

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYGANLAŞTIRICI SIVI EMDİRİLMİŞ, GÖZENEKLİ
KAYGAN YÜZEYLER (SLIPS) ÜZERİNDE DAMLA
BUHARLAŞMASININ İNCELENMESİ**

**RANA ÜÇÜNCÜOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE
2020**

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYGANLAŞTICI SIVI EMDİRİLMİŞ,
GÖZENEKLİ KAYGAN YÜZEYLER (SLIPS)
ÜZERİNDE DAMLA BUHARLAŞMASININ
İNCELENMESİ**

RANA ÜÇÜNCÜOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. HÜSNÜ YILDIRIM ERBİL

GEBZE
2020

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**INVESTIGATION OF EVAPORATION OF
SESSILE DROPLETS ON SLIPPERY
LUBRICANT-INFUSED POROUS
SURFACES (SLIPS)**

RANA ÜÇÜNCÜOĞLU
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. HÜSNÜ YILDIRIM ERBİL

GEBZE
2020

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15/01/2020 tarih ve 2020/04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 23/01/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Rana Üçüncüoğlu'nun tez çalışması Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof.Dr.H. Yıldırım Erbil

ÜYE

:Prof.Dr. Oğuz Okay

ÜYE

:Doç.Dr. Rezan Demir Çakan

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

“Kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş, gözenekli kaygan yüzeyler” (slippery lubricant-infused porous surface = SLIPS) ilk kez Aizenberg grubu tarafından 2011’de Harvard Üniversitesinde geliştirilmiştir. SLIPS’lerin sahip oldukları ıslatmama (non-wetting) performansları ile geleneksel süperhidrofob yüzeylere iyi birer alternatif oluşturacakları düşünülmektedir. SLIPS’lerdeki katı alt tabaka, eğer uygun bir mikro/nano dokuya sahipse o zaman, fazla uçucu olmayan ve suyla karışmayan kaydırıcı sıvıları uzun süre üzerinde tutabilir. Bir su damlası SLIPS’e yerleştirildiğinde verdiği düşük temas açısı karmaşası (CAH), düşük kayma açısı, anti-buzlanma ve anti-kirlenme, dış basınca dayanıklılık gibi özellikler SLIPS yüzeyleri birçok uygulama açısından ümit verici kılmaktadır.

Yüzey topografisinin SLIPS ve üzerindeki su damlası buharlaşması özelliklerine etkisinin incelendiği bu tez çalışmasında, farklı mikron boyutta ve farklı desen geometrisine sahip silikon plakalar (Si-wafer) alt tabaka olarak kullanılmıştır. Kaydırıcı sıvı emdirilmeden önce, bu desenli plakaların yüzeyleri DMDCS (dimetildiklorosilan) ile hidrofobize edilmiştir. Ardından farklı kinematik viskoziteye sahip kaydırıcı silikon yağları kullanılarak (20 cst. ve 350 cst.) SLIPS’ler elde edilmiştir. SLIPS yüzeyler üzerine konulan bir su damlasının buharlaşması, bağıl nemi 54 ± 1 ve ortam sıcaklığı 25 ± 1 °C’de sabit tutulan kapalı bir hücre içinde takip edilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda, SLIPS yüzeylerde altta yatan katı desen geometrisinin, ıslatma eteğinin yüksekliğini etkilediği ve kullanılan silikon plakaların $r_w(\text{geo})$, L_F ve s/d oranı gibi parametreleri arttıkça etek yüksekliğinin azaldığı görülmüştür. Emdirme işlemi için kullanılan silikon yağı miktarı ve viskozitesi arttıkça etek yüksekliğinin arttığı belirlenmiştir. Etek yüksekliğinin ise, damla buharlaşmasına doğrudan etkisi olduğu ve etek yüksekliğindeki artışın, damla buharlaşması için gerekli olan alanı kısıtlayarak, damla buharlaşmasına negatif etkisi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: SLIPS, Damla Buharlaşması, Kaygan Yüzeyler, Etek Yüksekliği.

SUMMARY

Slippery lubricant-infused porous surfaces (SLIPS) were synthesized by Aizenberg group at Harvard University for the first time in 2011. SLIP surfaces are suggested to be good alternatives to traditional superhydrophobic surfaces with their special non-wetting performance. The underlying solid substrate of SLIPS can hold non-volatile and water immiscible liquid lubricants for a long time if it has a suitable micro/nano design. The properties like low contact angle hysteresis (CAH), low sliding angle, anti-icing, anti-fouling, and high resistance to external pressure have made SLIPS to be promising for many applications.

There are many methods in literature on the synthesis of SLIPS. Silicone oil was the most used lubricant and water was the most used test liquid in these studies. It was proposed that drop evaporation was affected by the surface topography of SLIPS in some studies. In order to investigate the effect of the surface topography, silicone wafer surfaces having different pattern size and different pattern geometry were used as substrate in this thesis study. These patterned Si-wafers were coated with DMDCS (dimethyldichlorosilane) to ensure surface hydrophobization before lubricant infusion. Then SLIPS were formed by using two silicone oils having different kinematic viscosities (20 cst. and 350 cst.). The evaporation of sessile water droplets on these SLIPS were monitored in a closed cell having a constant relative humidity $54\pm 1\%$ and temperature at $25\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$. As a result of the experiments, it was seen that surface design of underlying substrate of SLIPS affect the ridge height of water droplets. Ridge heights were decreased with the increase in $r_w(\text{geo})$, L_F and s/d parameters. It was determined that ridge heights were increased with the increase in silicone oil viscosity and also the amount of silicon oil. It was found that the magnitude of the ridge heights had a negative effect on the drop evaporation rate due to the constriction of the available droplet surface.

Keywords: SLIPS, Drop Evaporation, Slippery Surfaces, Ridge Height (H-ridge).

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden ilgisini, engin bilgi ve tecrübesini esirgemeyen, yaptığım çalışmalarda beni cesaretlendiren ve yol gösteren, çalışma azmiyle ve disipliniyle her zaman örnek aldığım, öğrencisi olmaktan onur ve gurur duyduğum, değerli bilim insanı Sayın Prof. Dr. H. Yıldırım Erbil'e,

Hayatımın her döneminde bana maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan, lisansüstü eğitimim boyunca desteklerini her daim arkamda hissettiğim kıymetli aileme,

Meslek hayatımın ilk günlerinde tecrübesini ve bilgisini benimle paylaşan, yol gösteren Kimya Yüksek Mühendisi Dilek Turan'a ve nezdinde tüm Elastron Kimya A.Ş. çalışma arkadaşlarıma,

Çalışmalarım boyunca benden dostluğunu, bilgisini ve hoşgörüsünü eksik etmeyen Dr. Melik Öksüz, Arş. Gör. Tuğba Öztürk, Burcu Ünal, E. Tuğçe Arıtürk ve tüm Gebze Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü çalışma arkadaşlarıma,

Sadece yüksek lisans çalışmalarım boyunca değil bu yola çıktığımız ilk günden beri sabrı, anlayışı, hoşgörüsü ve sevgisi ile desteğini her zaman hissettiğim kıymetli eşim Mertkan Üçüncüoğlu'na teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
TABLolar LİSTESİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	2
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	4
2.1. Kayganlaştırıcı Sıvı Emdirilmiş Gözenekli Kaygan Yüzeyler (SLIPS)	4
2.1.1. Kayganlaştırıcı Sıvı Emdirilmiş Gözenekli Kaygan Yüzeylerin Sentezi	5
2.1.2. Kayganlaştırıcı Sıvı Emdirilmiş Gözenekli Kaygan Yüzeylerin Kullanım Alanları	11
2.2. Damla Buharlaşması	12
2.2.1. Damla Buharlaşması Araştırmalarının Tarihsel Gelişim Süreci	13
2.2.2. Damla Buharlaşması Teorisi	15
2.2.3. Damla Buharlaşması ile Kayganlaştırıcı Sıvı Emdirilmiş Gözenekli Kaygan Yüzeylerin İlişkisi	19
3. DENEYSEL YÖNTEM	28
3.1. Silikon Plakaların Özellikleri ve Karakterize Edilmesi	28
3.1.1. Silikon Plakaların Optik Mikroskop ile Görüntülenmesi	28
3.1.2. Silikon Plakaların Sıvı - Katı Temas Alanı Oranları, Cassi – Baxter ve Wenzel Parametrelerinin Desen Geometrisinden Hesaplanması	29

3.1.3. Silikon Plakaların Dimetildiklorosilan (DMDCS) ile Kaplanması	32
3.1.4. Dimetildiklorosilan (DMDCS) ile Kaplanan Silikon Plakaların Statik, İlerleme ve Gerileme Temas Açısı Ölçümleri	33
3.2. Silikon Plakalara Silikon Yağı Emdirilerek SLIPS Yüzeylerin Elde Edilmesi	36
3.2.1. Silikon Plakalar Üzerindeki Boşluk Hacimlerinin ve Yağ Emdirme İşlemi İçin Gerekli Olan Yağ Miktarlarının Hesabı	36
3.3. SLIPS Yüzeyler Üzerindeki Silikon Yağı Miktarının Su Damlasının Etek Yüksekliğine Etkisi	36
3.3.1. Desensiz Silikon Plaka Üzerindeki Su Damlasının Maksimum Etek Yüksekliğinin Belirlenmesi	37
3.3.2. Tam dolu SLIPS Yüzeyler Üzerinde Desen Geometrisinin Etek Yüksekliğine Etkisi	38
3.3.3. SLIPS Yüzeyler Üzerinde Artan Yağ Miktarlarının Etek Yüksekliğine ve Diğer Fiziksel Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi	38
3.4. Damla Buharlaşması Denemeleri	39
3.4.1. DMDCS Kaplı Silikon Plakalar Üzerinde Damla Buharlaşması	39
3.4.2. 20 cst Tam Dolu Silikon Yağı İçeren SLIPS Yüzeyler Üzerinde Damla Buharlaşması	40
3.4.3. 350 cst Tam Dolu Silikon Yağı İçeren SLIPS Yüzeyler Üzerinde Damla Buharlaşması	41
3.4.4. SLIPS Yüzeyler Üzerinde 20 cst Silikon Yağ Miktarının Damla Buharlaşmasına Etkisinin İncelenmesi	42
3.4.5. SLIPS Yüzeyler Üzerinde 350 cst Silikon Yağ Miktarının Damla Buharlaşmasına Etkisinin İncelenmesi	42
4. BULGULAR ve YORUMLAR	44
4.1. Silikon Plakaların Özellikleri	44
4.1.1. Silikon Plakaların Optik Mikroskop Görüntüleri	44

4.1.2. Silikon Plakların Desen Geometrisinden Hesaplanan Sıvı Katı Temas Alanı oranı, Wenzel ve Cassie-Baxter Parametre Sonuçları	46
4.1.3. DMDCS ile Kaplanmış Plakalar Üzerinde Statik, İlerleme ve Gerileme Temas Açısı Ölçüm Sonuçları	46
4.1.4. Silikon Plakalar Üzerindeki Boşluk Hacmi ve Yağ Emdirme İşlemi İçin Gerekli Olan Yağ Miktarları	47
4.2. SLIPS üzerindeki Su Damlası Etek Yüksekliğine Kullanılan Silikon yağı miktarı Etkisi	50
4.2.1. Desensiz Silikon Plaka Üzerindeki Su Damlasının Maksimum Etek Yüksekliği	50
4.2.2. Tam dolu SLIPS Yüzeyler Üzerinde Desen Geometrisinin Etek Yüksekliğine Etkisi	50
4.2.3. SLIPS Yüzeyler Üzerinde Artan Yağ Miktarlarının Etek Yüksekliğine ve Diğer Fiziksel davranışlarına Etkisi	52
4.3. Damla Buharlaşması Deneme Sonuçları	56
4.3.1. DMDCS Kaplı Silikon Plakalar Üzerinde Damla Buharlaşması	56
4.3.2. 20 cst Tam Dolu Silikon Yağı içeren SLIPS Yüzeyler Üzerinde Damla Buharlaşması	59
4.3.3. 350 cst Tam Dolu Silikon Yağı içeren SLIPS Yüzeyler Üzerinde Damla Buharlaşması	63
4.3.4. SLIPS Yüzeyler Üzerinde 20 cst Silikon Yağ Miktarının Damla Buharlaşmasına Etkisinin İncelenmesi	66
4.3.5. SLIPS Yüzeyler Üzerinde 350 cst Silikon Yağ Miktarının Damla Buharlaşmasına Etkisinin İncelenmesi	78
5. SONUÇLAR	90
KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	97

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
°	: Derece
ρ	: Sıvı yoğunluğu
μL	: Mikrolitre
Θ_a	: İlerleyen temas açısı
Θ_e	: Denge temas açısı
Θ_r	: Gerileme temas açısı
°C	: Santigrat
cm	: Santimetre
cst	: Santistoke
f_{CB}	: Cassie-Baxter parametresi
K	: Kelvin
L	: Litre
L_F	: Katı-sıvı temas alanı
M	: Moleküler ağırlık
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
r_w	: Wenzel pürüzlülüğü
R	: Universal gaz sabiti
CAH	: Temas açısı karmaşası
CCA	: Sabit temas açısı
CCR	: Sabit temas yarıçapı
2D	: İki boyutlu
3D	: Üç boyutlu
DMDCS	: Dimetildiklorosilan
DRIE	: Derin reaktif iyon oyma baskı
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen

LINS	: Kayganlaştırıcı emdirilmiş nano yapılı yüzeyler
OTS	: Oktadesiltri-klorosilan
PA-6	: Poliamid-6
PC	: Polikarbon
PDMS	: Polidimetilsiloksan
PEI	: Polietilenimin
PP	: Polipropilen
PTFE	: Politetrafloroetilen
PVDMA	: Poli(vinil-4,4-dimetilazlakton)
rGO	: İndirgenmiş grafen oksit
RH	: Bağıl nem
SLIPS	: Kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş gözenekli kaygan yüzey
TMR	: Tetrametilrodamin
UV	: Ultraviyole
ÜFTH	: Üç fazlı temas hattı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Nepenthes etobur bitkisi (Sürahi bitkisi).	4
2.2: SLIPS yüzey sentezi şematik gösterimi.	5
2.3: Damla buharlaşması modelleri.	14
2.4: Damla buharlaşması çalışmalarının tarihsel gelişim süreci.	15
2.5: Katı bir substrat yüzeyi üzerinde duran damla ve karakterize eden 4 parametre.	17
2.6: 3 fazlı bir sistemde, temas hattı, temas açısı ve arafazlardaki yüzey gerilimlerinin gösterimi.	20
2.7: Neumann üçgeni ve üç akışkan içeren sistem için arafazlar arasındaki yüzey geriliminin gösterimi.	21
2.8: SLIPS yüzey üzerine yerleştirilen etekli kompleks damla yapısı.	21
2.9: SLIPS yüzey üzerinde yağ-katı-hava ve yağ-katı-su arayüzeyinde test sıvısı ve kaydırıcı yağın, yüzey enerjisi ve yayılma katsayılarına bağlı olarak alabileceği biçimler.	22
2.10: SLIPS yüzey üzerinde, bir damlanın alabileceği 12 farklı hal	23
2.11: Kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş yüzey üzerinde ıslatma hallerinin şematik gösterim.	24
2.12: Islatma eteğine sahip bir damla için temas açılarının gösterimi	25
3.1: Wenzel teorisine göre damlanın pürüzlü bir yüzey üzerinde aldığı halin şematik gösterimi.	28
3.2: Cassie-Baxter teorisine göre damlanın pürüzlü bir yüzey üzerinde aldığı halin şematik gösterimi.	29
3.3: Karesel ve silindirik desene sahip yüzeylerin şematik gösterimi.	30
3.4: NIKON ECLIPSE LV 100 Optik Mikroskop.	31
3.5: Numunelerin DMDCS ile kaplanması.	32
3.6: Numunelerin gaz fazında DMDCS buharı ile kaplanması.	33
3.7: KSV CAM 200 Contact Angle cihazı.	34

3.8	KSV CAM 200 Contact Angle cihazıyla elde edilen damla profili.	34
3.9:	Desensiz silikon plaka üzerinde oluşan damla profili ve etek yüksekliğinin belirlenmesi.	37
3.10	Şeffaf pleksiglas deney hücresi ve kullanılan aparatlar.	39
3.11:	ATTENTION THETA temas açısı ölçüm cihazı ve damla buharlaşması deneyi.	40
4.1:	500x büyütme ile görüntülenen S1 nolu silikon plaka.	44
4.2:	500x büyütme ile görüntülenen S2 nolu silikon plaka.	45
4.3:	500x büyütme ile görüntülenen S3 nolu silikon plaka.	45
4.4:	DMDCS kaplı yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zaman ile değişimi.	56
4.5:	DMDCS kaplı yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zaman ile değişimi.	57
4.6:	DMDCS kaplı yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zaman ile değişimi.	58
4.7:	DMDCS kaplı yüzeyler üzerinde lineer damla buharlaşma hızı- zaman grafikleri.	58
4.8:	20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zaman ile değişimi.	60
4.9:	20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zaman ile değişimi.	60
4.10:	20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zaman ile değişimi.	61
4.11:	20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde lineer damla buharlaşma hızı-zaman grafikleri.	61
4.12:	350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zaman ile değişimi.	63
4.13:	350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zaman ile değişimi.	64
4.14:	350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zaman ile değişimi.	64

4.15: 350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde lineer damla buharlaşma hızı-zaman grafikleri.	65
4.16: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.	67
4.17: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.	67
4.18: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi	68
4.19: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.	69
4.20: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.	69
4.21: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi	70
4.22: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.	71
4.23: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi	72
4.24: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.	72
4.25: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.	73
4.26: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.	74

4.27: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.	75
4.28: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi.	75
4.29: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.	76
4.30: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.	76
4.31: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.	78
4.32: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.	79
4.33: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi.	79
4.34: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı (350 cst) ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.	80
4.35: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.	80
4.36: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.	82
4.37: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.	82

4.38: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi.	83
4.39: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı (350 cst) ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.	84
4.40: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.	84
4.41: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.	86
4.42: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.	86
4.43: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi.	87
4.44: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı (350 cst) ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.	87
4.45: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.	88

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Literatürde kullanılan SLIPS sentez yöntemleri (kronolojik).	7
4.1: Silikon plakaların özellikleri.	46
4.2: DMDCS ile kaplanmış plakalar üzerinde statik, ilerleme ve gerileme temas açısı ölçüm sonuçları.	47
4.3: Silikon plakalar üzerinde denenecek silikon yağı miktarları.	48
4.4: 20 cst silikon yağı için boşluk hacmini doldurcak silikon yağı miktarının hesaplanması.	49
4.5: 350 cst silikon yağı için boşluk hacmini doldurcak silikon yağı miktarının hesaplanması.	49
4.6: Tam dolu SLIPS yüzeyler için (20 cst) etek yüksekliği desen geometrisi ilişkisi.	50
4.7: Tam dolu SLIPS yüzeyler için (350 cst) etek yüksekliği desen geometrisi ilişkisi.	51
4.8: S1 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (20 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.	52
4.9: S2 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (20 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.	53
4.10: S3 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (20 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.	53
4.11: S1 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (350 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.	54
4.12: S2 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (350 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.	54
4.13: S3 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (350 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.	55
4.14: DMDCS kaplı silikon plakaların özellikleri ve damla buharlaşma hızları.	59
4.15: Tam dolu (20 cst) SLIPS yüzeylerin özellikleri ve damla buharlaşma hızı.	62

4.16:	Tam dolu (350 cst) SLIPS yüzeylerin özellikleri ve damla buharlaşma hızı.	65
4.17:	S1 nolu yüzey (20 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.	70
4.18:	S2 nolu yüzey (20 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.	73
4.19:	S3 nolu yüzey (20 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.	77
4.20:	S1 nolu yüzey (350 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.	81
4.21:	S2 nolu yüzey (350 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.	85
4.22:	S3 nolu yüzey (350 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.	88

1. GİRİŞ

Damla buharlaşmasının incelenmesi ile ilgili ilk çalışmalar 18.yüzyıla kadar dayanmaktadır [Erbil, 2012]. Birçok araştırmacı damla buharlaşma sürecini anlamak için çalışmalar yapmıştır. Picknett ve Bexon'ın 1977 yılında yapmış olduğu çalışma bu alandaki en önemli çalışmalardan biridir ve damla buharlaşmasının, temel olarak 3 mod üzerinden gerçekleştiğini bulmuşlardır [Picknett and Bexon, 1977]. Bu modlar, (i) sabit temas açısı ile azalan temas alanı, (ii) sabit temas alanı ile azalan temas açısı, (iii) karışık mod olarak belirtilmiştir. Bunlardan sabit temas açısı modu 2002 yılında tam olarak modellenmiştir [Erbil et al., 2002]. Süperhidrofob yüzeyler üzerindeki damla buharlaşması ise 2005 yılında incelenmiştir [McHale et al., 2005]. Damla buharlaşması endüstride birçok uygulama için büyük öneme sahiptir. Bu uygulamalara örnek olarak 2D ve 3D baskı (printing), taş baskı (lithography), mikro-desenleme (micro-patterning), tarımda ilaçlama, adli-tıp, ısı-transfer uygulamaları gibi alanlar gösterilebilir [Wells et al., 2018].

Yüksek temas açısına sahip, ıslanmayan ve su damlalarının yüzeysel akış (facile sliding) gösterdiği yüzeyler süperhidrofob yüzeyler olarak adlandırılırlar [Ma and Hill, 2006]. Süperhidrofob yüzeyler üzerine son yıllarda yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Özellikle sahip oldukları kendini temizleme özelliği birçok uygulama açısından önem teşkil etmektedir. Ancak bu yüzeylerin mekanik dirençlerinin düşük olmasının yanısıra, damlanın yüzeysel akışı bakımından birçok problem gözlemlenmiştir [Ma and Hill, 2006]. Süperhidrofob yüzeylerin bu yetersizliklerini gidermek amacıyla “kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş, gözenekli kaygan yüzeyler” (slippery lubricant-infused porous surface = SLIPS) ilk kez Aizenberg tarafından 2011’de geliştirilmiştir [Wong et al., 2011]. SLIPS’ler sahip oldukları ıslatmama (non-wetting) performansları ile süperhidrofob yüzeylere iyi birer alternatif oluşturmaktadır [Guan et al., 2015]. SLIPS’lerdeki katı alt tabaka, sahip olduğu mikro/nano doku sayesinde, uçucu olmayan ve suyla karışmayan sıvıları üzerinde uzun süre tutabilirler. Sahip oldukları düşük temas açısı karmaşası (CAH), düşük kayma açısı, anti-buzlanma ve anti-kirlenme, dış basınca dayanıklılık gibi özellikler SLIPS yüzeyleri birçok uygulama açısından önemli kılmaktadır [Guan et al., 2015]. Bunların denizde yaşayan mikroorganizmaların neden olduğu kirliliği giderme çalışmalarında (marine fouling),

ürün paketlemede, ısı değiştiricilerde ve medikal cihazlarda kullanılma potansiyelleri vardır [Semprebon et al., 2017].

Yapılan literatür çalışmasında SLIPS'ler üzerinde damla buharlaşmasının incelenmesi konusu üzerine son yıllarda yapılan çalışmaların sayısının hızla artmakta olduğu ancak halen literatürde konu üzerindeki eksik bilgilerin tamamlanması için daha fazla sayıda çalışmaya ihtiyaç duyulduğu görölmüştür. Bu tez çalışması ile SLIPS'ler üzerinde kullanılan silikon yağı viskozitesi ve silikon yağı miktarının, alttaki katı yüzeyin desen geometrisi gibi parametrelerin, damla buharlaşması üzerindeki etkisi incelenerek bu alandaki boşluk doldurulacaktır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu tez çalışmasında kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş, gözenekli kaygan yüzeyler (SLIPS) üzerinde su damlası buharlaşması hızının ve modunun incelenmesi amaçlanmaktadır. Tezin ikinci bölümünde verilen literatür araştırmasında ilk olarak SLIPS yüzeyler tanımlanarak, bu yüzeylerin üretim yöntemleri ve kullanım alanları anlatılmıştır. Damla buharlaşma teorisi ve damla buharlaşması ile SLIPS yüzeyler arasındaki ilişki incelenmiştir. Tez çalışmasının üçüncü bölümünde ise uygulanan deneysel yöntem detayları ile anlatılmıştır. Deneylere ilk olarak kullanılacak silikon plakaların özelliklerinin incelenmesi ve bu silikon plakaların karakterize edilmesiyle başlanmıştır. Yapılan literatür çalışmasında birçok araştırmada damla buharlaşmasının katı yüzeyin topografisinden oldukça etkilendiği görölmüştür [Anantharaju et al., 2009, Cansoy et al., 2011]. Bu nedenle yapılacak olan çalışmada farklı desen boyutu ve farklı desen geometrisine sahip silikon plakalar (Si-wafer) kullanılmıştır. Desenli silikon plakaların eldesinde, "Derin reaktif iyon oyma baskı (DRIE) tekniği" kullanılmıştır [Cansoy et al., 2011]. Sıvı emdirilmeden önce bu plakaların yüzey modifikasyonunu gerçekleştirmek için desenli silikon plakalar DMDCS (dimetil diklorosilan) ile kaplanmıştır. Ardından farklı kinematik viskozitelere (20 cst. ve 350 cst.) sahip silikon yağı kullanılarak SLIPS'ler elde edilmiştir. DMDCS ile kaplanmış yüzeylerde, hava ve su varlığında, silikon yağının yüzeyde düzgün yayılması amaçlanmıştır. Bu nedenle silikon plakalar üzerindeki boşluk hacmi desen geometrisinden yararlanılarak saptanmıştır. Ayrıca silikon yağı miktarının, su damlasının etek yüksekliğine etkisi incelenmiştir.

SLIPS üzerine konulacak bir su damlasının buharlaşması, bağıl nemi % 54 ± 1 ve ortam sıcaklığı 25 ± 1 °C sabit tutulan kapalı bir hücre içinde takip edilmiştir. Damla buharlaşma hızının gözlemlenebilmesi için zamanın fonksiyonu olarak damla temas yarıçapı (contact radius) ve statik temas açısı kaydedilmiş ve grafiğe aktarılmıştır. Farklı viskoziteye sahip yağlar için hem silikon plakalar üzerindeki boşluk hacmini tam dolduracak yağ miktarında, hem de farklı miktarlarda silikon yağı varlığında damla buharlaşması denemeleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçların mevcut teorik model ile uyumlu olup olmadığı ve kaydırıcı sıvının, su damlasının buharlaşma hızına göre damla üzerine tırmanma (cloaking) davranışı gösterip göstermediği gözlemlenmiştir. Damla buharlaşma tipi ve hızı belirlenerek, damla buharlaşma süresi saptanmıştır.

Dördüncü bölümde deneysel bulgular ve yorumlar, tezin son bölümü olan beşinci bölümde ise sonuçlar özetlenmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1. Kayganlaştırıcı Sıvı Emdirilmiş Gözenekli Kaygan Yüzeyler (SLIPS)

İlhamını doğadan alan (bio-inspired) kaygan yüzeyler son yirmi yılda araştırmacılar tarafından büyük bir ilgi görmektedir. Süperhidrofobik yüzeyler diğer bir deyişle su-itici yüzeyler, bu yüzeylere örnek olarak verilebilir. Su iticilik, düşük yüzey enerjisi ve mikro/nano dokuya sahip yüzeylerin bir kombinasyonudur. Bu yüzeyler, düşük temas açısı karmaşasına (CAH) ve 150 dereceyi aşan statik temas açısına sahiptir [Samaha and Gad-el-Hak, 2014]. Doğada bu yüzeylere örnek olarak kendini temizleme özelliğine sahip olan nilüfer bitkisi [Neinhuis and Barthlott, 1997] ve su üzerinde yürüeyebilen su böcekleri [Gao and Jiang, 2004] verilebilir.

Omnifobik yüzeyler ise hem su hem de düşük yüzey gerilimine sahip sıvıları itebilen yüzeylerdir. Kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş gözenekli yüzeyler, omnifobik yüzeyler sınıfına girmektedir [Samaha and Gad-el-Hak, 2014]. Bu yüzeyler ise *Nepenthes* bitkisinden (sürahi bitkisi) ilham alınarak, 2011 yılında Joanna Aizenberg ve ekibi tarafından Harvard Üniversitesinde üretilmiştir [Wong et al., 2011]. *Nepenthes* bitkisi, Çin, Hindistan, Endonezya, Malezya ve Avustralya gibi ülkelerde bulunan, geniş bir coğrafyaya yayılmış etobur bir bitkidir [Samaha and Gad-el-Hak, 2014]. Şekil 2.1’de bu bitki görülmektedir.

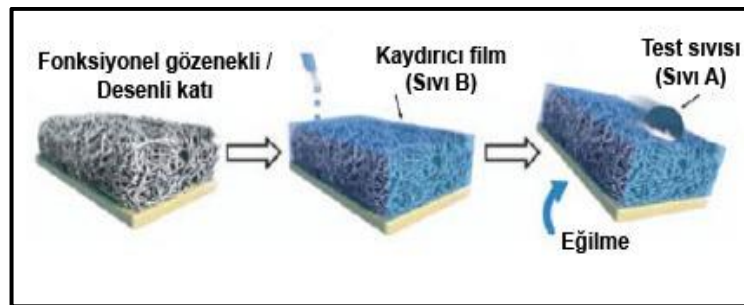


Şekil 2.1: *Nepenthes* etobur bitkisi (Sürahi bitkisi).

Bu bitkiyi önemli kılan ve SLIPS yüzeylerin elde edilmesine ilham veren özelliği ise avını yakalamasını sağlayan mikroyapılı, sürtünmesiz kaygan dokusudur. Bitkinin üst kenarı, tamamen ıslanabilir olup, nem varlığında bu yüzey böceklerin yüzeyde tutunamayıp, sindirildikleri iç kısma kaymalarına neden olur [Bauer and Federle, 2009]. Bu yöntem doğada düzenli olarak yağmur yağdığı ve bitki yapraklarının nem ihtiyacı düzenli olarak karşılandığı için kesintisiz çalışır. Aizenberg ise bu mekanizmanın yapay malzemelerle taklit edilmesinin, sürtünmesiz yüzeyin eldesi için yüzeyin sürekli bir sıvı ile tazelenmesi gerektiğinden sınırlı bir değeri olduğunu düşünerek, bunun yerine kaydırıcı sıvıyı yüzeyde sabit tutacak bir yöntemle ihtiyaç duymuştur [Web 1, 2013]. Birçok malzeme ile çalıştıktan sonra her ikisi de oldukça gözenekli olan teflon ve epoksi reçine kullanmaya karar vermiş, daha sonra bu gözenekli yüzeyler üzerinde farklı kaydırıcı sıvılar deneyerek, kaydırıcı sıvının yüzeyler üzerinde sızarak, porlara yapıştığını gözlemlemiştir. Yüzey üzerindeki fazla sıvı, hava tabancası yardımıyla uzaklaştırılarak pürüzsüz yüzeyler elde edilmiştir. Yapılan laboratuvar testleri kan, kir, yağ ve buzun yüzeydeki sıvı ile karışmadan yüzeyden hızlıca uzaklaştığını göstermiştir. Böylelikle kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş, gözenekli kaygan yüzeyler kısa adıyla SLIPS yüzeyler ilk kez elde edilmiştir [Web 1, 2013].

2.1.1. Kayganlaştırıcı Sıvı Emdirilmiş, Gözenekli Kaygan Yüzeylerin Sentezi

Kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş, gözenekli kaygan yüzeyler (SLIPS) temel olarak, mikro yapıya sahip katı bir yüzey ve bu katı yüzey üzerinde yer alan kaydırıcı bir sıvı filminden meydana gelmektedir [Samaha and Gad-el-Hak, 2014]. Şekil 2.2’de SLIPS yüzey sentezi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2: SLIPS yüzey sentezi şematik gösterim.

Mikro yapılı pürüzlü yüzeyin, düşük yüzey enerjisine sahip olması, kaydırıcı sıvının ise kimyasal olarak inert olması ve yüzeyde pürüzsüz, homojen kaydırıcı yağ filmi oluşturması gerekmektedir [Samaha and Gad-el-Hak, 2014]. Kaydırıcı sıvı, farklı tip kompleks sıvılar için itici yüzey olarak kullanılır. SLIPS yüzeyler de süperhidrofobik yüzeyler gibi sıralı veya düzensiz pürüzlülüğün mikrofabrikasyonu ile üretilir. Ancak SLIPS yüzeylerde, kaydırıcı sıvının ve gözenekli/pürüzlü katı yüzeyin, yüzey enerjilerinin eşleşmesi önemlidir [Wong et al., 2011]. Kaydırıcı sıvının yüzeyi sadece ıslatması değil, itilen sıvıdan çok katı yüzeyle etkileşimde olması gerekir. Ayrıca, kaydırıcı sıvı ile yüzeyden itilen sıvının birbiri içerisinde çözünmüyor olması gerekmektedir [Samaha and Gad-el-Hak, 2014]. Bu yüzeyler düşük temas açısı karmaşasına (CAH) sahiptir. SLIPS yüzeyler deneysel olarak, kendini iyileştirebilme (self-healing), yüksek basınç ve sıcaklığa dayanıklılık, birçok kompleks sıvının yanısıra böcek ve buz itme özelliği, anti-kirlenme, anti-bakteriyel performans gibi birçok özelliğe sahip olduklarını göstermiştir [Wong et al., 2011].

Bununla birlikte, bu yüzeylerin seri üretiminin uygulanabilir olması için çözülmesi gereken önemli konular vardır. İlk olarak, yüzeyin mikro yapısı, özellikle türbülanslı akışlarda erozyona uğramayacak kadar güçlü olmalıdır [Samaha and Gad-el-Hak, 2014]. İkincisi, kayganlaştırıcı sıvı, kaydırma özelliğini, yüzeyde uzun süre kilitli kalarak muhafaza edebilir olmalıdır [Samaha and Gad-el-Hak, 2014]. Üçüncü olarak, kaplama biyolojik kirlenme vb. çevresel faktörlere karşı dayanıklı olmalıdır. Yapılan deneyler bu yüzeylerin kullanım ömürlerinin çevresel faktörler tarafından kısıtlandığını göstermiştir. Son olarak, bu yüzeylerin üretimi laboratuvar ölçeğinden büyük ölçekli endüstriyel uygulamalara genişletilebilir olmalıdır [Samaha and Gad-el-Hak, 2014]. Yapılan çeşitli araştırmalar, düşük maliyetli kaplama üretmek için farklı yöntemler sunsa da konu ile ilgili geliştirme faaliyetlerine halen ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 2.1’de çeşitli araştırmacıların kullandıkları katı yüzeyler, kaydırıcı sıvı seçimleri ve kullandıkları test sıvıları kronolojik olarak verilmiştir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda, kaydırıcı sıvı olarak en çok farklı viskozitelerde silikon yağının kullanıldığı, test sıvısı olarak ise en çok suyun kullanıldığı görülmüştür.

Tablo 2.1: Literatürde kullanılan SLIPS sentez yöntemleri (kronolojik).

Yıl-Araştırmacı	Yüzey	Kaydırıcı sıvı	Test sıvısı
[Wong et al., 2011]	Gözenekli epoksi reçine ve teflon	Perflorlanmış sıvılar FC-70, DuPont Krytox 100 ve 103	Kan, ham petrol, dekan, hekzan
[Liu et al., 2013]	Silikon plakalar, silikon mikropostlar, alüminyum bakır, demir	Silikon yağı	Su
[Zhu et al., 2013]	Silika partiküllü PDMS (polidimetilsiloksan)	Silikon yağı	Su (buz)
[Subramanyam et al., 2013]	Silikon mikropostlar	Silikon yağı, DC 74	Su (buz)
[Eifert et al., 2014]	Paslanmaz çelik, cam, silikon plaka, alüminyum, pirinç, bakır	Silikon yağı	Su
[Yao et al., 2014]	PDMS (polidimetilsiloksan) jel	N-parafin (n-tetrakosan, n-heptadekan)	Su
[Zhang et al., 2014]	Mikro oluklu organojel yüzey	Silikon yağı (20 cst)	Su
[Manna and Lynn, 2015]	Nanogözenekli n-desilamin ie fonksiyonelleştirilmiş PEI (polietilenimin) / PVDMA (poli(vinil-4,4-dimetilazlakton)	Silikon yağı, motor yağı, kanola yağı, zeytinyağı, Hindistan cevizi yağı	TMR (tetrametilrodamin), su, ketçap, gliserol,

Tablo 2.1: Devam.

Yıl-Araştırmacı	Yüzey	Kaydırıcı sıvı	Test sıvısı
[Guan et al., 2015]	Litografik olarak desenlenmiş SU-8 yüzeyi+ OTS (oktadesiltriklorosilan)	Silikon yağı	Su
[Yao et al., 2015]	Çapraz bağı PDMS (polidimetilsiloksan)	Ham petrol (gazolin, dizel yağı, n-alkanlar gibi petrol yan ürünleri)	Parafin mum
[Eifert et al., 2014]	Paslanmaz çelik, cam, silikon plaka, alüminyum, pirinç, bakır	Silikon yağı	Su
[Ozbay et al., 2015]	PP (polipropilen) sorbent kağıt, selülozik filtre kağıdı	Silikon yağı (350 cSt), PAO-6, fluorlanmış FC-70, Siloksan D-5, etilen glikol, formamid, Gliserin-85%	Su
[Pant et al., 2016]	Silikon katı	Silikon yağı (350 cSt)	Su
[Guo et al., 2016]	PDMS (polidimetilsiloksan) kaplı süperhidrofobik bakır oksit dokulu çelik	Silikon yağı (350 cSt)	Su, dodekan, hegzadekan, zeytin yağı, etilen glikol, gliserol
[Wei et al., 2016]	Sol-jel metoduyla geliştirilmiş nanokompozit kaplamalar	Silikon yağı (10, 20, 50, 100, 200, 500 mPa.s)	Su

Tablo 2.1: Devam.

Yıl-Araştırmacı	Yüzey	Kaydırıcı sıvı	Test sıvısı
[Manna et al., 2016]	Nanogözenekli desilamin ile fonksiyolleşmiş PEI (polietilenimin)/PVDMA (poli(vinil-4,4-dimetilazlakton) filmler	Silikon yağı (45-55 cSt)	Su
[Yeong et al., 2016]	Mikrodokulu PDMS (polidimetilsiloksan)	Silikon yağı (100, 500, 1000 cSt)	Su
[Yuan et al., 2016]	Microyapılı SIBS (Polistiren-b-isobutilen-b-stiren) microfiber kaplama	Silikon yağı ve perfluoropolieter	Su
[Zhang et al., 2016]	Kimyasal dağlanmış paslanmaz elik	Silikon yağı	Su
[Shi et al., 2016]	Mikrodesenli hücreler	Silikon yağı	Su
[Kim and Rothstein, 2016]	Süperhidrofobik PTFE (politetrafloroetilen) yüzey	Silikon yağı (5, 14, 100 mPa.s)	Gliserin, Su
[Kratochvil et al., 2016]	Nanogözenekli kovalent çapraz bağlı polimerler	Silikon yağı	Su
[Liu et al., 2016]	UV ile kürlenmiş mikrogözenekli epoksi	Silikon yağı (42,7 mPa.s)	Su

Tablo 2.1: Devam.

Yıl-Araştırmacı	Yüzey	Kaydırıcı sıvı	Test sıvısı
[White et al., 2017b]	Cam üzerinde PDMS (polidimetilsiloksan) kaplama ve Poliüretan kaplı alüminyum kalıp	Fomblin Y, silikon yağı (20 mPa.s, 200 mPa.s), dimetilpolisiloksan (20 cSt, 500 cSt)	Su, etilen glikol, n-heptan
[White et al., 2017a]	Silikon polimer bazlı lateks, lateks bazlı polimer tabaka	Silikon yağı (10 cst), Krytox 103	Su, etilen glikol, n-heptan
[Brabcova et al., 2017]	Nanopartikül içeren ticari çözeltiler	Silikon yağı (20 cst)	Gliserol
[Chen et al., 2017]	Gözenekli iletken indirgenmiş (rGO) grafen oksit filmleri	Silikon yağı	Su, KCL, gliserol, etilen glikol
[Juuti et al., 2017]	Titan nanopartikülleri içeren LDPE (düşük yoğunluklu polietilen)	Silikon yağı (50 cst)	Su
[Zhang et al., 2018b]	Silikon plaka, PDMS (polidimetilsiloksan)	Silikon yağı	Su, ketçap, hardal
[Coady et al., 2018]	Uv ile kürlenmiş silikon reçine	Silikon yağı	Su
[Zhou et al., 2018]	PDMS (polidimetilsiloksan)-PtBA-PiBuPOSSMA blok kopolimeri	PDMS	Su

Tablo 2.1: Devam.

Yıl-Araştırmacı	Yüzey	Kaydırıcı sıvı	Test sıvısı
[Wang et al., 2018]	Gözenekli ve iletken polimer filmler	Silikon yağı (2, 20, 40, 60, 80, 100 cst)	Su

2.1.2. Kayganlaştırıcı Sıvı Emdirilmiş, Gözenekli Kaygan Yüzeylerin Kullanım Alanları

SLIPS yüzeylerin sahip oldukları birçok özellik, bu yüzeyleri birçok uygulama açısından önemli kılmaktadır. Wong ve arkadaşları, bu yüzeylerin sentezinde kullanılan, katı yüzey ve kaydırıcı sıvı seçiminde, kırınım indeksleri eşleşen çiftler kullanılması durumunda, görünür dalga boyu ve kızılötesine yakın dalga boylarında optik saydamlık özelliği gösteren SLIPS yüzeyler elde edilebileceğini göstermişlerdir [Wong et al., 2011]. Optik saydamlığın, süperhidrofobik yüzeylerde elde edilmesi ise zordur. Çünkü bu yüzeylerde kullanılan nanodokulu yüzey, katı-hava arayüzündeki kırınım indeksinde büyük fark oluşturur ve bu da ışık saçılımı ile ışığın iletiminin azalmasına neden olur [Wong et al., 2011].

Wong ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada SLIPS yüzeylerdeki kaydırıcı sıvı filmin aşınma veya çarpma sonucu hasar görmesinin ardından sıvı itme özelliğini geri sağlamak için kendi kendini iyileştirme (self-healing) özelliği gösterdiğini gözlemlemiştir. Kaydırıcı sıvının, akışkan doğası sayesinde hasar gören bölgeye tekrar sıvı akışı sağlanarak oluşan fiziksel boşluklar dolar [Wong et al., 2011]. Yine yapılan çalışmada SLIPS yüzeylerin, düşük temas açısı karmaşası (CAH) ve düşük kayma açısı değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Temas açısı karmaşası (CAH); sıvının ilerleme temas açısıyla (advancing) gerileme temas açısı (receding) arasındaki farktır. Kayma açısı ise; damla hareketi için gereken yüzey eğimi olup bu iki değer doğrudan yüzeyler üzerindeki bir damlanın hareketliliğini (mobility) karakterize etmek için kullanılır [Chen et al., 1999]. SLIPS yüzeylerin, sahip oldukları bu özellikler sayesinde yüzey enerjisi değeri $17.2 \pm 0.5 \text{ mNm}^{-1}$ 'den (n-pentan) $72.4 \pm 0.1 \text{ mNm}^{-1}$ 'ye (su) kadar

değişen sıvılarda oldukça iyi sıvı itme özelliği gösterdikleri gözlemlenmiştir [Wong et al., 2011]. Bunun yanı sıra, bu yüzeylerin sıvıların sadece saf formlarını değil aynı zamanda ham petrol ve kan gibi yüzeyi ıslatan ve lekeleyen kompleks sıvıları da ittiği görülmüştür [Wong et al., 2011]. SLIPS'ler aynı zamanda buzu itebilen (anti-icing) ve böcekler için yapışmayı önleyen (anti-sticking), kaygan yüzeyler olarak da işlev görmektedir. Bu bakımdan Nepenthes bitkisinin oldukça başarılı bir taklidi oldukları söylenebilir [Wong et al., 2011]. SLIPS'ler omnifobik doğaları sayesinde kendi kendini temizleme özelliği (self-cleaning) de göstermektedir [Wong et al., 2011].

SLIPS yüzeylerin yukarıda bahsedilen, düşük temas açısı karmaşası, düşük kayma açısı, kendini iyileştirebilme (self-healing), yüksek basınca dayanıklılık, optik saydamlık, anti-buzlanma, anti-yapışma, kendini temizleyebilme (self-cleaning) gibi özellikleri bu yüzeylerin biyomedikal sıvıların transferi, yakıt taşımacılığı, buz tutmayan ve kendi kendini temizleyebilen camların ve optik cihazların geliştirilmesi gibi birçok uygulama için iyi birer malzeme olduklarını göstermektedir.

2.2. Damla Buharlaşması

Buharlaşma doğal bir olaydır ve sıvı damlasının çevresindeki atmosfer sıvının buharıyla doymun olmadığında gerçekleşir [Erbil, 2012]. Maxwell'den itibaren buharlaşmanın genel olarak difüzyon kontrollü bir proses olduğu düşünülmektedir [Maxwell, 2013]. Buharlaşma, oldukça önemli bir konudur çünkü birçok mühendislik uygulamasında önemli bir role sahiptir. Bunlara; sprey kurutma, yanmalı motorlarda yakıt enjeksiyonu, tıbbi bakım, partiküllerin katı yüzeylerde birikiminin kontrol edilmesi, düşük sıcaklıkta ısı değişimi ile hızlı soğutma örnek olarak verilebilir. Bunun yanı sıra, buharlaşma doğada da yağmur, sis, çiy, kar oluşumu gibi birçok olayda meydana gelir ve meteorolojik tahminlerde de kullanılır [Erbil, 2012]. Sıvı buharlaşması temel olarak eş zamanlı gerçekleşen ısı ve kütle transfer işlemidir. Buharlaşma için gereken ısı, konveksiyon ve iletim ile sıcak havadan damla yüzeyine aktarılırken, buhar difüzyon ve iletim ile havaya aktarılır [Erbil, 2012].

Durağan bir damla (sessile drop), katı bir substrat üzerinde yer alan ve damlanın ıslattığı alanın, temas hattı (contact line) ile sınırlandırıldığı damladır. Durağan damla, zamanla buharlaşırken ilk temas açısı sıvının buhar basıncına ve bazı durumlarda dış koşullara bağlı olarak azalır. Bu nedenle, durgun havada veya kontrollü atmosferik koşullarda, damlanın temas açısının buharlaşma sırasında nasıl etkilendiğinin

anlaşılması ıslatma ve yüzey karakterizasyonu işlemlerinde oldukça önemlidir [Erbil, 2012].

Durağan damla buharlaşması son yıllarda, mürekkep püskürtmeli baskı, böcek ilaçlarının spreyleneşmesi, mikro/nano üretim, ince film kaplamalar, biyokimyasal analizler, sprey soğutma, DNA/RNA mikro dizilimleri, optik ve elektronik malzemelerin üretiminde oldukça önemlidir [Erbil, 2012].

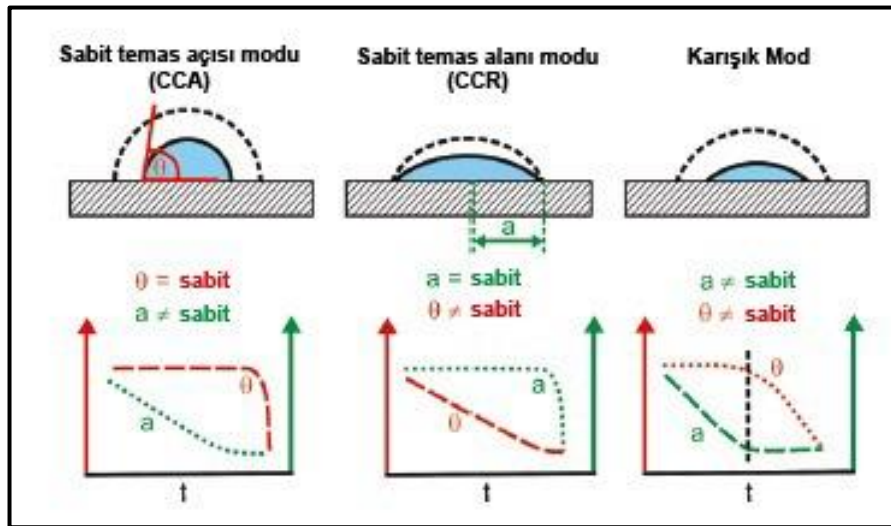
2.2.1. Damla Buharlaşması Araştırmalarının Tarihsel Gelişim Süreci

Erbil, 2012’de yayınladığı makalede damla buharlaşması ile ilgili 120 yıllık bir süre boyunca yayınlanan makaleleri incelemiş, konu ile ilgili gelişmeleri kronolojik olarak özetlemiştir. Bu başlıkta verilen bilgiler bu makaleden alınmıştır.

Maxwell 1877’de temel damla buharlaşması denklemlerini difüzyonu kullanarak türeten ilk kişi olmuştur [Erbil, 2012]. Sreznevski, Maxwell’in teorik sonuçlarını, bir düzlemde duran yarım küre damlanın buharlaşmasıyla ilişkilendirmiş ve damlanın buharlaşma hızının, sıvının buhar basıncı ile orantılı olduğunu göstermiştir [Erbil, 2012]. 1910’da Morse, iyot damlalarının buharlaşmasını ölçerek, buharlaşma hızının yüzey alanı ile değil yarıçap ile orantılı olduğunu göstermiştir [Erbil, 2012]. Langmuir, 1918’de Morse’un sonuçları analiz etmiş, difüzyon ve ısı iletimi arasındaki benzerliği kullanarak, aslında buharlaşma hızının küresel bir damlanın yarıçapıyla orantılı olması gerektiğini göstermiştir. Langmuir, iyot buharının havadaki difüzyon hızını buharlaşma hızını kullanarak hesaplamış, hesaplanan difüzyon hızının, düz bir yüzey üzerinde duran damla her yöne serbest olarak difuze olamadığı için daha düşük olduğunu göstermiştir [Erbil, 2012]. Diğer taraftan, 1924 yılında mikrometre büyüklüğündeki su damlalarının buharlaşması Gudris and Kulikova tarafından incelenerek rapor edilmiştir [Erbil, 2012]. Nestle, sıvının buharıyla doymun olduğu bir atmosferde mikrometre boyutlu damlacıkların buharlaşma kinetiğinin, damlacıkların artan buhar basıncından dolayı farklı olduğunu bulmuştur [Erbil, 2012]. Fuchs, düşük basınçta buharlaşan sıvılar için bir model geliştirmiştir. Ayrıca 1959’da o zamana dek yapılan damla buharlaşması çalışmalarını bir monografda özetlemiştir. Bu monograf hem milimetre hem de mikrometre boyutunda damla buharlaşması hakkında yazılmış, 88 referansa atıfta bulunan ve o yıla kadar yapılan tüm deneysel çalışmalar hakkında kapsamlı eleştirilerde bulunan

önemli bir kaynaktır [Erbil, 2012]. Maxwell ve Stefan'ın temel denklemlerini kullanarak, damla buharlaşması denklemlerini tekrar türetmiştir [Erbil, 2012].

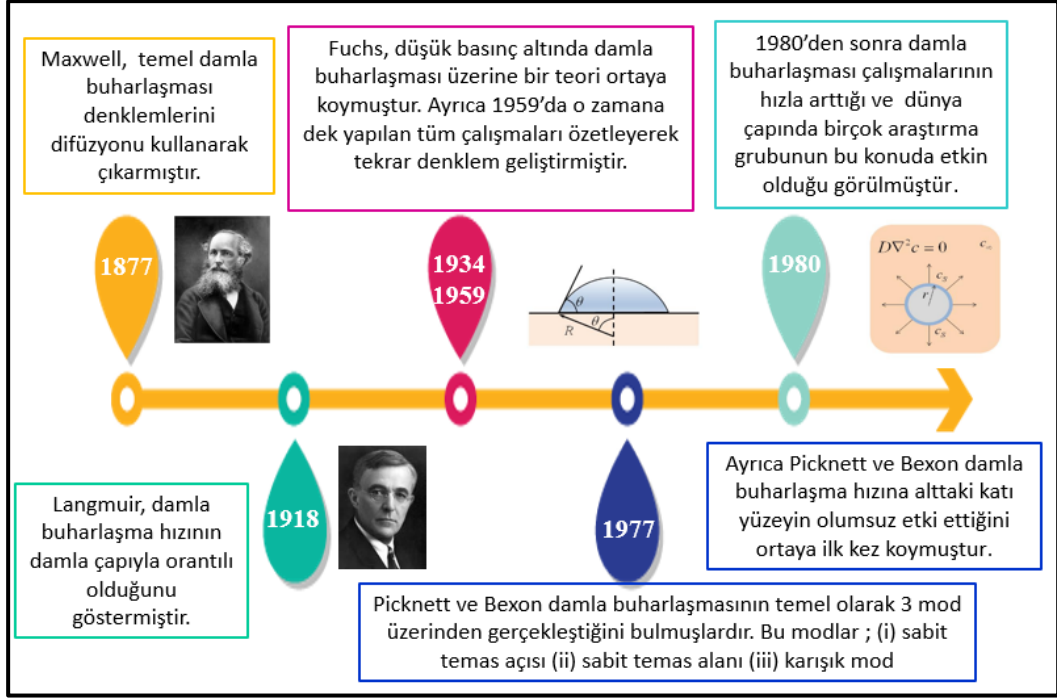
1977'de Picknett ve Bexon, damla buharlaşmasının iki saf mod üzerinden meydana geldiğini belirten oldukça önemli bir makale yayınlamıştır. Bu modlar; azalan temas alanı ile sabit temas açısı (CCA) modu ve azalan temas açısı ile sabit temas alanı (CCR) modudur. Damlanın buharlaşma sırasında bir moddan diğerine geçiş gösterdiği karışık bir mod ayrıca rapor edilmiştir [Erbil, 2012]. Picknett ve Bexon, buharlaşan damlanın altındaki katı substratın varlığının, buharlaşmayı engellediğine dikkat çekmiş ve bu etkiyi tanımlamak için denklemler türetmiştir. Şekil 2.3'te Picknett ve Bexon'ın katı bir yüzey üzerinde buharlaşan sıvı damlasına ilişkin ortaya koyduğu modeller görülmektedir.



Şekil 2.3: Damla buharlaşması modelleri.

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi, sabit temas açısı modunda (CCA) damlanın temas açısı zamanla değişiklik göstermezken, damlanın temas yarıçapının zaman ile değişimi söz konusudur. Sabit temas alanı modunda (CCR) ise, tam tersi şekilde damlanın temas yarı çapı zaman ile sabit kalırken, damlanın temas açısı zamanla değişmektedir. Karışık modda ise hem damlanın temas yarıçapı hem de damlanın temas açısı zamanla değişim göstermektedir ve her ikisi de sabit değildir.

Damla buharlaşması üzerine yapılan teorik ve deneysel çalışmaların 1980'lerden sonra hızla arttığı görülmektedir [Erbil, 2012]. Şekil 2.4'te damla buharlaşması ile ilgili yapılan bazı önemli çalışmalar zaman tüneli ile gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Damla buharlaşması çalışmalarının tarihsel gelişim süreci.

2.2.2. Damla Buharlaşması Teorisi

Maxwell, difüzyon hızı ile ısı iletim hızının eşdeğer işlemler olduğunu ve bu nedenle difüzyon denkleminin matematiksel olarak damla buharlaşmasında da kullanılabileceğini öne sürmüştür [Erbil, 2012]. Damla kütlesinin zaman ile değişimi, Fick yasasına dayanır ve eşitlik 2.1'de verilmiştir.

$$-\frac{dm}{dt} = -4\pi R^2 D \frac{dc}{dR} \quad (2.1)$$

Bu denklemde m kütleyi (kg), t zamanı (sn), R damlanın merkezinden radyal uzaklığı (m), D difüzyon sabitini (m^2/sn) ve c buhar konsantrasyonunu (kg/m^3) göstermektedir. Damladan sonsuz uzaklıktaki ($R=R_\infty$) konsantrasyon C_∞ , damlanın merkezinden yüzeyindeki bir nokta arasındaki uzaklık $R=R_s$ ve bu noktadaki konsantrasyon C_s olmak üzere eşitlik 2.1 integre edilirse, aşağıda verilen eşitlik 2.2 elde edilmiş olur.

$$-\frac{dm}{dt} = 4\pi R_s D (C_s - C_\infty) \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2, damla kütesinin zamanla değişimini gösterirken damlanın yoğunluğu ρ_L kullanılarak, damla hacminin zamanla değişimini gösteren bir eşitlik elde edilebilir. Bu eşitlik eşitlik 2.4'te gösterilmiştir.

$$-\rho_L \left(\frac{dV}{dt} \right) = 4\pi R_s D (C_s - C_\infty) \quad (2.3)$$

$$-\frac{dV}{dt} = \frac{4\pi R_s D}{\rho_L} (C_s - C_\infty) \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.4'te yer alan $(C_s - C_\infty)$ terimi ideal gaz denkleminde yararlanılarak,

$$(C_s - C_\infty) = \frac{M}{R \cdot T} (P_s^v - P_o^v) \quad (2.5)$$

şeklinde de yazılabilir. P_o^v damlanın bulunduğu ortamın buhar basıncını gösterir ve bağıl nem (RH) bağıntısı kullanılarak,

$$RH \equiv \frac{P_o^v}{P_o^{vs}} \quad (2.6)$$

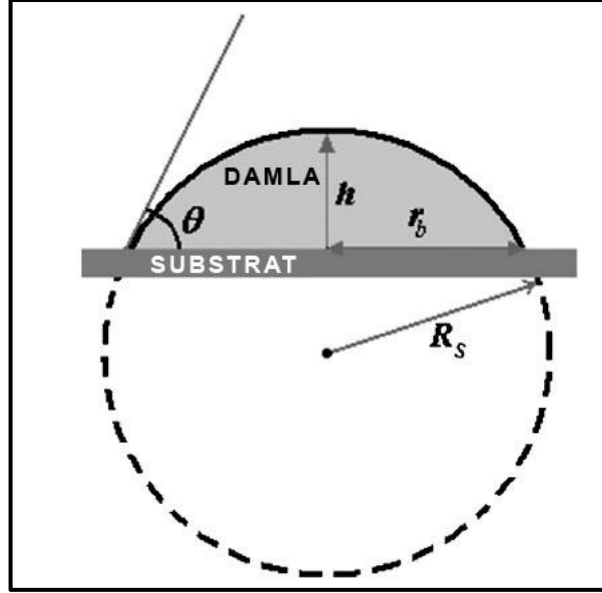
Damla yüzeyindeki soğuma ihmal edilir ve $P_s^v = P_o^{vs}$ alınır, eşitlik 2.5 ve 2.6 birleştirilerek,

$$(C_s - C_\infty) = \frac{M P_o^{vs}}{R \cdot T} (1 - RH) \quad (2.7)$$

yazılabilir. Bu denklemden, M moleküler ağırlık, R ideal gaz sabiti, T ortam sıcaklığını, RH ortamın bağıl nemini ve P_o^{vs} ortamın buhar basıncını göstermektedir.

Yukarıda belirtilen denklemler, katı bir yüzey üzerine damlatılan sıvı damlasının modellenmesi için çıkarılan denklemler olup damlanın küresel olduğu varsayımına dayanır. Küresellikten sapan damlalar için çeşitli düzenleme faktörleri kullanılarak, yeni modeller yapılmıştır [Erbil and Meric, 1997], [Merici and Erbil, 1998], [McHale et al., 2001]. Yatay bir katı yüzey üzerinde damla yeterince küçük ve küresel ise, o zaman bu damla üzerine etkili olan ve damlanın küresellikten sapmasına neden

olacak yerçekimi kuvveti damlanın çok küçük olmasından dolayı ihmal edilebilir. Bu damla Şekil 2.5'te de gösterildiği gibi dört parametre ile ifade edilmektedir. Bunlar; damlanın yüksekliği (h), temas yarıçapı (r_b), küresel damlanın yarıçapı (R_s) ve damlanın katı ile yaptığı temas açısıdır (Θ) [Erbil and Meric, 1997].



Şekil 2.5: Katı bir substrat yüzeyi üzerinde duran damla ve karakterize eden 4 parametre.

Üç boyutlu geometriden bilinen r_b ve R_s yarıçapları, temas açısı (Θ) ve yükseklik (h) arasındaki ilişki aşağıdaki denklemlerle verilmiştir [Birdi et al., 1989], [Bourges-Monnier and Shanahan, 1995], [Erbil and Meric, 1997], [McHale et al., 1998], [Erbil, 2002], [Erbil et al., 2002], [Panwar et al., 2003], [Fang et al., 2005], [McHale et al., 2005], [Kim et al., 2007].

$$r_b = R_s \sin \theta \quad (2.8)$$

$$R_s = \left(\frac{3V_{küre}}{\pi \beta} \right)^{1/3} \quad (2.9)$$

$$\beta = (1 - \cos \theta)^2 (2 + \cos \theta) = 2 - 3 \cos \theta + \cos^3 \theta \quad (2.10)$$

$V_{küre}$, küre parçasının hacmidir ve her iki yarıçapa bağlı yükseklik ise,

$$h = R_s(1 - \cos\Theta) \quad (2.11)$$

$$h = r_b \tan\left(\frac{\Theta}{2}\right) \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eşitlik 2.4'te R_s ifadesi yerine, eşitlik 2.9 yazılırsa,

$$-\frac{dV_{küre}}{dt} = \frac{4\pi D}{\rho_L} \left(\frac{3V_{küre}}{\pi\beta}\right)^{\frac{1}{3}} (C_s - C_\infty) \quad (2.13)$$

İfadesi elde edilir.

Picknett ve Bexon, yapmış oldukları çalışmalar sonucunda damla buharlaşması sırasında damlanın altındaki katı substratın, damlanın her noktadan buharlaşmasını engelleyerek, damla buharlaşmasını yavaşlattığını gözlemlemişlerdir [Picknett and Bexon, 1977]. Havada asılı duran küresel bir damla ile, katı bir yüzey üzerinde 180° temas açısıyla duran bir damlanın, buharlaşma hızları karşılaştırıldığında, katı yüzey üzerindeki damlanın daha yavaş buharlaştığı görülür ve bu nedenle damla buharlaşması denkleminde $f(\Theta)$ düzeltme faktörünün eklenmesi gerekli görülmüştür. Bu faktörün eklenmesi ile aşağıda belirtilen eşitlik 2.14 elde edilir.

$$-\frac{dV_{küre}}{dt} = \frac{4\pi D}{\rho_L} \left(\frac{3V_{küre}}{\pi\beta}\right)^{\frac{1}{3}} (C_s - C_\infty) f(\Theta) \quad (2.14)$$

Picknett ve Bexon, $f(\Theta)$ faktörünü küresel damlanın temas açısının bir fonksiyonu olarak tanımlamıştır ve difüzyon akısı ile elektrostatik potansiyel arasındaki ilişkiyi kullanarak bir denklem elde etmişlerdir. Bu denklem eşitlik 2.15'de verilmiştir.

$$f(\Theta) = \frac{1}{2} \left(\frac{C}{R_s}\right) \quad (2.15)$$

$10^\circ \leq \Theta < 180^\circ$ için;

$$\frac{C}{R_S} = 0,00008957 + 0,6333\Theta_{rad} + 0,1160\Theta_{rad}^2 - 0,08878\Theta_{rad}^3 + 0,01033\Theta_{rad}^4 \quad (2.16)$$

$0^\circ \leq \Theta < 10^\circ$ için ise;

$$\frac{C}{R_S} = 0,6366\Theta_{rad} + 0,09591\Theta_{rad}^2 - 0,06144\Theta_{rad}^3 \quad (2.17)$$

olarak ifade edilir. Eşitlik 2.13 düzenlenirse,

$$-\frac{dV_{küre}}{dt} = \frac{4\pi D}{\rho_L} \left(\frac{3V_{küre}}{\pi\beta}\right)^{\frac{1}{3}} (C_s - C_\infty) f(\Theta) = KV_{küre}^{\frac{1}{3}} f(\Theta) \quad (2.18)$$

$$K = \frac{4\pi^{\frac{2}{3}} 3^{\frac{1}{3}} D (C_s - C_\infty)}{\rho_L \beta^{1/3}} \quad (2.19)$$

K, zamandan ve hacimden bağımsız bir sabittir. Eşitlik 2.18, $t=0$ 'da $V_{küre}=V_0$ ve $t=t$ 'de $V_{küre}=V$ olmak üzere integre edilirse,

$$V^{2/3} = V_0^{2/3} - \frac{2}{3} K f(\Theta) t \quad (2.20)$$

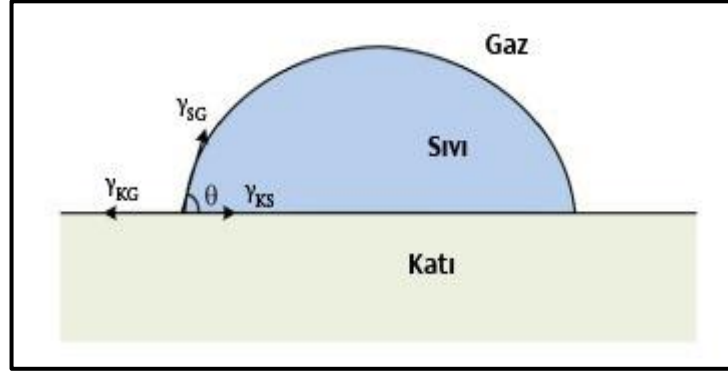
denklemleri elde edilir. Bu denklem sabit temas açısı modeli için analitik olarak damla buharlaşma süresini hesaplamaya ve deneysel datalardan (Θ ve V), $V^{2/3}$ -t lineer grafiğini çizmeye imkân verir. Ancak bu denklemin sabit temas alanı (CCR) modeli için uygulanması mümkün değildir. Yapılan çalışmada, buharlaşmanın sabit temas açısı modeline uyduğu gözlemlenmiş ve bu nedenle hesaplamalarda eşitlik 2.20 kullanılmıştır.

2.2.3. Damla Buharlaşması ile Kayganlaştırıcı Sıvı Emdirilmiş Gözenekli Kaygan Yüzeylerin İlişkisi

Süperhidrofobik yüzeyler üzerinde damla buharlaşmasının incelenmesi üzerine yapılan birçok araştırma olmasına rağmen, düşük temas açısı karmaşasına sahip yüzeyler üzerinde yapılan çalışmalar hala sınırlıdır [Guan et al., 2015]. Kayganlaştırıcı

sıvı emdirilmiş gözenekli yüzeylerin geliştirilmesi ile birlikte, damla hareketliliğinin yüksek olduğu, düşük temas açısına sahip yüzeyler üzerinde damla buharlaşmasının incelenmesine olanak sağlanmıştır [Guan et al., 2015].

Ancak bu yüzeyler ıslanma ve temas açısının izahıyla ilgili soruları da beraberinde getirmektedir [Guan et al., 2015]. Sert katı bir yüzey üzerine bir damla damlatıldığında, bu damlanın temas açısı ideal olarak Young yasasına dayanır [Guan et al., 2015]. 1805 yılında Young, 3 fazlı bir sistemde (katı, sıvı ve gaz fazları) temas hattındaki temas açısının (Θ), arafazlardaki yüzey gerilimi dengesi ile belirlendiğini öne sürmüştür. Şekil 2.6'da 3 fazlı bir sistemdeki, temas hattı, bu noktadaki temas açısı ve arafazlardaki yüzey gerilimleri gösterilmiştir [Makkonen, 2016].

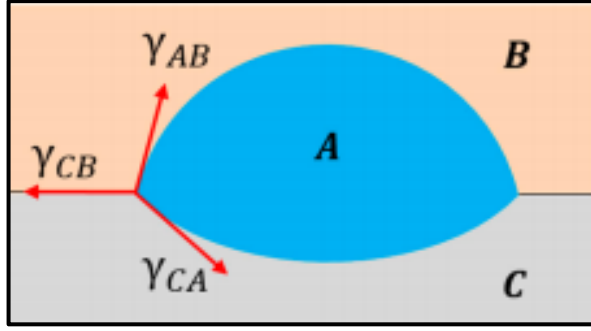


Şekil 2.6: 3 fazlı bir sistemde, temas hattı, temas açısı ve arafazlardaki yüzey gerilimlerinin gösterimi.

Şekil 2.6'da görülen γ_{SG} , sıvı-gaz arafazındaki yüzey gerilimini, γ_{KS} , katı-sıvı arafazındaki yüzey gerilimini, γ_{KG} , katı-gaz arafazındaki yüzey gerilimini, Θ ise temas açısını göstermektedir. Young, denklemi ise eşitlik 2.21'de verilmiştir [Makkonen, 2016].

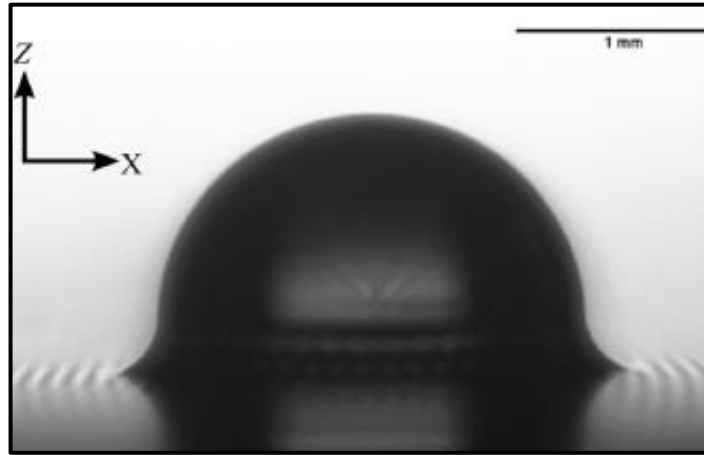
$$\gamma_{KG} = \gamma_{KS} + \gamma_{SG} \cos \Theta \quad (2.21)$$

Bir damla, sıvı bir alt faz üzerine bırakıldığında ise sıvı bir mercekle oluşturur ve damla, hava, sıvı alt faz arasındaki 3 fazlı temas hattı, genellikle Neumann üçgeni kullanılarak gösterilen arayüzey kuvvetlerinin dengesi ile belirlenir [Guan et al., 2015]. Neumann üçgeni, Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7: Neumann üçgeni ve üç akışkan içeren sistem için arafazlar arasındaki yüzey geriliminin gösterimi.

SLIPS yüzey üzerine bir damla yerleştirildiğinde ise, sıvı mercekle oluşumu yerine durağan bir damla oluşur (sessile droplet). Ancak damlanın kaydırıcı sıvı yağ tabakası üzerinde bulunması, alttaki katı substrattan çok kaydırıcı sıvı filme yakın olması ve kaydırıcı sıvı film, damla, katı substrat ve hava temas hattındaki ara yüzey kuvvet dengesinden dolayı ıslatma etekli (wetting ridge) kompleks bir yapı oluşur [Guan et al., 2015]. Oluşan bu etekli kompleks damla yapısı Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

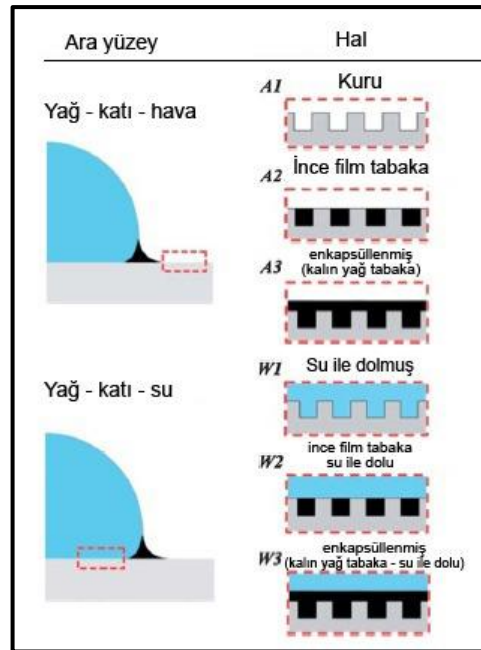


Şekil 2.8: SLIPS yüzey üzerine yerleştirilen etekli kompleks damla yapısı.

Damlanın altta bulunan katı yüzeyle doğrudan temas etmemesi, temas açısının nasıl tanımlanabileceğini ve damla-katı temas açısını ve temas alanını içeren önceki teorilerin buharlaşma süreciyle nasıl ilişkili olabileceğini daha az netleştirir.

Smith ve arkadaşları, SLIPS yüzeyler üzerinde damla hareketliliğini incelemek için yapmış oldukları çalışmada, SLIPS yüzey üzerine konulan bir damlanın termodinamik olarak, kaydırıcı sıvının ve test sıvısının yayılma katsayısına ve yüzey dokusuna bağlı olarak çeşitli hallerde bulunabileceğini orataya koymuştur [Smith et

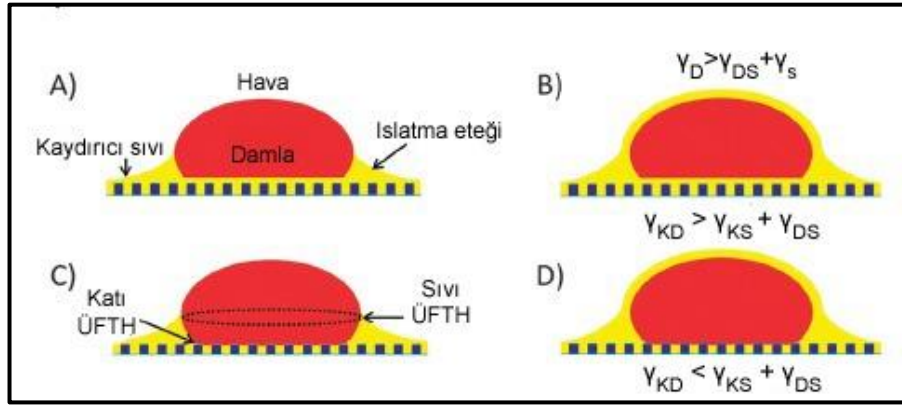
al., 2013]. Bu çalışmada litografik olarak desenlenmiş silikon plakalar kullanılmış ve bu yüzeyler oktadesiltrioklorosilan (OTS) ile kaplanarak hidrofobize edilmiştir. Bu sayede yüzeyde yağ tutulumu artırılmıştır. Çalışma sırasında bazı koşullar altında su damlası üzerine kaydırıcı yağın tırmandığı (cloaking) gözlenmiştir. Yağın tırmanma davranışı göstermesi, emdirilen yağın bir kısmının kütleli kaybı anlamına gelir ve su damlasının akışı sırasında damlanın yüzeye kenetlenmesine yol açar [Smith et al., 2013]. Smith ve arkadaşlarının rapor ettiği, yağın tırmanma davranışı (cloaking oluşumu) gösterme durumuna bağlı olarak, SLIPS yüzey üzerine damlatılan bir su damlasının alabileceği 12 termodinamik kararlı hal Şekil 2.9 ve 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: SLIPS yüzey üzerinde yağ-katı-hava ve yağ-katı-su arayüzeyinde test sıvısı ve kaydırıcı yağın, yüzey enerjisi ve yayılma katsayılarına bağlı olarak alabileceği biçimler.

Şekil 2.9’da görüldüğü üzere, yağ-katı-hava arayüzeyinde kaydırıcı sıvı filmin alabileceği üç hal söz konusudur. Bu haller A1, A2 ve A3 ile gösterilmiştir. A1 durumunda katı substrat üzerinde bu arayüzey için kaydırıcı yağ filmi bulunmamaktadır, katı substrat kaydırıcı yağ açısından kurudur. A2’de ise emdirilen kaydırıcı yağ bu arayüzeyde ince sıvı film oluşturmuştur. A3’te emdirilen kaydırıcı yağ, katı substratın üzerinde kalın bir yağ filmi oluşturmuştur ve katı substratın kapsüllemesi söz konusudur. Yağ-katı-su arayüzünde ise kaydırıcı sıvı filmin, bu arayüzeydeki alabileceği haller W1, W2 ve W3 ile gösterilmiştir. W1’de damlanın

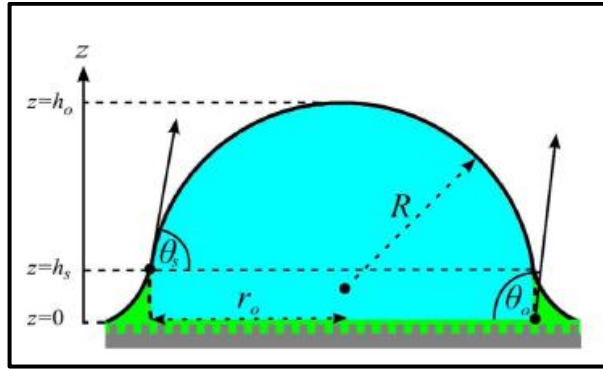
halden, kaygan davranış gösteren 4 hali incelemiştir. Schellenberger ve arkadaşlarına göre, bu yüzeyler üzerine yerleştirilen bir damla, kaydırıcı sıvının üzerinde kalabilir (Şekil 2.11-A ve Şekil 2.11-B), kaydırıcı sıvı içerisinde bataabilir (Şekil 2.11-C ve Şekil 2.11-D), desenli katı substrat yüzeye penetre ederek kaydırıcı sıvı film ile yer değiştirebilir (Şekil 2.11’de gösterilmemiştir) [Schellenberger et al., 2015]. Kaydırıcı sıvı damla üzerine tırmanır veya damla belirli bir yüksekliğe kadar yağlayıcıya batar, bu noktada kaydırıcı sıvı, alt tabakanın üzerine çekilen damlanın etrafında halka şeklinde bir ıslatma eteği (wetting ridge) oluşturur [Schellenberger et.al., 2015]. Şekil 2.11’de Schellenberger ve arkadaşlarının bahsettikleri bu haller gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş yüzey üzerinde ıslatma hallerinin şematik gösterimi.

Şekil 2.11’de damla kırmızı ile, desenli katı substrat mavi ile kaydırıcı sıvı ise sarı ile gösterilmiştir. Şekil 2.11-A’ ve Şekil 2.11-C’de kaydırıcı sıvı filmin, damla üzerine tırmanması söz konusu değildir. Şekil 2.11-B ve Şekil 2.11-D’de ise tırmanma görülmektedir. Schellenberger ve arkadaşlarına göre, kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş yüzey üzerindeki bir damla 0, 1 ve 3 fazlı temas hattı gösterebilir [Schellenberger et.al., 2015]. Sıvı-ÜFTH (Üç fazlı temas hattı), havanın, damlanın ve kaydırıcı sıvının temas hattıdır. Katı-ÜFTH ise, katı substrat, damla ve kaydırıcı sıvının temas hattıdır. Ara yüzey gerilimleri γ_{ij} şeklinde gösterilmiştir. γ_{DS} , damla ile kaydırıcı sıvı arasındaki arayüzey gerilimini, γ_{KD} , katı substrat ile damla arayüzeyindeki gerilimini, γ_{KS} , katı substrat ile kaydırıcı sıvı arasındaki arayüzey gerilimini, γ_D , hava ile damla arasındaki yüzey gerilimini ve γ_S , kaydırıcı sıvı film ile hava rasındaki yüzey gerilimini göstermektedir [Schellenberger et.al., 2015].

Guan ve arkadaşları, kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş gözenekli kaygan yüzeyler üzerinde damla buharlaşmasını incelemek ve damlanın ıslatma eteğine sahip olması durumunda, damla buharlaşmasının nasıl modelleneceği üzerine bir çalışma yapmışlardır [Guan et al., 2015]. Bu çalışma için litografik olarak desenlenmiş silikon plakalar kullanmış ve yüzey üzerindeki yağ tutulumunu arttırmak için, bu plakaları OTS (oktadesiltriklorosilan) ile hidrofobize etmişlerdir. Ardından bu yüzeylere silikon yağı emdirerek kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş gözenekli yüzey eldesini sağlamışlardır. Bu yüzeyler üzerinde, küçük damlalar yerleştirerek (2,5 μL) farklı bağıl nemlerde (%30-50) ve farklı sıcaklıklarda (20-30 $^{\circ}\text{C}$) damla buharlaşmasını gözlemlemişlerdir. ıslatma eteğinin varlığından dolayı, mevcut damla buharlaşması denklemini modifiye ederek yeni bir model ortaya koymuşlardır. Şekil 2.12’de Guan ve arkadaşlarının çalıştığı damla parametreleri görülmektedir.



Şekil 2.12: ıslatma eteğine sahip bir damla için temas açılarının gösterimi.

Θ_s , ıslatma eteğinin üzerindeki (Sıvı ÜFTH) temas açısını Θ_o ise ıslatma eteğinin altındaki (Katı ÜFTH) temas açısını ve h_s , etek yüksekliğini göstermektedir. Guan ve arkadaşlarına göre, ıslatma eteğinin varlığı, doğrudan $f(\Theta)$ faktörünü etkilemektedir. Bu nedenle mevcut model, eşitlik 2.19’u modifiye ederek aşağıda belirtilen eşitlik 2.20’yi ortaya koymuşlardır.

$$V^{2/3} = V_0^{2/3} - \frac{2}{3}K(\Theta_o)f(\Theta_s)t \quad (2.20)$$

Guan ve arkadaşları, eşitlik 2.20’yi kullanarak yapmış oldukları damla buharlaşması denemeleri sonucunda, ideal SLIPS yüzeylerin sabit temas açısı moduyla ($\sim 100^{\circ}$) buharlaştıklarını gözlemlemişlerdir. İdeal olmayan SLIPS yüzeylerin

ise, yapışma-kayma davranışlı buharlaşma davranışı gösterdikleri çalışma sonucunda ortaya konmuştur. Guan ve arkadaşlarının, ortaya koymuş olduğu modelin referans değerler ile %4 korelasyon içerisinde olduğu görülmüştür [Guan et.al., 2015].

Zhang ve ekibi, kayganlaştırıcı yağ emdirilmiş nano yapıları yüzeyler üzerinde damla buharlaşmasını incelemişlerdir. Çalışmanın amaçlarından biri de düşük temas açısı karmaşasına sahip yüzeylerde ve kayganlaştırıcı sıvı emdirilmiş nano yüzeyler (LINS=Lubricant-impregnated nano-structured surfaces) üzerinde yapılan damla buharlaşması çalışmalarının literatürde eksikliğidir. Nano yüzeylerin eldesi için, katı substrat olarak bakır numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler, 0.05 M NH₄OH çözeltisine daldırılarak, 12 saat boyunca 55 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Numuneler siyah bakır oksit tabakasıyla kaplanmıştır. Perflorooktiltrietoksisilan ile yüzeyin modifikasyonu gerçekleştirilmiştir ve bu yüzeyler florinli kayganlaştırıcı ile kaplanarak (Krytox 140, Du Pont) LINS yüzeyler elde edilmiştir [Zhang et al., 2018a]. Damla buharlaşması için, 5 µL su damlası kullanılmış, ortam sıcaklığı 20±1 °C olarak ve havanın bağıl nemi %60±3 olarak ayarlanmıştır. Temas açısının zamanla değişimi gözlemlenerek, damla buharlaşması davranışı gözlemlenmiştir. Bu yüzeyler için, buharlaşma sırasındaki başlangıç temas açısı 108° olarak rapor edilmiştir. Etek oluşumu gözlemlenmiş ve eteğin damla hacmine oranla çok küçük olmasından dolayı temas açısı katı üç fazlı temas hattından ölçülmüştür. Yüzeylerin, buharlaşma sırasında, 15 dakika sabit temas alanı modu (CCR) ve 20 dakika sabit temas açısı modu (CCA) olmak üzere karışık mod ile buharlaştığı gözlemlenmiştir [Zhang et al., 2018a].

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşmasının incelenmesinin, düşük temas açısı karmaşasına sahip yüzeylerde damla buharlaşmasının incelenmesine olanak sağladığı için oldukça önemli olduğu görülmektedir. Ancak bu yüzeyler üzerinde, damla buharlaşması ile ilgili yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. SLIPS yüzeyler, üzerinde 4 bileşenin (katı substrat, kaydırıcı sıvı, hava ve test sıvısı) bulunması bir takım sorunları da beraberinde getirmektedir. Islatma eteği oluşumu ve damla üzerine kaydırıcı sıvının tırmanması (cloaking) gibi davranışların damla buharlaşmasına nasıl etki ettiği ve mevcut modellerin bu davranışlar göz önünde bulundurularak geliştirilmesi oldukça önemli bir konu haline gelmiştir. Yapılan tez çalışması ile birlikte, SLIPS yüzeyler üzerinde ıslatma eteği oluşumu, tırmanma davranışı ve bu parametrelerin damla buharlaşmasına etkisi incelenecek, mevcut model ile [Guan et.al., 2015] deney sonuçlarının tutarlılığı karşılaştırılarak, literatürde eksikliği görülen farklı viskoziteye

sahip kayganlaştırıcı yağların, farklı miktarlarda kayganlaştırıcı yağ kullanımının ve kayganlaştırıcı yağ altındaki katı substrat yüzeyin geometrisinin damla buharlaşmasına etkisi gibi parametreler de incelenecektir.

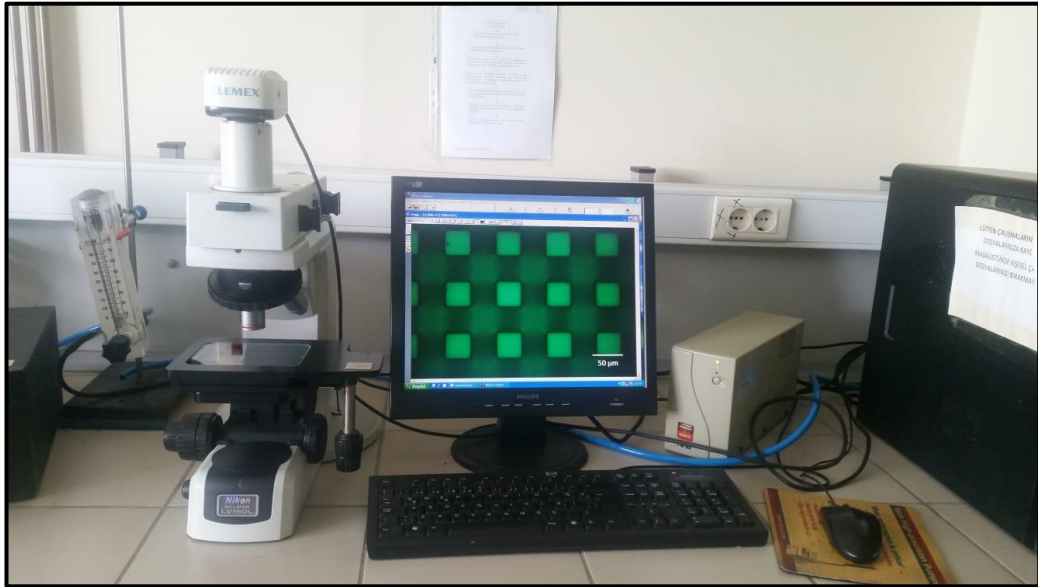
3. DENEYSEL YÖNTEM

3.1. Silikon Plakaların Özellikleri ve Karakterize Edilmesi

Bu tez kapsamında, farklı desen geometrisi (kare ve silindirik) ve farklı desen boyutuna sahip, ortalama yüksekliği 35 μm olan silikon plakalar kullanılmıştır. Bu silikon plakaların eldesinde “Derin reaktif iyon oyma baskı yöntemi” (DRIE= deep reactive ion etching) kullanılmıştır. Kullanılan silikon plakalar optik mikroskop ile görüntülenmiş ve bunların Cassie-Baxter ve Wenzel pürüzlülük parametreleri hesaplanmıştır. Ardından silikon plakalar, dimetildiklorosilan (DMDCS) ile kaplanarak hidrofobize edilmiştir. Plakaların statik, ilerleme ve gerileme su temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiş ve temas açısı karmaşası değerleri hesaplanmıştır.

3.1.1. Silikon Plakaların Optik Mikroskop ile Görüntülenmesi

Tez çalışması kapsamında kullanılan, karesel ve silindirik desene sahip silikon plakalar Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında, NIKON ECLIPSE LV 100 Optik Mikroskop kullanılarak görüntülenmiştir. Şekil 3.1’de kullanılan optik mikroskop görülmektedir.



Şekil 3.1: NIKON ECLIPSE LV 100 Optik Mikroskop.

Karesel ve silindirik desene sahip silikon plakaların çekilen optik mikroskop görüntüleri, desen boyutlarıyla birlikte bölüm 4, başlık 4.1.1’de verilmiştir.

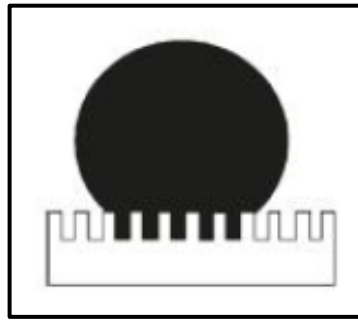
3.1.2. Silikon Plakaların Sıvı-Katı Temas Alanı Oranları Cassie-Baxter ve Wenzel Parametrelerinin Desen Geometrisinden Hesaplanması

Cassie-Baxter ve Wenzel denklemleri, sıvı/katı arayüzündeki temas hattı alanına bağlı olarak hesaplanan ve süperhidrofobik yüzeylerde temas açısının tahminini sağlayan denklemlerdir [Erbil and Cansoy, 2009]

İlk olarak 1936 yılında, Wenzel pürüzlü bir yüzeyin temas açısını (Θ_r^w),

$$\cos\Theta_r^w = [r_w(\text{geo})]\cos\Theta_{flat}^e \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlamıştır. $r_w(\text{geo})$, yüzey pürüzlülük faktörüdür ve gerçek yüzey alanının, geometrik alana oranı ile hesaplanır [Erbil and Cansoy, 2009]. Θ_{flat}^e ise, aynı malzemeden yapılmış pürüzsüz düzey yüzey üzerinde ölçülen temas açısını göstermektedir. Wenzel eşitliğine göre pürüzlü bir yüzey üzerinde su damlası oluşturulduğu zaman, su damlası yüzeydeki pürüzlerin arasındaki boşluklara tamamen gömülür [Erbil and Cansoy, 2009]. Şekil 3.2’de Wenzel teorisine göre, damlanın pürüzlü yüzey üzerinde aldığı hal gösterilmiştir.

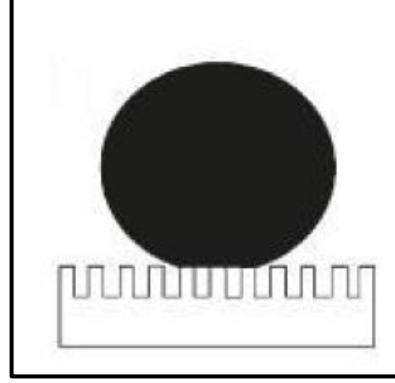


Şekil 3.2: Wenzel teorisine göre damlanın pürüzlü bir yüzey üzerinde aldığı halin şematik gösterimi.

Cassie ve Baxter 1944 yılında, farklı kimyasal heterojeniteye sahip iki bileşenli kompozit yüzeyler için bir denklem türetmişlerdir. Eşitlik 3.2’de bu denklem görülmektedir.

$$\cos\theta_r^{CB} = f_1\cos\theta_1 + f_2\cos\theta_2 = f_1\cos\theta_1 + (1 - f_1)\cos\theta_2 \quad (3.2)$$

f_1 ve f_2 , 1 ve 2 numaralı katı bileşenin sıvı/katı temas alanı oranı olup, θ_1 ve θ_2 bu katı yüzeyler üzerindeki denge temas açısıdır. Hava paketçiklerinin olduğu, tek bileşenli katı bir yüzeyde Cassie-Baxter denklemi temas açısı tahmininde kullanılabilir. Şekil 3.3'de bu durum gösterilmiştir.



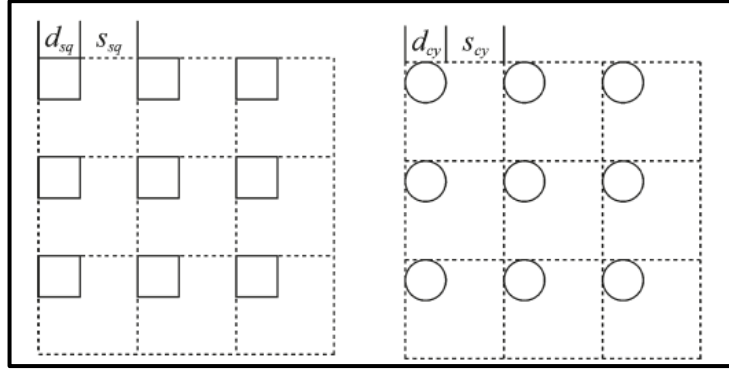
Şekil 3.3: Cassie-Baxter teorisine göre damlanın pürüzlü bir yüzey üzerinde aldığı halin şematik gösterimi.

Suyun havadaki temas açısı $\theta_2 = 180^\circ$ olduğundan ve bu durumda $\cos\theta_2 = -1$ olacağı için, eşitlik 3.2 aşağıda belirtilen şekilde de yazılabilir.

$$\cos\theta_r^{CB} = [f_s^{CB}(\text{geo})](1 + \cos\theta_{flat}^e) - 1 \quad (3.3)$$

$f_s^{CB}(\text{geo})$, su/katı temas yüzey alanı oranı olup, θ_{flat}^e , suyun aynı katı düz yüzey üzerindeki denge temas açısını göstermektedir[Erbil and Cansoy, 2009].

Karesel ve silindirik desene sahip yüzeylerde, Cassie-Baxter ve Wenzel parametrelerinin desen geometrisinden hesaplanması için Şekil 3.3'teki şematik gösterimden yararlanılacaktır.



Şekil 3.4: Karesel ve silindirik desene sahip yüzeylerin şematik gösterimi.

Şekil 3.4'te verilen şematik gösterimde, karesel desenli katı için d_{sq} desen genişliğini s_{sq} ise iki desen arası mesafeyi ve h_{sq} karesel desen yüksekliğini göstermektedir. Silindirik desenli katı için d_{cy} , desen çapını, s_{cy} ise iki desen arası mesafeyi, h_{cy} ise silindirik desenin yüksekliğini göstermektedir. Wenzel parametresi ($r_w(geo)$) için geometrik alanın hesaplanması karesel ve silindirik desenli katı için sırasıyla eşitlik 3.4 ve eşitlik 3.5'te verilmiştir [Erbil and Cansoy, 2009].

$$r_{sq}^w(geo) = \frac{(d_{sq} + s_{sq})^2 + 4d_{sq}h_{sq}}{(d_{sq} + s_{sq})^2} \quad (3.4)$$

$$r_{cy}^w(geo) = \frac{(d_{cy} + s_{cy})^2 + \pi d_{cy}h_{cy}}{(d_{cy} + s_{cy})^2} \quad (3.5)$$

Cassie-Baxter parametresi ($f_s^{CB}(geo)$) için geometrik alanın hesaplanması karesel ve silindirik desenli katı için sırasıyla eşitlik 3.6 ve eşitlik 3.7'de verilmiştir [Erbil and Cansoy, 2009].

$$[f_{s-sq}^{CB}(geo)] = \frac{d_{sq}^2}{(d_{sq} + s_{sq})^2} \quad (3.6)$$

$$[f_{s-cy}^{CB}(geo)] = \frac{\pi d_{cy}^2}{4(d_{scy} + s_{scy})^2} \quad (3.7)$$

Bu tez çalışması kapsamında, mevcut silikon plakaların Cassie-Baxter ve Wenzel parametreleri desen geometrisinden yararlanılarak, karesel plakalar için

yukarıda gösterilen eşitlik 3.4 ve 3.6 kullanılarak, silindirik plakalar için ise eşitlik 3.5 ve 3.7 kullanılarak hesaplanmıştır.

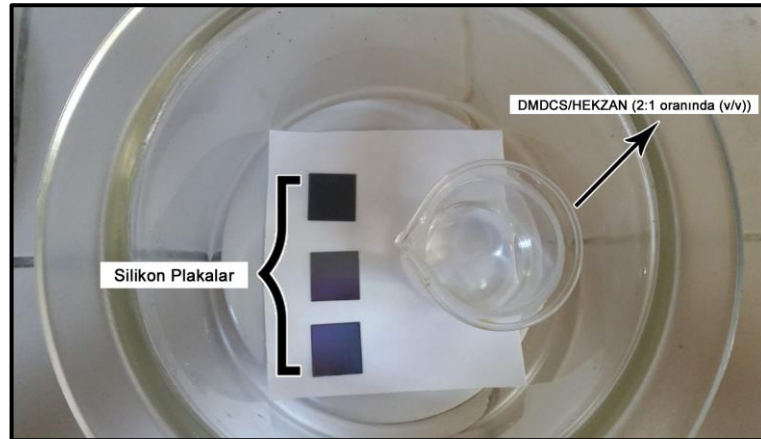
Sıvı-Katı temas alanı orası ise, sıvının yüzeyde temas ettiği alanın tüm alana oranı olup bu desenli yüzeyler için aşağıda verilen eşitlik 3.8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$L_F = \frac{s}{d + s} \quad (3.8)$$

Silikon plakalara ait hesaplanan bu değerlerin sonuçları bölüm 4, başlık 4.1.2’de detayları ile verilmiştir.

3.1.3. Silikon Plakaların Dimetildiklorosilan (DMDCS) ile Kaplanması

Tez çalışması kapsamında kullanılacak karesel ve silindirik desene sahip silikon plakalar, kromik asit çözeltisinde bekletilerek üzerlerinde bulunabilecek toz vb. maddelerden arındırılarak temizlenmiştir. Temizleme işleminin ardından, silikon plakalar üzerinde silikon yağının tutulumunu artırmak için bu plakalar dimetildiklorosilan (DMDCS-FLUKA) ile kaplanarak yüzeyleri süperhidrofobik hale getirilmiştir. Kaplama işlemi için, DMDCS, hekzan (MERCK) solventi içerisinde 2:1 (v/v) oranında seyreltilmiş ve numuneler etüvde 65 °C’de 24 saat süreyle DMDCS buharıyla kaplanmıştır. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da gaz fazında gerçekleşen kaplama işlemi görülmektedir. Kaplama işleminin ardından plakalar sırasıyla, toluen, etanol, etanol/ saf su karışımı (1:1 oranında (v/v)) ve saf su ile yıkanarak kurutulmuştur.



Şekil 3.5: Numunelerin DMDCS ile kaplanması.



Şekil 3.6: Numunelerin gaz fazında DMDCS buharı ile kaplanması.

3.1.4. Dimetildiklorosilan (DMDCS) ile Kaplanan Silikon Plakaların Statik, İlerleme ve Gerileme Temas Açısı Ölçümleri

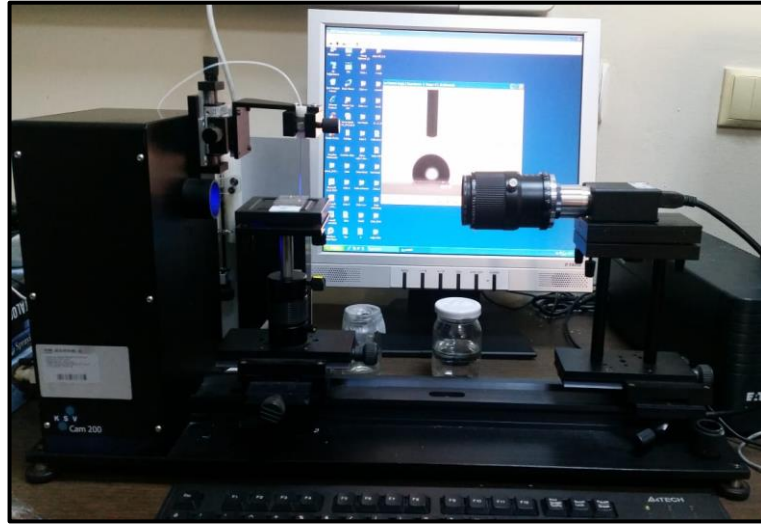
Temas açısı ölçülmesi ile ilgili çok çeşitli yöntem geliştirilmiş olsa da günümüzde en çok kullanılan iki metot statik ve dinamik temas açısı ölçümleridir. Temas açısı ölçümleri yapılırken ölçümün doğruluğunu sağlamak için, ölçüm yapılacak yüzeyin temizliği, kullanılacak test sıvısının saflığı, ölçüm esnasında damla buharlaşması olup olmaması, iğnenin damla ile temas edip etmemesi ve iğnenin düzgün yerleştirilmesi gibi birçok parametre konusunda dikkatli olmak gerekir. Bu parametreler doğrudan temas açısı ölçümlerinin kalitesini etkileyebilmektedir [Erbil, 2006].

Statik temas açısı ölçümleri raylı sistem üzerine monte edilmiş bir video kamera, netliği ayarlanabilen bir lens, numune standı, ışık kaynağı, istenilen hacimde damla oluşturan dispansır ve görüntü analiz programından oluşmaktadır. Bu cihaz kullanılarak, ölçüm yapılmak istenilen yüzey üzerinde istenilen hacimde bir damla oluşturulur ve bu damla denge halindeyken video kamera kullanılarak belirli zaman periyotlarıyla görüntü kaydedilir. Program yardımıyla damla profili analiz edilir ve bu sayede statik temas açısı ölçümü gerçekleştirilir [Erbil, 2006]. Statik temas açısı ölçümünün birçok avantajı vardır. Ölçüm az miktar sıvı kullanımıyla yapılabilir. Yöntem basit ve kullanışlıdır. Bu yöntemin dezavantajı ise, ölçüm çizgisinin manuel olarak belirlenmesi ve bu nedenle subjektif hataya açık olmasıdır [Erbil,2006].

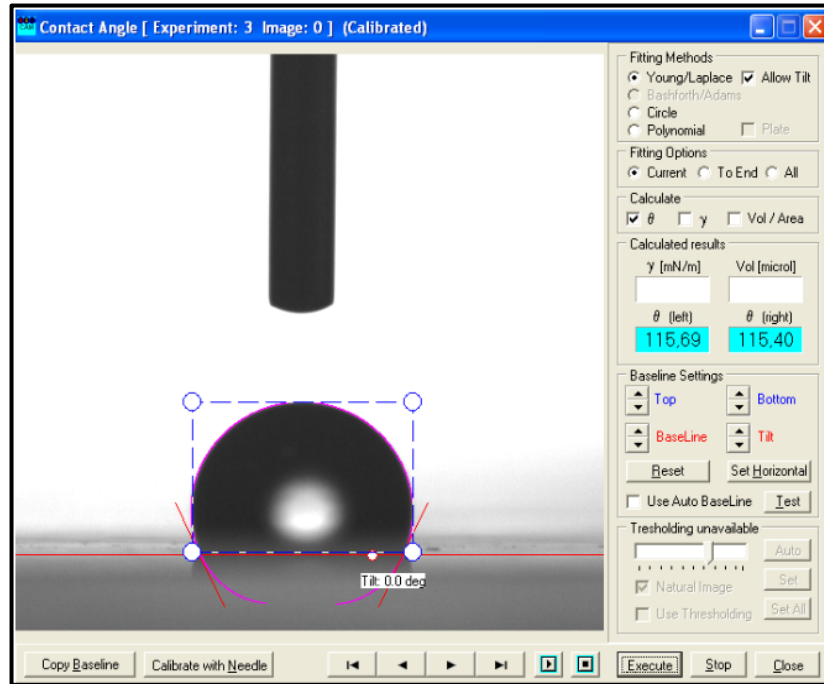
Tez kapsamında Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında, KSV CAM 200 Contact Angle cihazı kullanılarak statik temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.7’de KSV CAM 200 Contact Angle cihazı görülmektedir. Denge temas

açısının (Θ_e) ölçümü için, substrat yüzeyi üzerine dispansır ile 5 μL su (MERCK) damlatılır ve 1 saniye aralıklarla damla profili kaydedilir. Ardından cihazın içerisinde bulunan program kullanılarak, damlanın katı/sıvı temas hattı belirlenerek temas açısı cihaz tarafından hesaplanır. Ölçüm sırasında elde edilen damla profili Şekil 3.8'de gösterilmektedir.

Tez çalışması kapsamında, DMDCS ile kaplanan silikon plakaların ölçülen denge temas açısı (Θ_e) değerleri detaylarıyla bölüm 4 başlık 4.1.3'te verilmiştir.



Şekil 3.7: KSV CAM 200 Contact Angle cihazı.



Şekil 3.8: KSV CAM 200 Contact Angle cihazıyla elde edilen damla profili.

Dinamik temas açısı ölçümü için ilk olarak ilerleme temas açısı (advancing contact angle) (Θ_a) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem için yine Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan, KSV CAM 200 Contact Angle cihazı kullanılmıştır. Bu yöntem, katı substrat üzerine koyulan bir damlanın, damlanın içinde dispensör iğnesi varken ve damla hacmi belirli oranda artarken temas açısı ölçümünün değişiminin gözlemlenmesine dayanır. Deney sırasında yüzey üzerinde 3 μL su damlası (MERCK) oluşturulur ve dispensör iğnesi damla içine daldırılır. 0,1 $\mu\text{L}/\text{s}$ debiyle damla üzerine 5 μL daha su eklenir ve bu süre boyunca 50 adet fotoğraf kaydedilerek ilerleme temas açısı (Θ_a) tespit edilir.

Gerileme temas açısı (receding contact angle) (Θ_r) ölçümünde ise, yine Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan, KSV CAM 200 Contact Angle cihazı kullanılmıştır. Gerileme temas açısı (Θ_r) ölçüm yönteminde ise katı substrat yüzeyinde bir su damlası oluşturulur ve dispensör iğnesi damlanın içerisine daldırılarak damla hacmi belirli bir periyotla tahliye edilir. Azalan damla hacmiyle birlikte, değişen temas açıları kaydedilerek grafiğe aktarılır ve bu sayede gerileme temas açısı (Θ_r) tespit edilir. Deney sırasında gerileme temas açısı ölçümü için 8 μL su damlası (MERCK) numune üzerinde oluşturularak, iğne yardımıyla 0,1 $\mu\text{L}/\text{s}$ debiyle damla hacmi 3 μL olana kadar azaltılmıştır. Belirli zaman aralıklarıyla fotoğraflar kaydedilerek bu fotoğraflardaki temas açısı incelenip grafiğe aktarılarak gerileme temas açısı (Θ_r) ölçülmüştür.

İlerleme temas açısı (Θ_a) ve gerileme temas açısı (Θ_r) ölçümleriyle birlikte, numunelerin temas açısı karmaşası değerleri hesaplanabilir hale gelmiştir. Temas açısı karmaşası değeri (CAH), ilerleme temas açısı değeri ile gerileme temas açısı değeri arasındaki fark olup yüzeyin idealliğinin bir ölçüsüdür. Temas açısı karmaşası (CAH) değeri aşağıda belirtilen eşitlik 3.8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$CAH(\text{temas açısı karmaşası}) = \Theta_a - \Theta_r \quad (3.8)$$

Tez çalışması kapsamında, DMDCS ile kaplanan silikon plakaların ölçülen dinamik temas açısı değerleri yani ilerleme temas açısı (Θ_a) ve gerileme temas açısı değerleri (Θ_r) ve temas açısı karmaşası değerleri (CAH) detaylarıyla bölüm 4 başlık 4.1.3'te verilmiştir.

3.2. Silikon Plakalara Silikon Yağı Emdirilerek SLIPS Yüzeylerin Elde Edilmesi

SLIPS yüzey eldesi için, DMDCS ile kaplanan ve yüzey özellikleri karakterize edilen silikon plakalara farklı viskozitelerde silikon yağı emdirilmiştir. Tez kapsamında SLIPS yüzey eldesi için 20 cst (Sigma Aldrich) ve 350 cst (Sigma Aldrich) silikon yağı kullanılmıştır. Yağ emdirme işleminden önce kullanılan silikon plakalar üzerindeki boşluk hacmi desen geometrisinden hesaplanmış, yüzeyin kaplanması için gerekli olan yağ miktarları tespit edilmiştir.

3.2.1. Silikon Plakalar Üzerindeki Boşluk Hacimlerinin ve Yağ Emdirme İşlemi İçin Gerekli Olan Yağ Miktarlarının Hesabı

Tez kapsamında, kullanılan silikon plakalar farklı desen boyutu ve farklı desen geometrisine (silindirik ve karesel) sahiptir. Bütün plakaların yüksekliği, ortalama 35 µm'dir ve bütün plakalar 2 cm x 2 cm boyutundadır. Plakalar üzerindeki boşluk hacminin hesaplanması için ilk olarak, plaka üzerindeki desen sayısı hesaplanmıştır. Desen sayısının hesaplanmasının ardından, bir desen sütununun hacmi hesaplanmış, bu değer desen sayısı ile çarpılarak plaka üzerindeki tüm sütunların kapladığı hacim belirlenmiştir. Plaka üzerinde sütun olmaması durumu için hacim hesabı yapılmış ve bu değerden tüm sütunların kapladığı hacim çıkarılarak boşluk hacmi bulunmuştur.

Boşluk hacminin bulunmasıyla, silikon plakaları kaplamak için gerekli olan silikon yağ miktarları belirlenmiştir. Kullanılan iki farklı viskoziteye (20 cst ve 350 cst) sahip yağ için bu işlem ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Bunun sebebi ise, farklı viskozitelerdeki yağların yoğunluklarının farklı olmasıdır. Boşluk hacmi, kullanılacak yağın yoğunluğu ile çarpılarak, boşluk hacmini doldurmaya yetecek yağ miktarı her iki yağ için de hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar ve bulunan değerler bölüm 4, başlık 4.1.4'te tüm detayları ile gösterilmiştir.

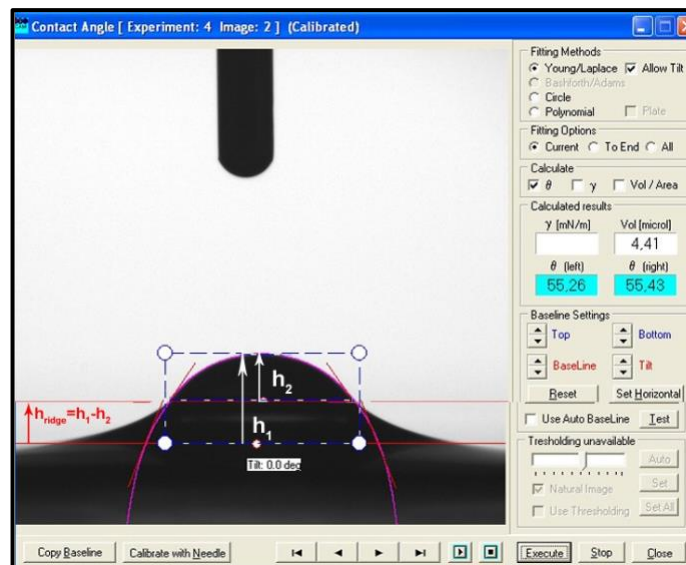
3.3. SLIPS Yüzeyler Üzerindeki Silikon Yağı Miktarının Su Damlasının Etek Yüksekliğine Etkisi

Tez kapsamında, kullanılan silikon plakalar üzerine farklı miktarlarda silikon yağı emdirilerek silikon yağ miktarının ıslatma eteği (wetting ridge) üzerine etkisinin

incelenmesi amaçlanmıştır. Etek yüksekliği, damlanın substrat yüzeyine ne kadar yaklaştığını gösteren önemli bir parametredir. Guan ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, etek yüksekliğinin damla buharlaşmasına doğrudan etki ettiği gösterilmiş, etek yüksekliği kullanılan damla buharlaşması modeline dahil edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ilk olarak desensiz düz silikon plaka üzerinde oluşan maksimum etek yüksekliği belirlenmiş ardından desenli plakalar üzerinde farklı silikon yağı varlığında oluşan eteklerin yükseklikleri ölçülmüştür.

3.3.1. Desensiz Silikon Plaka Üzerinde Su Damlasının Maksimum Etek Yüksekliğinin Belirlenmesi

Desensiz silikon plaka üzerinde su damlasının maksimum yüksekliğinin belirlenmesi için desensiz silikon plaka ilk olarak başlık 3.1.3'te açıklanan yöntemle DMDCS ile kaplanmıştır. DMDCS ile kaplanan desensiz silikon plaka üzerine, farklı miktarlarda silikon yağı damlatılmış, KSV CAM 200 Contact Angle cihazı ile damla profili görüntülenmiştir. Etek yüksekliğinin hesabı için, ilk olarak katı üç fazlı temas hattı (katı ÜFTH) baz alınarak temas açısı ve damla yüksekliği (h_1) belirlenmiştir. Ardından sıvı üç fazlı temas hattından (sıvı ÜFTH) baz alınarak temas açısı ve damla yüksekliği (h_2) hesaplanmıştır. Bu iki damla yüksekliği arasındaki fark (h_1-h_2), etek yüksekliği olarak belirlenmiştir. Şekil 3.9'da damla profili ve etek yüksekliğinin belirlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Desensiz silikon plaka üzerinde oluşan damla profili ve etek yüksekliğinin belirlenmesi.

Artan yağ miktarıyla beraber bir noktada etek yüksekliğinin sabit kaldığı daha fazla artış göstermediği görülmüş bu nokta maksimum etek yüksekliği olarak belirlenmiştir. Her iki viskoziteye (20 cst. ve 350 cst.) sahip yağ için bu işlem tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar bölüm 4, başlık 4.2.1’de grafik ile gösterilmiştir.

3.3.2. Tam dolu SLIPS Yüzeyler Üzerinde Desen Geometrisinin Etek Yüksekliğine Etkisi

SLIPS yüzeyler üzerinde, silikon yağı miktarının ıslatma eteğine etkisinin incelenmesi için, ilk olarak SLIPS yüzeyler üzerine, bu yüzeyleri tam doldurmaya yetecek miktarda silikon yağları damlatılarak oluşan ıslatma etekleri, KSV CAM 200 Contact Angle cihazı ile başlık 3.3.1’de anlatıldığı ve gösterildiği şekilde ölçülmüştür.

Silikon plakalar üzerindeki boşluk hacmini doldurmaya yetecek yağ miktarları başlık 3.2.1’de anlatıldığı şekilde belirlenmiştir. Bu değer silikon plaka üzerindeki boşluğu tabandan desenin tepe noktasına kadar dolduracak yağ miktarıdır. Bu değer altındaki değerlerde, desen sütunlarının tepe noktaları açıkta kalmakta ve bu değer üstündeki değerlerde desen sütunlarının üzerinde kalın bir yağ tabakası oluştuğu düşünülmektedir. Bu çalışma ile yüzeyler tam dolu iken, altta yatan katı desen geometrisinin etek yüksekliğine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bölüm 4, başlık 4.2.2’de detaylarıyla verilmiştir.

3.3.3. SLIPS Yüzeyler Üzerinde Artan Yağ Miktarlarının Etek Yüksekliğine ve Diğer Fiziksel Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi

SLIPS yüzeyler üzerinde, silikon yağı miktarının ıslatma eteğine etkisinin incelenmesi için, SLIPS yüzeyler üzerine farklı miktarlarda silikon yağı damlatılarak ıslatma eteğinin yüksekliği KSV CAM 200 Contact Angle cihazı ile başlık 3.3.1’de anlatıldığı ve gösterildiği şekilde ölçülmüştür.

Silikon plakalar üzerindeki boşluk hacmini doldurmaya yetecek yağ miktarları başlık 3.2.1’de anlatıldığı şekilde belirlenmiştir. Bu değer silikon plaka üzerindeki boşluğu tabandan desenin tepe noktasına kadar dolduracak yağ miktarıdır. Bu değer altındaki değerlerde, desen sütunlarının tepe noktaları açıkta kalmakta ve bu değer üstündeki değerlerde desen sütunlarının üzerinde kalın bir yağ tabakası oluştuğu düşünülmektedir. Tez kapsamında bu durumun, ıslatma eteği yüksekliği ve damlanın

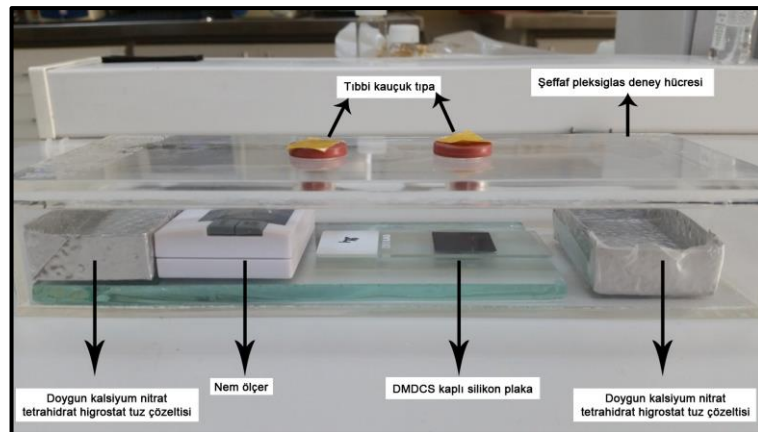
diğer fiziksel özellikleri üzerine nasıl bir etkisi olduğu incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bölüm 4, başlık 4.2.3’de detaylarıyla verilmiştir.

3.4. Damla Buharlaşması Denemeleri

SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşmasının incelenmesi için ilk olarak yağ emdirilmemiş DMDCS kaplı silikon plakalar üzerinde damla buharlaşması denemeleri gerçekleştirilmiştir. SLIPS yüzey eldesi için iki farklı viskozitede (20 cst. ve 350 cst.) silikon yağı kullanılmış, bu sayede SLIPS yüzeylerde kullanılan yağ viskozitesinin damla buharlaşması üzerine etkisi gözlemlenmiştir. SLIPS yüzeyler üzerinde, emdirilen yağ miktarının ıslatma etek yüksekliğine etkisine bağlı olarak, damla buharlaşmasına etkisi de farklı miktarlarda silikon yağı emdirilmiş SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması denemeleri gerçekleştirilerek incelenmiştir.

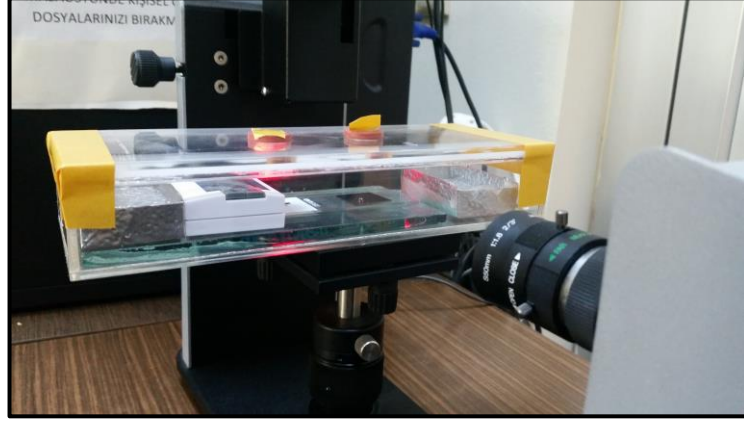
3.4.1. DMDCS Kaplı Silikon Plakalar Üzerinde Damla Buharlaşması

DMDCS kaplı silikon plakalar üzerinde damla buharlaşması denemeleri, 25 ± 1 °C ortam sıcaklığına ve $\%54 \pm 1$ bağıl neme sahip, özel hazırlanmış şeffaf pleksiglas hücre içersinde takip edilmiştir. Hücrenin sıcaklık ve nemi, hücre içersine yerleştirilmiş bir nem ölçer ile düzenli olarak takip edilmiştir. Hücre içersindeki nem, doymun kalsiyum nitrat tetrahidrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (Merck) higrostat tuz çözeltisi ile sabit tutulmuştur. Şekil 3.10’da kullanılan deney hücresi ve bu aparatlar gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Şeffaf pleksiglas deney hücresi ve kullanılan aparatlar.

Damla buharlaşması denemeleri için, Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan ATTENTION THETA temas açısı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.11’de ATTENTION THETA temas açısı ölçüm cihazı ve damla buharlaşması deneyi görülmektedir.



Şekil 3.11: ATTENTION THETA temas açısı ölçüm cihazı ve damla buharlaşması deneyi.

Deney için bir şırınga (Hamilton) ile saf su (Merck) çekilerek, pleksiglas hücre üzerindeki tıbbi kauçuk tıpadan 5 μ L’lik damla manuel olarak substrat yüzeyi üzerine enjekte edilmiştir. Enjeksiyonun ardından, oluşan damlanın profili ATTENTION THETA temas açısı ölçüm cihazının video kamerasıyla kayıt altına alınmıştır. 30 saniye aralıklarla tüm damla buharlaşması süresi boyunca görüntü kaydı gerçekleştirilmiştir. Damla buharlaşması boyunca, kaydedilen görüntüler cihazın arayüzünde bulunan program ile analiz edilmiştir. Damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin, damla temas açısının ve damla yarıçapının zamanla değişimi gözlemlenmiş, elde edilen bulguların mevcut teorik modele uyup uymadığı incelenmiştir. Her silikon plaka için bu deneme 3 kez tekrarlanarak verilerin tekrar edilebilirliği test edilmiştir. Sonuçlar detaylarıyla bölüm 4, başlık 4.3.1’de verilmiştir.

3.4.2. 20 Cst Tam Dolu Silikon Yağı İçeren SLIPS Yüzeyler Üzerinde Damla Buharlaşması

DMDCS kaplı silikon plakalar ile yapılan denemelerin ardından, bu plakalara boşluk hacmini tam dolduracak miktarda 20 cst silikon (Sigma Aldrich) yağı emdirilmiştir. Emdirme işlemi için, önce silikon plakaların boş ağırlıkları hassas terazi

ile ölçülerek kaydedilmiş ardından belirlenen miktarda silikon yağı cam pastör pipet ile çekilerek DMDCS kaplı silikon plaka üzerine damlatılmıştır. Damlatma işleminin ardından, silikon plakalar bir cam slayta alınarak 24 saat boyunca bekletilmiş bu sayede silikon yağının yüzey üzerine iyice yayılması sağlanmıştır. Bu cam slayt 24 saat boyunca bağıl nemi (54 ± 1) ve ortam sıcaklığı (25 ± 1 °C) sabit tutulan şeffaf pleksiglas deney hücresinde tutulmuştur. Sürenin sonunda deney hücresi Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan ATTENTION THETA temas açısı ölçüm cihazına alınarak damla buharlaşması denemeleri gerçekleştirilmiştir. Damla buharlaşması denemesi için, 5 µL'lik bir saf su damlası (Merck) SLIPS yüzey üzerine mikrolitrelik şırınga (hamilton) ile yerleştirilerek zamanla bu damlanın temas açısı, temas yarıçapı ve damla hacminin değişimi gözlemlenmiştir. Her yüzey için bu deneme 3 kez tekrarlanarak verilerin tekrar edilebilirliği test edilmiştir. Elde edilen sonuçların, mevcut teorik modele uyup uymadığı ve ıslatma eteğinin (wetting ridge) damla buharlaşmasına etkisi gözlemlenmiştir. Sonuçlar bölüm 4, başlık 4.3.2'de detaylarıyla verilmiştir.

3.4.3. 350 Cst Tam Dolu Silikon Yağı İçeren SLIPS Yüzeyler Üzerinde Damla Buharlaşması

20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde yapılan denemelerin ardından, bu plakalar toluen ile yıkanıp kurutulularak temizlenmiştir. Boş ağırlıkları bilinen DMDCS kaplı silikon plakalar hassas terazi ile tekrar tartılarak yüzey üzerinde herhangi bir kalıntı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bu işlemin ardından, silikon plakalara boşluk hacmini tam dolduracak miktarda 350 cst silikon (Sigma Aldrich) yağı emdirilmiştir. Emdirme işlemi için, belirlenen miktarda silikon yağı cam pastör pipet ile çekilerek silikon plaka üzerine damlatılmıştır. Damlatma işleminin ardından, silikon plakalar bir cam slayta alınarak 24 saat boyunca bekletilmiş bu sayede silikon yağının yüzey üzerine iyice yayılması sağlanmıştır. Bu cam slayt 24 saat boyunca bağıl nemi (54 ± 1) ve ortam sıcaklığı (25 ± 1 °C) sabit tutulan şeffaf pleksiglas deney hücresinde tutulmuştur. Sürenin sonunda deney hücresi Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan ATTENTION THETA temas açısı ölçüm cihazına alınarak damla buharlaşması denemeleri gerçekleştirilmiştir. Damla buharlaşması denemesi için, 5 µL'lik bir saf su damlası (Merck) SLIPS yüzey üzerine mikrolitrelik şırınga (hamilton) ile yerleştirilerek zamanla bu damlanın temas açısı, temas yarıçapı ve damla

hacminin değişimi gözlemlenmiştir. Her yüzey için bu deneme 3 kez tekrarlanarak verilerin tekrar edilebilirliği test edilmiştir. Elde edilen sonuçların, mevcut teorik modele uyup uymadığı ve ıslatma eteğinin (wetting ridge) damla buharlaşmasına etkisi gözlemlenmiştir. Sonuçlar bölüm 4, başlık 4.3.3'te detaylarıyla verilmiştir.

3.4.4. SLIPS Yüzeyler Üzerinde 20 Cst Silikon Yağ Miktarının Damla Buharlaşmasına Etkisinin İncelenmesi

Yapılan literatür araştırması sonucunda, ıslatma eteğinin damla buharlaşmasına doğrudan etkisi olduğu ve bu nedenle mevcut modele bu etkinin $f(\Theta)$ faktörü ile eklendiği görülmüştür [Guan et.al., 2015]. Bu tez çalışması kapsamında, silikon yağ miktarının etek yüksekliğine etkisi incelenen parametrelerden biridir. Bu parametreyle birlikte artan silikon yağı ile artan ıslatma eteği yüksekliğinin, damla buharlaşması üzerine etkisi de incelenecektir. Bu kapsamda her bir silikon plaka için 5 farklı yağ miktarı, desen üzerindeki boşluk hacmine bağlı olarak belirlenmiştir. Boş plaka ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüş ardından cam pastör pipetle belirlenen ilk miktardaki 20 cst. silikon yağı (Sigma Aldrich), silikon plaka üzerine damlatılmıştır. 24 saat boyunca damlatılan silikon yağının yüzeye yayılması beklenmiş ardından pleksiglas hücre içerisinde damla buharlaşması deneyi gerçekleştirilmiştir. Her yağ miktarı için bu işlem sırasıyla tekrarlanmıştır ve her bir yağ miktarı için SLIPS yüzey üzerinde bu deneme deneyin tekrar edilebilirliğini görmek için 3 kez gerçekleştirilmiştir. Zamanla damlanın, damla yarıçapının, damla temas açısının ve damla hacminin değişimi gözlemlenmiş elde edilen sonuçların mevcut modele uyup uymadığı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar detaylarıyla bölüm 4, başlık 4.3.4'te verilmiştir.

3.4.5. SLIPS Yüzeyler Üzerinde 350 Cst Silikon Yağ Miktarının Damla Buharlaşmasına Etkisinin İncelenmesi

20 cst silikon yağı (Sigma Aldrich) ile SLIPS yüzeyler üzerinde silikon yağ miktarının damla buharlaşması üzerine etkisinin incelenmesinin ardından 350 cst silikon yağı (Sigma Aldrich) ile de bu deneme tekrarlanmıştır. Her yüzey için desen boyutuna bağlı olarak belirlenen 5 farklı miktarda 350 cst. silikon yağı ile damla buharlaşması denemesi yapılması planlanmıştır. Belirlenen miktarda yağ, cam pastör pipet ile hassas terazi yardımıyla yüzeye damlatılmıştır. Yağın yüzeyde iyice

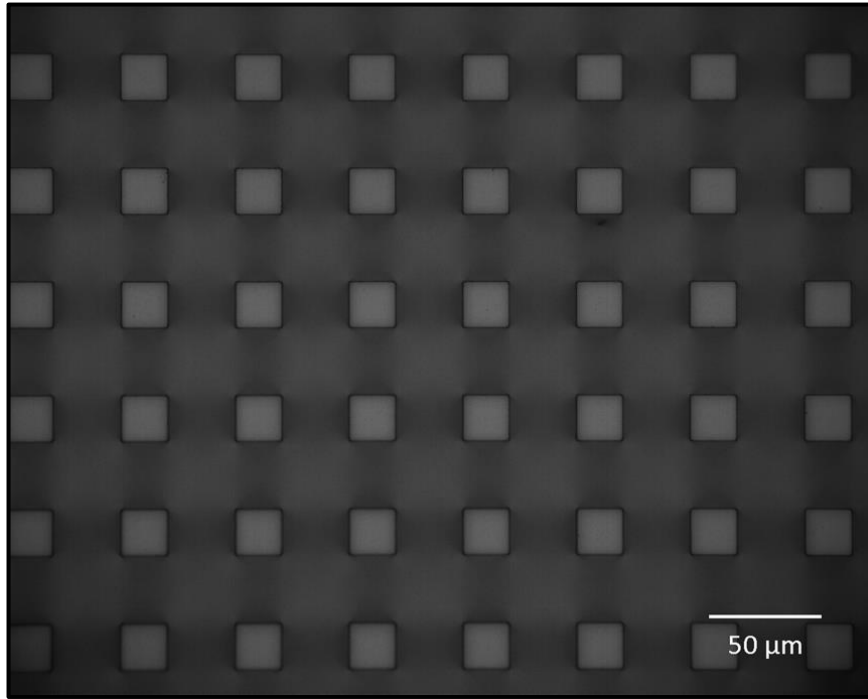
yayılması için 24 saat boyunca plaka, cam slayt üzerine alınarak bekletilmiştir. Bu işlemin ardından numune deney hücresine yerleştirilerek, Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan ATTENTION THETA temas açısı ölçüm cihazı ile damla buharlaşması denemeleri gerçekleştirilmiştir. Her yağ miktarı için bu işlem sırasıyla tekrarlanmıştır ve her bir yağ miktarı için SLIPS yüzey üzerinde bu deneme deneyin tekrar edilebilirliğini görmek için 3 kez gerçekleştirilmiştir. Damla yarıçapının, damla temas açısının ve damla hacminin zamanla değişimi gözlemlenmiş elde edilen sonuçların mevcut modele uyup uymadığı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar detaylarıyla bölüm 4, başlık 4.3.5'te verilmiştir.

4. BULGULAR ve YORUMLAR

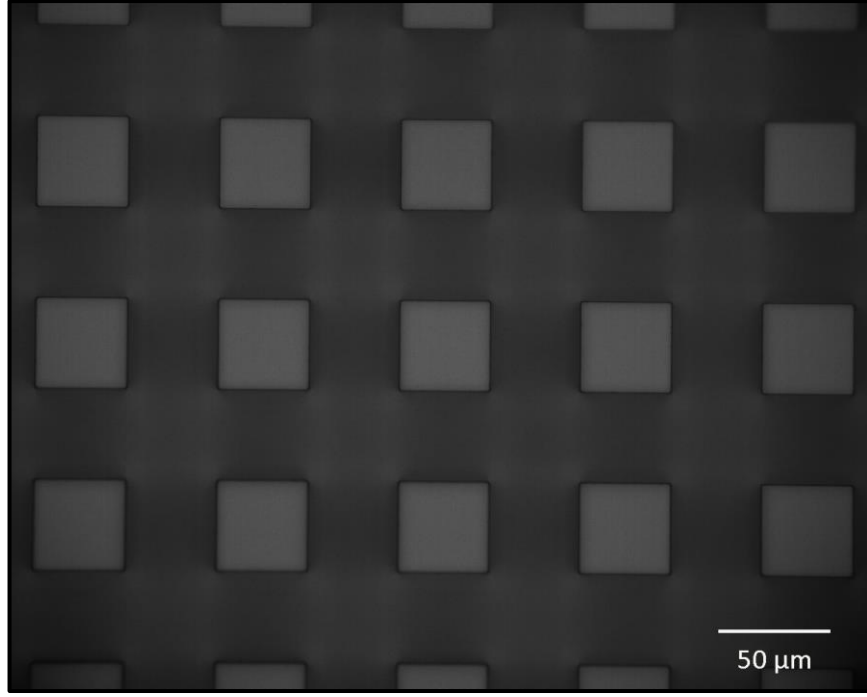
4.1. Silikon Plakaların Özellikleri

4.1.1. Silikon plakaların Optik Mikroskop Görüntüleri

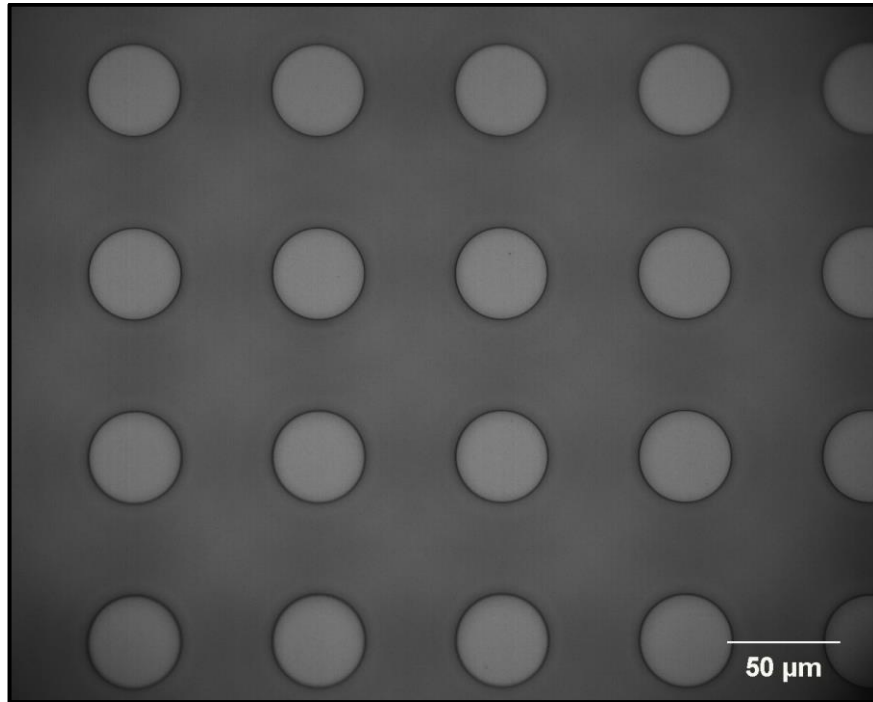
Tez çalışması kapsamında kullanılan, karesel ve silindirik desene sahip silikon plakalar Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında, NIKON ECLIPSE LV 100 Optik Mikroskop kullanılarak görüntülenmiştir. Her bir plaka için 500x büyütme ile çekilen fotoğraflar Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.1: 500x büyütme ile görüntülenenen S1 nolu silikon plaka.



Şekil 4.2: 500x büyütme ile görüntülenen S2 nolu silikon plaka.



Şekil 4.3: 500x büyütme ile görüntülenen S3 nolu silikon plaka.

4.1.2 Silikon Plakaların Desen Geometrisinden Hesaplanan Sıvı Katı Temas Alanı Oranı, Wenzel ve Cassie-Baxter Parametreleri

Tez kapsamında, kullanılan silikon plakalar farklı desen boyutu ve farklı desen geometrisine (silindir ve kare) sahiptir. Bütün plakaların yüksekliği, ortalama 35 μm 'dir ve bütün plakalar 2 cm x 2 cm boyutundadır. Desen genişliği d ile iki desen arası mesafe s ile gösterilmiştir. Silikon plakaların Tablo 4.1'de gösterilen desen boyut ve geometrisinden yararlanılarak sıvı-katı temas alanı oranı, Cassie-Baxter ve Wenzel parametreleri hesaplanmıştır. Sıvı/Katı temas alanı oranı L_F , Cassie-Baxter parametreleri katı ve sıvı için sırasıyla f_s^{CB} , f_o^{CB} ile ve Wenzel parametresi $r_w(\text{geo})$ ile gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Silikon plakaların özellikleri.

Numunw	Desen Geometrisi	d (μm)	s (μm)	L_F	f_s^{CB} (katı)	f_o^{CB} (sıvı)	$r_w(\text{geo})$
S1	Kare	20	30	0,6	0,16	0,84	2,01
S2	Kare	40	40	0,5	0,25	0,75	1,83
S3	Silindir	40	40	0,5	0,19	0,81	1,67

S1 ve S2 nolu numuneler kare desen geometrisine sahip olup desen boyutlarının birbirinden farklı olduğu, S1 nolu numunenin daha büyük sıvı/katı temas alanı oranına sahip olduğu görülmektedir. S2 ve S3 nolu numunelerin ise aynı desen boyutuna ve sıvı/katı temas alanı oranına sahip olduğu ancak desen geometrilerinin farklı olduğu görülmektedir. Seçilen bu plakalar ile hem desen boyutunun etkisi hem de desen geometrisinin etkisi doğrudan gözlemlenecektir.

4.1.3. DMDCS ile Kaplanmış Plakalar Üzerinde Statik, İlerleme ve Gerileme Temas Açısı Ölçüm Sonuçları

Tez kapsamında Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında, KSV CAM 200 Contact Angle cihazı kullanılarak statik (Θ), ilerleme (Θ_a) ve gerileme (Θ_r) temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu değerler kullanılarak silikon plakalar için temas açısı

karmaşası değerleri (CAH) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: DMDCS ile kaplanmış plakalar üzerinde statik, ilerleme ve gerileme temas açısı ölçüm sonuçları.

Numune	Statik temas açısı (Θ)	İlerleme temas açısı (Θ_a)	Gerileme temas açısı (Θ_r)	Temas açısı karmaşası (CAH)
Desensiz silikon yüzey	106±1	105±1	102±2	3±2
S1	155±2	164±2	150±1	14±2
S2	155±1	164±1	152±2	12±2
S3	152±2	161±1	152±2	9±2

Yapılan temas açısı ölçüm sonuçlarına göre, DMDCS kaplanan silikon plakaların desensiz silikon yüzey hariç süperhidrofobik ($\Theta > 120^\circ$) özellikte oldukları görülmüştür. Desensiz silikon yüzey üzerinde, temas açısı karmaşası değerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. DMDCS kaplama işlemi ile hidrofobitenin artırılması amaçlanmış ve yapılan ölçüm sonucunda tüm numuneler üzerinde bu amaca ulaşıldığı görülmüştür.

4.1.4. Silikon Plakalar Üzerindeki Boşluk Hacmi ve Yağ Emdirme İşlemi için Gerekli Olan Yağ Miktarları

Tez kapsamında kullanılan silikon plakaların desen geometrisinden yararlanarak yüzey üzerindeki boşluk hacimleri ve bu boşluk hacmini dolduracak silikon yağ miktarları hesaplanmıştır. Bunun için ilk olarak her bir yüzey üzerindeki desen sayısı hesaplanmıştır. Her bir desenin hacmi hesaplanmış bu hacim, desen sayısı ile çarpılarak yüzey üzerindeki toplam desen hacmi bulunmuştur. Desensiz plakanın

toplam hacminden, bulunan toplam desen hacmi çıkarılarak yüzey üzerinde silikon yağı ile doldurulabilecek boşluk hacmi hesaplanmıştır. Bütün plakaların yüksekliği, ortalama 35 μm 'dir ve bütün plakalar 2 cm x 2 cm boyutundadır. Kullanılan silikon yağlarının viskozitesi 20 cst ve 350 cst için sırasıyla, 950 kg/m^3 ve 968 kg/m^3 'tür. Tablo 4.4'te 20 cst. silikon yağı için, Tablo 4.5'de ise 350 cst. silikon yağı için yapılan hesaplamalar gösterilmiştir.

Hesaplanan bu değerlerden sonra her bir numune için denenecek yağ miktarları her iki viskoziteye sahip yağ için Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Silikon plakalar üzerinde denenecek silikon yağı miktarları.

Numune	Viskozite	Yağ miktarları (mg)					
		0 mg	7 mg	9 mg	11 mg	12 mg	14 mg
S1	20 cst	0 mg	7 mg	9 mg	11 mg	12 mg	14 mg
S1	350 cst	0 mg	7 mg	9 mg	11 mg	12 mg	14 mg
S2	20 cst	0 mg	6 mg	8 mg	10 mg	11 mg	13 mg
S2	350 cst	0 mg	6 mg	8 mg	10 mg	11 mg	13 mg
S3	20 cst	0 mg	6 mg	8 mg	10 mg	11 mg	13 mg
S3	350 cst	0 mg	6 mg	8 mg	10 mg	11 mg	13 mg

Tablo 4.4: 20 cst silikon yağı için boşluk hacmini dolduracak silikon yağı miktarının hesaplanması.

Numune	Desen sayısı (adet)	Bir desen hacmi (μm^3)	Toplam desen hacmi (μm^3)	Desensiz yüzeyin toplam hacmi (μm^3)	Toplam boşluk hacmi (μm^3)	20 cst silikon yağı için yağ miktarı (mg) ($d_{20\text{cst}}=950\text{kg}/\text{m}^3$)
S1	160000	14000	$2,24 \times 10^9$	$1,4 \times 10^{10}$	$1,176 \times 10^{-8}$	11,172
S2	62500	560000	$3,5 \times 10^9$	$1,4 \times 10^{10}$	$1,05 \times 10^{-8}$	9,975
S3	62500	43982,3	$2,749 \times 10^9$	$1,4 \times 10^{10}$	$1,125 \times 10^{-8}$	10,687

Tablo 4.5: 350 cst silikon yağı için boşluk hacmini dolduracak silikon yağı miktarının hesaplanması.

Numune	Desen sayısı (adet)	Bir desen hacmi (μm^3)	Toplam desen hacmi (μm^3)	Desensiz yüzeyin toplam hacmi (μm^3)	Toplam boşluk hacmi (μm^3)	350 cst silikon yağı için yağ miktarı (mg) ($d_{350\text{cst}}=968\text{kg}/\text{m}^3$)
S1	160000	14000	$2,24 \times 10^9$	$1,4 \times 10^{10}$	$1,176 \times 10^{-8}$	11,380
S2	62500	560000	$3,5 \times 10^9$	$1,4 \times 10^{10}$	$1,05 \times 10^{-8}$	10,176
S3	62500	43982,3	$2,749 \times 10^9$	$1,4 \times 10^{10}$	$1,125 \times 10^{-8}$	10,890

4.2. SLIPS Üzerindeki Su Damlası Etek Yüksekliğine Kullanılan Silikon Yağ Miktarı Etkisi

4.2.1. Desensiz Silikon Plaka Üzerindeki Su Damlasının Maksimum Etek Yüksekliği

Desensiz silikon plaka üzerindeki su damlasının maksimum etek yüksekliğinin belirlenmesi için yüzey üzerine cam pastör pipet ile silikon yağı damlatılmış, yağın yüzeye yayılmasının ardından KSV CAM 200 Contact Angle cihazı ile yüzey üzerinde 5 μL 'lik su damlası oluşturularak etek yüksekliği ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda, yağ miktarı artmasına rağmen etek yüksekliğinin sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu değer maksimum etek yüksekliği olarak kabul edilmiştir. Bu yükseklik her iki vizkosite için hesaplanmıştır. Desensiz silikon plaka üzerindeki maksimum etek yüksekliği 20 cst silikon yağı için $0,58\pm 2$ mm olarak, 350 cst silikon yağı için $0,60\pm 2$ mm olarak ölçülmüştür. Daha yüksek viskozitede, maksimum etek yüksekliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

4.2.2. Tam dolu SLIPS Yüzeyler Üzerinde Desen Geometrisinin Etek Yüksekliğine Etkisi

Tam dolu SLIPS yüzeyler üzerinde, altta yatan katı desen geometrisinin etek yüksekliğine etkisi bu tez kapsamında ayrıca incelenmiştir. Tablo 4.6'da 20 cst silikon yağı ile tam dolmuş, S1, S2 ve S3 nolu yüzeylerin etek yükseklikleri ile Wenzel, Cassie-Baxter, sıvı-katı temas alanı gibi parametreleri verilmiştir.

Tablo 4.6: Tam dolu SLIPS yüzeyler için (20 cst) etek yüksekliği desen geometrisi ilişkisi

Yüzey	Desen geometrisi	d (μm)	s (μm)	s/d	L_f	$r_w(\text{geo})$	f_s^{CB} (katı)	h_{ridge} (mm)
S1	Kare	20	30	1,5	0,6	2,01	0,16	0,074
S2	Kare	40	40	1	0,5	1,83	0,25	0,119
S3	Silindir	40	40	1	0,5	1,67	0,19	0,139

Tablo 4.6'daki bulgular incelendiğinde, en yüksek etek yüksekliğine S3 nolu silindir yüzeyin sahip olduğu görülmektedir. En düşük etek yüksekliğine sahip olan yüzeyin s/d oranı ve sıvı-katı temas alanı en yüksek olan S1 nolu kare yüzey olduğu görülmektedir. Etek yükseklikleri ile Wenzel parametresi ($r_w(\text{geo})$) arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Wenzel parametresi ($r_w(\text{geo})$) değeri arttıkça, etek yüksekliğinin azaldığı görülmüştür.

Tablo 4.7: Tam dolu SLIPS yüzeyler için (350 cst) etek yüksekliği desen geometrisi ilişkisi.

Yüzey	Desen geometrisi	d (μm)	s (μm)	s/d	L_f	$r_w(\text{geo})$	f_s^{CB} (katı)	h_{ridge} (mm)
S1	Kare	20	30	1,5	0,6	2,01	0,16	0,083
S2	Kare	40	40	1	0,5	1,83	0,25	0,119
S3	Silindir	40	40	1	0,5	1,67	0,19	0,294

Tablo 4.7'deki sonuçlar incelendiğinde tıpkı 20 cst silikon yağında olduğu gibi en yüksek etek yüksekliğine sahip yüzeyin S3 nolu silindir yüzey olduğu görülmektedir. En düşük etek yüksekliğine ise yine aynı 20 cst silikon yağında da olduğu gibi S1 nolu kare yüzeyin sahip olduğu görülmektedir. S1 nolu kare yüzey, en yüksek s/d ve sıvı-katı temas alanına sahip yüzey olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde, Wenzel parametresi ($r_w(\text{geo})$) ile etek yüksekliği arasında ters orantı olduğu ve $r_w(\text{geo})$ 'daki artış ile etek yüksekliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

Emdirilen silikon yağlarının, viskoziteleri karşılaştırıldığında ise 350 cst kullanımında oluşan etek yüksekliklerinin tüm yüzeyler üzerinde daha yüksek olduğu görülmektedir.

4.2.3. SLIPS Yüzeyler Üzerinde Artan Yağ Miktarının Etek Yüksekliğine ve Diğer Fiziksel Davranışlarına Etkisi

SLIPS yüzeyler üzerinde artan yağ miktarının etek yüksekliğine etkisinin gözlemlenmesi için Tablo 4.4'te belirtilen miktarlarda silikon yağı, yüzeylere emdirilerek KSV CAM 200 Contact Angle cihazı ile etek yükseklikleri ölçülmüştür. Bütün yüzeyler için, emdirilen silikon yağı viskozitesi, silikon yağı miktarı ile değişen etek yükseklikleri tablolar halinde verilmiştir.

S1 nolu yüzey için 20 cst silikon yağı kullanımında etek yüksekliğinin yağ miktarı ile değişimi Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8: S1 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (20 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.

Yağ miktarı (mg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$h_{\text{ridge}}=h_1-h_2$ (mm)	Θ_1 (°)	Θ_2 (°)
0	1,817	-	-	158	-
7	1,435	1,398	0,037	108	107
9	1,446	1,394	0,052	108	104
11	1,398	1,324	0,074	104	99
12	1,430	1,292	0,138	103	97
14	1,390	1,057	0,333	100	82

Tablo 4.8'de elde edilen bulgulara göre, yağ miktarı artışıyla birlikte etek yüksekliğinin arttığı ve temas açılarının düştüğü görülmüştür.

S2 nolu yüzey için 20 cst silikon yağı kullanımında etek yüksekliğinin yağ miktarı ile değişimi Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9: S2 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (20 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.

Yağ miktarı (mg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$h_{\text{ridge}}=h_1-h_2$ (mm)	Θ_1 (°)	Θ_2 (°)
0	1,727	-	-	149	-
6	1,504	1,458	0,046	110	108
8	1,461	1,406	0,055	107	103
10	1,433	1,314	0,119	104	99
11	1,291	1,117	0,186	94	75
13	1,009	0,561	0,448	81	77

Tablo 4.8’de elde edilen sonuçlar, artan silikon yağı miktarıyla beraber etek yüksekliğinin arttığı görülmüştür.

S3 nolu yüzey için 20 cst silikon yağı kullanımında etek yüksekliğinin yağ miktarı ile değişimi Tablo 4.10’da gösterilmiştir.

Tablo 4.10: S3 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (20 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.

Yağ miktarı (mg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$h_{\text{ridge}}=h_1-h_2$ (mm)	Θ_1 (°)	Θ_2 (°)
0	1,813	-	-	155	-
6	1,447	1,392	0,055	107	104
8	1,454	1,380	0,055	104	102
10	1,373	1,234	0,139	102	93
11	1,270	0,990	0,280	102	81
13	1,420	0,97	0,45	100	78

Tablo 4.10’da elde edilen sonuçlara göre, artan silikon yağı miktarıyla beraber etek yüksekliğinin arttığı ve her iki temas açısının düştüğü gözlemlenmiştir.

S1 nolu yüzey için 350 cst silikon yağı kullanımında etek yüksekliğinin yağ miktarı ile değişimi Tablo 4.11’de gösterilmiştir.

Tablo 4.11: S1 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (350 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.

Yağ miktarı (mg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$h_{ridge}=h_1-h_2$ (mm)	Θ_1 (°)	Θ_2 (°)
0	1,817	-	-	159	-
7	1,483	1,455	0,027	107	106
9	1,442	1,368	0,074	104	101
11	1,441	1,358	0,083	103	100
12	1,450	1,173	0,277	102	89
14	1,420	1,110	0,310	100	84

Tablo 4.11’de görüldüğü üzere, SLIPS yüzeye emdirilen silikon yağı miktarı arttıkça etek yüksekliğinin arttığı temas açılarının ise azaldığı görülmektedir.

S2 nolu yüzey için 350 cst silikon yağı kullanımında etek yüksekliğinin yağ miktarı ile değişimi Tablo 4.12’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12: S2 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (350 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.

Yağ miktarı (mg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$h_{ridge}=h_1-h_2$ (mm)	Θ_1 (°)	Θ_2 (°)
0	1,727	-	-	149	-
6	1,463	1,426	0,037	106	105

Tablo 4.12: Devam.

Yağ miktarı (mg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$h_{ridge}=h_1-h_2$ (mm)	Θ_1 (°)	Θ_2 (°)
8	1,483	1,419	0,064	107	105
10	1,451	1,332	0,119	105	99
11	1,47	1,192	0,278	104	91
13	1,43	1,102	0,328	99	84

Tablo 4.12’de görüldüğü üzere, SLIPS yüzeye emdirilen silikon yağı miktarı arttıkça etek yüksekliğinin arttığı temas açılarının ise azaldığı görülmektedir.

S3 nolu yüzey için 350 cst silikon yağı kullanımında etek yüksekliğinin yağ miktarı ile değişimi Tablo 4.13’te gösterilmiştir

Tablo 4.13: S3 nolu SLIPS yüzey için silikon yağı (350 cst) miktarı ile değişen etek yüksekliği.

Yağ miktarı (mg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$h_{ridge}=h_1-h_2$ (mm)	Θ_1 (°)	Θ_2 (°)
0	1,708	-	-	147	-
6	1,458	1,412	0,046	105	103
8	1,462	1,343	0,119	104	99
10	1,409	1,115	0,294	104	89
11	1,450	1,106	0,344	102	86
13	1,43	0,984	0,446	101	79

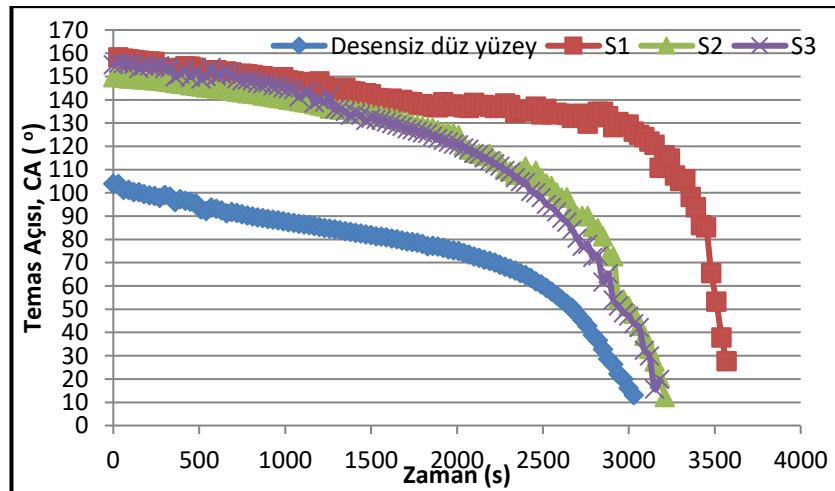
Tablo 4.13’te elde edilen sonuçlara göre, artan silikon yağı miktarıyla beraber etek yüksekliğinin arttığı ve her iki temas açısının da düştüğü gözlemlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, etek yüksekliğinin kullanılan silikon yağının miktarından etkilendiği, emdirilen yağ miktarı arttıkça etek yüksekliğinin arttığı görülmüştür. Etek yüksekliğine desen boyutu ve geometrisinin etkisi olduğu görülmüş, desen boyutu arttıkça etek yüksekliğinin arttığı, eşit desen boyutunda ise silindirik yüzeylerde etek yüksekliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Etek yüksekliği arttıkça tüm SLIPS yüzeyler üzerinde su damlasının yağ içerisine gömülmeye başladığı ve damla hareketliliğinin (droplet mobility) azaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuçların damla buharlaşmasına etkisi bir sonraki bölümde detaylı olarak incelenecektir.

4.3. Damla Buharlaşması Deneme Sonuçları

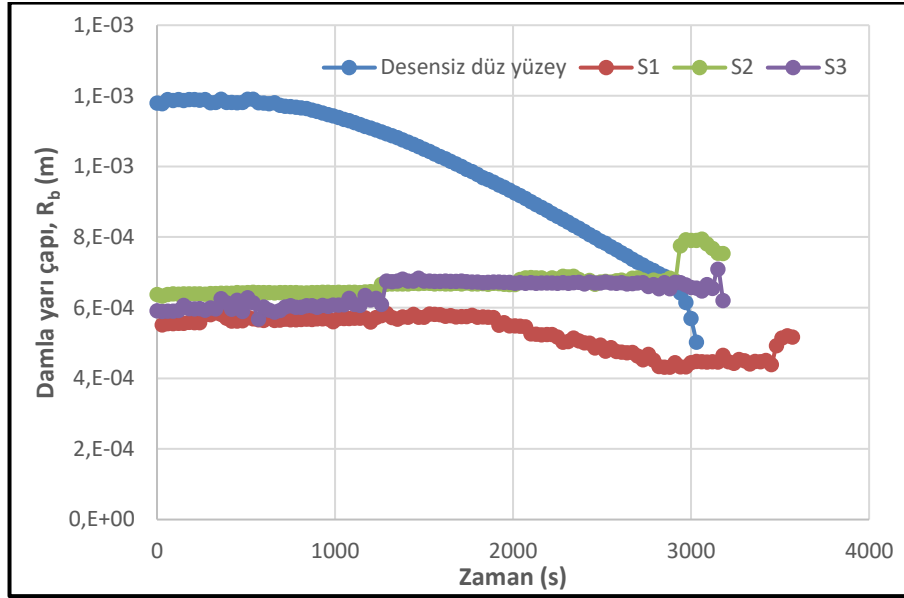
4.3.1. DMDCS Kaplı Silikon Plakalar Üzerinde Damla Buharlaşması

Damla buharlaşması denemelerine ilk olarak, DMDCS kaplı silikon plakalar ile başlanmıştır. DMDCS kaplı silikon plakalar üzerinde damla buharlaşması denemeleri, 25 ± 1 °C ortam sıcaklığına ve 54 ± 1 bağıl neme sahip, özel hazırlanmış şeffaf pleksiglas hücre içerisinde gerçekleştirilmiştir. Her silikon plaka için bu denemeler 3 kez tekrar edilmiş, sonuçların tutarlılığı kontrol edilmiştir. Damla buharlaşması süresi boyunca damla temas açısının, damla yarıçapının ve damla hacminin zamanla değişimi gözlemlenmiş, elde edilen bulgular sırasıyla Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir. Şekil 4.7'de ise $V^{2/3}$ -zaman grafiği verilmiştir.



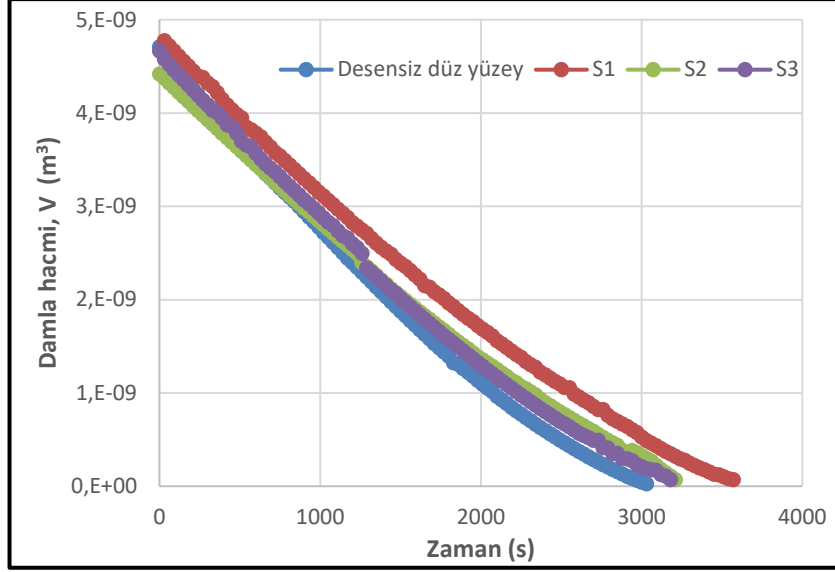
Şekil 4.4: DMDCS kaplı yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zaman ile değişimi.

Şekil 4.4’de DMDCS ile kaplı silikon plakalar üzerine yerleştirilen su damlasının temas açısının damla buharlaşması süresi boyunca zaman ile gösterdiği değişim görülmektedir. Desensiz düz yüzey üzerinde yapılan damla buharlaşması denemesinde başlangıç temas açısının desenli yüzeylere göre daha düşük olduğu görülmüştür.



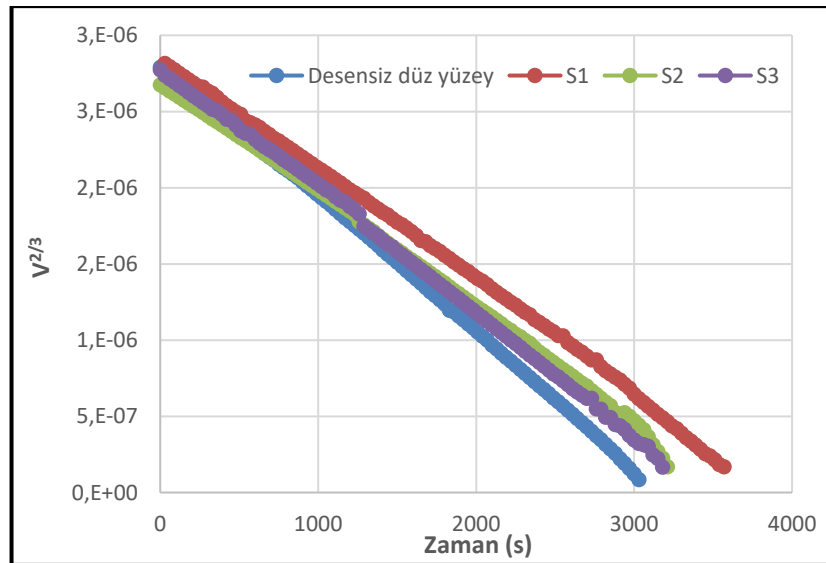
Şekil 4.5: DMDCS kaplı yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zaman ile değişimi.

Şekil 4.5’te DMDCS ile kaplı silikon plakalar üzerine yerleştirilen su damlasının yarıçapının, damla buharlaşması süresi boyunca zaman ile gösterdiği değişim görülmektedir. Desensiz düz silikon plaka yüzeyi hariç, tüm DMDCS kaplı silikon plakaların (S1, S2 ve S3) damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının değişim göstermediği görülmüştür. Desensiz düz yüzeyin ise, damla buharlaşması sırasında damla yarıçapının zamanla azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.6: DMDCS kaplı yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zaman ile değişimi.

Şekil 4.6’de DMDCS ile kaplı silikon plakalar üzerine yerleştirilen su damlasının hacminin, damla buharlaşması süresi boyunca zaman ile gösterdiği değişim görülmektedir. Damla buharlaşmasının ilk olarak desensiz düz plaka üzerinde sona erdiği, en son ise desen boyutu en küçük olan S1 nolu yüzeyde sona erdiği görülmüştür. Desen boyutları eşit, desen geometrileri farklı olan S2 (kare) ve S3 nolu (silindir) yüzeylerde ise buharlaşmanın aynı sürede sonlandığı görülmektedir.



Şekil 4.7: DMDCS kaplı yüzeyler üzerinde lineer damla buharlaşma hızı- zaman grafikleri.

Şekil 4.7’de DMDCS ile kaplı silikon plakalar üzerinde gerçekleştirilen damla buharlaşması denemelerinin $V^{2/3}$ -zaman grafiği görülmektedir. Tablo 4.14’te ise $V^{2/3}$ -zaman grafiğinin eğim değerleri ile silikon plakaların özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.14: DMDCS kaplı silikon plakaların özellikleri ve damla buharlaşma hızları.

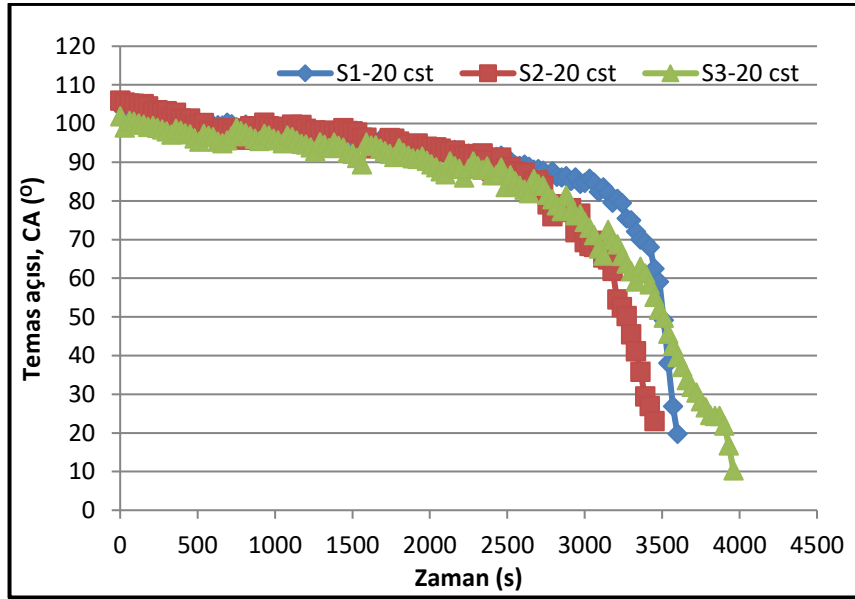
Yüzey	Desen geometrisi	d (μm)	s (μm)	s/d	L_f	r_w (geo)	f_s^{CB} (katı)	$\left(\frac{dV^{2/3}}{dT}\right)$
S1	Kare	20	30	1,5	0,6	2,01	0,16	1,05E-09
S2	Kare	40	40	1	0,5	1,83	0,25	9,69E-10
S3	Silindir	40	40	1	0,5	1,67	0,19	8,12E-10

Tablo 4.14 incelendiğinde, eğim değerinin en yüksek olduğu plakanın, S1 nolu kare plaka olduğu görülmektedir. $V^{2/3}$ -zaman grafiğinin eğim değeri, damla buharlaşmasının hızını yorumlamak açısından önemlidir ve bu değer büyük olması damla buharlaşmasının hızlı gerçekleştiğini gösterir. Bu bakımdan, S1 nolu kare yüzey üzerinde, damla buharlaşmasının en hızlı şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Bu yüzey L_f , S/d oranı, $r_w(\text{geo})$ parametreleri en yüksek olan yüzeydir. Damla buharlaşmasının en yavaş gerçekleştiği yüzey ise, S3 nolu silindir yüzeydir. Bu yüzey ise, $r_w(\text{geo})$ parametresi en düşük olan yüzeydir.

4.3.2. 20 Cst Tam Dolu Silikon Yağı İçeren SLIPS Yüzeyler Üzerinde Damla Buharlaşması

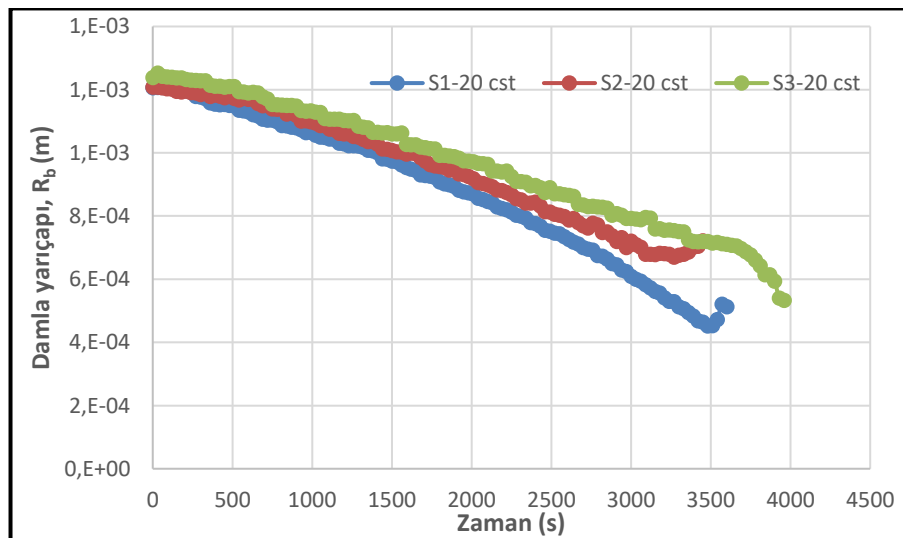
DMDCS kaplı silikon plakalar ile yapılan denemelerin ardından, bu plakalara boşluk hacmini tam dolduracak miktarda 20 cst silikon (Sigma Aldrich) yağı emdirilerek damla buharlaşması denemeleri gerçekleştirilmiştir. Her yüzey için bu deneme 3 kez tekrarlanarak verilerin tekrar edilebilirliği kontrol edilmiştir. SLIPS yüzey üzerine yerleştirilen damlanın, zamanla temas açısı, temas yarıçapı ve damla hacminin değişimi gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçların, mevcut teorik modele uyup uymadığı ve ıslatma eteğinin (wetting ridge) damla buharlaşmasına etkisi gözlemlenmiştir. Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10’da sırasıyla damla buharlaşması süresi boyunca

damlanın temas açısının değişimi, damla yarıçapının değişimi ve damla hacminin değişimi görölmektedir. Şekil 4.11’de ise $V^{2/3}$ -zaman grafiği görölmektedir.



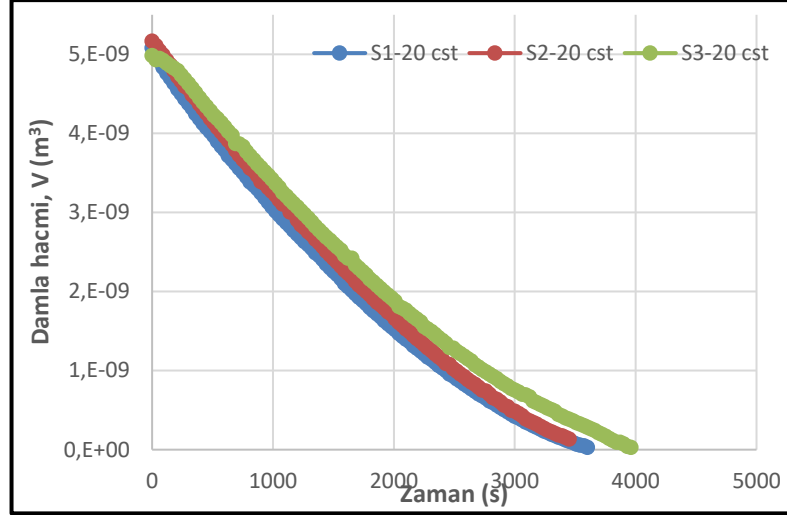
Şekil 4.8: 20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zaman ile değişimi.

Şekil 4.10’da 20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimi görölmektedir. Her üç SLIPS yüzeyde de sabit temas açısı (CCA) moduyla damla buharlaşmasının geręekleřtięi ve temas açısının 100°’de sabit kaldığı görölmüştür.



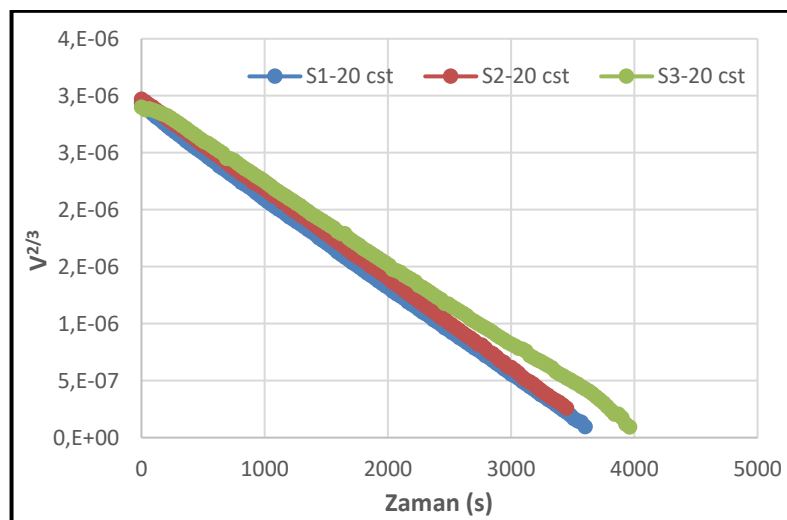
Şekil 4.9: 20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zaman ile değişimi.

Şekil 4.9’da 20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimi görülmektedir. Her üç SLIPS yüzeyde de damla yarıçapının sabit olmadığı, zamanla azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.10: 20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zaman ile değişimi.

Şekil 4.10’da 20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimi görülmektedir. 5 mikrolitrelik damla hacminin tam olarak önce S2 nolu SLIPS yüzeyde buharlaştığı, en son ise S3 nolu SLIPS yüzeyde buharlaştığı görülmüştür.



Şekil 4.11: 20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde lineer damla buharlaşma hızı-zaman grafikleri.

Şekil 4.11’de 20 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde gerçekleştirilen damla buharlaşması denemelerinin $V^{2/3}$ -zaman grafiği görülmektedir. Tablo 4.15’te ise bu grafiğin eğimi ile tam dolu SLIPS yüzeylerin, Cassie-Baxter, Wenzel parametresi, Sıvı-katı temas alanı oranı gibi özellikleri verilerek, damla buharlaşma hızına bu özelliklerin etkisi incelenmiştir.

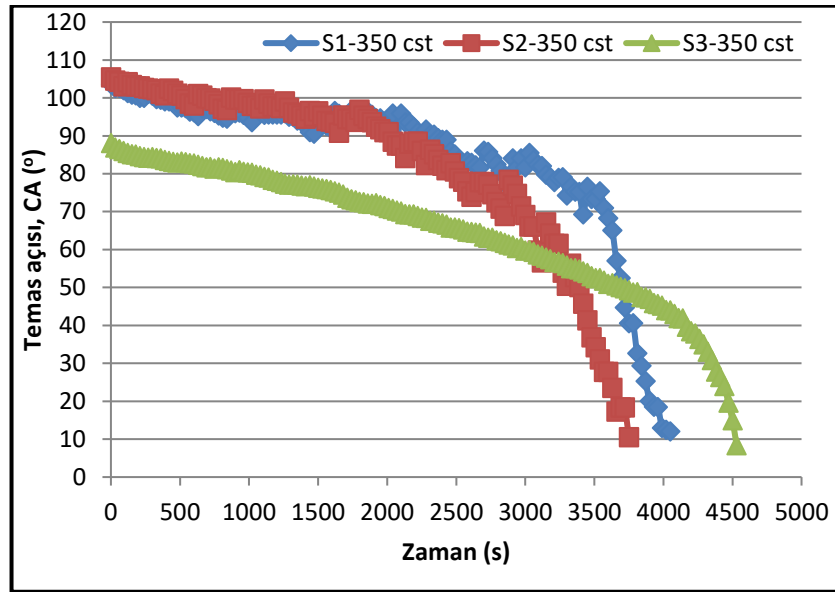
Tablo 4.15: Tam dolu (20 cst) SLIPS yüzeylerin özellikleri ve damla buharlaşma hızı.

Yüzey	Desen geometrisi	d (μm)	s (μm)	s/d	L_f	r_w (geo)	f_s^{CB} (katı)	$\left(\frac{dV^{2/3}}{dT}\right)$
S1	Kare	20	30	1,5	0,6	2,01	0,16	7,87E-10
S2	Kare	40	40	1	0,5	1,83	0,25	7,83E-10
S3	Silindir	40	40	1	0,5	1,67	0,19	7,18E-10

Şekil 4.11’de verilen $V^{2/3}$ -zaman grafiklerinin eğim değerleri, Tablo 4.15’te verilmiştir. Bu eğim değerleri, tam dolu SLIPS yüzeylerin damla buharlaşma hızlarını yorumlamak açısından oldukça önemlidir. Eğim değeri yüksek olan yüzeyin, damla buharlaşma hızı da yüksektir. Tablo 4.15’te aynı zamanda kullanılan SLIPS yüzeylerin, altta yatan katı desen geometrisine ilişkin parametreler de verilmiştir. Bu parametreler ile damla buharlaşma hızları karşılaştırıldığında, altta yatan katı desen geometrisinin SLIPS yüzeylerde damla buharlaşma hızına etki ettiği görülmüştür. Damla buharlaşmasının en yavaş, S3 nolu silindir SLIPS yüzey üzerinde gerçekleştiği görülmüştür. Damla buharlaşmasının en hızlı olduğu yüzey ise, S1 nolu kare SLIPS yüzeydir. S1 nolu kare yüzey, en yüksek s/d, L_f ve $r_w(\text{geo})$ parametresi değerine sahip yüzeydir. Yapılan çalışma sonucunda, $r_w(\text{geo})$ değeri ile damla buharlaşma hızı arasında lineer bir ilişki olduğu ve $r_w(\text{geo})$ parametresi değeri arttıkça, eğimin de arttığı görülmüştür.

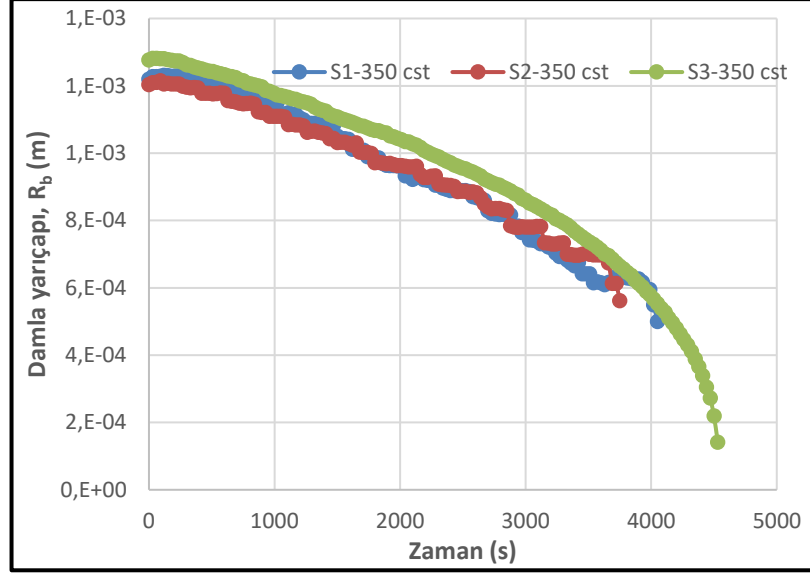
4.3.3 350 Cst Tam Dolu Silikon Yağı İçeren SLIPS Yüzeyler Üzerinde Damla Buharlaşması

20 cst tam dolu silikon yağı içeren plakalar ile yapılan denemelerin ardından, bu plakalar toluen ile yıkanıp kurutularak temizlenmiş ardından boşluk hacmini tam dolduracak miktarda 350 cst silikon (Sigma Aldrich) yağı emdirilerek damla buharlaşması denemeleri gerçekleştirilmiştir. Her yüzey için bu deneme 3 kez tekrarlanarak verilerin tekrar edilebilirliği kontrol edilmiştir. SLIPS yüzey üzerine yerleştirilen damlanın, zamanla temas açısı, temas yarıçapı ve damla hacminin değişimi gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçların, mevcut teorik modele uyup uymadığı ve ıslatma eteğinin (wetting ridge) damla buharlaşmasına etkisi gözlemlenmiştir. Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'te sırasıyla damla buharlaşması süresi boyunca damlanın temas açısının değişimi, damla yarıçapının değişimi ve damla hacminin değişimi görülmektedir. Şekil 4.15'te ise $V^{2/3}$ -zaman grafiği görülmektedir.



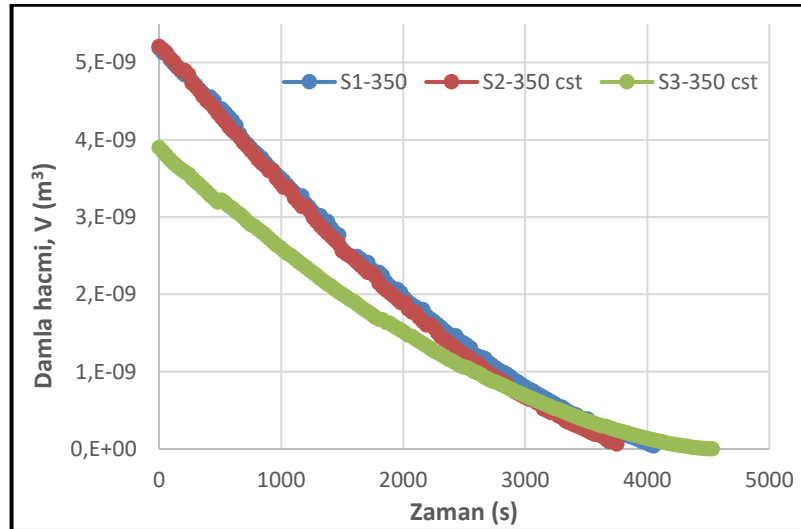
Şekil 4.12: 350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zaman ile değişimi.

Şekil 4.12'de 350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimi görülmektedir. S1 ve S2 nolu numunelerin 100° de sabit temas açısıyla buharlaştığı ancak buharlaşma sürelerinin farklı olduğu görülmüştür. S3 nolu numunenin ise diğer yüzeylerden farklı olarak daha düşük başlangıç temas açısıyla buharlaşmaya başladığı görülmüştür.



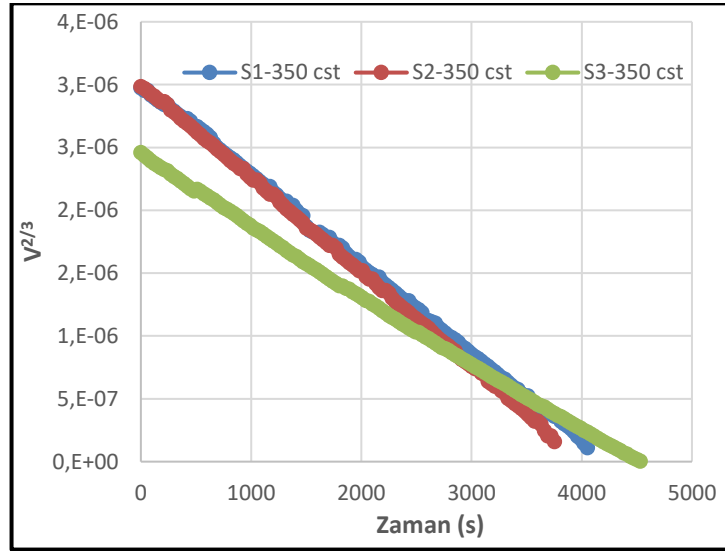
Şekil 4.13: 350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zaman ile değişimi.

Şekil 4.13’de 350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimi görülmektedir. Her üç SLIPS yüzeyde de damla yarıçapının sabit olmadığı, zamanla azaldığı görülmüştür. S1 ve S2 nolu yüzeylerde, damla yarı çapının zamanla değişimim birbirine benzer olduğu, S3 nolu yüzeyde ise değişim diğer iki yüzeye göre farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14: 350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zaman ile değişimi.

Şekil 4.14'te 350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimi görülmektedir. 5 mikrolitrelik damla hacminin ilk olarak S2 nolu SLIPS yüzeyde buharlaştığı, en son olarak ise S3 nolu SLIPS yüzeyde buharlaştığı görülmüştür.



Şekil 4.15: 350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde lineer damla buharlaşma hızı-zaman grafikleri.

Şekil 4.15'te 350 cst tam dolu silikon yağı içeren SLIPS yüzeyler üzerinde gerçekleştirilen damla buharlaşması denemelerinin $V^{2/3}$ -zaman grafiği görülmektedir. Tablo 4.16'da ise, bu grafiklerin eğim değerleri ile SLIPS yüzeylerin altta yatan katı desen geometrisine ilişkin parametreler verilmiştir.

Tablo 4.16: Tam dolu (350 cst) SLIPS yüzeylerin özellikleri ve damla buharlaşma hızı.

Yüzey	Desen geometrisi	d (μm)	s (μm)	s/d	L_f	r_w (geo)	f_s^{CB} (katı)	$\left(\frac{dV^{2/3}}{dT}\right)$
S1	Kare	20	30	1,5	0,6	2,01	0,16	7,14E-10
S2	Kare	40	40	1	0,5	1,83	0,25	7,47E-10
S3	Silindir	40	40	1	0,5	1,67	0,19	5,53E-10

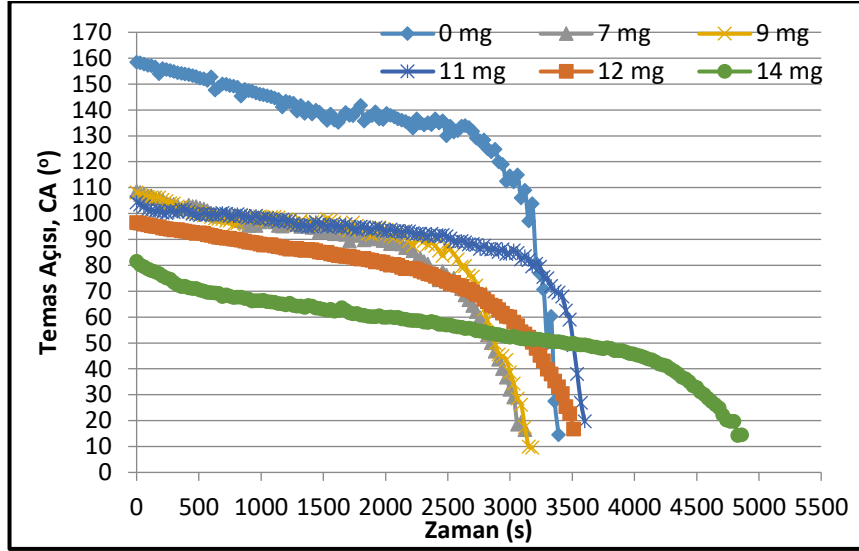
Şekil 4.15'te verilen $V^{2/3}$ -zaman grafiklerinin eğim değerleri, Tablo 4.16'da verilmiştir. Bu eğim değerleri, tam dolu SLIPS yüzeylerin damla buharlaşma hızlarını yorumlamak açısından oldukça önemlidir. Eğim değeri yüksek olan yüzeyin, damla buharlaşma hızı da yüksektir. Tablo 4.16'da aynı zamanda kullanılan SLIPS yüzeylerin, altta yatan katı desen geometrisine ilişkin parametreler de verilmiştir. Bu parametreler ile damla buharlaşma hızları karşılaştırıldığında, altta yatan katı desen geometrisinin SLIPS yüzeylerde damla buharlaşma hızına etki ettiği görülmektedir. Damla buharlaşmasının en hızlı olduğu yüzey, S2 nolu kare SLIPS yüzeydir. Damla buharlaşmasının en yavaş, S3 nolu silindir SLIPS yüzey üzerinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu yüzey aynı zamanda, en düşük $r_w(\text{geo})$ parametresi değerine sahiptir.

4.3.4. SLIPS Yüzeyler Üzerinde 20 Cst Silikon Yağ Miktarının Damla Buharlaşmasına Etkisinin İncelenmesi

Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler sonucunda, etek yüksekliğinin $r_w(\text{geo})$, L_F ve s/d oranından etkilendiği, bu parametreler arttıkça etek yüksekliğinin azaldığı görülmüştür. Yine tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda, etek yüksekliğinin kullanılan silikon yağ miktarı ve silikon yağı viskozitesinden etkilendiği, emdirilen yağ miktarı ve viskozitesi arttıkça etek yüksekliğinin arttığı görülmüştür.

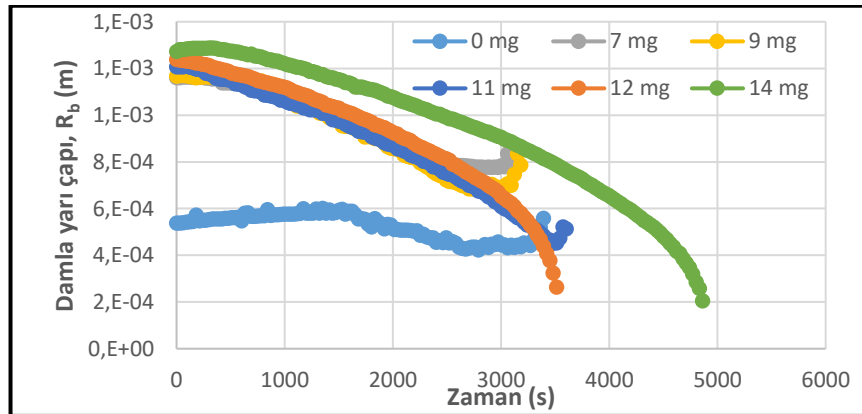
Yapılan literatür araştırması sonucunda, ıslatma eteğinin damla buharlaşmasına doğrudan etkisi olduğu ve bu nedenle mevcut modele bu etkinin $f(\Theta)$ faktörü ile eklendiği görülmüştür [Guan et.al., 2015]. Bu tez çalışması kapsamında, artan silikon yağı ile artan ıslatma eteği yüksekliğinin, damla buharlaşması üzerine etkisi de incelenmiştir. Bu kapsamda her bir silikon plaka için 5 farklı yağ miktarı, desen üzerindeki boşluk hacmine bağlı olarak belirlenmiştir (Tablo 4.4). Boş plaka ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüş ardından cam pastör pipetle belirlenen ilk miktardaki 20 cst. silikon yağı (Sigma Aldrich), silikon plaka üzerine damlatılmıştır. 24 saat boyunca damlatılan silikon yağının yüzeye yayılması beklenmiş ardından pleksiglas hücre içerisinde damla buharlaşması deneyi gerçekleştirilmiştir. Her yağ miktarı için bu işlem sırasıyla tekrarlanmıştır ve her bir yağ miktarı için SLIPS yüzey üzerinde bu deneme deneyin tekrar edilebilirliğini görmek için 3 kez gerçekleştirilmiştir. Zamanla damlanın, damla yarıçapının, damla temas açısının ve damla hacminin değişimi gözlemlenmiş elde edilen sonuçların mevcut modele uyup uymadığı incelenmiştir.

Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18’de sırasıyla S1 Nolu SLIPS yüzey için damla buharlaşması süresi boyunca damlanın temas açısının değişimi, damla yarıçapının değişimi ve damla hacminin değişimi görülmektedir. Şekil 4.19’de ise bu SLIPS yüzey için $V^{2/3}$ - zaman grafiği görülmektedir.



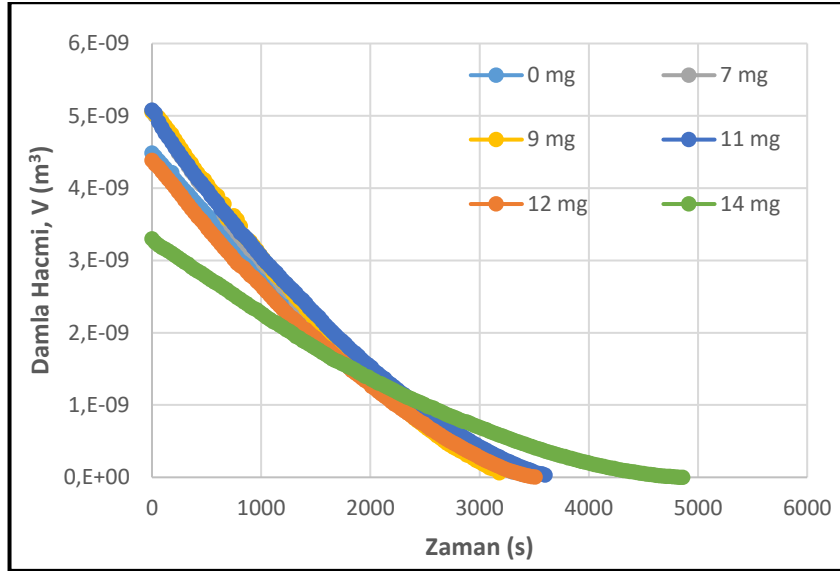
Şekil 4.16: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.16’da 0, 7, 9, 11, 12 ve 14 mg 20 cst silikon yağı varlığında S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce yapılan denemede (0 mg), başlangıç temas açısının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yağ miktarı arttıkça, açının azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.17: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.

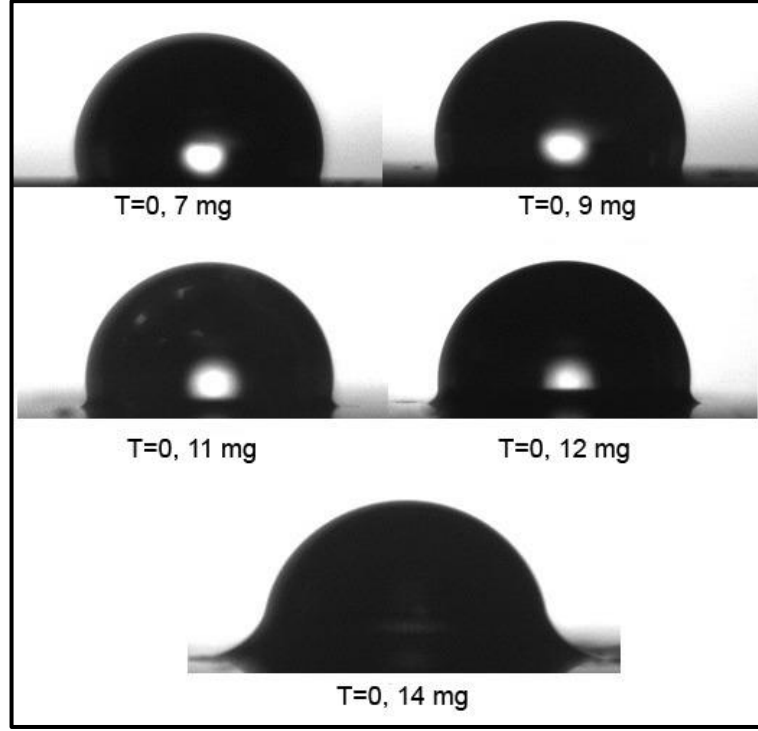
Şekil 4.17’de 0, 7, 9, 11, 12 ve 14 mg 20 cst silikon yağı varlığında S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce (0 mg), damla yarıçapının damla buharlaşması sırasında sabit olduğu, yağ emdirilmesiyle birlikte damla yarıçapının zamanla azaldığı görülmüştür.



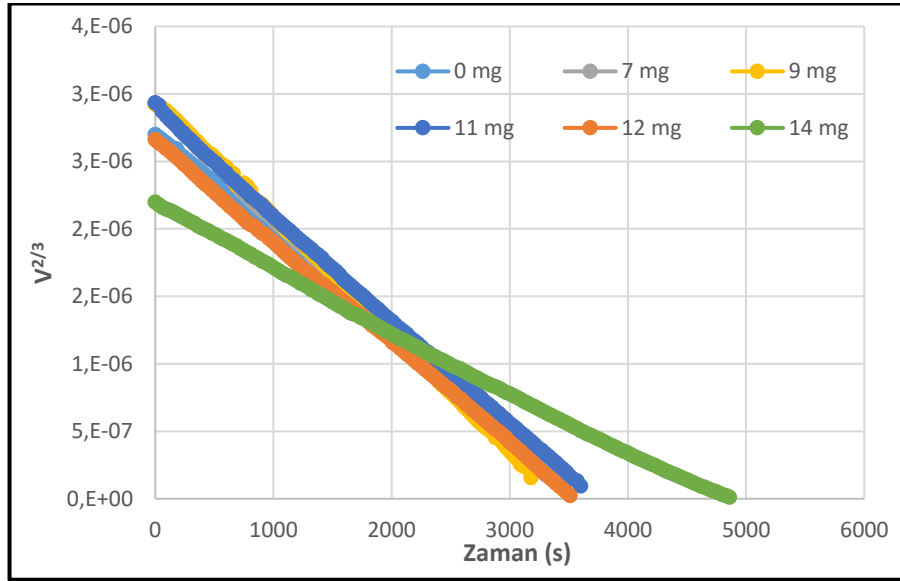
Şekil 4.18: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.18’de 0, 7, 9, 11, 12 ve 14 mg 20 cst silikon yağı varlığında S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimi görülmektedir.

Şekil 4.19’de ise S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde, emdirilen yağ miktarı artışıyla 5µL’lik damlanın t=0 anında kaydedilen görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.19: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.



Şekil 4.20: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.

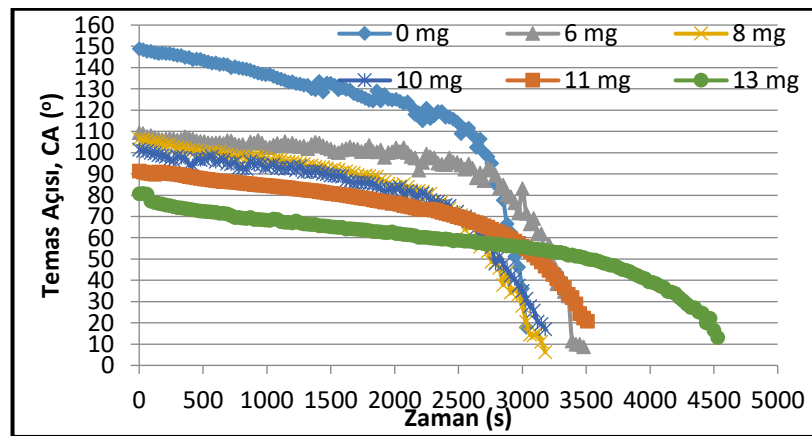
Şekil 4.20’de 0, 7, 9, 11, 12 ve 14 mg 20 cst silikon yağı varlığında S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca $V^{2/3}$ -zaman grafiği görülmektedir. Tablo 4.17’de ise, bu grafiğin eğim değerleri ile etek yüksekliği değerleri verilmiştir.

Tablo 4.17: S1 nolu yüzey (20 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.

Yağ miktarı (mg)	h_{ridge} (mm)	$\left(\frac{dV^{2/3}}{dT}\right)$
0	-	9,20E-10
7	0,037	8,40E-10
9	0,052	8,62E-10
11	0,074	7,88E-10
12	0,138	7,35E-10
14	0,333	4,47E-10

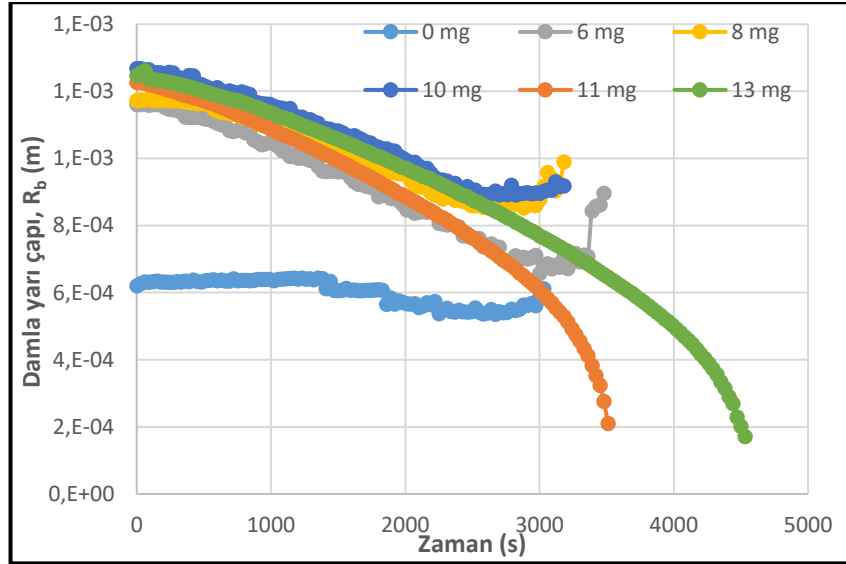
Tablo 4.17’de elde edilen sonuçlara göre, yağ miktarı arttıkça damla buharlaşma hızının düştüğü görülmüştür. Bu deneme ile birlikte artan yağ miktarı ile birlikte, etek yüksekliğinin arttığı; etek yüksekliğinin ise damla buharlaşmasını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23’te sırasıyla S2 Nolu SLIPS yüzey için damla buharlaşması süresi boyunca damlanın temas açısının değişimi, damla yarıçapının değişimi ve damla hacminin değişimi görülmektedir. Şekil 4.24’te S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı ile değişen etek yüksekliği ve damla profili, Şekil 4.25’te ise bu SLIPS yüzey için $V^{2/3}$ -zaman grafiği görülmektedir.



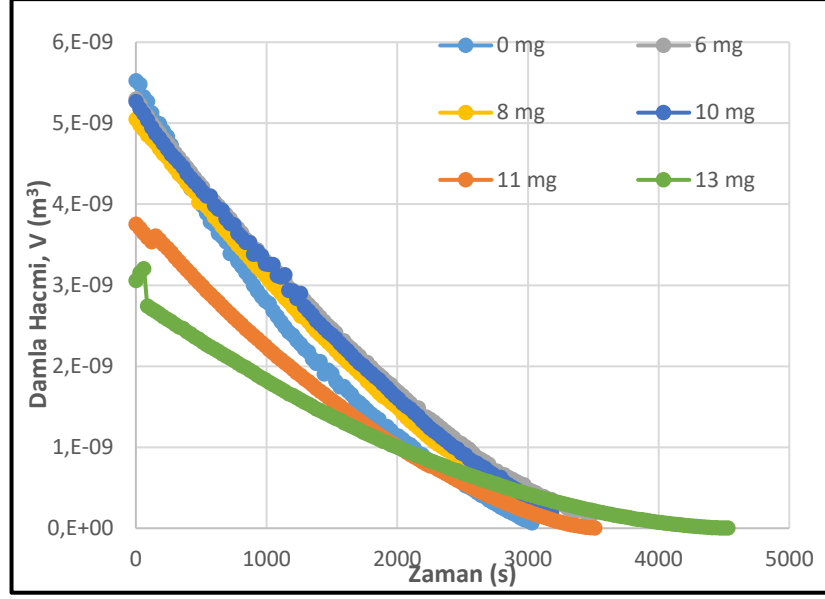
Şekil 4.21: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.21’de 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 20 cst silikon yağı varlığında S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce yapılan denemede (0 mg), başlangıç temas açısının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yağ miktarı arttıkça, temas açısının düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.22: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.

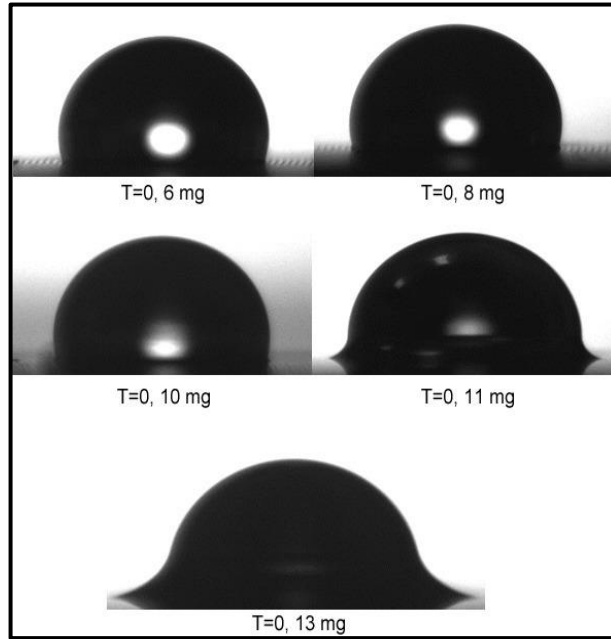
Şekil 4.22’de 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 20 cst silikon yağı varlığında S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce (0 mg), damla yarıçapının damla buharlaşması sırasında sabit olduğu, yağ emdirilmesiyle birlikte damla yarıçapının zamanla azaldığı görülmüştür.



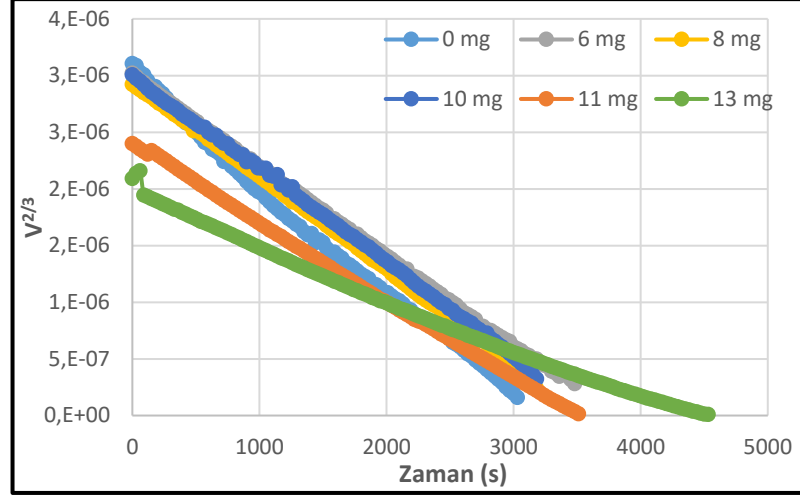
Şekil 4.23: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.23'te 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 20 cst silikon yağı varlığında S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimi görülmektedir.

Şekil 4.24'te ise, S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde, emdirilen yağ miktarı artışıyla 5 μ L'lik damlanın t=0 anında kaydedilen görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.24: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.



Şekil 4.25: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.

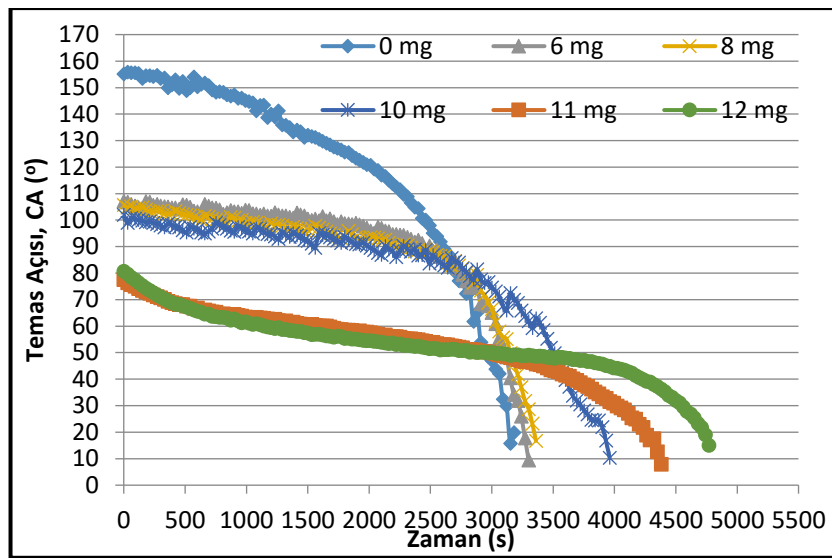
Şekil 4.25'te 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 20 cst silikon yağı varlığında S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca için $V^{2/3}$ 'ün zamanla değişimi görülmektedir. Tablo 4.18'de ise S2 için $V^{2/3}$ -zaman grafiğinin eğim değerleri ile, etek yükseklikleri verilmiştir.

Tablo 4.18: S2 nolu yüzey (20 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.

Yağ miktarı (mg)	h_{ridge} (mm)	$\left(\frac{dV^{2/3}}{dT}\right)$
0	-	8,60E-10
6	0,046	8,00E-10
8	0,055	8,17E-10
10	0,119	7,51E-10
11	0,186	7,38E-10
13	0,448	4,51E-10

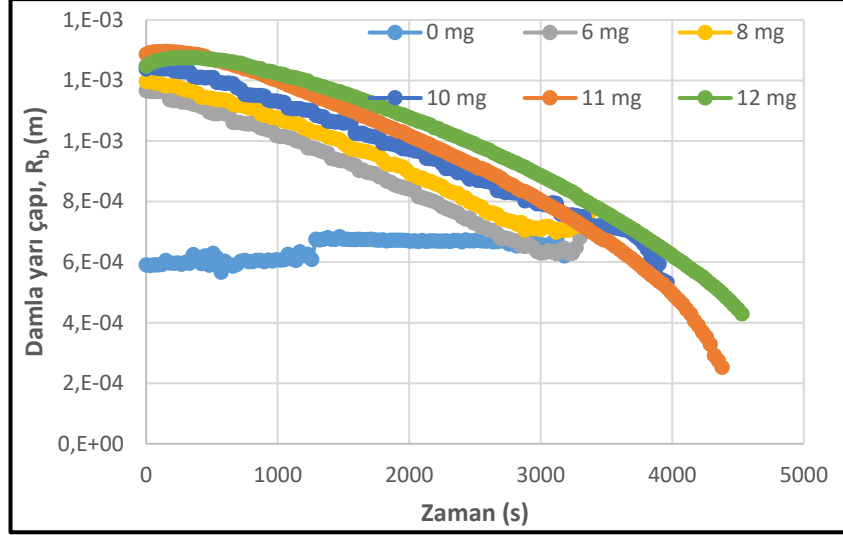
Tablo 4.18’de elde edilen sonuçlara göre, yağ miktarı arttıkça damla buharlaşma hızının düştüğü görülmüştür. Bu deneme ile birlikte artan yağ miktarı ile birlikte, etek yüksekliğinin arttığı; etek yüksekliğinin ise damla buharlaşmasını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Şekil 4.26, 4.27 ve 4.28’de sırasıyla S3 Nolu SLIPS yüzey için damla buharlaşması süresi boyunca damlanın temas açısının değişimi, damla yarıçapının değişimi ve damla hacminin değişimi görülmektedir. Şekil 4.29’da S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı ile değişen etek yüksekliği ve damla profili, Şekil 4.30’da ise bu SLIPS yüzey için $V^{2/3}$ - zaman grafiği görülmektedir.



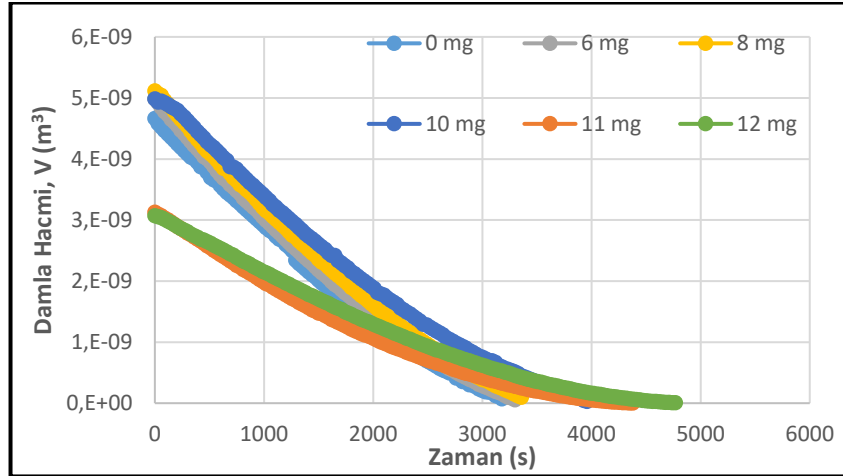
Şekil 4.26: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.26’da 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 20 cst silikon yağı varlığında S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce yapılan denemede (0 mg), başlangıç temas açısının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yağ miktarı arttıkça, temas açısının düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.27: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.

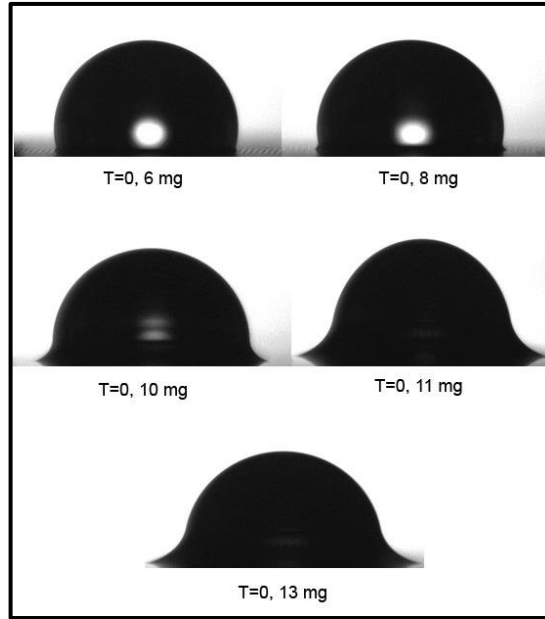
Şekil 4.27’de 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 20 cst silikon yağı varlığında S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce (0 mg), damla yarıçapının damla buharlaşması sırasında sabit olduğu, yağ emdirilmesiyle birlikte damla yarıçapının zamanla azaldığı görülmüştür.



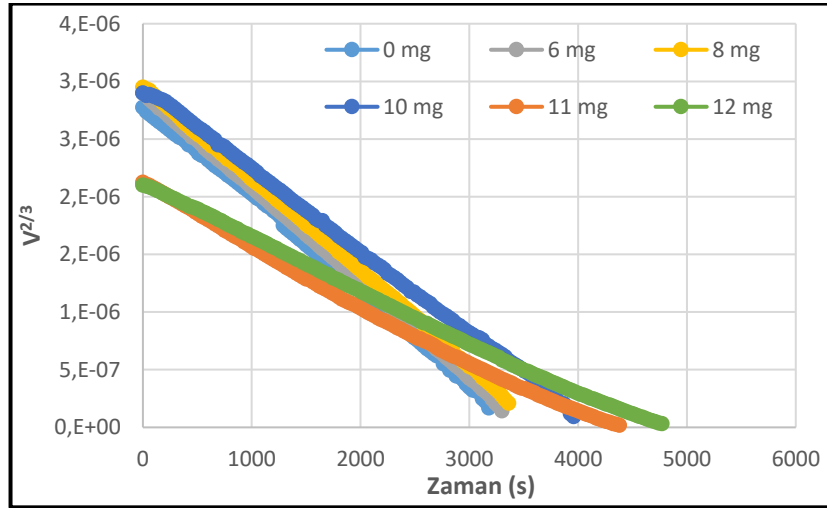
Şekil 4.28: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.28’de 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 20 cst silikon yağı varlığında S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimi görülmektedir.

Şekil 4.29’da ise, S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde, emdirilen yağ miktarı artışıyla 5µL’lik damlanın t=0 anında kaydedilen görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.29: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.



Şekil 4.30: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.30’da 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 20 cst silikon yağı varlığında S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca $V^{2/3}$ ’ün zamanla değişimi görülmektedir. Tablo 4.19’da ise S3 için $V^{2/3}$ -zaman grafiğinin eğim değerleri ile, etek yükseklikleri verilmiştir.

Tablo 4.19: S3 nolu yüzey (20 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.

Yağ miktarı (mg)	h_{ridge} (mm)	$\left(\frac{dV^{2/3}}{dT}\right)$
0	-	9,88E-10
6	0,055	8,13E-10
8	0,055	7,95E-10
10	0,139	7,20E-10
11	0,280	4,68E-10
13	0,450	4,62E-10

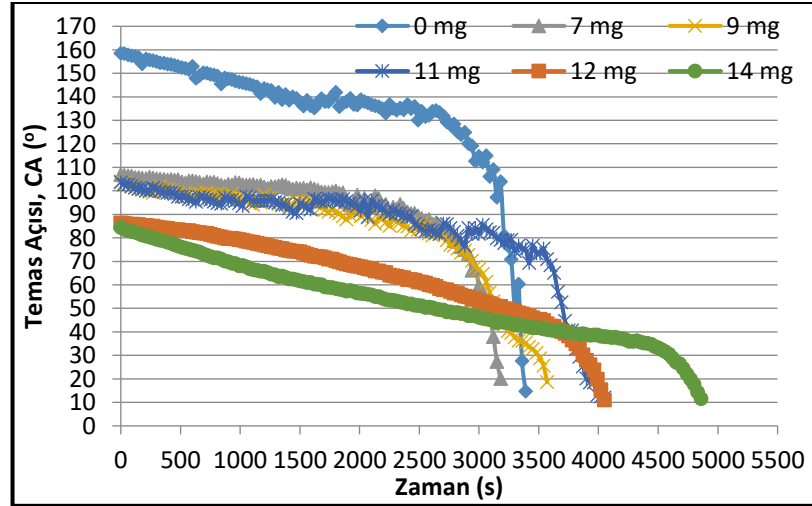
Tablo 4.19’da elde edilen sonuçlara göre, yağ miktarı arttıkça damla buharlaşma hızının düştüğü görülmüştür. Bu deneme ile birlikte artan yağ miktarı ile birlikte, etek yüksekliğinin arttığı; etek yüksekliğinin ise damla buharlaşmasını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Genel olarak, SLIPS yüzeyler üzerinde 20 cst silikon yağ miktarının damla buharlaşmasına etkisinin incelenmesi için yapılan çalışmaların sonucunda; yağ miktarı arttıkça artan etek yüksekliği ile birlikte damla buharlaşmasının yavaşladığı ve sabit temas açısıyla buharlaşma (CCA) modundan sapmalar olduğu görülmüştür. Tam dolu yüzeylerin, 100°’de sabit temas açısıyla buharlaştığı bu miktarın üstündeki değerlerde açının düştüğü gözlemlenmiştir. Bu sonuç literatürde belirtilen ideal SLIPS yüzeylerin buharlaşma davranışlarına benzer şekildedir [Guan et.al.,2015]. Üç yüzey üzerinde de yapılan çalışmaların birbiri ile tutarlı olduğu ve yağ miktarı arttıkça artan etek yüksekliğine bağlı olarak buharlaşmanın daha uzun sürede gerçekleştiği görülmüştür. Etek yüksekliği, damlanın yüzey alanını kısıtlayarak damla buharlaşmasının yavaşlamasına neden olmaktadır [Guan et.al., 2015]. Silindirik desen geometrisine sahip, S3 nolu SLIPS yüzeyin eşit miktarda yağda diğer yüzeylere göre daha yüksek etek yüksekliğine sahip olduğu bu nedenle de artan yağ miktarından diğer yüzeylere göre daha çok etkilendiği gözlemlenmiştir.

4.3.5. SLIPS Yüzeyler Üzerinde 350 Cst Silikon Yağ Miktarının Damla Buharlaşmasına Etkisinin İncelenmesi

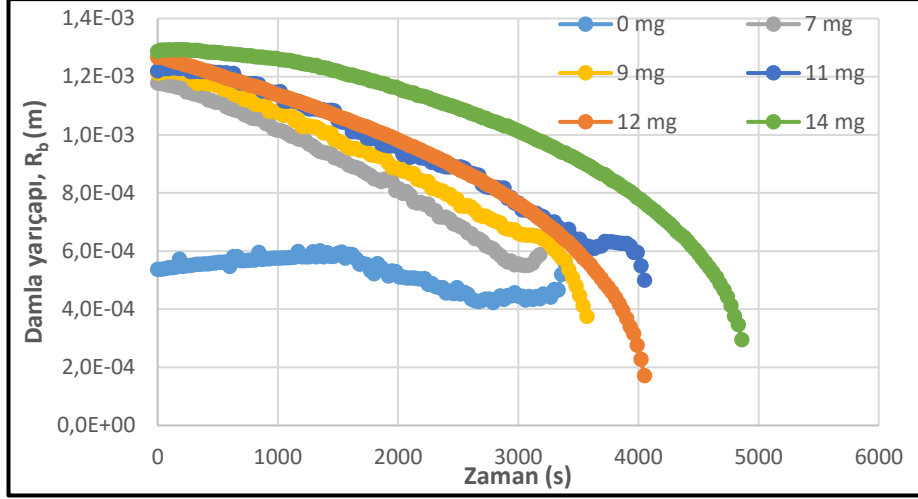
20 cst silikon yağı ile yapılan yağ miktarının damla buharlaşması üzerine etkisinin incelenmesi çalışmalarının ardından, silikon plakalar toluen ile yıkanıp kurutularak hassas terazi ile boş ağırlıkları kontrol edilmiştir. Kontrol işleminin ardından, silikon plakara belirlenen miktarlarda 350 cst silikon yağı emdirilerek, yağ miktarının damla buharlaşmasına etkisi incelenmiştir.

Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33'de sırasıyla S1 nolu SLIPS yüzey için 350 cst silikon yağı kullanımında damla buharlaşması süresi boyunca damlanın temas açısının değişimi, damla yarıçapının değişimi ve damla hacminin değişimi görülmektedir. Şekil 4.34'te ise bu SLIPS yüzey için $V^{2/3}$ -zaman grafiği görülmektedir.



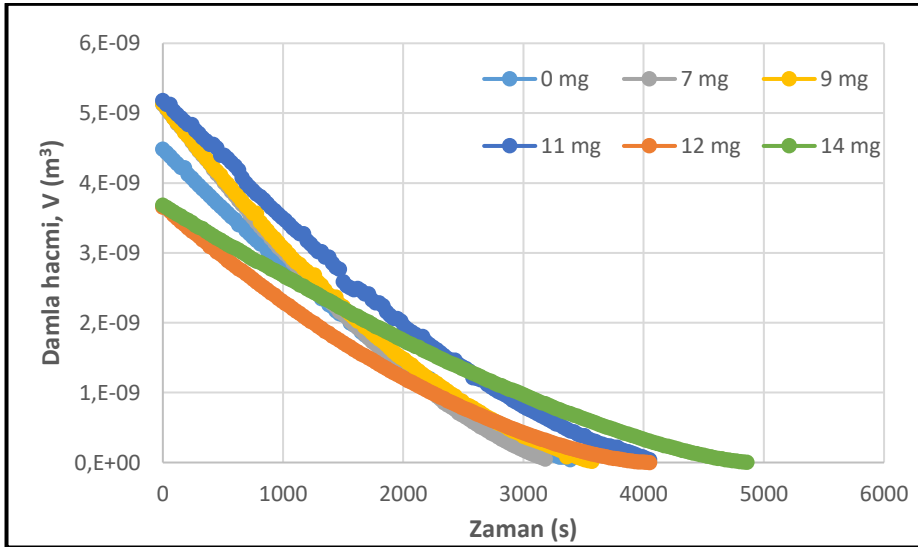
Şekil 4.31: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.31'de 0, 7, 9, 11, 12 ve 14 mg 350 cst silikon yağı varlığında S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce yapılan denemede (0 mg), başlangıç temas açısının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yağ miktarı arttıkça, temas açısının düştüğü ve damla buharlaşma süresinin uzadığı görülmüştür.



Şekil 4.32: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.

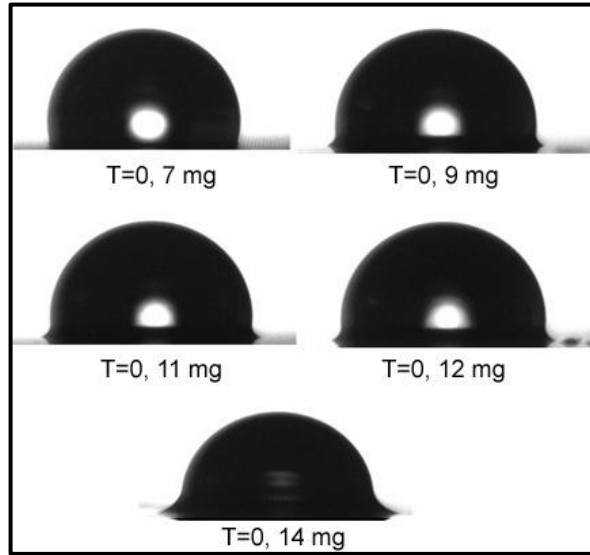
Şekil 4.32’de 0, 7, 9, 11, 12 ve 14 mg 20 cst silikon yağı varlığında S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce (0 mg), damla yarıçapının damla buharlaşması sırasında sabit olduğu, yağ emdirilmesiyle birlikte damla yarıçapının zamanla azaldığı görülmüştür.



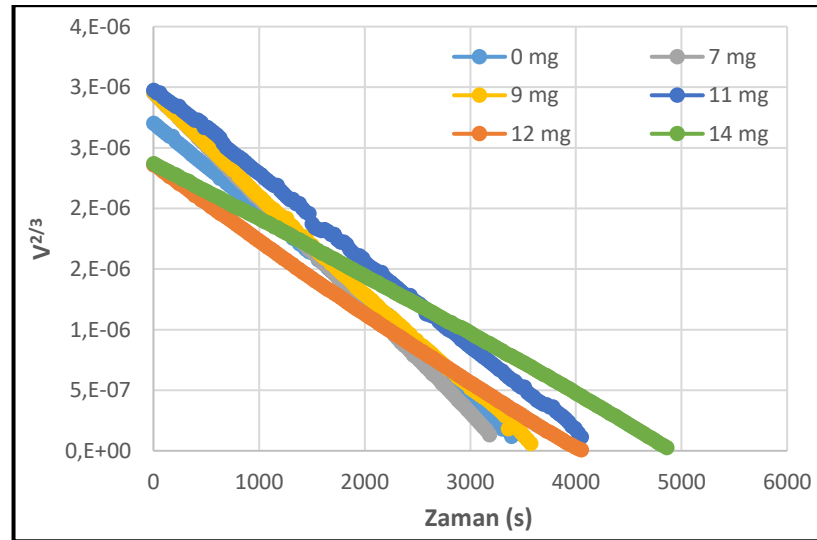
Şekil 4.33: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.33'te 0, 7, 9, 11, 12 ve 14 mg 350 cst silikon yağı varlığında S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimi görülmektedir.

Şekil 4.34'te ise, S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde, emdirilen yağ miktarı artışıyla 5 μ L'lik damlanın t=0 anında kaydedilen görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.34: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı (350 cst) ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.



Şekil 4.35: S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.35'te 0, 7, 9, 11, 12 ve 14 mg 350 cst silikon yağı varlığında S1 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca $V^{2/3}$ 'ün zamanla değişimi

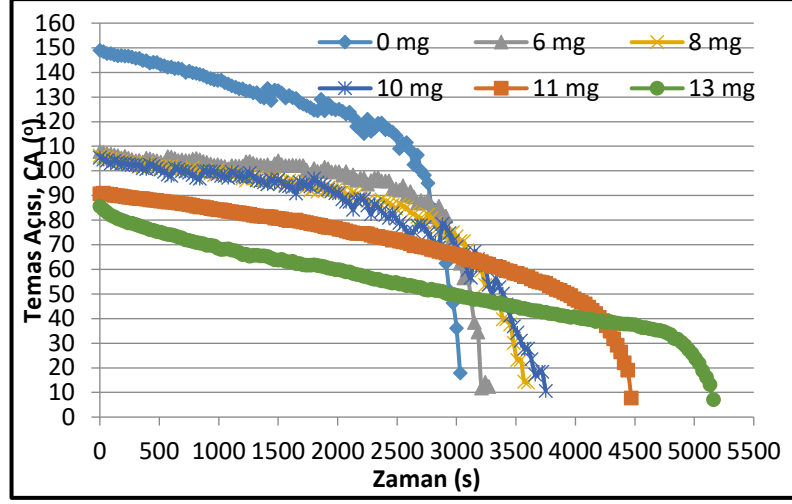
görülmektedir. Tablo 4.20’de ise S1 için $V^{2/3}$ -zaman grafiğinin eğim değerleri ile, etek yükseklikleri verilmiştir.

Tablo 4.20: S1 nolu yüzey (350 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.

Yağ miktarı (mg)	h_{ridge} (mm)	$\left(\frac{dV^{2/3}}{dT}\right)$
0	-	9,21E-10
7	0,027	8,75E-10
9	0,074	8,23E-10
11	0,083	7,21E-10
12	0,277	6,20E-10
14	0,310	4,87E-10

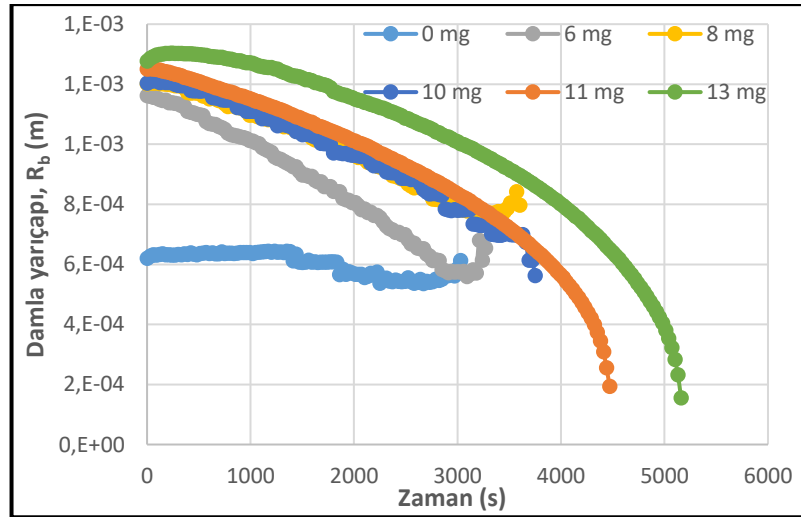
Tablo 4.20’de elde edilen sonuçlara göre, yağ miktarı arttıkça damla buharlaşma hızının düştüğü görülmüştür. Bu deneme ile birlikte artan yağ miktarı ile birlikte, etek yüksekliğinin arttığı; etek yüksekliğinin ise damla buharlaşmasını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Şekil 4.36, 4.37 ve 4.38’de sırasıyla S2 Nolu SLIPS yüzey için 350 cst silikon yağı kullanımında damla buharlaşması süresi boyunca damlanın temas açısının değişimi, damla yarıçapının değişimi ve damla hacminin değişimi görülmektedir. Şekil 4.39’da S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı ile değişen etek yüksekliği ve damla profili, Şekil 4.40’de ise bu SLIPS yüzey için $V^{2/3}$ -zaman grafiği görülmektedir.



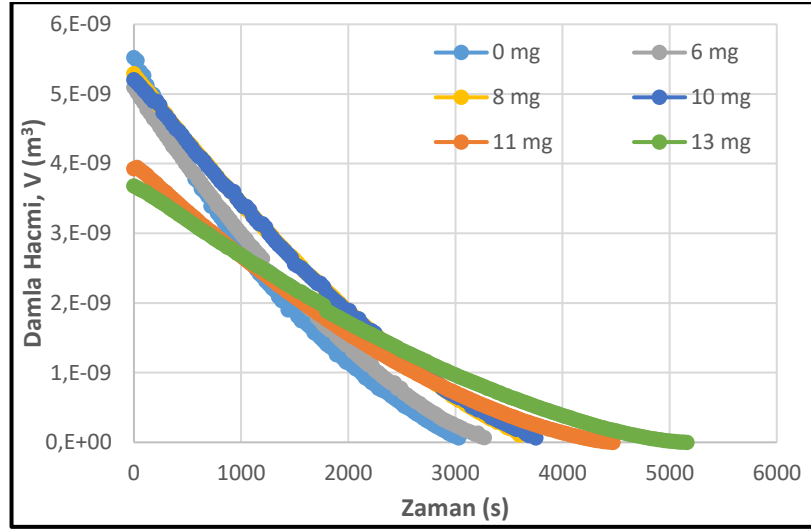
Şekil 4.36: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.36'da 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 350 cst silikon yağı varlığında S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce yapılan denemede (0 mg), başlangıç temas açısının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yüzeyin yağ ile tam dolduğu miktarda (10 mg), temas açısının damla buharlaşması sırasında 100°'de sabit kaldığı görülmüştür. Bu sonuç literatürde belirtilen ideal SLIPS yüzeylerin buharlaşma davranışlarına benzer şekildedir [Guan et.al.,2015]. Yağ miktarı arttıkça, temas açısının giderek düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.37: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.

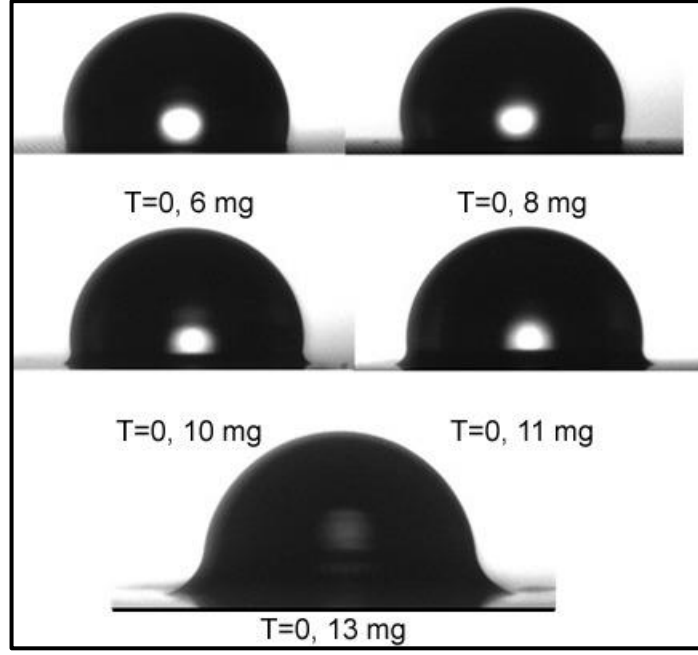
Şekil 4.37’de 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 350 cst silikon yağı varlığında S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce (0 mg), damla yarıçapının damla buharlaşması sırasında sabit olduğu, yağ emdirilmesiyle birlikte damla yarıçapının zamanla azaldığı görülmüştür.



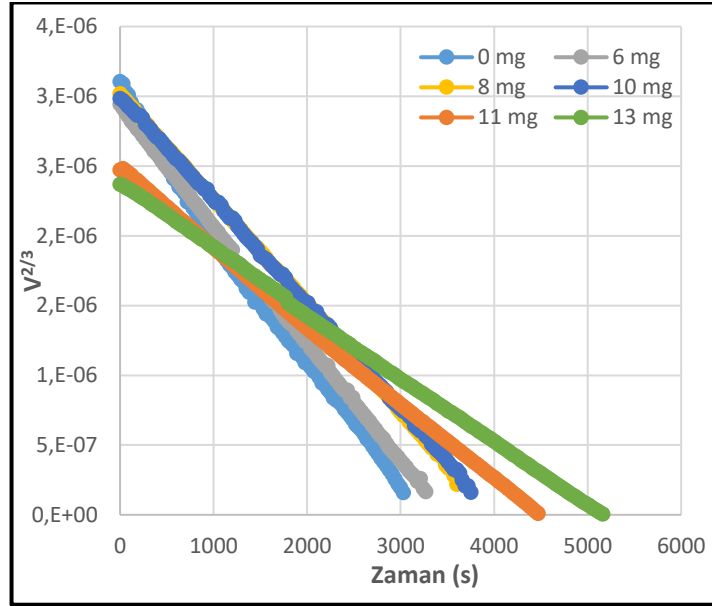
Şekil 4.38: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.38’de 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 350 cst silikon yağı varlığında S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimi görülmektedir.

Şekil 4.39’da ise, S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde, emdirilen yağ miktarı artışıyla 5µL’lik damlanın t=0 anında kaydedilen görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.39: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı (350 cst) ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.



Şekil 4.40: S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.

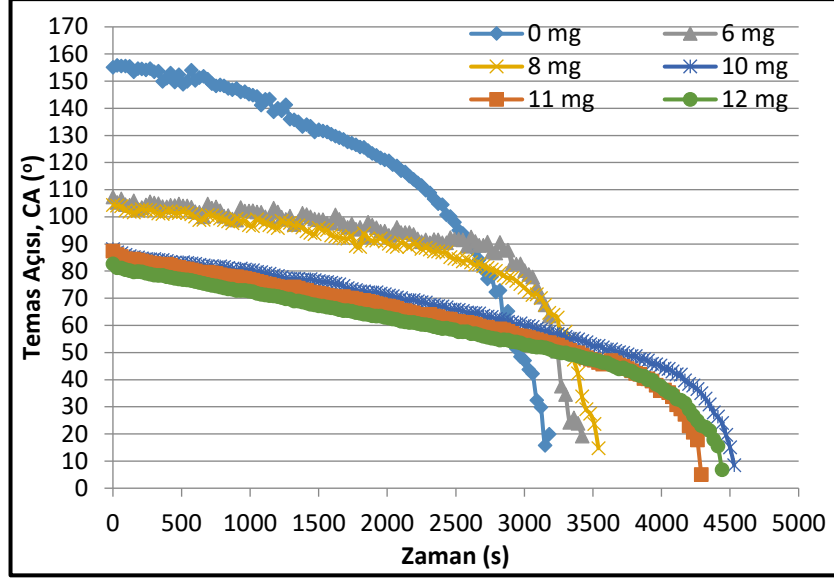
Şekil 4.40'de 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 350 cst silikon yağı varlığında S2 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca $V^{2/3}$ 'ün zamanla değişimi görülmektedir. Tablo 4.21'de ise S2 için $V^{2/3}$ -zaman grafiğinin eğim değerleri ile, etek yükseklikleri verilmiştir.

Tablo 4.21: S2 nolu yüzey (350 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.

Yağ miktarı (mg)	h_{ridge} (mm)	$\left(\frac{dV^{2/3}}{dT}\right)$
0	-	8,60E-10
6	0,037	8,45E-10
8	0,064	7,50E-10
10	0,119	7,47E-10
11	0,278	5,61E-10
13	0,328	4,65E-10

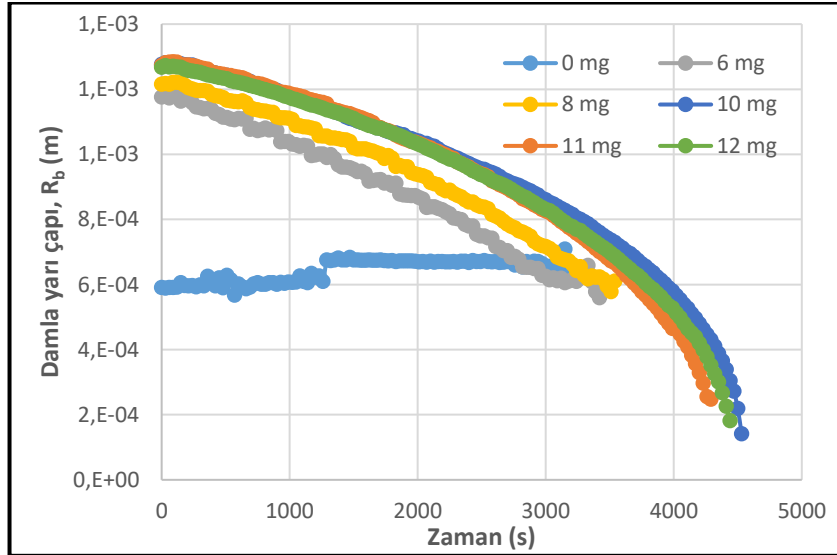
Tablo 4.21’de elde edilen sonuçlara göre, yağ miktarı arttıkça damla buharlaşma hızının düştüğü görülmüştür. Bu deneme ile birlikte artan yağ miktarı ile birlikte, etek yüksekliğinin arttığı; etek yüksekliğinin ise damla buharlaşmasını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Şekil 4.41, 4.42 ve 4.43’de sırasıyla S3 Nolu SLIPS yüzey için 350 cst silikon yağı kullanımında damla buharlaşması süresi boyunca damlanın temas açısının değişimi, damla yarıçapının değişimi ve damla hacminin değişimi görülmektedir. Şekil 4.44’te S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı ile değişen etek yüksekliği ve damla profili, Şekil 4.45’de ise bu SLIPS yüzey için $V^{2/3}$ -zaman grafiği görülmektedir.



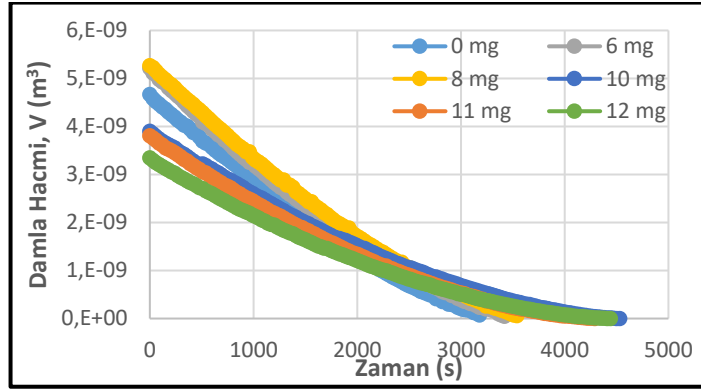
Şekil 4.41: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.41’de 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 350 cst silikon yağı varlığında S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca temas açısının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce yapılan denemede (0 mg), başlangıç temas açısının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yağ miktarı arttıkça, temas açısının düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.42: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 20 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimine etkisi.

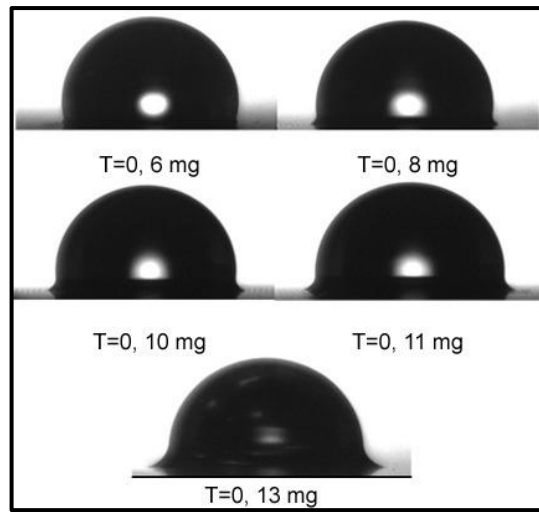
Şekil 4.42’de 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 350 cst silikon yağı varlığında S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla yarıçapının zamanla değişimi görülmektedir. Yağ emdirilmeden önce (0 mg), damla yarıçapının damla buharlaşması sırasında sabit olduğu, yağ emdirilmesiyle birlikte damla yarıçapının zamanla azaldığı görülmüştür.



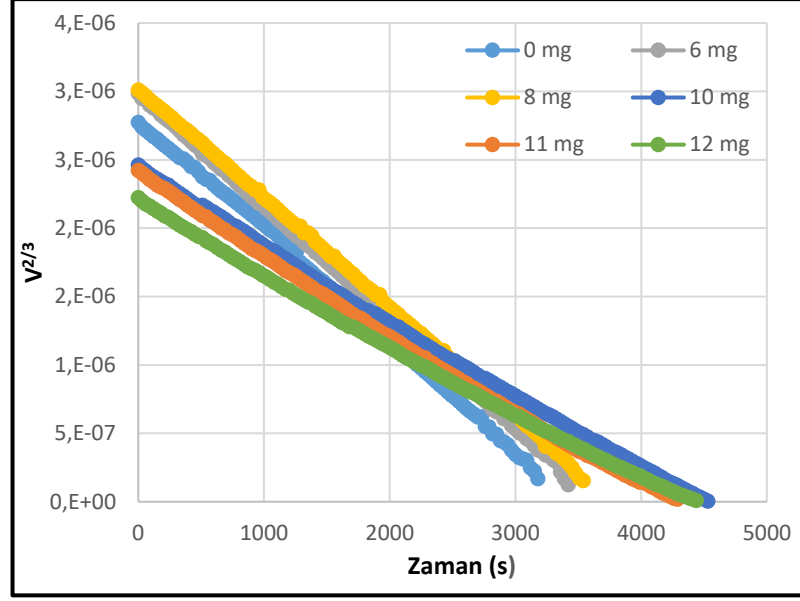
Şekil 4.43: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.43’te 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 350 cst silikon yağı varlığında S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca damla hacminin zamanla değişimi görülmektedir.

Şekil 4.44’te ise, S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde, emdirilen yağ miktarı artışıyla 5 μ L’lik damlanın t=0 anında kaydedilen görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.44: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde artan yağ miktarı (350 cst) ile değişen etek yüksekliği ve damla profili.



Şekil 4.45: S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde 350 cst silikon yağı miktarının damla buharlaşması süresi boyunca damla buharlaşma hızının zamanla değişimine etkisi.

Şekil 4.46’da 0, 6, 8, 10, 11 ve 13 mg 350 cst silikon yağı varlığında S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde damla buharlaşması süresi boyunca $V^{2/3}$ ’ün zamanla değişimi görülmektedir. Tablo 4.22’de ise S2 için $V^{2/3}$ -zaman grafiğinin eğim değerleri ile, etek yükseklikleri verilmiştir.

Tablo 4.22: S3 nolu yüzey (350 cst) için etek yüksekliği ve eğim değerleri.

Yağ miktarı (mg)	h_{ridge} (mm)	$\left(\frac{dV^{2/3}}{dT}\right)$
0	-	9,88E-10
6	0,046	8,10E-10
8	0,119	7,96E-10
10	0,294	6,05E-10
11	0,344	5,82E-10
13	0,446	5,23E-10

Tablo 4.22’de elde edilen sonuçlara göre, yağ miktarı arttıkça damla buharlaşma hızının düştüğü görülmüştür. Bu deneme ile birlikte artan yağ miktarı ile birlikte, etek yüksekliğinin arttığı; etek yüksekliğinin ise damla buharlaşmasını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Genel olarak, SLIPS yüzeyler üzerinde 350 cst silikon yağ miktarının damla buharlaşmasına etkisinin incelenmesi için yapılan çalışmaların sonucunda; yağ miktarı arttıkça artan etek yüksekliği ile birlikte damla buharlaşmasının yavaşladığı ve sabit temas açısıyla buharlaşma (CCA) modundan sapmalar olduğu görülmüştür. Tam dolu S1 ve S2 nolu yüzeylerin, 100°’de sabit temas açısıyla buharlaştığı bu miktarın üstündeki değerlerde açının düştüğü gözlemlenmiştir. Tam dolu S3 nolu silindirik desen geometrisine sahip SLIPS yüzeyde ise etek yüksekliğinin diğer yüzeylere göre daha yüksek olduğu ve bu nedenle sabit temas açısı (CCA) moduyla damla buharlaşmasından sapmaların bu miktardan itibaren başladığı görülmüştür. Üç yüzey üzerinde de yapılan çalışmaların birbiri ile tutarlı olduğu ve yağ miktarı arttıkça artan etek yüksekliğine bağlı olarak buharlaşmanın daha uzun sürede gerçekleştiği görülmüştür.

5. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında, farklı desen boyutu ve farklı desen geometrisine sahip, DMDCS ile kaplanarak hidrofobize edilmiş silikon plakalara, 20 cst. ve 350 cst. kinematik viskoziteye sahip farklı miktarlarda silikon yağı emdirilerek SLIPS yüzeyler elde edilmiştir. Bu SLIPS yüzeyler üzerinde birer su damlası oluşturularak bu damlaların profilleri üzerinde “ıslatma etek yükseklikleri” ölçülmüştür. Aynı su damlalarının bu yüzeyler üzerinde 25 ± 1 °C sıcaklıkta ve 54 ± 1 bağıl nemde damla buharlaşması çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, desen geometrisinin SLIPS üzerindeki etek yüksekliğine ve damla buharlaşma hızına etkisinin olup olmadığının saptanmasıdır. Literatürde yapılan çalışmalarda, ıslatma eteği oluşumunun bir damlanın buharlaşma hızı üzerine, buharlaşma için gerekli olan alanı kısıtlayarak negatif etki ettiği rapor edilmiştir. Bu kapsamda, bu tez çalışmasında ıslatma eteği yüksekliğinin damla buharlaşma hızına etkisi ayrıca incelenmiştir.

Bu çalışmada ilk olarak, su damlasının silikon yağı varlığında SLIPS yüzeyler üzerinde oluşturduğu ıslatma eteğinin yüksekliğine, kullanılan plakaların desen geometrisinin ve boyutlarının etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, etek yüksekliğinin, desenin $r_w(\text{geo})$, L_F ve s/d oranından etkilendiği ve bu parametreler azaldıkça etek yüksekliğinin arttığı görülmüştür. 20 cst silikon yağı için en yüksek etek yüksekliği S3 nolu SLIPS yüzey üzerinde $139\ \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür, bu yüzey en düşük L_F , $r_w(\text{geo})$ ve s/d oranına sahiptir. Aynı şekilde 350 cst silikon yağı için de ölçülen en yüksek etek yüksekliği değeri, S3 nolu yüzey üzerinde ölçülmüştür ve $294\ \mu\text{m}$ 'dir. S3 nolu SLIPS yüzey yapılan damla buharlaşması denemelerinde en yavaş buharlaşma hızının ölçüldüğü yüzeydir.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda, etek yüksekliğinin sadece desen özelliklerinden değil ayrıca kullanılan silikon yağı viskozitesinden de etkilendiği, emdirilen silikon yağının viskozitesi arttıkça etek yüksekliğinin arttığı da görülmüştür. Bunun sebebi, silikon yağının viskozitesinin artmasıyla birlikte, desenli yüzey üzerinde oluşan silikon yağı film kalınlığının da artmasıdır. Bu sonuç literatürde verilen sonuçlarla uyumludur.

Emdirilen silikon yağı miktarının, su damlası etek yüksekliğine etkisi de ayrıca incelenmiştir. Etek yüksekliğinin, her üç farklı desene sahip yüzeyler üzerinde de emdirilen yağ miktarı ile arttığı görülmüştür. Bu kapsamda en yüksek etek yüksekliği,

S3 nolu SLIPS yüzey üzerine 13 mg yağ emdirilmesi durumunda 446 μm olarak elde edilmiştir. Bu da yine artan silikon yağı miktarının, oluşan silikon yağı filminin kalınlığını arttırmasından kaynaklanmıştır.

SLIPS yüzeyler üzerinde 20 cst silikon yağı ile yapılan damla buharlaşması denemelerinde her 3 yüzeyde de literatürde olduğu gibi, buharlaşmanın $\sim 100^\circ$ 'de sabit temas açısı moduyla gerçekleştiği görülmüştür. 350 cst silikon yağı ile gerçekleştirilen damla buharlaşması çalışmalarında kalın silikon filmi nedeniyle, sabit temas açısı modundan sapmalar gözlemlenmiştir ve en yavaş buharlaşma yine S3 nolu yüzey üzerinde gerçekleşmiştir. Literatürde yapılan önceki çalışmalarda, SLIPS yüzey eldesi için farklı viskozitelerde silikon yağları kullanılmasına rağmen, silikon yağı viskozitesinin damla buharlaşmasına etkisi konusunda bir çalışma yoktur. Her üç SLIPS yüzeyde de artan yağ miktarı ile, başlangıç temas açılarının düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, artan silikon yağının plaka üzerinde kalın bir tabaka oluşturarak katı substrat ile damla arasındaki mesafeyi arttırmasıdır. Yüzeylerin silikon yağı ile tam dolduğu değer ve bu değer altındaki değerlerde, sabit temas açısı (CCA) modeli ile damla buharlaşmasının gerçekleştiği, bu değerden sonraki miktarlarda substrat üzerinde kalınlaşan yağ tabakası ile birlikte bu modelden sapmaların olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar literatürde verilen sonuçlara uygundur.

Genel olarak elde edilen sonuçlara bakıldığında, SLIPS yüzeylerde altta bulunan katı desen geometrisinin, SLIPS yüzeyler üzerinde su damlası etek yüksekliğini etkilediği, kullanılan silikon plakaların $r_w(\text{geo})$, L_F ve s/d oranı gibi parametreleri arttıkça etek yüksekliğinin azaldığı görülmüştür. Etek yüksekliğinin ise, damla buharlaşmasına doğrudan etkisi olduğu ve etek yüksekliğindeki artışın, damla buharlaşması için gerekli olan alanı kısıtlayarak, damla buharlaşmasına negatif etkisi olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Anantharaju N., Panchagnula M., Neti S., (2009), “Evaporating drops on patterned surfaces: Transition from pinned to moving triple line”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 337 (1), 176-182.

Bauer U., Federle W., (2009), “The insect-trapping rim of *Nepenthes* pitchers: surface structure and function”, *Plant Signaling & Behavior*, 4 (11), 1019-1023.

Birdi K., Vu D., Winter A., (1989), “A study of the evaporation rates of small water drops placed on a solid surface”, *The Journal of Physical Chemistry*, 93 (9), 3702-3703.

Bourges-Monnier C., Shanahan M., (1995), “Influence of evaporation on contact angle”, *Langmuir*, 11 (7), 2820-2829.

Brabcova Z., McHale G., Wells G. G., Brown C. V., Newton M. I., (2017), “Electric field induced reversible spreading of droplets into films on lubricant impregnated surfaces”, *Applied Physics Letters*, 110 (12), 121603.

Cansoy C. E., Erbil H. Y., Akar O., Akin T., (2011), “Effect of pattern size and geometry on the use of Cassie–Baxter equation for superhydrophobic surfaces”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 386 (1-3), 116-124.

Chen J., Howell C., Haller C. A., Patel M. S., Ayala P., Moravec K. A., Dai E., Liu L., Sotiri I., Aizenberg M., (2017), “An immobilized liquid interface prevents device associated bacterial infection in vivo”, *Biomaterials*, 113, 80-92.

Coady M. J., Wood M., Wallace G. Q., Nielsen K. E., Kietzig A.-M., Lagugné-Labarthe F. o., Ragogna P. J., (2018), “Icephobic behavior of UV-cured polymer networks incorporated into slippery lubricant-infused porous surfaces: improving SLIPS durability”, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10 (3), 2890-2896.

Eifert A., Paulssen D., Varanakkottu S. N., Baier T., Hardt S., (2014), “Simple fabrication of robust water-repellent surfaces with low contact-angle hysteresis based on impregnation”, *Advanced Materials Interfaces*, 1 (3), 1300138.

Erbil H. Y., (2012), “Evaporation of pure liquid sessile and spherical suspended drops: A review”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 170 (1-2), 67-86.

Erbil H. Y., Cansoy C. E., (2009), “Range of applicability of the Wenzel and Cassie–Baxter equations for superhydrophobic surfaces”, *Langmuir*, 25 (24), 14135-14145.

Erbil H. Y., McHale G., Newton M., (2002), “Drop evaporation on solid surfaces: constant contact angle mode”, *Langmuir*, 18 (7), 2636-2641.

Erbil H. Y., Meric R. A., (1997), “Evaporation of sessile drops on polymer surfaces: Ellipsoidal cap geometry”, *The Journal of Physical Chemistry B*, 101 (35), 6867-6873.

Fang X., Li B., Petersen E., Ji Y., Sokolov J. C., Rafailovich M. H., (2005), “Factors controlling the drop evaporation constant”, *The Journal of Physical Chemistry B*, 109 (43), 20554-20557.

Gao X., Jiang L., (2004), “Biophysics: water-repellent legs of water striders”, *Nature*, 432 (7013), 36.

Guan J. H., Wells G. G., Xu B., McHale G., Wood D., Martin J., Stuart-Cole S., (2015), “Evaporation of sessile droplets on slippery liquid-infused porous surfaces (slips)”, *Langmuir*, 31 (43), 11781-11789.

Guo J., Fang W., Welle A., Feng W., Filpponen I., Rojas O. J., Levkin P. A., (2016), “Superhydrophobic and slippery lubricant-infused flexible transparent nanocellulose films by photoinduced thiol–ene functionalization”, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8 (49), 34115-34122.

Juuti P., Haapanen J., Stenroos C., Niemelä-Anttonen H., Harra J., Koivuluoto H., Teisala H., Lahti J., Tuominen M., Kuusipalo J., (2017), “Achieving a slippery, liquid-infused porous surface with anti-icing properties by direct deposition of flame synthesized aerosol nanoparticles on a thermally fragile substrate”, *Applied Physics Letters*, 110 (16), 161603.

Kim J.-H., Ahn S. I., Kim J. H., Zin W.-C., (2007), “Evaporation of water droplets on polymer surfaces”, *Langmuir*, 23 (11), 6163-6169.

Kim J.-H., Rothstein J. P., (2016), “Droplet impact dynamics on lubricant-infused superhydrophobic surfaces: The role of viscosity ratio”, *Langmuir*, 32 (40), 10166-10176.

Kratochvil M. J., Welsh M. A., Manna U., Ortiz B. J., Blackwell H. E., Lynn D. M., (2016), “Slippery liquid-infused porous surfaces that prevent bacterial surface fouling and inhibit virulence phenotypes in surrounding planktonic cells”, *ACS Infectious Diseases*, 2 (7), 509-517.

Liu H., Zhang P., Liu M., Wang S., Jiang L., (2013), “Organogel-based thin films for self-cleaning on various surfaces”, *Advanced Materials*, 25 (32), 4477-4481.

Liu Y., Wexler J. S., Schönecker C., Stone H. A., (2016), “Effect of viscosity ratio on the shear-driven failure of liquid-infused surfaces”, *Physical Review Fluids*, 1 (7), 074003.

Ma M., Hill R. M., (2006), "Superhydrophobic surfaces", *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 11 (4), 193-202.

Makkonen L., (2016), "Young's equation revisited", *Journal of Physics: Condensed Matter*, 28 (13), 135001.

Manna U., Lynn D. M., (2015), "Fabrication of liquid-infused surfaces using reactive polymer multilayers: principles for manipulating the behaviors and mobilities of aqueous fluids on slippery liquid interfaces", *Advanced Materials*, 27 (19), 3007-3012.

Manna U., Raman N., Welsh M. A., Zayas-Gonzalez Y. M., Blackwell H. E., Palecek S. P., Lynn D. M., (2016), "Slippery liquid-infused porous surfaces that prevent microbial surface fouling and kill non-adherent pathogens in surrounding media: a controlled release approach", *Advanced Functional Materials*, 26 (21), 3599-3611.

McHale G., Aqil S., Shirtcliffe N., Newton M., Erbil H. Y., (2005), "Analysis of droplet evaporation on a superhydrophobic surface", *Langmuir*, 21 (24), 11053-11060.

McHale G., Erbil H., Newton M., Natterer S., (2001), "Analysis of shape distortions in sessile drops", *Langmuir*, 17 (22), 6995-6998.

McHale G., Rowan S. M., Newton M., Banerjee M. K., (1998), "Evaporation and the wetting of a low-energy solid surface", *The Journal of Physical Chemistry B*, 102 (11), 1964-1967.

Meric R. A., Erbil H. Y., (1998), "Evaporation of sessile drops on solid surfaces: Pseudospherical cap geometry", *Langmuir*, 14 (7), 1915-1920.

Neinhuis C., Barthlott W., (1997), "Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces", *Annals of Botany*, 79 (6), 667-677.

Ozbay S., Yuceel C., Erbil H. Y., (2015), "Improved icephobic properties on surfaces with a hydrophilic lubricating liquid", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7 (39), 22067-22077.

Pant R., Roy P. K., Nagarajan A. K., Khare K., (2016), "Slipperiness and stability of hydrophilic surfaces coated with a lubricating fluid", *RSC Advances*, 6 (18), 15002-15007.

Panwar A. K., Barthwal S., Ray S., (2003), "Effect of evaporation on the contact angle of a sessile drop on solid substrates", *Journal of Adhesion Science and Technology*, 17 (10), 1321-1329.

Picknett R., Bexon R., (1977), "The evaporation of sessile or pendant drops in still air", *Journal of Colloid and Interface Science*, 61 (2), 336-350.

Samaha M. A., Gad-el-Hak M., (2014), "Polymeric Slippery Coatings: Nature and Applications", *Polymers*, 6 (5), 1266-1311.

Schellenberger F., Xie J., Encinas N., Hardy A., Klapper M., Papadopoulos P., Butt H.-J., Vollmer D., (2015), "Direct observation of drops on slippery lubricant-infused surfaces", *Soft Matter*, 11 (38), 7617-7626.

Semprebon C., McHale G., Kusumaatmaja H., (2017), "Apparent contact angle and contact angle hysteresis on liquid infused surfaces", *Soft Matter*, 13 (1), 101-110.

Shi W., Xu T., Xu L.-P., Chen Y., Wen Y., Zhang X., Wang S., (2016), "Cell micropatterns based on silicone-oil-modified slippery surfaces", *Nanoscale*, 8 (44), 18612-18615.

Smith J. D., Dhiman R., Anand S., Reza-Garduno E., Cohen R. E., McKinley G. H., Varanasi K. K., (2013), "Droplet mobility on lubricant-impregnated surfaces", *Soft Matter*, 9 (6), 1772-1780.

Subramanyam S. B., Rykaczewski K., Varanasi K. K., (2013), "Ice adhesion on lubricant-impregnated textured surfaces", *Langmuir*, 29 (44), 13414-13418.

Wang Z., Heng L., Jiang L., (2018), "Effect of lubricant viscosity on the self-healing properties and electrically driven sliding of droplets on anisotropic slippery surfaces", *Journal of Materials Chemistry A*, 6 (8), 3414-3421.

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 & Interfaces*, 8 (50), 34810-34819.

Wells G. G., Ruiz-Gutiérrez É., Le Lirzin Y., Nourry A., Orme B. V., Pradas M., Ledesma-Aguilar R., (2018), "Snap evaporation of droplets on smooth topographies", *Nature Communications*, 9 (1), 1380.

White B. J., Melde B. J., Malanoski A. P., Moore M. H., (2017a), "Bioinspired surface treatments for improved decontamination: slippery omniphobic covalently attached liquid (SOCAL)", Technical Report No: NRL/MR/6930-17-9761, Naval Research Lab, Washington, United states.

White B. J., Melde B. J., Moore M. H., Malanoski A. P., (2017b), "Bioinspired surface treatments for improved decontamination: silicate-based slippery liquid-infused porous surfaces (SLIPS)", Technical Report No: NRL/MR/6930-17-9734, Naval Research Lab, Washington, United states.

Wong T.-S., Kang S. H., Tang S. K., Smythe E. J., Hatton B. D., Grinthal A., Aizenberg J., (2011), "Bioinspired self-repairing slippery surfaces with pressure-stable omniphobicity", *Nature*, 477 (7365), 443.

Yao X., Ju J., Yang S., Wang J., Jiang L., (2014), "Temperature-driven switching of water adhesion on organogel surface", *Advanced Materials*, 26 (12), 1895-1900.

Yao X., Wu S., Chen L., Ju J., Gu Z., Liu M., Wang J., Jiang L., (2015), "Self-replenishable anti-waxing organogel materials", *Angewandte Chemie International Edition*, 54 (31), 8975-8979.

Yeong Y. H., Wang C., Wynne K. J., Gupta M. C., (2016), "Oil-infused superhydrophobic silicone material for low ice adhesion with long-term infusion stability", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8 (46), 32050-32059.

Yuan S., Li Z., Song L., Shi H., Luan S., Yin J., (2016), "Liquid-infused poly (styrene-*b*-isobutylene-*b*-styrene) microfiber coating prevents bacterial attachment and thrombosis", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8 (33), 21214-21220.

Zhang B. J., Kim K. J., Lee C. Y., (2018a), "Behavior of an evaporating water droplet on lubricant-impregnated nano-structured surface", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 96, 216-223.

Zhang C., Xia Y., Zhang H., Zacharia N. S., (2018b), "Surface functionalization for a nontextured liquid-infused surface with enhanced lifetime", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10 (6), 5892-5901.

Zhang P., Liu H., Meng J., Yang G., Liu X., Wang S., Jiang L., (2014), "Grooved organogel surfaces towards anisotropic sliding of water droplets", *Advanced Materials*, 26 (19), 3131-3135.

Zhang P., Zhang F., Zhao C., Wang S., Liu M., Jiang L., (2016), "Superspreading on immersed gel surfaces for the confined synthesis of thin polymer films", *Angewandte Chemie International Edition*, 55 (11), 3615-3619.

Zhou X., Lee Y.-Y., Chong K. S. L., He C., (2018), "Superhydrophobic and slippery liquid-infused porous surfaces formed by the self-assembly of a hybrid ABC triblock copolymer and their antifouling performance", *Journal of Materials Chemistry B*, 6 (3), 440-448.

Zhu L., Xue J., Wang Y., Chen Q., Ding J., Wang Q., (2013), "Ice-phobic coatings based on silicon-oil-infused polydimethylsiloxane", *ACS applied materials & interfaces*, 5 (10), 4053-4062.

ÖZGEÇMİŞ

Rana ÜÇÜNCÜOĞLU, 1994 yılında İstanbul'da doğdu. 2012 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında tamamladı. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim dalında Prof. Dr. H. Yıldırım Erbil danışmanlığında yüksek lisansa başladı. 2017-2018 yıllarında bir yıl süreyle Ar-Ge Mühendisi olarak Pulver Kimya Ar-Ge Merkezinde çalıştı. 2019 yılında "Gümüş Katkılı Grafen Filament Üretimi" isimli TÜBİTAK projesinde proje asistanı olarak çalıştı.