

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DNA VEYA PROTEİN ÇÖZELTİLERİNİN
DAMLA BUHARLAŞMASI İLE BIRAKTIĞI
KALINTILARIN GEOMETRİSİNİN
KONTROLÜ

ÜMİT GÜLYÜZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

GEBZE

2012

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DNA VEYA PROTEİN ÇÖZELTİLERİNİN
DAMLA BUHARLAŞMASI İLE BIRAKTIĞI
KALINTILARIN GEOMETRİSİNİN
KONTROLÜ

ÜMİT GÜLYÜZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. H.Yıldırım ERBİL

GEBZE
2012



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05/01/2012 tarih ve 2012/01.... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 16/01/2012 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ümit... Gülşen... 'ın tez çalışması Kimya... Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

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

ÜYE

: Prof. Dr. Oğuz Okay (İTÜ)

ÜYE

: Doç. Dr. Ferruh Özcan

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI: DNA VEYA PROTEİN ÇÖZELTİLERİNİN DAMLA BUHARLAŞMASI İLE BIRAKTIĞI KALINTILARIN GEOMETRİSİNİN KONTROLÜ

YAZAR ADI: ÜMİT GÜLYÜZ

Damla buharlaşması günlük hayatta çok sık karşılaşılan bir olaydır. Bu olay sadece günlük hayatta değil, ayrıca DNA çiplerin hazırlanmasında DNA damlalarının sabit yüzey üzerinde buharlaştırılarak kalıntı oluşturmada da kullanılmaktadır. DNA çip uygulamasında kuruma sonunda yüzey üzerindeki DNA kalıntısının geometrisinin kontrolü önemli bir problem olarak görülmektedir. Bu çalışmada DNA damlalarının farklı yüzeyler üzerinde ve buharlaşma koşullarında buharlaşma denemeleri yapılarak kalıntıların geometrileri kontrol edilmeye çalışılmıştır.

Bu tez iki aşamadan oluşmaktadır: ilk bölümde su, Tris-EDTA ve Lambda DNA çözeltilerinin farklı serbest yüzey enerjisine sahip altı yüzey üzerinde damla buharlaşmaları Optik Temas Açısı Ölçer ile takip edilmiştir. Sonuçlar DNA damlalarının buharlaşma davranışını etkileyen ana faktörlerden birinin Tris-EDTA olduğunu göstermiştir. DNA içeren damlaların kuruduktan sonra bıraktıkları kalıntılar Floresan Mikroskobu ile incelenmiştir. DNA zincirleri damla içinde merkezden kenara taşınmış ve halka şekilli yapılar oluşturmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde ise farklı buharlaşma koşulları ve katkı maddeleri ekleyerek DNA damlalarının kuruma davranışları ve bıraktıkları kalıntılar değiştirilmiştir. Az miktar etilen glikol eklenmesine rağmen DNA kalıntıları hidrofob yüzeyde halka yapılı şekillerden düz, homojen şekillere geçiş yapmıştır. Çalışmamız sadece DNA damlalarında değil birçok uygulamada polimer, kolloit, protein ve diğer partiküller içeren damlaların kalıntılarını kontrol etmek için etkili bir yöntem olarak kullanılabilir.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS: CONTROL THE SHAPE OF THE DEPOSITION BY DROPLET EVAPORATION OF DNA OR PROTEIN SOLUTIONS

AUTHOR: ÜMİT GÜLYÜZ

Droplet evaporation is a common phenomenon in everyday life. This phenomenon exists not only in everyday life, but also is used to obtain deposition by evaporation of DNA droplets on the substrate in the preparation of DNA chips. In DNA chip application, the control of the shape of the deposition on the substrate after the droplet totally dries up is seen as a major problem. In this work, we investigated the evaporation of DNA droplets on the different substrates and conditions to control the shape of the deposition.

This thesis consists of 2 parts: In first part, the droplet evaporations of water, Tris-EDTA and the Lambda DNA solutions on the six substrates, which have different surface free energy, were examined by using Optical Contact Angle Meter. The results revealed that Tris-EDTA is one of the main factors, which affect the evaporation behavior of DNA droplet. The formation of deposits after totally drying out of drops containing DNA was investigated experimentally with Fluorescence Microscopy. DNA sequences in the droplet were transported from the center to the edge, and the resulting DNA sequences formed a ringlike profile. In second part, the drying and deposit formation processes of DNA solution droplets were altered by the addition of additives and changing the evaporation conditions. It was found that even if the amount of additive is quite small, it drastically changes the final profile of the DNA deposit from a ringlike profile to a flat, homogeneous profile. Our work can be used an effective method for controlling the profile of not only for DNA but also the polymer, colloidal and other particle deposits of droplets in many applications.

TEŞEKKÜR

Tüm yüksek lisans eğitimim boyunca görüş ve önerileriyle beni yönlendiren, her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, değerli bilgi birikimlerinden faydalandığım sayın hocam Prof. Dr. H.Yıldırım ERBİL'e,

Tez çalışmamda kendi laboratuvar imkânlarını, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Biyoloji Bölümü öğretim üyelerinden sayın Doç. Dr. Ferruh ÖZCAN'a,

Çalışmalarım süresince maddi ve manevi hiçbir fedakârlığı esirgemeyen, bana sabır ve anlayış gösteren sevgili ailemin tüm fertlerine,

Tez çalışmam süresince bilgi ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Arş. Gör. Merve DANDAN DOĞANCI, Arş. Gör. İkrime ORKAN UÇAR, Arş. Gör. Uğur CENGİZ, Arş. Gör. Z. Onur ÇALIŞKANER, Nevin ATALAY GENGEÇ'e ve aynı çalışma ortamını paylaştığım tüm çalışma arkadaşlarıma,

Yüksek lisans çalışmamın en önemli zamanlarında yanımda olup beni dinleyen, sıkıntılarımı paylaşan ve sonsuz desteğini esirgemeyen arkadaşım Bahriye GÜRAY'a,

Sevgisini ve desteğini yanımda hissettiğim ismini yazamadığım tüm arkadaşlarıma ve bu dönemimde bana karşı anlayış ve sabır gösteren tüm sevdiklerime

SONSUZ TEŞEKKÜRLER.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. DNA	4
2.1. DNA Molekülü ve Özellikleri	4
2.2. DNA Çözeltisi	6
2.2.1. Lambda DNA	7
2.2.2. Tris-EDTA (TE) Tampon Çözeltisi	7
2.2.3. DNA Moleküllerinin Floresan Boyalarla İşaretlenmesi	9
2.2.3.1. DAPI	10
2.2.4. Katkı Maddeleri	11
2.2.4.1. Propilen Glikol	11
2.2.4.2. Etilen Glikol	12
2.3. DNA Çip Teknolojisi	12
3. TEMAS AÇISI	16
3.1. Temas Açısı Tanımı	16
3.2. Temas Açısı Karmaşası (Histeresis) Tanımı	18
3.3. Temas Açısı Ölçüm Yöntemleri	20
3.3.1. Statik Optik Teleskop (Gonyometre)	21
4. YÜZEY GERİLİMİ	22
4.1. Serbest Yüzey Enerjisi ve Yüzey Gerilimi	22
4.2. Sıvıların Yüzey Gerilimi	22
4.2.1. Sıvıların Yüzey Gerilimi Ölçme Yöntemleri	23
4.2.1.1. Sarkan Damla Yöntemi	24
4.3. Katıların Yüzey Gerilimi	25
4.3.1. Van Oss–Good Metodu ile Serbest Yüzey Enerjisi Hesabı	26
5. BUHARLAŞMA	29

5.1. Kuru ve Nemli Havanın Özellikleri	29
5.1.1. Su Buharı ve Buhar Basıncı	30
5.1.2. Bağıl Nem ve Mutlak Nem	30
5.1.3. Hava Neminin Ölçüm Metotları	31
5.1.4. Bağıl Nemin Sabitlenmesi	31
5.2. Sıvı Damlası Buharlaşması	33
6. DAMLA BUHARLAŞMASI SONUCU OLUŞAN KALINTILAR	39
6.1. Kahve Lekesi Oluşumu	40
7. DNA DAMLALARININ BUHARLAŞMASI ve BIRAKTIĞI KALINTILAR	43
7.1. DNA Çip Uygulamasında Kullanılan Parçalanmış DNA İle İlgili Yayınlar	43
7.2. Parçalanmamış Uzun DNA Kalıntıları İle İlgili Yayınlar	46
8. MATERYAL ve METOT	51
8.1. DNA Çözeltilerinin Hazırlanması	51
8.2. Yüzeylerin Hazırlanması	51
8.3. Buharlaşma Denemeleri	53
8.3.1. Bağıl Nemin Kontrol Edilmesi	54
8.3.2. KSV CAM 200 Cihazı İle Buharlaştırma Denemeleri	55
8.4. Floresan Mikroskopu ile DNA Görüntülenmesi	56
9. BULGULAR ve TARTIŞMA	57
9.1. Su, Tris-EDTA ve DNA Çözeltilerinin Buharlaşma Denemeleri	57
9.1.1. Cam Üzerinde Buharlaşma Denemeleri	57
9.1.2. PvOH Üzerinde Buharlaşma Denemeleri	61
9.1.3. PMMA Üzerinde Buharlaşma Denemeleri	66
9.1.4. PS Üzerinde Buharlaşma Denemeleri	70
9.1.5. PP Üzerinde Buharlaşma Denemeleri	75
9.1.6. FMA-MMA Üzerinde Buharlaşma Denemeleri	80
9.2. Yüzeyin Buharlaşma Hızı Üzerine Etkisi	85
9.3. Farklı Yüzeylerde Buharlaşma Esnasında Zamana Bağlı Değişimler	87
9.4. Serbest Yüzey Enerjisi ve Temas Açısının DNA kalıntısına Etkisi	92
9.5. Homojen DNA Kalıntısı Eldesi: Düşük Nem, Vakum, Isıtma ve Glikollerin Etkileri	99
10. SONUÇLAR	103
KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ	108

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. DNA molekülü	4
2.2. Nükleotidlerin yapısı	5
2.3. EDTA'nın yapısal formülü	8
2.4. Tris(hidroksimetil) amino metan'ın yapısal formülü	8
2.5. Floresan boyalarla işaretlenmiş mikro organizmaların görüntüleri	9
2.6. DAPI moleküler yapısı	10
2.7. Propilen glikol'ün molekül yapısı	11
2.8. Etilen glikol'ün molekül yapısı	12
2.9. DNA çip uygulamasının aşamalı olarak gösterimi	13
3.1. Düz bir katı üzerinde duran sıvı damlası ve damlanın etkisinde olduğu kuvvetler.	16
3.2. Katı yüzeylerde sıvı damlalarının oluşturduğu iki farklı temas açısı.	16
3.3. Sıvı damlasının ilerleyen ve gerileyen temas açılarının şematik gösterimi	19
4.1. Sıvı damlası ve sıvı içerisinde moleküller arası çekim kuvvetleri	23
4.2. Sarkan bir damla ve karakteristik boyutları	24
5.1. Katı yüzey üzerinde buharlaşan sıvı damlasına ait iki tip buharlaşma modeli	33
5.2. Küresel damla üzerindeki h , r_b , R ve θ değerlerinin gösterilmesi	35
6.1. Koloidal partikül içeren damlaların bıraktıkları kalıntılara örnekler	39
6.2. (Solda)kahve lekesi,(sağda) su içinde floresan polistiren kürelerin dispersiyonlarının mikroskop görüntüsü	40
6.3. Buharlaşma esnasında dışa doğru akımın mekanizması	41
6.4. Mikro kürelerin ters yöndeki hareketini kanıtlayan optik görüntü	42
6.5. Hidrofilik Pt üzerinde farklı nanopartikül kalıntılar	42
7.1. (Üstte) Damlaların video mikroskop görüntüleri (Altta) kalıntıların floresan yoğunlukları	44
7.2. Sabit alan damla buharlaşması (üst) betaine'siz (alt) betaine'li	45
7.3. DNA kalıntılarının görüntüleri (a) hızlı (b) yavaş buharlaşma	46
7.4. (solda) 1XTE, 5 ve 500 $\mu\text{g/mL}$ damlalarının konfokal mikroskop görüntüleri (sağda), 5 ve 500 $\mu\text{g/mL}$ damlalarının kalıntıları	47

7.5. Kurumuş damla çevresinde DNA kalıntısı (a) halka oluşumu (b) polarize mikroskop görüntüsü	48
7.6. (a) 50 µg/ml (b) 25 µg/ml DNA damlaların oluşturduğu çok halkalı kalıntıların görüntüleri [Maheshwari, 2008].	48
7.7. (a) DNA çözeltisi (b-f) Silika koloidal partiküller içeren DNA çözeltilerinin oluşturduğu çok halkalı kalıntılar	49
7.8. Farklı frekanslarda çeşitli malzemelerin bıraktığı kalıntılar (a-p)	50
8.1. Pleksiglas hücre.	53
8.2. Hücre içerisindeki bağıl nemin kontrolü için kullanılan (solda) TFA marka termo- higrometre, (sağda) Testo 615 termo- higrometre.	54
8.3. KSV CAM 200 cihazı	55
8.4. Floresan mikroskobu.	56
9.1. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin Cam yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısı değişim grafiği.	59
9.2. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin Cam yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.	59
9.3. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin Cam yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliği değişim grafiği.	60
9.4. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin Cam yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacmi değişim grafiği.	61
9.5. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin Cam yüzeyinde damlalarının zamana göre (damla hacmi) ^{2/3} değişim grafiği.	61
9.6. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PvOH yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısının değişim grafiği.	63
9.7. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PvOH yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.	64
9.8. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PvOH yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliği değişim grafiği.	64
9.9. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PvOH yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacmi değişim grafiği.	65
9.10. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PvOH yüzeyinde damlalarının zamana göre (damla hacmi) ^{2/3} değişim grafiği.	65
9.11. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PMMA yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısının değişim grafiği.	68

9.12. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PMMA yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.	68
9.13. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PMMA yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliği değişim grafiği.	69
9.14. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PMMA yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacmi değişim grafiği.	69
9.15. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PMMA yüzeyinde damlalarının zamana göre (damla hacmi) ^{2/3} değişim grafiği.	70
9.16. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PS yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısının değişim grafiği.	73
9.17. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PS yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.	73
9.18. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PS yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliği değişim grafiği.	74
Şekil 9.19. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PS yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacmi değişim grafiği.	75
9.20. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PS yüzeyinde damlalarının zamana göre (Damla Hacmi) ^{2/3} değişim grafiği.	75
9.21. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PP yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısının değişim grafiği.	78
9.22. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PP yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.	78
9.23. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PP yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliğinin değişim grafiği.	79
9.24. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PP yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacmi değişim grafiği.	79
9.25. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PP yüzeyinde damlalarının zamana göre (damla hacmi) ^{2/3} değişim grafiği.	80
9.26. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısının değişim grafiği.	83
9.27. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.	83

9.28. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliğinin değişim grafiği.	84
9.29. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacminin değişim grafiği.	84
9.30. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde damlalarının zamana göre (damla hacmi) ^{2/3} değişim grafiği.	85
9.31. 50 µg/ml DNA çözeltilerinin buharlaşma hızlarının (-dV/dt) serbest yüzey enerjisi ile değişim grafiği	86
9.32. 50 µg/ml DNA çözeltilerinin buharlaşma hızlarının (-dV/dt) temas açısı ile değişim grafiği	87
9.33. Su damlaların farklı yüzeylerde zamana göre temas açılarının değişim grafiği.	88
9.34. Su damlaların farklı yüzeylerde zamana göre damla yarıçaplarının değişim grafiği.	88
9.35. Tris-EDTA çözeltisinin damlaların farklı yüzeylerde zamana göre temas açılarının değişim grafiği.	89
9.36. Tris-EDTA çözeltisinin damlaların farklı yüzeylerde zamana göre damla yarıçaplarının değişim grafiği.	90
9.37. 50 µg/ml DNA çözeltisinin damlaların farklı yüzeylerde zamana göre temas açılarının değişim grafiği.	91
9.38. 50 µg/ml DNA çözeltisinin damlalarının farklı yüzeylerde zamana göre temas açılarının değişim grafiği.	91
9.39. 50 µg/ml DNA çözeltisinin farklı yüzeylerde normalleştirilmiş zamana göre normalleştirilmiş temas yarıçapların değişim grafiği	92
9.40. 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin altı yüzeyde bıraktıkları kalıntıların floresan görüntüleri.	94
9.41. 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin serbest yüzey enerjisine göre kalıntı çaplarındaki değişim grafiği.	95
9.42. 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin su ile başlangıç temas açlarına göre kalıntı çaplarındaki değişim grafiği.	96
9.43. 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin temas açısı karmaşasına göre kalıntı çaplarındaki değişim grafiği.	96

9.44. 25, 10 ve 5 µg/ml DNA çözeltilerinin PP ve PMMA yüzeylerinde bıraktıkları kalıntılarının floresan mikroskopunda çekilmiş görüntüleri.	97
9.45. DNA içermeyen çözeltilerin (a) PS, (b) PP ve (c) PMMA yüzeylerinde bıraktıkları kalıntılarının floresan görüntüleri.	97
9.46. Üç farklı DAPI (1:3, 1:6 ve 1:24) oranlarında hazırlanmış 50 µg/ml DNA çözeltilerinin bıraktıkları kalıntılarının floresan görüntüleri.	98
9.47. Katkı maddesi içeren ve içermeyen 250 µg/ml DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde bıraktıkları kalıntılarının floresan görüntüleri.	100
9.48. Etilen Glikol içeren (a) 50, (b) 250 µg/ml DNA çözeltilerinin üç farklı yüzeyde kalıntılarının floresan görüntüleri.	101
9.49. 250 µg/ml DNA çözeltisinin FMA-MMA yüzeyinde (Solda) EG içermeyen, (Sağda) EG içeren DNA damlalarının kalıntılarının floresan görüntüleri.	102

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Nükleik asitlerin boyanmasında yaygın kullanılan floresan boyalar	10
4.1. Van Oss-Good yönteminde kullanılan çeşitli test sıvılarının yüzey gerilimi bileşenleri	27
5.1. Kuru havanın özellikleri.	29
5.2. Doygun tuz çözeltilerinin farklı sıcaklıklardaki bağıl nem değerleri	32
9.1. Cam yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.	57
9.2. Cam yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.	58
9.3. Cam yüzeyinde 50 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	58
9.4. Cam yüzeyinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	58
9.5. PvOH yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.	62
9.6. PvOH yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.	62
9.7. PvOH yüzeyinde 50 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	62
9.8. PvOH yüzeyinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	63
9.9. PMMA yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.	66
9.10. PMMA yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.	66
9.11. PMMA yüzeyinde 50 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	67
9.12. PMMA yüzeyinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	67
9.13. PS yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.	71
9.14. PS yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.	71
9.15. PS yüzeyinde 50 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	72
9.16. PS yüzeyinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	72
9.17. PP yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.	76
9.18. PP yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.	76
9.19. PP yüzeyinde 50 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	77
9.20. PP yüzeyinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	77
9.21. FMA-MMA yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.	81
9.22. FMA-MMA yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.	81
9.23. FMA-MMA yüzeyinde 50 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	82
9.24. FMA-MMA yüzeyinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.	82

9.25. Su, Tris-EDTA, 50 µg/ml DNA çözeltilerinin altı yüzeyde buharlaşma hızları (-dV/dt) değerleri.	86
9.26. Yüzey özellikleri; serbest yüzey enerjisi, temas açısı ve temas açısı karmaşası değerleri	93
9.27. Damlaların başlangıç çapları ve bıraktığı kalıntıların çapları	93

1.GİRİŞ

Damla buharlaşması film kaplama [Kimura, 2003], biokimyasal sensörler [Nyugen, 2002], püskürtmeli soğutma [Jia, 2003], DNA/RNA mikroçiplerde [Schena,1995], optik ve elektronik malzemelerin üretiminde [Kawase, 2001] ve diğer birçok alanda yaygın uygulama alanı bulunmaktadır. Özellikle koloidal partiküller içeren damlaların kurutulması ile püskürtmeli baskı, mikroelektronik ve bioçip üretimi gibi teknolojilerde kalıntı ve oluşturduğu şekil büyük öneme sahiptir. Partikül içeren damla buharlaştıktan sonra halkalı bir yapı [Deegan, 2000], merkezde bir yumru [Bhardwaj, 2009], üniform kalıntı [Sommer, 2003; Hu, 2006], veya çok halkalı, ağ yapılı çokgenler gibi karmaşık yapılar oluşturabilmektedir. Bu çeşitli yapılar damla buharlaşması sırasında meydana gelen taşınım olaylarının karmaşık ve çok değişkenli doğasını yansıtmaktadır.

Bilişim teknolojisindeki gelişime paralel olarak genetik bilimindeki ilerleme tıbbi tanı sistemlerinde olağanüstü bir dönemin başlamasını sağladı. İnsan hastalıklarına ait karmaşık oluşum mekanizmaları çözümlenebiliyor ve kişiye özgü ilaç sentezi yapılmaya çalışılıyor. Bu heyecanı yaratan yeni gen teknolojileri arasında en dikkat çekici olanı DNA çip teknolojisidir. Bir zemin üzerinde sabitlenmiş sentetik gen dizileriyle serbest nükleik asitlerin hibritleştirilmesi esasına dayanan bu teknoloji moleküler biyolojinin önemli adımlarından biri olmuştur. DNA çip analizlerindeki ileri amaç ise bunu eş zamanlı olarak birçok gen bölgesinde yüksek duyarlılıkla ölçmektir. Tekniğin başlangıç girişimleri Schena and Shalon tarafından gerçekleştirildi. Bu teknoloji binlerce gene ait DNA dizisinin aynı anda analiz edilebilmesine imkan sağlamaktadır [Schena, 1995].

DNA mikroçip teknolojileri 20 yıl kadar önce mikrobiyolojinin alanına girmiştir. Bu teknikniğin güvenilirliği bazı açılardan zayıf kalmaktadır. DNA mikroçip üretiminde metotlar genelde seyreltik çözelti ile önceden hazırlanmış DNA'ların düz bir cam üzerine sabitlenmesi üzerinedir. DNA'nın bu yüzeyler üzerine sabitlenmesinde çözücünün buharlaştırılması önemli bir yer tutmaktadır. Bu aşamadaki ana problem buharlaşma sonunda damlaların bıraktığı kalıntı içindeki DNA'ların düzensiz şekiller oluşturmalarıdır. Bu kalıntı içi ve kalıntılar arası

düzensizlikler DNA mikroçip analizlerinde veri alınması ve yorumlanmasında hatalara sebep olmaktadır. İdeal olarak her kalıntının üniform dağılıma ve benzer özelliklere sahip olması istenmektedir. Mikroçip sonuçlarının güvenilirliği yüksek oranda kalıntı kalitesine (boyut, morfoloji, sabitlenmiş DNA verimi) bağlıdır. Bu yüzden bu teknoloji henüz olgunluk dönemine ulaşmamış olarak kabul edilmektedir. 1995’den bu yana önemli gelişmeler kaydetmekle birlikte, daha düşük maliyetli ve yüksek yoğunluklu, uyarlanma yeteneği geniş DNA çipleri yapılması hedeflenmektedir [Dufva, 2005; Thube, 2009].

Katılar üzerinde damla buharlaşması iki tiptir: Birincisinde temas alanı azalırken temas açısı sabit kalmakta, ikincisinde ise temas açısı azalırken temas alanı sabit kalmaktadır. Pratikte, damla buharlaşırken bu modellerden biri veya bu modellerin bir karışımı şeklinde davranmaktadır [Picknett and Bexon,1977; Erbil, 2002]. Buharlaşma sonrası kalıntının şekli, doğrudan veya büyük çoğunlukla buharlaşma tipinden etkilenmektedir. Azalan temas alanı modeli ile başlangıç damla alanının merkezinde küçük sivri bir yumru oluşturmaktadır. Diğer taraftan halka veya üniform film kalıntıları damla sabit alan modelinde düzleştiğinde elde edilebilmektedir.

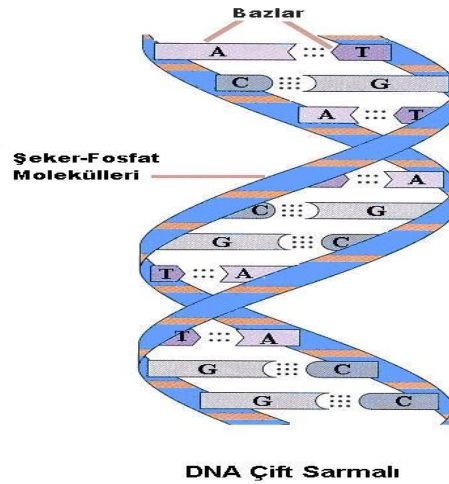
Birçok uygulamada damla içerisinde çözülmüş farklı türde moleküller damlaların kuruma dinamiklerine etkisi edebilmektedir. Büyük kompleks moleküller, örneğin uzun zincirli polimerler, proteinler veya DNA eklendiğinde damla içinde molekül konfigürasyonu tuz konsantrasyonuna, diğer moleküllerle etkileşimine veya yüzey etkileşimlerine bağlı olabilmektedir. Dolayısıyla damlanın kuruması üzerine onların etkisi çok kompleks olabilmektedir. Buharlaşma prosesi ve DNA üzerine etkisini anlamak için birçok çalışma yapılmıştır. Örnek olarak Chopra et al. damlalar buharlaşmasında farklı kuruma hızlarının DNA’nın yayılması üzerine farklı kuvvetler oluşturduğunu bulmuşlardır [Chopra, 2003]. Diğer bir çalışmada ise Fang et al. çift sarmallı DNA moleküllerinin kuruma sürecinde özellikle konsantrasyonun etkisi üzerine odaklanmıştır [Fang, 2006]. Ayrıca buharlaşma sırasında ortam koşulları değiştirilerek, katkı maddesi ve yüzey aktif maddeleri kullanarak buharlaşma davranışı, dolayısıyla kalıntının şekli değiştirilebilmektedir [Dugas, 2005].

Günümüze kadar DNA damlalarının buharlaşması ve bıraktığı kalıntılar üzerine birçok araştırma yapılmış fakat yüzey etkisi kapsamlı bir şekilde incelenmemiştir. DNA damlalarının farklı yüzeyler (farklı serbest yüzey enerjisine sahip) üzerinde buharlaşma davranışlarını incelemek ve buharlaşma sonunda bıraktıkları kalıntıların geometrisinin kontrolü bu tezin amacını oluşturmaktadır. Tezin ikinci bölümünde, DNA molekülünden ve özelliklerinden, DNA çözeltilerinde nelerin bulunduğu ve uygulama alanlarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde temas açısı ve ölçüm yöntemlerinden, dördüncü bölümde ise yüzey gerilimi ve ölçüm yöntemlerinden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde buharlaşma altıncı bölümde buharlaşma sonucu oluşan kalıntılar örnekler verilerek anlatılmıştır. Yedinci bölümde ise literatürdeki çalışmalar üzerinden DNA damlalarının buharlaşma sonucu oluşan kalıntılardan bahsedilmiştir. Sekizinci bölümde tezde kullanılan deneysel sistem, materyal ve metot açıklanmıştır. Dokuzuncu bölümde, deneysel bulgulara yer verilmiş ve bulgular tartışılmıştır. Onuncu ve son bölümünde ise çalışmadan elde edilen veriler tartışılarak özetlenmiştir.

2.DNA

2.1. DNA Molekölü ve Özellikleri

Deoksiribonükleik asit veya kısaca DNA, tüm organizmalar ve bazı virüslerin canlılık işlevleri ve biyolojik gelişmeleri için gerekli olan genetik talimatları taşıyan bir nükleik asittir. DNA'nın başlıca rolü canlılık bilgisinin nesiller boyu saklanmasıdır. Protein ve Ribonükleik asit (RNA) gibi hücrenin diğer bileşenlerinin inşası için gerekli olan bilgileri içermesinden dolayı DNA; bir kalıp, şablon veya reçeteye benzetilebilir. Bu genetik bilgileri kodlayan DNA parçaları gen olarak adlandırılır. Ama genomik DNA'nın bunun dışında canlıdan canlıya değişen yapısal işlevlere sahiptir (kromozomların şeklini, kararlılığını belirlemek gibi), diğerleri kromozomsal DNA'nın büyük kısmı ise bu genetik bilginin ne şekilde (hangi hücrelerde, hangi şartlarda) kullanılacağını düzenlenmesine yarayan diziler içerir.

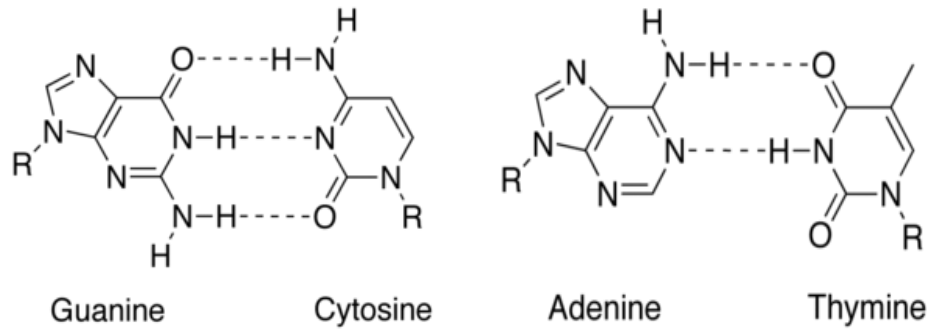


Şekil 2.1. DNA molekölü

Kimyasal olarak DNA, nükleotid olarak adlandırılan basit birimlerden oluşan iki tek sarmal zincirin bir araya gelmesinden oluşur (Şekil 2.1). Nükleotid, bir fosfat, beş karbon atomu içeren ve aldehit grubu barındıran deoksiriboz ve bir azotlu organik bazdan oluşan bir kimyasal bileşiktir. Organik bazlar, purin ve pirimidinler olmak üzere ikiye ayrılır. Purinler Adenin ve Guanin, pirimidinler, Timin (Urasil) ve Sitozinden oluşur. DNA'yı oluşturan bu polimerlerin omurgaları, ester bağları ile birbirine bağlanmış şeker ve fosfat gruplarından meydana gelir. Bu iki iplik

birbirlerine ters yönde uzanırlar. Her bir şeker grubuna, baz olarak adlandırılan dört tip molekülden biri bağlıdır. DNA'nın omurgası boyunca bu bazların oluşturduğu dizi, genetik bilgiyi kodlar [Bruce, 2002].

DNA molekülü, on üç veya daha fazla nükleotidin bir araya gelerek oluşan iki polinükleotid zincirinin şeker fosfat omurgalarının ortak bir eksen çevresinde eşit çaplı ve sağ yöne doğru dönüşler oluşturmasıyla meydana gelmiş sarmal yapıda bir moleküldür. İki kolun arasındaki merdiven basamakları gelişmiş güzel bir sıralanma yoktur; her zaman Guanin (G), Sitozinin (C ya da S); Adenin (A), Timinin (T) karşısına gelecek şekilde oluşur. Hem pürin ile pirimidinler arasındaki hidrojen bağları, hem de diğer bağlar, meydana gelen heliksin düzgün olmasını sağlar (Şekil 2.2). Hidrojen bağları, fosfor bağları kadar kuvvetli olmadığı için pH değişikliği, sıcaklık ve basınç gibi etkenlerle kolaylıkla birbirlerinden ayrılabilir. Sıcaklık ve basınç gibi etkenlerle kolaylıkla birbirlerinden ayrılabilir.



Şekil 2.2. Nükleotidlerin yapısı

DNA'nın kendi kopyasını yapması ve gen anlatımı, nükleotidler arasındaki hidrojen bağlarının ayrılması ile gerçekleşmektedir. Çift sarmallı yapıda uygun nükleotid moleküllerinin karşılıklı gelerek birbirlerine yine uygun sayıda hidrojen bağları ile bağlanmasından ötürü (Şekil 2.2), zincirin bir kolunda bulunan nükleotidlerin dizilişi, karşı kolda bulunan nükleotidlerin dizilişini kontrol eder [Watson, 1953].

Nükleotidlerin bazıları molekülün omurgasının iç kısmında bulunur. Bazlar sarmalın eksenine 90° açı yapacak şekilde konumlanmıştır. Birbirine komşu baz çiftlerinin dönüşleri arasındaki uzaklık $3,4\text{\AA}$ 'dür. Ayrıca her baz çifti komşusuna 36° açı yapacak şekilde yerleşmiştir. Buna göre, yaklaşık 10 baz çifti 360° tam bir dönüşü tamamlayacağından, her dönüşün boyu $34\text{\AA}$ dür. Nükleotidler birbirlerine

fosfat bağlarıyla bağlanarak, şeker ve fosfat kısımlarının birbirlerini izlediği serilerden oluşan bir omurgaya sahip uzun ve polinükleotid zincirlerini meydana getirmiştir. Fosfodiester bağı, DNA ve RNA'daki fosfatların, şekerlerle yaptığı bağa verilen addır. Bu bağ, doğadaki en güçlü kovalent bağlardan biridir. Fosfodiester bağı, ardışık nükleotid şekerlerinden birisinin 5'-hidroksil grubunun, diğerinin 3'-hidroksil grubuna fosfat köprüsü aracılığı ile bağlanmasıyla oluşur. Fosfodiester bağlarının varlığı DNA molekülünün tek zincirli yapı halinde iken bile dayanıklı ve kararlı bir yapıda olmasını sağlar.

Nükleotidlerin yapısının bazik olmasına karşın omurgadaki PO_4 (fosforik asit) gruplarının varlığı polinükleotid zincirlerin asit özellikte olmalarına yol açar ve nükleik asit terimi de bu özellikten köken alır. DNA'nın iki zinciri, birbirine sadece hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimlerle bağlı olduklarından, nükleotidleri arasındaki kovalent bağlarda herhangi bir kopma olmaksızın çözülebilirler. Aynı şekilde çözülmüş molekülün zincirleri tamamlayıcı bazlar arasında hidrojen bağlarının oluşumu ile birleşip sarmal yapıyı yeniden oluşturabilir. Bu özellikleri nedeniyle, DNA molekülü biyosensör algılayıcıları için gerekli tüm özelliklere sahiptir denilebilir [İnanç, 2008].

2.2. DNA Çözeltisi

Hibritleşmeye dayalı uygulamalarda genellikle floresan boyalarla işaretlenmiş DNA'lar uygun tampon çözeltisi içinde kullanılmaktadır. Kullanım amacına yönelik olarak tek veya çift sarmallı olmak üzerine farklı boyutlarda DNA'lar kullanılmaktadır. Bu çalışmada çift sarmallı Lambda DNA kullanıldığından burada ayrıntılı olarak bahsedilecektir. DNA'lar kararlı hallerini ve fonksiyonlarını uygun tampon çözelti içinde sürdürülebildiğinden bu çalışmada DNA çözeltileri en kararlı oldukları Tris-EDTA tamponunda hazırlanmıştır. DNA'lar çıplak gözle tespit edilmemektedir. DNA'yı görünür hale getirmenin en uygun yolu, ethidiyum bromür, SYBR Green gibi floresan özellikteki boyalarla işaretlenmesidir. Bu boyalar DNA'ya bağlanır ve floresan mikroskobu altında görünür hale gelmesini sağlar.

2.2.1. Lambda DNA

Araştırmacıların büyük kısmı mikrobiyolojik çalışmalarda Lambda DNA'dan faydalanmaktadır. Uzun ve 40.502 baz çifti içeren çift sarmallı bir DNA olan Lambda DNA, bakterileri enfekte eden ve bir virüs olan bakteriyofajdan izole edilmektedir. Her bir molekülün boyunun uzun olmasından dolayı floresan boyalarla işaretlendikten sonra floresan mikroskopunda kolayca gözlemlenebilmektedirler. Lambda fajlar genellikle mikrobiyolojide model organizma olarak kullanılmakla birlikte moleküler biyologlar tarafından sıklıkla kullanılan genomik DNA'nın klonlama vektörlerinin iskeletini oluşturmaktadır [Bensimon, 1994; Fields, 2005].

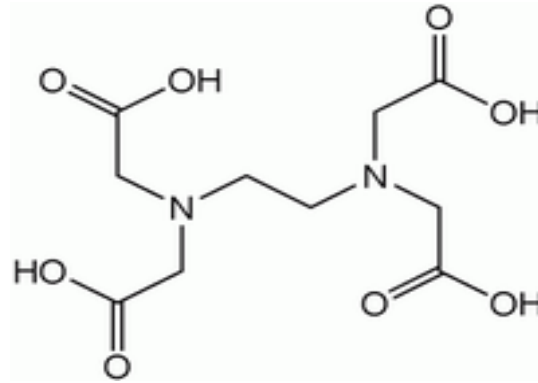
2.2.2. Tris-EDTA (TE) Tampon Çözeltisi

Tris-EDTA (TE) tampon çözeltisi çoğunlukla moleküler biyolojide ve özellikle DNA veya RNA içeren uygulamalarda kullanılmaktadır. TE bileşenleri olan Tris ve EDTA'dan türetilmiştir. DNA'larda pürin ile pirimidinler arasındaki hidrojen bağları, fosfor bağları kadar kuvvetli olmadığı için pH değişikliği, sıcaklık ve basınç gibi etkenlerle kolaylıkla birbirlerinden ayrılabilir. TE tampon çözeltisi DNA veya RNA'yı çözmektedir. Aynı zamanda uygun pH aralığında tutarak hidrojen bağlarının kopmasını ve dolayısı ile DNA zincirlerinin parçalanmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Tipik (1:1) 1xTE tampon çözeltisi reçetesi aşağıdaki gibidir.

- 10 mM Tris, HCl ile pH 8.0'e getirilir.
- 1 mM EDTA

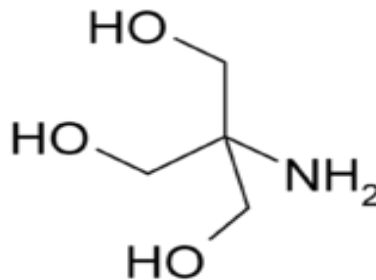
1980'lerden bu yana yapılan nükleik asitleri kısmen veya tamamen parçalayan nükleaz çalışmalarına dayandırılarak genellikle RNA'nın pH 7.5 ve DNA'nın pH 8.0'in uygun çalışma ortamı olduğu rapor edilmiştir. DNA ve RNA nükleazlarının bu pH'larda daha az aktif olduğu düşünülmekte ama pH 8.0 her ikisi içinde korunması açısından daha güvenli olmaktadır. 39.2 F (4°C)'e DNA'ların TE tampon çözeltisi içinde saklanması en ideal sıcaklıktır.

Genel formülü $[\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2]_2$ şeklinde olan EDTA bileşiği Etilen diamin tetra asetik asit'in kısaltmasıdır. EDTA bir polyamino karboksilik asit bileşiğidir. EDTA laboratuarda metal iyonlarını tutmak için kullanılır. Biyokimya ve moleküler biyolojide iyon tüketici olarak enzimlere karşı kullanılır. EDTA enzimler için gerekli olan metal iyonlara bağlanarak nükleik asitleri parçalayan enzimleri pasifize ederek DNA içindeki nükleik asitlerin parçalamasının önüne geçilmektedir. Yapısal formülü Şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. EDTA'nın yapısal formülü

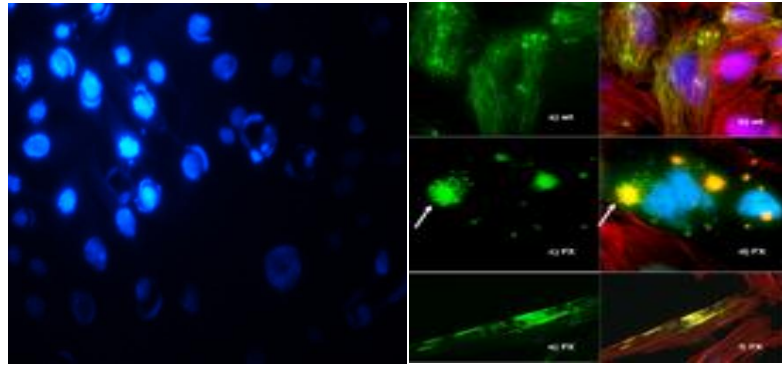
Formülü $(\text{HOCH}_2)_3\text{CNH}_2$ ve organik bir bileşik olan tris(hidroksimetil) amino metanın kısaltılarak, Tris ile (ayrıca THAM olarak da) ifade edilmektedir. Yapısal formülü Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Tris daha çok biyokimyada ve moleküler biyolojide kullanılmaktadır. Biyokimyada özellikle nükleik asit çözeltilerinde tampon çözeltisinin bir parçası olarak kullanılmaktadır. Tris 25°C 'de 8.06 pK_a değerine sahiptir, bu da tampon çözeltisinin 7.1 ve 9.0 pH aralığında etkili olabileceğini göstermektedir. Tris'in bu kullanılabilir pH aralığı birçok canlı organizmaların fizyolojik pH ile uyumludur. Bu avantajı ve düşük maliyetli oluşu Tris'i biyoloji ve biyokimya laboratuvarlarında en çok kullanılan tampon çözeltilerinden biri yapmaktadır.



Şekil 2.4. Tris (hidroksimetil) amino metan'ın yapısal formülü

2.2.3. DNA Moleküllerinin Floresan Boyalarla İşaretlenmesi

Bir molekülün ışık soğurma yeteneği onun yapısındaki atomik çekirdek etrafında elektronların yerleşimine bağlıdır. Böylece molekül tarafından bir foton soğurulduğunda bir elektron daha yüksek enerji seviyeli bir orbitale kaldırılır. Bir foton soğurmuş molekül uyarılmış durumdadır ve genellikle artık kararlı değildir. Uyarılmış molekülde daha yüksek enerjili orbitallere taşınan elektronlar genellikle kendi düşük enerjili orbitallerine geri dönerler. Uyarılmış molekülün eski durumuna dönmesiyle salınan ışık floresan olarak adlandırılır. Floresan ışığa daima soğurulan dalga boyundan daha uzun dalga boylu, yani daha düşük enerjilidir[Lichtman, 2005].



Şekil 2.5. Floresan boyalarla işaretlenmiş mikro organizmaların görüntüleri

Floresanlar bilimde genellikle biyolojik moleküllerin tahribatsız takibinde veya analizinde kullanılmaktadır. Floresanlar hücre, mikro organizma, RNA ve DNA'lara bağlanarak floresan mikroskopları vasıtasıyla gözlenmesinin yanı sıra kantitatif analizler içinde sıklıkla kullanılmaktadır. Floresan boyalarla işaretlenmiş bazı mikro organizmaların görüntüleri Şekil 2.5'de bulunmaktadır. Çözelti içindeki DNA'nın belirlenmesi moleküler biyolojinin birçok alanında çok yaygın kullanıma sahiptir.

Birçok araştırmacı DNA miktarını belirlemede absorbans olarak 260 nm çalışmaktadır. Fakat bu tekniğin hassasiyet ve tutarlılık açısından ciddi limitleri vardır. Nükleik asitlerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan boyaların seçiciliği, absorbans ve emisyon gibi temel özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Bunların içinde Etidiyum bromür DNA'nın içine girdiğinde UV ışıktaki turuncu bir renk vermektedir. Etidiyum bromür çözelti içinde serbest olduğunda çok az floresan özellik göstermektedir. Ama DNA'ya bağlandıktan sonra floresan özelliği

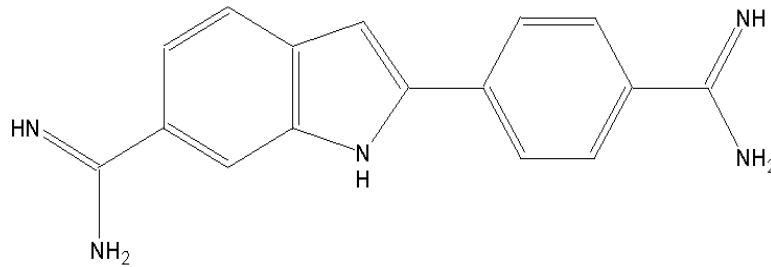
artmaktadır. Bu yüzden jel elektroforez’de DNA tespitinde çok kullanışlı olmaktadır [Pernodet, 2000]. Bu avantajlarının yanında Etidiyum bromür kanserojen olmasından dolayı daha güvenli olan SYBR Green alternatif olarak kullanılmaktadır [Gichner, 2006]. Bu çalışmada ekonomik ve DNA floresan özelliği iyi olan DAPI tercih edilmiştir.

Çizelge 2.1. Nükleik asitlerin boyanmasında yaygın kullanılan floresan boyalar

Boya	Ex/Em (nm)	Seçicilik	Avantajları	Dezavantajları
DAPI	360/465	A-T	Ucuz	A-T seçici
YOYO-1	491/509	dsDNA, bazı tek zincirli oligonükleotidler	Ucuz ve nispeten duyarlı	Seçiciliği az
Etidiyum Bromür	520/605	dsDNA ve RNA	Çok ucuz ve duyarlı	Kanserojen
Sybr Green I	485/535	dsDNA	Ucuz ve kanserojen değil	Mikro yüzeyler için uygun değil

2.2.3.1.DAPI

DAPI (4',6-diamidino-2-phenil indol) kromozom boyanmasında, DNA görüntülenmesinde ve miktarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılan çok halkalı bir floresan boyadır [Li, 2003].



Şekil 2.6. DAPI moleküler yapısı

DAPI çift sarmallı DNA’nın zengince Adenin-Timin (A-T) baz çiftlerine yüksek oranda bağlanırlar. Bağlanmış DAPI molekülleri bağlanmamışlara kıyasla çok kuvvetli ışık yayarlar. Floresan boyalar bu yaydıkları floresan ışıklarından dolayı DNA zincirlerinin belirlenmesi için tasarlanan DNA çiplerde uygulanmaktadır.

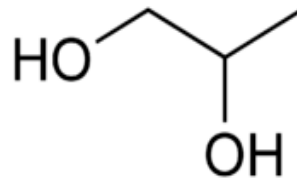
DAPI % 2,5 oranında suda çözünmekte ve çözeltileri soğukta saklandığında haftalarca kararlı kalabilmektedir. Boyanın 340 nm’de maksimum absorbands ve 488nm’de maksimum floresans göstermektedir. DAPI çift sarmallı DNA’ya bağlandığında 358 nm’de (morötesi) maksimum absorbands ve 461 nm’de (mavi) maksimum floresans göstermektedir. Dolayısıyla floresan mikroskoplarında DAPI morötesi ışınlarla uyarılmakta ve mavi/camgöbeği (RGB renk sisteminde yeşil ve mavi renklerinin karışımıyla elde edilen renk) filtresi vasıtası ile tespit edilmektedir [Kapusinski, 1995].

2.2.4. Katkı Maddeleri

Uniform veya homojen kalıntılar elde etmek için DNA çözeltilerinin buharlaşma koşullarının değiştirilmesi, tampon çözeltinin değiştirilmesi veya yüzey aktif maddesi eklenmesinin yanında katkı maddeleri de eklenmektedir. Bu çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan propilen glikol ve etilen glikol’den bahsedilecektir.

2.2.4.1. Propilen Glikol

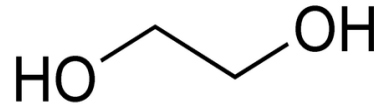
Organik bir bileşik olan propilen glikol ayrıca 1,2-propanediol olarak da adlandırılmaktadır. Molekül formülü $C_3H_8O_2$ veya $HO-CH_2-CHOH-CH_3$ ’dür. Renksiz, hemen hemen kokusuz, viskoz bir sıvı olmasının yanında nem çekici olup suda çözünabilmektedir. Molekül yapısı şekil 2.7’de gösterilen propilen glikol’ün diğer özellikleri ise molekül ağırlığı 76.09 g/mol, yoğunluğu 1.036 g/cm³, kaynama noktası 188.2 °C (370.8 °F)’dir.



Şekil 2.7. Propilen glikol’ün molekül yapısı

2.2.4.2. Etilen Glikol

Etilen glikol (ethan-1,2-diol) sıklıkla otomotivde antifriz ve polimerlerde başlatıcı olarak kullanılmaktadır. Molekül formülü $C_2H_6O_2$ 'dir. Saf hali renksiz, kokusuz ve suda çözünen bir sıvı olmasının yanında toksik olmasından dolayı dikkat edilmesi gerekmektedir. Molekül yapısı Şekil 2.8'de gösterilen etilen glikol'ün diğer özellikleri ise molekül ağırlığı 62.07 g/mol, yoğunluğu 1.1132 g/cm³, kaynama noktası 197.3 °C (387 °F)'dir.

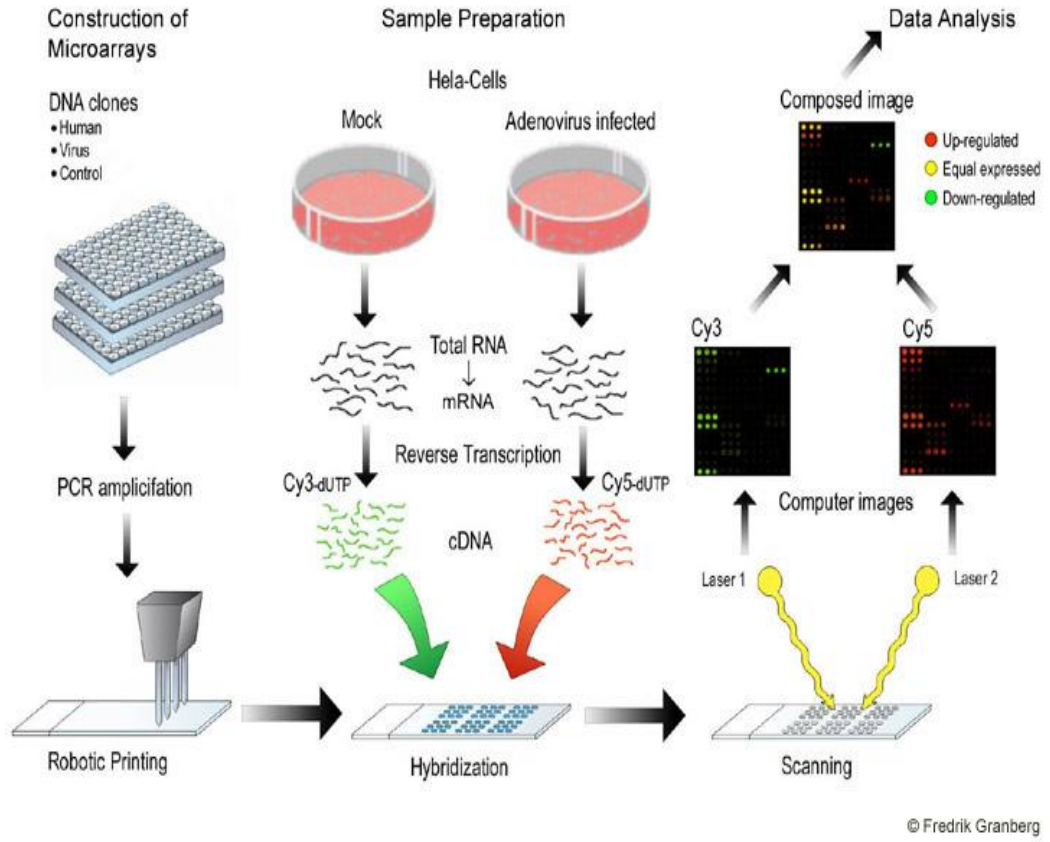


Şekil 2.8. Etilen glikol'ün molekül yapısı

2.3. DNA Çip Teknolojisi

Birçok alanda kullanılan DNA çözeltileri özellikle 20 yıl öncesinde mikrobiyolojinin alanına giren DNA Mikroçip teknolojisinde büyük öneme sahiptir [Schen, 1995]. DNA mikroçip genellikle her biri farklı bir geni temsil eden, ayrı ayrı küçük katı yüzeye kovalent bağlarla sabitlenmiş binlerce DNA parçacıkları topluluğudur. DNA mikroçipleri diğer biyolojik mikroçiplerden (örneğin protein veya antikor mikroçipi) tek farkı DNA'yı ölçmesi veya algılama sisteminin bir parçasını DNA'nın oluşturmasıdır. Nicel veya nitel ölçümler zorlayıcı şartlar altında seçici DNA-DNA etkileşimine ve floresan tabanlı algılama esaslarına dayanmaktadır. DNA mikroçip teknolojisi çoğunlukla gen ifadesi profillerinin çıkarılmasında, yani aynı anda çok sayıda genin ifade düzeyinin gözlemlenmesinde veya canlıların en temel birimi olan hücrelerde meydana gelen değişiklikleri ortaya çıkarılmasında kullanılan genetik talimatların karşılaştırmalı hibritleşme çalışmaları sonucu belirlenmesinde kullanılmaktadır. Uygulanan yöntem ve amaç farklılıkları olmakla birlikte mikroçip, DNA çip ve DNA array gibi tanımlamalar da benzer uygulamaları ifade etmek için kullanılırlar. DNA array terimi özellikle cam lamalar üzerinde hazırlanan daha küçük kapasiteli platformlar için tercih edilir. Genel olarak mikroçip teknolojisinin en önemli özelliği, küçük bir alanda çok sayıda genomik incelemenin yapılmasına olanak sağlamasıdır. Bu tekniğin en heyecan verici yanı ise,

yakın bir gelecekte küçük bir okuyucu cihaz aracılığı ile hasta başında çok sayıda hastalık/etken arasında ayırıcı tanı yapılmasına veya tedavi sonucunun değerlendirilebilmesine olanak sağlayacak olmasıdır [Dufva, 2005].



Şekil 2.9. DNA çip uygulamasının aşamalı olarak gösterimi (http://www.anst.uu.se/frgra677/bilder/micro_method_large.jpg)

Standart bir genomik mikroçip çalışması beş temel basamaktan oluşmaktadır (Şekil 2.9);

1. İlk aşamada hedef DNA dizilerine tamamlayıcı diziler içeren oligonükleotidler mikroçip platformuna sabitlenerek hazırlanır veya ticari olarak temin edilir.
2. Daha sonra incelenecek numuneden floresan ile işaretlenmiş cDNA/DNA/cRNA'lar hazırlanmaktadır.
3. İşaretlenmiş cDNA/DNA/cRNA ile mikroçip platformunun hibritleşme solüsyonu içerisinde karşılaştırılmaktadır.

4. Yıkama sonrasında platform yüzeyinde hibritleşme varlığının lazer teknolojisi kullanan bir tarayıcı veya okuyucu aracılığıyla analiz edilmekte ve dijital veriler bir bilgisayarda depolanmaktadır.
5. Son aşamada depolanan görüntünün bir yazılım aracılığıyla değerlendirilmesi ile mikroçip platformu üzerindeki hangi noktalarda hibritleşme olup olmadığı ve niceliksel olarak boyutu (koyu mavi-yeşil-sarı-kırmızı renk yelpazesinde) değerlendirilmekte ve yorumlanmaktadır [Thube, 2009].

Mikroçip platformları temelde üç ana yöntemle üretilirler. Fotolitografik maskeleme olarak ifade edilen birinci yöntemde, oligonükleotid sentezi doğrudan mikroçip yüzeyinde önceden tasarlanmış noktalarda insitu olarak gerçekleştirilir. Diğer iki yöntemde ise oligonükleotidler başka bir yerde önceden sentezlendikten sonra mikroçip yüzeyindeki tasarlanmış mikroskobik noktalara bağlanırlar. Birbirine benzeyen bu iki yöntemde ise oligonükleotid yüzeye bağlanması ya küçük uç açıklığı bulunan enjektörlerle püskürtme tekniği kullanılarak ya da platform yüzeyine temas eden kanalcıklar aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Bu üç ana yöntem dışında farklı teknolojiler de geliştirilmektedir. Ancak, tüm yöntemler sonuçta hibritleşme esasına göre çalışmaktadırlar.

Yüzey temaslı damlatma yöntemi ilk kez Brown ve arkadaşları tarafından 1995 yılında tanımlanmış bir tekniktir. Önceden hazırlanmış oligonükleotidler, kimyasal olarak değiştirilmiş cam yüzeyler üzerinde tasarlanmış noktalara kusursuz bir şekilde kontrol edilen robotik kolların ucundaki mikro kanallar aracılığıyla veya daha küçük kapasiteli platformlarda manüel olarak temas ettirilir. Cam yüzeyler poli (L-lysin) ve benzeri kimyasallarla değişikliğe uğratılır ve DNA molekülünün kovalent veya kovalent olmayan bir şekilde yüzeye tutturulması sağlanmış olur. Yöntem fotolitografik tekniğe göre daha elastiki ve ekonomiktir. Bununla birlikte, dezavantajları ise ön hazırlık aşamasında gerekli olan yoğun emek ve damlatma cihazlarının kapasitelerinde artışa paralel olarak yükselen maliyetidir.

Püskürtme yönteminde önceden hazırlanmış oligonükleotidler, kimyasal olarak değiştirilmiş cam yüzeyler üzerinde tasarlanmış noktalara robotik kollar aracılığı ile yerleştirilirler. Ancak, yüzey temaslı damlatma yönteminden tek farkı oligonükleotidler tutturulacağı cam yüzeye inkjet adı verilen bir teknikle temas

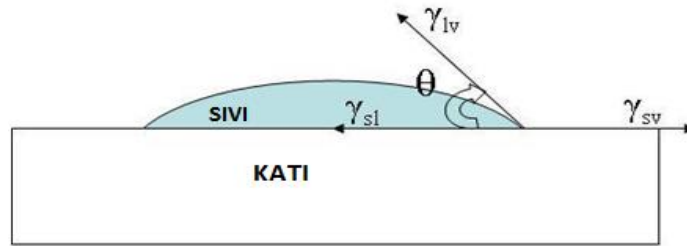
etmeksizin ince bir uçtan püskürtülür. Böylece üretim serileri arasında farklılıklar göstermeyen ve tek tip noktalama sağlayan yüksek kaliteli mikroçiplerin üretilmesi sağlanmış olur [Saraçlı, 2010].

Ama bu tekniğin güvenilirliği bazı açılardan zayıf kalmaktadır. DNA mikroçip üretiminde metotlar genelde seyreltik çözelti ile önceden hazırlanmış DNA'ların düz bir cam üzerine sabitlenmesi üzerinedir. Aşılamada çözücünün buharlaştırılması önemlidir. Bu aşamada DNA konsantrasyonu ve aşılama kinetikleri artmaktadır. Bu aşamadaki ana problem, buharlaşma sonunda kalan kalıntıların içindeki DNA'ların düzensiz şekiller oluşturmalarıdır. Bu kalıntı içi ve kalıntılar arası düzensizlikler DNA mikroçip analizlerinde zayıf floresan sinyallerine sebep olduğundan veri alınması ve yorumlanmasında hatalara sebep olmaktadır. İdeal olarak her kalıntının üniform dağılıma ve benzer özelliklere sahip olması istenmektedir. Genetik hastalıkların tanısı mükemmel/uyumsuz zincirler arasındaki sinyallerin oranından belirlenmektedir. Mikroçip sonuçlarının güvenilirliği yüksek oranda DNA kalıntısının kalitesine (boyut, morfoloji, sabitlenmiş DNA'nın verimine) bağlıdır.

3. TEMAS AÇISI

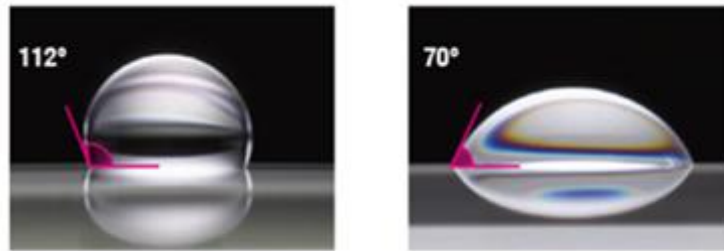
3.1. Temas Açısı Tanımı

Katıların sıvılar tarafından ıslanabilirliği nicel olarak temas açısıyla ifade edilmektedir. Temas açısı (θ) katı üzerindeki sıvı damlasının katı, sıvı ve gaz fazlarının kesiştiği üçlü faz sınırında oluşturduğu açı olarak bilinmektedir. Katı ve sıvı yüzeyine teğet düzlem arasında, kesişme noktasında oluşur. Temas açısı başka bir deyişle, bir sıvı veya gazın bir katı yüzey ile teması sonucu yüzeyde yayılmasına bağlı olarak yaptığı açı olarak tanımlanmaktadır. Sıvı damlası olarak düşük viskoziteye sahip ve çok fazla uçucu olmayan sıvılar olarak kullanılabilirler.



Şekil 3.1. Düz bir katı üzerinde duran sıvı damlası ve damlanın etkisinde olduğu kuvvetler.

Bir katı yüzeyinde sıvı damlası Şekil 3.1’de görülen üç kuvvetin etkisi altında dengededir. Bu kuvvetler katı ile sıvı arasındaki ara yüzey gerilimi, γ_{sl} , katı ile buhar arasındaki ara yüzey gerilimi, γ_{sv} ve sıvı ile buhar arasındaki ara yüzey gerilimi, γ_{lv} , şeklindedir.



Şekil 3.2. Katı yüzeylerde sıvı damlalarının oluşturduğu iki farklı temas açısı.

Katı yüzeyler sıvılarla verdikleri temas açlarına göre belli başlı sınıflara ayrılmaktadırlar. Şekil 3.2'deki gibi 90° 'den küçük temas açısı veren sıvı damlaların katı yüzeyde yayılma eğilimi gösterir ve sıvı katıyı ıslatıyor denir. Eğer kullanılan sıvı su ise bu yüzeylere hidrofilik denir. Düşük temas açısı değerleri güçlü bir katı-sıvı etkileşmesini gösterir. 90° 'den büyük temas açısı veren sıvı damlaları yayılmak yerine küresel bir şekil alma eğilimi gösterir ve sıvı katıyı ıslatmıyor denir. Su ile yüksek temas açısı veren yüzeylere ise hidrofobik yüzeyler olarak belirtilir. Bununla beraber yüksek temas açısı değerleri zayıf etkileşim ve zayıf ıslatma gösterirler. Ayrıca su damlasıyla 150° 'den büyük temas açısı veren katı yüzeylere süperhidrofobik ve 5° 'den küçük temas açısı veren katı yüzeylere ise süperhidrofilik yüzeyler denilmektedir.

1805 yılında ilk defa Thomas Young tarafından temas açısı tanımlanmıştır. Üçlü faz temas noktası olarak adlandırılan üç fazın kesişme noktasındaki kuvvetlerin vektörel toplamı Young eşitliği ile gösterilir:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (\text{Young Eşitliği}) \quad (3.1)$$

γ , yüzey gerilimini (veya serbest yüzey enerjisi) verir. Eğer katının serbest yüzey enerjisi yüksek ise, yani $\gamma_{sv} > (\gamma_{sl} + \gamma_{lv})$ ise, Young eşitliği $\theta = 0$ olacağından, $(\cos \theta = 1)$ olur ki bu da o katı üzerinde sıvının tamamen yayıldığını gösterir. Diğer taraftan, üçlü faz temas noktasında vektörel kuvvetleri dengelemek üzere, yukarı doğru bir $(\gamma_{lv} \sin \theta)$ bileşeni bulunur. Bu kuvvet, katının yüzey alanı gerilimine karşılık gelen $(-\gamma_{lv} \sin \theta)$ kuvveti tarafından dengelenir.

Ayrıca termodinamik olarak Young eşitliğini türetilebilmektedir. Katı üzerinde temas eden sıvının alanındaki değişim ΔA ile gösterildiğinde, serbest yüzey enerjisindeki değişim:

$$\Delta G = \Delta A(\gamma_{sl} + \gamma_{lv}) + \Delta A \gamma_{lv} (\cos \theta - \Delta \theta) \quad (3.2)$$

Dengeyken, yüzeyler arası alan limitte sıfıra doğru giderken,

$$\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta A} = 0 \quad (3.3)$$

Bu iki denklemden young eşitliği:

$$\gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta - \gamma_{sv} = 0 \quad (3.4)$$

veya

$$\gamma_{lv} \cos \theta = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} \quad (3.5)$$

yazılabilir. Temas açısının adezyonun yaptığı iş ve yüzeyler arası serbest enerji ile ilişkisini gösteren termodinamik eşitlik 1869 yılında Dupré tarafından geliştirilmiştir. W_{SL} , sıvı ve katı arasındaki tersinir adezyon işi olmak üzere,

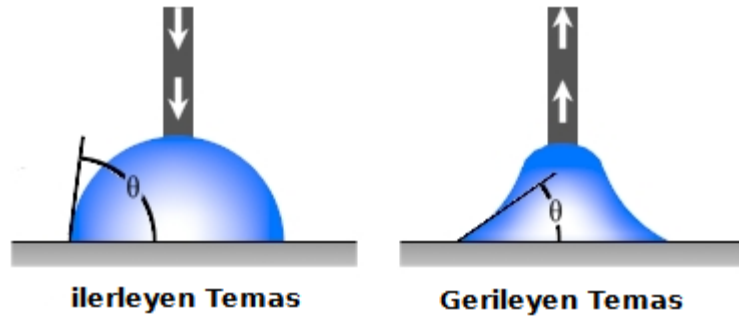
$$W_{SL} = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} - \gamma_{sl} \quad (3.6)$$

$$W_{SL} = \gamma_{sv}(1 + \cos \theta) \quad \text{Young- Dupré eşitliği} \quad (3.7)$$

θ değerleri küçük iken, adezyon işi küçüktür ve sıvıyı katıdan ayırmak için oldukça fazla enerji harcanması gerekmektedir. $\theta = 0^\circ$ ise $W_{SL} = 2\gamma_{lv}$; $\theta = 90^\circ$ ise $W_{SL} = \gamma_{lv}$; ve $\theta = 180^\circ$ ise $W_{SL} = 0$ 'dır ki bu da katının yüzeyinden tamamen küresel civa damlasını ayırmak için yapılması gereken iş olmadığını gösterir.

3.2. Temas Açısı Karmaşası (Histeresis) Tanımı

Katı- sıvı etkileşimlerini karakterize etmek için sadece bir statik temas açısı ölçümü yeterli değildir. Çünkü pratikte bir katı yüzeyinde sadece denge temas açısı, θ_e , yoktur. Denge, ilerleyen ve gerileyen olmak üzere üç çeşit temas açısı ölçümü bulunmaktadır. İlerleyen temas açısı θ_a , kuru temiz bir yüzey üzerinde sıvının ilerlemesi ile ölçülür. Gerileyen temas açısı θ_r , ise önceden ıslatılmış yüzeyde sıvının geri çekilmesi ile gözlenir. Denge temas açısı θ_e ilerleyen θ_a ve gerileyen θ_r temas açısının ortasında bir değere sahiptir. Denge temas açısı θ_e Young denkleminin doğrudan sonucudur.



Şekil 3.3. Sıvı damlasının ilerleyen ve gerileyen temas açılarının şematik gösterimi

Young eşitliğinin türetilmesinde katı yüzeylerinin kimyasal homojen, atomik ölçekte düz ve ideal bir katı olduğu varsayılmıştır. Ancak gerçekte böyle bir yüzey yoktur, bütün katı yüzeyleri azda olsa heterojenlik ve yüzey kusurları içerirler. Young denklemini uygulamak için, katı ideal bir yüzeye sahip olmalıdır. Bu yüzey homojen, sert, atomik ölçekte düz, katı veya sıvı adsorbsiyonu gibi kimyasal etkileşimden uzak olmalıdır. Bu ideal polimer yüzey mevcut olduğunda, prensipte tek ve eşsiz denge temas açısı olmalıdır. İlerleyen ve gerileyen temas açıları arasındaki fark temas açısı karmaşası olarak adlandırılır.

$$H = \theta_a - \theta_r \quad (3.8)$$

θ_a ve θ_r her ikisi de yüzey pürüzlülüğü ve yüzeyin kimyasal heterojen olmasına bağlıdır. Temas açısı karmaşası yüzeyin homojen olmayışı ve pürüzlülük gibi ideal olmayan durumlarla ilişkilendirilir. Fakat olayın temeli tam anlamıyla keşfedilmemiştir. Katı bir yüzey üzerinde ilerleyen ve gerileyen temas açılarını katı yüzeye eğim vermeden de ölçmek mümkündür. İlerleyen temas açısını ölçmek için Şekil 3.3' de görüldüğü gibi yüzey üzerinde şırınga ile oluşturulan su damlası ve şırınga birbiriyle temas ettirilerek su damlasının hacmi artırılır. Bu şekilde ölçülen temas açısı ilerleyen temas açısıdır ve denge temas açısından büyük bir değere sahiptir. Gerileyen temas açısını ölçerken ise, şırınga ve su damlası yine birbirleriyle temas ettirilir ve su damlasının hacmi çekilerek azaltılır. Bu şekilde ölçülen temas açısı da gerileyen temas açısıdır ve değeri denge temas açısından küçüktür. Çünkü adhezyon işi kuru yüzey için önceden ıslatılmış olandan daha azdır. Katı sıvıyla ilk temas ettiğinde bir miktar sıvıyı adsorblar. Bu yüzden katı yüzeyinin karakteristiği değişmiş olur.

Pratikte, ilerleyen temas açısı gerileyen temas açısından büyüktür, denge temas açısı ise ilerleyen ve gerileyen temas açılarının arasında bir değerdedir. Yüzey ne kadar temiz ve ideale yakın olursa, ilerleme ve gerileme açıları arasındaki fark o kadar az olur. Heterojenliğin olmadığı, tamamen homojen ve pürüzsüz yüzeylerde (ideal yüzeylerde) ilerleyen ve gerileyen temas açıları birbirine eşittir.

Yüzey pürüzlülüğü ve katı yüzeyindeki mikroskobik kimyasal heterojenlik temas açısı karmaşasını etkileyen en önemli faktörlerdir. Bunun yanında kirlilik, damla boyutu etkisi, yüzeydeki moleküler yer değiştirme ve deformasyon, gözenekler arasına giren sıvı moleküllerinin boyutu ve katı yüzeyindeki yarıklar karmaşayı etkileyen diğer faktörlerdendir. Temas Açısı Karmaşası değerlendirmek için θ_a ve θ_r dikkatlice ölçülmelidir [Erbil, 2006].

3.3. Temas Açısı Ölçüm Yöntemleri

Temas açısı ölçümü ilk bakışta oldukça kolay gibi görünse de termodinamik açıdan temasının doğru bir şekilde ölçümü için çok dikkatli olunması gerekir. Katı yüzey üzerine damla oluştururken yüzey uygun şekilde hazırlanmadığı ve saf sıvıların tercih edilmediği ve ayrıca ölçüm esnasında damla buharlaşması, damla içerisinde iğnenin yerleşimi ve damlanın şeklinin kesin görüntüsü gibi önemli konular göz önüne alınmadığında hatalı ve genellikle kullanışsız temas açısı değerleri elde edilir.

Temas açısı ölçümü için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir fakat günümüzde sadece birkaçı popüler olarak kullanılmaktadır. Tercih edilen iki yöntem biri video kamera veya gonyometre kullanımı ile gözeneksiz düzgün yüzey üzerinde duran damlanın statik temas açısı ölçümü ve diğeri de dinamik (hareket eden) katı bir levhanın bir test sıvısı içine daldırılmasıyla etkileşim kuvvetlerini ölçen tensiyometre kullanarak dinamik temas açısının ölçümüdür. Her iki yaklaşımın da avantaj ve dezavantajları vardır.

3.3.1. Statik Optik Teleskop (Gonyometre)

Gonyometrik yöntemde temel, damlanın şeklinin analiz edilmesidir. Açıölçer göz merceği bulunan mikroskop kullanarak veya son zamanlarda daha geliştirilmiş uygun büyütme lensli, çekilen resimde tanjant değerini resim-analiz programı yardımı ile belirleyen bilgisayar kontrollü bir video kamera ile donatılmış bir cihaz olan gonyometre ile düz bir katı yüzey üzerindeki durgun damlanın temas açısı ölçülür. Yöntemin gerekli hassasiyeti uygulanabilmesi cihazda uygun soğuk ışık kaynağı ve numune standı seviyesi kontrol edilebilmektedir.

Gonyometrik olarak durgun damla ve yakalanmış kabarcık yöntemleri ile temas açısı ölçülür. Durgun damla yöntemi katı- sıvı faz sisteminden oluşur. Damla profili fotoğraflanır, üçlü faz temas noktasındaki durağan damlanın tanjantı alınarak temas açısı hesaplanır. Statik temas açısı ölçümü yanında ilerleyen ve gerileyen temas açılarının ölçümleri de yapılabilir. Yakalanmış kabarcık yöntemi ise üçlü faz dengesine dayanmaktadır. Yakalanmış hava kabarcığı, katı ile temas eden sıvı içerisinde, katının alt yüzeyinde ucu kıvrık mikrometre şırınga yardımıyla oluşturulur. Temas açısı gonyometrik mikroskop veya video kamera ile ölçülür.

Statik temas açısı ölçüm yöntemlerinin birçok avantajları vardır. En önemlisi kullanımı çok basit bir yöntemdir. Ölçüm almaya yeterli derecede düz olan ve cihaza yerleştirilebilecek şekilde herhangi bir katı ile ölçüm alınabilir. Denemeler çok az miktarda sıvı kullanılarak yapılabilir. Bunların yanında yöntemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Ölçümlerde tanjant çizgisinin belirlenmesi ölçümü yapan kişinin öznelliğine ve tutarlığına bağlıdır. Bu hatalı ölçüm alınmasına sebep olabilir [Erbil,2006].

4.YÜZEY GERİLİMİ

4.1. Serbest Yüzey Enerjisi ve Yüzey Gerilimi

Sabit sıcaklık ve basınçta bir malzemenin yığın fazdaki moleküllerini yüzeye getirerek yüzey alanını 1m^2 arttırabilmek için gerekli iş serbest yüzey enerjisi olarak adlandırılır ve γ_1 ile gösterilir. SI birimi J/m^2 'dir. Yüzey biliminde genellikle daha öncelerden kullanılan erg/cm^2 birimi ile nümerik olarak tutarlı olması için mJ/m^2 birimi kullanılmaktadır.

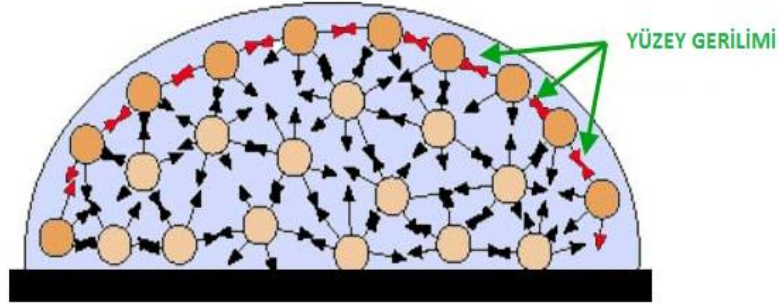
Bir malzemenin yüzey gerilimi, γ_1 , yüzey alanını minimize etmek için yüzey çizgisi üzerinden yığın içerisine dikey olarak molekül yönelmesini sağlayan kuvvettir. Birimi birim uzunluğa düşen kuvvet şeklindedir ve SI birimi olarak gösterimi N/m veya genellikle mN/m 'dir. Maddelerin yüzey gerilimi ve serbest yüzey enerjisi boyutsal olarak eş değerdir ($[\text{N/m}] = [\text{J/m}^2] = [\text{kg/s}^2]$) ve saf sıvıların buharları ile dengede olduğu durumda sayısal değerleri de aynıdır. Yüzey gerilimi ve serbest yüzey enerjisi terimleri birbirinden farklıdır.

Serbest yüzey enerjisi termodinamik terimlerde temel özelliktir ve yüzey gerilimi yüzeyde hiç adsorpsiyon olmadığı durumlarda serbest yüzey enerjisine eşit alınabilir. Diğer yandan; yüzey gerilim birimi (N/m), yığın basıncı biriminin (N/m^2) iki boyutsal analogudur ve bu yüzden yüzey gerilimi iki boyutlu negatif basınç olarak kabul edilebilir. Yüzey gerilimi yalnız sıvılar için söz konusu değildir. Hem katıların yüzeyinde hem de çeşitli fazlar arasındaki bütün ara yüzeylerde yüzey gerilimi vardır. [Erbil, 2006].

4.2. Sıvıların Yüzey Gerilimi

Sıvılarda kohezyon kuvvetleri molekülleri bir arada tutar ve sıvı molekülleri sıvı içinde belli bir serbestlikle hareket etmektedir. Şekil 4.1'deki gibi sıvı damlasının iç kısmında her bir molekül bir diğeriyle sarılı haldedir ve her yönden üzerine etkiyen toplam kuvvet vektörü sıfırdır. Bu da moleküllerin sıvı içerisinde kararlı bir halde olmasını sağlar. Diğer taraftan, yüzeydeki moleküller içteki ve

kendisine komşu olan moleküller tarafından çekilir. Fakat içteki çekiş kuvvetini dengeleyecek buhar fazında çok az molekül olmasından dolayı dışarıdan bir çekime sahip değildir. Bu yüzden yüzeydeki her bir molekül yüzeye dik güçlü bir kuvvetin etkisi altında kalmaktadır.



Şekil4.1. Sıvı damlası ve sıvı içerisinde moleküller arası çekim kuvvetleri (http://fusedglass.org/learn/project_tutorials/kiln_pressed_glass_surface_tension)

Yüzeydeki moleküllerin içeriye doğru hareketi içteki moleküllerin yukarı yönlü hareketinden sürekli olarak daha hızlıdır. Bu olay yüzeydeki moleküllerin sayısını, bu da sıvının yüzey alanını azalmasına sebep olmaktadır. Yüzeyde ki bu daralma sıvı içine mümkün olan maksimum molekül sayısına ulaşana kadar devam eder. Bu hareket sonucunda sıvının yüzeyinde meydana gelen gerilime sıvının yüzey gerilimi denir.

Sıvılar doğal olarak yüzey alanlarını minimize etme eğilimindedir. Buda termodinamik olarak yüzey gerilimi sıvının kendi yüzeyinin potansiyel enerjisini minimuma indirmeye çalışmasıyla açıklanmaktadır. Belli hacimdeki sıvı damlaları yüzey gerilimi etkisiyle en küçük yüzey/hacim oranına sahip geometrik şekil olan küre olma eğilimindedir. Küçük bir damlacık için yüzey gerilimi yüzeyde etkili olan kuvveti dengelemek için damlacık içerisindeki iç basıncın artmasına neden olur. Yüzey gerilimin etkisi altındaki sıvı yüzeyi öteki kısımlardan daha farklı özelliklere sahiptir.

4.2.1. Sıvıların Yüzey Gerilimi Ölçme Yöntemleri

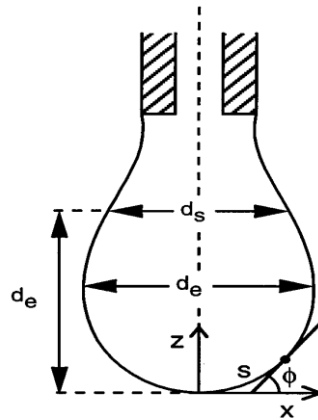
Sıvıların yüzey geriliminin doğrudan ölçülebilmektedir. Ancak sıvıların yüzey gerilimi ölçümlerini sınıflandırmak oldukça zordur, çünkü statik, dinamik, hızlı, yavaş, eski ve yeni birçok yöntem kullanılabilmektedir. Birçok yöntem içinde

kullanılacak yöntemi seçerken; yüzey gerilimin mi yoksa yüzeyler arası gerilimin mi ölçüleceği, istenen hassasiyette, ölçümü yapılacak numunenin miktarı ve zamanın yüzey gerilimi üzerine etkisi dikkate alınmalı ve çalışma kapsamı içinde ya da çalışma kapsamı dışında olup olmayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Başlıca ölçme yöntemleri:

1. Kapillerde (kılcalda) yükselme yöntemi
2. Wilhelmy plate (plaka) yöntemi
3. DuNouy halka yöntemi
4. Damla yöntemi
 - Basit damlalık yöntemi
 - Donnan pipeti yöntemi
 - Sarkan damla (Pendant drop) yöntemi
 - Sesil damla (Sessile drop) yöntemi

4.2.1.1. Sarkan Damla Yöntemi

Dik durumda tutulan dar bir tüpün ucundan bir sıvı damlasının yavaşça kopması sağlanır. Kopan damlanın ya ağırlığı, ya da hacmi ölçülür, ya da damla sayısı saptanır. Yüzey gerilimi bilinen bir sıvının (referans sıvı) damla ağırlığı, damla hacmi ya da damla sayısı saptanır. Aynı koşullarda bilinmeyen sıvının ki ile karşılaştırılır. Bir damlalığın ya da pipetin ucunda, bir damlayı tutan kuvvet, damlanın tüpe temas ettiği daire boyunca etkiyen sıvının yüzey gerilimi ile orantılıdır. Damla, uçtan tam koptuğu anda yüzey gerilim, damlanın (mg) ağırlığına (kütlesine) eşittir.



Şekil 4.2. Sarkan bir damla ve karakteristik boyutları [Hansen, 1991]

Asılı damla yöntemi Şekil 4.2’de ki gibi bir sıvının bir damlalığa asılı bir damlasının fotoğrafı çekilir ya da onun görüntüsü, grafik kâğıdına geçirilir. Damlanın çeşitli boyutlarından, yüzey ya da yüzeyler arası gerilim hesaplanabilir. Bu yöntem kirlenebilecek sistemlerde de çalışma kolaylığından ve ölçümü yapılacak sıvının az miktarda kullanılmasından dolayı tercih edilmektedir.

4.3. Katıların Yüzey Gerilimi

Sıvıların yüzeylerinden tamamen farklı olarak katı yüzeyinde ki moleküller genellikle yer değiştirmeyerek konumlarını korurlar. Her bir atom ve molekül ortalama konumlarında sadece titreme hareketi yaparlar. Sonuç olarak, katı yüzeyler kendiliğinden en düşük yüzey alanı/hacim oranına göre küçülmezler. Bu durum katılarda yüzey gerilimi olmadığı anlamına gelmemektedir. Prensipde, tüm katılarda aynı sıvılardaki gibi kohezyon sebebiyle yüzey gerilimi mevcuttur. Ancak, yüzey gerilimine bağlı yüzey şekli değişimi katılarda sıvılara oranla oldukça yavaştır. Bu kohezyon kuvvetlerinin küçüklüğünden değil yüzey moleküllerinin veya atomlarının hareketliliğinin çok az olmasından kaynaklanmaktadır.

Gerçekte katılar için mutlak vakum durumları haricindeki tüm durumlarda ara yüzeylerle ilgilenilir. Çünkü katı-hava, sıvı-hava gibi her faz bir diğer fazla temas halindedir. Ancak katıların yüzey gerilimi ölçümünde sıvılardaki gibi direkt ölçüm metotları yoktur. Bu yüzden katıların yüzey gerilimi temas açısı ölçümüyle dolaylı olarak ölçülür. Katı üzerindeki temas açısı ölçümü katı-sıvı etkileşiminin termodinamiğini yansıtmaktadır. Temas açısı katıların yüzey gerilimini tahmin etmekte kullanılabilmektedir. Bu amaçla katı üzerinde seriler halinde birçok sıvı damlası oluşturulmakta ve temas açıları ölçülmektedir. Bu ölçümlere dayanarak yapılan hesaplamalarla katının özelliği ve ıslanabilirliğini gösteren kritik yüzey gerilimi, yüzey gerilimi, serbest yüzey enerjisi gibi parametreler bulunabilmektedir. Yüzey gerilimin ölçülmesinde kullanılan başlıca yöntemler:

- Owens-Wendt metodu
- van-Oss-Good metodu
- Zisman metodu

- Wu metodu
- Neumann metodur.

Burada van Oss-Good metodu ile katıların serbest yüzey enerjisi hesaplanmasına değinilecektir.

4.3.1. Van Oss–Good Metodu ile Serbest Yüzey Enerjisi Hesabı

Van Oss–Good metodu, asit-baz yaklaşımı olarak da bilinmektedir. Makroskopik sistemler arasındaki etkileşimde ki Lifshitz teorisine dayanarak 1985 yılından sonra van Oss, Good ve Chaudhury tarafından katı yüzeylerin serbest yüzey enerjisinin tahmini için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yöntemle katı yüzeylerindeki dispersiyon, dipolar ve indüksiyon etkileşimlerini Lifshitz- van der Waals etkileşimleri ile simgeleyen γ_s^{LW} ve hidrojen bağlarındaki gibi tüm donör-akseptör elektron etkileşimlerini asit baz etkileşimleri ile simgeleyen γ_s^{AB} terimlerini ileri sürmüşlerdir. Bu yöntemde adhezyon işi 4.1 eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$-W_a = \Delta G_{SL} = \Delta G_{SL}^{LW} + \Delta G_{SL}^{AB} \quad (4.1)$$

Bu denklemin ΔG_{SL}^{LW} 'nin 4.2 eşitliği şeklindedir.

$$\Delta G_{SL}^{LW} = \sqrt{\Delta G_S^{LW} \Delta G_L^{LW}} \quad (4.2)$$

Bu denklem Fowkes'un dispersiyon çekimleri için yaklaşımı ile uyumlu olması nedeni ile γ_{SL}^{LW} 4.3 nolu eşitlik yazılabilmektedir.

$$\gamma_{SL}^{LW} = \gamma_S^{LW} + \gamma_L^{LW} - 2\sqrt{\gamma_S^{LW}\gamma_L^{LW}} \quad (4.3)$$

$$-\Delta G_{SL}^{LW} = \gamma_S^{LW} + \gamma_L^{LW} - \gamma_{SL}^{LW} \quad (4.4)$$

$$\text{Eşitlik 4.3 ile 4.4'nın birleştirilmesi ile} \quad -\Delta G_{SL}^{LW} = 2\sqrt{\gamma_S^{LW} + \gamma_L^{LW}} \quad (4.5)$$

elde edilmektedir. van Oss-Good etkileşimlerini 4.6 eşitliği ifade etmektedir.

$$-\Delta G_{SL}^{AB} = 2(\sqrt{\gamma_S^+ \gamma_L^-} + \sqrt{\gamma_L^+ \gamma_S^-}) \quad (4.6)$$

Burada yüzey geriliminin γ_S^+ Lewis asit ve γ_S^- Lewis baz parametreleridir. 4.4 ve 4.5 eşitliğinin 4.6 eşitliği ile birleştirilmesi ile 4.7 denklemi elde edilmektedir.

$$-\Delta G_{SL} = 2(\sqrt{\gamma_S^{LW} + \gamma_L^{LW}} + \sqrt{\gamma_S^+ \gamma_L^-} + \sqrt{\gamma_L^+ \gamma_S^-}) \quad (4.7)$$

Young- Dupre eşitliği 4.8 numaralı eşitlik olarak aşağıda verilmiştir.

$$-\Delta G_{SL} = W_a = \gamma_{LV}(1 + \cos \theta) \quad (4.8)$$

Young-Dupre ve 4.7 numaralı eşitliğin birleştirilmesi ile serbest yüzey enerjisi hesabı için kullanılan 4.9 numaralı eşitlik elde edilmektedir.

$$\gamma_{LV}(1 + \cos \theta) = 2(\sqrt{\gamma_S^{LW} + \gamma_L^{LW}} + \sqrt{\gamma_S^+ \gamma_L^-} + \sqrt{\gamma_L^+ \gamma_S^-}) \quad (4.9)$$

Çizelge 4.1. Van Oss-Good yönteminde kullanılan çeşitli test sıvılarının yüzey gerilimi bileşenleri (mN/m) [Erbil, 2006].

Sıvı	γ_{LV}	γ_{LV}^{LW}	γ_{LV}^{AB}	γ_{LV}^+	γ_{LV}^-
Su	72.8	21.8	51.0	25.5	25.5
Gliserol	63.4	34.0	30.0	3.9	57.4
Etilen Glikol	48.0	29.0	19.0	1.9	47.0
Formamit	58.0	39.5	19.0	2.3	39.6
Metilen iyodür	50.8	50.8	0	0	0
Dimetil sülfoksit	44.0	36.0	8.0	0.5	32.0
Kloroform	27.2	27.2	0	3.8	0
α -Bromonaftalen	44.4	44.4	0	0	0

Serbest yüzey enerjisi hesabı için kullanılan diğer eşitlikler ise;

$$\gamma_i^{AB} = 2\sqrt{\gamma_i^+ \gamma_i^-} \quad (4.10)$$

$$\gamma_{LV} = \gamma_{LV}^{LW} + \gamma_{LV}^{AB} \quad (4.11)$$

$$\gamma_{LV}^{AB} = 2\sqrt{\gamma_{LV}^+ \gamma_{LV}^-} \quad (4.12)$$

$$\gamma_S = \gamma_S^{LW} + \gamma_S^{AB} \quad (4.13)$$

$$\gamma_S^{AB} = 2\sqrt{\gamma_S^+ \gamma_S^-} \quad (4.14)$$

Serbest yüzey enerjisi, yüzeyde Çizelge4.1’de ki çeşitli test sıvılarının denge temas açılarının ölçülmesi ile test sıvılarının yüzey gerilimi değerlerinin 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14 denklemlerinde kullanılıp denklemlerin ortak çözümleri ile hesaplanabilmektedir [Erbil,2006].

5.BUHARLAŞMA

Buharlaşma kimyasal bileşiminde değişme olmaksızın meydana gelen faz dönüşümü örneklerinden biridir. Sıvı damlalarının buharlaşması özellikle de su damlalarının buharlaşması gündelik hayatta oldukça sık karşılaşılan bir durumdur. İçinde katı madde bulunan sıvıların buharlaşma sonunda bıraktıkları kalıntılar bazı uygulama alanları bulunmaktadır. Bu konu araştırmacılar tarafından ilgi görmekte ve birçok inceleme yapılmıştır.

5.1. Kuru ve Nemli Havanın Özellikleri

Renksiz, kokusuz, tatsız bir gaz olan hava tek başına bir gaz olmayıp çeşitli gazların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Çeşitli gazların karışımından oluşan kuru havanın ortalama molekül ağırlığı 28,966 g/mol'dür. Kuru havanın içinde bulunan başlıca gazlar, karışım içindeki mol oranına göre Çizelge 5.1.'de ki gibidir:

Çizelge 5.1. Kuru havanın özellikleri.

Gaz	Formül	Oran (%)
Nitrojen	N ₂	78.084
Oksijen	O ₂	20.946
Argon	Ar	0.930
Karbondioksit	CO ₂	0.034

Fakat atmosferdeki hava tamamen kuru havadan oluşmamaktadır, bir miktar su buharı içerir ve bu nedenle atmosferik hava diye adlandırılır. Havanın içerdiği bu su buharına nem ve hava-su buharı karışımına da nemli hava denilmektedir. Kuru havanın bileşimi bağıl olarak sabit kalırken, su buharının miktarı denizlerden, göllerden, yağmurlardan ve hatta insan vücudunda olan buharlaşma ve yoğunlaşma sonucu değişir. Hava nemin ifade edilebilmesi için; buhar basıncı, mutlak nem ve bağıl nem terimleri kullanılır [Çengel ve Boles, 1998].

5.1.1. Su Buharı ve Buhar Basıncı

Hava, sıcaklığa bağlı olarak belirli bir miktarda buharı bünyesinde tutabilmektedir. Hava içindeki su buharı miktarı çevre şartlarına ve meteorolojik faktörlere bağlı olarak değişir. Kapalı bir kapta bulunan sıvının buharlaşarak kabın çeperlerine yaptığı basınca sıvı buhar basıncı denilmektedir. Belli bir sıcaklıkta sıvısı ile dengede bulunan buharın yaptığı basınç ise doymuş buhar basıncı olarak tanımlanır. Her sıvının buhar basıncı, sıcaklığın yükselmesi ile Clasius-Clapeyron eşitliğine uygun olarak doğrusal olmayan bir biçimde artar.

$$\ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = - \frac{\Delta H_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (5.1)$$

5.1.2. Bağıl Nem ve Mutlak Nem

Havadaki su miktarı mutlak nem ve bağıl nem kavramları kullanarak ifade edilmektedir. Mutlak nem, 1m³ nemli havanın içerdiği su buharı miktarının g olarak, kuru hava miktarına oranına (w) denir. 1kg kuru havanın içerdiği su buharı miktarı olarak da tanımlanabilir. En basit ifade tarzı olmasına rağmen bağıl neme nazaran daha az kullanılır.

$$w = \frac{m_v}{m_a} \quad (5.2)$$

Hacmin esas alındığı bu değerlendirmede havanın içerdiği su buharı miktarı sıcaklığa bağlıdır. Zira çevresinden hacim olarak soyutlandıktan sonra basınç değişikliklerine maruz kalsa da o hacme giren havanın miktarı değişmeyeceğinden içerisinde tutabileceği su buharı miktarı sadece sıcaklıktan etkilenecektir. Burada, 1m³ havanın belirli bir sıcaklık derecesinde tutabileceği en yüksek su buharı miktarı doymuşluk nemi olarak ta tanımlanabilir.

Bağıl nem ise havanın bünyesinde su buharı halinde tuttuğu mutlak nemin, bulunduğu sıcaklık ve basınç koşullarında tutabildiği maksimum su miktarına olan oranıdır. Başka bir deyişle, belli bir yerdeki hava kütlesinin sıcaklığına ve basıncına

bağlı olarak taşıyabileceği maksimum nemin yüzde kaç kadar neme (su buharına) sahip olduğunu ifade eden bir kavramdır.

Termodinamik olarak, bağıl nem (RH), havadaki su buharı kısmi basıncının (P_V), verilen sıcaklık ve basınçta doymuş durumdaki havanın kısmi buhar basıncına (P_{VS}) oranı olarak verilir.

$$RH = \frac{P_V}{P_{VS}} \times 100 \quad (5.3)$$

Bağıl nem, herhangi bir sıcaklıkta havanın buharlaşma ile yoğunlaşmanın ne kadar dengede olduğunu gösterir. Diğer bir deyişle havanın denge buhar basıncına olan uzaklığı veya yakınlığı hakkında fikir verir. Bağıl nemin %100 olması, havanın artık suyla doyurulmuş olması demektir. Bu durumda hava daha fazla su alamayacak ve eklenen buhar yoğunlaşarak sıvı haline dönüşecektir. Bağıl nem %100'den küçük bir değerdeyse buharlaşma gözlenir. Sıcaklık arttıkça bağıl nem azalırken sıcaklık azaldıkça, bağıl nem artar.

5.1.3. Hava Neminin Ölçüm Metotları

Havanın veya herhangi bir gaz karışımının nemini veya neme doygunluğunu ölçmeye yarayan aletlere higrometre denilmektedir. Havanın bağıl nemini ölçmek için kullanılan bazı higrometreler şunlardır:

- Kuru-yaş hazneli psikometri
- Çiğ noktası higrometresi
- Saçlı higrometre
- Elektriksel direnç higrometresi

5.1.4. Bağıl Nemin Sabitlenmesi

Bir ortamın bağıl nemi, çeşitli çözeltiler kullanılarak kontrol edilebilmektedir. Bu çözeltiler genellikle farklı derişimlerde ki; potasyum hidroksit, sülfürik asit ve doymun tuz çözeltileridir. Bu çözeltiler, bulundukları ortamın nemini sabit değerde

tutarlar. Doygun tuz çözeltileri bağıl nemin sabitlenmesinde hem daha ekonomik, hem de kullanımı kolay olmasından dolayı tercih edilmektedir. Nem ise sadece sıcaklıktan etkilenmektedir [Carr, 1949].

Uçucu olmayan bir maddenin sulu çözeltisi, aynı sıcaklıkta buhar fazı ile dengede olduğundan belirli bir su buharı basıncına sahiptir. Süper doymuş çözeltiler, nem koşulları değişse bile difüzyon hızları çok yavaş olduğu için sabit buhar basıncında bulunabilirler. Bazı doymuş tuz çözeltilerinin farklı sıcaklıklardaki bağıl nem değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Doymuş tuz çözeltilerinin farklı sıcaklıklardaki bağıl nem değerleri [Winston, 1960].

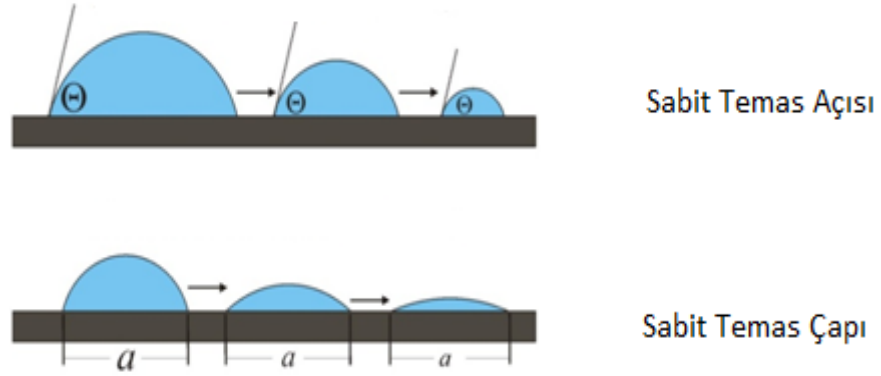
Doygun Tuz Çözeltileri	2°C	10 °C	20 °C	25 °C	30 °C	50 °C
MgCl ₂ .6H ₂ O	35	34	33	32.5	32.5	31.5
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	66	...	55.5	50.5	47	...
NH ₄ NO ₃	...	75	65.5	62.5	59.5	48
NaNO ₃	...	77.5	76	74	72.5	67.5
KCl	88	88	85	85	84.5	80.5
KH ₂ PO ₄	...	98	96.5	96	93.5	92.5

Uçucu olmayan katı bir maddenin sulu çözeltisinin belirli bir sıcaklıktaki buhar basıncı saf suyunkinden daha düşüktür. Buhar basıncındaki bu düşüş çözelti konsantrasyonunun artmasıyla daha büyük hale gelir. Doymuş bir tuz çözeltisi hava ile temas halinde bırakıldığında havanın nemi katının yüzeyinde yoğunlaşır. Bu buharlaşma ortamın buhar basıncı doymuş tuz çözeltisinin buhar basıncının altına düşene kadar devam eder. Çözeltilerin buhar basınçları sıvılarının buhar basınçlarından daha düşük olacağından doymuş tuz çözeltisinin buhar basıncı da suyunkinden düşüktür. Bu durumda doymuş tuz çözeltisinin yüzeyinde toplanan su ancak ortamın sıcaklığında doymuş çözeltinin buhar basıncına uygun düşen bağıl nem değerinde buharlaşır [Adams, 1929; O’Brien, 1948].

Çözeltiler üstlerindeki atmosferin bağıl nemini sabit tutarlar. Çünkü verilen sıcaklıkta uçucu olmayan herhangi bir maddenin sulu çözeltisi buhar fazı ile dengede olduğunda belirli bir su buharı basıncına sahip olacaktır. İçinde aşırı katı olan doymuş çözeltiler değişen nem koşulları altında sabit buhar basıncı değerini koruyabilir. Çünkü suyun fazlası bir miktar katının çözeltiye geçmesine sebep olur ve sudaki kayıp çözünmeyen katının çökmesini sağlar. Katı üzerinde fazla sıvı kalmadığı zaman sıvı içine difüzyon çok yavaştır ve koşulları değişmeden kalacaktır. Böylelikle, buhar basıncını değiştirmeksizin önemli miktarda su kazanılıp kaybedilebilir.

5.2. Sıvı Damlası Buharlaşması

Günümüze kadar damla buharlaşması üzerine yapılan birçok çalışma vardır. Bu işin öncülerinden Picknett ve Bexon Metil Asetoasetat damlalarının hacim değişimlerini ve damla şekillerini düz bir yüzey üzerinde takip ederek, buharlaşmada iki temel modelin varlığını hem teorik hem de deneysel olarak ilk defa açıklayan kişilerdir.



Şekil 5.1. Katı yüzey üzerinde buharlaşan sıvı damlasına ait iki tip buharlaşma modeli

Şekil 5.1’de gösterildiği gibi bu modellerden birincisi sabit teması açısı modelidir. Sabit temas açısı modelinde buharlaşma sırasında temas açısı değişmemekte, damla şekli küresel kalarak sıvıyla katı arasındaki temas alanı ve yüksekliği azalmaktadır. Sabit temas açısı modeli ilerleyen ve gerileyen temas açıları arasında fark olmayan; sıvı, katı ve gaz fazlarının dengede bulunduğu ideal sistemlerde beklenen bir davranıştır. İkinci model ise sabit temas alanı modelidir. Bu modelde yüzey ve sıvı arasındaki temas alanı (yarıçapı) değişmemekte, buharlaşma

sırasında temas açısı azalırken damla küreselliğini korumaktadır. Sabit temas alanı (yarıçapı) modeli temas açısı karmaşasının var olduğu durumda beklenmektedir ve buharlaşma gerileyen temas açısına ulaşana kadar bu modelde devam etmektedir. Sonrasında ise sabit temas açısı modelinde buharlaşma devam etmektedir. Buharlaşma tek başına iki modelden oluşan bir şekilde gerçekleşebildiği gibi iki modelin karışımından oluşan ve karışık model şeklinde de gerçekleşebilmektedir [Picknett, 1977].

Birdi et al., camlar üzerinde farklı hacimlerdeki su damlalarının kütle değişimlerini tartarak ölçmüş ve buharlaşma süresince damlanın profilini görüntülemişlerdir. Şaşırtıcı şekilde buharlaşma hızının sıvı-gaz ara yüzeyleri arasındaki alan ile değil de katı-sıvı ara yüzeyindeki yarıçap arasında lineer bağlantı olduğunu göstermişlerdir. Buharlaşma süresince temas yarıçapının sabit kaldığını, temas açısının ise azaldığını gözlemlemişlerdir [Birdi, 1989].

Diğer bir çalışmada ise Birdi et al., düz ve pürüzlü yüzeyler üzerinde yaptığı deneylerle damlaların buharlaşma hızlarının yüzeyler ıslanabilirliği ile farklılıklar gösterdiğini bulmuşlardır. $\theta < 90^\circ$ olduğu durumda buharlaşma hızlarının lineer olduğu ve temas açısı azalırken katı ile sıvı arasındaki alanında sabit kaldığını göstermiş. Diğer taraftan $\theta > 90^\circ$ olduğu durumlarda ise buharlaşma hızlarının lineer olmadığını ve damla küçülürken temas açısının sabit kaldığını göstermişlerdir [Birdi, 1993].

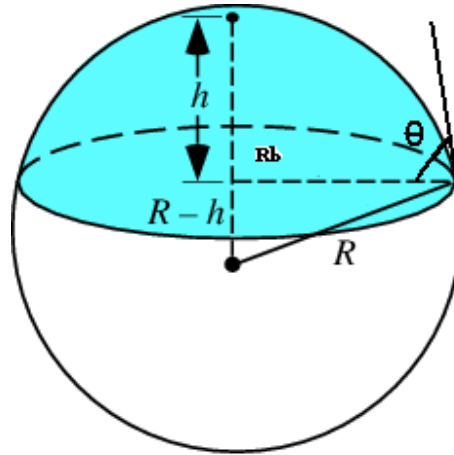
Rowan et al., Polimetilmetakrilat yüzeyinde küçük su damlalarının buharlaşmasına bağlı olarak geometrisindeki ve kütledeki değişimleri incelemişlerdir. Su temas açısı, $\theta < 90^\circ$ geçerli olduğu durumda buharlaşma hızı ile damlanın yüksekliği ve temas yarıçapı arasında lineer bağlantı olduğunu fakat küresel yarıçap ile orantılı olmadığını göstermişlerdir [Rowan, 1995].

McHale et al., hidrofobik yüzeyde damlanın buharlaşma süresince geometrik parametreleri detaylı olarak ölçülmüştür. Teflon film üzerinde su damlası buharlaşma süresince temas açısı çoğunlukla 108° 'de sabit kalmıştır. Temas çizgisi çevresinde doymuş buhar oluşumunun temas açısının sabit kalmasına sebep olduğunu

açıklamıştır. Buharlaşıma modeli daha önce tanımlanan iki modelin bir karışımı şeklinde olmuştur [McHale, 1998].

Erbil et al., teflon yüzeyinde n-butanol, n-nonan, n-oktan ve toluen damlalarının buharlaşmasını rapor etmiştir. Başlangıç temas açılarının 90° 'den küçük olduğunu ve buharlaşmanın sabit temas açısıyla gerçekleştiğini video kameralarla gözlemlemişlerdir. Bu damlaların temas çaplarının karesinin zamanla lineer azaldığını bulmuşlardır [Erbil,2002].

McHale et al., diğer bir çalışmada ise süperhidrofobik yüzeyler üzerinde 1-2 mm çaplı su damlalarının buharlaşmasını incelemişler ve denemelerin sonucunda bu yüzeyler üzerinde sabit temas alanı modeline göre buharlaştığını görmüşlerdir [McHale, 2005].



Şekil 5.2. Küresel damla üzerindeki h , r_b , R ve θ değerlerinin gösterilmesi (<http://mathworld.wolfram.com/SphericalCap.html>).

Katı üzerine damlatılan sıvı damlasının modellenmesi için yapılan çalışmalar Şekil 5.2'de gösterildiği gibi sıvı damlasının küresel olduğu varsayımına dayanılarak yapılmıştır [Picknett, 1977; Rowan, 1995]. Küresellikten sapan damlalar için çeşitli düzeltme faktörleri hesaba katılarak yeni modellemeler yapılmıştır [Erbil, 1997; Meriç, 1998; Erbil, 2001]. Yatay bir katı üzerine damlatılan damla yeterince küçük ve küresel ise, o zaman bu damla üzerine etkili olacak ve onu küresellikten sapıracak yerçekimi kuvveti damlanın yeterince küçük olmasından dolayı ihmal edilebilir. Bu damla dört parametre ile şekillendirilebilir: damlanın yüksekliği (h),

temas yarıçapı (r_b), küresel damlanın yarıçapı (R) ve damlanın katı ile yaptığı temas açısıdır (θ) [Erbil, 1997].

Yapılan tüm çalışmalar incelendiğinde sıvı buharlaşması verileri kullanılarak difüzyon sabitinin belirlenmesinde kullanılan geometrik ve matematiksel eşitlikleri şu şekilde özetleyebiliriz: Damlaların buharlaşma sonucu kütlelerinin zamanla azalması Fick'in 1. Kanununa dayanır ve

$$-\frac{\partial m}{\partial t} = 4\pi R^2 D \frac{\partial c}{\partial R} \quad \text{şeklinde ifade edilir.} \quad (5.4)$$

$$\text{Burada} \quad \left(\frac{\partial c}{\partial R}\right) = \left(\frac{c_0 - c_V}{R}\right) \quad \text{olduğundan;} \quad (5.5)$$

Olduğundan (5.6) numaralı eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$-\frac{\partial m}{\partial t} = -\left(\frac{\partial V}{\partial t}\right) \rho_L = \frac{4RD\pi(c_0 - c_V)}{\rho_L} \quad \text{veya} \quad (5.6)$$

$$-\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{4RD\pi(c_0 - c_V)}{\rho_L} \quad \text{şeklinde yazılır,} \quad (5.7)$$

Bu ifade de yer alan c_0 damlanın hemen üzerindeki buhar konsantrasyonudur. Damlanın yüzey sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı kullanılarak bulunur. İdeal gaz kanununda;

$$PV = nRT \quad \text{ve} \quad (5.8)$$

$$c_0 = \frac{W}{V} \quad \text{alınarak} \quad (5.9)$$

$$c_0 = \frac{P_{VS} M_w}{RT} \quad \text{eşitliği bulunur.} \quad (5.10)$$

c_V ise ortamın buhar konsantrasyonudur. Çalışılan sıvının su olmasından dolayı ortamın bağıl neminin bilinmesi önemlidir.

$$RH = \frac{P_V}{P_{VS}} \quad \text{eşittir.} \quad (5.11)$$

$$P_V = RH \times P_{VS} \quad \text{eşitliğinden bulunur. Buradan} \quad (5.12)$$

$$c_V = \frac{P_V M_w}{RT} \quad \text{olarak bulunur.} \quad (5.13)$$

$$\text{Üç boyutlu geometriden; } V_3 = \frac{\pi r_b}{3} \frac{(1 - \cos \theta)^2 (2 + \cos \theta)}{\sin^3 \theta} \quad \text{yazılır.} \quad (5.14)$$

$$r_b = R \sin \theta \quad (5.15)$$

$$\beta = 2 - 3 \cos \theta + \cos^3 \theta = (1 - \cos \theta)^2 (2 + \cos \theta) \quad (5.16)$$

V denklemi ile birleştirildiğinde;

$$R = \left(\frac{3V}{\pi\beta} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{olmaktadır} \quad (5.17)$$

ve

$$\frac{\partial V_3}{\partial t} = \frac{4RD\pi}{\rho_L} \left(\frac{3V_3}{\pi\beta} \right)^{1/3} (c_0 - c_V) = K_1 V_3^{1/3} \quad \text{olur} \quad (5.18)$$

ve burada,

$$K_1 = \frac{4\pi^{2/3} 3^{1/3 D} (c_0 - c_V)}{\rho_L \beta^{1/3}} \quad \text{dır.} \quad (5.19)$$

Ancak, katının varlığı nedeniyle damla sadece yukarıya doğru buharlaşabildiğinden $f(\theta)$ faktörünün de hesaba katılması gerekmektedir. Bu durumda;

$$\frac{\partial V_3}{\partial t} = K_1 V_3^{1/3} f(\theta) \quad \text{şeklinde yazılır.} \quad (5.20)$$

Bu ifadenin integrali alınır,

$$V_3^{2/3} = V_{3i}^{2/3} - \frac{2}{3} K f(\theta) t \quad (5.21)$$

şeklini alır. $V^{2/3}$ zamana karşı grafiği çizildiğinde eğim $= -\frac{2}{3} K_1 f(\theta)$ eşit olur.

$V^{2/3}$ değerinin zamana karşı grafiğinin lineer olduğu deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır [Erbil, 1997; Meriç, 1998; McHale, 1998; Erbil, 1998; Erbil, 1999].

Picknett ve Bexon tarafından;

$$f(\theta) = \frac{1}{2} \left[\frac{C}{R_S} \right] \quad [\text{Picknet, 1997}] \quad (5.22)$$

olarak verilir. $0,175 \leq \theta \leq \pi \text{ rad} (10^\circ \leq \theta \leq 180^\circ)$ arasındaki değerler için;

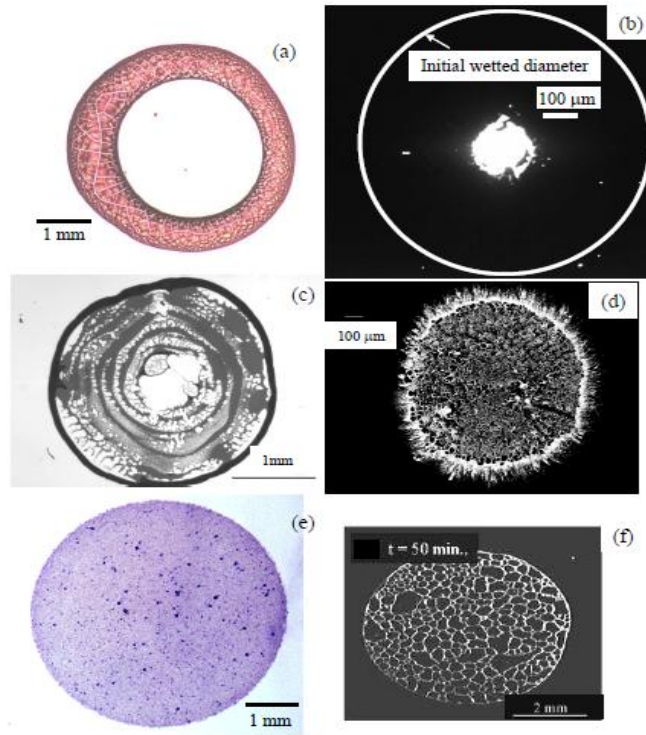
$$\frac{C}{R_S} = 0,00008957 + 0,6333\theta_{rad} + 0,116\theta_{rad}^2 - 0,08878\theta_{rad}^3 + 0,01033\theta_{rad}^4 \quad (5.23)$$

olarak ifade edilir. Buradan sıvının difüzyon sabiti aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$D = \frac{K_1 \rho_L \beta^{1/3}}{4\pi^{2/3} 3^{1/3} (c_0 - c_V)} \quad (5.24)$$

6. DAMLA BUHARLAŞMASI SONUCU OLUŞAN KALINTILAR

Damla buharlaşması sonucu meydana gelen kalıntılar günümüzde oldukça popüler araştırma konulardan biridir. 2000 makalenin üzerinde çalışma yapılmış olmasına rağmen çok fazla değişkenin olması ve farklı uygulama alanlarında denenmesi nedeniyle konu tam olarak anlaşılmış değildir. Damla buharlaşması film kaplama, biokimyasal sensörler, püskürtmeli soğutma, DNA/RNA mikroçiplerde, optik ve elektronik malzemelerin üretimi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [Kajiya, 2009; Sangani, 2009; Layani, 2009; Park, 2009; Kim, 2009; Vohra, 2010; Cheng, 2010].



Şekil 6.1. Koloidal partikül içeren damlaların bıraktıkları kalıntılara örnekler [Bhardwaj, 2010]

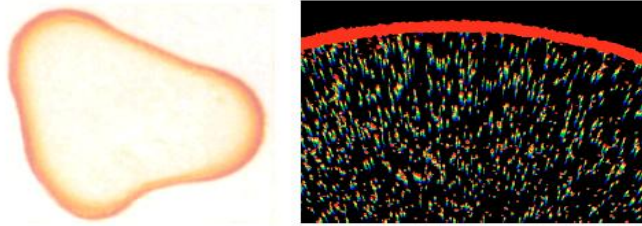
Koloidal partiküller içeren damlalar kuruduktan sonra çok çeşitli kalıntılar elde edilebilmektedir. Bunlara örnek olarak Şekil 6.1’de (a) titanyum üzerinde 60 nm Polistiren (PS) küreler içeren damlanın bıraktığı simit şekilli kalıntı ve (b) PDMS yüzeyi üzerinde 38 nL isopropanol damlasının kuruduktan sonra damla merkezinde yumru şekilli kalıntı [Bhardwaj, 2009], (c) cam üzerinde 1µm PS kürelerin

oluşturduğu çok halkalı yapı, (d) cam üzerinde 1 μ m PS kürelerin 1 μ L isopropanol damlaları ıslanma çizgisinde parmak şekilli yapı [Bhardwaj, 2010], (e) 60 nm hidroksiapatit partiküllerinin titanyum diski üzerinde bıraktıkları uniform kalıntı [Sommer, 2004] ve (f) PS kürecikler içeren yüzey aktif maddeli damlanın hidrofob yüzeyde bıraktığı altıgen hücreler [Truskett, 2003] verilmiştir. Bu çeşitli yapılar damla buharlaşma sırasında meydana gelen taşınım olaylarının karmaşık ve çok değişkenli doğasını yansıtmaktadır.

DNA damlaları genelde buharlaşma sonunda kahve lekesi olarak bilinen kalıntılar bırakmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada, yapılan çalışmalar üzerinden daha çok kahve lekesi oluşumundan, bu oluşumu etkileyen parametrelerden ve bu etkinin bastırılmasından bahsedilecektir.

6.1. Kahve Lekesi Oluşumu

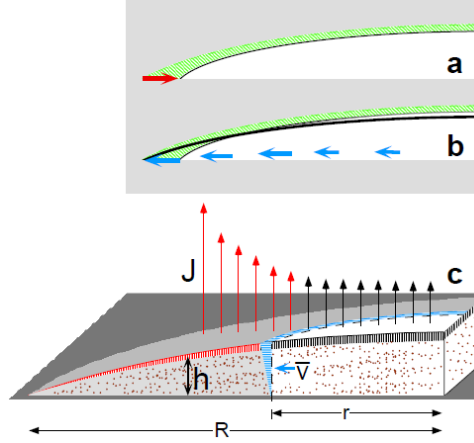
Fizikte, kahve halkası partikül içeren sıvıların buharlaşma sonunda bıraktığı halka yapılı şekillere verilen ad olarak bilinmektedir. Bir kahve döküldüğünde çevresi boyunca halka şekilli yapılar oluşturmaktadır. Ayrıca kırmızı şarabın dökülmesinde de aynı şey sıklıkla görülmektedir.



Şekil 6.2. (Solda) kahve lekesi, (sağda) su içinde floresan polistiren kürelerin dispersiyonlarının mikroskop görüntüsü. [Deegan, 1997]

Deegan et al., damla boyunca farklı buharlaşma hızlarının neden olduğu kapileri akışın damla çevresi boyunca buharlaşırken damlanın iç bölümündeki sıvıyı damla çevresine taşıdığını göstererek bu konunun öncüsü olmuşlardır. Bu akış sonucu damla içindeki dağılmış olan neredeyse tüm partiküller damla çevresine taşınır. Şekil 6.2’de kütlece %1 katı içeren 2cm çaplı kahve damlasının ve su içinde 1 mikron floresan polistiren kürelerin dispersiyonlarının buharlaşma esnasındaki mikroskop görüntüsünde halka oluşumu gösterilmiştir. Şekil 6.3’de ise buharlaşma

esnasında dışa doğru akımın mekanizması verilmiştir. (a) Sıvı akışı olmazsa damlanım çekileceği, (b) ise temas çizgisinin sabitlenmesi için sıvı akışının devamlılığının gerekliliği ve (c) akış da sorumlu parametreler tanımlanmaktadır [Deegan, 1997; Deegan, 2000].

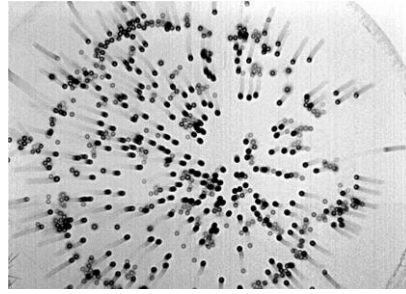


Şekil 6.3. Buharlaşıma esnasında dışa doğru akımın mekanizması [Deegan,1997].

Takip eden zamanda Hu and Larson tarafından yapılan çalışmada buharlaşma esnasında damla içerisinde Marangoni akış olduğunu ileri sürmüşlerdir. Eğer bu akış çok güçlü olursa partikülleri tekrar damlanın merkezine doğru dağıtmaktadır. Dolayısıyla partiküllerin kenarlara toplanabilmesi için zayıf Marangoni etkisi veya bu akışı bozan başka bir şey olmaması gerekmektedir. Örneğin, yüzey gerilimi farklılıklarını azaltmak için yüzey aktif maddeleri eklenebilir ve akış engellenebilir [Hu, 2002].

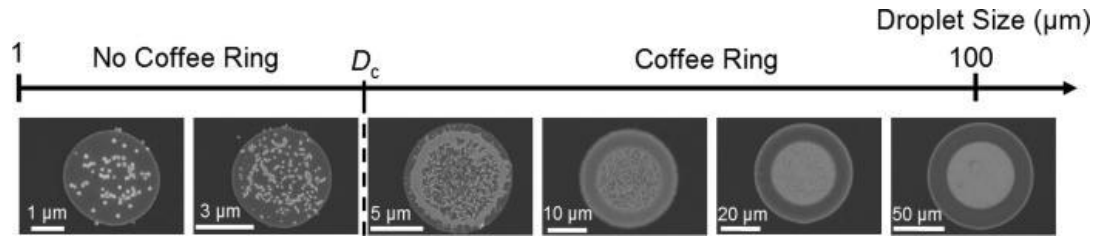
Bhardwaj et al., damlası oluşturulan çözeltinin pH'nın final kalıntının şeklini etkilediğini göstermişlerdir. Bu şekiller arasındaki geçiş, elektrostatik ve van der Waals kuvvetleri gibi DLVO etkileşimlerinin partikül çökelmelerinde nasıl olduğunu düşünerek açıklamışlardır [Bhardwaj, 2010].

Weon and Je temas çizgisi yakınındaki kapileri kuvvetin kahve halkası etkisini ortadan kaldıran ters yönde partikül hareketi gözlemlemişlerdir (Şekil 6.4). Ters yönde hareket kapileri kuvvetin dışa doğru kahve-halkası akışını bastırmasıyla meydana gelmektedir [Weon and Je, 2010].



Şekil 6.4. Mikro kürelerin ters yöndeki hareketini kanıtlayan optik görüntü [Weon and Je, 2010].

Shen et al., makroskobik seviyede kahve halkasının en düşük boyutunun damla buharlaşması ile dağılmış olan partiküllerin hareketi arasındaki zaman açısından yarışına bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Üçlü faz temas çizgisinde buharlaşma partikül hareketinden hızlı olduğunda kahve halkası oluşmamaktadır. Onun yerine yüzey üzerinde bu partiküller homojen bir şekilde dağılmaktadır. Deneysel olarak başarılı kahve halkası şekli elde etmek için gerekli en düşük damla boyutunu göstermişlerdir (Şekil 6.5). 100 nm partiküller için kahve halkasının çapının en düşük insan saçından 10 kat daha küçük boyutta oluştuğunu bulmuşlardır [Shen, 2010]. Ayrıca damla içindeki partikül şeklinin de kahve halkası oluşumunda etkili olduğu gösterilmiştir [Yunker, 2011].



Şekil 6.5. Hidrofilik Pt üzerinde farklı nanopartikül kalıntıları [Shen, 2010]

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki damla buharlaşırken yoğun şekilde temas çizgisi çevresinde buharlaşmakta, buda damla içinde eğer partikül varsa partikülleri damla çevresine taşımaktadır. Bu taşınım sonucu damla çevresi sabitlenerek buharlaşma sonuna kadar aynı kalarak damlanın sabit temas alanı modelinde buharlaşmasına sebep olmaktadır. Bu etkiler sonucunda kahve halkası oluşmaktadır.

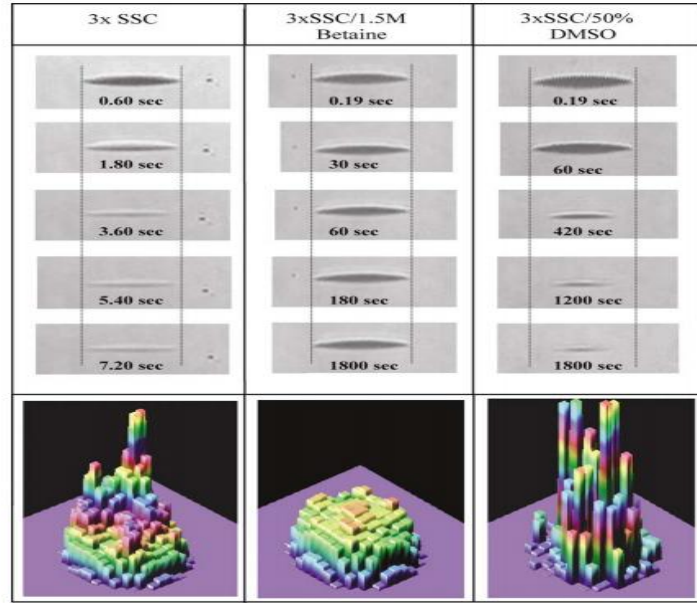
7. DNA DAMLALARININ BUHARLAŞMASI ve BIRAKTIĞI KALINTILAR

DNA damlaları çoğunlukla DNA çip hazırlanmasında sabit yüzey üzerine bırakılır ve buharlaştırılır. Bundan dolayı buharlaşma prosesinin DNA ve kalıntıları üzerine etkilerini anlamak üzere birçok çalışma yapılmıştır. DNA damlaları buharlaştıkları yüzeyde genelde kahve halkası şekiller bırakmaktadır. Buda bazı uygulamalarda istenmediği için problem olarak görülmektedir. Araştırmacılar DNA çözeltilerinin farklı ortam koşullarında buharlaştırılması, yüzey aktif maddeleri veya katkı maddeleri eklenmesi gibi çalışmalarda bulunarak kahve lekesi oluşumunun etkilerini incelemiş ve istenmeyen durumlarda gidermeye çalışmışlardır. Yapılan çalışmalar üzerinden bu konu iki bölümde anlatılmaktadır. Birinci bölümde DNA mikroçip uygulamalarında kısa ve tek zincirli DNA'ların kullanıldığı yayınlardan bahsedilecektir. İkinci bölümde ise buharlaşma prosesinin DNA ve kalıntıları üzerine etkilerini anlamak üzere uzun ve çift sarmallı Lambda DNA'nın kullanıldığı çalışmalara değinilecektir.

7.1. DNA Çip Uygulamasında Kullanılan Parçalanmış DNA İle İlgili Yayınlar

McQuain et al., çalışmalarında mikroçip analizlerinde kalıntılar arası çeşitliliği ve düzensiz DNA dağılımını iyileştirmek için %40 ile 80 arası bağıl nemde, üç tampon çözeltisi kullanmışlar ve buharlaşma sonunda kalıntıları analiz etmişlerdir. DNA konsantrasyonu 0.5 µg/µl olacak şekilde SSC (Sodyum klorür sodyum sitrat), SSC–betaine (*N,N,N*-trimetilglisin) ve SSC–DMSO (Dimetil sülfoksit) eklenerek üç farklı çözelti hazırlanmıştır. Betaine ve DMSO buharlaşmayı azaltmakta ve genelde DNA çözeltilerinde kullanılmaktadır. Buharlaşma direk olarak kütlenin zamana göre değişimine bakılarak ölçülmüştür. Ayrıca bağıl nemin artırılması ve katkı maddelerinin eklenmesiyle buharlaşmanın yavaşladığı ama tamamen engellenmediği görülmüştür. Kalıntı içi ve kalıntılar arası çeşitlilik azaltmak için bağıl nem artırılmış ve DMSO veya betaine eklenmiştir. En düşük kalıntılar arası çeşitlilik DMSO ve % 80 bağıl nemde elde edilmiş fakat en büyük kalıntılar arası çeşitliliğe sebep olmuştur.

Diğer taraftan 1.5 M betaine % 60 bağıl nemde en az kalıntı içi çeşitliliği sağlarken en yüksek kalıntılar arası çeşitliliğe sebep olmuştur (Şekil 7.1). Bu çalışmada çözeltinin buharlaşması kalıntılar arası ve içi çeşitliliğin oluşmasında başlıca etkindir. Özel uygulamalarda uygun nem ve katkı maddeleri seçilerek istenilen kalıntı kalitesi sağlanabileceğini göstermişlerdir [McQuain, 2003].

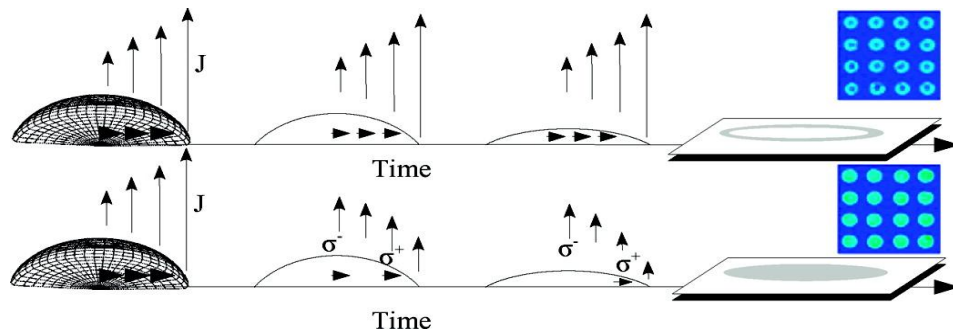


Şekil 7.1. (Üstte) Damlaların video mikroskop görüntüleri (Altta) kalıntıların floresan yoğunlukları [McQuain, 2003].

Rickman et al., çalışmalarında kalıntıların kalitesini artırmak ve çeşitliliği düşürmek için DMSO veya formamit varlığında farklı yüzey aktif maddeleri içeren DNA çözeltileri test edilmiş ve bıraktıkları kalıntılar üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada non-iyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif maddeleri kullanılmış ve sonuçları gösterilmiştir. Yüzey aktif maddelerinin kendi başlarına buharlaşmaya etkileri yoktur. Sonuç olarak bu çalışmada buharlaşmayı azaltan formamid veya DMSO varlığında amfoterik yüzey aktif maddesi [(3-kolamidopropil)-dimetilammonio]-1-propan sülfonat (CHAPS) çözeltisi içinde DNA ticari olarak bulunan camlar üzerine kalıntıların kalitesini morfoloji, homojenliği ve sinyal tekrarlanabilirliği açısından üst kalite olduğu rapor edilmiştir [Rickman, 2003].

Dugas et al., çalışmalarında DNA kalıntılarını geliştirmek için farklı şartlar (düşük basınç ve katkı maddeleri eklenmesi) altında damla buharlaşmasının

davranışları gözlemiştir. Görülmüştür ki düşük basınçta kuruma beklendiği gibi çok daha hızlı olmuş ve damla çapı sadece % 25 azalmıştır. Ortam basıncında kuruma yavaş ve damla çapı yaklaşık %50 azalmıştır. Ayrıca kuruyan kalıntının şekli düşük basınç altında ortam nemine bağlı olduğu ve nem homojen bir şekilde dağılmadığından dolayı DNA çip içinde ki damlaların kenarda ki damlalara göre daha yavaş kuruduğu görülmüştür. Bu heterojenliği minimize etmek için kalıntıların buharlaşma davranışları üzerine etkili olan çeşitli yüzey aktif maddeleri denenmiştir. Ayrıca betaine eklenmiş ve bu başlangıç temas açısını veya buharlaşma davranışını etkilememektedir. Diğer taraftan eklenen non-iyonik ve amfoterik yüzey aktif maddeleri başlangıç temas açılarını düşürmekte ve başlangıç damlasına benzer özelliklerde kalıntılar vermiştir. Non-iyonik yüzey aktif maddesi kullanımıyla kalıntı oluşumunda iyileşme sağlanamamıştır. amfoterik yüzey aktif maddesi konsantrasyonu düşürüldüğünde yüzük şeklinde kalıntılar elde edilmiştir. Bu sonuçlardan yüzey aktif maddesi ve betaine birbirini tamamlayıcı özellikler göstermiştir. Yüzey aktif maddesi sabit temas alanı rejimini sağlamakta betaine ise düzenli dairesel kalıntılar oluşmasını sağlamaktadır. Sarkosyl (amfoterik yüzey aktif maddesi) ve betaine karışımı (SB karışımı) Fosfat tamponlu tuz çözeltisi içinde hazırlanmış ve buharlaşma takip edilmiştir. Yüzey aktif maddeleri eklendikten sonra başlangıç temas açısı 70° 'den 30° düşmüştür ve başlangıç damla çapı da artmıştır. Her kalıntının çevresi ve düzenliliği SB karışımı Sarkosyl'e kıyasla çok daha iyi sonuçlar verdiği ve ayrıca kuruma sonrasında üniform kalıntılar vermişlerdir. Şekil 7.2'de gösterildiği gibi betaine kullanılmadığında kuruma damlanın çevresinde olmakta ve sabitlenme olduğundan halka şekilli kalıntı oluşmaktadır. Diğer taraftan betaine kullanıldığında buharlaşma damlanın merkezinde olmakta ve bu sayede üniform kalıntılar elde edilmektedir.

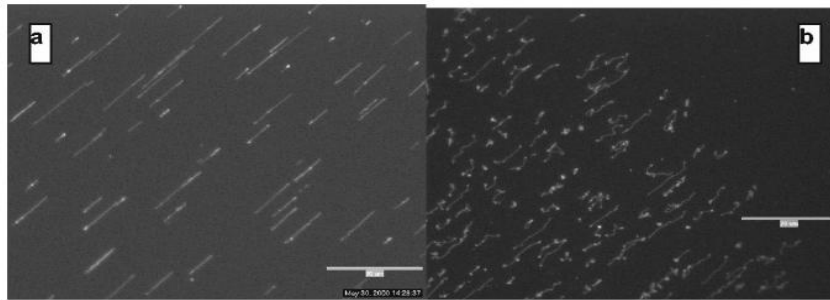


Şekil 7.2. Sabit alan damla buharlaşması (üst) betaine'siz (alt) betaine'li [Dugas, 2005].

Sonuç olarak, DNA çip uygulamaları için mikroskop camları üzerine çözelti damlalarının buharlaşma tipleri incelenmiştir. Düşük basınç altında sabit temas alanı sağlanmış buda üniform kalıntılar vermiş. Diğer taraftan katkı maddeleri ve yüzey aktif maddelerinin avantajlarından faydalanılarak betaine ve amfoterik yüzey aktif maddesi karışımının üniform kalıntılar verdiği rapor edilmiştir [Dugas,2005].

7.2. Parçalanmamış Uzun DNA Kalıntıları İle İlgili Yayınlar

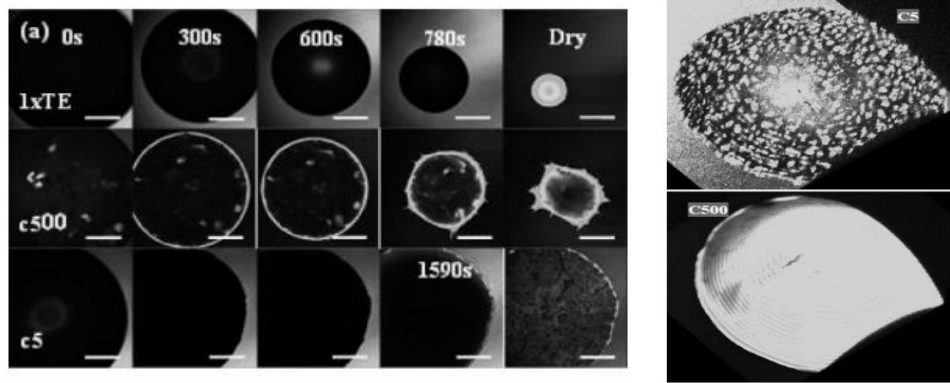
Chopra et al., çalışmalarında damla içinde Lambda DNA moleküllerin 3-aminopropiltrietoksisilan kaplı yüzey üzerinde farklı buharlaşma hızlarının gerilmesi ve yönlendiği üzerine etkileri incelenmiştir. DNA molekülleri iki farklı durumda gerilme ve çökelti özelliklerine bakılmış. Birincisinde hızlı buharlaşma oranı için düşük nemli (%20) ortamda ve diğerinde ise yavaş buharlaşma hızı için yüksek nemli (%40) ortamda çalışmışlardır. Bu şartlarda yüzey üzerine absorblanan DNA moleküllerin hızlı buharlaşma koşullarında daha fazla gerildiği görülmüştür. Buharlaşma hızlı olduğunda damla çevresindeki moleküllerin çoğunun gergin olduğu ama yavaş buharlaşma olduğunda ise DNA moleküllerinin gevşek olduğu (Şekil 7.3) gösterilmiştir [Chopra, 2003].



Şekil 7.3. DNA kalıntılarının görüntüleri (a) hızlı (b) yavaş buharlaşma [Chopra, 2003].

Fang et al., kuruma esnasında DNA moleküllerinin konsantrasyonlarının etkilerine odaklanmışlardır. DNA molekülleri Etidiyum bromür ile boyandıktan sonra 500-0.5 µg/ml aralığında 1xTE tamponu ile seyreltilerek hazırlanmıştır. Bu çözeltiler 2 µl damlalar halinde yüzeye damlatmışlardır. Ortam sıcaklığı 25 °C ve bağıl nem %36'da tutularak kararlı buharlaşma ortamında çalışılmışlardır. Sonuçlara

bakıldığında 25 ve 5 $\mu\text{g/mL}$ damlaların TE ve 500 $\mu\text{g/mL}$ damlalarına kıyasla daha uzun kuruma zamanına sahip olduğu görülmüştür. DNA içeren damlaların halka şekli oluştururken TE çözeltisi damlası üniform bir şekilde büzülmetedir (Şekil 7.4). Rowan et al., damla buharlaşmasında uzun damlaların daha hızlı kuruduğu göstermişler fakat bu çalışmadaki sonuçlar tersini göstermiştir. Damlalar içinde 500 $\mu\text{g/mL}$ kısadır ve en hızlı kuruyan damladır. Buradan da buharlaşma hızının konsantrasyona bağlı olduğunu sonucuna varmışlardır.

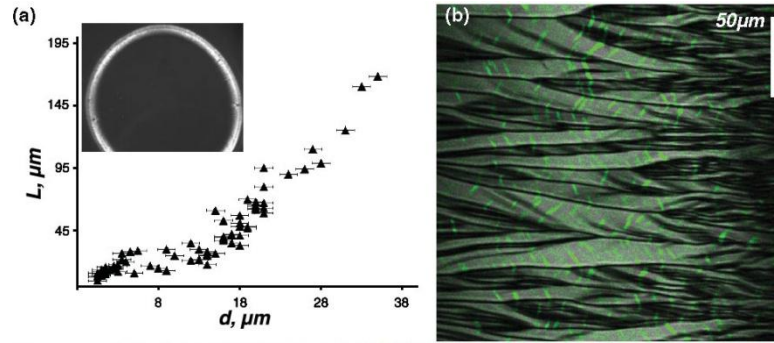


Şekil 7.4. (solda) 1XTE, 5 ve 500 $\mu\text{g/mL}$ DNA damlalarının konfokal mikroskop görüntüleri (sağda), 5 ve 500 $\mu\text{g/mL}$ damlalarının kalıntıları

5 ve 500 $\mu\text{g/mL}$ damlalarının kuruması konfokal mikroskop fotoğraflarında DNA'ların çok büyük kısmı damla yüzeyine toplandığını göstermektedir. Düşük DNA konsantrasyonlarında damlalar sabit temas alanı modelinde kururlarken düzensiz toplanmalar oluşturmuş, yüksek konsantrasyondakiler sabit temas açısıyla kurumaktadırlar ve düzenli kaplama elde edilmiştir. Yüksek konsantrasyonlu damlalarda kabuk oluşmuş ama düşük konsantrasyonlu damlalarda izole adalar oluşmuştur. Ayrıca reolojik sonuçlar düşük konsantrasyonlu damlalarda hidro jel oluşumunu, yüksek konsantrasyonlu damlalarda ise DNA ile su arasında faz ayrımını göstermiştir [Fang,2005].

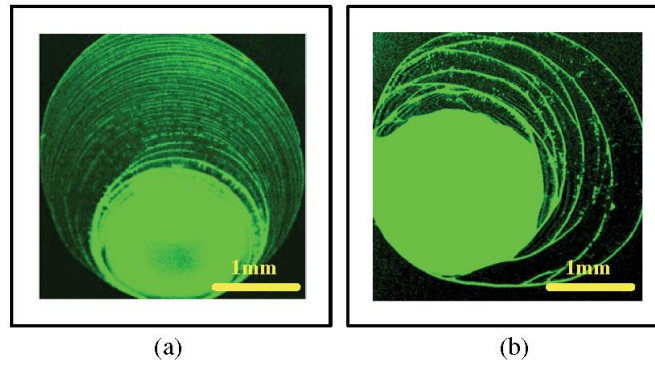
Smalyukh et al., Lambda DNA kullanarak farklı hidrofobikliğe sahip üç farklı yüzey (cam, SiO ve İndiyum kalay oksit kaplaması) üzerinde farklı konsantrasyonlarda ve farklı hacimlerdeki DNA çözeltilerinin halka şekilli kalıntılar bıraktığını gözlemlemişlerdir. Konsantre DNA damlalarının kuruduktan sonra oluşan kahve halkasında zannedildiği gibi DNA zincirleri temas çizgisine dik olarak değil

de, temas çizgisi boyunca zikzaklı şekiller (Şekil 7.5) oluşturduğunu rapor etmişlerdir [Smalyukh, 2006].



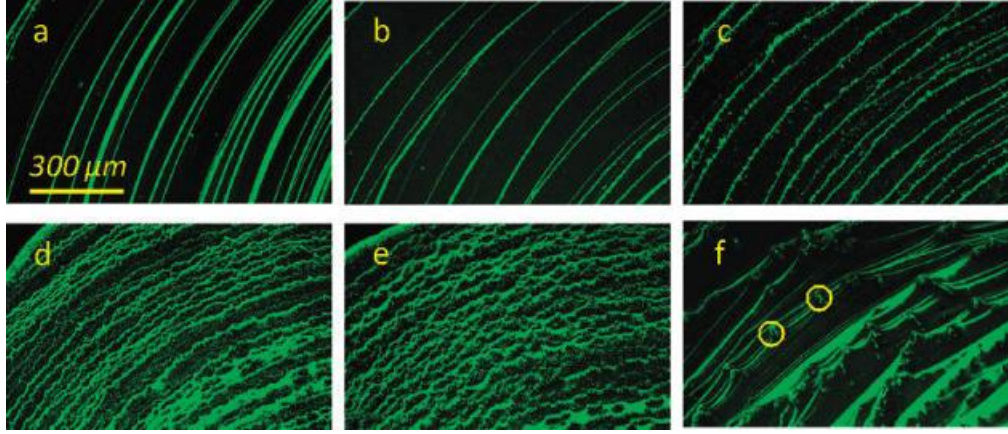
Şekil 7.5. Kurumuş damla çevresinde DNA kalıntısı (a) halka oluşumu (b) polarize mikroskop görüntüsü [Smalyukh, 2006].

Maheshwari et al., çok halkalı DNA kalıntılarının oluşumuna sebep olan sabitlenme/salınma mekanizmasını anlamak için farklı konsantrasyonlarda ki DNA çözeltilerini kullanmışlardır. Şekil 7.6'de görüldüğü gibi DNA konsantrasyonun çok halkalı yapıların oluşumunda sabitlenme/salınma döngüsünde farklılıklara sebep olduğu gösterilmiş ve en önemli parametre olduğu rapor edilmiştir [Maheshwari, 2008].



Şekil 7.6. (a) 50 $\mu\text{g/ml}$ (b) 25 $\mu\text{g/ml}$ DNA damlalarının oluşturduğu çok halkalı kalıntılarının görüntüleri [Maheshwari, 2008].

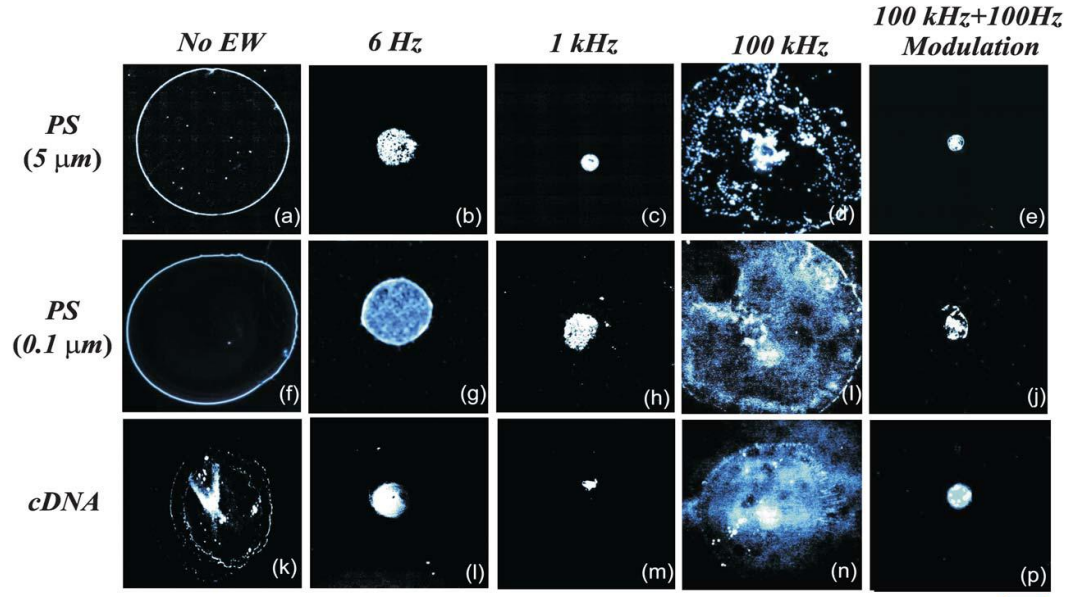
Zhang et al., doğada ve birçok mühendislik uygulamada yaygın olan fakat nadir araştırma yapılmış bir konu olan çok bileşenli sistemlerin buharlaşması sonucu kalıntı oluşumu üzerine incelemeler yapmışlar. Çalışmalarında DNA-kolloit ikili süspansiyonunu model sistem olarak kullanmışlar. Moleküller arası ve yüzeyler arası etkileşimleri içinde bulunduran çok bileşenli sistemlerde buharlaşma ile meydana gelen hidrodinamik ve kendiliğinden oluşan biçimleri anlamayı amaçlamışlardır.



Şekil 7.7. (a) DNA çözeltisi (b-f) Silika koloidal partiküller içeren DNA çözeltilerinin oluşturduğu çok halkalı kalıntılar[Zhang, 2008]

Yapılan mikroskobik gözlemler (şekil 7.7) buharlaşmada çok halkalı yapıların oluşmasında ikili sistemlerin bileşenleri önemli rol oynamıştır: (1) yüksek DNA ve düşük kolloit konsantrasyonu içeren süspansiyonların çok halkalı kalıntılar oluşturma eğiliminde olduğunu; (2) DNA çözeltilerinin içindeki koloidal parçacıkların boyutu büyük ölçüde düz halkaları bozarak dalgalı halkaların oluşmasına sebep olabilmektedir; (3) koloidal partiküllerin pozitif yükü yüklenmesiyle DNA- kolloit etkileşimi artmakta ve bunun sonucu olarak da DNA halkasında yüksek oranda düzensizlikler meydana gelmiştir. Farklı koşullar altında çok halkalı şekillerin dağılmasını ve kolloitlerin toplanması sonucu bölgesel hidrodinamikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucu periyodik hibrit yapıların bir basamakta çok bileşenli sistemlerden oluşan damlaların buharlaşması ile yapılabilirliğini göstermişlerdir [Zhang, 2008].

Son olarak yapılan çalışmalardan Eral et al., elektroislanma voltajını değiştirerek, yüzey aktif maddelerine ihtiyaç duymadan PS ve DNA'ların kahve lekeli oluşmasını bastırmışlardır (Şekil 7.8). Bu yöntem damla buharlaşırken temas açısının düşmesi ve artmasıyla temas çizgisini sallamaktadır. Ayrıca, kapileri akışı engelleyecek iç akış alanları uygun uyarma frekansı seçimi ile oluşturulabilmişlerdir [Eral, 2011].



Şekil 7.8. Farklı frekanslarda çeşitli malzemelerin bıraktığı kalıntılar (a–p) [Eral, 2011].

8.MATERYAL ve METOT

8.1. DNA Çözeltilerinin Hazırlanması

DNA çözeltilerinin hazırlanmasında 10Mm Tris-HCl (pH 8.0) ve 1Mm EDTA içinde 500 µg/mL konsantrasyonlu Lambda DNA (48.5 kilo baz çifti ve 31.5×10^6 g/mol, New England BioLabs), Tris-EDTA (Fisher-Scientific), DAPI (Invitrogen) ve bazı denemelerde katkı maddeleri propilen glikol (Fluka, %98'lik) ve etilen glikol (Merck, ekstra saf) kullanılmıştır. Buharlaştırma çalışmasına başlamadan önce stok 500 µg/mL konsantrasyonlu DNA çözeltisi 12:1 baz çifti/boya molekülü oranında DAPI ile boyanmış (işaretlenmiş) ve daha sonra 1xTris-EDTA tampon çözeltisi ile 250, 50, 25, 10 ve 5 µg/mL konsantrasyonlarına seyreltilmiştir.

Buharlaştırma sonunda homojen kalıntılar elde etmek için yapılan çalışmalarda ise 1xTris-EDTA ile seyreltilme yapılmadan önce katkı maddeleri propilen glikol ve etilen glikol eklenmiştir. Hazırlanan DNA çözeltilerinin içindeki propilen glikol ve etilen glikol konsantrasyonu seyreltmeden sonra 1M olacak şekilde ayarlanmıştır.

8.2. Yüzeylerin Hazırlanması

Substrat malzemesi olarak altı farklı yüzey kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla;

1- PP: Polinas firmasının bir ürünü olan Polipropilen yaklaşık 2x5 cm ebatlarda hücre içerisine girebilecek şekilde kesilmiştir. Polimer yüzey kullanılmadan önce su, daha sonra aseton, etil alkol ve ardından saf su ile yıkanarak iyice temizlenmiştir. 40°C' ye ısıtılmış etüvde kurutulmuş ve ardından soğutulmuştur.

2- PS: Ticari bir ürün olan Polistiren yaklaşık 25X75 mm ebatlarda hücre içerisine girebilecek şekilde kesilmiştir. Polimer yüzey kullanılmadan önce su, daha sonra etil alkol ve ardından saf su ile yıkanarak iyice temizlenmiştir. 40 °C'ye ısıtılmış etüvde kurutulmuş ve ardından soğutulmuştur.

3- Cam: Cam yüzeyi olarak boyutları 26x76 mm olan mikroskop camları kullanılmıştır. Mikroskop camları kullanılmadan önce Kromik asit çözeltisinde 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra bol saf suyla yıkanarak iyice temizlenmiştir. Yıkama işleminden sonra 105°C' ye ısıtılmış etüvde kurutulmuş ve ardından soğutularak kullanıma hazır hale gelmişlerdir.

4- PvOH: Molekül ağırlığı 145.000 g/mol olan ve %98 hidroliz derecesine sahip Polivinil Alkol polimerinden (Merck) 1g alınarak 100 ml saf suda 96°C'de karıştırılarak çözünmesi sağlandıktan sonra soğumaya bırakılır. Temiz mikroskop camları bu çözelti içine 576 mm/dk hızla daldırılır. Daha sonra 1 dk bekletilip çıkarılarak cam üzerine polimer kaplandıktan sonra oda şartlarında 24 saat kuruması için bekletilir. Daha sonra polimer kaplı camlar üzerine %10'luk Hidroklorik asitten 5 damla damlatılmış 30 ml Gluteraldehit çözeltisi eklenerek 2,5 saat bekletilmiştir. Daha sonra saf suyla yıkandıktan sonra vakum altında 40 °C'de 24 saat bekletilerek PvOH polimeri kaplı yüzeyler hazırlanmıştır.

5- PMMA: Molekül ağırlığı 145.000 g/mol olan Polimetilmetakrilat polimerinden (Polysciences Inc.) 5g alınarak oda sıcaklığında 100 ml kloroform çözülmüştür. Daha sonra temiz mikroskop camları bu çözelti içine 576 mm/dk hızla daldırılmasından sonra 1 dk bekletilip çıkarılarak cam üzerine PMMA polimeri kaplanmıştır.

6- FMA-MMA kopolimeri: 5g % 20 Florametil Akrilat ve %80 Metilmetakrilat içeren FMA-MMA kopolimer (Doktora öğrencisi Uğur CENGİZ'den temin edilmiştir.) öncelikle oda sıcaklığında 100 ml kloroformda çözülmüştür. Daha sonra temiz mikroskop camları bu çözelti içine 612mm/dk hızla daldırıldıktan sonra 1 dk bekletilip çıkarılarak cam üzerine kopolimer kaplanmıştır [Cengiz, 2011].

Tüm çalışmalar yıkanıp kurutulmuş temiz yüzeyler üzerine yapılmıştır. Ayrıca tüm yüzeyler başta havadan gelebilecek çevre etkenlerine karşı kullanım dışında kapalı kaplarda saklanmıştır. Bu şekilde bu yüzeyler üzerinde damlaların vermesi gereken açıdan sapmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır.

8.3. Buharlaşma Denemeleri

DNA çözeltileri, Tris-EDTA çözeltisi ve su damlalarının buharlaşmaları sabit bağıl nemde Şekil 8.1’de gösterilen şeffaf pleksiglas malzemeden yapılmış 20x7x3 cm boyutlarında üstten kapaklı bir hücre içerisinde gerçekleştirildi. Hücrenin üzerine, hücre ile kapak arasında yalıtımı sağlaması ve dışarıdan içeri girebilecek her türlü hava akımını engellemesi için lastik kauçuk yapıştırıcı kullanılarak yapıştırıldı.

Hücrenin üst ve yan kısımlarına içerisine septum girecek boyutlarda delikler açılmıştır. Her iki deliğe de septum yerleştirilmiştir. Üst kısımdaki septum, numune yüzeyinde su damlası oluşturulabilmesi için kullanılan iğnenin hava akımı olmadan ve hücrenin bağıl nem dengesi bozulmadan, hücreye sokulabilmesi amacı ile yerleştirilmiştir. Yan kısımdaki septuma, numuneyi hareket ettirmek amacıyla ucu kıvrık bir tel yerleştirilmiştir. Septumlar yardımı ile hücre kapağı hiç açılmadan nem dengesi bozulmadan denemeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.1. Pleksiglas hücre.

Sıvılar hücrenin içindeki yüzey üzerine Hamilton marka şırınga kullanılarak $1\pm 0,1$ μ l hacminde damlalar halinde oluşturulmuştur. Her konsantrasyon ve yüzey için denemeler üç damlanın üzerinde tekrar edilmiştir.

Isıtıcı (hot plate) üzerinde yapılan DNA çözeltilerinin buharlaşma denemeleri $45\pm 3^{\circ}\text{C}$ ’e ısıtıcı sıcaklığında laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir. Vakum altında yapılan DNA çözeltilerinin buharlaşma denemeleri vakumlu etüvde 200 mbar basınç altında gerçekleştirilmiştir.

8.3.1. Bağıl Nemin Kontrol Edilmesi

Buharlaştırma denemelerinde buharlaşması takip edilen sıvılardan birinin su ve diğer çözeltilerin içinde su olması nedeniyle buharlaşma sırasında hava içinde su buharı halinde bulunan nem miktarının bilinmesi önemlidir. Bu nedenle kararlı ve tekrar edilebilir sonuçlar elde edebilmek için denemelere geçmeden önce hücrelerin içindeki havanın bağıl neminin sabitlenmesi gerekmektedir.

İki farklı sabit nemde yapılan çalışmalarda buharlaşma $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 'e sıcaklıkta yapılmıştır. Birincisinde hücre içerisinde bağıl nemi $\% 53 \pm 2^\circ\text{C}$ 'ye sabitlemek üzere Kalsiyum nitrat tetrahidrat, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 'ın doymuş tuz çözeltisi kullanıldı. Doymuş tuz çözeltilerini hücre içerisine koymak için Alüminyum folyo kaplar kullanıldı, bunlar hücre içerisine girecek ebatlarda şekillendirildi. Kenarlarından sızmayı önlemek için 80°C 'de parafin çözeltisine daldırılarak kaplama yapıldı. Temizlendikten sonra içlerine belli miktarlarda hazırlanan doymuş tuz çözeltilerinden koyuldu ve hücrenin kapağı kapatıldı. Doymuş tuz çözeltileri hücrelerin içerisine yerleştirildikten sonra sabit bağıl nem değerine gelmeleri için yirmi dört saat boyunca bekletilmişlerdir.

İkicisinde ise bağıl nemi $\% 0-5$ 'ye sabitlemek üzere Silika jeller kullanılmıştır. Silika jeller hücre içerisine konulmadan önce 12 saat 110°C 'ye ısıtılmış etüvde kurutulmuştur. Daha sonra soğumaya bırakılan silika jeller sabit bağıl nem değerine gelmeleri için hücre içerisinde yirmi dört saat boyunca bekletilmişlerdir.

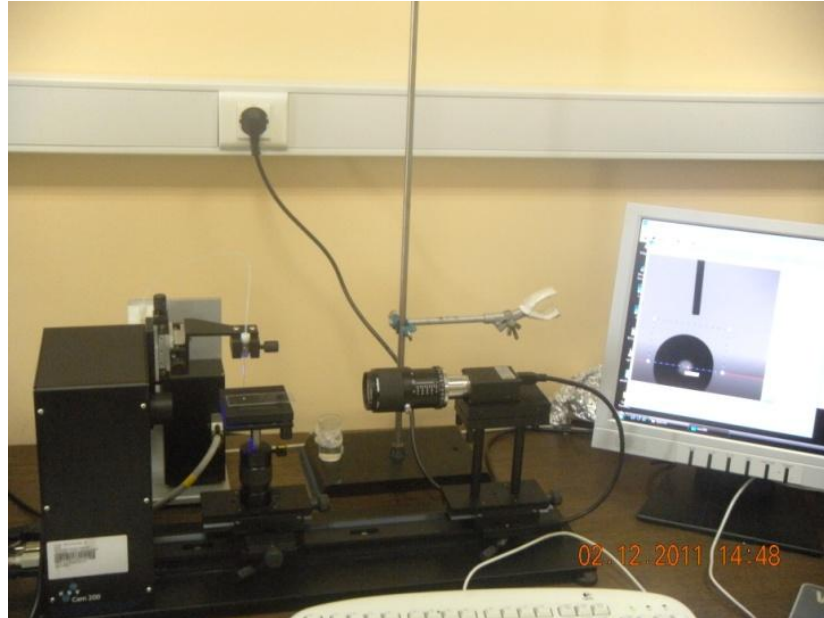


Şekil 8.2. Hücre içerisindeki bağıl nemin kontrolü için kullanılan (solda) TFA marka termo- higrometre, (sağda) Testo 615 termo- higrometre.

Bağıl nemin ve sıcaklığın kontrolü için Şekil 8.2’de soldaki TFA marka termo-higrometre kullanıldı. Hücre içerisine girebilecek şekilde 52 x 39 x 15 mm ebatlarında, 30 g ağırlığındadır. Sıcaklık çalışma aralığı -10°C ile 60°C , bağıl nem çalışma aralığı ise 10%- 99% aralığındadır. Ayrıca daha hassas ölçüm aralığı gerektiren %5 bağıl nem denemeleri için TESTO 615 marka termo- higrometre kullanılmıştır. Sıcaklık çalışma aralığı 0°C ile 50°C , bağıl nem çalışma aralığı ise %5-95 aralığındadır.

8.3.2. KSV CAM 200 Cihazı İle Buharlaştırma Denemeleri

Katı üzerine damlatılan sıvının buharlaşması çeşitli zaman aralıklarında fotoğraflanarak izlenmiştir. Bunun için Şekil 8.3’de resmi verilen KSV–CAM 200 temas açısı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaza istenilen değerlerin girilmesiyle ve hücre içine sıvı damlanın verildiği andan itibaren fotoğraflama yapılmıştır. Tüm temas açısı tespitleri, çekilen damla fotoğraflarının bir görüntü analiz programında değerlendirilmesi ile gerçekleştirildi. Her bir fotoğraf için, damlaların yüzeyler üzerinde yaptığı açı, damlanın yüksekliği, temas yarıçapı ve hacmi belirlenerek bunların zamana karşı grafikleri çizilmiştir.



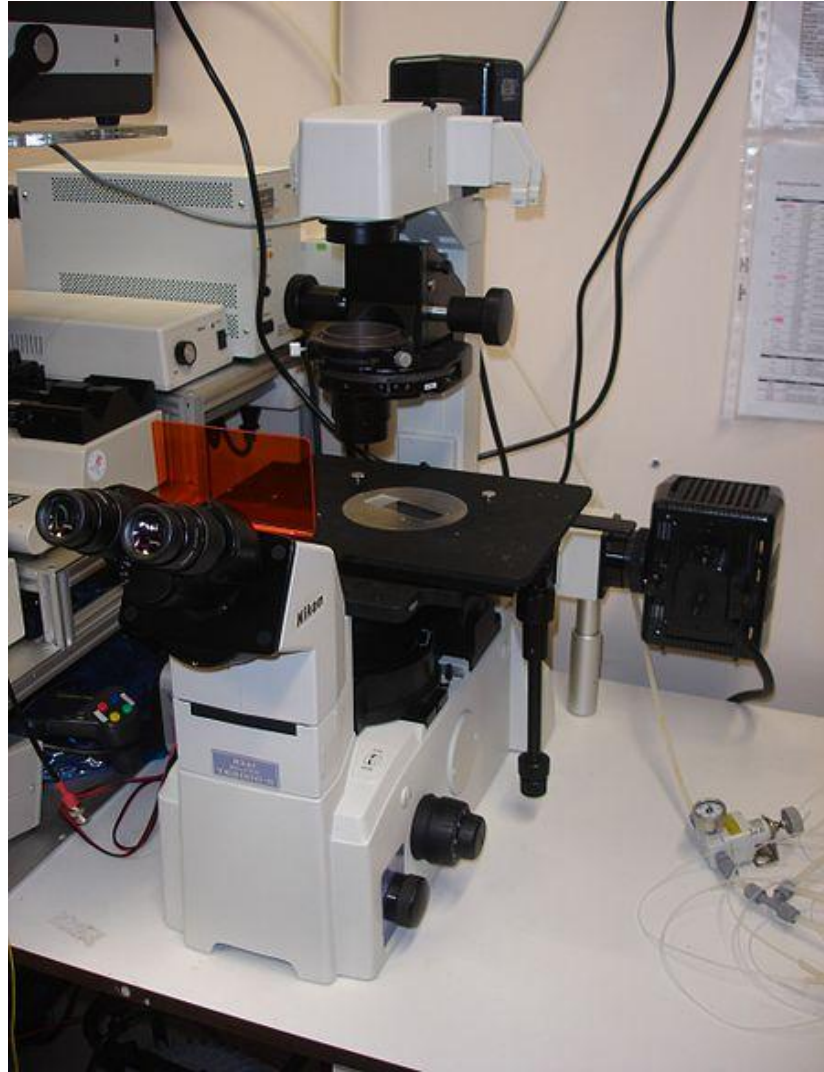
Şekil 8.3. KSV CAM 200 cihazı

Bu çalışmada, öncelikle DNA çözeltileri, Tris-EDTA çözeltisi ve su damlalarının bağıl nemi kontrol edilen bir hücre ortamı içerisinde yapılmıştır. Altı

farklı yüzey [FMA-MMA, PP, PMMA, PS, PvOH ve Cam] üzerinde Hamilton şırınga yardımıyla oluşturulmasından sonra, buharlaşma süresinde damla temas açısı(θ_e), hacmi (V), çapı (R), ve yüksekliği (h) 10 saniye aralıklarla kaydedilmiştir.

8.4. Floresan Mikroskobu ile DNA Görüntülenmesi

DNA damlalarının buharlaşma sonunda kalan kalıntıları Şekil 8.4’de gösterilen Floresan mikroskobu (NIKON Eclipse Ti-S) ile 40 kat (40x) büyütmede görüntülenmiş ve fotoğraflanmıştır.



Şekil 8.4. Floresan mikroskobu.

9. BULGULAR ve TARTIŞMA

9.1. Su, Tris-EDTA ve DNA Çözeltilerinin Buharlaşma Denemeleri

Sabit bağıl nemde saf su, Tris-EDTA ve DNA içeren çözelti damlalarının altı yüzey [FMA-MMA, PP, PMMA, PS, PvOH ve Cam] üzerinde buharlaşmasından elde edilmiş deneysel veriler çizelgelerde verilmektedir. Fazla yer kapsamaması için tüm veriler çizelgelerde gösterilememiştir. Ancak çizilen grafikler tüm analiz edilen verileri kapsamaktadır. Bütün denemelerde 1 μ L hacmindeki damlalar oluşturulmuştur.

9.1.1. Cam Üzerinde Buharlaşma Denemeleri

Cam yüzeyinde buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş deneysel θ_e , r_b , h , V , $V^{2/3}$ verileri su için (9.1), Tris-EDTA için (9.2), Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 μ g/ml DNA çözeltisi için (9.3) ve 250 μ g/ml DNA çözeltisi için (9.3) numaralı çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 9.1. Cam yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μ l)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	23	1,534	0,302	1,151	1,098
60	20	1,539	0,266	1,006	1,004
120	18	1,541	0,236	0,879	0,917
180	16	1,537	0,209	0,781	0,848
240	14	1,531	0,182	0,674	0,769
300	12	1,523	0,155	0,566	0,684
360	10	1,510	0,128	0,454	0,591
420	8	1,492	0,102	0,351	0,498
480	5	1,471	0,077	0,245	0,391
540	3	1,421	0,049	0,135	0,264
594	2	1,203	0,025	0,040	0,117

Çizelge 9.2. Cam yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	15	1,724	0,216	1,075	1,049
60	10	1,817	0,142	0,808	0,868
125	8	1,765	0,116	0,635	0,738
180	7	1,728	0,097	0,499	0,629
240	5	1,690	0,076	0,360	0,506
300	4	1,595	0,064	0,248	0,395
360	4	1,424	0,063	0,195	0,337
420	3	1,190	0,061	0,150	0,282
450	2	1,040	0,053	0,130	0,257

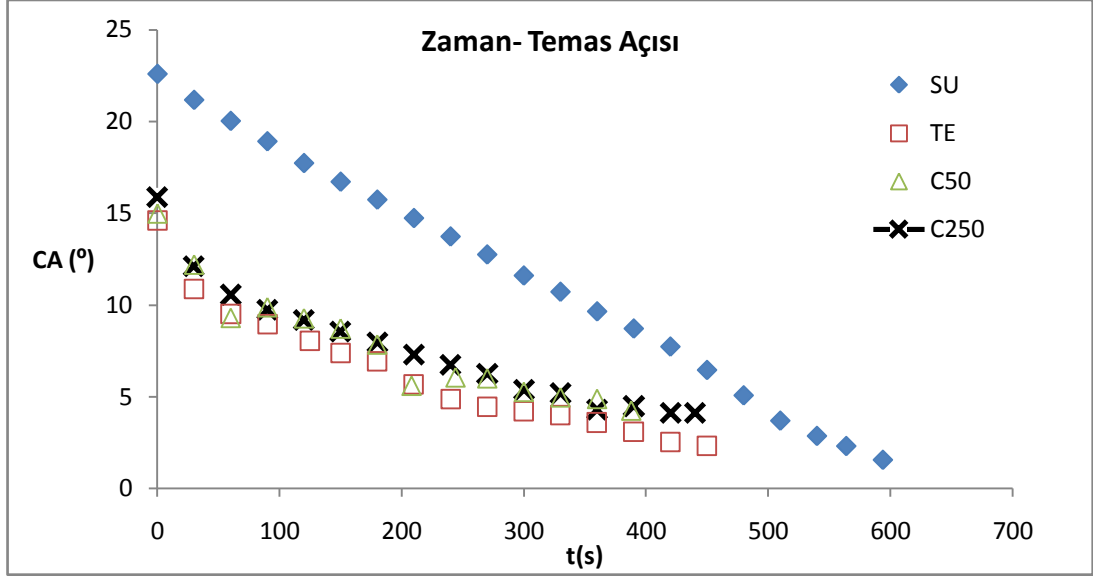
Çizelge 9.3. Cam yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 μg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	15	1,686	0,239	1,081	1,053
60	9	1,814	0,184	0,945	0,963
120	9	1,817	0,156	0,839	0,890
180	8	1,807	0,134	0,678	0,772
244	6	1,810	0,111	0,549	0,670
300	5	1,775	0,093	0,435	0,574
360	5	1,688	0,074	0,326	0,474
388	4	1,594	0,065	0,244	0,390

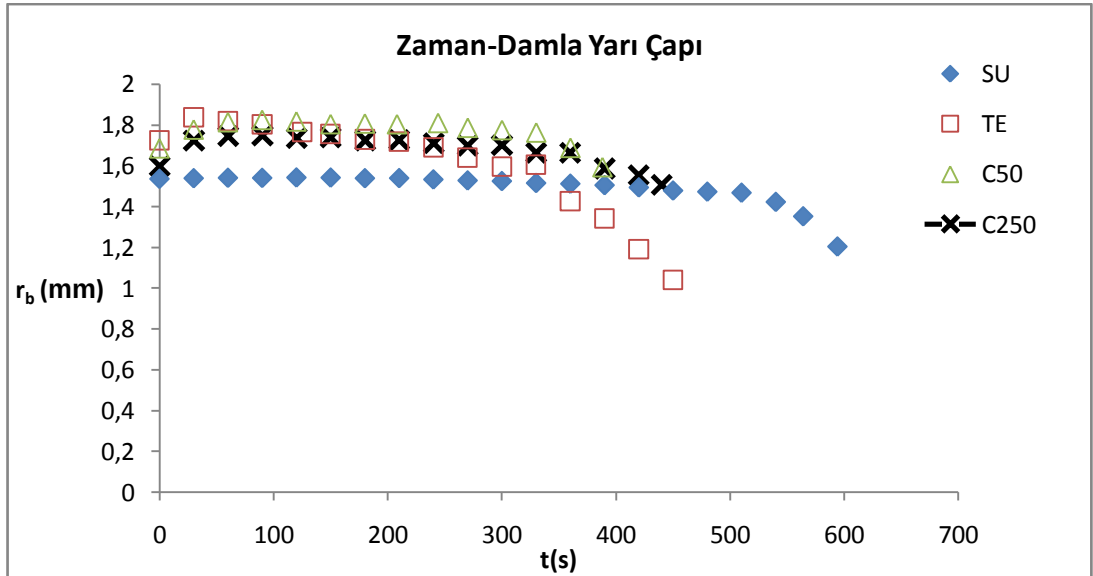
Çizelge 9.4. Cam yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 250 μg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	16	1,600	0,231	1,063	1,042
60	11	1,746	0,169	0,913	0,941
120	9	1,738	0,146	0,797	0,860
180	8	1,726	0,128	0,641	0,743
240	7	1,711	0,110	0,511	0,639
300	5	1,701	0,093	0,398	0,541
360	4	1,664	0,080	0,309	0,457
420	4	1,556	0,070	0,237	0,383
440	4	1,508	0,066	0,212	0,355

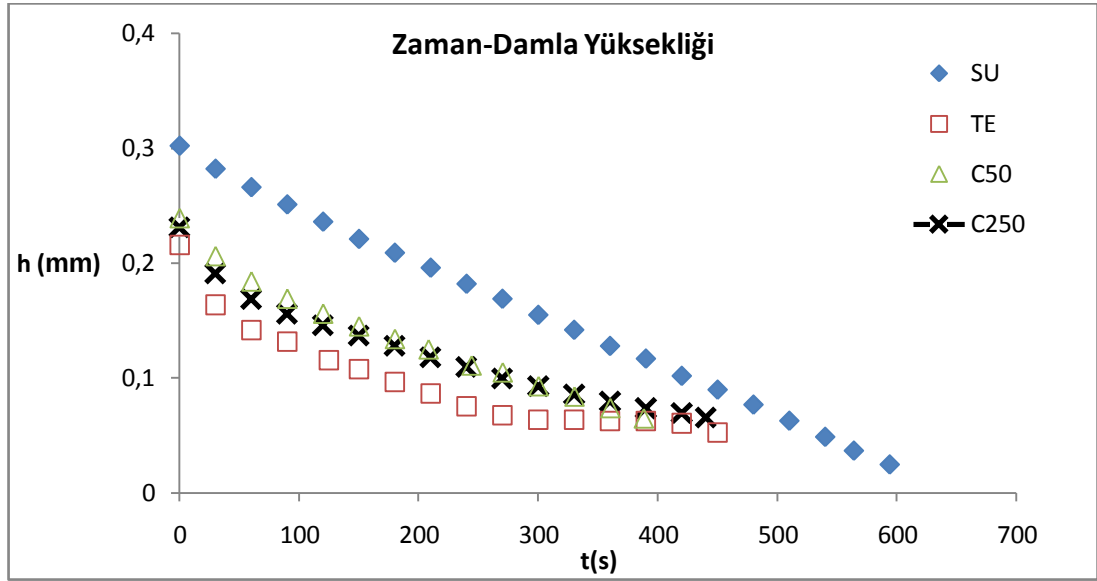
Cam yüzeyinde su, Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş veriler kullanılarak çizilen $(\theta-t)$, (r_b-t) , $(h-t)$, $(V-t)$ ve $(V^{2/3}-t)$ grafikleri (9.1)-(9.5) numaralı şekillerde gösterilmektedir. Şekil 9.1'e bakıldığında suyun temas açısının ilk damlatıldığında yaklaşık 23° olduğu ve doğrusal olarak azaldığı, diğer taraftan Tris-EDTA ve DNA damlaları ise $15-16^\circ$ 'de başlayarak zamanla azaldığı görülmektedir.



Şekil 9.1. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin Cam yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısı değişim grafiği.

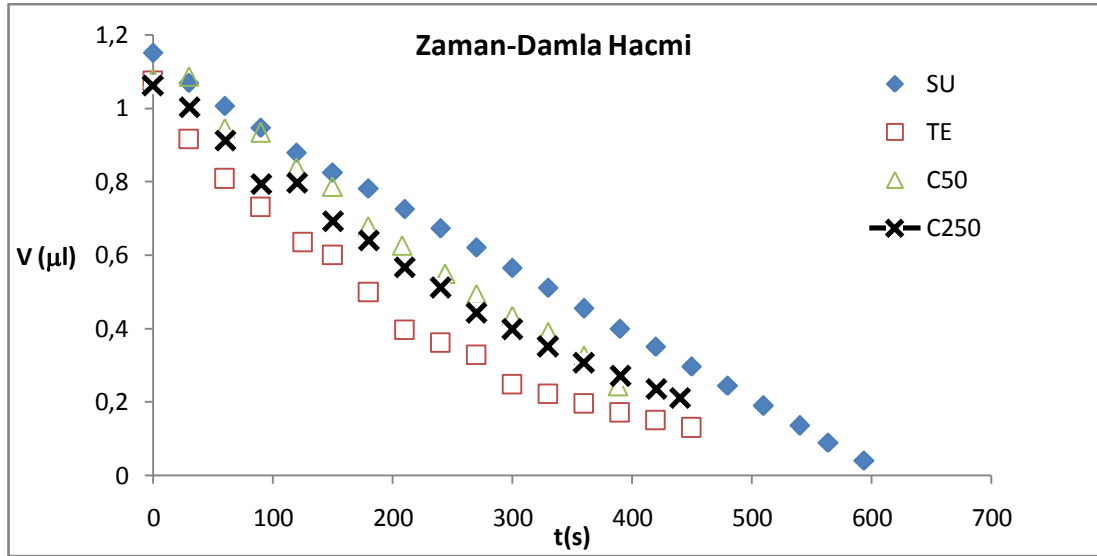


Şekil 9.2. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin Cam yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.

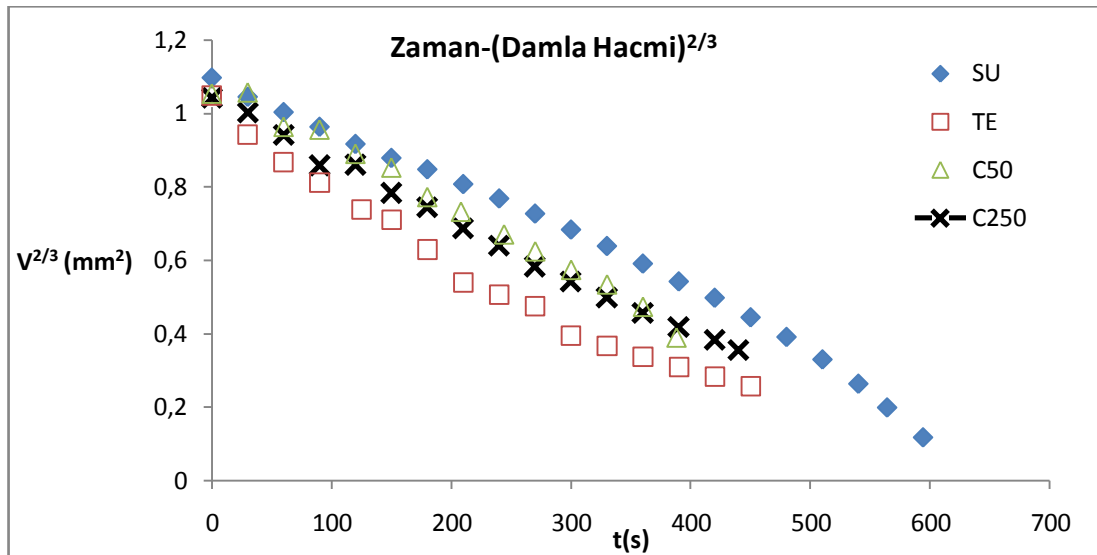


Şekil 9.3. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin Cam yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliği değişim grafiği.

Şekil 9.2'e bakıldığında, suyun damla yarıçapının ilk 550s boyunca sabit kaldığı ve sonrasında azaldığı görülmektedir. Diğer damlalar, Tris-EDTA ve DNA damlaları, başlangıçtaki temas yarıçapı artışından sonra 350. saniyeye kadar yakın değerlerde kalmış ve sonrasında temas yarıçapları bir miktar azalarak buharlaşma sonlanmıştır. Şekil 9.3'e bakıldığında suyun başlangıç temas açısının daha yüksek olmasının bir sonucu olarak damla yüksekliğinin de diğer damlalara oranla daha yüksektir ve damlaların yükseklikleri zamanla lineer azaldığı gözlenmiştir. Şekil 9.4'de damla hacimlerinin zamanla azaldığı gözlenmektedir. Bu grafikteki verilerin eğimleri alınarak sırası ile su, Tris-EDTA ve 50 µg/ml DNA çözeltilerinin buharlaşma hızları 0,00182; 0,00202 ve 0,00212 mm³/s olarak bulunmuştur. Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin suya göre daha hızlı ve daha kısa sürede buharlaştığını gösteriyor. Şekil 9.5'de 5.21'de ki eşitlikle tutarlı olarak dört damlanın da $V^{2/3}$ değerinin zamana karşı grafiğinin lineer olduğu deneysel olarak görülmektedir.



Şekil 9.4. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin Cam yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacmi değişim grafiği.



Şekil 9.5. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin Cam yüzeyinde damlalarının zamana göre (damla hacmi)^{2/3} değişim grafiği.

9.1.2. PvOH Üzerinde Buharlaşma Denemeleri

PvOH yüzeyinde buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş deneysel θ_e , r_b , h , V , $V^{2/3}$ verileri su için (9.5), Tris-EDTA için (9.6), Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 µg/ml DNA çözeltisi için (9.7) ve 250 µg/ml DNA çözeltisi için (9.8) numaralı çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 9.5. PvOH yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	58	1,004	0,555	1,027	1,018
100	53	1,003	0,492	0,880	0,918
200	47	1,000	0,434	0,788	0,853
300	42	0,995	0,375	0,643	0,745
400	36	0,989	0,316	0,528	0,653
500	30	0,980	0,257	0,409	0,551
600	23	0,966	0,195	0,300	0,448
700	18	0,913	0,146	0,195	0,336
800	17	0,831	0,127	0,121	0,245
900	12	0,729	0,087	0,063	0,158
985	4	0,525	0,041	0,019	0,071
1025	4	0,407	0,015	0,004	0,025

Çizelge 9.6. PvOH yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	48	1,101	0,488	1,022	1,015
100	43	1,100	0,424	0,861	0,905
200	38	1,095	0,371	0,734	0,814
300	33	1,090	0,317	0,614	0,722
400	28	1,083	0,263	0,497	0,627
500	23	1,071	0,209	0,385	0,529
600	17	1,052	0,156	0,276	0,424
700	12	1,011	0,101	0,163	0,298
800	7	0,486	0,046	0,047	0,130
850	5	0,360	0,016	0,003	0,021

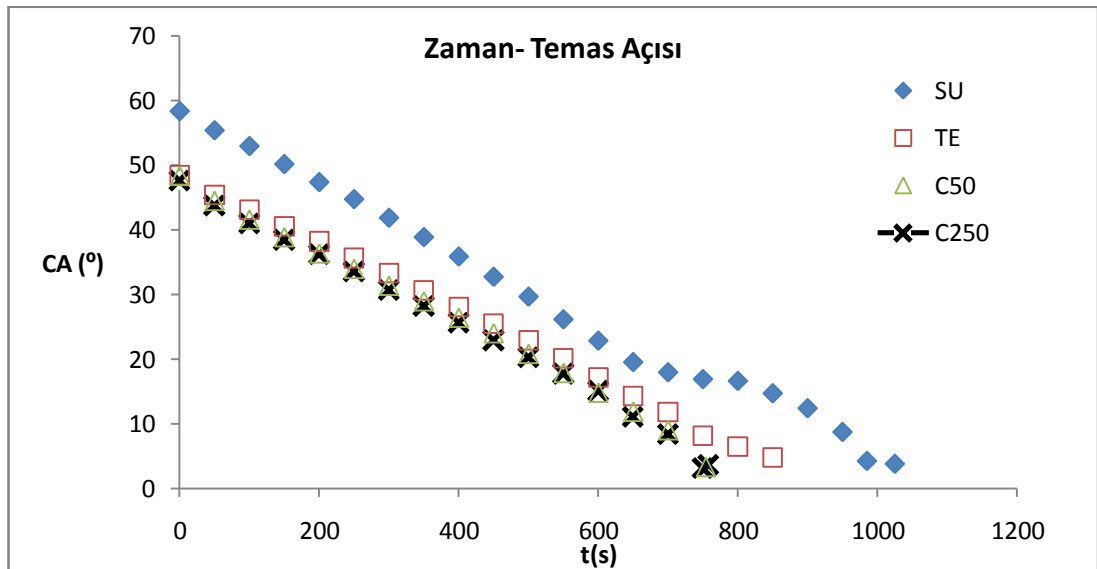
Çizelge 9.7. PvOH yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 μg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	48	1,083	0,484	1,110	1,072
100	42	1,105	0,414	0,896	0,929
200	36	1,107	0,360	0,773	0,843
300	31	1,110	0,306	0,630	0,735
400	26	1,112	0,254	0,507	0,635
500	21	1,116	0,200	0,398	0,541
600	15	1,130	0,148	0,296	0,444
700	9	1,145	0,094	0,191	0,332
754	3	1,124	0,067	0,147	0,279

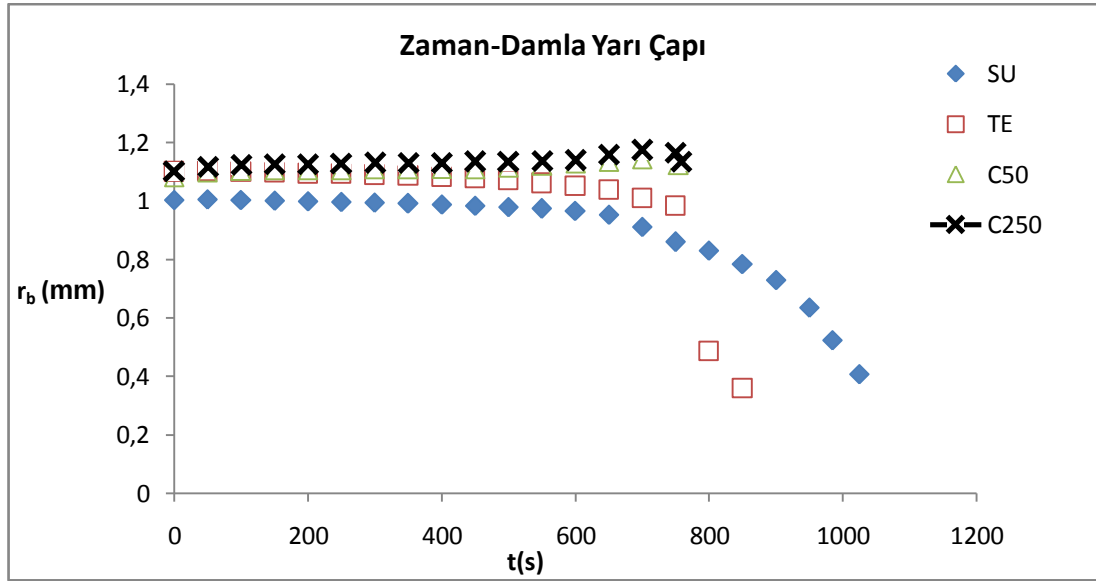
Çizelge 9.8. PvOH yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	48	1,103	0,467	1,003	1,002
100	41	1,125	0,404	0,901	0,933
200	36	1,128	0,352	0,764	0,836
300	31	1,131	0,303	0,663	0,760
400	26	1,132	0,253	0,569	0,686
500	20	1,136	0,202	0,445	0,582
600	15	1,140	0,150	0,326	0,474
700	8	1,175	0,101	0,209	0,352
758	4	1,136	0,075	0,151	0,283

PvOH yüzeyinde su, Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş veriler kullanılarak çizilen (θ - t), (r_b - t), (h - t), (V - t) ve ($V^{2/3}$ - t) grafikleri (9.6)-(9.10) numaralı şekillerde gösterilmektedir. Şekil 9.6'e bakıldığında suyun temas açısının ilk damlatıldığında yaklaşık 58° olduğu ve 18°'ye kadar doğrusal olarak azaldığı ve bu noktada bir süre sabit temas açısı modelinde devam etmiş sonra düşmeye devam etmiştir. Diğer taraftan Tris-EDTA ve DNA damlalarının temas açıları yaklaşık 48°'de başlayarak zamanla azaldığı görülmektedir.

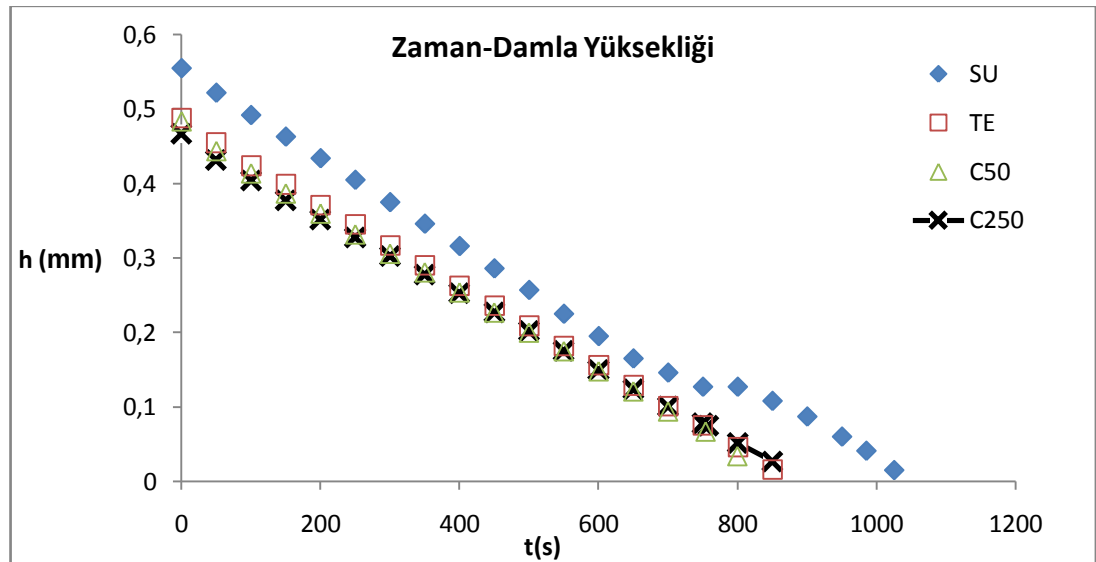


Şekil 9.6. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PvOH yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısının değişim grafiği.



Şekil 9.7. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PvOH yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.

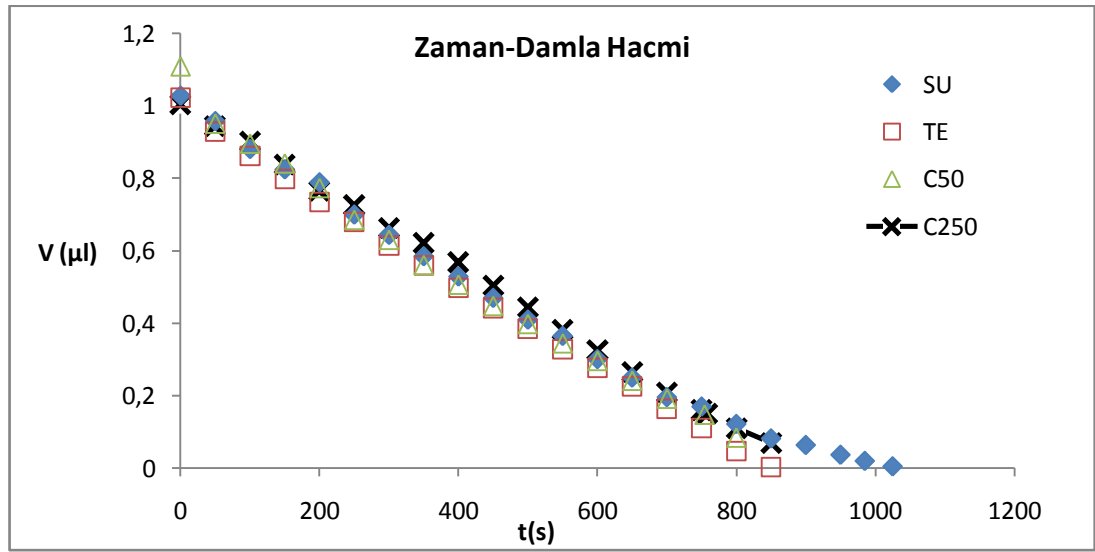
Şekil 9.7'e bakıldığında suyun damla yarıçapının ilk 650s boyunca sabit kaldığı ve sonrasında azaldığı görülmektedir. Diğer damlalar Tris-EDTA ve DNA damlaları ise yaklaşık 750. saniyeye kadar başlangıç değerine yakın değerlerde kalmıştır ve sonrasında azalarak devam etmiştir.



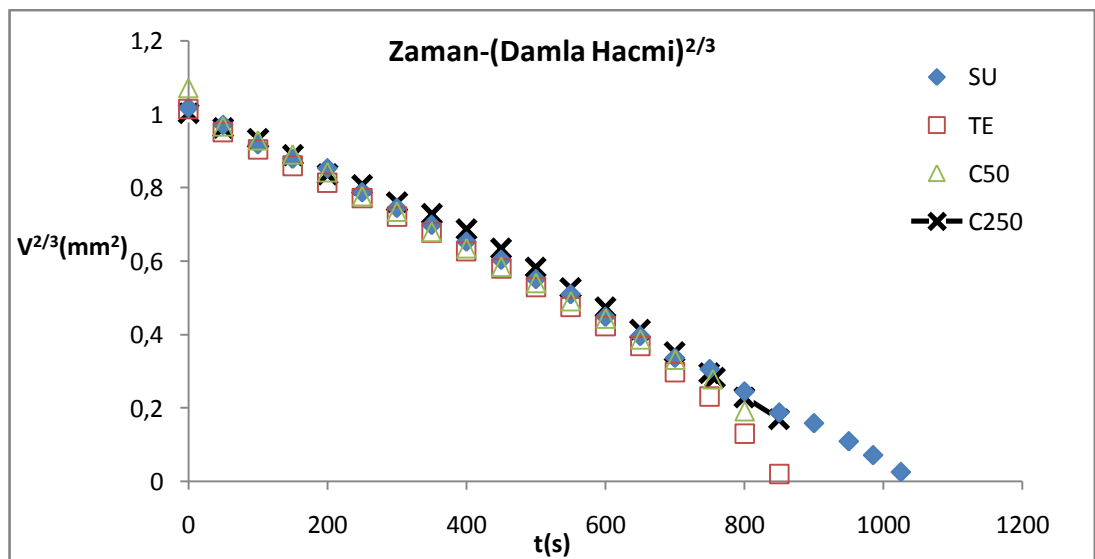
Şekil 9.8. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PvOH yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliği değişim grafiği.

Şekil 9.8'e bakıldığında ise suyun başlangıç temas açısının daha yüksek olmasının bir sonucu olarak damla yüksekliği de diğer damlalara oranla daha yüksektir ve temas açısının sabit kaldığı noktada yükseklikte bir süre sabit

kalmaktadır. Diğer damlaların yükseklikleri ise zamanla lineer azaldığı gözlenmiştir. Şekil 9.9'de damla hacimlerinin buharlaşma sonucu zamanla azaldığı gözlenmektedir. Bu grafikteki verilerin eğimleri alınarak sırası ile su, Tris-EDTA ve 50 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin buharlaşma hızları 0,00112; 0,00117 ve 0,00123 mm^3/s olarak bulunmuştur. Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin suya göre daha hızlı buharlaştığını gösteriyor. Şekil 9.10'de 5.21'de ki eşitlikle tutarlı olarak dört damlanın da $V^{2/3}$ değerinin zamana karşı lineer azaldığı deneysel olarak görülmektedir.



Şekil 9.9. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PvOH yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacmi değişim grafiği.



Şekil 9.10. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PvOH yüzeyinde damlalarının zamana göre $(\text{damla hacmi})^{2/3}$ değişim grafiği.

9.1.3. PMMA Üzerinde Buharlaşma Denemeleri

PMMA yüzeyinde buharlaşmalardan analiz edilmiş deneysel θ_e , r_b , h , V , $V^{2/3}$ verileri su için (9.9), Tris-EDTA için (9.10), Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltisi için (9.11) ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltisi için (9.12) numaralı çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 9.9. PMMA yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μl)	$V^{2/3}$ (mm^2)
0	79	0,850	0,685	0,956	0,970
100	73	0,852	0,622	0,841	0,891
200	67	0,852	0,563	0,735	0,814
300	61	0,851	0,501	0,634	0,738
400	58	0,818	0,462	0,554	0,675
500	57	0,778	0,434	0,449	0,586
600	57	0,726	0,405	0,365	0,511
700	56	0,674	0,372	0,287	0,435
800	54	0,624	0,334	0,219	0,363
900	53	0,556	0,290	0,151	0,284
1000	46	0,505	0,230	0,096	0,210
1100	33	0,457	0,149	0,049	0,134
1210	6	0,362	0,020	0,004	0,025

Çizelge 9.10. PMMA yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μl)	$V^{2/3}$ (mm^2)
0	69	0,956	0,647	1,079	1,052
100	64	0,957	0,587	0,952	0,968
200	58	0,957	0,525	0,835	0,887
300	53	0,953	0,466	0,722	0,805
400	48	0,943	0,409	0,612	0,721
500	41	0,939	0,347	0,507	0,636
600	34	0,938	0,284	0,403	0,546
700	26	0,936	0,217	0,303	0,451
800	18	0,939	0,151	0,210	0,353
900	9	0,949	0,084	0,112	0,232
975	2	0,884	0,031	0,022	0,079

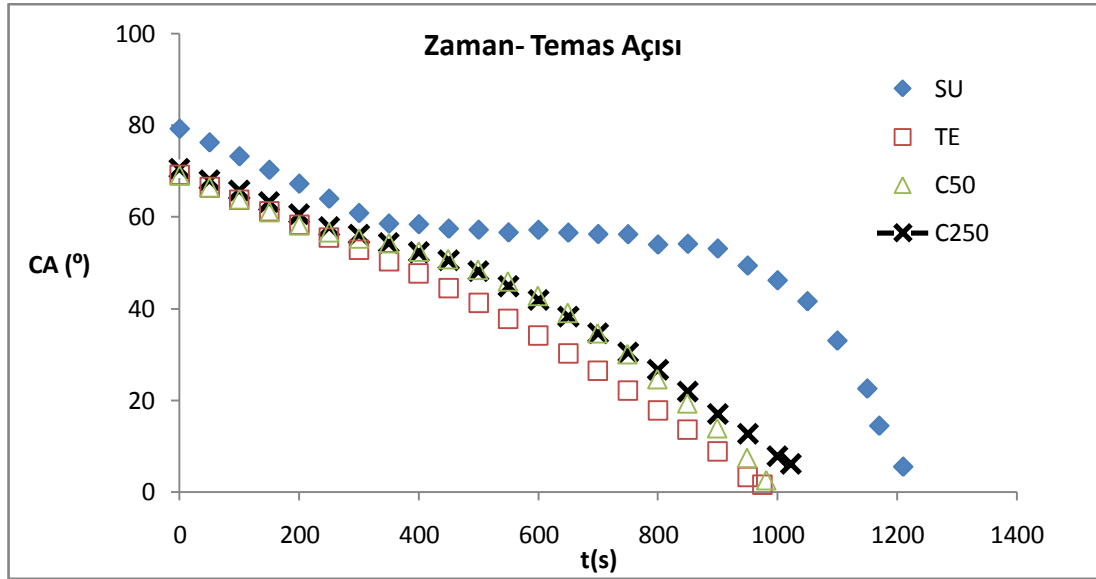
Çizelge 9.11. PMMA yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	69	0,929	0,618	0,990	0,994
100	64	0,929	0,563	0,876	0,915
200	58	0,930	0,507	0,761	0,833
300	55	0,911	0,465	0,664	0,761
400	52	0,884	0,425	0,566	0,685
500	48	0,858	0,379	0,470	0,605
600	43	0,840	0,324	0,378	0,523
700	35	0,833	0,258	0,303	0,451
800	25	0,834	0,185	0,204	0,346
900	14	0,840	0,111	0,119	0,242
981	3	0,844	0,051	0,058	0,149

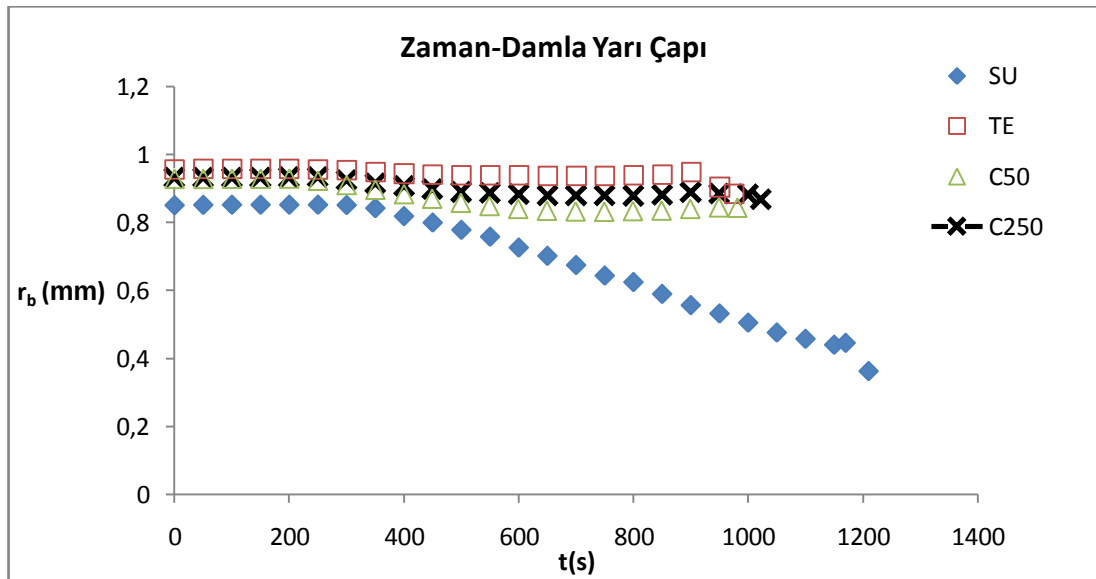
Çizelge 9.12. PMMA yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	70	0,932	0,646	1,028	1,019
100	66	0,933	0,590	0,920	0,946
200	61	0,934	0,535	0,815	0,872
300	56	0,925	0,484	0,714	0,798
400	52	0,908	0,439	0,616	0,724
400	52	0,908	0,439	0,616	0,724
500	48	0,891	0,389	0,519	0,646
600	42	0,884	0,333	0,430	0,570
700	35	0,880	0,272	0,345	0,492
800	27	0,879	0,207	0,257	0,404
900	17	0,890	0,139	0,170	0,307
1000	8	0,883	0,076	0,086	0,196

PMMA yüzeyinde su, Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş veriler kullanılarak çizilen (θ - t), (r_b - t), (h - t), (V - t) ve ($V^{2/3}$ - t) grafikleri (9.11)-(9.15) numaralı şekillerde verilmiştir. Şekil 9.11'e bakıldığında suyun temas açısının ilk damlatıldığında yaklaşık 79° olduğu ve 58°'ye kadar doğrusal olarak azaldığı ve bu noktada 500s kadar sabit temas açısı modelinde devam etmiş sonra düşmeye devam etmiştir. Diğer taraftan Tris-EDTA ve DNA damlalarının temas açıları yaklaşık 69-70°'den başlayarak zamanla azaldığı fakat 350. saniyeden sonra lineer ilerlemediği görülmektedir.

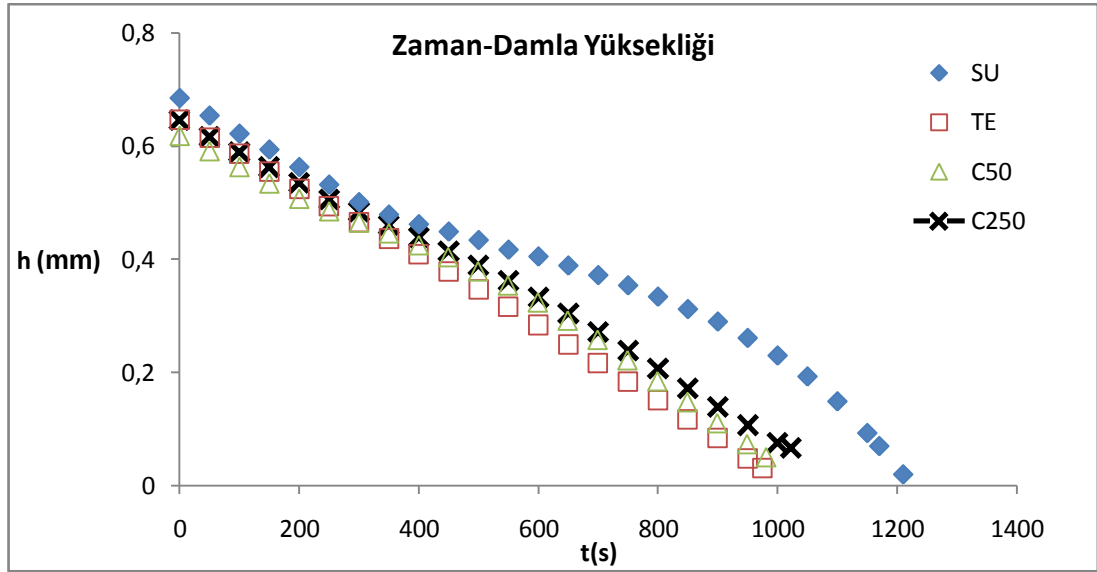


Şekil 9.11. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PMMA yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısının değişim grafiği.



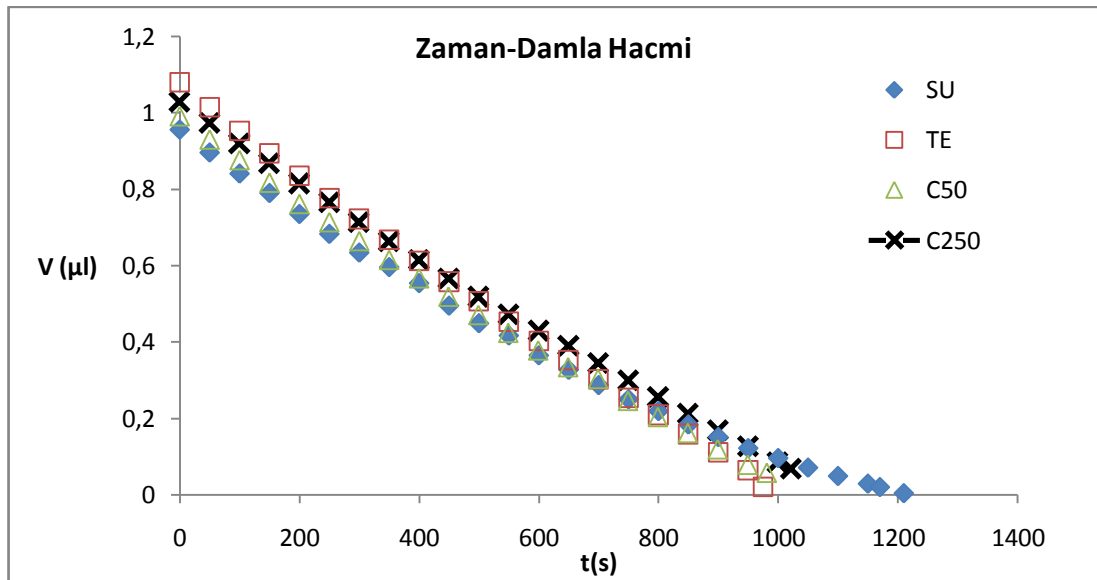
Şekil 9.12. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PMMA yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.

Şekil 9.12'e bakıldığında suyun damla yarıçapının ilk 350s boyunca sabit kaldığı ve sonrasında azaldığı görülmektedir. Diğer damlalar Tris-EDTA ve DNA damlaları ise yaklaşık 1000 saniye başlangıç değerine yakın değerlerde kalmıştır, buda bu damlaların sabit temas alanı modelinde buharlaştığını göstermektedir.



Şekil 9.13. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PMMA yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliği değişim grafiği.

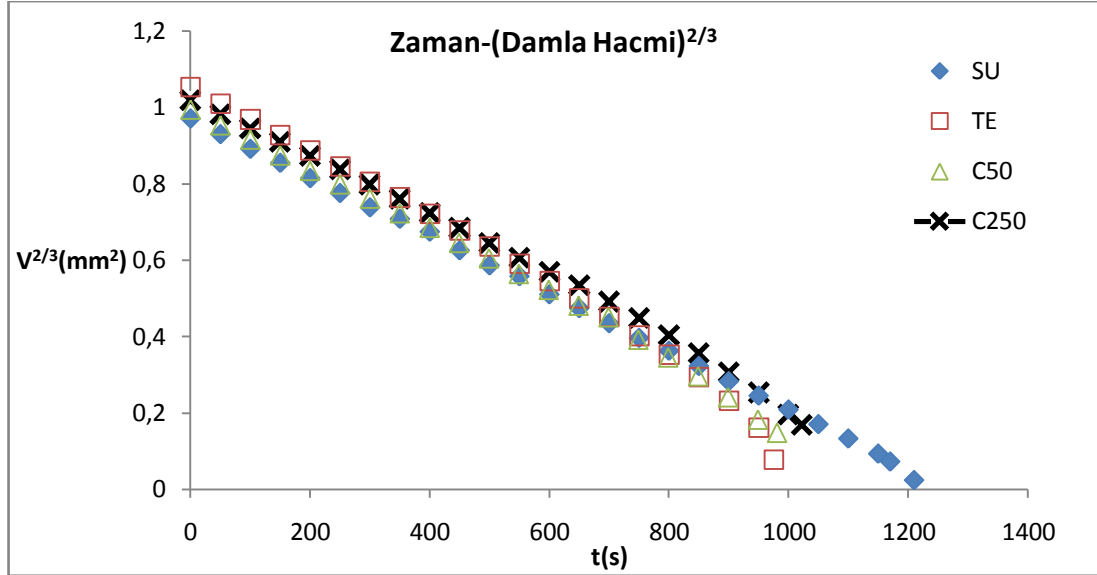
Damla yüksekliklerinin zamanla değişimini gösteren Şekil 9.13'e bakıldığında ise suyun damla yüksekliği diğer damlalara oranla yüksektir fakat bu farkın oldukça az görülmekte ve temas açısının sabit kaldığı noktaya kadar yükseklik lineer azalırken bu noktadan sonra lineerlikten saparak azalmaya devam etmiştir



Şekil 9.14. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PMMA yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacmi değişim grafiği.

. Diğer damlaların yükseklikleri ise zamanla hemen hemen lineer azalma göstermişlerdir. Şekil 9.14'de damla hacimlerinin buharlaşma sonucu zamanla lineer azaldığı gözlenmektedir. Bu grafikteki verilerin eğimleri alınarak sırası ile su, Tris-

EDTA ve 50 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin buharlaşma hızları 0,00079; 0,00106 ve 0,00094 mm^3/s olarak bulunmuştur. Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin buharlaşma hızları suya iat değerden fazla olduğu görülmektedir. Şekil 9.15’de 5.21’de ki eşitlikle tutarlı olarak dört damlanın da $V^{2/3}$ değerinin zamana karşı lineer azaldığı deneysel görülmektedir.



Şekil 9.15. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PMMA yüzeyinde damlalarının zamana göre (damla hacmi) $^{2/3}$ değişim grafiği.

9.1.4. PS Üzerinde Buharlaşma Denemeleri

PS yüzeyinde buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş deneysel θ_e , r_b , h , V , $V^{2/3}$ verileri su için (9.13), Tris-EDTA için (9.14), Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltisi için (9.15) ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltisi için (9.16) numaralı çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 9.13. PS yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	88	0,843	0,803	1,169	1,110
100	84	0,844	0,760	1,079	1,052
200	81	0,843	0,714	0,991	0,994
300	77	0,844	0,669	0,904	0,935
400	75	0,826	0,633	0,812	0,870
500	74	0,799	0,610	0,736	0,815
600	73	0,773	0,581	0,650	0,750
700	74	0,744	0,563	0,598	0,710
800	73	0,719	0,537	0,527	0,652
900	72	0,687	0,508	0,444	0,582
1000	70	0,658	0,467	0,376	0,521
1100	67	0,632	0,431	0,309	0,457
1200	62	0,609	0,389	0,250	0,397
1300	57	0,577	0,335	0,191	0,332
1400	51	0,550	0,272	0,138	0,267
1500	43	0,509	0,197	0,087	0,196
1605	29	0,479	0,108	0,043	0,123
1715	11	0,212	0,020	0,001	0,010

Çizelge 9.14. PS yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	88	0,820	0,775	1,069	1,045
100	84	0,823	0,729	0,987	0,991
200	81	0,825	0,688	0,911	0,940
300	77	0,825	0,645	0,836	0,887
400	73	0,826	0,603	0,766	0,837
500	69	0,826	0,559	0,696	0,785
600	64	0,828	0,514	0,627	0,733
700	59	0,829	0,467	0,558	0,678
800	54	0,831	0,422	0,494	0,625
900	48	0,832	0,375	0,433	0,572
1000	42	0,836	0,328	0,375	0,520
1100	36	0,839	0,284	0,320	0,468
1200	30	0,843	0,241	0,278	0,426
1300	25	0,853	0,202	0,226	0,371
1400	18	0,851	0,161	0,193	0,334
1500	7	0,853	0,124	0,153	0,286

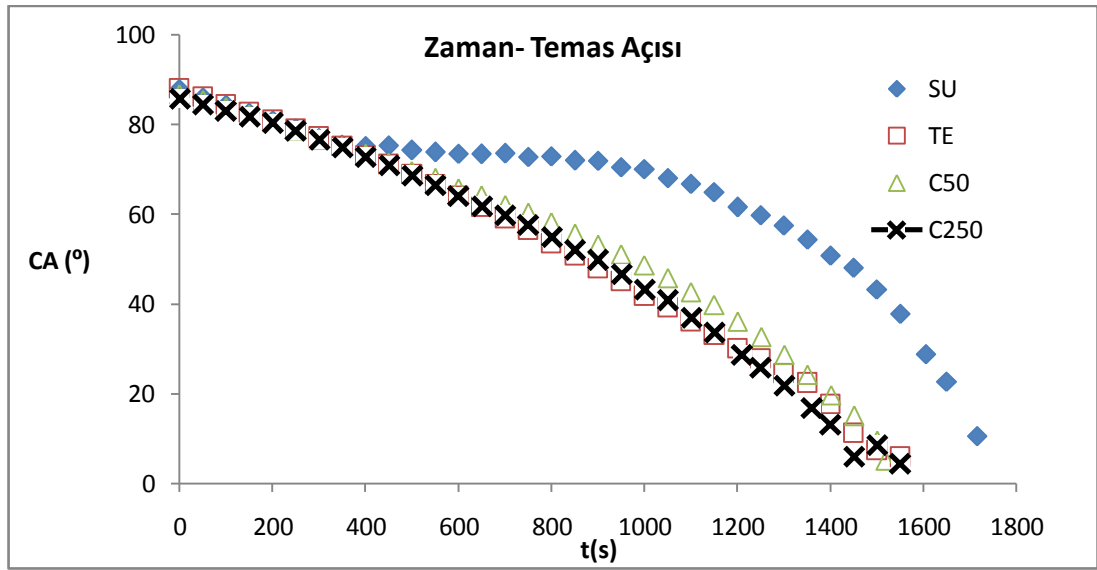
Çizelge 9.15. PS yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	87	0,813	0,760	1,046	1,030
100	84	0,813	0,720	0,963	0,975
200	80	0,814	0,681	0,891	0,926
300	77	0,815	0,641	0,836	0,887
400	73	0,813	0,599	0,757	0,830
500	70	0,812	0,558	0,702	0,790
600	66	0,808	0,516	0,623	0,730
700	62	0,804	0,476	0,560	0,679
800	58	0,797	0,434	0,498	0,628
900	53	0,794	0,392	0,454	0,591
1000	49	0,787	0,346	0,363	0,509
1100	43	0,785	0,297	0,305	0,453
1200	36	0,784	0,247	0,248	0,395
1300	22	0,783	0,149	0,148	0,280
1400	13	0,781	0,097	0,095	0,208
1500	9	0,736	0,051	0,044	0,124

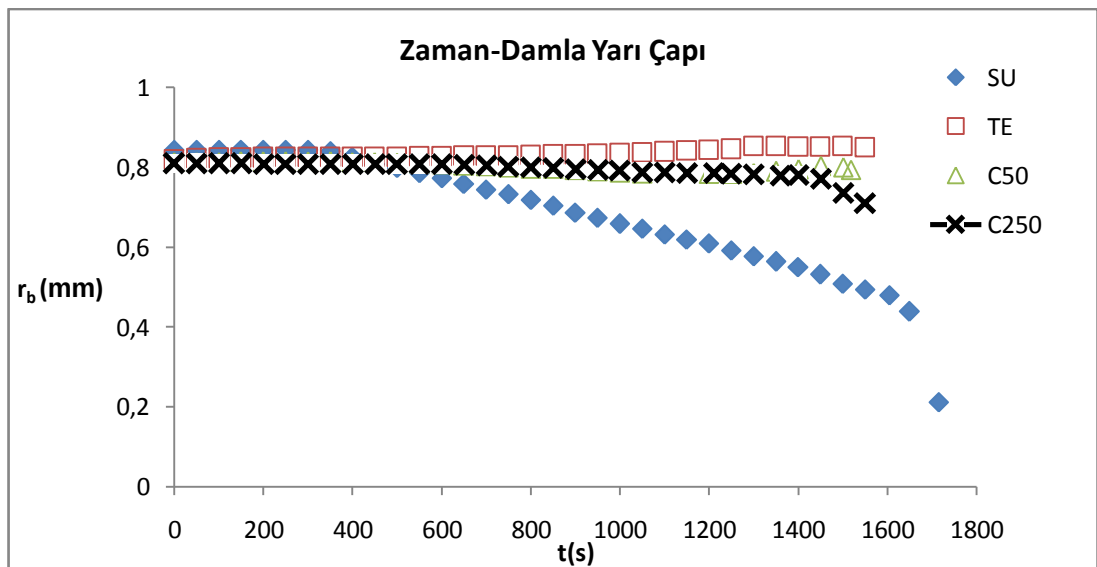
Çizelge 9.16. PS yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	86	0,810	0,734	0,972	0,982
100	83	0,810	0,698	0,907	0,937
200	80	0,809	0,662	0,844	0,893
300	77	0,809	0,622	0,776	0,844
400	73	0,809	0,580	0,706	0,793
500	69	0,809	0,535	0,638	0,741
600	64	0,809	0,492	0,573	0,690
700	60	0,805	0,448	0,508	0,636
800	55	0,801	0,404	0,444	0,582
900	50	0,796	0,356	0,382	0,526
1000	43	0,793	0,308	0,322	0,470
1100	37	0,788	0,258	0,260	0,408
1210	29	0,787	0,199	0,199	0,340
1300	22	0,783	0,149	0,148	0,280
1400	13	0,781	0,097	0,095	0,208
1500	9	0,736	0,051	0,044	0,124

PS yüzeyinde su, Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş veriler kullanılarak çizilen $(\theta-t)$, (r_b-t) , $(h-t)$, $(V-t)$ ve $(V^{2/3}-t)$ grafikleri (9.16)-(9.20) numaralı şekillerde verilmiştir. Şekil 9.16'ya bakıldığında dört damlada 86-88° civarında temas açıları verdiği ve su hariç diğer damlaların temas açıları düzenli olarak azalmaktadır. Su ise başlangıçta benzer davranış gösterirken 400. saniyeden sonra bir süre sabit temas açısı modelinde buharlaştıktan sonra temas açısı düşmeye devam etmektedir.

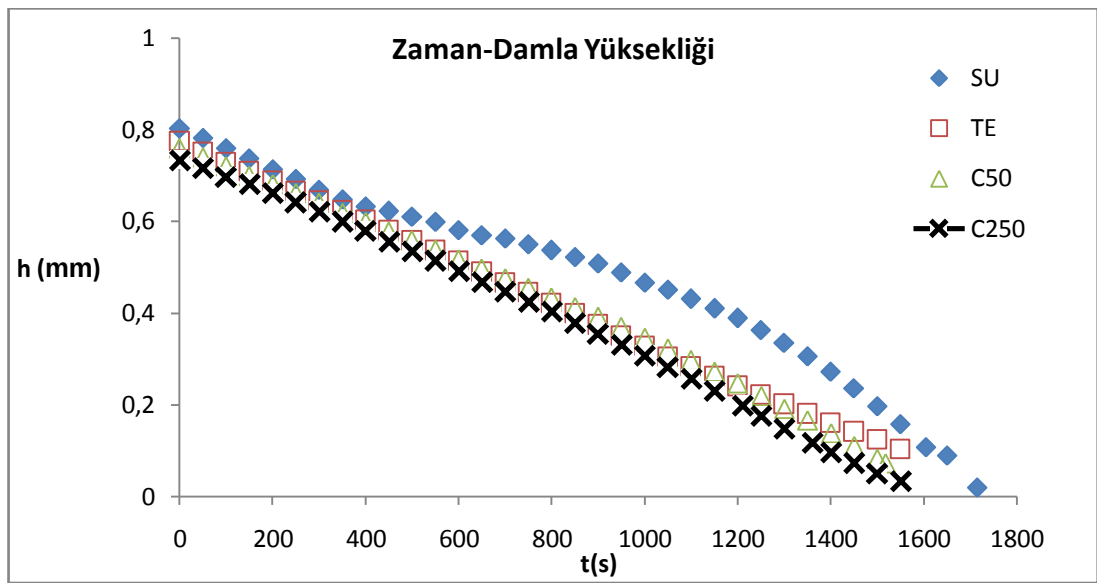


Şekil 9.16. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PS yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısının değişim grafiği.



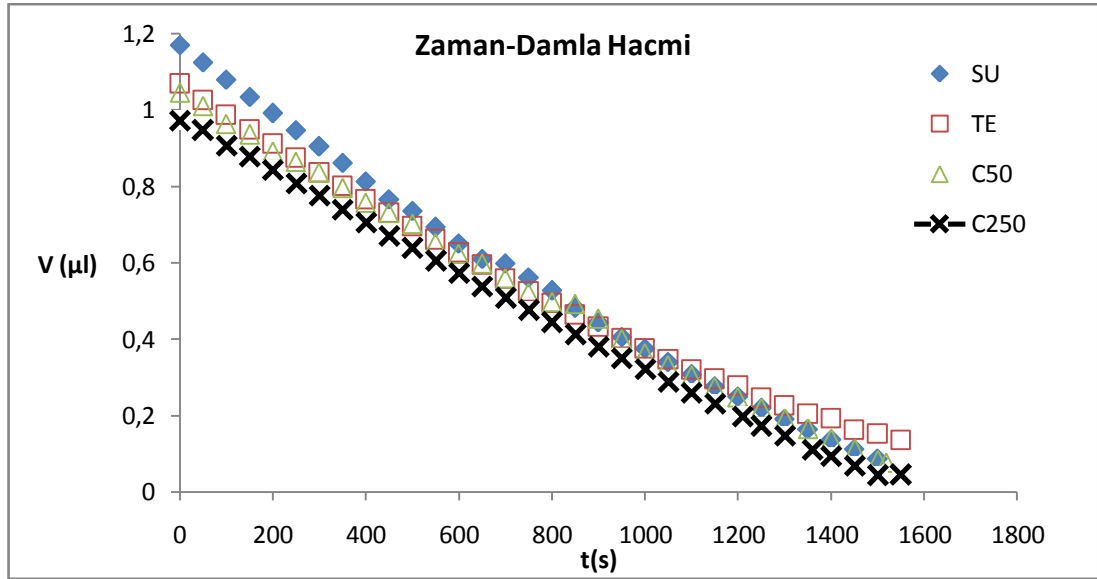
Şekil 9.17. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PS yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.

Şekil 9.17'e bakıldığında suyun damla yarıçapının ilk 400s boyunca sabit kaldığı ve sonrasında azaldığı görülmektedir. Diğer damlalar Tris-EDTA ve DNA damlaları ise buharlaşma süresinin neredeyse sonlarına kadar başlangıç değerine yakın değerlerde kalmıştır, buda bu damlaların sabit temas alanı modelinde buharlaştığını göstermektedir. Damla yüksekliklerinin zamanla değişimini gösteren Şekil 9.18'e bakıldığında Tris-EDTA, DNA damlalarının yükseklikleri lineer olarak azalmaktadır. Suyun damla yüksekliği diğer damlalara oranla çok az fazladır ve 400 saniye boyunca yükseklik lineer azalırken bu noktadan sonra lineerlikten saparak azalmaya devam etmiştir

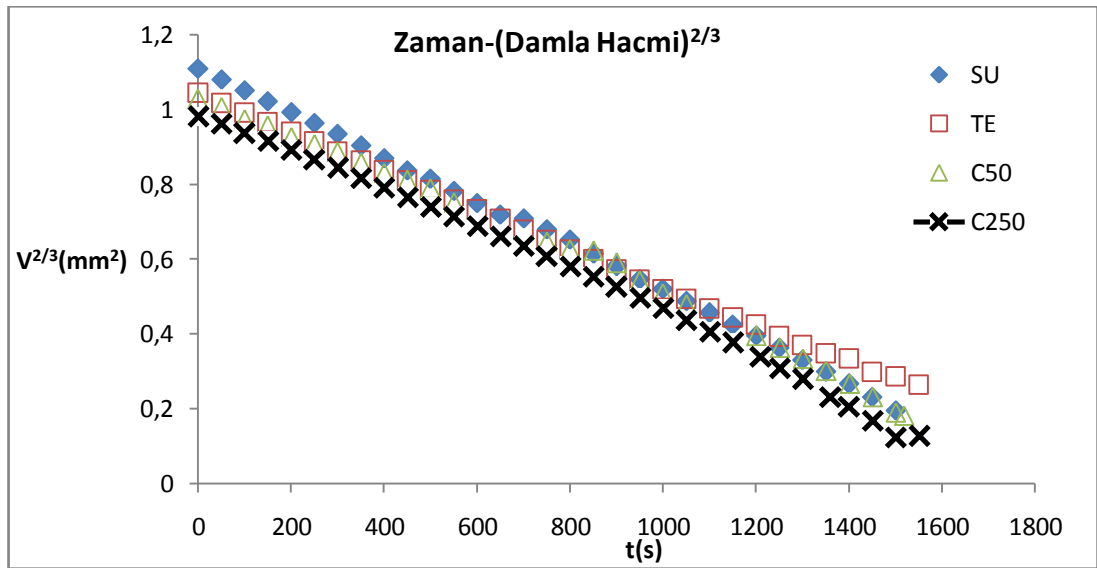


Şekil 9.18. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PS yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliği değişim grafiği.

Şekil 9.19'de damla hacimlerinin buharlaşma sonucu zamanla lineer azaldığı gözlenmektedir. Bu grafikteki verilerin eğimleri alınarak sırası ile su, Tris-EDTA ve 50 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin buharlaşma hızları 0,00072; 0,00061 ve 0,00064 mm^3/s olarak bulunmuştur. Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin buharlaşma hızları suyunkinden az çıkmıştır. Şekil 9.20'de 5.21'de ki eşitlikle tutarlı olarak dört damlanın da $V^{2/3}$ değerinin zamana karşı lineer azaldığı deneysel görülmektedir.



Şekil 9.19. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PS yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacmi değişim grafiği.



Şekil 9.20. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PS yüzeyinde damlalarının zamana göre $(\text{Damla Hacmi})^{2/3}$ değişim grafiği.

9.1.5. PP Üzerinde Buharlaşma Denemeleri

PP yüzeyinde buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş deneysel θ_e , r_b , h , V , $V^{2/3}$ verileri su için (9.17), Tris-EDTA için (9.18), Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltisi için (9.19) ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltisi için (9.20) numaralı çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 9.17. PP yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	97	0,756	0,835	1,065	1,043
100	93	0,755	0,777	0,951	0,967
200	89	0,752	0,732	0,857	0,902
300	89	0,723	0,698	0,771	0,841
400	91	0,675	0,672	0,646	0,747
500	93	0,630	0,644	0,548	0,670
600	93	0,593	0,607	0,461	0,597
700	92	0,562	0,566	0,381	0,526
800	91	0,527	0,524	0,312	0,460
900	91	0,482	0,482	0,273	0,421
1000	86	0,457	0,413	0,226	0,371
1100	82	0,411	0,335	0,115	0,236
1200	59	0,407	0,225	0,065	0,162
1300	20	0,419	0,086	0,024	0,083

Çizelge 9.18. PP yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	98	0,749	0,854	1,095	1,062
100	94	0,749	0,796	0,973	0,982
200	90	0,746	0,735	0,859	0,904
300	86	0,739	0,677	0,751	0,826
400	83	0,719	0,625	0,656	0,755
500	79	0,705	0,572	0,546	0,668
600	72	0,700	0,514	0,524	0,650
700	69	0,666	0,455	0,422	0,563
800	62	0,644	0,385	0,336	0,483
900	53	0,627	0,306	0,208	0,351
1000	37	0,623	0,223	0,139	0,268
1100	18	0,638	0,126	0,077	0,181
1200	6	0,586	0,022	0,028	0,092

Çizelge 9.19. PP yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

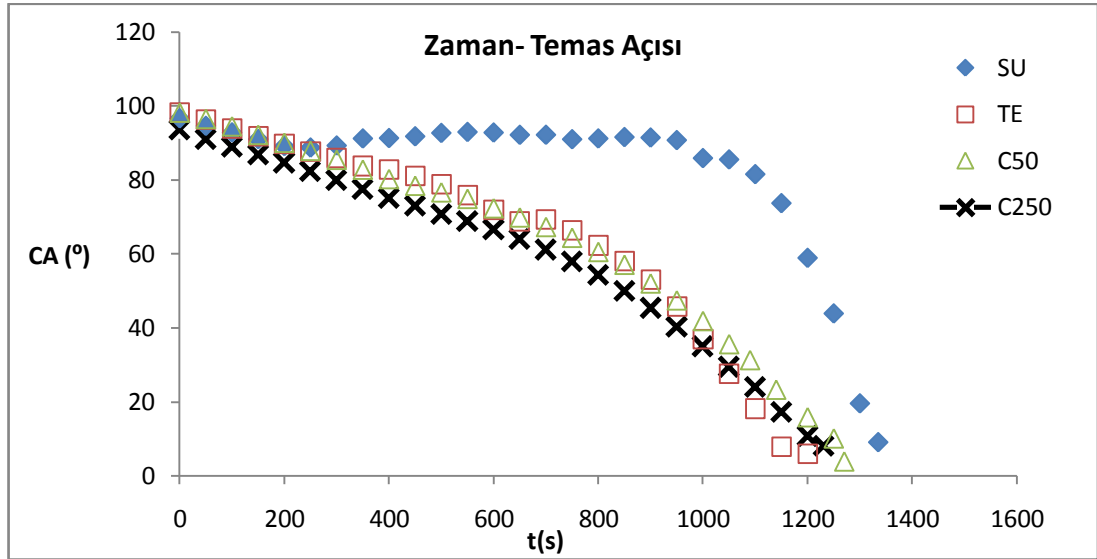
t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	98	0,720	0,820	0,986	0,991
100	95	0,722	0,769	0,882	0,920
200	90	0,724	0,717	0,801	0,862
300	86	0,724	0,662	0,724	0,807
400	80	0,724	0,607	0,641	0,743
500	77	0,713	0,556	0,540	0,663
600	72	0,702	0,507	0,474	0,608
700	67	0,688	0,458	0,405	0,547
800	61	0,683	0,403	0,329	0,477
900	52	0,679	0,336	0,263	0,411
1000	42	0,677	0,262	0,198	0,340
1090	31	0,678	0,191	0,162	0,297
1200	16	0,690	0,099	0,076	0,179
1270	4	0,696	0,045	0,045	0,126

Çizelge 9.20. PP yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

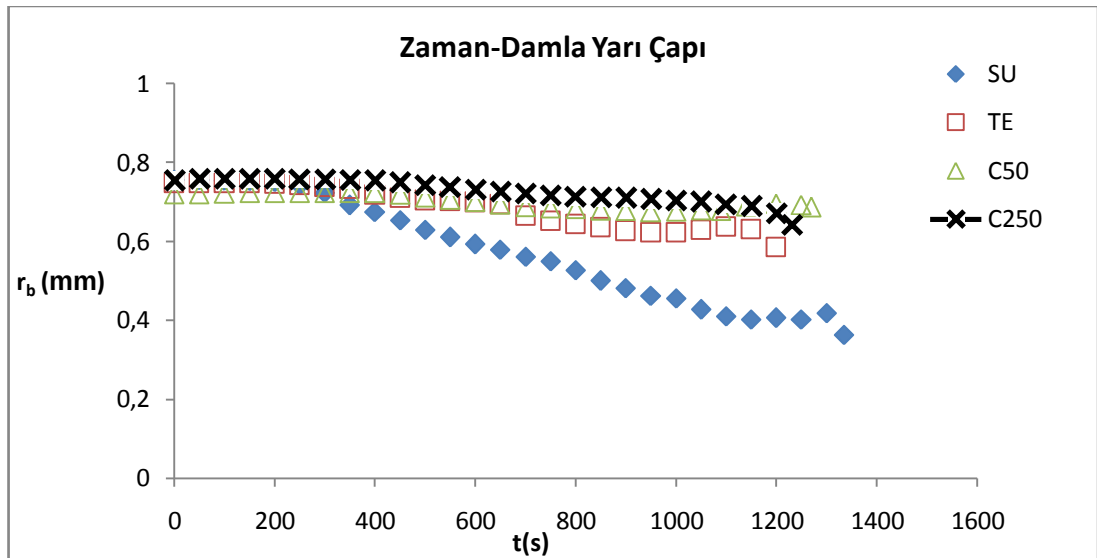
t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	94	0,755	0,793	0,975	0,983
100	89	0,760	0,737	0,882	0,920
200	85	0,760	0,686	0,793	0,857
300	80	0,759	0,632	0,705	0,792
400	75	0,755	0,576	0,618	0,726
500	71	0,745	0,526	0,535	0,659
600	67	0,733	0,477	0,463	0,599
700	61	0,723	0,423	0,390	0,534
800	54	0,715	0,360	0,317	0,465
900	46	0,711	0,291	0,249	0,396
1000	35	0,705	0,221	0,183	0,322
1100	24	0,696	0,147	0,123	0,247
1150	17	0,690	0,110	0,082	0,189

PP yüzeyinde su, Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş veriler kullanılarak çizilen $(\theta-t)$, (r_b-t) , $(h-t)$, $(V-t)$ ve $(V^{2/3}-t)$ grafikleri (9.21)-(9.25) numaralı şekillerde verilmiştir. Şekil 9.21'e bakıldığında, dört damlada 94-98° civarında temas açıları vermişlerdir. Su, başlangıçta düzenli azalırken, 400. saniyeden sonra uzun bir süre sabit temas açısı

modelinde buharlaştıktan sonra, temas açısı düşmeye devam etmektedir. Diğer damlalarda temas açısı buharlaşma boyunca azalmıştır.

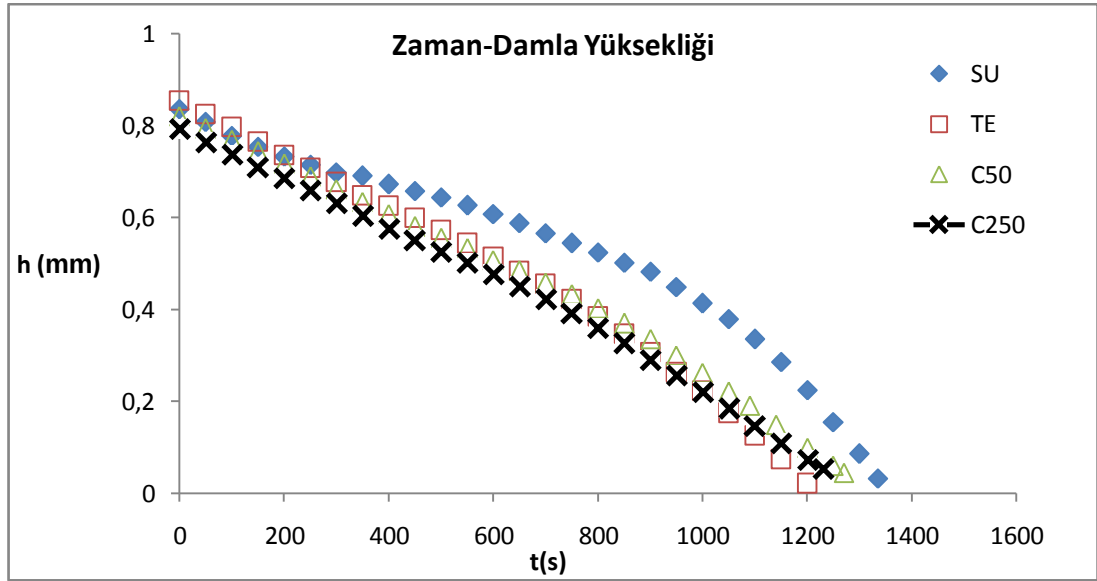


Şekil 9.21. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PP yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısının değişim grafiği.



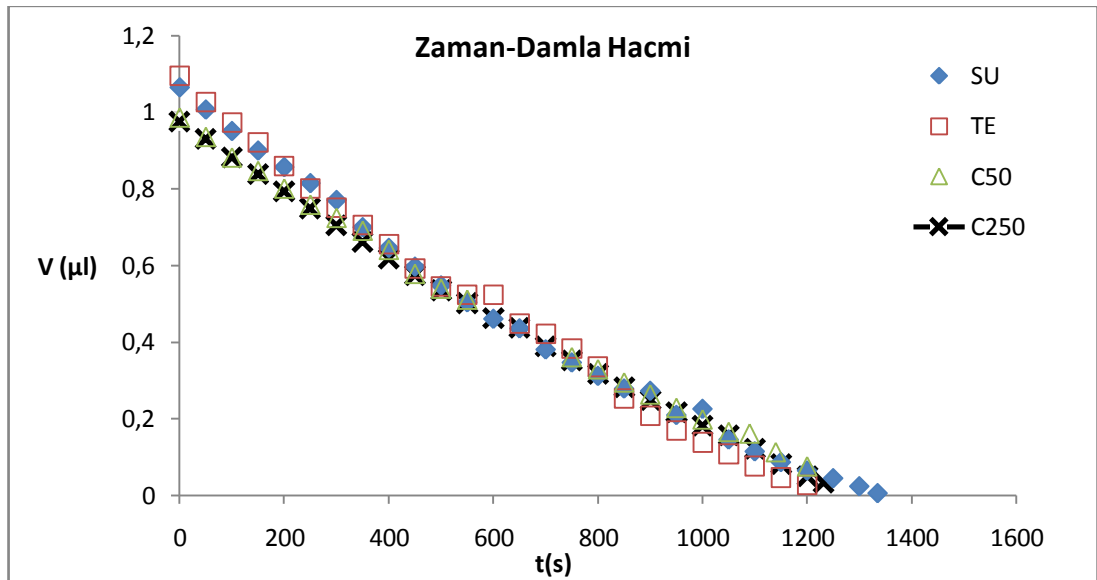
Şekil 9.22. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PP yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.

Şekil 9.22'ye bakıldığında, suyun damla yarıçapının ilk 400 saniye boyunca sabit kaldığı ve sonrasında azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan Tris-EDTA ve DNA damlaları ise başlangıçta temas yarıçapı sabit kalırken sonrasında buharlaşma süresinin sonlarına kadar çok az düşerek devam etmiştir.



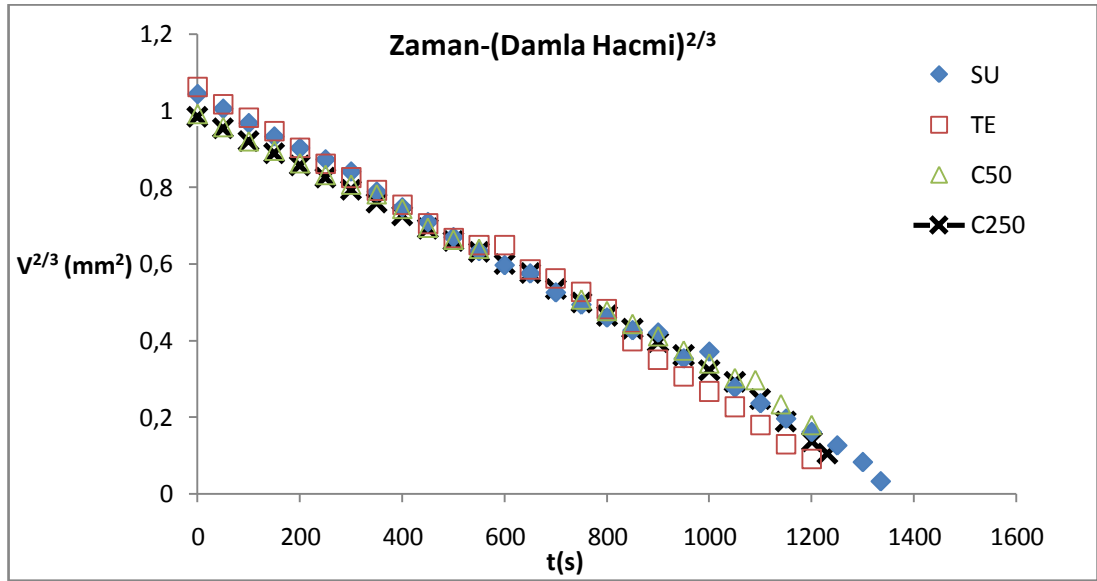
Şekil 9.23. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PP yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliğinin değişim grafiği.

Damla yüksekliklerinin zamanla değişimini gösteren Şekil 9.23'e bakıldığında, Tris-EDTA ve DNA damlalarının yükseklikleri düzenli olarak azalmaktadır. Su damlası ise 300 saniye boyunca yükseklik diğer damlalara benzer şekilde azalırken, bu noktadan sonra lineerlikten saparak azalmaya devam etmiştir.



Şekil 9.24. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PP yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacmi değişim grafiği.

Şekil 9.24’de damla hacimlerinin buharlaşma sonucu zamanla lineer azaldığı gözlenmektedir. Bu grafikteki verilerin eğimleri alınarak sırası ile su, Tris-EDTA ve 50 µg/ml DNA çözeltilerinin buharlaşma hızları 0,00079; 0,00089 ve 0,00074 mm³/s olarak bulunmuştur. Tris-EDTA çözeltisinin buharlaşma hızının su ve DNA çözeltilerinden fazla olduğu görülmektedir. Şekil 9.25’de dört damlanın da $V^{2/3}$ değerinin zamana karşı lineer azaldığı deneysel olarak 5.21’deki eşitlikle tutarlı olduğu görülmektedir.



Şekil 9.25. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin PP yüzeyinde damlalarının zamana göre (damla hacmi)^{2/3} değişim grafiği.

9.1.6. FMA-MMA Üzerinde Buharlaşma Denemeleri

FMA-MMA yüzeyinde buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş deneysel θ_e , r_b , h , V , $V^{2/3}$ verileri su için (9.21), Tris-EDTA için (9.22), Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 µg/ml DNA çözeltisi için (9.23) ve 250 µg/ml DNA çözeltisi için (9.24) numaralı çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 9.21. FMA-MMA yüzeyinde su damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	109	0,687	0,942	1,146	1,095
100	106	0,687	0,892	1,041	1,027
200	102	0,688	0,842	0,942	0,961
300	99	0,688	0,788	0,846	0,894
400	94	0,688	0,732	0,754	0,828
500	89	0,689	0,676	0,665	0,762
600	84	0,689	0,613	0,580	0,695
700	77	0,690	0,548	0,497	0,627
800	73	0,672	0,497	0,415	0,556
900	73	0,628	0,463	0,341	0,488
1000	72	0,585	0,427	0,270	0,418
1100	72	0,535	0,389	0,211	0,354
1200	72	0,480	0,346	0,146	0,277
1300	71	0,416	0,295	0,095	0,208
1400	61	0,366	0,221	0,062	0,157
1500	42	0,292	0,110	0,015	0,061

Çizelge 9.22. FMA-MMA yüzeyinde Tris-EDTA damlasının deneysel verileri.

t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (μl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	107	0,691	0,898	1,081	1,053
100	103	0,692	0,847	0,979	0,986
200	99	0,694	0,795	0,885	0,922
300	95	0,695	0,740	0,808	0,868
400	89	0,697	0,681	0,739	0,817
500	82	0,702	0,622	0,646	0,747
600	76	0,701	0,559	0,550	0,671
700	70	0,695	0,495	0,435	0,574
800	68	0,664	0,452	0,379	0,524
900	64	0,638	0,407	0,292	0,440
1000	59	0,608	0,354	0,227	0,372
1100	49	0,603	0,280	0,174	0,312
1200	39	0,586	0,202	0,128	0,254
1295	17	0,575	0,130	0,079	0,184

Çizelge 9.23. FMA-MMA yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 50 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

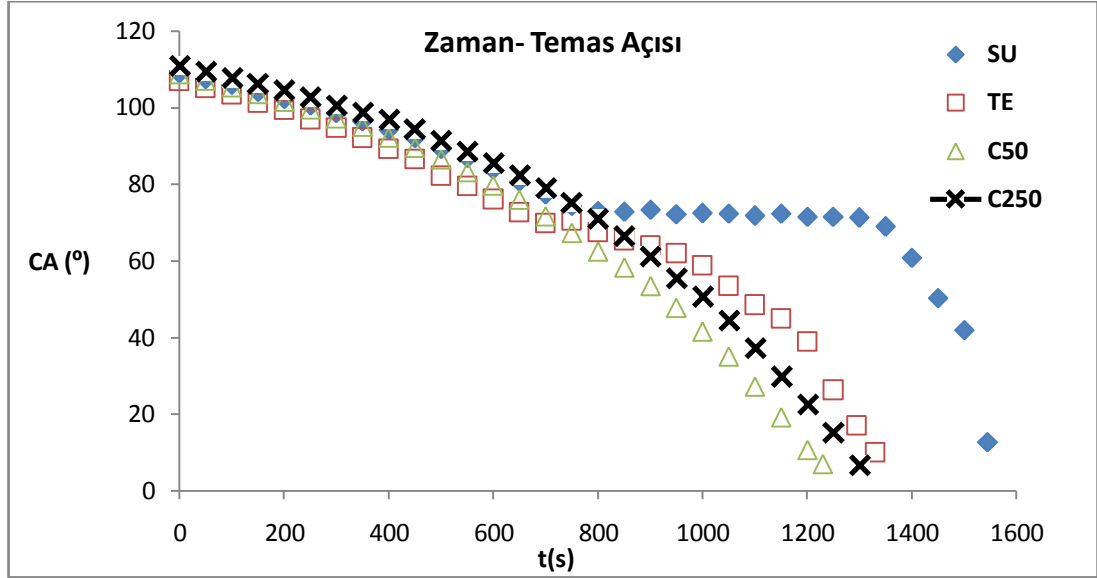
t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	109	0,667	0,906	1,045	1,029
100	105	0,666	0,854	0,944	0,962
200	102	0,665	0,799	0,845	0,894
300	97	0,665	0,741	0,758	0,831
400	92	0,664	0,681	0,676	0,770
500	87	0,663	0,616	0,592	0,705
600	80	0,662	0,548	0,540	0,663
700	72	0,661	0,474	0,443	0,581
800	63	0,658	0,397	0,361	0,507
900	54	0,645	0,322	0,245	0,392
1000	42	0,635	0,239	0,164	0,300
1100	27	0,627	0,149	0,099	0,215

Çizelge 9.24. FMA-MMA yüzeyinde Tris-EDTA çözeltisi içinde 250 µg/ml DNA damlasının deneysel verileri.

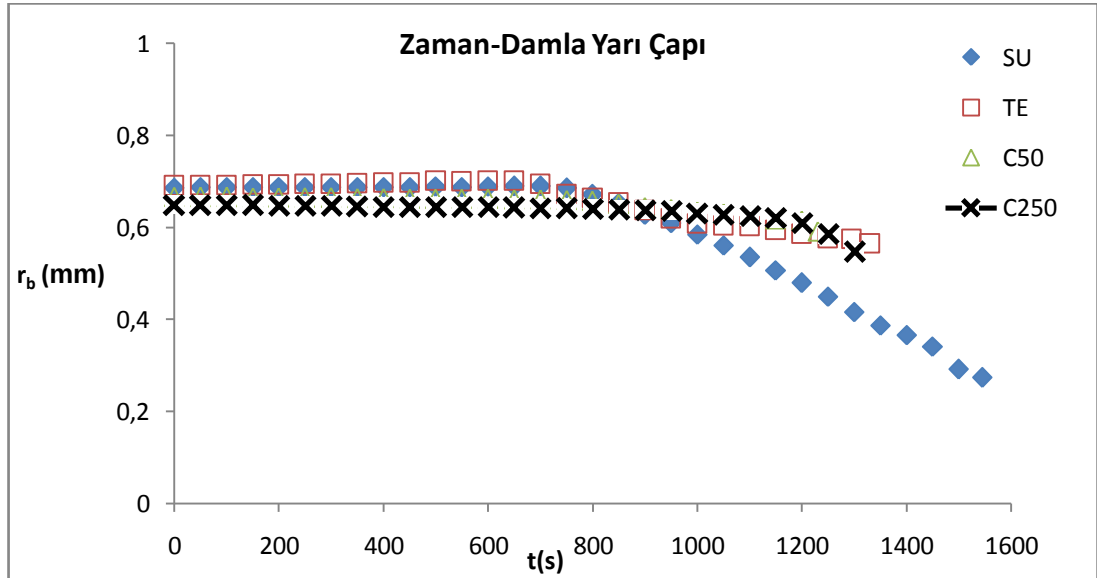
t (s)	θ_e (°)	r_b (mm)	h (mm)	V (µl)	$V^{2/3}$ (mm ²)
0	111	0,650	0,914	1,022	1,015
100	108	0,650	0,865	0,927	0,950
200	105	0,648	0,818	0,838	0,889
300	101	0,648	0,764	0,749	0,825
400	97	0,645	0,710	0,662	0,760
500	92	0,646	0,653	0,580	0,696
600	86	0,645	0,590	0,499	0,629
700	79	0,642	0,525	0,428	0,568
800	71	0,641	0,455	0,343	0,490
900	61	0,639	0,377	0,270	0,417
1000	51	0,632	0,298	0,203	0,346

FMA-MMA yüzeyinde su, Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş veriler kullanılarak çizilen (θ - t), (r_b - t), (h - t), (V - t) ve ($V^{2/3}$ - t) grafikleri (9.26)-(9.30) numaralı şekillerde verilmiştir. Şekil 9.26'ya bakıldığında dört damlada 107-111° civarında temas açıları verdiği ve su hariç diğer damlaların temas açıları düzenli olarak azalmaktadır. Su ise başlangıçta benzer davranış gösterirken 800. saniyeden sonra bir süre sabit temas açısı modelinde buharlaştıktan sonra temas açısı düşmeye devam etmektedir. Şekil 9.27'e bakıldığında suyun damla yarıçapının ilk 750s boyunca sabit kaldığı ve sonrasında

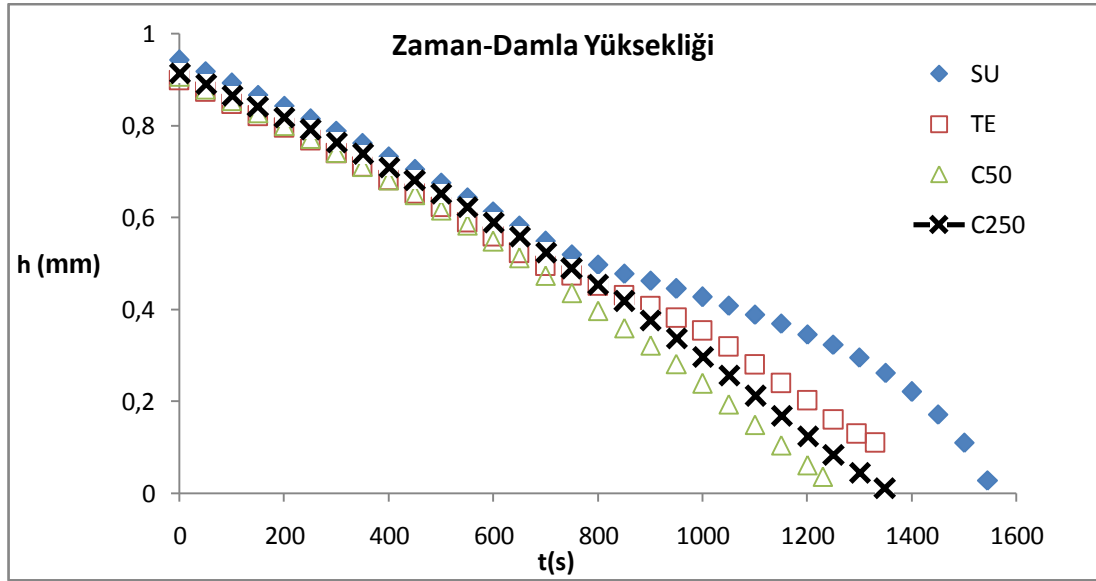
azaldığı görülmektedir. Diğer damlalardan Tris-EDTA 700s boyunca sabit kaldığı ve sonrasında çok az azaldığı görülmektedir. DNA damlaları ise buharlaşma süresinin neredeyse sonlarına kadar başlangıç değerine yakın değerlerde kalmıştır, buda bu damlaların sabit temas alanı modelinde buharlaştığını göstermektedir.



Şekil 9.26. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde damlalarının zamana göre temas açısının değişim grafiği.

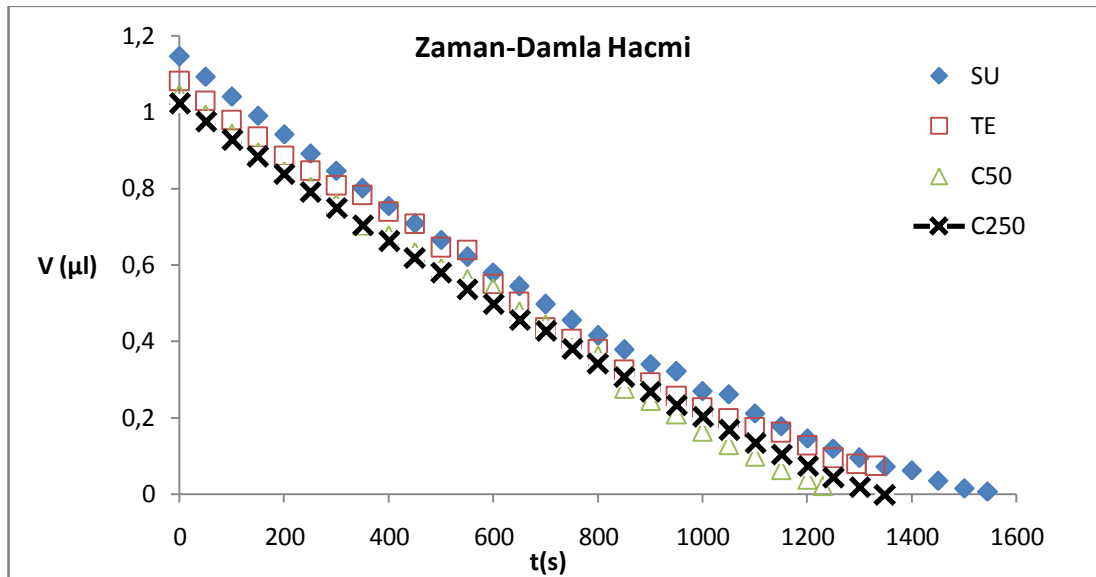


Şekil 9.27. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde damlalarının zamana göre temas yarıçapının değişim grafiği.



Şekil 9.28. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde damlalarının zamana göre damla yüksekliğinin değişim grafiği.

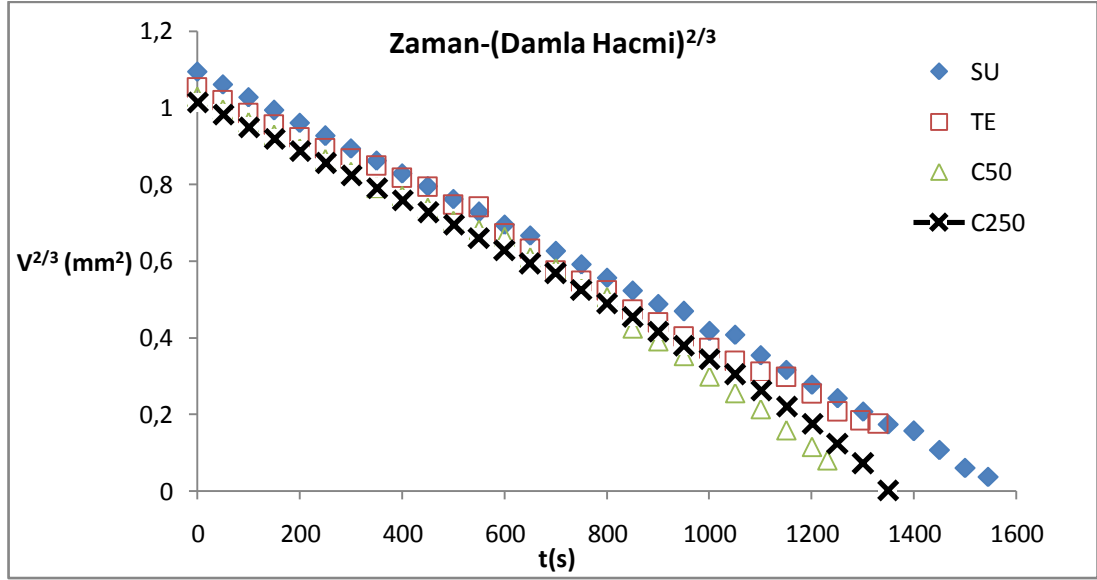
Damla yüksekliklerinin zamanla değişimini gösteren Şekil 9.28'e bakıldığında Tris-EDTA, DNA damlalarının yükseklikleri düzenli olarak azalmaktadır. Su damlasının yüksekliği ise 800 saniye boyunca diğer damlalara benzer şekilde azalırken bu noktadan sonra saparak farklı şekilde azalmaya devam etmiştir.



Şekil 9.29. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde damlalarının zamana göre damla hacminin değişim grafiği.

Şekil 9.29'da damla hacimlerinin buharlaşma sonucu zamanla lineer azaldığı gözlenmektedir. Bu grafikteki verilerin eğimleri alınarak sırası ile su, Tris-EDTA ve 50 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin buharlaşma hızları 0,00075; 0,00078 ve 0,00084 mm^3/s

olarak bulunmuştur. Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin buharlaşma hızlarının sudan az da olsa fazla olduğu görülmektedir. Şekil 9.30'da dört damlanın da $V^{2/3}$ değerinin zamana karşı lineer azaldığı, deneysel olarak 5.21'deki eşitlikle tutarlı olduğu görülmektedir.



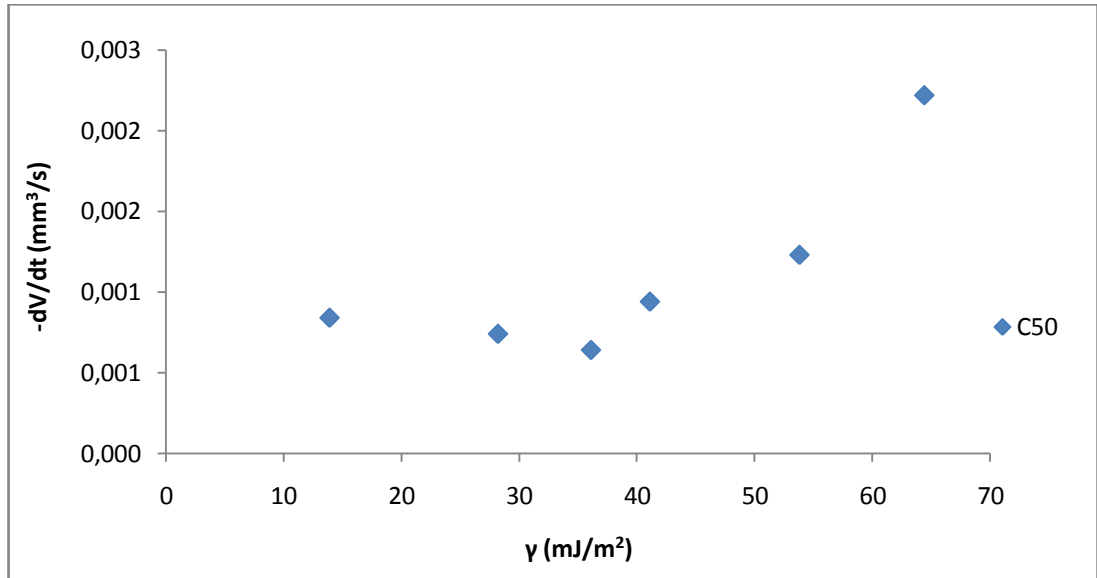
Şekil 9.30. Su, Tris-EDTA, 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin FMA-MMA yüzeyinde damlalarının zamana göre (damla hacmi) $^{2/3}$ değişim grafiği.

9.2. Yüzeyin Buharlaşma Hızı Üzerine Etkisi

DNA damlalarının damlatıldığı yüzeylerin buharlaşma hızına etkisini görmek için 9.1'deki bölümde deneysel verileri ve hacmin zamanla değişimini gösteren grafiklerden elde edilen buharlaşma hızları (eğimleri), yüzeylerin serbest yüzey enerjileri ve 50 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin başlangıç temas açısı değerleri ile birlikte Çizelge 9.25'de verilmiştir. Serbest yüzey enerjisi ile buharlaşma hızlarının gösterildiği Şekil 9.31'deki grafiklere bakıldığında, en hidrofob FMA-MMA ile PS arasında serbest yüzey enerjisi arttıkça buharlaşma hızının azaldığı ama sonrasında serbest yüzey enerjisi artması ve hidrofilliğin artması ile buharlaşma hızı artmıştır. Bu sonucu toplam kuruma süreleri de desteklemektedir. En uzun sürede kuruma PS ve en kısa sürede kuruma cam yüzeyinde olmuştur.

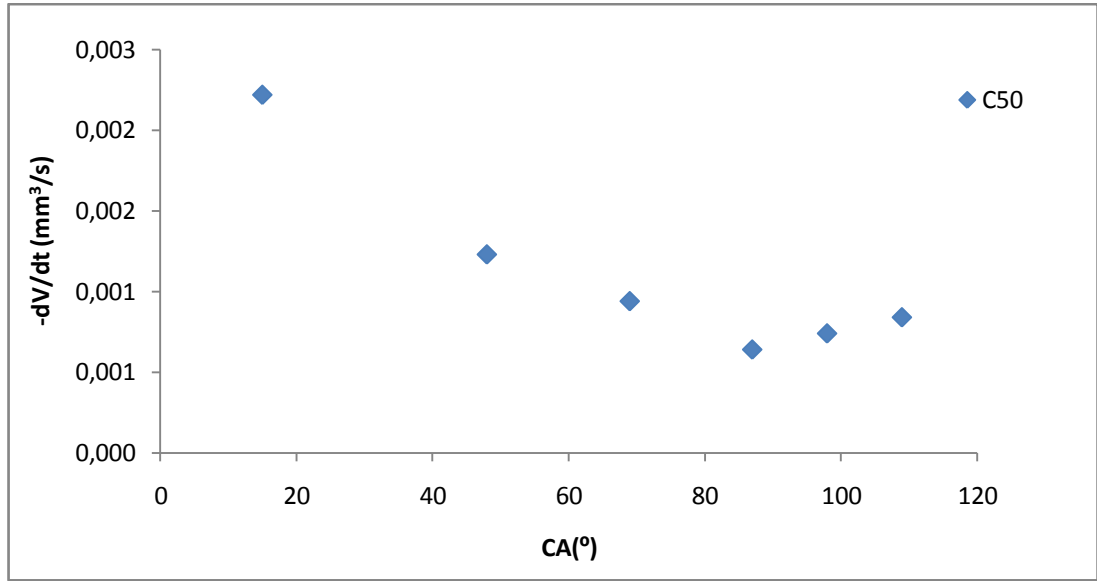
Çizelge 9.25. Su, Tris-EDTA, 50 µg/ml DNA çözeltilerinin altı yüzeyde buharlaşma hızları ($-dV/dt$) değerleri.

Yüzey	Serbest Yüzey Enerjisi (mJ/m^2)	Temas Açısı ($^\circ$)	$-dV/dt$ (mm^3/s)		
			Su	Tris-EDTA	50 µg/ml DNA
CAM	64,4	15±2	0,00182	0,00202	0,00222
PvOH	53,8	48±1	0,00102	0,00117	0,00123
PMMA	41,1	69±1	0,00079	0,00106	0,00094
PS	36,1	87±1	0,00072	0,00061	0,00064
PP	28,2	98±1	0,00079	0,00089	0,00074
FMA-MMA	13,9	109±1	0,00075	0,00078	0,00084



Şekil 9.31. 50 µg/ml DNA çözeltilerinin buharlaşma hızlarının ($-dV/dt$) serbest yüzey enerjisi ile değişim grafiği

DNA damlalarının başlangıç temas açıları ile buharlaşma hızlarının gösterildiği Şekil 9.32'deki grafiklere bakıldığında, 90° 'ye kadar buharlaşma hızı azalmakta ve bu noktadan sonra ise düşmeye başlamıştır. Bu sonuçlar göstermiştir ki damla yarım küre şekline (90° temas açısı veren) yaklaştıkça buharlaşma hızı azalmakta, yarım küre şeklinden uzaklaştıkça buharlaşma hızı artmakta, dolayısı ile buharlaşma süresi azalmaktadır.



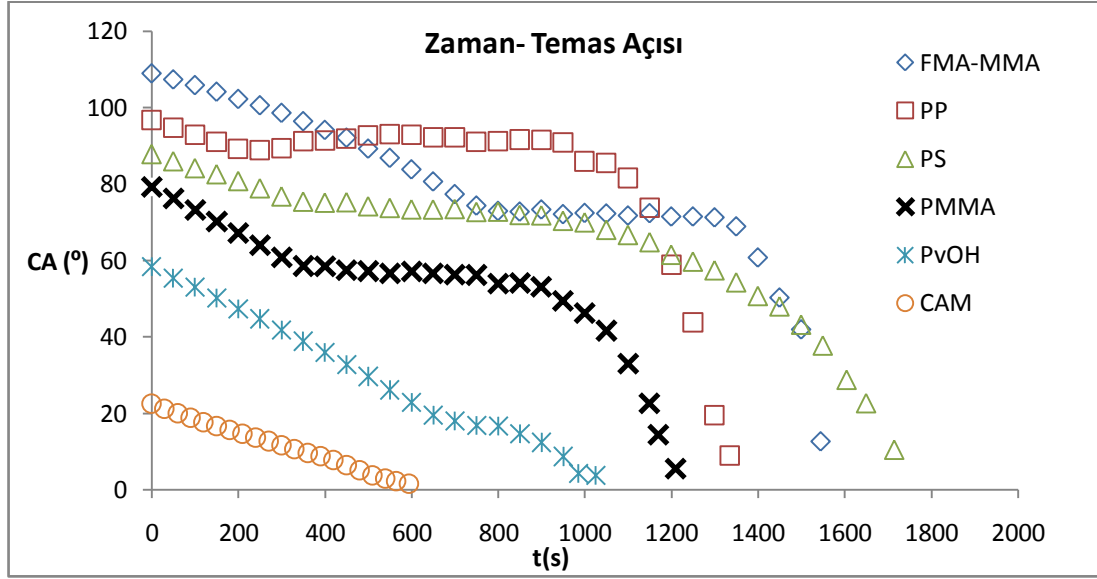
Şekil 9.32. 50 µg/ml DNA çözeltilerinin buharlaşma hızlarının ($-dV/dt$) temas açısı ile değişim grafiği

9.3. Farklı Yüzeylerde Buharlaşma Esnasında Zamana Bağlı Değişimler

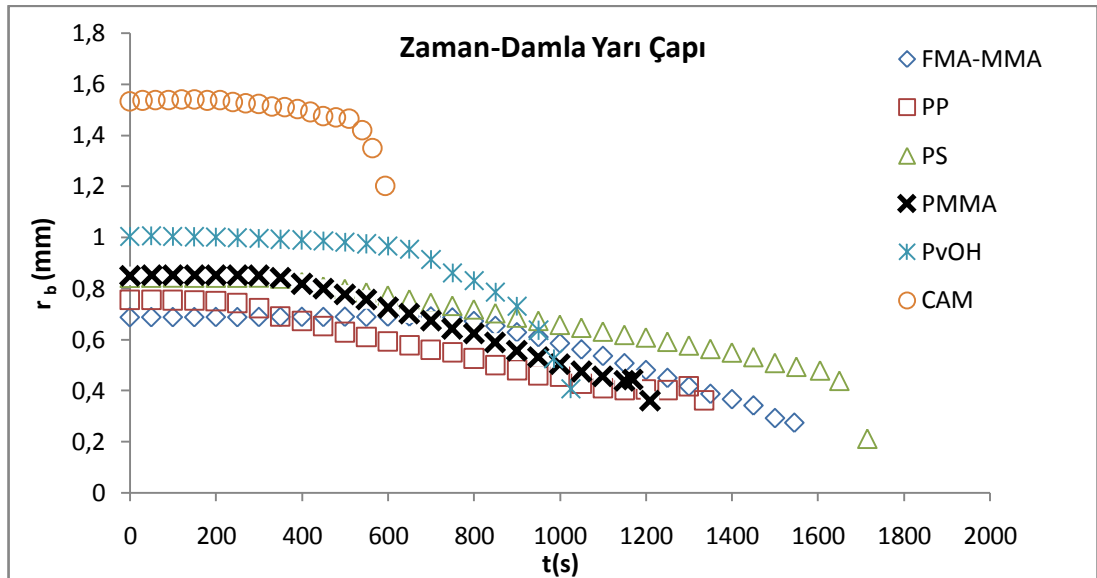
Bu çalışmada DNA çözeltilerinden oluşturulan damlaların katı yüzeyler üzerinde buharlaşma dinamiklerine ve buharlaşma sonunda bıraktıkları kalıntılara odaklanılmıştır. DNA çözeltisi su, Tris-EDTA tamponu ve DAPI bağlı DNA'dan oluştuğundan su ve Tris-EDTA'nın buharlaşmaları da takip edilerek DNA çözeltisinin buharlaşmasının dinamiklerine etkisine bakılmıştır. Bulgular bölümünde su, Tris-EDTA, 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin altı yüzey üzerinde yapılan denemelerin verileri ve grafikleri verilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin damlalarının buharlaşma süresince damla hacmi, yarıçapı, yüksekliği ve temas açısı değerleri birbirine çok yakın olmuştur. Buda Tris-EDTA'nın DNA buharlaşma davranışını etkileyen en büyük faktörlerden bir olduğunu ortaya koymaktadır.

Yüzey gerilimi $72,3 \pm 0,1$ mN/m olan suyun tüm yüzeylerde ki buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş veriler kullanılarak çizilen $(\theta-t)$ ve (r_b-t) grafikleri (9.33)-(9.34) numaralı şekillerde gösterilerek yüzeyin su damlası buharlaşması üzerinde etkisine bakılmıştır. Farklı ıslanma özelliklerine sahip yüzeyler üzerinde

suyun farklı buharlaşma davranışları (sabit temas açısı modelinde, sabit temas alanı modelinde veya bunların karışımı) sergilemiştir. Cam yüzeyi hariç beş yüzeyde temas açıları azalırken belli bir süre temas açısının sabit kaldığı dönemler olduğu Şekil 9.33'de görülmektedir. Diğer taraftan su damlasının temas yarıçapları başta belli bir süre sabit kalmakta ve sonrasında azalarak buharlaşmaya devam ettiği Şekil 9.34'de görülmektedir.

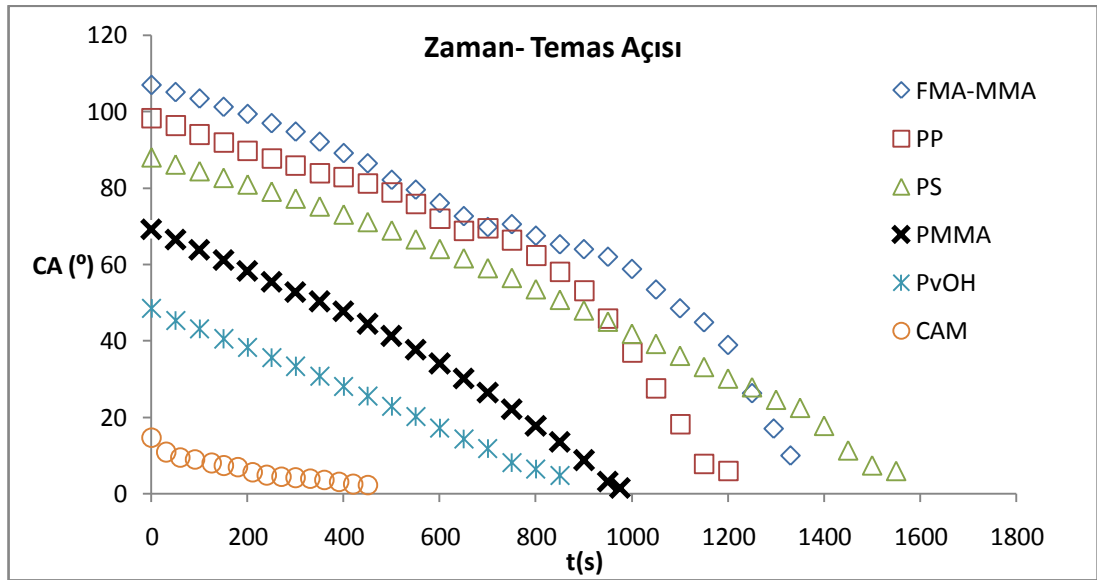


Şekil 9.33. Su damlaların farklı yüzeylerde zamana göre temas açılarının değişim grafiği.

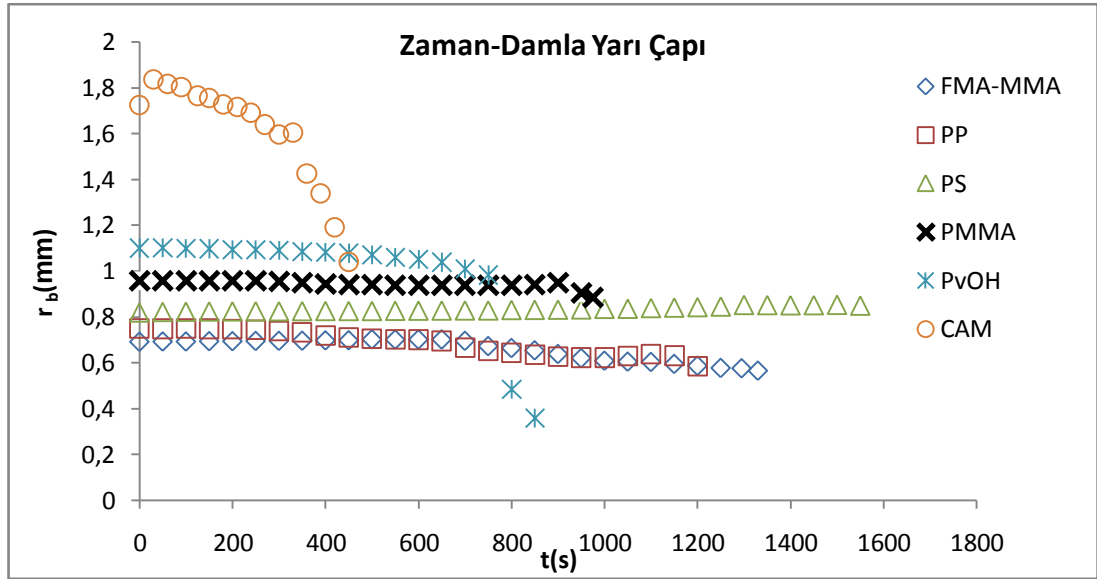


Şekil 9.34. Su damlaların farklı yüzeylerde zamana göre damla yarıçaplarının değişim grafiği.

Yüzeyin Tris-EDTA damlası buharlaşması üzerinde etkisini incelemek için yüzey gerilimi $68,5 \pm 0,5$ mN/m olan Tris-EDTA'nın tüm yüzeylerde ki buharlaşma denemelerinden analiz edilmiş veriler kullanılarak çizilen $(\theta-t)$ ve (r_b-t) grafikleri (9.35)-(9.36) numaralı şekillerde gösterilmiştir. Su damlasının buharlaşmasından farklı olduğu açıkça görülmüştür. Şekil 9.35'e bakıldığında damlaların daha çok sabit temas alanı modelinde buharlaştığı ve sadece hidrofobik yüzeylerde çok kısa süre sabit temas açısında buharlaşma gerçekleşmiştir. Bunu destekleyende temas yarıçaplarında ki sabitlenmedir (Şekil 9.36). Damlalar neredeyse buharlaşmalarının sonlarına kadar baştaki temas yarıçapına yakın değerlerde devam etmişlerdir. Daha çok Cam, PvOH ve PMMA yüzeylerinde buharlaşmasının sonlarına doğru temas açıları azalma görülürken diğerlerinde çok az azalma olmuştur.

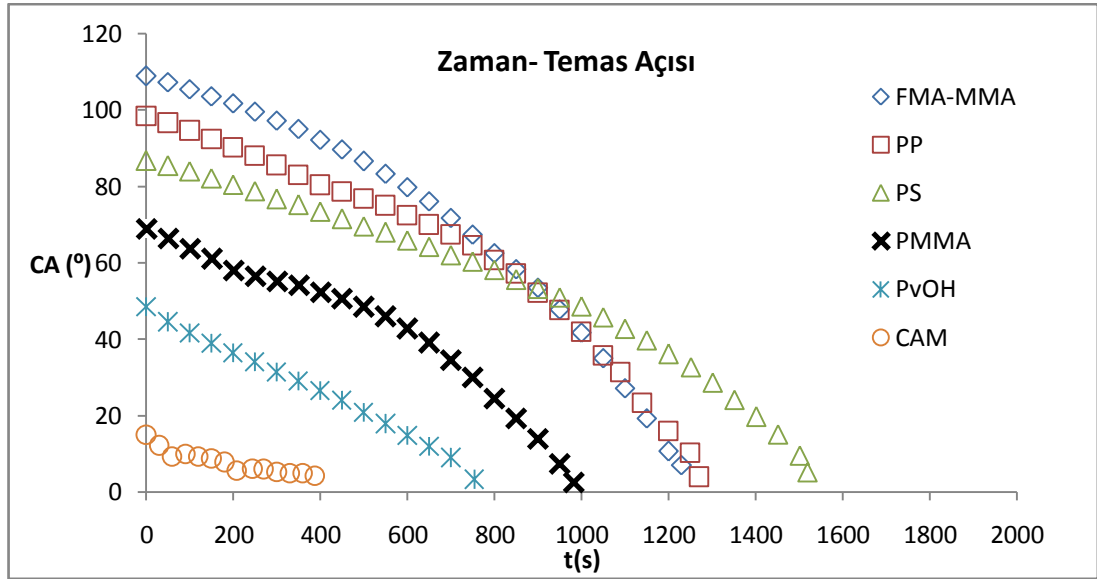


Şekil 9.35. Tris-EDTA çözeltisinin damlaların farklı yüzeylerde zamana göre temas açılarının değişim grafiği.

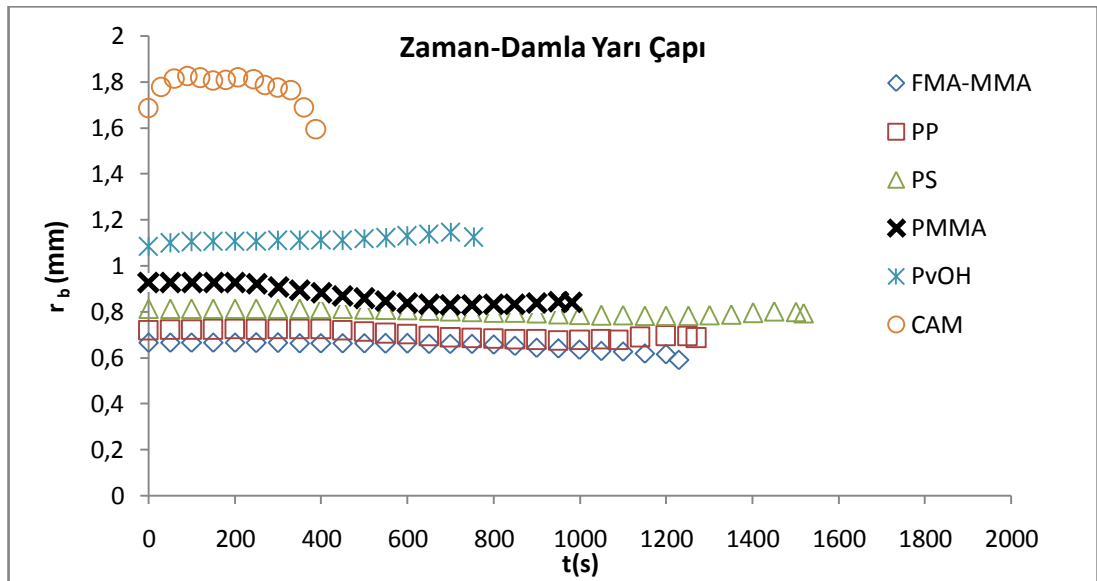


Şekil 9.36. Tris-EDTA çözeltisinin damlaların farklı yüzeylerde zamana göre damla yarıçaplarının değişim grafiği.

Yüzeyin DNA damlalarının buharlaşması üzerinde etkisini incelemek için 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin buharlaşmaları takip edilmiştir. Bu iki konsantrasyonda DNA damlalarının buharlaşma davranışları birbirine çok benzer olduğundan yüzey gerilimi $69,1 \pm 0,8$ mN/m olan 50 $\mu\text{g/ml}$ konsantrasyonlu olanın altı yüzeyde buharlaşma sonucu elde edilen veriler kullanılarak $(\theta-t)$ ve (r_b-t) grafikleri çizilerek (9.37)-(9.38) numaralı şekillerde gösterilmiştir. Daha önce bahsettiğimizi doğrular şekilde Tris-EDTA ile benzer grafikler vermiştir. Fakat Tris-EDTA'dan farklı olarak hidrofobik yüzeylerde temas açısı hiç sabit kalmayarak sürekli olarak azalmaktadır (Şekil 9.37). Su damlasından çok farklı buharlaştığı da açıkça görülmektedir. DNA damlaları buharlaşma süresince sabit temas alanı modelinde buharlaştığı temas yarıçaplarının değişim grafiğinden anlaşılmaktadır (Şekil 9.38). Damlalar neredeyse buharlaşmalarının sonlarına kadar baştaki temas yarıçapına yakın değerlerde devam etmişlerdir. DNA damlalarının buharlaşma sürelerine bakıldığında hidrofobik yüzeylerde serbest yüzey enerjisi azaldıkça buharlaşma hızı düzenli olarak azalmış dolayısı ile buharlaşma süresi artmış ama hidrofob yüzeylerde ise PS'e kıyasla daha kısa sürede buharlaşmıştır.



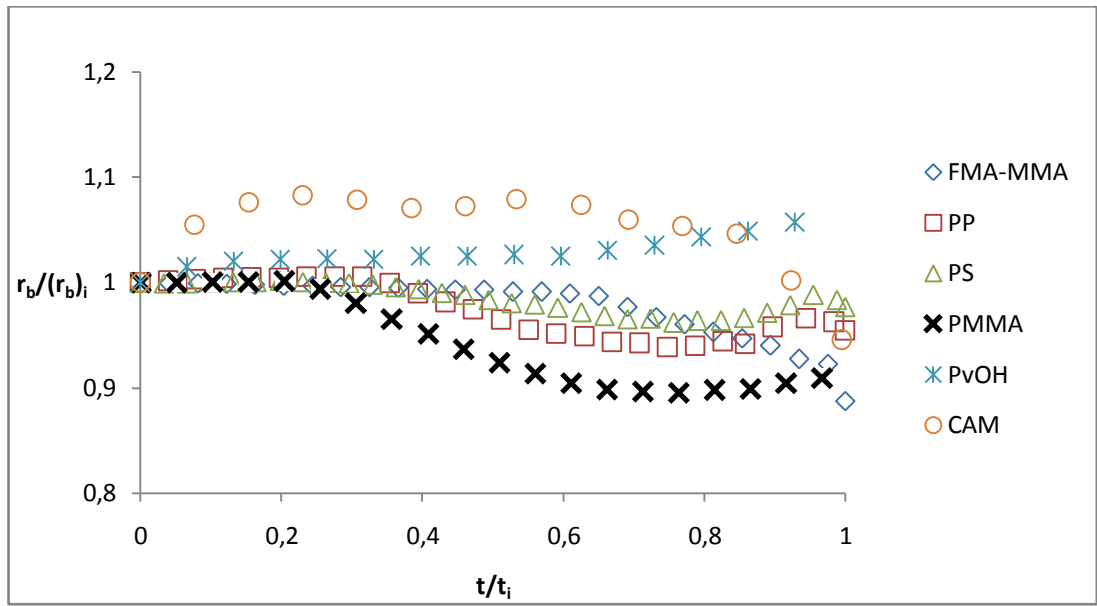
Şekil 9.37. 50 µg/ml DNA çözeltisinin damlaların farklı yüzeylerde zamana göre temas açılarının değişim grafiği.



Şekil 9.38. 50 µg/ml DNA çözeltisinin damlalarının farklı yüzeylerde zamana göre temas açılarının değişim grafiği.

Ayrıca DNA damlalarında buharlaşma esnasında temas yarıçaplarındaki değişimi daha net görebilmek için damla yarıçapları ve zaman normalleştirilerek grafikleri çizilmiştir (Şekil 9.39). Bu şekilde damla yarıçapının başlangıç değerine göre nasıl saptığı görülmektedir. Cam üzerinde DNA damlası başlangıçta genişlemiş ve buharlaşmanın sonlarında damla yarıçapı başlangıç değerlerine geri dönmüştür. PvOH yüzeyinde ise damla buharlaşmanın başından sonuna kadar yavaş yavaş genişleyerek başlangıç yarıçapına göre yaklaşık %5 oranında artmıştır. PS ve PP

yüzeylerinde damlaların yarıçapları buharlaşmanın başlarında sabit kalmış, sonrasında başlangıç yarıçaplarına göre %5 kadar azalmıştır. Fakat buharlaşmanın sonlarında tekrar yarıçapları artarak başlangıç değerlerine yakın değerlerde sonlanmıştır. PMMA ve FMA-MMA yüzeylerinde ise damlaların yarıçapları belli süre sabit kalmış ve sonrasında başlangıç değerlerine göre %10 kadar azalarak sonlanmıştır. Temas yarıçaplarının gösterildiği (Şekil 9.38) grafikte de görüldüğü gibi damlalar buharlaşma süresince başlangıç yarıçaplarına yakın değerlerde kalmışlardır. Buda damlaların sabitlenerek sabit temas alanı modelinde buharlaşarak düzleştiğini göstermiştir.



Şekil 9.39. 50 µg/ml DNA çözeltisinin farklı yüzeylerde normalleştirilmiş zamana göre normalleştirilmiş temas yarıçapların değişim grafiği

9.4. Serbest Yüzey Enerjisi ve Temas Açısının DNA kalıntısına Etkisi

Bu çalışmada kullanılan altı yüzeyin Van Oss–Good metodu ile hesaplanmış serbest yüzey enerjisi, su ile verdiği başlangıç temas açısı ve temas açısı karmaşası değerleri Çizelge 9.26’da verilmiştir.

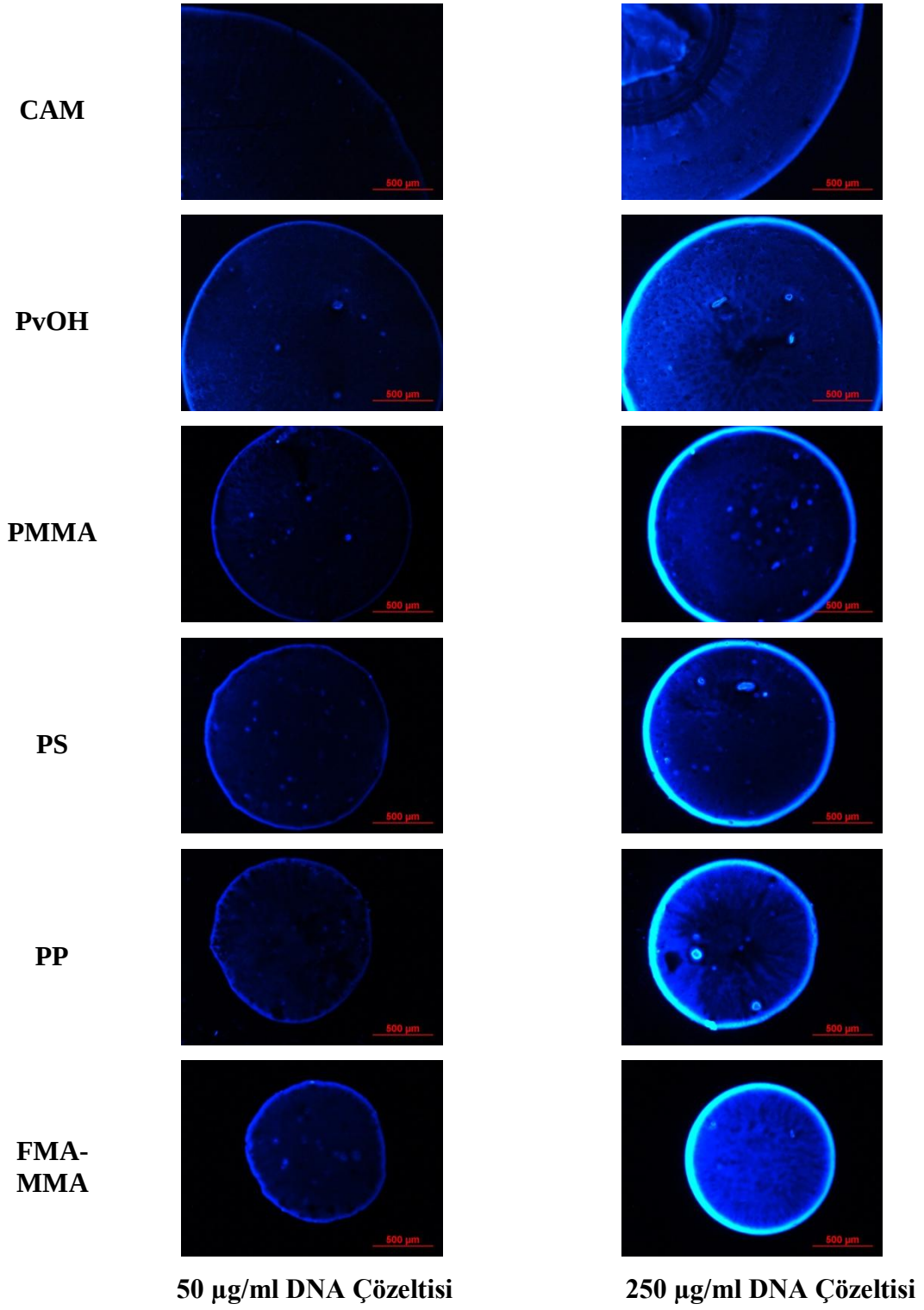
Çizelge 9.26. Yüzey özellikleri; serbest yüzey enerjisi, temas açısı ve temas açısı karmaşası değerleri

Yüzey	Serbest Yüzey Enerjisi (mJ/m ²)	Temas Açısı (°)	Temas Açısı Karmaşası (°)
FMA-MMA	13,9	109±1	44±1
PP	28,2	97±1	15±1
PS	36,1	88±1	16±1
PMMA	41,1	79±1	22±1
PVOH	53,8	58±1	44±1
CAM	64,4	23±2	24±1

Buharlaşmaları takip edilen 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin bıraktıkları kalıntıların Floresan mikroskobunda çekilmiş görüntüleri Şekil 9.40'da verilmiştir. Bunların çap ölçümleri de Çizelge 9.27'de verilmiştir. Başlangıç damla çapları buharlaşma sonunda kalıntı çapları ile kıyaslandığında çok az farklılık olması daha önce söylendiği gibi DNA damlalarının temas alanının sabitlenerek buharlaştığının başka bir göstergesidir. Buharlaşmanın başından sonuna kadar damla çevresi sabitlenerek buharlaşması, damlanın kenarlardan buharlaşması ve damla kenarında ki buharlaşmanın sebep olduğu kenarlara sıvı akışı da damla içindeki DNA zincirlerini damla kenarına toplayarak halka oluşumuna sebep olmuştur. Bu halka şekilli kalıntılar floresan görüntülerinde görülmektedir.

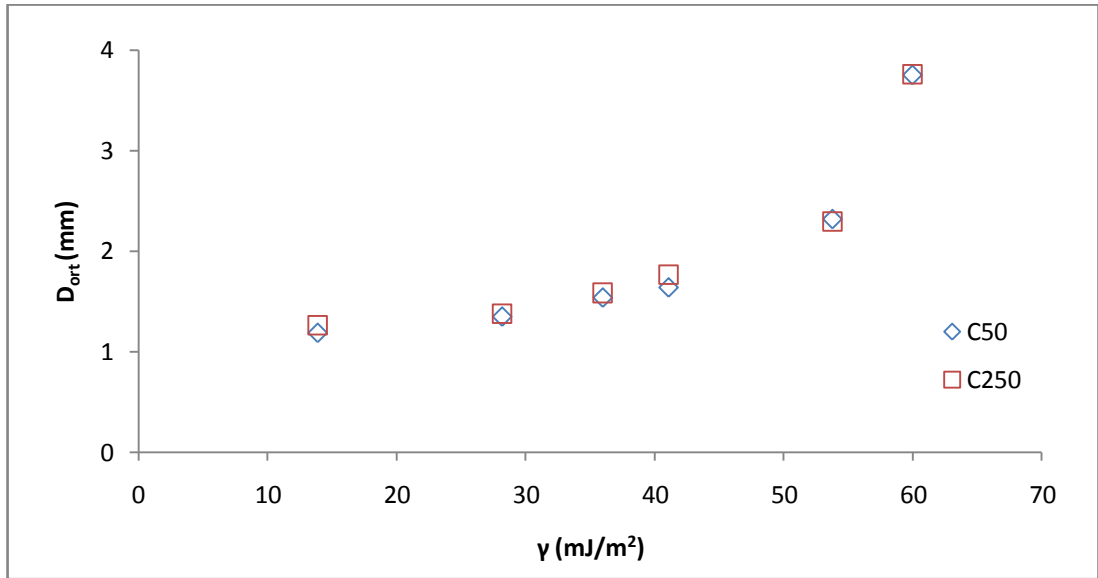
Çizelge 9.27. Damlaların başlangıç çapları ve bıraktığı kalıntıların çapları

Yüzey	50 µg/ml DNA		250 µg/ml DNA	
	Damla Çapı L_{ort} (mm)	Kalıntı Çapı D_{ort} (mm)	Damla Çapı L_{ort} (mm)	Kalıntı Çapı D_{ort} (mm)
FMA-MMA	1,273±58	1,188±58	1,287±13	1,263±3
PP	1,467±31	1,349±87	1,498±27	1,378±59
PS	1,630±44	1,538±19	1,641±28	1,584±24
PMMA	1,858±13	1,639±14	1,845±16	1,767±65
PVOH	2,325±165	2,318±107	2,281±73	2,293±38
CAM	3,315±298	3,749±284	3,179±478	3,755±171



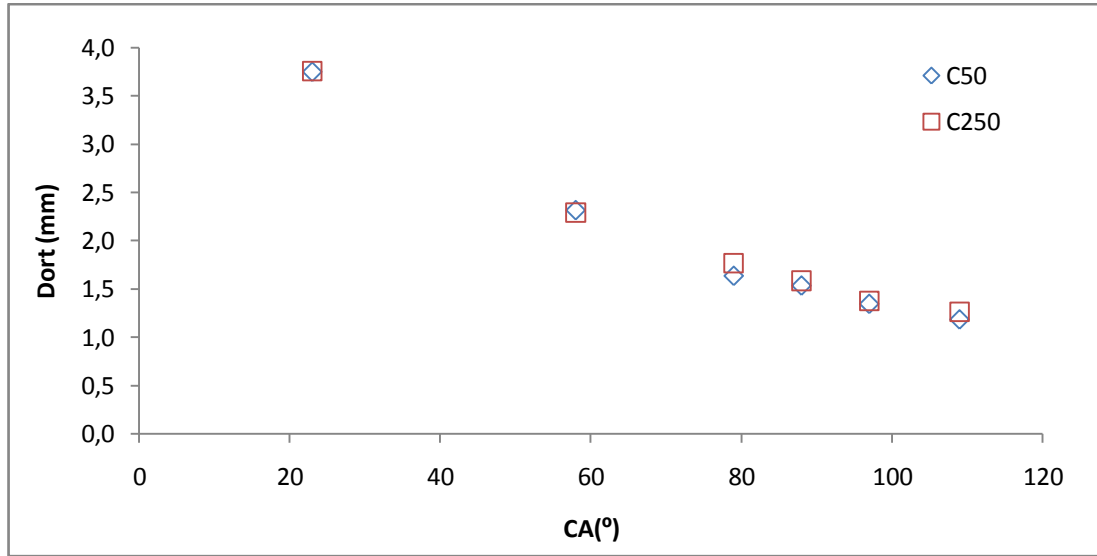
Şekil 9.40. 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin altı yüzeyde bıraktıkları kalıntıların floresan görüntüleri.

İlk kez Deegan tarafından partikül içeren damlalar buharlaşırken kapileri kuvvetten dolayı temas çizgisi çevresinde buharlaştığını buda sıvı akışı ile partiküllerin temas çizgisine taşınmasına sebep olarak kahve halkası yapılar oluştuğu gösterilmiştir [Deegan, 1997]. Bizim çalışmamızda da aynı etki ile DNA içeren damlalar sabitlenerek buharlaşması sonunda halka yapılı kalıntılar vermiştir. Bu kalıntıların çapları doğal olarak bulundukları yüzeyin serbest yüzey enerjisinin artması ile artmış ve halka kalınlıkları da azalmıştır. Diğer taraftan çalışılan 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA konsantrasyonların da aynı yüzey üzerinde DNA kalıntı çapları birbirlerine yakın olmuştur. Konsantrasyon artıka halkada ki floresan yoğunluğu artmıştır.

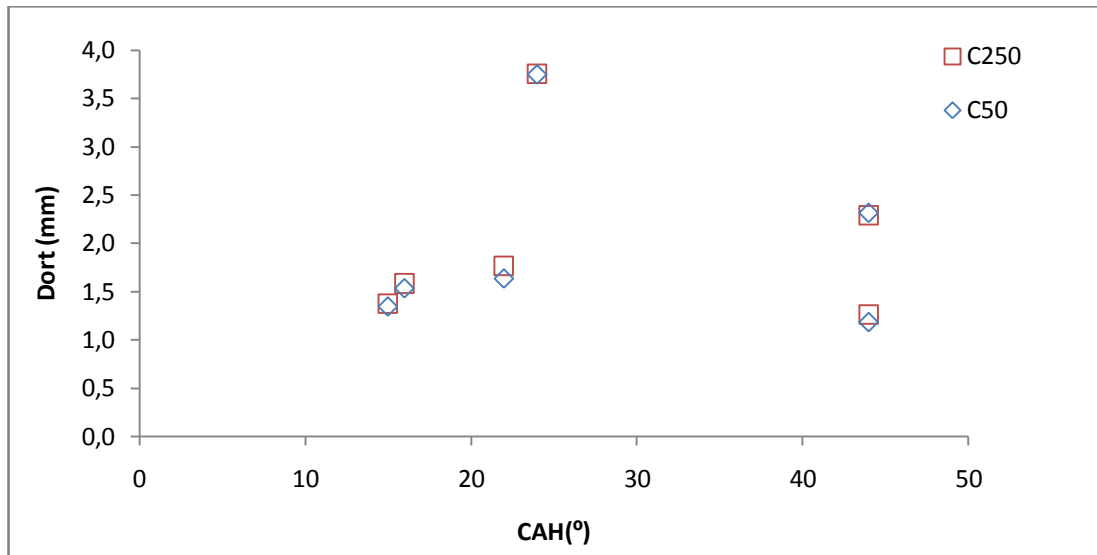


Şekil 9.41. 50 ve 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin serbest yüzey enerjisine göre kalıntı çaplarındaki değişim grafiği.

Ayrıca kalıntı çaplarının serbest yüzey enerjisiyle arttığını gösterir grafikte (Şekil 9.41) bu sonuçları desteklemektedir. Yüzeylerin serbest yüzey enerjisi artması ile su ile verdikleri temas açıları düşmektedir. Temas açısı düşen DNA damlaları da yüzeyler üzerinde daha çok yayılmakta buda büyük çaplı kalıntılar vermektedir. Temas açısının artması ile daha az yayılan damlalar sabit temas alanı modelinde buharlaştıktan sonra daha küçük kalıntı çapları vermektedir. Temas açısı ile kalıntı çapında ki değişim Şekil 9.42’de gösterildiği gibi, tam olarak lineer olmasa da düzenli ilerlemektedir. Diğer taraftan temas açısı karmaşasında ise temas açısındaki gibi düzenli değişimler görülmemektedir (Şekil 9.43).

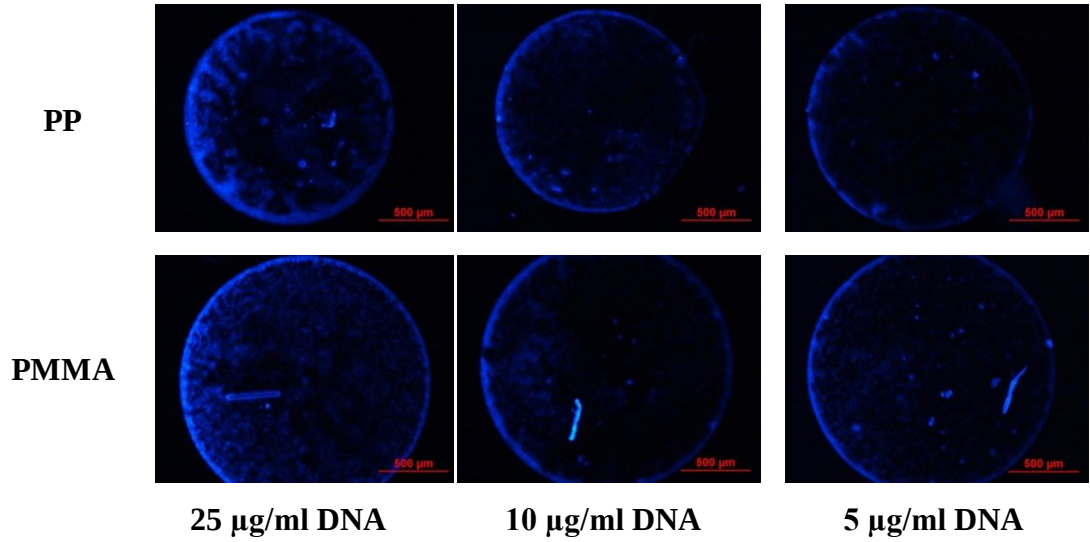


Şekil 9.42. 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin su ile başlangıç temas açılarının göre kalıntı çaplarındaki değişim grafiği.



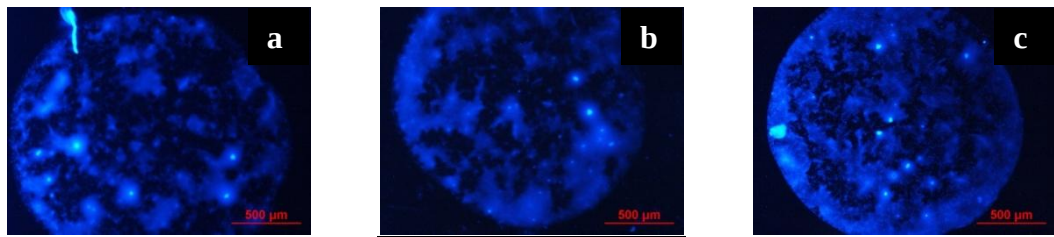
Şekil 9.43. 50 ve 250 µg/ml DNA çözeltilerinin temas açısı karmaşasına göre kalıntı çaplarındaki değişim grafiği.

Daha düşük konsantrasyonlu (5, 10 ve 25 µg/ml) DNA damlalarının buharlaşma sonunda bırakacakları kalıntıları konsantre DNA kalıntıları ile kıyaslamak için PP ve PMMA yüzeylerinde denemeler yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 9.44'de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında boyutsal olarak farklılık gözlenmemiştir. Tüm çalışmada 5-250 µg/ml aralığında hazırlanan DNA çözeltilerinin damlalarının sabit temas alanı modelinde buharlaşmış ve buharlaşma sonunda kahve lekesi denilen halkalar oluşturmuştur.

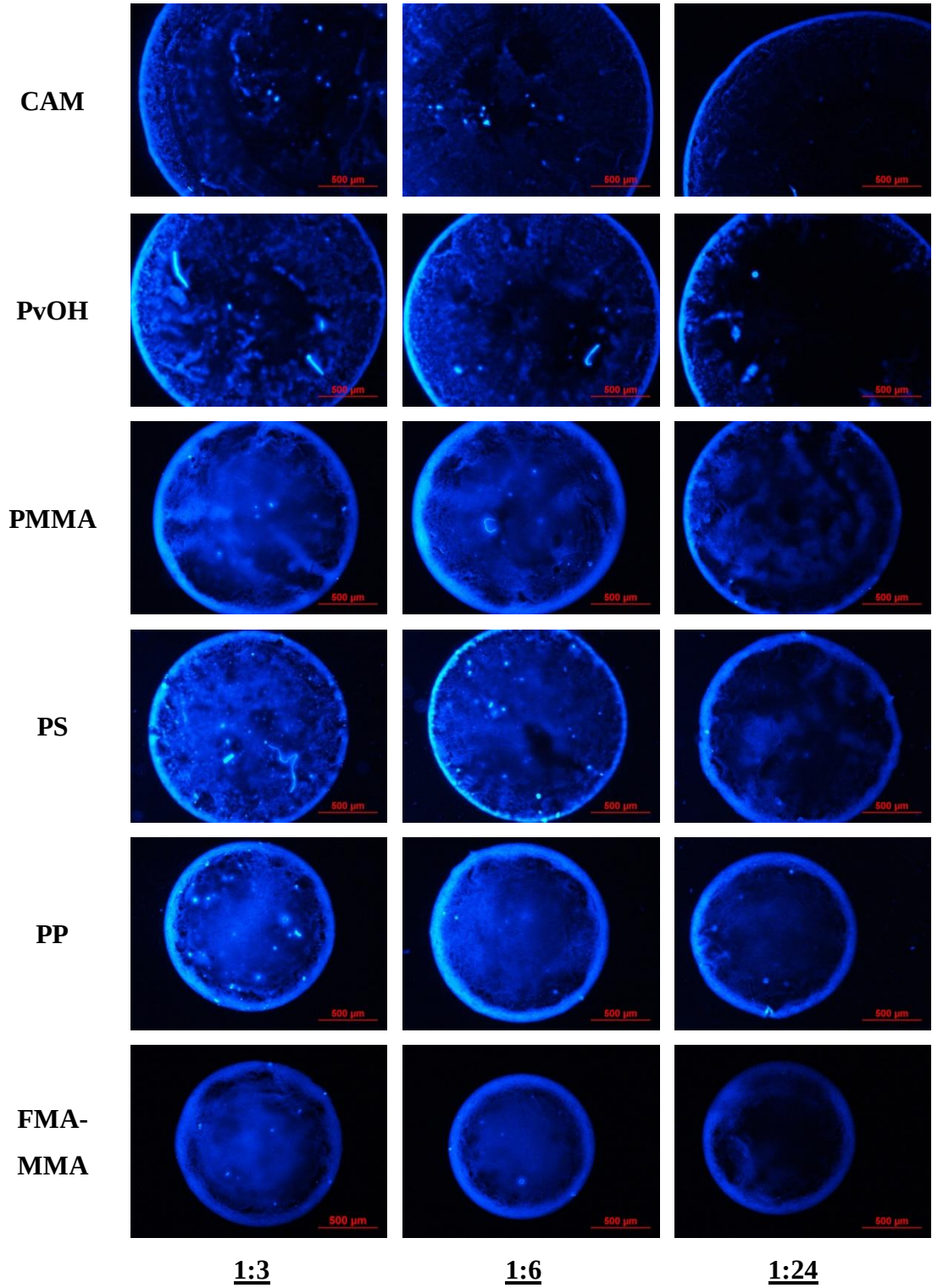


Şekil 9.44. 25, 10 ve 5 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin PP ve PMMA yüzeylerinde bıraktıkları kalıntılarının floresan mikroskopunda çekilmiş görüntüleri.

DNA ile Tris-EDTA damlalarının buharlaşma dinamiklerinin çok benzer olması floresan görüntüsü alınan kalıntılarda oluşan halkanın tamamen DAPI bağlı DNA'lerden mı, yoksa bağlanmamış DAPI molekülerinin Tris-EDTA tarafından damla çevresine taşınması ile oluşmuş olabilir mi sorusunu akla getiriyor. DNA içermeyen Tris-EDTA çözeltisinde DAPI'nin nasıl davranış gösterdiğini anlamak için PS, PP ve PMMA yüzeylerinde damlalar damlatılmıştır. Şekil 9.45'de görüldüğü gibi DAPI'ler kalıntılar içinde düzensiz dağılmışlar ve halka oluşumu görülmemiştir. Buharlaşma sonunda halka oluşumu DAPI bağlı DNA'ların varlığını göstermektedir.



Şekil 9.45. DNA içermeyen çözeltilerin (a) PS, (b) PP ve (c) PMMA yüzeylerinde bıraktıkları kalıntıların floresan görüntüleri.



Şekil 9.46. Üç farklı DAPI (1:3, 1:6 ve 1:24) oranlarında hazırlanmış 50 µg/ml DNA çözeltilerinin bıraktıkları kalıntıların floresan görüntüleri.

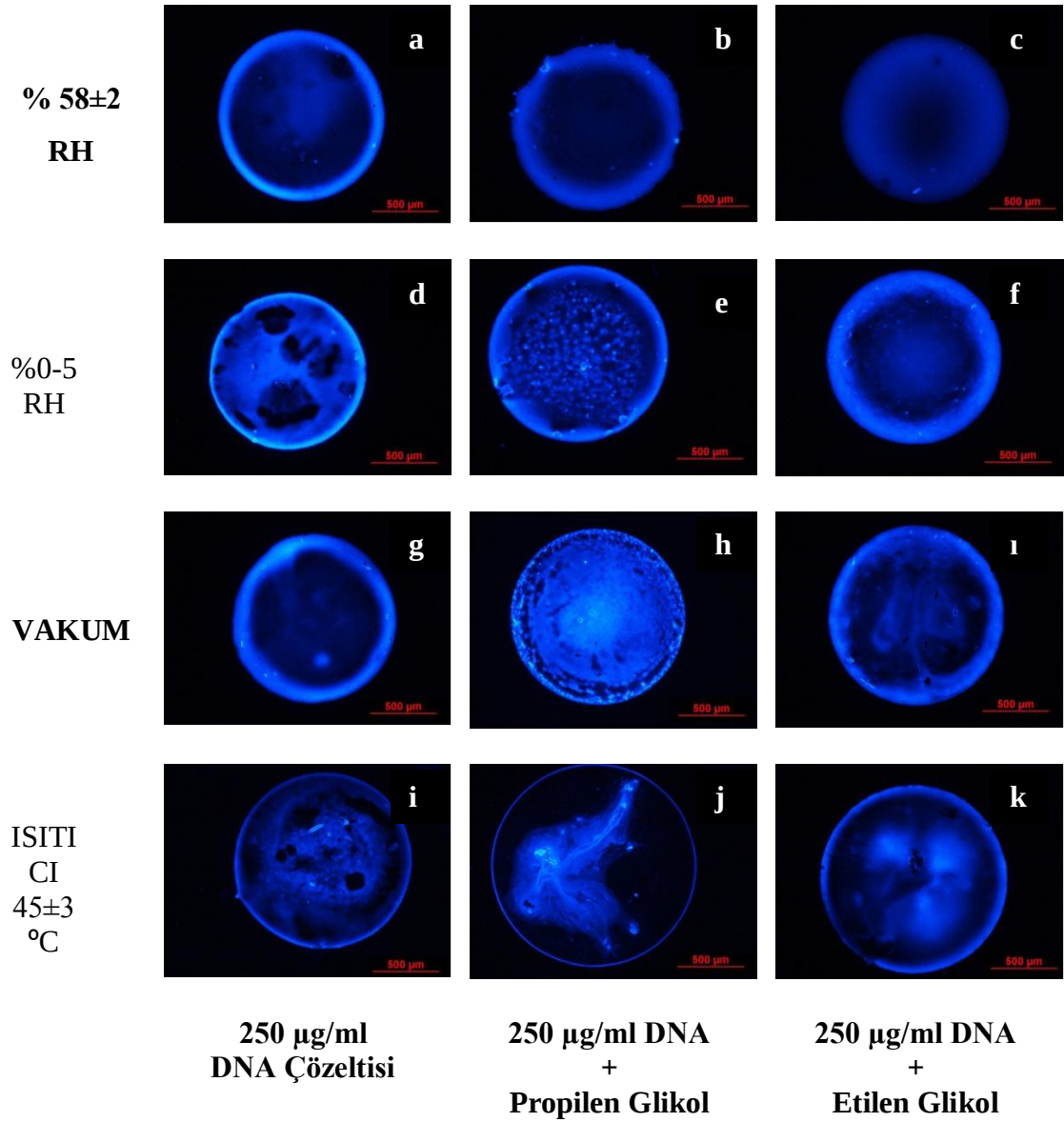
Farklı DAPI oranları denenerek DAPI'nin etkisi de incelenmiştir (Şekil 9.46). Farklı DAPI oranları buharlaşmayı etkilememiştir, dolayısı ile buharlaşma sonunda oluşan kalıntıların şekil ve boyutları olarak birbirine yakın çıkmıştır. Konsantre DAPI içeren damlalar (1:3) ve (1:6) diğerlerine oranla kalıntıların merkezinde

fazladan maviliğe sebep olarak yanılmalara sebep olabileceği düşünülerek tercih edilmemiştir. Bunun yerine tüm denemelerde DNA'lar (1:12) oranında boyanmıştır.

9.5. Homojen DNA Kalıntısı Eldesi: Düşük Nem, Vakum, Isıtma ve Glikollerin Etkileri

Bizim çalışmamızda ve diğer çalışmalarda [Fang, 2006; Heim, 2005; Smalyukh, 2006] olduğu gibi DNA damlaları buharlaştıkları yüzeyde genelde kahve halkası şekiller bırakmaktadır. Buda bazı uygulamalarda özellikle mikroçip uygulamasında veri alınması ve yorumlanmasında hatalara sebep olduğundan problem olarak görülebilmektedir. Bu tip durumlarda halka yerine üniform veya homojen film halinde kalıntılar istenmektedir. Araştırmacılar DNA çözeltilerinin farklı ortam koşullarında buharlaştırılması, yüzey aktif maddeleri veya katkı maddeleri eklenmesi gibi çalışmalarda bulunarak halka oluşumunun etkilerini incelemiş ve istenmeyen durumları gidermeye çalışmışlardır [Dugas, 2005].

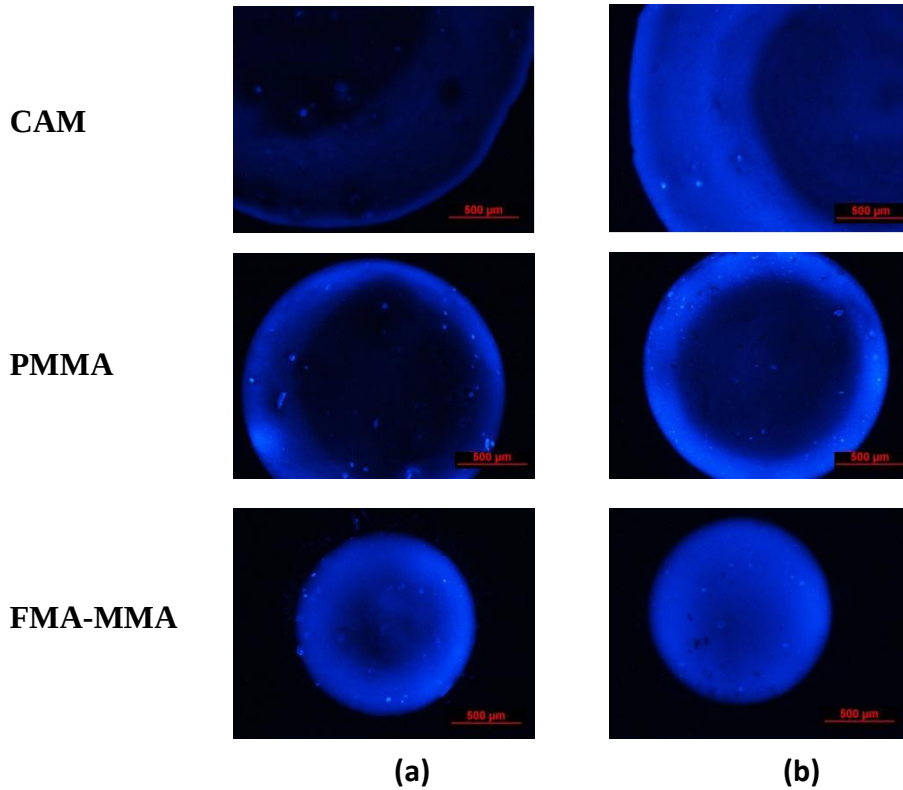
Bu çalışmanın ikinci aşaması üniform veya homojen DNA kalıntıları elde etmeye çalışmak olmuştur. Bunun için ilk olarak buharlaşma hızını artırıcı alttan ısıtma, vakum altında ve düşük bağıl nemli ortamda FMA-MMA yüzeyinde 250 µg/ml DNA çözeltilerinin damla buharlaşması yapılmıştır. Buharlaşma hızı arttığında doğal olarak buharlaşma süresi azalmıştır. Bu şekilde damla içindeki DNA'ların damla çevresine doğru taşıyan akımın DNA'ları taşıyamadan buharlaşmanın sonlaması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar 9.47'deki şekilde görüldüğü gibi (d) düşük nemde, (g) vakumda, (i) ısıtma sonunda halka oluşumu ve düzensiz kalıntılar vererek amacına ulaşamamıştır.



Şekil 9.47. Katkı maddesi içeren ve içermeyen 250 µg/ml DNA çözültilerinin FMA-MMA yüzeyinde bıraktıkları kalıntıların floresan görüntüleri.

Bu noktadan sonra tersi bir yaklaşım ile buharlaşma hızı düşürülerek buharlaşma denemeleri yapılmıştır. Bu şekilde öncekinden farklı olarak DNA'ları damla çevresine taşıyarak halka oluşumuna sebep olan sıvı akışını başlatan damla çevresindeki buharlaşmayı düşürmek amaçlanmıştır. Bunun sonucu olarak da (1) damla daha çok damla çevresinde değil de damlanın her yerinde buharlaşacak veya (2) çevresindeki buharlaşma çok fazla yavaşlayarak DNA'ları taşıyan akış taşıma için yeterli kuvvete sahip olamayacağı düşünülmüştür. Bunun için öncelikle yüksek nemli ortam buharlaşma denenmiş halka oluşumuna sebep olan akışın önüne geçilememiştir. Daha sonra buharlaşma hızını daha fazla düşürecek yüksek kaynama

noktası olan ve su ile karışabilen katkı maddeleri eklenmiştir. Katkı maddeleri propilen glikol ve etilen glikol çözelti içinde konsantrasyonu 1M (çözelti hacminin % 7,5 PG ve % 5,5 EG oranında stok çözeltilerden eklenmiştir) olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 9.47 (b)'de %58 nemli ortamda yapılan denemelerde propilen glikol içeren damlaların kalıntılarında halka oluşumu azda olsa görülmüş ama (c)'de etilen glikol'lu damlalar buharlaşma sonunda istenen homojen film kalıntıları vermiştir.

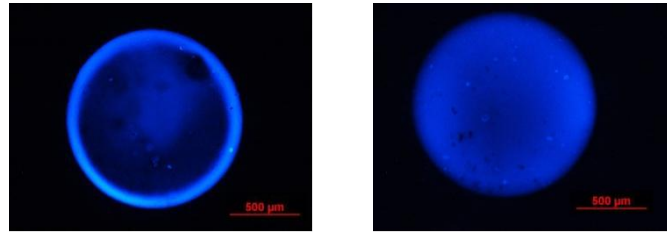


Şekil 9.48. Etilen Glikol içeren (a) 50, (b) 250 $\mu\text{g/ml}$ DNA çözeltilerinin üç farklı yüzeyde kalıntılarının floresan görüntüleri.

Aynı çözeltilerin alttan ısıtma, düşük nemde ve vakum altında denemelerinde yapılarak kıyaslanmıştır. Propilen glikol içeren damlalar alttan ısıtmada (Şekil 9.47-j) kalıntı damla merkezinde toplanmış ve damla çevresinde de halka oluşturmuştur. Diğer taraftan propilen glikol ile düşük nemde ve vakum altında (Şekil 9.47-e ve h) % 60 nemli ortamdan daha iyi sonuçlar vermiş fakat onlarda istenenin aksine düzensiz kalıntılar vermiştir. Etilen glikol içeren damlaların diğer koşullarda (vakum, ısıtma ve düşük nem) (Şekil 9.47-f, ı ve k) homojenliği bozarak halka oluşumuna yönelmiştir.

İlk yapılan çalışmalarda yüzeyler içinden en hidrofob yüzey olan FMA-MMA üzerinde 250 µg/ml DNA çözeltilerinin buharlaşması sonunda başarıyla homojen filmler elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra daha hidrofil yüzeyler cam ve PMMA yüzeylerinde hem 250 µg/ml, hem daha seyreltik 50 µg/ml DNA çözeltilerinin bıraktığı kalıntıların aynı başarı tekrar edip edemeyeceği denenmiştir (Şekil 9.48). % 58 nemli ortamda yapılan çalışma sonucu cam ve PMMA'da halka oluşmamış olmasına rağmen kalıntının merkezinde floresan yoğunluğu az olduğundan homojenlik sağlanamamıştır. FMA-MMA yüzeyinde ise düşük konsantrasyonda da aynı başarı sağlanmıştır.

Sonuçlar göstermiştir ki buharlaşma hızını artırmak halka oluşumunu artırmaktadır. Diğer taraftan buharlaşma hızını düşürmek özellikle de etilen glikol gibi oda sıcaklığında oldukça yavaş buharlaşan katkı maddelerinin eklenmesi istenilen homojen filmler oluşmasını sağlamıştır. Buharlaşma hızının düşmesi ile damlanın damla çevresinde değil de damlanın her yerinde buharlaşmasını ve damla içindeki DNA'ları damla çevresine taşıyan sıvı akışı zayıflatarak DNA'ların temas çizgisine toplanmasının önüne geçilmiştir. Etilen glikol'un kalıntı üzerinde etkisi Şekil 9.49'da açık şekilde görülmektedir. Etilen glikol halka oluşumunu engelleyerek homojen filmlerin başarıyla elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 9.49. 250 µg/ml DNA çözeltisinin FMA-MMA yüzeyinde (Solda) EG içermeyen, (Sağda) EG içeren DNA damlalarının kalıntılarının floresan görüntüleri.

10. SONUÇLAR

Bu çalışmada; ilk olarak saf su, Tris-EDTA ve Lambda DNA çözeltilerinin farklı serbest yüzey enerjisine sahip altı yüzeyde damlalarının buharlaşması incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda, sudan farklı olarak Tris-EDTA ve DNA çözeltilerinin damlalarının buharlaşma süresince damla hacmi, yarıçapı, yüksekliği ve temas açısı değerleri birbirine çok yakın olmuştur. Bu da Tris-EDTA'nın DNA damlalarının buharlaşma davranışını etkileyen en büyük faktörlerden biri olduğunu ortaya çıkarmıştır. Optik Temas Açısı Ölçer ile takibi yapılan damlalardan su damlaları karışık buharlaşma modelinde buharlaşırken, Tris-EDTA ve DNA damlaları sabit temas alanı modelinde buharlaşmışlardır. DNA damlaları neredeyse buharlaşmalarının sonlarına kadar baştaki temas yarıçapına yakın değerlerde devam etmişlerdir. DNA damlalarının buharlaşma hızlarının ise damlanın başlangıç şeklinin yarım küreye yaklaştıkça düştüğü, yarım küreden uzaklaştıkça arttığı ve dolayısı ile buharlaşma süresinin düştüğü görülmüştür.

% 53 nemli ortamda DNA damlaları buharlaşırken damla çevresinden dışarıya doğru buharlaştığı gözlenmiş ve bu da damla içindeki DNA zincirlerinin sıvı akışı ile damla kenarına taşınmasına sebep olmuştur. Floresan mikroskobu kullanılarak taşınım sonunda DAPI ile işaretleniş DNA'ların halka şekilli kalıntılar oluşturduğu görüntülenmiştir. Oluşan halka yapılı kalıntıların çapları sabit temas alanı modelinde buharlaşmanın sonucu olarak katıların serbest yüzey enerjisi artışı ile artmış ve başlangıç temas açıları artıkça lineer olmasa da düzenli olarak azalmıştır.

Farklı DNA konsantrasyonlarında ve farklı DAPI oranlarında yapılan denemelerde kalıntıların boyutsal olarak birbirine yakın çıkması DNA konsantrasyonun ve DAPI miktarının bu çalışmada buharlaşma ve kalıntılar üzerinde fazla etkisi olmadığını göstermiştir.

Damla buharlaşması ile oluşturulan kalıntıların kullanıldığı bazı uygulamalarda özellikle mikroçip uygulamasında veri alınması ve yorumlanmasında problem olarak görülen halka oluşumu istenmemektedir. Bu çalışmanın ilk aşamasında da görülen halka oluşumlarının giderilmesi için farklı buharlaşma şartları (düşük nem, vakum ve

ısıtma) denenmesi ve katkı maddeleri (etilen ve propilen glikol) eklenmesi bu çalışmanın ikinci bölümünü oluşturmaktadır. Çalışmalar sonunda Floresan mikroskobu ile çekilmiş görüntülere bakıldığında; düşük nemde, vakum ve ısıtıcı kullanılan denemelerde glikollerin varlığına rağmen başarılı sonuçlar elde edilememiştir. Ancak oda sıcaklığında, %58 nemli ortamda etilen glikol katkısı içeren DNA çözeltileri buharlaşma sonunda başarılı homojen film kalıntıları vermişlerdir. İlk yapılan çalışmalarda yüzeyler içinden en hidrofob yüzey olan FMA-MMA üzerinde 250 µg/ml DNA çözeltilerinin buharlaşması sonunda başarıyla homojen filmler elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra daha hidrofil yüzeyler cam ve PMMA yüzeylerinde hem 250 µg/ml, hem daha seyreltik 50 µg/ml DNA çözeltilerinin bıraktığı kalıntıların aynı başarıyı tekrar edip edemeyeceği denenmiştir. %58 nemli ortamda yapılan çalışma sonucu cam ve PMMA'da halka oluşmamış olmasına rağmen kalıntının merkezinde floresan yoğunluğu az olduğundan homojenlik sağlanamamıştır. FMA-MMA yüzeyinde ise düşük konsantrasyonda da aynı başarı sağlanmıştır.

Yapılan çalışma göstermiştir ki;

- (1) Uygun yüzey seçilerek, özellikle uniform film elde etmek için hidrofob yüzey
- (2) Etilen glikol gibi ucuz ve kolay uygulanabilir katkı maddeleri ile ideal (homojen) kalıntılar elde edilebilmektedir.

Bu sonuç sadece DNA damlaları için değil birçok uygulamada polimer, kolloit, protein ve diğer partikül içeren damlaların kalıntılarını kontrol etmek için etkili bir yöntem olarak denenebilir.

KAYNAKLAR

1. Kimura, M.; Misner, M. J.; Xu, T.; Kim, S. H.; Russell, T. P. *Langmuir* 2003, 19, 9910.
2. Nguyen, V. X.; Stebe, K. J. *Phys. Rev. Lett.* 2002, 22, 3282.
3. Jia, W.; Qiu, H. H. *Exp. Therm. Fluid Sci.* 2003, 27, 829.
4. Schena, M.; Shalon, D.; Davis, R. W.; Brown, P. O. *Science* 1995, 270, 467.
5. Kawase, T.; Sirringhaus, H.; Friend, R. H.; Shimoda, T. *Adv. Mater.* 2001, 13, 1601.
6. Deegan R.D. *Physical Review E* 2000, 61, 475.
7. Bhardwaj, R.; Fang, X.; Attinger, D. *New Journal of Physics* 2009, 11, 075020.
8. Sommer, A. P.; Ben-Moshe, M.; Magdassi, S. *Journal of Physical Chemistry B* 2004, 108, 8.
9. Hu, H.; Larson, R. G. *J. Phys. Chem. B* 2006, 110, 7090.
10. Dufva, M. *Biomolecular Engineering* 2005, 22, 173.
11. Thube, S. A.; Budhwani, S. B.; Atif, P. M. *Journal of Pharmacy Research* 2009, 2, 1823.
12. Picknett R. G.; Bexon R. *J. Colloid Interface Sci.* 1977, 61, 336.
13. Erbil, H. Y.; McHale, G.; Newton, M. I. *Langmuir* 2002, 18, 2636.
14. Chopra, M.; Li, L.; Hu, H.; Burns, M. A.; Larson, R. G. *J. Rheol.* 2003, 47, 1111.
15. Fang, X.; Li, B.; Petersen, E.; Seo, Y. S.; Samuilov, V. A.; Chen, Y.; Sokolov, J. C.; Shew, C. Y.; Rafailovich, M. H. *Langmuir* 2006, 22, 6308.
16. Dugas, V.; Broutin, J.; Souteyrand, E. *Langmuir* 2005, 21, 9130.
17. Alberts, B.; Johnson, A.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K.; Walters, P.; 2002, *Molecular Biology of the Cell*; Fourth Edition, Garland Science, Ch4, 46.
18. Watson, J.; Crick, F. *Nature* 1953, 171, 737.
19. İnanç, B. 2008, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
20. Bensimon, A.; Simon, A.; Chiffaudel, A.; Croquette, V.; Heslot, F.; Bensimon, D. *Science* 1994, 265, 2096.
21. Fields, S.; Johnston, M. *Science* 2005, 307, 1885.
22. Lichtman, J.W.; Conchello, J. *Nature Methods* 2005, 12, 910.

23. Pernodet, N.; Samuilov, V.; Shin, K.; Sokolov, J.; Rafailovich, M. H.; Gersappe, D.; Chu, B. *Phys. Rev. Lett.* 2000, 85, 5651.
24. Gichner, T.; Anita Mukherjee, A.; Veleminsky, j. *Mutation Research* 2006, 605, 17
25. Li, M.; Wu, R. S.; Tsai J. S. C. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* 2003, 13, 4351.
26. Kapuscinski, J. *Biotech Histochem* 1995, 70, 220.
27. Saraçlı, M.A. 2007 *Simpozyum: Mikozlar ve moleküler yöntemler*, 180.
28. Erbil H. Y. 2006, *Surface Chemistry of Solid and Liquid Interfaces*, Blackwell Publishing, Ch 9, 308.
29. Hansen, F.K.; Rodsrun, G. *Colloid and Interface Science* 1991, 141, 1.
30. Çengel, Y.A.; Boles, M.A. 1998, *Thermodynamics: An Engineering Approach, McGraw-Hill, Third Edition*, Ch2, 12.
31. Carr, D. S.; Harris, B. L. *Ind. and Eng. Chem.* 1949, 2014.
32. Winston, P. W.; Bates, D. H. *Ecology* 1960, 41, 232.
33. Adams, J. R.; Merz, A. R. *Ind. and Eng. Chem.* 1929, 21, 305.
34. O'Brien F. E. M. *Jour. Sci. Instruments* 1948, 25, 73.
35. Atkins P. W. 1998, *Physical Chemistry*, Oxford University Press, 815.
36. Birdi, K. S.; Vu, D. T.; Winter, A. J. *Phys. Chem.* 1989, 93, 3102.
37. Birdi, K. S.; Vu, D. T. *J. Adhesion Tech.* 1993, 7, 485.
38. Rowan, S. M.; Newton, M. I.; McHale, G.J. *Phys. Chem.* 1995, 99, 13268.
39. McHale, G.; Rowan, S. M.; Newton, M. I.; Banerjee, M. K. *J. Phys. Chem. B* 1998, 102, 1964.
40. McHale, G.; Aqil, S.; Shirtcliffe, N. J.; Newton, M. I.; Erbil, H. Y. *Langmuir* 2005, 21, 11053.
41. Erbil, H. Y.; Meric, A. Y. *J. Phys. Chem. B* 1997, 101, 6867.
42. Meriç, R.A.; Erbil, H. Y. *Langmuir* 1998, 14, 1915.
43. McHale, G.; Erbil, H. Y.; Newton, M. I.; Natterer, S. *Langmuir* 2001, 17, 6995.
44. Erbil, H. Y.; McHale, G.; Rowan, S. M.; Newton, M. I. *Langmuir* 1999, 15, 7378.
45. Kajiya, T.; Kobayashi, W.; Okuzono, T.; Doi, M. *J. Phys. Chem. B* 2009, 113, 15460.
46. Sangani, A. S.; Lu, C. H.; Su, K. H.; Schwarz, J. A. *Phys. Rev. E* 2009, 80, 011603.

47. Layani, M.; Gruchko, M.; Milo, O.; Balberg, I.; Azulay, D.; Magdassi, S. *ACS Nano* 2009, 3, 3537.
48. Park, S. K.; Kim, Y. H.; Han, J. I. *Org. Electron.* 2009, 10, 1102.
49. Kim, D.; Jeong, Y.; Song, K.; Park, S. K.; Cao, G. Z.; Moon, J. *Langmuir* 2009, 25, 11149.
50. Vohra, V.; Bolognesi, A.; Calzaferri, G.; Botta, C. *Langmuir* 2010, 26, 1590.
51. Cheng, W. L.; Hartman, M. R.; Smilgies, D. M.; Long, R.; Campolongo, M. J.; Li, R. P.; Sekar, K.; Hui, C. Y.; Luo, D. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2010, 49, 380.
52. Bhardwaj, R.; Fang, X.; Somasundaran, P. ; Attinger, D. *Langmuir* 2010, 26, 7833.
53. Sommer, A. P. *Journal of Proteome Research* 2004, 3, 1086.
54. Truskett, V. N.; Stebe, K. J. *Langmuir* 2003 19, 8271.
55. Deegan, R. D.; Bakajin, O.; Dupont, T. F.; Huber, G.; Nagel, S. R.; Witten, T. A. *Nature* 1997, 389, 827.
56. Weon, B. M.; Je, J. H. *Physical Review E* 2010, 82, 015305.
57. Shen, X.; Ming, C.; Ho, C..M. ; Wong, T. *J. Phys. Chem. B* 2010, 114, 5269.
58. Yunker, P. J.; Still, T.; Lohr, M. A.; Yodh, A. G. *Nature* 2011, 476, 308.
59. McQuain, M. K.; Seale, K.; Peek, J.; Levy, S.; Haselton, F. R. *Anal. Biochem.* 2003, 320, 281.
60. Rickman, D. S.; Herbert, C. J.; Aggerbeck, L. P. *Nucleic Acids Res.* 2003, 31, 109.
61. Smalyukh, I. I.; Zribi, O. V.; Butler, J. C.; Lavrentovich, O. D.; Wong, G. C. L. *Phys. ReV. Lett.* 2006, 96, 177801.
62. Maheshwari, S.; Zhang, L.; Zhu, Y.; Chang, H.-C. *Phys. ReV. Lett.* 2008, 100, 044503.
63. Zhang, L.; Maheshwari, S.; Zhu, Y.; Chang, H.-C.; Yingxi Zhu, Y. *Langmuir* 2008, 24, 3911.
64. Eral, H.B.; Mampallil-Agustine, D.; Mugele F. *Soft Matter* 2011, 7, 7090.
65. Cengiz, U.; Gengec, N.A.; Kaya, N.U.; Erbil, H.Y.; Sarac, S. *J. Fluorine Chem.* 2011, 132, 348.
66. Heim, T.; Preuss, S.; Gerstmayer, B.; Bosio, A.; Blossey, R. *J. Phys: Cond. Matter* 2005, 17, 703.

ÖZGEÇMİŞ

Ümit GÜLYÜZ 1984 yılında Kadıköy’de doğdu. 2002 yılında Darıca Aslan Çimento Anadolu Meslek Lisesi Kimya bölümünü tamamladı. Aynı yıl Boğaziçi Üniversitesi Kimya Bölümü’nde üniversite eğitime başladı. 2007 yılında mezun olduktan sonra Duratek Koruyucu Malzemeler San. ve Tic A.Ş.’de satış sorumlusu olarak çalıştı. 2008 yılında askerlik görevini Yedek Subay olarak Gıda Kontrol Müfreze Komutanlığı’nda Kimya Laboratuvar Şefi olarak yaptı. 2009 yılında Teklas Kauçuk A.Ş.’de Ürün Geliştirme Mühendisi olarak çalıştı. 2010 yılında Kırklareli Üniversitesi Kimya Bölümü’nde ÖYP Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen bu görevine devam etmektedir. 2010 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitime başladı.