslanabilirliğinde hafif bir azalmaya ve SA'da bir artışa neden olur.

5.1.4. Slips Yüzeylerde Farklı Yağlayıcıların Mekanik Dayanıma Etkisi

Süperhidrofobik yüzeylerde, özellikle pürüzlü yapılarında var olan hava paketlerini uzun süreli kullanımlarda kararlılığı koruyamaması, yağlı kirlenmelere karşı hassasiyet gösterememesi ve yüzey gerilimi düşük sıvıları itmede yetersiz kalması ve endüstriyel uygulamalarda tipik ortamlarını sürdürememesi gibi bazı dezavantajlar süperhidrofobik yüzeylerin kullanımını azaltmakta ve büyük engel teşkil etmektedir(Xiaoyu Gao & Guo, 2018; Gnedenkov vd., 2016; He vd., 2009; C. Liu vd., 2014). Bu yüzeylerde gözeneklerinde bulunan hava boşlukları çeşitli yağlayıcılarla doldurularak problem giderilmeye çalışılmıştır (Labonte vd., 2021). Ayrıca seçilen yağlayıcının mekanik dayanıma etkisi de söz konusudur. Literatür incelendiğinde, yağlayıcı seçiminde yaygın olarak; silikon yağı, florokarbon bileşikler, bitkisel yağlar, mineral yağlar ve iyonik sıvılar kullanılmaktadır. Örneğin, Zhang ve arkadaşları 2017 yılında, manyetik nanopartiküllere dayalı silikon yağı kullanarak SLIPs yüzeyler elde etmişlerdir(Jin, Liu, Zhang, Zhan, & Chen, 2017). Başka bir çalışmada, Teisala ve arkadaşları, cam gibi silikon oksit yüzey kimyasına sahip herhangi bir malzemenin yüzeyine oda sıcaklığında bile kendiliğinden ve stabil bir şekilde bağlanarak, şeffaf bir kaplama oluşturabilen metil sonlu polidimetilsiloksan kullanmışlardır. Kaplama, yapıştırıcıya karşı mükemmel yapışma önleme performansı sergilemesine rağmen uygulamada kaçınılmaz sorunlara sebep olmaktadır(Teisala, Baumli, Weber, Vollmer, & Butt, 2020). Ek olarak, yağlama sıvısının kaybolmasına yol açan silikon yağı kullanımı fonksiyonel malzemelerde dayanıklılığının azalmasına neden olur. Bu sorunu gidermek için araştırmacıların da sıklıkla kullandığı farklı bir yağlayıcı olan Perfloropolieter (PFPE), olağanüstü ısı direnci, yağlama performansı, yüksek dielektrik dayanımı ve düşük dielektrik kaybı sergileyen, uçucu olmayan bir yağlayıcıdır. Bu eşsiz özellikleri, SLIPs imalatında tercih edilmektedir(Roach vd., 2008).

Bu çalışmada, SLIPs yüzeyler için farklı Perfloropolieter (PFPE) yağlayıcılar (Krytox GPL 103, Krytox GPL 105, Krytox GPL 107) ile yüzeye infüz edilmiştir. Bu yüzeyler,

zımpara kâğıdı ile 5,10,15 ve 20 döngü boyunca sürtme yapılmıştır. Her 5 döngü sonrasında yüzeylerin, su değme açı değerleri ölçülmüştür.



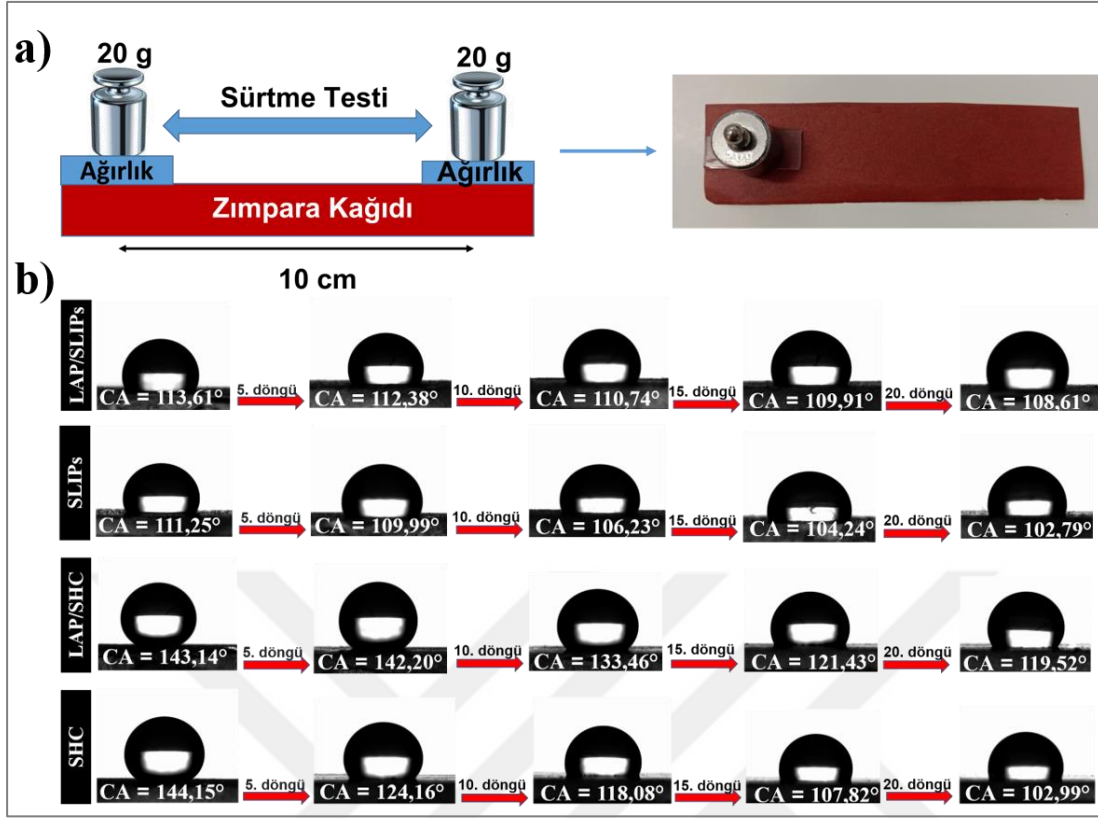
Şekil 5.6. Farklı yağlayıcılar kullanılarak 20 döngü boyunca sürtme testinin su değme açı değerleri (her ölçüm n=3 kez tekrar edilmiştir)

Hazırlanan SLIPs yüzeylerde, farklı sentetik yağlayıcıların mekanik dayanımı incelendiğinde Krytox GPL-103 yağlayıcı ile sürtme testi öncesi temas açı değeri $113,14 \pm 0,34^\circ$ 'dir. 20'inci döngü sonunda temas açı değeri $108,12 \pm 0,14^\circ$ ölçülmüştür. Diğer bir SLIPs yüzey için Krytox GPL-105 yağlayıcı ile sürtme testi öncesi temas açı değeri, $104,98 \pm 0,57^\circ$ 'dir. 20'inci döngü sonunda temas açı değeri, $102,09 \pm 0,33^\circ$ ölçülmüştür. Son olarak bir başka SLIPs yüzey için Krytox GPL-107 yağlayıcı ile sürtme testi öncesi temas açı değeri, $103,68 \pm 0,22^\circ$ 'dir. 20'inci döngü sonunda temas açı değeri, $102,09 \pm 0,39^\circ$ ölçülmüştür. Bu değerler sonucunda başlangıç temas açı değeri en yüksek Krytox GPL-103 yağlayıcıya aittir. Sürtme sonrası temas açısında yaklaşık 3° 'lik bir düşme olmuştur. Diğer iki yağlayıcı için temas açılarında yaklaşık 2° 'lik bir düşme olmuştur. Düşük değerdeki düşüşler yüzeylerin sürtme testi sonrası mekanik dayanımını gösterir. Kullanım kolaylığı olarak

ve başlangıç temas açısı değeri en yüksek olan Krytox GPL-103 yağlayıcısı optimum yağlayıcı olarak kabul edilmiştir. Bundan sonraki ve tüm SLIPs yüzeyler için yağlayıcı olarak Krytox GPL-103 kullanılmıştır.

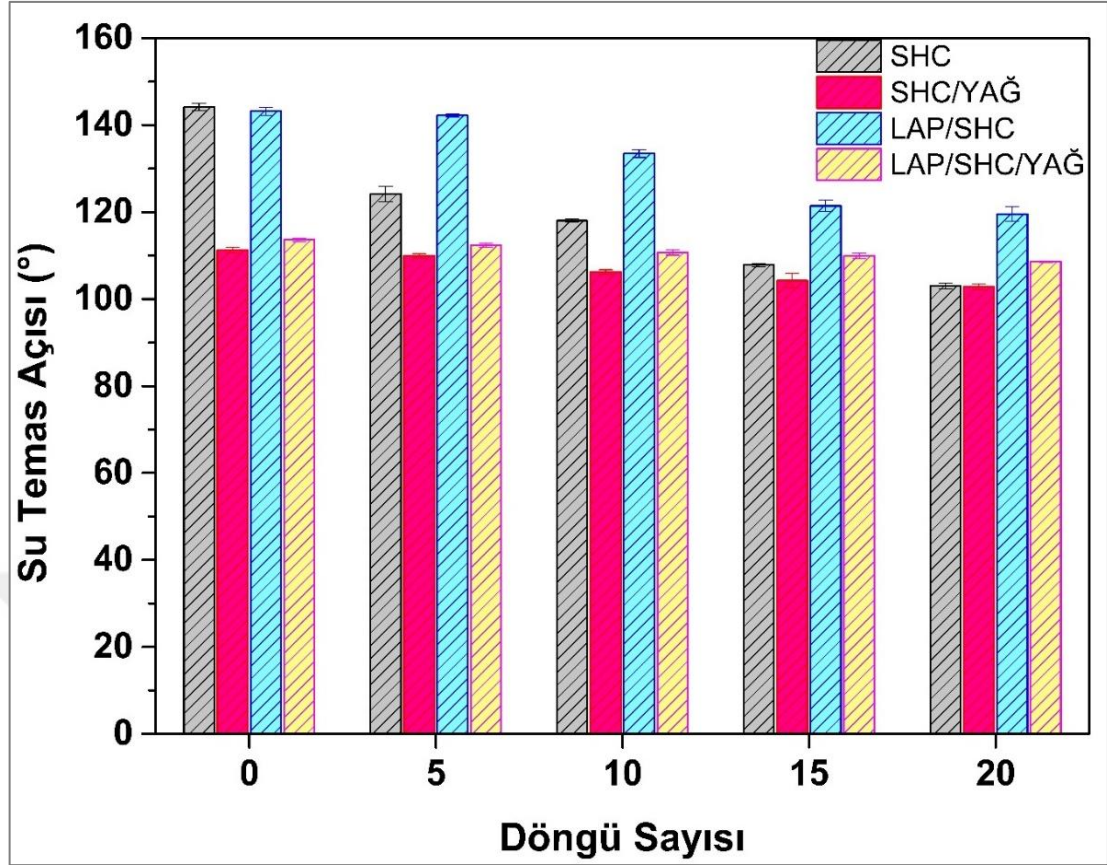
5.1.5. Süperhidrofobik/ SLIPs Yüzeylerin Laponit Kilinin Mekanik Dayanıma Etkisi

Bilindiği gibi kaplamaların yapışkan tabakası yeterince stabil değilse, yüzey ile kaplama malzemesi arasında yapışkan bağın bulunmaması nedeniyle aşınma testi sırasında kaplama kolaylıkla zarar görebilir. Bu nedenle yüzey ile kaplama malzemesi arasındaki bağlanmadan sorumlu olan yapışkan tabaka önemli bir parametredir. Bu tabaka zayıfsa, mekanik sürtünme yüzeyin mikro/nano yapısının hasar görmesine ve bunun sonucunda süperhidrofobikliğin kaybolmasına neden olur. Bu sorunu gidermek için deneysel bölümde detaylı bir şekilde açıklandığı gibi literatürden farklı ilk defa mekanik dayanım etkisini ve yüzeyler ile partiküller arasında etkiyi arttırmak için kuvvetli bir bağlayıcı olarak LAP kili kullanılmıştır. Mekanik aşındırma ile yüzeyin mikro/nano yapısının hasarı incelenmiştir. Sürtme testinde mekanik dayanımını belirlemek için dört farklı kompozisyonda yüzeyler hazırlanmıştır. Bu kompozisyonlardan birincisi LAP kullanılmadan hazırlanan SLIPs yüzeyler (SLIPs), ikinci LAP kullanılmadan hazırlanan süperhidrofobik yüzeyler (SHC), üçüncüsü LAP ile hazırlanan süperhidrofobik yüzeyler (LAP/SHC) ve son olarak da dördüncü kompozisyonda optimum olarak kullanılan LAP ile hazırlanan SLIPs yüzeyler (LAP/SLIPs) 'dir. Bu yüzeyler (800 mesh) zımpara kâğıdı ile 10 cm yol mesafesinde 20 gram ağırlık ile 5,10,15 ve 20 döngü boyunca sürtme testine tabi bırakılmıştır. Sürtme testinin şematik olarak gösterimi Şekil 5.7a' da verilmiştir. Şekil 5.7 b' de ise LAP/SLIPs, SLIPs, LAP/SHC ve SHC yüzeylere ait sürtme testinin her 5,10,15 ve 20 döngü boyunca su temas açısı değerlerinin (her ölçüm n=3 kez tekrar edilmiştir) görüntüleri verilmiştir. Dört farklı kompozisyonda yüzeyler mekanik dayanımın sürtme testinde etkisini görebilmek için her döngü sonunda su temas açısı değerleri ölçülmüştür (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Sürtme testi a) Zımpara kâğıdı ile sürtme testinin şematik gösterimi, b) 20 döngü boyunca sürtme testinin LAP/SLIPs, SLIPs, LAP/SHC ve SHC yüzeylerin su temas açısı görüntüleri

Birinci kompozisyon olan LAP bağlayıcı ve yağlayıcı olmayan yüzey (SHC), sürtme testi öncesi ilk su temas açısı değeri $144,15 \pm 0,82^\circ$ ölçülmüştür. Bu yüzeyin 20 döngü boyunca sürtme testi sonrası su temas açısı değeri $102,99 \pm 0,66^\circ$ 'ye düşmüştür. İkinci kompozisyon olan laponit bağlayıcı olmadan slips yüzey (SHC/YAĞ), sürtme testi öncesi ilk su temas açısı değeri $111,25 \pm 0,63^\circ$ iken 20 döngü boyunca sürtme testi sonrası su temas açısı değeri $102,79 \pm 0,69^\circ$ ölçülmüştür. Birinci kompozisyona kıyasla SLIP'ler, yüzeylerin nano/mikroyapılarına yağ infüzyonu sayesinde daha dayanıklı ve aşınmaya karşı daha dirençli olduğu görülmektedir. SHC' nin 20 döngü sonucunda CA değerleri büyük ölçüde azalarak 144° 'den 103° 'ye değişti. Bunun nedeni ise sprej kaplamadan önce yapışkan bir kaplamanın bulunmamasıdır. Üçüncü kompozisyon olan laponit bağlayıcı ile kaplanmış yağlayıcı olmayan yüzey (LAP/SHC), sürtme testi öncesi ilk su temas açısı değeri $143,14 \pm 0,91^\circ$ ölçülmüştür. Bu yüzeyin 20 döngü boyunca sürtme testi sonrası su temas açısı değeri $119,52 \pm 1,69^\circ$ ölçülmüştür.

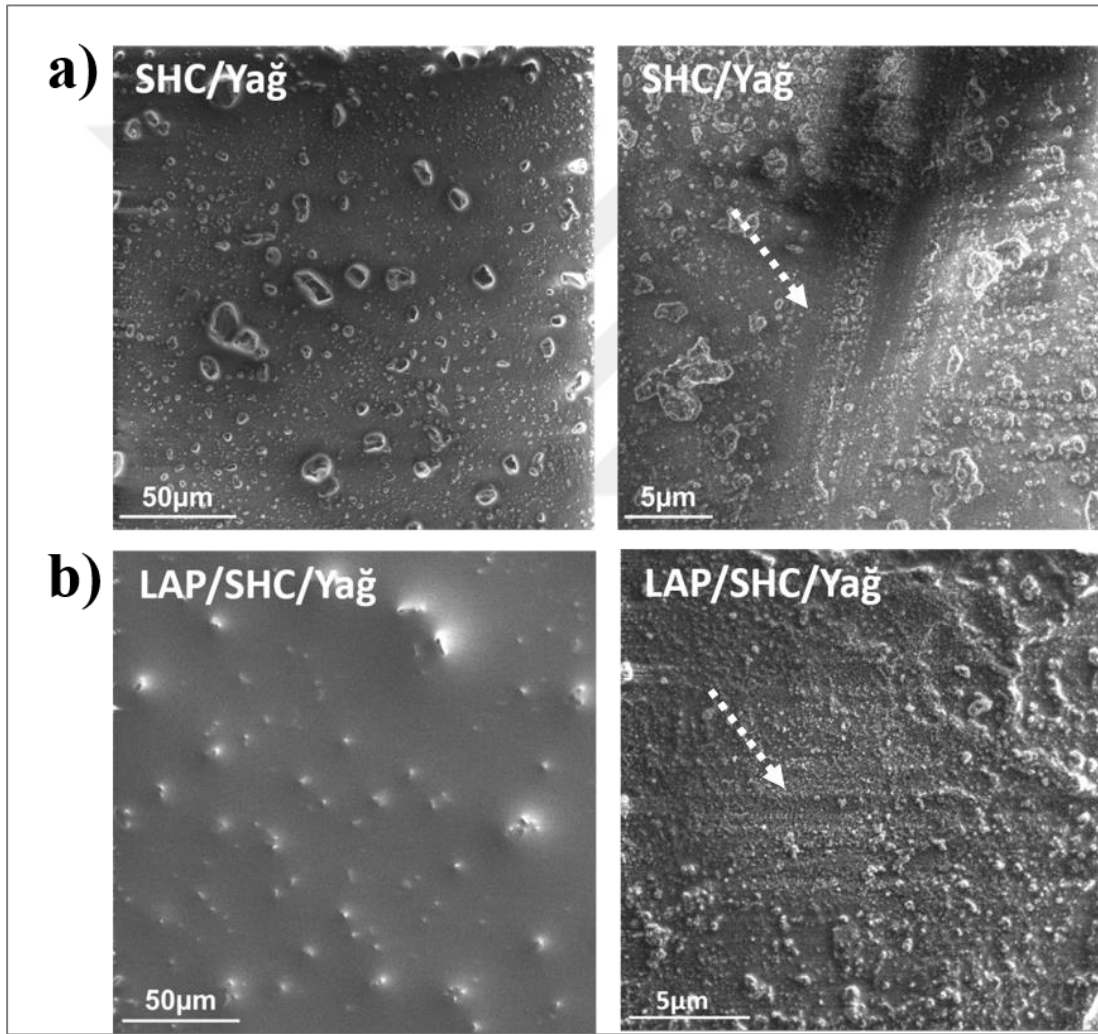


Şekil 5.8. Sürtme testi yapılan yüzeylerin döngü sayısına karşılık su temas açısı değerleri (her ölçüm n=3 kez tekrar edilmiştir)

Birinci kompozisyonla kıyasladığımızda boş cam önce LAP ile kaplanıp daha sonra SHC hazırlandığında, aşınma testi sırasında CA değerleri 5 döngü aşınmada önemli ölçüde değişmemiştir. 20 döngü aşınma testi sonrasında LAP/SHC yüzeyinin CA değerleri 143°'den 119°'ye değişmiş olup yüzeylerin SHC yüzeylerine göre daha dayanıklı olduğu görülmüştür. Son olarak da dördüncü kompozisyonda optimum olarak kullanılan laponit ile hazırlanan slips yüzey (LAP/SHC/YAĞ), sürtme testi öncesi ilk su temas açısı değeri $113,61 \pm 0,34^\circ$ ölçülürken 20 döngü boyunca sürtme testi sonrası su temas açısı değeri $108,61 \pm 0,14^\circ$ ölçülmüştür. Bu değerler sonucunda görüldüğü gibi LAP/SHC/Yağ daha dayanıklı olduğunu ve 20 döngü aşınma testi sonrasında yüzeylerin CA değerlerini neredeyse değişmediği gözlenmiştir.

5.1.5.1. Süperhidrofobik / SLIPs yüzeylerin yüzey morfolojisi

Laponit bağlayıcının mekanik dayanımı incelemek için 20 döngü boyunca zımpara kâğıdı ile sürtme yapılmıştır. Laponit ile kaplanan (LAP/SHC/Yağ) yani optimum yüzey ve Laponit ile kaplanmayan (SHC/Yağ) yüzeylerin aşınma testi öncesi ve 20 döngü boyunca aşınma testi sonrası yüzeylerin morfolojisi SEM ile karakterize edilmiştir (Şekil 5.9).



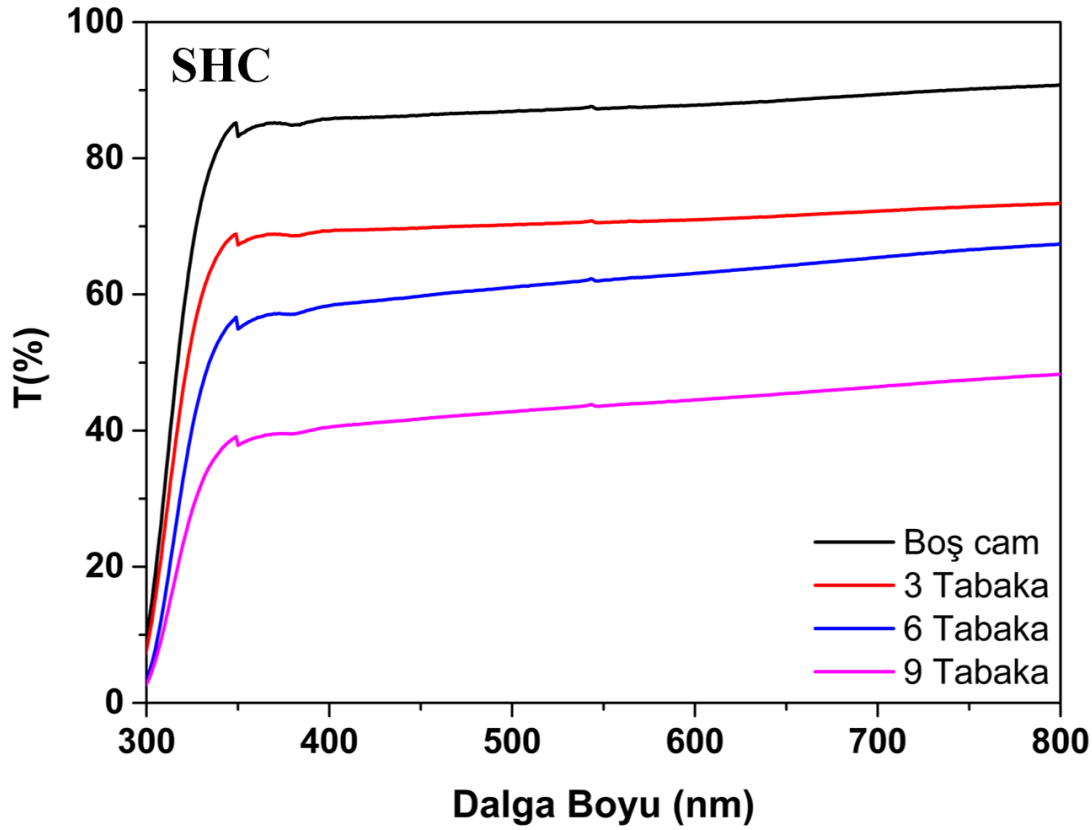
Şekil 5.9. 20 döngü için aşınma testi öncesi ve sonrası SEM görüntüleri a) Laponit'siz Slips (SHC/Yağ) yüzey, b) Laponit'li Slips (LAP/SHC/Yağ) yüzey

SEM görüntüleri incelendiğinde, LAP kaplamaların SLIP'lerin hazırlanmasından önceki etkisinin, aşınma testi sonucu yüzeyde oluşan çiziklerin varlığıyla

kanıtlandığını göstermektedir. Şekil 5.9a’ da görüldüğü gibi LAP kaplamasız hazırlanan SHC/Yağ yüzeyinde 20 döngü aşınma sonrasında kalın bir çizik olduğu açıkça görülmektedir. Bu yüzeyin bozulmaya başlaması ve kaplamanın kaldırılması anlamına gelir. Öte yandan Şekil 5.9b’ de LAP ile hazırlanan LAP/SHC/Yağ SLIPs yüzeyin SEM görüntüsünde görüldüğü gibi, 20 döngü aşınma testi sonrasında yüzeyde ihmal edilebilecek düzeyde çizikler ortaya çıkmakta ve üzerindeki yapışkan LAP tabakası sayesinde yüzey kaplaması korunmaktadır. Bu sonuçlar, yapışkan bir katman olarak LAP kaplamanın, mevcut yöntemlerden farklı olarak dayanıklı yüzey kaplamaları üretmek için yeni bir yaklaşım olabileceğini gösterdi.

5.1.6. Yüzey Transparanlığının Belirlenmesi

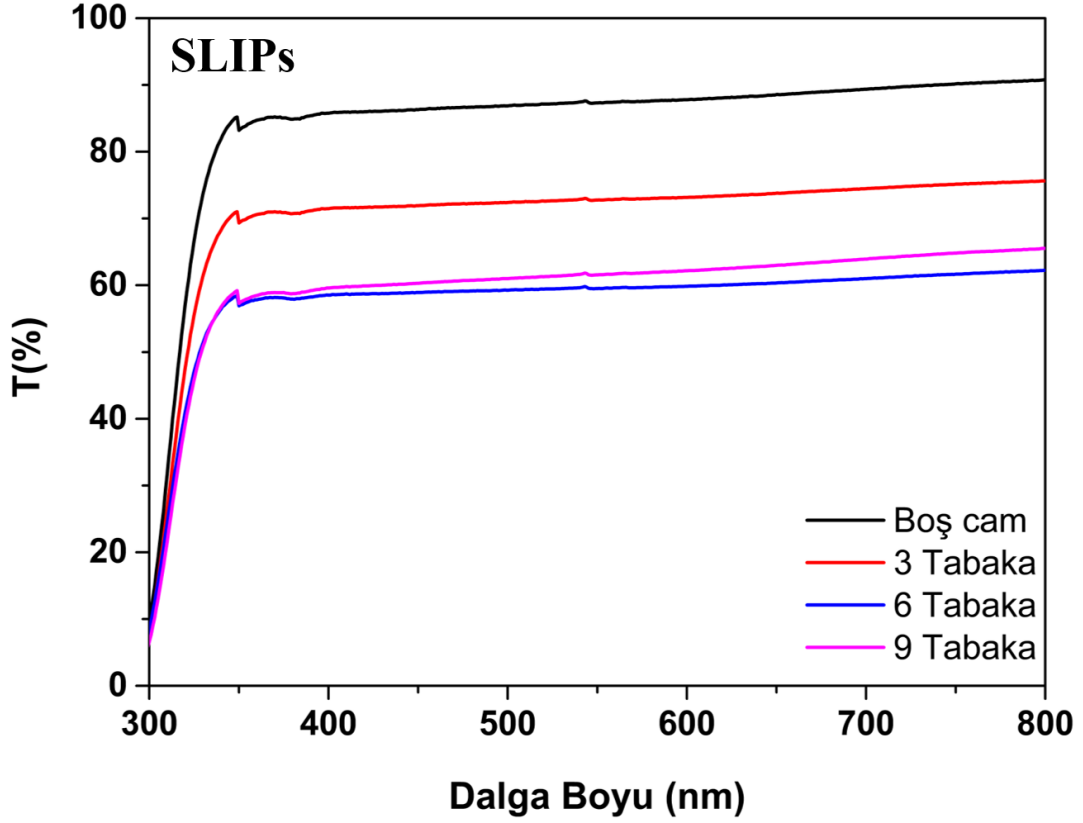
Yüzeyin şeffaflığı önemli bir parametredir. Optik olarak şeffaf kaygan kaplamalar için, kaplanmış yüzeyin görünür spektrumda (400–700 nm) ışığın iletilmesine izin vermesi gerekir (Allahdini, Jafari, & Momen, 2022). Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de görüldüğü gibi hem SHC hem de kaygan kaplamanın optik geçirgenliği farklı kaplama tabaka sayıları için Shimadzu UV-3600 ile analiz edilmiş ve sonuçlar boş cam ile karşılaştırılmıştır. Numunelere ölçüm yapılmadan önce numune haznesi boş olarak hava ortamında, 300-800 nm dalga boyu aralığında ölçüm alınarak taban çizgisi (baseline) belirlendikten sonra katı numunelerin ölçümleri alınmıştır. Elde edilen değerlerle her numune için dalga boyuna (nm) karşılık görünür ışık geçirgenliği (Geçirgenlik, %) grafiği çizilmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. SHC yüzeylerde farklı kaplama tabaka sayıları için UV-vis spektrometresi ile transparanlık analizi

Ölçümler optimum derişim için yapılmıştır. Optimum derişim %0,4 (a/h) olarak belirlenmiştir. Boş cam, 3T, 6T ve 9T SHC yüzeyler için ölçüm alınmıştır. Boş cam slaytların ortalama değeri %86 görünür ışık geçirgenliğine sahiptir. Farklı kaplama tabaka sayıları için SHC yüzeyler şekil 5.10' da gösterildiği gibi (300nm-800nm) dalga boyunda ki geçirgenlikleri, 3 Tabaka için ortalama değeri %68, 6 Tabaka değeri için ortalama değeri %60 ve 9 Tabaka değeri için ortalama değeri %42 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar yüzey kaplamasında ki tabaka sayısında ki artışa bağlı olarak mikroskobik yapı geçirgenlikte düşme gerçekleşmiştir. 3Tabaka ve 6Tabaka kaplanan yüzeylerin %50'den fazla transparanlığın etkisi sentezlenen silika nanoparçacıkların en son aşamada kalsine edilmesidir. Kalsinasyondan sonra nanoparçacıkların içi boş silika gözenekleri elde edilmesi ve bu içi boşaltılmış mezo gözenekli nanoparçacıklar, düşük kırılma indisi nedeniyle yüzeylerde şeffaflığını arttırmada etkilidir(Shang & Zhou, 2016). Bu durumda kaplama yapılan SHC yüzeyler, transparanlık etkisine de bakılarak optimum yüzey seçiminde 6 Tabakalı kaplamanın seçimini desteklemiştir.

Yüzeylerin, transparan analizinde bir diğer kaplama olan SLIPs, optik geçirgenliği farklı kaplama tabaka sayıları için optimum şartlarda hazırlanan SLIPs yüzeyi 300-800 nm dalga boyunda görünür ışık geçirgenliği (Geçirgenlik, %) ölçülmüş ve sonuçlar boş cam ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.11).

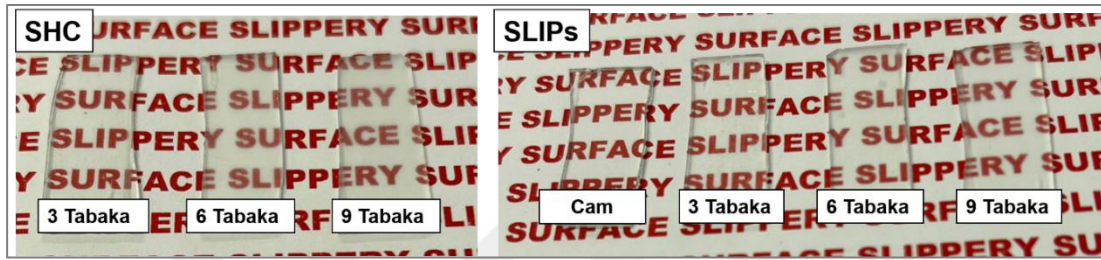


Şekil 5.11. SLIPs yüzeylerde farklı kaplama tabaka sayıları için UV-vis spektrometresi ile transparanlık analizi

Ölçümler optimum derişim için yapılmıştır. Optimum derişim %0,4 (a/h) olarak belirlenmiştir. Boş cam, 3T, 6T ve 9T Slips yüzeyler için ölçüm alınmıştır. Boş cam slaytların ortalama değeri %86 görünür ışık geçirgenliğine sahiptir. Farklı kaplama tabaka sayıları için SLIPs yüzeyler Şekil 5.11’ de gösterildiği gibi (300nm-800nm) dalga boyunda ki geçirgenlikleri, 3 Tabaka için ortalama değeri %71, 6 Tabaka için ortalama değeri %58 ve 9 Tabaka için ortalama değeri %60 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar yüzey kaplamasındaki tabaka sayısına göre geçirgenlikte değışkenlik göstermiştir. 6 Tabaka ve 9 Tabakalı yüzeylere ait ortalama geçirgenlik sonuçları birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Yağlayıcı infüzyon miktarına bağlı olarak değışkenlik gösterebilir. Ayrıca, yağlayıcı madde pürüzlü cam yüzeye infüz

edildiğinde yağın yüzeydeki gözenekli yapılara nüfuz etmesi nedeniyle yüzey pürüzlülüğü azalır (Lee vd., 2020). Bu durumda kaplama yapılan SLIP'lerin, SHC yüzeylere kıyasla daha yüksek geçirgenliğe sahip çıkması, yağlayıcı infüzyonundan kaynaklanmaktadır.

Farklı kaplama tabaka sayıları için SHC ve SLIPs yüzeylerin transparanlık ölçütlerine karşılık görselleri Şekil 5.12 'te verilmiştir.



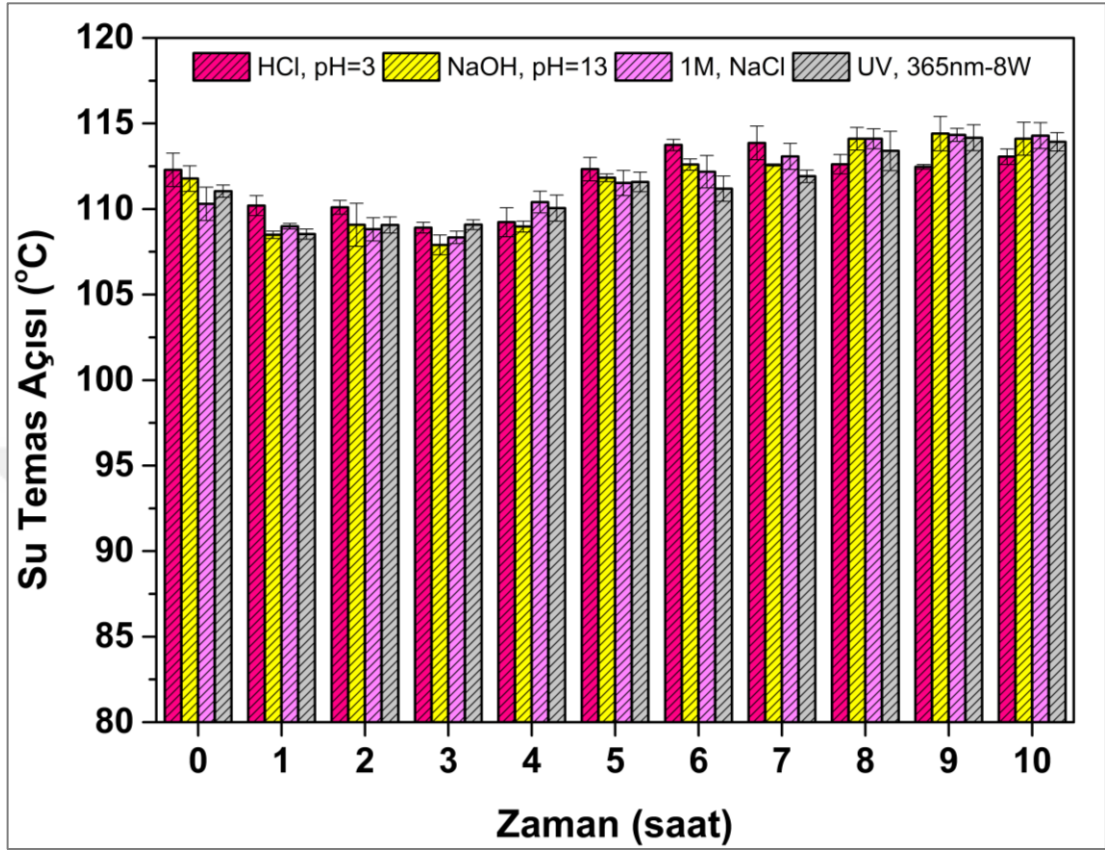
Şekil 5.12. Farklı kaplama tabaka sayıları için SHC ve SLIPs cam yüzeylerin transparanlık ölçütleri

Hazırlanan farklı kaplama tabaka sayıları için SLIPs ve SHC yüzeylerin transparan görüntülerini görmek için 'SLIPPERY SURFACE' yazının üzerine cam yüzeyler konulmuştur. Camın altındaki harfler kolayca okunabiliyordu, bu da kaplamanın transparan olduğunu gösterir. Bu geçirgenlik, içi boş silika mikrosferlerin düşük kırılma indisinden etkilenir, bu da hava-parçacık ve parçacık-substratın farklı arayüzlerinden yansıyan ışık arasındaki girişimden kaynaklanmaktadır (Y. Chen vd., 2012; Shang & Zhou, 2016).

5.1.7. SLIPs Yüzeylerin Kimyasal Çözeltilere ve UV Işığa Karşı Dayanıklılığı

DeneySEL bölümde detaylıca anlatıldığı gibi hazırlanan SLIPs yüzeyler farklı kimyasal ortamlarda mekanik stabilitesini koruması önemli bir parametredir. Farklı ortamlarda yüzeyler bırakılarak etkisi incelenmiştir. Hazırlanan yüzeylerin farklı koşullardaki kimyasal dayanıklılıklarının belirlenmesi için öncelikle ilk su temas açısı değerleri ölçülmüştür. Daha sonra bu yüzeyler, HCl (pH =3), NaOH (pH= 13), NaCl (1M) çözeltileri bir beher içerisinde, daldırma yöntemiyle ve UV ışık ile (365 nm, 8W) yüzeyden 15 cm mesafeden 10 saat boyunca bekletilmiş ve her saat başı yüzeylerin su

ile temas açıları ölçülmüştür. Belirlenen ortamlarda bekletilen yüzeylerin 10 saat boyunca su temas açısı değerleri Şekil 5.13’ te verilmiştir.



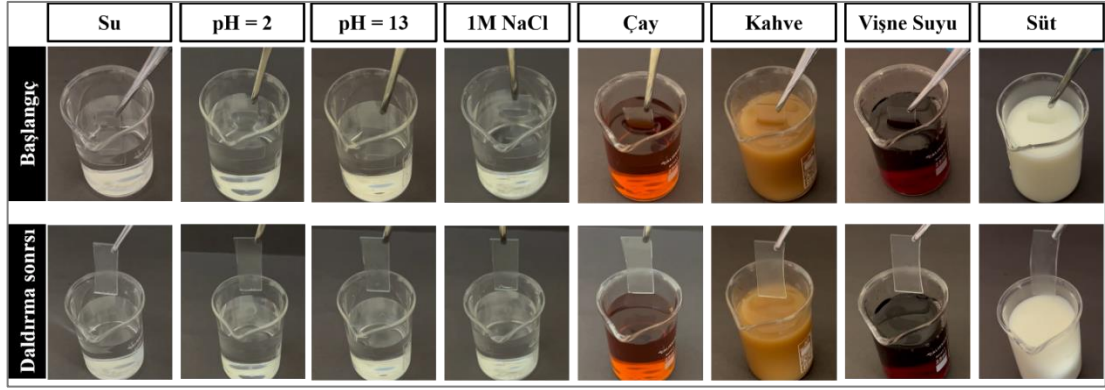
Şekil 5.13. HCl (pH =3), NaOH (pH= 13), NaCl (1M) çözeltilerine daldırılarak ve UV ışık ile (365 nm, 8W) yüzeyden 15 cm mesafe ile 10 saat boyunca bekletilen yüzeylerin su temas açısı değerleri (her ölçüm n=3 kez tekrar edilmiştir)

Farklı kimyasal ortamlarda; HCl (pH =3), NaOH (pH= 13), NaCl (1M) 10 saat boyunca kaplanan yüzeylerin bir beher içerisine daldırılarak ve her saat başı alınıp kurutulduktan sonra temas açısı değerleri ölçülmüştür. Ölçülen temas açısı değerlerine bakıldığında, Asidik ortamda (pH =3) için başlangıç temas açısı değeri, $112,29 \pm 0,98^\circ$ iken 1saat sonra ölçülen değer $110,19 \pm 0,58^\circ$ ’dir. Bu değer yaklaşık olarak 2° bir düşme görüldüğü ve takip eden zaman içerisinde en düşük temas açısı değeri, $108,91 \pm 0,32^\circ$ ‘dir. 10 saat sonunda alınan su temas açısı değeri, $113,06 \pm 0,45^\circ$ ölçülmüştür. Başlangıç ölçüme göre yaklaşık 1° ’lik bir artış söz konusudur. Bu değerler sonucunda slips yüzeyler, asidik ortamda mekanik stabilitesini korumuştur. Bazik ortamda (pH = 13) için başlangıç temas açısı değeri, $111,78 \pm 0,75^\circ$ iken 1saat sonra ölçülen değer 108,

$97 \pm 0,22^\circ$ dir. Zaman içerisinde en düşük temas açısı değeri $108,49 \pm 0,32^\circ$ 'dir. 7 saat sonunda alınan su temas açısı değeri, $112,57 \pm 0,06^\circ$ ölçülmüştür. Başlangıç ölçüme göre yaklaşık 3° 'lik bir artış söz konusudur. Bu artış SLIPs yüzeylerde yağlayıcının çok az miktarda yüzeyden ayrıldığını göstermektedir. Fakat 9 ve 10'uncu saatlerde bu değerin sabitlendiği görülmüştür. 10 saat sonra alınan temas açısı değeri $114,10 \pm 0,97^\circ$ dir. Bu değer sonucunda SLIPs yüzeyler, bazik ortamda mekanik stabilitesini korumuştur. Bir diğer kimyasal ortam ise 1M NaCl 'dir. Başlangıç temas açısı değeri, $111,30 \pm 0,98^\circ$ iken 1saat sonra ölçülen değer $108,81 \pm 0,68^\circ$ dir. 10 saat sonra alınan temas açısı değeri $114,29 \pm 0,76^\circ$ dir. Bu değer sonucunda SLIPs yüzeyler, bazik ortamda mekanik stabilitesini korumuştur. Son olarak kimyasal çözeltilerden bağımsız olarak, UV ışık ile (365 nm, 8W) yüzeyden 15 cm mesafeden 10 saat boyunca bekletilmiş ve her saat başı yüzeylerin su ile temas açıları ölçülmüştür. UV ışık almadan önce SLIPs yüzeyin başlangıç temas açısı değeri $111,03 \pm 0,36^\circ$ iken 1saat sonra ölçülen değer $108,53 \pm 0,30^\circ$ dir. 10 saat sonunda alınan su temas açısı değeri, $113,92 \pm 0,54^\circ$ ölçülmüştür. Başlangıç ölçüme göre yaklaşık 2° 'lik bir artış söz konusudur. Bu değerler sonucunda SLIPs yüzeyler, UV ışık altında (365 nm, 8W)'da mekanik stabilitesini korumuştur.

5.1.8. Yüzeylerin Kendi Kendini Temizleme Davranışı

Hazırlanan SLIPs yüzeyler, kendi kendini temizleme davranışına bakılmıştır. Bu amaçla optimum koşullarda hazırlanan yüzeyler, farklı test sıvılarında ve farklı kimyasal çözeltilerde daldırma yöntemiyle yüzeylerin tamamı sıvılar içine daldırılıp çıkarıldıktan sonra görüntüleri alınmıştır. Bu sonuçlar hazırlanan yüzeylerin, kendi kendini temizleme özelliğine sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 5.14).

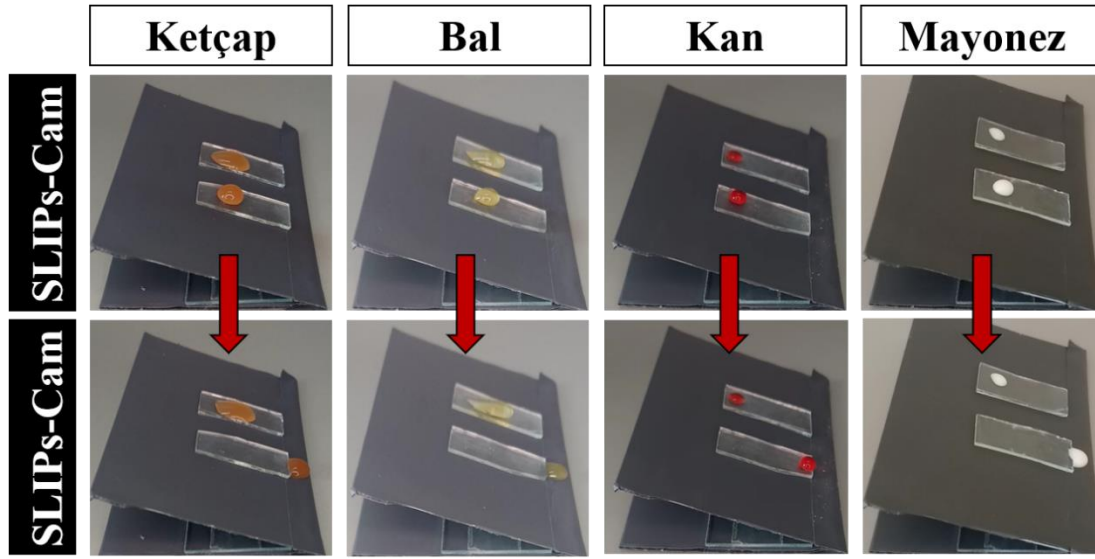


Şekil 5.14. SLIPs yüzeylerin, farklı test sıvılarında kendi kendini temizleme özelliği

SLIPs yüzeylerin, kendi kendini temizleme özelliğini belirlemek için farklı sıvılarda ve kimyasal çözeltilerinde; Su, HCl (pH=2), NaOH (pH= 13), 1M NaCl, çay, kahve, vişne suyu ve süt gibi sıvıların içerisine yüzeyler 15 dk boyunca daldırıldı. Ardından daldırma sonrası yüzeyler, kuru ve temiz bir şekilde olduğu görülmüştür. Böylece SLIPs yüzeyler kendi kendini temizleme davranışını sergilemiştir.

Farklı viskozitelere sahip sıvıların kendi kendini temizleme davranışı

Hazırlanan SLIPs yüzeylerin, kendi kendini temizleme özelliğine ek olarak farklı sıvılar ve farklı kimyasal çözeltilerinden bağımsız olarak optimum koşullarda hazırlanan yüzeyler 15° eğime sahip kayma açısında kaplanmış cam yüzey ve boş cam yüzeylere farklı viskozitede; su, kan (Seronom, Tam Kan L-3), bal ve ketçap damlatıldığında yüzeylerin kendi kendini temizleme özelliği incelenmiştir (Şekil 5.15).



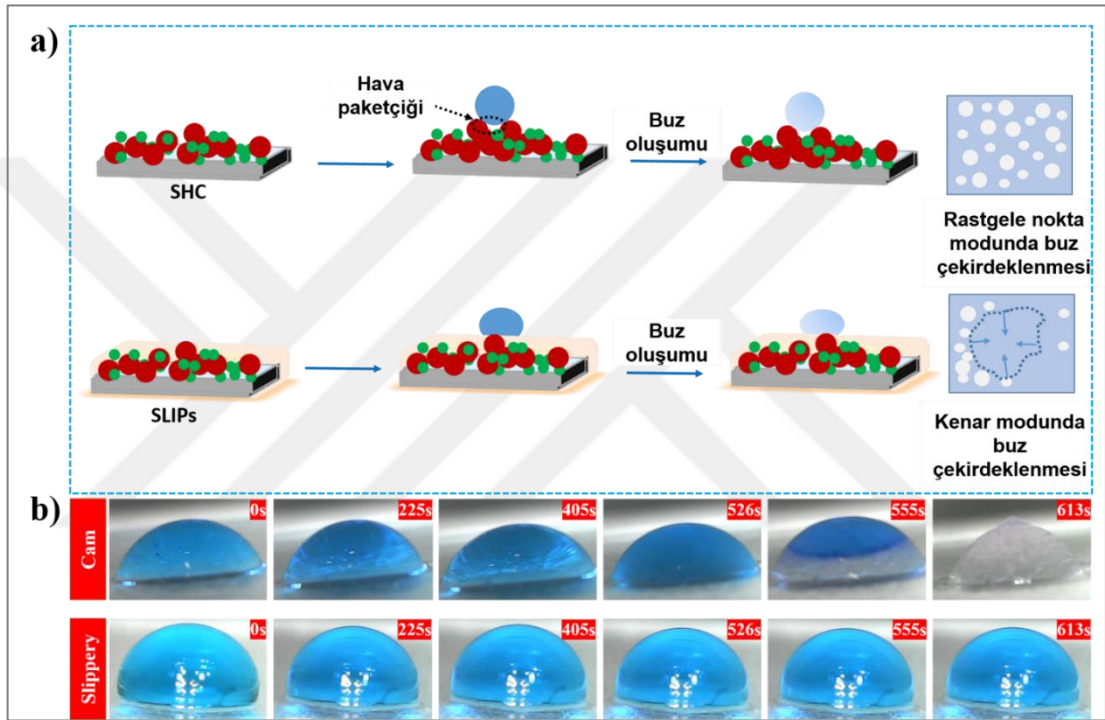
Şekil 5.15. Boş cam ve SLIP'lerin kendi kendini temizleme işlemi; ketçap, bal, kan, mayonez (Damlatılan sıvı hacmi, 10 μ L)

SLIPs yüzeylerin, kendi kendini temizleme davranışını kıyaslamak için işlem görmemiş boş cam yüzey ile SLIPs yüzeyler birbiriyle kıyaslanır. Farklı viskoziteye sahip test sıvıları damlatıldığında SLIPs yüzeylerde çok hızlı bir şekilde ayrıldığı ve yüzeyde leke bırakmadığı görülmüştür. Boş cam yüzeylerde ise akmanın oldukça yavaş olduğu ve damlatılan sıvının yüzeyden ayrılmayıp leke bıraktığı görülmektedir (Şekil 5.16).

5.1.9. Yüzeylerin Buzlanma Önleyici Davranışı

Buz biriken yüzeylerde yüksek enerji tüketimi, yüksek maliyet ve az verimlilik sağlanır. Özellikle güç ve iletişim kuleleri, güneş panelleri ve uçakların altyapılarında yer aldığında sistemin bozulmasına neden olur. Bu durum büyük ekonomik kayıplara neden olabilir ve hatta insan hayatını tehdit edebilir(J. Lv vd., 2014). Bu nedenle, endüstriyel anlamda buz önleme/geciktirme davranışı oldukça önemlidir. Literatürde, Guo ve arkadaşları, bakır hidroksit nano iğnelerinin süperhidrofobik modifikasyonu ve yağda depolanmış mezo gözenekli silika nanopartiküllerinin epoksi yüzeyine gömülmesiyle sentezlenen katı benzeri yağlayıcının enjeksiyonu ile çok işlevli bir katı benzeri yağlanmış kaygan yüzey (SL-SLIPS) geliştirmişlerdir. Bu SL-SLIPS yüzeylerin buzlanma önleyici davranışı incelendiğinde su damlacığı 407 saniyede buzlanma gösterdiği test edilmiştir(A. Yu, He, Fu, & Guo, 2024). Buzlanma önleyici

davranışının etkisini incelemek için bu tez çalışmasında, Şekil 5.16a’da SHC ve SLIPs yüzeylerin buzlanmayı önleme mekanizmalarına ait şematik çizimi verilmiştir. Şekil 5.16b’de ise slips yüzeylerin buz önleyici özelliğini test etmek amacıyla boş cam ve SLIPs yüzey -20 ° sıcaklıkta yaklaşık 11 dakika boyunca kamera ile buzluaktaki görüntüleri kaydedilmiştir. Bu sonuç ile SLIPs yüzeylerin buzlanma önleyici performansı incelenmiştir.



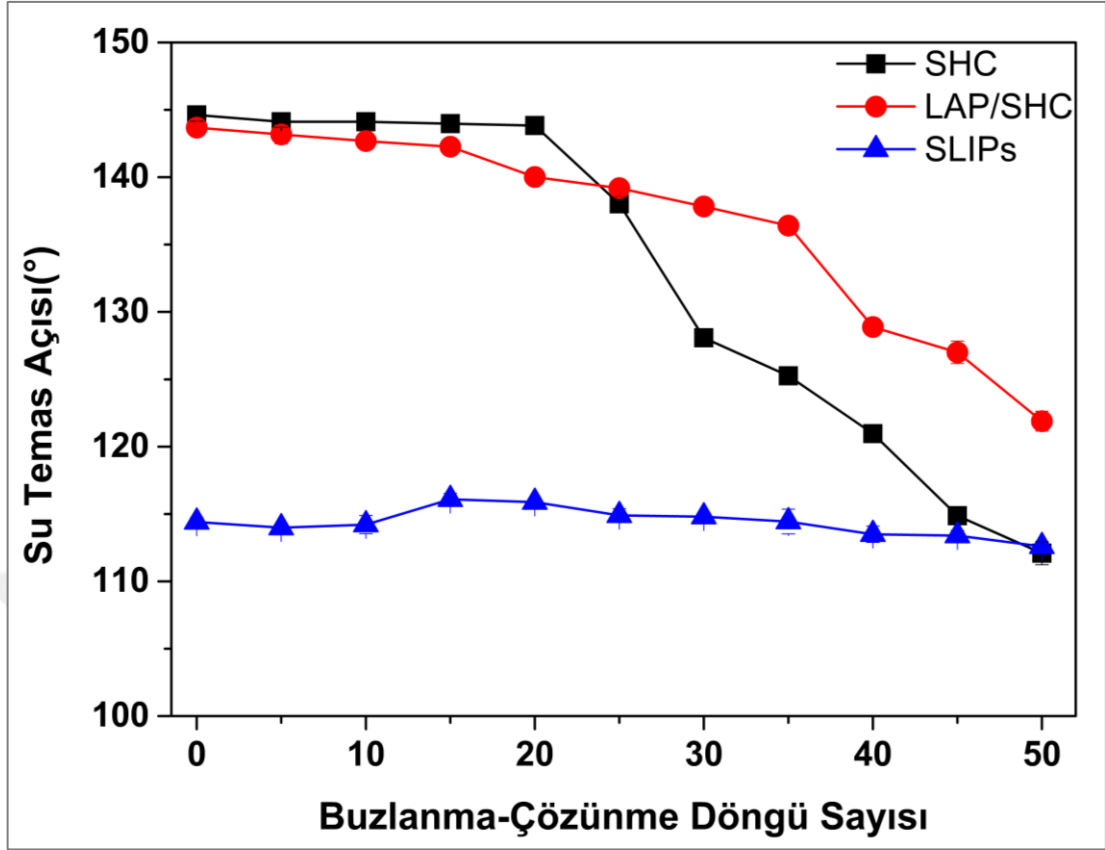
Şekil 5.16. Buzlanma önleyici davranışı a) SHC ve SLIPs yüzeylerin buzlanmayı önleme mekanizmalarına ait şematik çizimi b) Boş cam ve SLIPs yüzeylerin 613s boyunca buzlanma davranışı (Damlatılan sıvı hacmi, 10 μ L)

Buzlanmayı önleme performansı şekil 5.16a’da incelendiğinde, öncelikle bir yüzeyde buz oluşumu yüzeydeki su damlacıklarını hızla ortadan kaldırarak buzun çekirdeklenmesinden başlayarak ardından kararlı çekirdekler haline gelir ve buz kristalleri oluşur. SLIPs’ler yağlayıcı varlığı ile buz çekirdeklenmesini geciktireceği için buzlanma önleyici davranışı sergilemesi beklenir. Bu nedenle SLIPs yüzeylerin buzlanma önleyici davranışı Şekil 5.16b’ de yaklaşık 11 dakika boyunca kamera ile kaydedilmiş ve görüntüleri verilmiştir. Boş cam yüzey ve SLIPs yüzey üzerine damlatılan metilen mavisi (MB) ile renklendirilmiş su damlacığının buzlanma davranışı kıyaslandığında, 225’inci saniyede boş camın alt tabakadan buz

çekirdeklenmesini başlatırken SLIPs yüzeyde herhangi bir değişiklik olmamıştır. 555'inci saniyede ise boş cam üzerinde ki su damlacığının yarısının donmaya başladığını ve 613'üncü saniyede ise su damlacığının tamamının buz kristaline dönüştüğü görülmektedir. Ayrıca MB ile renklendirilmiş su damlacığının başlangıçta ki rengi koyu maviyken buzlanma başladıkça rengin açıldığı ve tamamen donmuş damlacığın rengi beyaza dönmüştür. SLIPs yüzeylerde 613'üncü saniyede bile buz çekirdeklenmesinin başlamadığını ve herhangi bir donma olmadığı görülmüştür. Ayrıca MB ile renklendirilmiş su damlacığının başlangıç rengi ile 613 saniye sonunda ki su damlacığında ki mavi rengini kaybetmemiş ve donmanın olmadığı belirlenmiştir. Böylece SLIPs yüzeyler, mükemmel bir buz önleme performansı sergilemiştir.

5.1.9.1. Buzlanma-buz çözme davranışı

SLIPs yüzeyler mükemmel bir buz önleme davranışı sergilemişti. Buzlanma önleyici performansının yanı sıra bir diğer önemli parametre ise buzlanma- buz çözme davranışının dayanıklılığıdır. Bu durumu test etmek amacı ile SHC, LAP/SHC ve SLIPs yüzeyler 50 buzlanma-buz çözme döngüsü için her 5 döngü sonrası su temas açısı değerleri ölçülerek araştırıldı (Şekil 5.17).

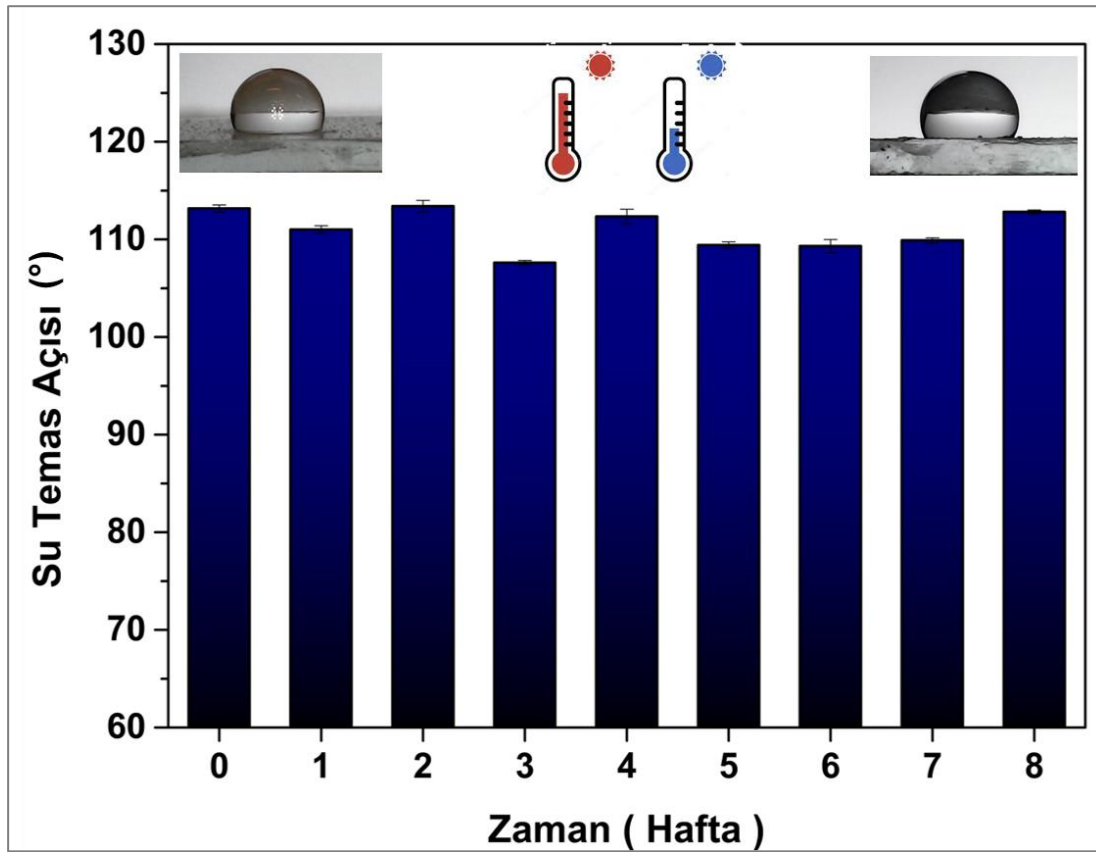


Şekil 5.17. SHC, LAP/SHC ve SLIPs yüzeyler 50 buzlanma-buz çözme döngüsünün su temas açısı değerleri (Damlatılan sıvı hacmi, 10 μ L ve n=3 kez için tekrar edilmiştir)

50 buzlanma-buz çözme döngü boyunca su temas açıları incelendiğinde, en hızlı ve yüksek düşüş SHC yüzeye ait olduğu görülmektedir. SHC, 25. Döngüde $144,62^{\circ} \pm 0,46$ 'dan $138,03^{\circ} \pm 0,53$ 'e düşüş olmuştur. 50 döngü sonunda CA değeri $112,08^{\circ} \pm 0,85$ ölçülmüştür. Yaklaşık olarak 32°'lik ciddi bir düşme olmuştur. LAP/SHC yüzeyini incelediğimizde 50 buzlanma-buz çözme döngü boyunca su temas açıları, $143,67^{\circ} \pm 0,13$ 'ten $121,89^{\circ} \pm 0,73$ ' e düşüş olmuştur. Yaklaşık olarak 21°'lik bir düşme olmuştur. SHC yüzeye kıyasla 50 döngüden sonra daha fazla buzlanma-buz çözme dayanıklılığı sergilemiştir. Bu sonuç bizim için çok önemli olup LAP kaplamanın literatürden farklı olarak alternatif bir yapışkan katman olarak kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Öte yandan SLIPs yüzey incelendiğinde, 50 buzlanma-buz çözme döngü boyunca su temas açıları, $114,41^{\circ} \pm 0,31$ 'den $112,59^{\circ} \pm 0,27$ ' ye düşüş olmuştur. Yaklaşık olarak 2°'lik bir düşme olmuştur. SLIPs 'in 50 buzlanma-buz çözme döngüsünden sonra mükemmel bir buz direnci göstermiştir.

5.1.10. SLIP'lerin Çevre ve Zorlu Koşullar Altında Dayanıklılık Testi

SLIP'lerin mekanik dayanıklılığını test etmek yüzeyler 8 hafta boyunca dış ortamda bırakılmıştır. Bu süre zarfında sıcaklık gece ve gündüz -5°C ile 20°C arasında değişmiştir. Yüzeyler direk güneş ışığı ve yağmur ile temas etmiştir. Bu yüzeylerin her hafta su temas açısı ölçümleri yapılmıştır (Şekil 5.18).



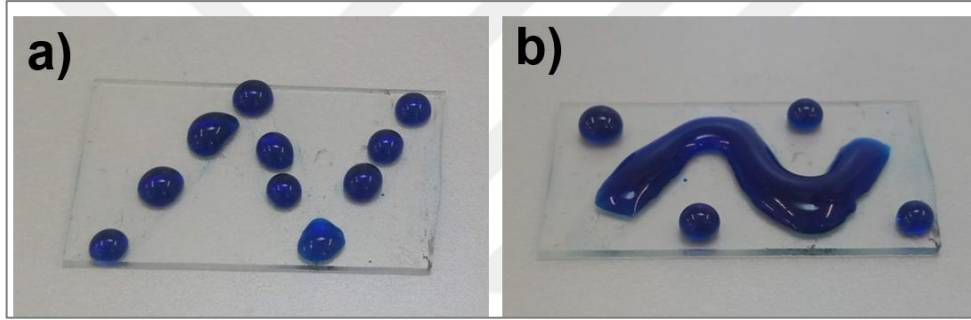
Şekil 5.18. SLIP'lerin çevre ve zorlu koşullar altında dayanıklılık testinin CA ölçümleri

SLIP'lerin 8 hafta boyunca CA ölçümleri incelediğimizde, başlangıç ölçüm değeri ile 8 hafta süre içerisinde ölçümde çok bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Bu sonuç, SLIPs yüzeylerde ki farklı iklim şartlarına maruz kalmasına rağmen kaplamanın bu zorlu koşullardan etkilenmeyip kaplamanın mekanik stabilitesini koruduğu test edilmiştir.

5.1.11. Yüzeylerde Akıllı Yüzey Uygulamaları

5.1.11.1. Yüzey üzerinde desen çalışması

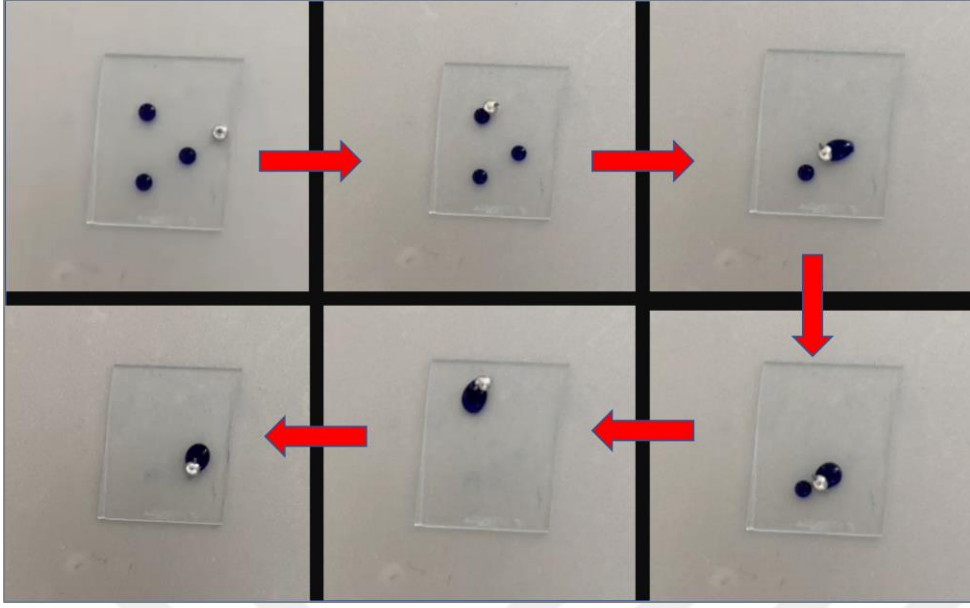
Hazırlanan SLIPs yüzeylerin, hazırlanma aşamasında bir bant yardımıyla hidrofilik desenli bir yol oluşturulmuştur. Bant ile kaplı olmayan alan, kaplanmış ve bandın altında kalan alan kaplama yapılmamış yani işlem görmemiş alan olarak kalmıştır. Yüzeylerin hazırlanma aşaması tamamen bittiğinde yüzeyden bant soyulmuştur. Bu durumu test etmek amacıyla MB ile renklendirilmiş su kullanılmıştır. Şekil 5.19a’da görüldüğü gibi bant ile oluşturulan hidrofilik desenli yol üzerinde su damlacıkları konulmuştur. Damlacıklar birleşerek su yolu oluşmuştur (Şekil 5.19b).



Şekil 5.19. Yüzeylerde bant ile hidrofilik desen oluşturma

5.1.11.2. Yüzeylerde su toplama hareketi

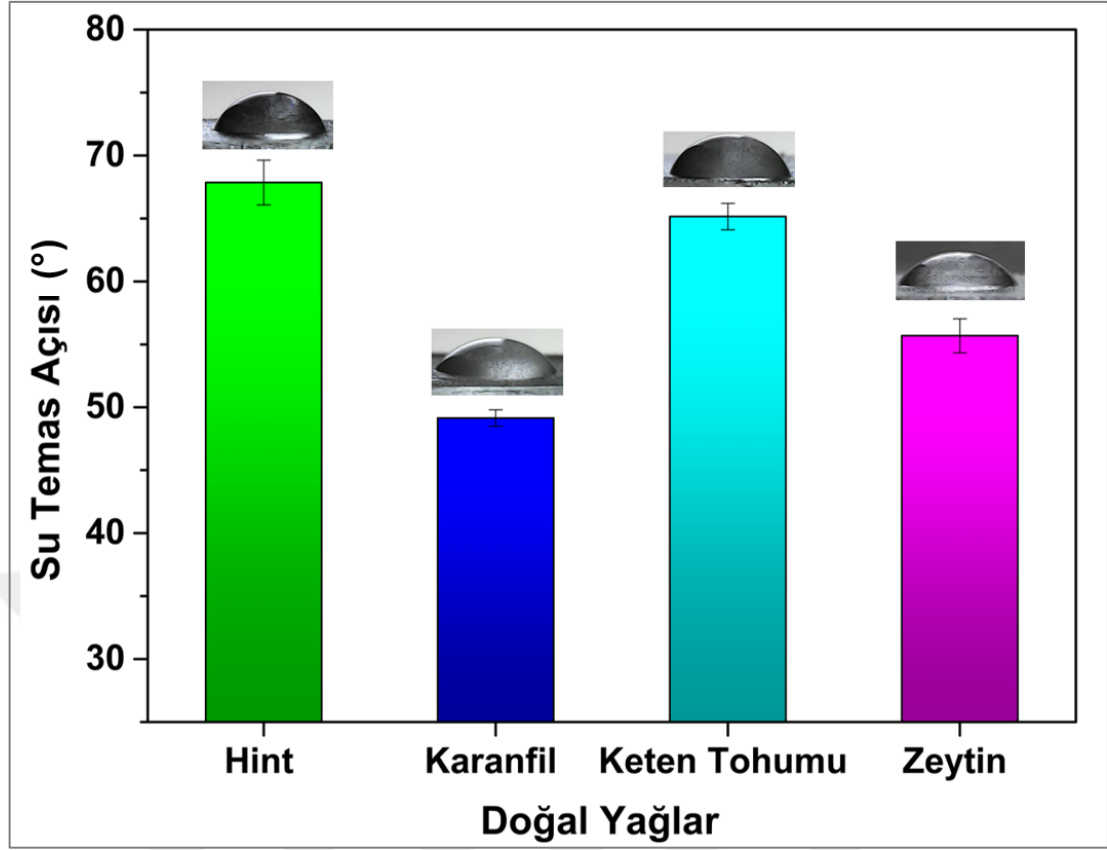
Hazırlanan SLIPs yüzeylerde, MB ile renklendirilmiş su damlacığı yüzey üzerinde farklı noktalarda damlatılmıştır. Ardından metal bir top, yüzey üzerine bırakılmıştır. Mıknatıs yardımı ile ilk su damlacığını yakalayan metal top sırasıyla yüzeydeki diğer damlacıklara giderek su damlalarını birleştirir. Küresele yakın su damlacıkları yayılmadan suyu toplamış ve dağılmadan hareket edebilmiştir (Şekil 5.20). Bu uygulama gelecek nesiller için akıllı bir robotik uygulama sunmaktadır.



Şekil 5.20. Yüzeylerde robotik su toplama çalışması

5.1.12. SLIPs Yüzeylerde Bitkisel Yağlayıcıların Kullanımı

Bitkisel yağ, doğal bitkilerin meyvelerinden veya tohumlarından elde edilen bir molekül ve üç farklı yağ asidi molekülünden oluşur(Mahadi vd., 2019). SLIPs yüzeyleri hazırlarken yağlayıcı olarak sentetik yağlara ek olarak bitkisel yağlar da kullanılmaktadır. Literatürde sıklıkla tercih edilen bitkisel yağlar; defne yağı, keten tohumu yağı, Hindistan cevizi yağı, karanfil yağı, zeytinyağı, fıstık yağı ve hint yağı gibi bitkisel yağlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada hazırlanan SLIPs yüzeylere bitkisel yağlayıcı olarak hint yağı, karanfil yağı, keten tohumu yağı ve zeytinyağı kullanılmıştır. Hazırlanan yüzeylerin temas açısı değerleri ölçülmüştür.



Şekil 5.21. SLIPs yüzey üretimi için bitkisel yağlayıcıların temas açısı değerleri ve görüntüleri

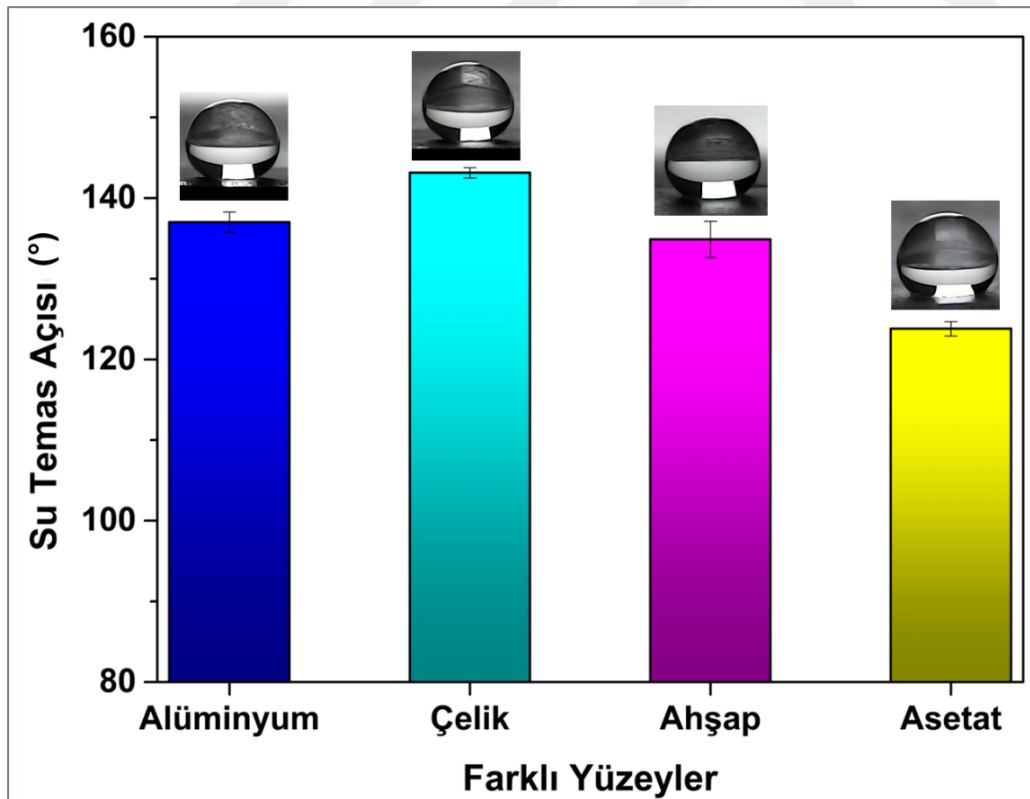
Bitkisel yağlayıcı seçilen yüzeylerde hint yağının temas açısı değeri, $67,85 \pm 1,78^\circ$ ölçülmüştür. Karanfil yağı kullanılan SLIPs yüzeyin temas açısı değeri, $49,15 \pm 0,66^\circ$ dir. Keten tohumu yağının temas açısı değeri, $65,15 \pm 1,05^\circ$ dir. Zeytinyağının temas açısı değeri, $55,68 \pm 1,36^\circ$ ölçülmüştür. Sonuçlara göre bitkisel yağlayıcı kullanılarak kaplanan SLIPs yüzeylerin temas açısı değerleri düşük gelmiştir. Yüzeyleri ıslattığını ve hidrofilik özellik sergilemişlerdir. Bitkisel yağların yağlayıcı olarak kullanılmasında kaçınılmaz sorunları vardır. Bunlar, zayıf oksidasyon stabilitesi ve düşük sıcaklık özellik sergilemeleridir. Bu yağlayıcının oda sıcaklığında, bulanıklık, çökme, zayıf akışkanlık ve sergilemesine bile neden olabilmektedir (Mahadi vd., 2019).

5.1.13. Farklı Yüzeylerde SLIPs Hazırlanması

SLIPs tasarımında çok yönlü substrat kullanımı uygulanabilirlik açısından büyük bir öneme sahiptir. Literatür incelendiğinde, farklı yüzey tasarımına örnek olarak, F.

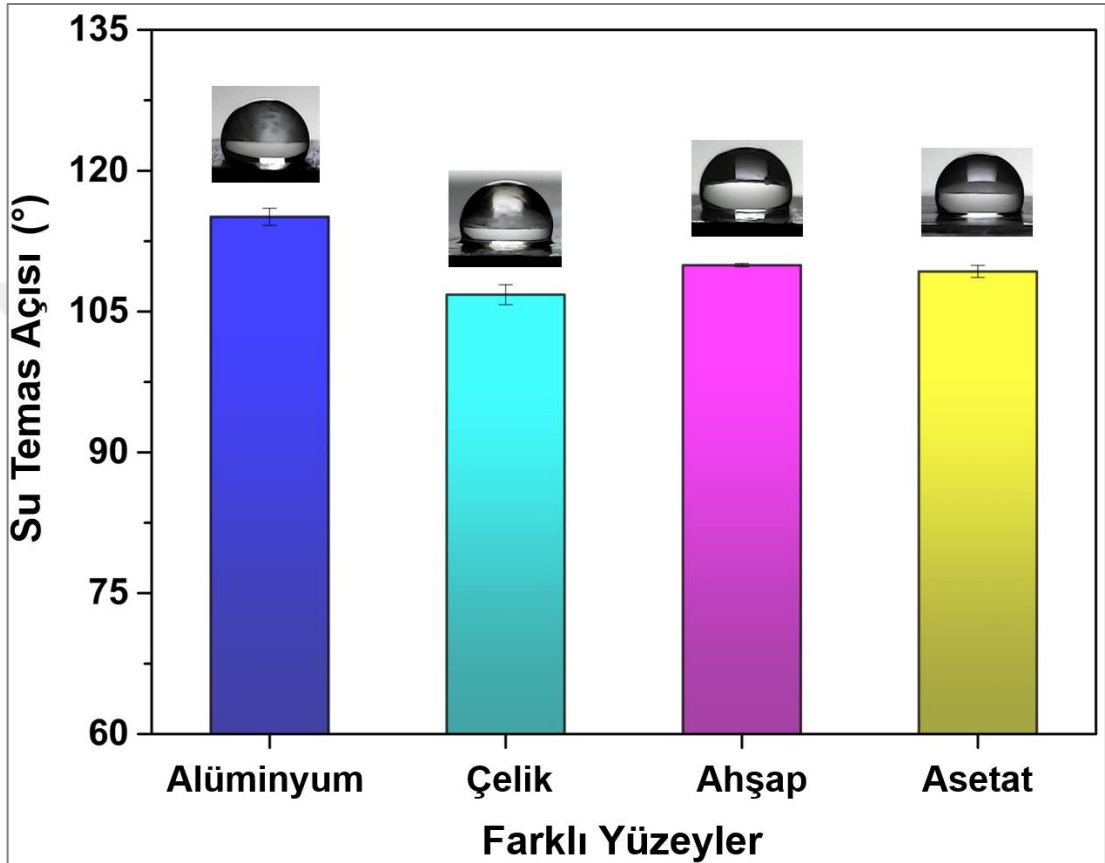
Didar ve arkadaşları, mikron yapılı PDMS substratları üzerine 3D baskılama yöntemi ile yüzey tasarlamışlardır(Villegas, Cetinic, Shakeri, & Didar, 2018). Başka bir çalışmada ise Lim ve arkadaşları, alüminyum substratı kullanarak kimyasal aşındırma yöntemi ile yüzey tasarlamışlardır(C. Zhang vd., 2019). Yüzey tasarımında cam slayt, metal, metal olmayan ve polimer gibi yüzey malzemeleri de sıklıkla tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasında, yüzey tasarımında cam substratlar tercih edilmiştir. Su iticiliği ile kendi kendini temizleme özelliği incelendiğinde uygulama alanlarının cam yüzeylerle sınırlı kalmadığını göstermek için herhangi bir kimyasal ön işleme gerek kalmadan kolaylıkla uygulanabilen kaplamaların farklı yüzeylere; ahşap, alüminyum, çelik ve asetat gibi uygulanabilirliği gösterilmiştir. İlk olarak Şekil 5.22’de farklı yüzeyler LAP ile kaplanır daha sonra silika nanoparçacıklar ile pürüzlendirilen yüzeyler OTS ile modifiye edilerek yüzeyler hidrofobikleştirilir. Bunun sonucunda her bir yüzeyin su temas açısı değerleri ölçülmüştür.



Şekil 5.22. SHC kaplı farklı yüzeylerin su temas açısı değerleri ve su damlacığının görüntüleri

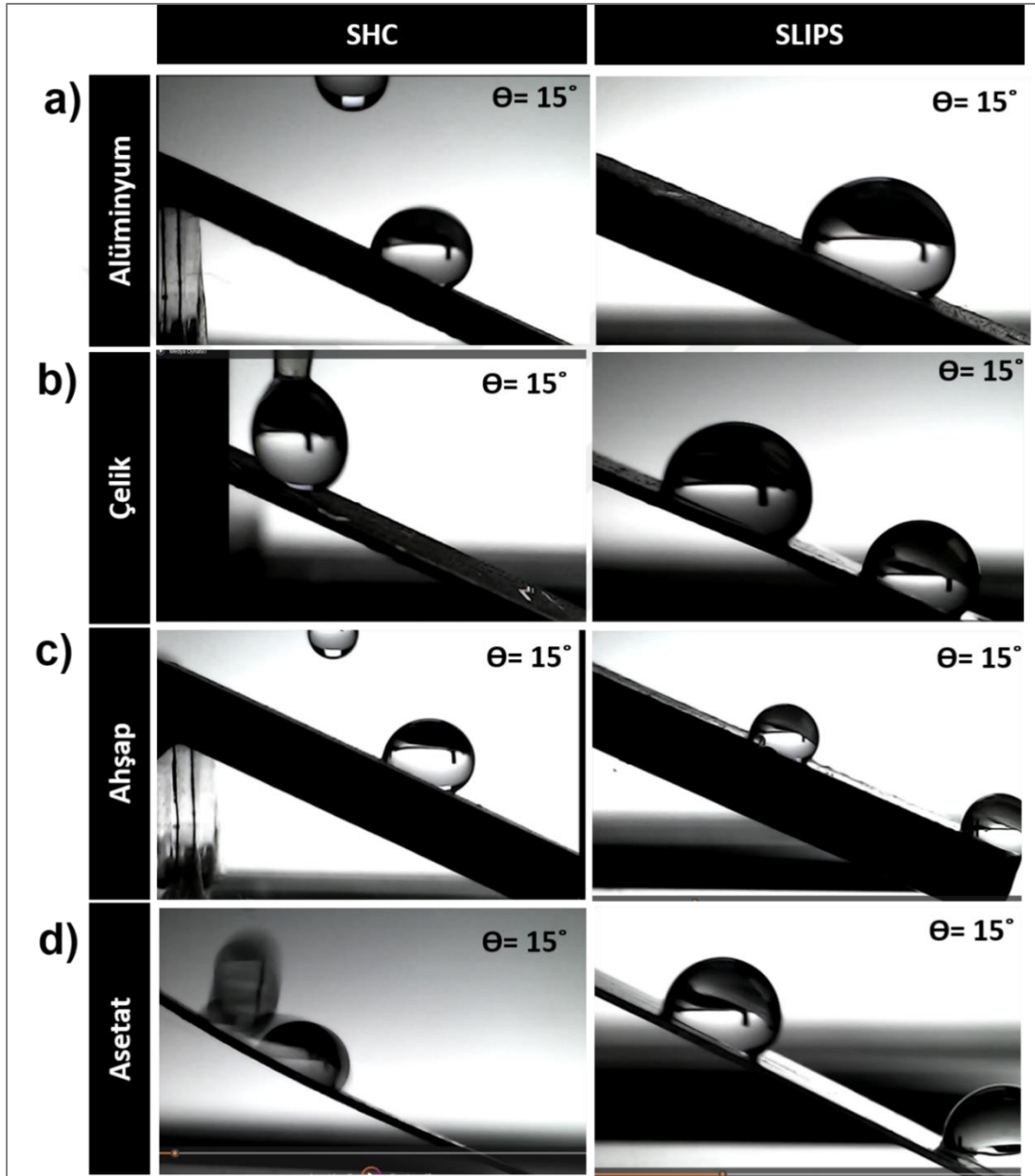
Grafiğe göre SHC üretiminde, alüminyum yüzeyin temas açısı değeri, $137,0 \pm 1,26^\circ$ ölçülmüştür. Çelik yüzeyin temas açısı değeri, $143,13 \pm 0,64^\circ$ ölçülmüştür. Ahşap yüzeyin temas açısı değeri, $134,88 \pm 2,25^\circ$ 'dir. Son olarak asetat yüzeyin temas açısı değeri $123,80 \pm 0,88^\circ$ ölçülmüştür. Bu sonuçlar ile yüzeyler, üstün sıvı iticiliği davranışı sergilemektedir.



Şekil 5.23. SLIPs kaplı farklı yüzeylerin su temas açısı değerleri ve su damlacığının görüntüleri

Herhangi bir kimyasal ön işleme gerek kalmadan kolaylıkla uygulanabilen kaplamaların farklı yüzeyler; ahşap, alüminyum, çelik ve asetat kağıdı gibi uygulanabilirliği gösterilmiştir. Bu yüzeyler SHC gibi kaplandıktan sonra GPL-103 yağlayıcı ile SLIPs yüzeyler elde edilmiştir (Şekil 5.25). Grafiğe göre farklı yüzeylerde SLIPs kaplamalarının temas açısı değerleri ölçülmüştür. Alüminyum yüzeyin temas açısı değeri, $115,08 \pm 0,93^\circ$ ölçülmüştür. Çelik yüzeyin temas açısı değeri $106,79 \pm 1,06^\circ$ ölçülmüştür. Ahşap yüzeyin temas açısı değeri, $109,93 \pm 0,16^\circ$ 'dir. Son olarak asetat yüzeyin temas açısı değeri, $106,26 \pm 0,64^\circ$ ölçülmüştür. Bu sonuçlar ile SLIPs kaplı

farklı yüzeyler, sıvı iticiliği performansı sergilemektedir. SHC kaplı ve SLIPs için farklı yüzeylerde; alüminyum, ahşap, çelik ve asetat 15°'lik bir kayma açısında su iticiliği kamera ile kaydedilmiştir. Bu damlacıkların kamera görüntüleri (Şekil 5.24)'te verilmiştir.



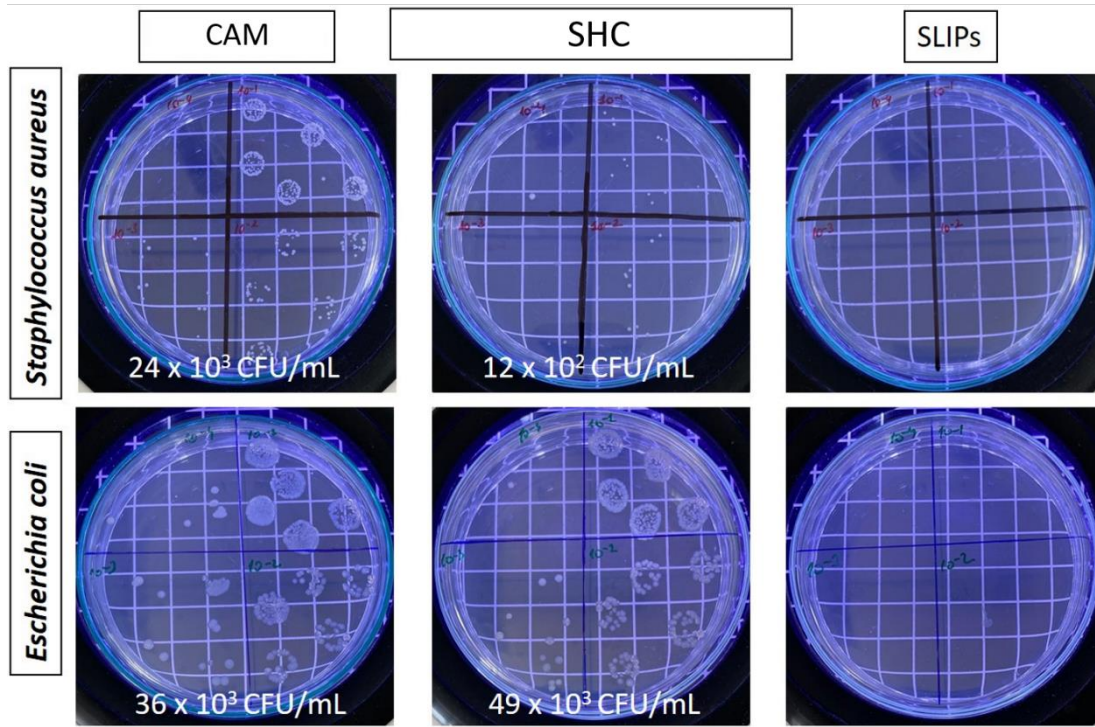
Şekil 5.24. SHC ve SLIPs kaplı yüzeylerin 15°'lik bir kayma açısında su damlacıklarının farklı yüzeylerde görüntüleri a) alüminyum, b) çelik, c) ahşap, d) asetat kağıdı

Şekil 5.24'e göre, su damlacıklarının yüzeyden ayrıldığı ve yüzeyleri ıslatmadığı görülmüştür. Bu kaplamaların imalatında ki en önemli nokta, üretim aşamasında yüksek sıcaklığa gerek kalmadan ve kimyasal ön işlem yapılmadan üretilmesidir. Bu durum farklı yüzeylerin, günlük ve endüstriyel alandaki kullanımlara olanak sağlaması umut vericidir.

5.1.14. Anti-Bakteriyel Özellik

Bakterilerin yüzeyde tutunması ve biyofilm oluşumu, insan sağlığı ve endüstriyel uygulamalarda önemli problemler ortaya çıkarabilmektedir (Junsheng Li vd., 2013). Biyofilm oluşumundan önce bakterilerin yüzeylere tutunması için yüzey pürüzlülüğü önemlidir. Nano ölçekli pürüzlülüğün varlığı, bir bakteri hücresinin yüzeye ulaştığında karşılaştığı fizikokimyasal potansiyel bariyerini azaltmaktadır (Ammar, Swailes, Bridgens, & Chen, 2015). Bu bağlamda, anti bakteriyel özellik sergileyen yüzeyler tasarlanmıştır. Santhosh ve arkadaşları, yüzey pürüzlülüğü azaldıkça *E. coli* ve *S. aureus*'un paslanmaz çelik ve titanyum alaşımına yapışmasındaki azalmayı kanıtlamak için farklı mikro işleme bitirme teknikleri kullanmışlardır (S, Hiremath, Ramachandran, & Muthuvijayan, 2019).

Bu tez çalışmasında, SLIP'lerin performansı Gram pozitif *Staphylococcus aureus* ve Gram negatif *Escherichia coli*'ye karşı anti-bakteriyel özelliği incelenmiştir. Bu amaçla, *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* bakterisinin farklı yüzeylere yapışması araştırılmış ve damla yöntemiyle bakteri sayısının sayıldığı agarların fotoğrafları plaka yöntemi Şekil 5.25' te gösterilmektedir.



Şekil 5.25. Kaplamaların anti-bakteriyel performansı a) Cam b) SHC c) SLIPs

Staphylococcus aureus anti-bakteriyel testinde, cam yüzeye, 24 x 10³ CFU/mL canlı bakteri bağlandı. SHC yüzeye ise 12 x 10² CFU/mL canlı bakteri bağlanmıştır. Cama bağlanan bakteri sayısına kıyasla azalmıştır. Burada ki antibakteriyel etki yüzeylerin hidrofobik yapısı neden olur. Mükemmel bir sonuç olarak SLIP'lerin yüzeyi 24 saat sonunda hiçbir bakteri tutunmadan %100 anti-bakteriyel özellik göstermiştir. *Escherichia coli* anti-bakteriyel testinde, cam yüzeye 36 x 10³ CFU/mL canlı bakteri bağlandı. SHC yüzeye ise 49x 10³ CFU/mL canlı bakteri bağlanmıştır. Mükemmel bir sonuç olarak SLIP'lerin yüzeyi 24 saat sonunda hiçbir bakteri tutunmadan %100 anti-bakteriyel özellik göstermiştir. SLIP'ler, mükemmel anti-bakteriyel özellikleri açısından insan sağlığı ve endüstriyel uygulamalarda umut verici bir potansiyele sahiptir.

6. SONUÇ

- Partikül ile pürüzlendirilmiş yüzeylere yağ infüzyonu ile yüksek mekanik dayanıma sahip, transparan ve kaygan yüzeyler hazırlanmıştır.
- Hazırlanacak olan süperhidrofobik ve SLIPs yüzeylerde pürüzlülüğü kazandırmak için kullanılacak olan SiO₂ nanopartiküller iki farklı boyutta başarılı bir şekilde sentezlenmiştir.
- SLIPs yüzeyler için sentezlenen silika nanoparçacıklar, TEM ile karakterize edilmiştir.
- Sentezlenen SiO₂ nanopartiküllerin boyutları yaklaşık olarak 37 nm ve 63 nm'dir.
- Hazırlanan SLIPs yüzeylerin, optimum kaplama için, ilk olarak optimum derişimi partiküllerin etanol içerisinde dağılımı yapılarak ve su temas aç değeri ölçülerek % 0,4 (a/h) olarak belirlenmiştir.
- Hazırlanan SHC ve SLIPs yüzeyler, optimum kaplama için, optimum tabaka sayısı temas aç değeri ölçülerek ve yüzeyin transparanlığına göre 6 Tabaka olarak belirlenmiştir.
- Hazırlanan SLIPs yüzeylerin, optimum yağlayıcı seçimi sentetik olarak kullanılan PFPE grubuna ait Krytox GPL-103 olarak belirlenmiştir.
- Hazırlanan SLIPs yüzeylerin, farklı sentetik yağlayıcılar (Krytox GPL 105 ve Krytox GPL 107) ile yüzeye infüze edilmiştir.
- Farklı sentetik yağlayıcıların infüzyonu ile elde edilen kaplamalar mekanik dayanıklılık etkisi için zımpara kâğıdı ile 5,10,15 ve 20 döngü boyunca sürtme testi yapılmış ve her 5 döngü sonra temas aç değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler sonucunda yüzeyler mekanik dayanıklılık göstermiştir.
- Süperhidrofobik yüzeylerde, pürüzlendirme sonrası OTS ile modifiye edilen yüzeylerin (%0,4 (a/h), 6Tabaka) temas aç değeri $144,64 \pm 0,91^\circ$ ölçülmüştür.
- SLIPs yüzeylerde, pürüzlendirme sonrası OTS ile modifiye edilen ve yağlayıcı kullanılan yüzeylerde (%0,4 (a/h), 6 Tabaka) temas aç değeri $113,11 \pm 0,43^\circ$ ölçülmüştür.
- Literatürden bağımsız olarak ilk defa mekanik dayanımı arttırmak için Laponit kili kullanılmıştır.

- Laponitin mekanik dayanıma etkisini incelemek için zımpara kâğıdı ile 5,10,15 ve 20 döngü boyunca sürtme testi yapılmış ve her 5 döngü sonra temas açısı değeri ölçülmüştür.
- Laponit kaplı ve laponit kaplı olmayan yüzeyler için sürtme sonrası yüzeydeki aşınmayı görmek için SEM ile analizi yapılmıştır.
- Laponit kaplı yüzeyler, yüzeyler ile nanopartiküller arasında bağlayıcılığı yüksek mukavemete göstermiş ve yüzeylerin mekanik dayanımını arttırmıştır.
- SHC ve SLIPs yüzeylerin, transparanlığını göstermek için UV-vis spektrometresi ile analiz edilmiştir.
- Hazırlanan SLIPs yüzeylerin, kendi kendini temizleme özelliklerine farklı sıvılarda (su, HCl (pH=2), NaOH (pH= 13), 1M NaCl, çay, kahve, vişne suyu ve süt) daldırma yöntemiyle test edilmiş ve yüzeylerin ıslanmadığını ve leke bırakılmadığı görülmüştür.
- Hazırlanan SLIPs yüzeylerin, farklı viskozitelerde sıvılar (kan, bal, ketçap ve mayonez) damlatılarak kendi kendini temizleme özelliği işlem görmemiş cam ile kıyaslanarak test edilmiştir. SLIPs yüzeylerde, farklı viskozitelerde ki sıvılar yüzeyden ayrıldığı ve yüzeylerde leke bırakmadığı görülmüştür.
- Hazırlanan SLIPs yüzeylerin, buzlanma önleyici davranışına bakılmıştır. Kıyaslama yapmak için işlem görmemiş cam yüzey ve SLIPs yüzey -20° 'de 613s 'de işlem görmemiş cam yüzey üzerindeki su damlacığı donma gösterirken SLIPs yüzeylerde donma olmamış ve buzlanma önleyici özelliği göstermiştir.
- SLIPs yüzeylere, farklı bitkisel yağlar infüze edilerek temas açısı değerleri ölçülmüştür.
- SLIPs yüzeyler, akıllı uygulamalar için desen çalışması ve yüzeyden su toplayarak su hareketlilik özellikleri incelenmiştir.
- Geliştirilen yüzeyler, uygulama pratikliği sayesinde kimyasal ön işleme gerek kalmadan farklı yüzeylerde (ahşap, alüminyum, çelik ve asetat kâğıdı) SHC ve SLIPs yüzeylerde kaplama yapılmıştır. Yüzey kaplamaları sonucunda SHC kaplamalar için en iyi yüzey, çelik kaplı yüzeylerdir. Çelik yüzeyin temas açısı değeri, $143,13 \pm 0,64^\circ$ ölçülmüştür. SLIPs kaplamalar için en iyi yüzey, alüminyum kaplı yüzeylerdir. Alüminyum yüzeyin temas açısı değeri, $115,08 \pm 0,93^\circ$ ölçülmüştür.

- Hazırlanan SLIPs yüzeylerin anti-bakteriyel özellikleri incelenmiştir. SLIP'lerin yüzeyi Staphylococcus aureus ve Escherichia coli ile 24 saat sonunda hiçbir bakteri tutunmadan %100 anti-bakteriyel özellik göstermiştir.
- Sonuç olarak bu tez kapsamında; doğaya ve insan sağlığına zararsız hazırlanışı kolay, düşük maliyetli, yüksek mekanik dayanım, yüksek şeffaflık, kimyasal/ fiziksel/ mekanik stabiliteye sahip, tekrar kullanılabilir, kir tutmayan ve anti-bakteriyel SLIPs yüzeyler başarı ile hazırlanmıştır. Bu kaplamalar; güneş panelleri, ev ve araba camları, uçak endüstrisinde ve çoğu endüstride özellikle şeffaflığın, mekanik dayanımın, buzlanma geciktiricinin ve kendi kendini temizleyebilme özelliğinin önemli olan alanlarda uygulaması beklenmektedir.





KAYNAKLAR

- Ahmad, D., van den Boogaert, I., Miller, J., Presswell, R., & Jouhara, H. (2018). Hydrophilic and hydrophobic materials and their applications. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 40(22), 2686–2725. doi:10.1080/15567036.2018.1511642
- Ahmad, I., & Kan, C. W. (2016). A Review on Development and Applications of Bio-Inspired Superhydrophobic Textiles. *Materials*, 9(11). doi:10.3390/ma9110892
- Allahdini, A., Jafari, R., & Momen, G. (2022). Transparent non-fluorinated superhydrophobic coating with enhanced anti-icing performance. *Progress in Organic Coatings*, 165(February), 106758. doi:10.1016/j.porgcoat.2022.106758
- Aluyor, E. O., & Ori-jesu, M. (2009). Biodegradation of mineral oils - A review. *African Journal of Biotechnology*, 8(6), 915–920.
- Ammar, Y., Swailes, D., Bridgens, B., & Chen, J. (2015). Surface & Coatings Technology Influence of surface roughness on the initial formation of bio film, 284, 410–416. doi:10.1016/j.surfcoat.2015.07.062
- Artus, G. R. J., Jung, S., Zimmermann, J., Gautschi, H. P., Marquardt, K., & Seeger, S. (2006). Silicone nanofilaments and their application as superhydrophobic coatings. *Advanced Materials*, 18(20), 2758–2762. doi:10.1002/adma.200502030
- Barnhill, W. C., Qu, J., Luo, H., Meyer, H. M., Ma, C., Chi, M., & Papke, B. L. (2014). Phosphonium-organophosphate ionic liquids as lubricant additives: Effects of cation structure on physicochemical and tribological characteristics. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(24), 22585–22593. doi:10.1021/am506702u
- Barthlott, W., & Neinhuis, C. (1997). Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. *Planta*, 202(1), 1–8. doi:10.1007/s004250050096
- Bartz, W. J. (1978). Tribology, lubricants and lubrication engineering - a review. *Wear*, 49(1), 1–18. doi:10.1016/0043-1648(78)90019-4
- Bauer, U., Bohn, H. F., & Federle, W. (2008). Harmless nectar source or deadly trap: Nepenthes pitchers are activated by rain, condensation and nectar. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1632), 259–265. doi:10.1098/rspb.2007.1402
- Bellini, M., Bianchi, S., Zaccheria, F., & Ravasio, N. (2021). Vegetable oils as Triple Bottom Line compliant lubricants. *Tribology International*, 161(February), 107103. doi:10.1016/j.triboint.2021.107103
- Bi, Y., Xia, G., Shi, C., Wan, J., Liu, L., Chen, Y., ... Liu, R. (2021). Therapeutic strategies against bacterial biofilms. *Fundamental Research*, 1(2), 193–212. doi:10.1016/j.fmre.2021.02.003
- Bjelobrk, N., Girard, H. L., Subramanyam, S. B., Kwon, H. M., Quéré, D., & Varanasi, K. K. (2016). Thermocapillary motion on lubricant-impregnated surfaces. *Physical Review Fluids*, 1(6), 1–7. doi:10.1103/PhysRevFluids.1.063902
- Bohn, H. F., & Federle, W. (2004). Insect aquaplaning: Nepenthes pitcher plants capture prey with the peristome, a fully wettable water-lubricated anisotropic surface. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(39), 14138–14143. doi:10.1073/pnas.0405885101
- Bonn, D., Eggers, J., Indekeu, J., & Meunier, J. (2009). Wetting and spreading. *Reviews of Modern Physics*, 81(2), 739–805. doi:10.1103/RevModPhys.81.739
- Bormashenko, E. (2013). Wetting of real solid surfaces: New glance on well-known

- problems. *Colloid and Polymer Science*, 291(2), 339–342. doi:10.1007/s00396-012-2778-8
- Cai, C., Sang, N., Teng, S., Shen, Z., Guo, J., Zhao, X., & Guo, Z. (2016). Superhydrophobic surface fabricated by spraying hydrophobic R974 nanoparticles and the drag reduction in water. *Surface and Coatings Technology*, 307, 366–373. doi:10.1016/j.surfcoat.2016.09.009
- Cai, Z., Wen, J., Wang, R., Peng, C., Li, X., Li, Z., & Kang, Z. (2023). Characteristics of tungsten coating on silicon particles prepared by sol-gel method. *Materials Chemistry and Physics*, 305(January), 127942. doi:10.1016/j.matchemphys.2023.127942
- Chen, K., Zhao, B., Dai, S., Wang, G., Cui, J., Zhao, D., ... Qiu, H. (2023). Facile fabrication of transparent slippery coatings with dual self-healing ability. *Applied Surface Science*, 639(April), 158207. doi:10.1016/j.apsusc.2023.158207
- Chen, Y., Zhang, Y., Shi, L., Li, J., Xin, Y., Yang, T., & Guo, Z. (2012). Transparent superhydrophobic/superhydrophilic coatings for self-cleaning and anti-fogging. *Applied Physics Letters*, 101(3). doi:10.1063/1.4737167
- Commentary, G. (2014). Definitions for Hydrophilicity, Hydrophobicity, and Superhydrophobicity: Getting the Basics Right, 686–688.
- Corral, M. Y. M., Alvarez, D. E., & Poon, W. (2024). advances. *Current Opinion in Biotechnology*, 85, 103042. doi:10.1016/j.copbio.2023.103042
- De Leon, A. C. C., Pernites, R. B., & Advincula, R. C. (2012). Superhydrophobic colloidal textured polythiophene film as superior anticorrosion coating. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 4(6), 3169–3176. doi:10.1021/am300513e
- Demirbas, A. (2008). Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. *Fuel*, 87(8–9), 1743–1748. doi:10.1016/j.fuel.2007.08.007
- Deng, R., Shen, T., Chen, H., Lu, J., Yang, H. C., & Li, W. (2020). Slippery liquid-infused porous surfaces (SLIPSs): A perfect solution to both marine fouling and corrosion? *Journal of Materials Chemistry A*, 8(16), 7536–7547. doi:10.1039/d0ta02000a
- Deng, X., Mammen, L., Zhao, Y., Lellig, P., Müllen, K., Li, C., ... Vollmer, D. (2011). Transparent, thermally stable and mechanically robust superhydrophobic surfaces made from porous silica capsules. *Advanced Materials*, 23(26), 2962–2965. doi:10.1002/adma.201100410
- Dong, Z., Schumann, M. F., Hokkanen, M. J., Chang, B., Welle, A., Zhou, Q., ... Levkin, P. A. (2018). Superoleophobic Slippery Lubricant-Infused Surfaces: Combining Two Extremes in the Same Surface. *Advanced Materials*, 30(45), 1–7. doi:10.1002/adma.201803890
- Ellinas, K., Tserepi, A., & Gogolides, E. (2017). Durable superhydrophobic and superamphiphobic polymeric surfaces and their applications: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 250, 132–157. doi:10.1016/j.cis.2017.09.003
- Epstein, A. K., Wong, T. S., Belisle, R. A., Boggs, E. M., & Aizenberg, J. (2012). Liquid-infused structured surfaces with exceptional anti-biofouling performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(33), 13182–13187. doi:10.1073/pnas.1201973109
- Erbil, H. Y. (2016). Improvement of lubricant-infused surfaces for anti-icing applications. *Surface Innovations*, 4(4), 214–217. doi:10.1680/jsuin.16.00026
- Fu, H., Bing, W., & Liu, X. (2024). Progress in Organic Coatings Intelligent antibacterial surface with controllable sterilization and bacteria-releasing ability. *Progress in Organic Coatings*, 187(October 2023), 108105.

doi:10.1016/j.porgcoat.2023.108105

- Gao, Xiaoyu, & Guo, Z. (2018). Mechanical stability, corrosion resistance of superhydrophobic steel and repairable durability of its slippery surface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 512, 239–248. doi:10.1016/j.jcis.2017.10.061
- Gao, Xuefeng, Yan, X., Yao, X., Xu, L., Zhang, K., Zhang, J., ... Jiang, L. (2007). The dry-style antifogging properties of mosquito compound eyes and artificial analogues prepared by soft lithography. *Advanced Materials*, 19(17), 2213–2217. doi:10.1002/adma.200601946
- Georgakopoulos-Soares, I., Papazoglou, E. L., Karmiris-Obratański, P., Karkalos, N. E., & Markopoulos, A. P. (2023). Surface antibacterial properties enhanced through engineered textures and surface roughness: A review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 231(October). doi:10.1016/j.colsurfb.2023.113584
- Gnedenkova, S. V., Sinebryukhov, S. L., Egorkin, V. S., & Vyalyi, I. E. (2016). Wettability and electrochemical properties of the highly hydrophobic coatings on PEO-pretreated aluminum alloy. *Surface and Coatings Technology*, 307, 1241–1248. doi:10.1016/j.surfcoat.2016.07.074
- Guggenheim, s., & Martin, R. T. (1995). Definition of clay and clay mineral: joint report of the AIPEA and CMS Nomenclature Committees. *Clay Minerals*, 30(3), 257–259. doi:10.1180/claymin.1995.030.3.09
- Hao, L., Jiang, R., Gao, J., Xu, J. ning, Tian, L., Zhang, X., ... Ren, L. (2022). Metal-organic framework (MOF)-based slippery liquid-infused porous surface (SLIPS) for purely physical antibacterial applications. *Applied Materials Today*, 27, 101430. doi:10.1016/j.apmt.2022.101430
- Hartmann, J., Lauerwald, R., & Moosdorf, N. (2014). A Brief Overview of the GLObal River Chemistry Database, GLORICH. *Procedia Earth and Planetary Science*, 10, 23–27. doi:10.1016/j.proeps.2014.08.005
- He, T., Wang, Y., Zhang, Y., lv, Q., Xu, T., & Liu, T. (2009). Super-hydrophobic surface treatment as corrosion protection for aluminum in seawater. *Corrosion Science*, 51(8), 1757–1761. doi:10.1016/j.corsci.2009.04.027
- Huang, C., & Guo, Z. (2019). Fabrications and Applications of Slippery Liquid-infused Porous Surfaces Inspired from Nature: A Review. *Journal of Bionic Engineering*, 16(5), 769–793. doi:10.1007/s42235-019-0096-2
- Ipekci, H. H., Arkaz, H. H., Onses, M. S., & Hancer, M. (2016). Superhydrophobic coatings with improved mechanical robustness based on polymer brushes. *Surface and Coatings Technology*, 299, 162–168. doi:10.1016/j.surfcoat.2016.05.026
- Irajizad, P., Hasnain, M., Farokhnia, N., Sajadi, S. M., & Ghasemi, H. (2016). Magnetic slippery extreme icephobic surfaces. *Nature Communications*, 7(May), 1–7. doi:10.1038/ncomms13395
- Jamil, M. I., Song, L., Zhu, J., Ahmed, N., Zhan, X., Chen, F., ... Zhang, Q. (2020). Facile approach to design a stable, damage resistant, slippery, and omniphobic surface. *RSC Advances*, 10(33), 19157–19168. doi:10.1039/d0ra01786h
- Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., Britto Joseph, G., Durairaj, R. B., & Mageshwaran, G. (2018). Superhydrophobic surfaces: a review on fundamentals, applications, and challenges. *Journal of Coatings Technology and Research*, 15(2), 231–250. doi:10.1007/s11998-017-0011-x
- Jin, B., Liu, M., Zhang, Q., Zhan, X., & Chen, F. (2017). Silicone Oil Swelling Slippery Surfaces Based on Mussel-Inspired Magnetic Nanoparticles with Multiple Self-Healing Mechanisms. doi:10.1021/acs.langmuir.7b02691

- Jing, X., & Guo, Z. (2019). Fabrication of biocompatible super stable lubricant-immobilized slippery surfaces by grafting a polydimethylsiloxane brush: Excellent boiling water resistance, hot liquid repellency and long-term slippery stability. *Nanoscale*, 11(18), 8870–8881. doi:10.1039/c9nr01556f
- JOHNSON, R. E., & DETTRE, R. H. (1964). Contact Angle Hysteresis, 112–135. doi:10.1021/ba-1964-0043.ch007
- Jothi Prakash, C. G., & Prasanth, R. (2021). Approaches to design a surface with tunable wettability: a review on surface properties. *Journal of Materials Science*, 56(1), 108–135. doi:10.1007/s10853-020-05116-1
- Kim, H., Sohn, S., & Sun, J. (2013). Surface & Coatings Technology Transparent and super-hydrophobic properties of PTFE films coated on glass substrate using RF-magnetron sputtering and Cat-CVD methods. *Surface & Coatings Technology*, 228, S389–S392. doi:10.1016/j.surfcoat.2012.05.085
- Koishi, T., Yasuoka, K., Fujikawa, S., Ebisuzaki, T., & Xiao, C. Z. (2009). Coexistence and transition between Cassie and Wenzel state on pillared hydrophobic surface. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(21), 8435–8440. doi:10.1073/pnas.0902027106
- Labonte, D., Robinson, A., Bauer, U., & Federle, W. (2021). Disentangling the role of surface topography and intrinsic wettability in the prey capture mechanism of *Nepenthes* pitcher plants. *Acta Biomaterialia*, 119, 225–233. doi:10.1016/j.actbio.2020.11.005
- Lee, Y., Chung, Y. W., Park, J., Park, K., Seo, Y., Hong, S. N., ... Seo, J. (2020). Lubricant-infused directly engraved nano-microstructures for mechanically durable endoscope lens with anti-biofouling and anti-fogging properties. *Scientific Reports*, 10(1), 1–11. doi:10.1038/s41598-020-74517-8
- Li, Jianjun, Cao, J., Wei, Z., Yang, M., Yin, W., Yu, K., ... Leng, J. (2014). Electrospun silica/naion hybrid products: Mechanical property improvement, wettability tuning and periodic structure adjustment. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(39), 16569–16576. doi:10.1039/c4ta03183k
- Li, Junsheng, Kleintschek, T., Rieder, A., Cheng, Y., Baumbach, T., Obst, U., ... Levkin, P. A. (2013). Hydrophobic liquid-infused porous polymer surfaces for antibacterial applications. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 5(14), 6704–6711. doi:10.1021/am401532z
- Li, K., Zeng, X., Lai, X., & Chai, S. (2017). Study on the anti-abrasion resistance of superhydrophobic coatings based on fluorine-containing acrylates with different: Tg and SiO₂. *RSC Advances*, 7(75), 47738–47745. doi:10.1039/c7ra07865j
- Li, M., Liu, N., Chen, J., & Li, Q. (2019). Simple construction based on epoxy-bonded super-hydrophobic anti-corrosion coating. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 95, 682–691. doi:10.1016/j.jtice.2018.10.016
- Li, S., Zhao, F., Bai, Y., Ye, Z., Feng, Z., Liu, X., ... Huang, P. (2022). Slippery liquid-infused microphase separation surface enables highly robust anti-fouling, anti-corrosion, anti-icing and anti-scaling coating on diverse substrates. *Chemical Engineering Journal*, 431(P1), 133945. doi:10.1016/j.cej.2021.133945
- Lisd, S. C. (1949). S E W Books, 1017.
- Liu, C., Su, F., & Liang, J. (2014). Facile fabrication of a robust and corrosion resistant superhydrophobic aluminum alloy surface by a novel method. *RSC Advances*, 4(98), 55556–55564. doi:10.1039/c4ra09390a
- Liu, K., Yao, X., & Jiang, L. (2010). Recent developments in bio-inspired special wettability. *Chemical Society Reviews*, 39(8), 3240–3255. doi:10.1039/b917112f

- Liu, M., Mao, T., Zhang, Y., Wu, X., Liu, F., Yang, H., ... Wang, Z. (2017). General Water-Based Strategy for the Preparation of Superhydrophobic Coatings on Smooth Substrates. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 56(46), 13783–13790. doi:10.1021/acs.iecr.7b04105
- Liu, X., Gu, H., Wang, M., Du, X., Gao, B., Elbaz, A., ... Gu, Z. (2018). 3D Printing of Bioinspired Liquid Superrepellent Structures. *Advanced Materials*, 30(22), 1–8. doi:10.1002/adma.201800103
- Liu, Z., Wang, H., Zhang, X., Wang, C., Lv, C., & Zhu, Y. (2017). Durable and self-healing superhydrophobic surface with bistratal gas layers prepared by electrospinning and hydrothermal processes. *Chemical Engineering Journal*, 326, 578–586. doi:10.1016/j.cej.2017.05.142
- Luo, Q., Peng, J., Chen, X., Zhang, H., Deng, X., Jin, S., & Zhu, H. (2022). Recent Advances in Multifunctional Mechanical–Chemical Superhydrophobic Materials. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10(July), 1–19. doi:10.3389/fbioe.2022.947327
- Lv, J., Song, Y., Jiang, L., & Wang, J. (2014). Bio-inspired strategies for anti-icing. *ACS Nano*, 8(4), 3152–3169. doi:10.1021/nn406522n
- Lv, P., Zhang, Y. L., Han, D. D., & Sun, H. B. (2021). Directional Droplet Transport on Functional Surfaces with Superwettabilities. *Advanced Materials Interfaces*, 8(12), 1–19. doi:10.1002/admi.202100043
- Lv, X., Zhang, L., Xing, F., & Lin, H. (2016). Controlled synthesis of monodispersed mesoporous silica nanoparticles: Particle size tuning and formation mechanism investigation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 225, 238–244. doi:10.1016/j.micromeso.2015.12.024
- M. Isabel Carretero. (2002). Clay minerals and their beneficial effects upon human health: A review. *Applied Clay Science*, 21, 155–163.
- Mahadi, M. A., Choudhury, I. A., Azuddin, M., Yusoff, N., Yazid, A. A., & Norhafizan, A. (2019). Vegetable Oil-Based Lubrication in Machining: Issues and Challenges. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 530(1). doi:10.1088/1757-899X/530/1/012003
- Miguel, S., Hehn, A., & Bourgaud, F. (2018). Nepenthes: State of the art of an inspiring plant for biotechnologists. *Journal of Biotechnology*, 265(November 2017), 109–115. doi:10.1016/j.jbiotec.2017.11.014
- Murugesan, S., & Scheibel, T. (2020). Copolymer/Clay Nanocomposites for Biomedical Applications. *Advanced Functional Materials*, 30(17). doi:10.1002/adfm.201908101
- Mylona, S. K., Assael, M. J., Karagiannidis, L., Jannakoudakis, P. D., & Wakeham, W. A. (2015). Measurements of the viscosity of krytox GPL102 oil in the temperature range (282 to 364) K and up to 20 MPa. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 60(12), 3539–3544. doi:10.1021/acs.jced.5b00421
- Nath, S., Ahmadi, S. F., & Boreyko, J. B. (2017). A Review of Condensation Frosting. *Nanoscale and Microscale Thermophysical Engineering*, 21(2), 81–101. doi:10.1080/15567265.2016.1256007
- Nooney, R. I., Kalyanaraman, M., Kennedy, G., & Maginn, E. J. (2001). Heavy metal remediation using functionalized mesoporous silicas with controlled macrostructure. *Langmuir*, 17(2), 528–533. doi:10.1021/la000720j
- Nosonovsky, M., & Bhushan, B. (2005). Roughness optimization for biomimetic superhydrophobic surfaces. *Microsystem Technologies*, 11(7), 535–549. doi:10.1007/s00542-005-0602-9

- Park, C., Kim, T., Kim, Y. Il, Lee, M. W., An, S., & Yoon, S. S. (2021). Supersonically sprayed transparent flexible multifunctional composites for self-cleaning, anti-icing, anti-fogging, and anti-bacterial applications. *Composites Part B: Engineering*, 222(March), 109070. doi:10.1016/j.compositesb.2021.109070
- Parker, A. R., & Lawrence, C. R. (2001). Some beetles in the Namib Desert collect drinking water from fog-laden wind on their backs. *Nature*, 414(November), 33–34.
- Peppou-Chapman, S., Hong, J. K., Waterhouse, A., & Neto, C. (2020). Life and death of liquid-infused surfaces: A review on the choice, analysis and fate of the infused liquid layer. *Chemical Society Reviews*, 49(11), 3688–3715. doi:10.1039/d0cs00036a
- Prakash, C. G. J., & Prasanth, R. (2020). Recent trends in fabrication of nepenthes inspired SLIPs: Design strategies for self-healing efficient anti-icing surfaces. *Surfaces and Interfaces*, 21(September), 100678. doi:10.1016/j.surfin.2020.100678
- Qi, C., Chen, H., Sun, Y., Fu, Q., Shen, L., Li, X., & Liu, Y. (2020). Facile synthesis and anti-icing performance of superhydrophobic flower-like OTS-SiO₂ with tunable size. *Advanced Powder Technology*, 31(11), 4533–4540. doi:10.1016/j.appt.2020.09.029
- Qiu, S., Yang, B., Zhang, N., Zhang, H., Li, H., & Chen, B. (2023). Enhanced durability and self-healing properties of palygorskite-based superhydrophobic coatings. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 663(January), 130981. doi:10.1016/j.colsurfa.2023.130981
- Riveiro, A., Maçon, A. L. B., del Val, J., Comesaña, R., & Pou, J. (2018). Laser surface texturing of polymers for biomedical applications. *Frontiers in Physics*, 5(FEB). doi:10.3389/fphy.2018.00016
- Roach, P., Shirtcliffe, N. J., & Newton, M. I. (2008). Progress in superhydrophobic surface development. *Soft Matter*, 4(2), 224. doi:10.1039/b712575p
- Rubbi, F., Zhang, X., Delzendehrooy, F., Mao, B., Nian, Q., Dumanidis, C. C., & Liao, Y. (2023). Chemical etching enhanced nanosecond pulsed laser micromachining: An experimental and numerical investigation. *Journal of Manufacturing Processes*, 108(October), 384–394. doi:10.1016/j.jmapro.2023.11.017
- Ruzicka, B., & Zaccarelli, E. (2011). A fresh look at the Laponite phase diagram. *Soft Matter*, 7(4), 1268–1286. doi:10.1039/c0sm00590h
- S, S. K., Hiremath, S. S., Ramachandran, B., & Muthuvijayan, V. (2019). Biotribology Effect of Surface Finish on Wettability and Bacterial Adhesion of Micromachined Biomaterials, 18(April). doi:10.1016/j.biotri.2019.100095
- Saha, D., Bandyopadhyay, R., & Joshi, Y. M. (2015). Dynamic Light Scattering Study and DLVO Analysis of Physicochemical Interactions in Colloidal Suspensions of Charged Disks. *Langmuir*, 31(10), 3012–3020. doi:10.1021/acs.langmuir.5b00291
- Sandri, G., Bonferoni, M. C., Rossi, S., Ferrari, F., Aguzzi, C., Viseras, C., & Caramella, C. (2016). *Clay minerals for tissue regeneration, repair, and engineering. Wound Healing Biomaterials* (C. 2). Elsevier Ltd. doi:10.1016/B978-1-78242-456-7.00019-2
- Sett, S., Yan, X., Barac, G., Bolton, L. W., & Miljkovic, N. (2017). Lubricant-Infused Surfaces for Low-Surface-Tension Fluids: Promise versus Reality. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(41), 36400–36408. doi:10.1021/acsami.7b10756

- Shang, Q., & Zhou, Y. (2016). Fabrication of transparent superhydrophobic porous silica coating for self-cleaning and anti-fogging. *Ceramics International*, 42(7), 8706–8712. doi:10.1016/j.ceramint.2016.02.105
- Shi, B., Liu, Q., Gao, Y., Wu, J., & Chen, J. (2023). Analysis of the cohesion/adhesion proportion around bitumen-mineral failure interface under tensile loading. *Construction and Building Materials*, 399(April), 132555. doi:10.1016/j.conbuildmat.2023.132555
- Shirtcliffe, N. (2008). *Surface Chemistry of Solid and Liquid Interfaces*. By H. Y. Erbil. *ChemPhysChem* (C. 9). doi:10.1002/cphc.200700726
- Si, Y., Dong, Z., & Jiang, L. (2018). Bioinspired Designs of Superhydrophobic and Superhydrophilic Materials. *ACS Central Science*, 4(9), 1102–1112. doi:10.1021/acscentsci.8b00504
- Siam, J. (1989). A liquid, 49(4), 1009–1028.
- Simpson, J. T., Hunter, S. R., & Aytug, T. (2015). Superhydrophobic materials and coatings: A review. *Reports on Progress in Physics*, 78(8). doi:10.1088/0034-4885/78/8/086501
- Singh, Y., Farooq, A., Raza, A., Mahmood, M. A., & Jain, S. (2017). Sustainability of a non-edible vegetable oil based bio-lubricant for automotive applications: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 111, 701–713. doi:10.1016/j.psep.2017.08.041
- Somers, A. E., Howlett, P. C., MacFarlane, D. R., & Forsyth, M. (2013). A review of ionic liquid lubricants. *Lubricants*, 1(1), 3–21. doi:10.3390/lubricants1010003
- Street, K. W., Marchetti, M., Vander Wal, R. L., & Tomasek, A. J. (2004). Evaluation of the tribological behavior of nano-onions in Krytox 143AB. *Tribology Letters*, 16(1–2), 143–149. doi:10.1023/b:tril.0000009724.01711.f4
- Tawari, S. L., Koch, D. L., & Cohen, C. (2001). Electrical double-layer effects on the Brownian diffusivity and aggregation rate of Laponite clay particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 240(1), 54–66. doi:10.1006/jcis.2001.7646
- Teisala, H., Baumli, P., Weber, S. A. L., Vollmer, D., & Butt, H. (2020). Grafting Silicone at Room Temperature □ a Transparent, Scratch- resistant Nonstick Molecular Coating. doi:10.1021/acs.langmuir.9b03223
- Tomás, H., Alves, C. S., & Rodrigues, J. (2018). Laponite®: A key nanoplatform for biomedical applications? *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 14(7), 2407–2420. doi:10.1016/j.nano.2017.04.016
- Tuo, Y., Zhang, H., Liu, X., & Song, K. (2021). Drag reduction with different liquids on slippery liquid-infused porous surface. *Surface Engineering*, 37(10), 1215–1222. doi:10.1080/02670844.2020.1840757
- Villegas, M., Cetinic, Z., Shakeri, A., & Didar, T. F. (2018). Analytica Chimica Acta Fabricating smooth PDMS micro fluidic channels from low-resolution 3D printed molds using an omniphobic lubricant-infused coating. *Analytica Chimica Acta*, 1000, 248–255. doi:10.1016/j.aca.2017.11.063
- Volpe, A. (2019). Anti-Icing Surfaces, (i).
- Volpe, A., Gaudioso, C., & Ancona, A. (2020). Laser fabrication of anti-icing surfaces: A review. *Materials*, 13(24), 1–24. doi:10.3390/ma13245692
- Wang, F. J., Lei, S., Ou, J. F., Xue, M. S., & Li, W. (2013). Superhydrophobic surfaces with excellent mechanical durability and easy repairability. *Applied Surface Science*, 276, 397–400. doi:10.1016/j.apsusc.2013.03.104
- Wang, H., Cao, P., Xu, S., Cui, G., Chen, Z., & Yin, Q. (2024). Jo ur na l P re r f. *HELIYON*, e32319. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e32319

- Wang, Q., Sun, G., Tong, Q., Yang, W., & Hao, W. (2021). Fluorine-free superhydrophobic coatings from polydimethylsiloxane for sustainable chemical engineering: Preparation methods and applications. *Chemical Engineering Journal*, 426(February), 130829. doi:10.1016/j.cej.2021.130829
- Wang, Xiangzhao, Huang, X., Ji, Z., Hu, W., Sheng, H., & Li, X. (2023). Self-healing icephobic coating with UV shielding and removability based on biobased epoxy and reversible disulfide bonds. *Polymer*, 283(March), 126274. doi:10.1016/j.polymer.2023.126274
- Wang, Xiaobo, Huang, J., & Guo, Z. (2022). Overview of the development of slippery surfaces: Lubricants from presence to absence. *Advances in Colloid and Interface Science*, 301(January), 102602. doi:10.1016/j.cis.2022.102602
- Wang, Y., Lin, F., Peng, J., Dong, Y., Li, W., & Huang, Y. (2016). A robust bilayer nanofilm fabricated on copper foam for oil-water separation with improved performances. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(26), 10294–10303. doi:10.1039/c6ta02021f
- Wei, C., Zhang, G., Zhang, Q., Zhan, X., & Chen, F. (2016). Silicone Oil-Infused Slippery Surfaces Based on Sol-Gel Process-Induced Nanocomposite Coatings: A Facile Approach to Highly Stable Bioinspired Surface for Biofouling Resistance. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(50), 34810–34819. doi:10.1021/acsami.6b09879
- Wei, T., Qu, Y., Zou, Y., Zhang, Y., & Yu, Q. (2021). Exploration of smart antibacterial coatings for practical applications. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 34, 100727. doi:10.1016/j.coche.2021.100727
- Wenzel, R. N. (1936). Resistance of solid surfaces to wetting by water. *Industrial and Engineering Chemistry*, 28(8), 988–994. doi:10.1021/ie50320a024
- Wong, T. S., Kang, S. H., Tang, S. K. Y., Smythe, E. J., Hatton, B. D., Grinthal, A., & Aizenberg, J. (2011). Bioinspired self-repairing slippery surfaces with pressure-stable omniphobicity. *Nature*, 477(7365), 443–447. doi:10.1038/nature10447
- Wu, D., Wang, J. N., Wu, S. Z., Chen, Q. D., Zhao, S., Zhang, H., ... Jiang, L. (2011). Three-level biomimetic rice-leaf surfaces with controllable anisotropic sliding. *Advanced Functional Materials*, 21(15), 2927–2932. doi:10.1002/adfm.201002733
- Wu, J., Bai, H. X., Chan, L., Su, C., Zhang, P. J., Yang, L., & Zhang, Z. (2020). Sublobar resection compared with stereotactic body radiation therapy and ablation for early stage non-small cell lung cancer: A National Cancer Database study. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 160(5), 1350-1357.e11. doi:10.1016/j.jtcvs.2019.11.132
- Xia, L., Zhang, S., & Guo, Z. (2023). Multifunction of Biomimetic Liquid Infused Systems Derived from SLIPS Theory: A Review. *Advanced Materials Interfaces*, 10(9). doi:10.1002/admi.202202212
- Xiao, X., Xie, W., & Ye, Z. (2019). Preparation of corrosion-resisting superhydrophobic surface on aluminium substrate. *Surface Engineering*, 35(5), 411–417. doi:10.1080/02670844.2018.1433775
- Yang, H., Zhang, X., Cai, Z. Q., Pi, P., Zheng, D., Wen, X., ... Yang, Z. ru. (2011). Functional silica film on stainless steel mesh with tunable wettability. *Surface and Coatings Technology*, 205(23–24), 5387–5393. doi:10.1016/j.surfcoat.2011.05.049
- Yang, Z., Liu, X., & Tian, Y. (2020). A contrastive investigation on anticorrosive

- performance of laser-induced super-hydrophobic and oil-infused slippery coatings. *Progress in Organic Coatings*, 138(June 2019), 105313. doi:10.1016/j.porgcoat.2019.105313
- Yao, W., Wu, L., Sun, L., Jiang, B., & Pan, F. (2022). Recent developments in slippery liquid-infused porous surface. *Progress in Organic Coatings*, 166(February), 106806. doi:10.1016/j.porgcoat.2022.106806
- Yong, J., Chen, F., Yang, Q., Huo, J., & Hou, X. (2017). Superoleophobic surfaces. *Chemical Society Reviews*, 46(14), 4168–4217. doi:10.1039/c6cs00751a
- Yu, A., He, S., Fu, F., & Guo, Z. (2024). Materials Today Sustainability Solid-like slippery surface for anti-icing and efficient fog collection. *Materials Today Sustainability*, 26(February), 100754. doi:10.1016/j.mtsust.2024.100754
- Yu, M., Liu, M., Hou, Y., Fu, S., Zhang, L., Li, M., & Wang, D. (2020). Facile fabrication of biomimetic slippery lubricant-infused transparent and multifunctional omniphobic surfaces. *Journal of Materials Science*, 55(10), 4225–4237. doi:10.1007/s10853-019-04243-8
- Yuan, S., Peng, J., Zhang, X., Lin, D., Geng, H., Han, B., ... Wang, H. (2021). A mechanically robust slippery surface with ‘corn-like’ structures fabricated by in-situ growth of TiO₂ on attapulgite. *Chemical Engineering Journal*, 415(February), 128953. doi:10.1016/j.cej.2021.128953
- Zaera, F. (2011). Surface chemistry at the liquid/solid interface. *Surface Science*, 605(13–14), 1141–1145. doi:10.1016/j.susc.2011.04.021
- Zhang, C., Kalulu, M., Sun, S., Jiang, P., Zhou, X., & Wei, Y. (2019). Environmentally safe , durable and transparent superhydrophobic coating prepared by one-step spraying. *Colloids and Surfaces A*, 570(December 2018), 147–155. doi:10.1016/j.colsurfa.2019.03.015
- Zhang, F., Shi, Z., Chen, L., Jiang, Y., Xu, C., Wu, Z., ... Peng, C. (2017). Porous superhydrophobic and superoleophilic surfaces prepared by template assisted chemical vapor deposition. *Surface and Coatings Technology*, 315, 385–390. doi:10.1016/j.surfcoat.2017.02.058
- Zhang, J., Gu, C., & Tu, J. (2017). Robust Slippery Coating with Superior Corrosion Resistance and Anti-Icing Performance for AZ31B Mg Alloy Protection. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(12), 11247–11257. doi:10.1021/acsami.7b00972
- Zhang, K., Li, H., Xin, L., Li, P., & Sun, W. (2023). Engulfed small Wenzel droplets on hierarchically structured superhydrophobic surface by large Cassie droplets: Experiments and molecular dynamics simulations. *Applied Surface Science*, 608(September 2022), 155000. doi:10.1016/j.apsusc.2022.155000
- Zhang, L., Zhang, J., Wei, W., & Zhang, Y. (2019). Learning Discriminative Compact Representation for Hyperspectral Imagery Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(10), 8276–8289. doi:10.1109/TGRS.2019.2919938
- Zhao, X., Park, D. S., Choi, J., Park, S., Soper, S. A., & Murphy, M. C. (2020). Robust, transparent, superhydrophobic coatings using novel hydrophobic/hydrophilic dual-sized silica particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 574, 347–354. doi:10.1016/j.jcis.2020.04.065
- Zhou, F., Liang, Y., & Liu, W. (2009). Ionic liquid lubricants: Designed chemistry for engineering applications. *Chemical Society Reviews*, 38(9), 2590–2599. doi:10.1039/b817899m



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAĞLAR, Büşra Nur
Uyruğu : T.C.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Ankara Hacıbayram Veli Üniversitesi / Kimya Anabilim Dalı	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi Polatlı Fen Edebiyat Fakültesi / Kimya	2020
Lise	Halide Edip Lisesi	2015

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-	-	-

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Araştırma yapmak, seyahat etmek.



