

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

**ALKOL İÇEREN SULU DİSPERSİYONLARIN DAMLA**  
**BUHARLAŞMASI YOLUYLA SİLİNDİRİK İNCE BÖCEK**  
**ÖLDÜRÜCÜ İLAÇ TABAKASININ OLUŞTURULMASI**

**EMİNE TUĞÇE ARITÜRK**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE**  
**2020**

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

**ALKOL İÇEREN SULU**  
**DİSPERSİYONLARIN DAMLA**  
**BUHARLAŞMASI YOLUYLA SİLİNDİRİK**  
**İNCE BÖCEK ÖLDÜRÜCÜ İLAÇ**  
**TABAKASININ OLUŞTURULMASI**

**EMİNE TUĞÇE ARITÜRK**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI**  
**PROF. DR. HÜSNÜ YILDIRIM ERBİL**

**GEBZE**  
**2020**

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

**THE FORMATION OF THIN  
CYLINDRICAL INSECTICIDAL LAYERS  
BY THE DROP EVAPORATION OF  
AQUEOUS INSECTICIDE DISPERSIONS  
CONTAINING ALCOHOL**

**EMINE TUGCE ARITURK**  
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE**  
**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR**  
**PROF. DR. HUSNU YILDIRIM ERBIL**

**GEBZE**

**2020**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/01/2020 tarih ve 2020/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12/02/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Emine Tuğçe Arıtürk'ün tez çalışması Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

:Prof. Dr. H. Yıldırım Erbil

ÜYE

:Prof. Dr. Mehmet Eroğlu

ÜYE

:Doç. Dr. Rezan Demir Çakan

**ONAY**

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

## ÖZET

Hızla artan dünya nüfusu ile tarımsal üretimde verimlilik büyük önem kazanmıştır. Ancak tarımda pestisit kullanımının çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri nedeniyle minimum kullanım miktarı ile maksimum verim elde edilmesi gerekmektedir. Türkiye domates tarımında uluslararası pazarda büyük rekabet gücüne sahiptir ve iç pazarda toplam sebze üretiminin yaklaşık olarak yarısını domates üretimi oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında, Mancozeb ve Hekplan pestisitlerini içeren dispersiyonların damlacıklar halinde atıldıktan ve damlanın suyunun buharlaşmasından sonra domates yüzeyi üzerinde kalan kalıntının dağılımının domatesin yüzeyini daha fazla kaplayacak şekilde iyileştirilmesi hedeflenerek, damla buharlaşmaları incelenmiştir. İlk olarak, domates kabuğunun toplam serbest yüzey enerjisi  $30.17 \text{ mJ/m}^2$  olarak bulunmuştur. Hem Mancozeb hem de Hekplan pestisiti içeren sulu dispersiyon damlalarının buharlaşması, sabit temas yarıçapı modu ile olmaktadır. Her ikisi için de ortamın bağıl nem arttıkça damla buharlaşma süresi uzamış ve kalıntıda gözlenen boşluklu yapılar azalmış ve daha homojen bir tabaka gözlenmiştir. Dispersiyon damlasında Mancozeb pestisiti konsantrasyonu artışı damlanın toplam buharlaşma süresi üzerindeki etkisi azdır. Mancozeb konsantrasyonu artışı ile kalıntıdaki partikül yoğunluğu artmıştır. Ancak dispersiyon damlasında Hekplan konsantrasyonu arttıkça damla daha yavaş buharlaşmıştır ve kalıntıdaki partikül yoğunluğu artmıştır. Hekplan içeren sulu dispersiyon damlalarının buharlaşma hızları Mancozeb içerenlerden %25-50 daha fazladır. Bunun sebebi partikül çapları ve yerleşme kolaylığı olduğu değerlendirilmiştir. Mancozeb ve Hekplan pestisitlerini içeren sulu dispersiyonlara izopropil veya etil alkol eklenmesiyle damlalar yüzeyde daha fazla yayılmışlardır ve başlangıç temas açısı değerleri düşmüştür. Dispersiyon damlaların buharlaşma süresi kısalmıştır. Alkol olarak izopropil alkol eklenen dispersiyonlar etil alkol eklenen dispersiyonlardan daha düşük başlangıç temas açısına sahiptirler ve daha hızlı buharlaşmışlardır.

**Anahtar Kelimeler: Damla Buharlaşması, Pestisit, İnsektisit, Fungusit, Domates.**

## SUMMARY

The productivity in agriculture gained great importance with the rapid increase of the world population. However, pesticides should be used in minimum level with maximum efficiency because of the adverse effects of using pesticides to environment and human health. Turkey has a great competitive power in the international tomato market. Turkish tomato production is approximately half of its total vegetable production. In this thesis study, the drop evaporation process of dispersions containing Mancozeb and Hekplan pesticides was investigated in order to control the shape and size of the remaining pesticide stains on the tomato surface. The objection is to enhance the area of the remaining pesticide on the substrate with minimum drug consumption. Initially, the total surface free energy of tomato surface was measured to be  $30.17 \text{ mJ/m}^2$ . It was determined that both Mancozeb and Hekplan containing pesticide drops evaporated via constant contact radius (CCR) mode. Drop evaporation durations were lengthened and the particle density in the remaining stains increased giving more homogenous structure with the increase of the relative humidity of the medium. There was a less effect of the Mancozeb pesticide concentration on the drop evaporation duration giving more dense stains. Drop evaporation duration was lengthened with the increase of Hekplan pesticide concentration in the dispersion. The evaporation rates of Hekplan containing dispersion drops are larger than that of Mancozeb containing ones between 25-50%. It is possible that the particle sized and geometries maintain a better accumulation at the edges. Isopropyl and ethyl alcohols were added into the aqueous dispersion drops containing Mancozeb and Hekplan pesticides for evaporation rate control giving more spreading on the surface and resulting in lower initial contact angles. All of the alcohol added dispersions were evaporated more rapidly. When isopropyl alcohol was added the dispersions had lower contact angles and evaporated more rapidly than that of the ethyl alcohol containing dispersions.

**Key Words: Drop Evaporation, Pesticide, Insecticide, Fungicide, Tomato.**

## TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimim boyunca, kıymetli zamanını bana ayıran, büyük bir özveri ile benimle ilgilenen, yol gösteren, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, çalışma disiplini ile örnek aldığım çok değerli bilim insanı Prof. Dr. Hüsnü Yıldırım Erbil'e,

Hayatımın her alanında maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve ileri görüşlülüğü ile her zaman yol gösteren babam Hasan Ali Arıtürk, annem Sevgi Arıtürk, ablam Merve Arıtürk'e ve her zaman yanımda olduğunu hissettiren kardeşim Muhammet Arıtürk'e,

Çalışmalarım boyunca dostluğu ile her zaman yanımda olan desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli arkadaşım Rana Üçüncüoğlu'na, Arş. Gör. Kaan Yeşilova'ya, Arş. Gör. Tuğba Öztürk'e ve tüm Gebze Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümü çalışma arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                    | <b><u>Sayfa</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| ÖZET                                                                               | v                   |
| SUMMARY                                                                            | vi                  |
| TEŞEKKÜR                                                                           | vii                 |
| İÇİNDEKİLER                                                                        | viii                |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ                                                     | xi                  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                                    | xiii                |
| TABLolar DİZİNİ                                                                    | xxiii               |
| <br>                                                                               |                     |
| 1. GİRİŞ                                                                           | 1                   |
| 1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği                                               | 2                   |
| 2. DAMLA BUHARLAŞMASI                                                              | 6                   |
| 2.1. Damla Buharlaşması Önemi ve Teorisi                                           | 6                   |
| 2.1.1. Difüzyon Kontrollü Damla Buharlaşması                                       | 8                   |
| 2.1.2 Konveksiyon Altında Damla Buharlaşması                                       | 11                  |
| 3. YÜZEY GERİLİMİ ve TEMAS AÇISI                                                   | 14                  |
| 3.1. Sıvı Yüzey Gerilimi                                                           | 15                  |
| 3.2. Katı Yüzey Gerilimi                                                           | 17                  |
| 3.3. Temas Açısı Ölçümü ile Karakterizasyonu                                       | 18                  |
| 4. PESTİSİT                                                                        | 22                  |
| 4.1. Pestisit Çeşitleri ve Dünya’da Pestisit Kullanımı                             | 24                  |
| 4.2. Pestisitlerin Kimyasal Özellikleri                                            | 33                  |
| 4.3. Pestisit Kalıntısının Bitki Yüzeyinden Uzaklaştırılması                       | 35                  |
| 4.4. Mancozeb Fungisit Özellikleri                                                 | 38                  |
| 4.5. Hekplan İnsektisit Özellikleri                                                | 39                  |
| 4.6. Domates Özellikleri ve Domates Tarımında Kullanılan Pestisitlerin Özellikleri | 41                  |
| 5. DAMLA BUHARLAŞMASI ile ZİRAATTE PESTİSİT KALINTISI KONTROLÜ                     | 43                  |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1. Pestisit Dispersiyonlarında Damla Buharlaşmasını Etkileyen Faktörler                                                                     | 46 |
| 5.1.1. Bitki Yüzey Özelliklerinin Pestisit Damla Buharlaşması Üzerine Etkisi                                                                  | 46 |
| 5.1.2. Pestisit Türünün Pestisit Damla Buharlaşması Üzerine Etkisi                                                                            | 48 |
| 5.1.3. Surfaktan Katkılı Pestisit Damlalarının Pestisit Damla Buharlaşması Üzerine Etkisi                                                     | 50 |
| 5.1.4. Damla Büyüklüğünün Pestisit Damla Buharlaşması Üzerine Etkisi                                                                          | 52 |
| 5.1.5. Ortamın Bağlı Neminin Pestisit Damla Buharlaşması Üzerine Etkisi                                                                       | 53 |
| 5.2. Pestisit Dispersiyonlarının Buharlaşma Kalıntılarını Etkileyen Faktörler                                                                 | 53 |
| 5.2.1. Bitki Yüzey Özelliklerinin Pestisit Damlalarının Kalıntısı Üzerine Etkisi                                                              | 54 |
| 5.2.2. Surfaktanların Pestisit Damlalarının Bıraktığı Kalıntı Üzerine Etkisi                                                                  | 55 |
| 5.2.3. Damla Büyüklüğünün Pestisit Kalıntısı Üzerine Etkisi                                                                                   | 57 |
| 6. DENEYSEL YÖNTEM                                                                                                                            | 59 |
| 6.1. Kullanılan Kimyasal ve Materyaller                                                                                                       | 59 |
| 6.1.1. Damla Buharlaşması Deney Düzeneği                                                                                                      | 61 |
| 6.1.2. Sabit Bağlı Nem Çözeltilerinin Hazırlanması                                                                                            | 62 |
| 6.1.3. Pestisit Kalıntılarının 2D ve 3D Fotoğraflarının Çekilmesi                                                                             | 63 |
| 6.1.4. Katı Serbest Yüzey Enerjisinin Hesaplanması                                                                                            | 65 |
| 7. BULGULAR ve YORUMLAR                                                                                                                       | 66 |
| 7.1. Yıkanmış Domates Serbest Yüzey Enerjisi                                                                                                  | 66 |
| 7.2. Mancozeb Buharlaşma Verileri ve Kalıntı Geometrisi                                                                                       | 68 |
| 7.2.1. Yıkanmış ve Yıkanmamış Domates Kabuğunun Mancozeb Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Mancozeb Kalıntısı Geometrisine Etkileri | 71 |
| 7.2.2. Mancozeb Konsantrasyonunun Mancozeb Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Mancozeb Kalıntısı Geometrisine Etkileri         | 89 |

|                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.2.3. Bağlı Nem Farkının Mancozeb Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Mancozeb Kalıntısı Geometrisine Etkileri                              | 101 |
| 7.2.4. Dispersiyona Etanol ve İzopropanol Katılmasının Mancozeb Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Mancozeb Kalıntısı Geometrisine Etkileri | 103 |
| 7.3. Hekplan Buharlaşma Verileri ve Kalıntı Fotoğrafları                                                                                                   | 114 |
| 7.3.1. Yıkanmış ve Yıkanmamış Domates Kabuğunun Hekplan Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Hekplan Kalıntısı Geometrisine Etkileri                | 115 |
| 7.3.2. Hekplan Konsantrasyonun Hekplan Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Hekplan Kalıntısı Geometrisine Etkileri                           | 123 |
| 7.3.3. Bağlı Nem Farkının Hekplan Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Hekplan Kalıntısı Geometrisine Etkileri                                | 135 |
| 7.3.4. Dispersiyona Etanol ve İzopropanol Katılmasının Hekplan Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Hekplan Kalıntısı Geometrisine Etkileri   | 136 |
| 8. SONUÇLAR                                                                                                                                                | 145 |
| KAYNAKLAR                                                                                                                                                  | 147 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                                                                                                   | 157 |
| EKLER                                                                                                                                                      | 158 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler ve</u><br><u>Kisaltmalar</u> | <u>Açıklamalar</u>                                  |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| $\cos \theta$                            | : Teta açısının kosinüs değeri                      |
| $M_a$                                    | : Havanın molekül ağırlığı                          |
| $M_e$                                    | : Buharın molekül ağırlığı                          |
| $e_0$                                    | : Havanın gövdesindeki buhar basıncı                |
| $\theta_H$                               | : Temas açısı histerizi                             |
| $\theta_a$                               | : İleri temas açısı                                 |
| $\theta_r$                               | : Geri temas açısı                                  |
| $a$                                      | : Damlanın yarıçapı                                 |
| $C$                                      | : Buhar konsantrasyonu                              |
| $C$                                      | : Eş dış bükey merceğin kapasitansı                 |
| $C_\infty$                               | : Damlanın sonsuz mesafedeki düşüşün konsantrasyonu |
| $C_s$                                    | : Küresel damlanın yüzey konsantrasyonu             |
| $D$                                      | : Difüzyon katsayısı                                |
| $H$                                      | : Damla yüksekliği                                  |
| $H$                                      | : Isı transfer oranı                                |
| $K$                                      | : Havanın termal iletkenliği                        |
| $M$                                      | : Kütle                                             |
| $M_w$                                    | : Bileşenlerin moleküler ağırlığı                   |
| $N$                                      | : Birim hacim başına buhar konsantrasyonu           |
| $P$                                      | : Barometrik basınç                                 |
| $R$                                      | : Küresel damlanın merkezine radyal mesafe          |
| $R$                                      | : Damla merkezine olan yarıçap mesafesi             |
| $\text{Rad}$                             | : Radyan                                            |
| $r_b$                                    | : Temas yarıçapı                                    |
| $R_s$                                    | : Küresel kapağı oluşturan kürenin yarıçapı         |
| $R_s$                                    | : Küresel damlanın merkeze olan mesafeden yarıçapı  |
| $T$                                      | : Zaman                                             |
| $V$                                      | : Sıvı damlasının hacmi                             |

|               |   |                                          |
|---------------|---|------------------------------------------|
| $V_M$         | : | Sıvının molar hacmi                      |
| $W$           | : | Suyun buharlaşma oranı                   |
| $W_a$         | : | Adezyon işi                              |
| $\beta$       | : | Beta                                     |
| $\gamma$      | : | Yüzey gerilimi                           |
| $\gamma^-$    | : | Elektron verici yüzey gerilimi           |
| $\gamma^+$    | : | Elektron alıcı yüzey gerilimi            |
| $\gamma^{AB}$ | : | Asit baz etkileşimleri bileşeni          |
| $\gamma_{LV}$ | : | Sıvı-buhar ara yüzey gerilimi            |
| $\gamma^{LW}$ | : | Apolar London van de Waals bileşeni      |
| $\gamma_{SV}$ | : | Katı-sıvı ara yüzey gerilimi             |
| $\gamma_{SV}$ | : | Katı-buhar ara yüzey gerilimi            |
| $\theta$      | : | Temas açısı                              |
| $\rho$        | : | Yoğunluk                                 |
| AB            | : | Avrupa Birliği                           |
| ABD           | : | Amerika Birleşik Devletleri              |
| ADSA          | : | Simetrik Damla Şekli                     |
| AOP           | : | Gelişmiş Oksidasyon Prosesi              |
| APF           | : | Otomatik Polinom Armatür                 |
| BM            | : | Birleşmiş Milletler                      |
| CCA           | : | Sabit temas açısı                        |
| CCD           | : | Charged Coupling Devices                 |
| CCR           | : | Sabit temas yarıçapı                     |
| EBI           | : | Etilen Bisotiyosiyanat                   |
| EBIS          | : | Etilen Bisotiyosiyanat Sülfürü           |
| EPA           | : | ABD Çevre Koruma İdaresi                 |
| FAO           | : | Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü |
| İPA           | : | İzopropil Alkol                          |
| pmma          | : | polimetilmetakrilat                      |
| pp            | : | polipropilen                             |
| RH            | : | Bağıl Nem                                |
| SE            | : | Süs-poemülsiyon                          |
| WHO           | : | Dünya Sağlık Örgütü                      |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <b><u>Sekil No:</u></b>                                                                                                  | <b><u>Sayfa</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1: Substrat üzerinde durağan damlanın ölçüleri.                                                                        | 7                   |
| 2.2: Damla buharlaşması modlarını gösteren şematik diyagram.                                                             | 8                   |
| 2.3: Tek bileşenli durağan damlacık içindeki akış yapısı a) ısıtılmış substrat üzerinde b) ısıtılmamış sustrat üzerinde. | 13                  |
| 3.1: Farklı ıslanma durumları.                                                                                           | 15                  |
| 3.2: Katı substrat üzerinde sıvı fazda temas açısı.                                                                      | 14                  |
| 3.3: Dinamik yüzey gerilimini ölçmek için deneysel düzeneklerin şematik gösterimi.                                       | 17                  |
| 3.4: Katı bir yüzey üzerinde bir sıvı damlasının ilerleyen ve gerileyen temas açısının şematik gösterimi.                | 20                  |
| 4.1: Pestisit kullanımının tarihsel gelişimi.                                                                            | 23                  |
| 4.2: Herbisit pestisitlerinin kimyasal yapıları.                                                                         | 25                  |
| 4.3: a) Benomil kimyasal yapısı ve b) oksin bakır kimyasal yapısı.                                                       | 26                  |
| 4.4: Organofosfatların genel kimyasal formülü.                                                                           | 27                  |
| 4.5: Karbamatların genel kimyasal formülü.                                                                               | 28                  |
| 4.6: a) (+)-trans krisantemik asit ve b) (+)-trans piretroik asit genel kimyasal yapıları.                               | 28                  |
| 4.7: Giriş modu ve kimyasal bileşime göre pestisit sınıflandırılması.                                                    | 30                  |
| 4.8: 1990-2016 yılları arasında ekili alan başına düşen ortalama pestisit kullanım miktarı.                              | 31                  |
| 4.9: 1990-2016 yılları arasında Türkiye’de ekili alan başına kullanılan ortalama pestisit miktarı.                       | 33                  |
| 4.10: Atrazinin hidrolizini gösteren kimyasal tepkime.                                                                   | 34                  |
| 4.11: Domates yüzeyi üzerinde yıkama prosesleri sonrası yüzde olarak pestisit kalıntısının azalışı.                      | 36                  |
| 4.12: Mancozeb bileşiğinin yapısal formülü.                                                                              | 38                  |
| 4.13: Acetamiprid aktif maddesinin kimyasal yapısı.                                                                      | 40                  |
| 4.14: Tez çalışmasında kullanılan Antalya’da yetiştirilen konvansiyonel domates.                                         | 41                  |

|       |                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.15: | a) Metomil ve b) imidacloprid kimyasal yapısal formülü.                                                                                                                                                                         | 42 |
| 5.1:  | 500 µm hacminde su damlasının yaprak üzerinde görüntüsü.                                                                                                                                                                        | 47 |
| 5.2:  | 500 µm hacminde bitkisel yağ konsantrasyonu içeren damlanın tüylü yaprağın trikomlarında görüntüsü.                                                                                                                             | 47 |
| 5.3:  | a) 6 adet stomaya sahip ve b) 16 tüye sahip tütün yaprağının görüntüsü.                                                                                                                                                         | 48 |
| 5.4:  | Hidrofobik yüzeyde gerçekleşen yalnızca su buharlaşma süreleri ve su ve insektisit içeren pestisit çözeltisi buharlaşma süreleri.                                                                                               | 49 |
| 5.5:  | Büyük hacimli tek bir damla damla ve küçük hacimli damlalar ve görseli.                                                                                                                                                         | 52 |
| 5.6:  | 500 µm hacminde damlaların yaprak üzerinde yayılma prosesi: a) mumlu yaprak üzerinde bitkisel yağ konsantrasyonu, b) mumlu yaprak üzerinde modifiye edilmiş tohum yağı ve c) tüylü yaprak üzerinde modifiye edilmiş tohum yağı. | 56 |
| 5.7:  | Yaprak yüzeyinde buharlaşma sonrası sprey süspansiyon pestisit damlasının halka şeklinin mikroskopik görüntüsü.                                                                                                                 | 56 |
| 5.8:  | a, b, c) düşük parçacık konsantrasyonlarına sahip merkezi birikintilerden d, e) yüksek parçacık konsantrasyonlarına sahip halka birikintilerine geçişi gösteren mikroskopik görüntüler.                                         | 57 |
| 5.9:  | Sprey hacmi ile yüzey gerilimi arasındaki ilişki nedeniyle asma yaprağı yüzeyinde izlenen sonuçların diyagramı.                                                                                                                 | 58 |
| 6.1:  | Tez çalışmasında kullanılan konvansiyonel domates yüzeyi 2D optik görüntüsü.                                                                                                                                                    | 59 |
| 6.2:  | a) Hekplan ve b) Mancozeb.                                                                                                                                                                                                      | 60 |
| 6.3:  | Plexiglass hücre fotoğrafları.                                                                                                                                                                                                  | 61 |
| 6.4:  | Attension-KSV-ThetaLite-101 Contact Angle Meter cihazı ve damla buharlaşması deney düzeneği.                                                                                                                                    | 62 |
| 6.5:  | 1 mg/ml Mancozeb cam slayt üzerinde damla buharlaşması esnasında görüntüsü ve program tarafından ölçülen parametreleri.                                                                                                         | 62 |
| 6.6:  | Hücre içerisindeki bağıl nemin kontrolü için kullanılan TFA marka termo-higrometre.                                                                                                                                             | 63 |
| 6.7:  | Nikon Eclipse LV 150L mikroskobu ve deney düzeneği.                                                                                                                                                                             | 64 |

|       |                                                                                                                                     |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.8:  | Nikon Eclipse LV 100D/SYMANTEC 3D cihazı ve deney düzeneği.                                                                         | 64 |
| 6.9:  | KSV CAM 200 Contact Angle Meter cihazı ve deney düzeneği.                                                                           | 65 |
| 7.1:  | 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun teflon, pp, pmma ve cam üzerinde temas açısı grafiği.                                            | 78 |
| 7.2:  | 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun teflon, pp, pmma ve cam üzerinde zamana karşı yarıçap grafiği.                                   | 69 |
| 7.3:  | 0,5mg/ml Mancozeb dispersiyonunun teflon, pp, pmma ve cam üzerinde zamana karşı hacim grafiği.                                      | 69 |
| 7.4:  | 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun teflon, pp, pmma ve cam üzerinde buharlaşma hızları grafiği.                                     | 70 |
| 7.5:  | 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde temas açısı grafiği.         | 72 |
| 7.6:  | 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde yarıçap grafiği.             | 73 |
| 7.7:  | 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde hacim grafiği.               | 74 |
| 7.8:  | 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma hızları grafiği.  | 74 |
| 7.9:  | 0,75 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde temas açısı grafiği.        | 75 |
| 7.10: | 0,75 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde yarıçap grafiği.            | 75 |
| 7.11: | 0,75 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde hacim grafiği.              | 76 |
| 7.12: | 0,75 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma hızları grafiği. | 76 |

|       |                                                                                                                                  |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.13: | 1 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde temas açısı grafiği.        | 77 |
| 7.14: | 1 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde yarıçap grafiği.            | 77 |
| 7.15: | 1 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde hacim grafiği.              | 78 |
| 7.16: | 1 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma hızları grafiği. | 78 |
| 7.17: | 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde temas açısı grafiği.        | 79 |
| 7.18: | 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde yarıçap grafiği.            | 79 |
| 7.19: | 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde hacim grafiği.              | 79 |
| 7.20: | 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma hızları grafiği. | 80 |
| 7.21: | %35 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.         | 89 |
| 7.22: | %35 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.             | 90 |
| 7.23: | %35 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.               | 90 |

|       |                                                                                                                              |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.24: | %35 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği. | 91 |
| 7.25: | %55 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.     | 91 |
| 7.26: | %55 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.         | 92 |
| 7.27: | %55 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.           | 92 |
| 7.28: | %55 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği. | 93 |
| 7.29: | %85 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.     | 93 |
| 7.30: | %85 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.         | 94 |
| 7.31: | %85 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.           | 94 |
| 7.32: | %85 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği. | 95 |
| 7.33: | %35 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.       | 95 |
| 7.34: | %35 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.           | 96 |

|       |                                                                                                                               |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.35: | %35 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.              | 96  |
| 7.36: | %35 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızları grafiği. | 97  |
| 7.37: | %55 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.        | 97  |
| 7.38: | %55 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma yarıçap grafiği. | 98  |
| 7.39: | %55 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hacim grafiği.   | 98  |
| 7.40: | %55 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızları grafiği. | 98  |
| 7.41: | %85 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.        | 99  |
| 7.42: | %85 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.            | 99  |
| 7.43: | %85 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.              | 100 |
| 7.44: | %85 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.    | 100 |
| 7.45: | %35 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.                                       | 104 |

|       |                                                                                                                     |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.46: | %35 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.                                 | 105 |
| 7.47: | %35 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.                                   | 105 |
| 7.48: | %35 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.                         | 106 |
| 7.49: | %55 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.                             | 106 |
| 7.50: | %55 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.                                 | 107 |
| 7.51: | %55 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.                                   | 107 |
| 7.52: | %55 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.                         | 108 |
| 7.53: | %85 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.                             | 108 |
| 7.54: | %85 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.                                 | 109 |
| 7.55: | %85 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.                                   | 109 |
| 7.56: | %85 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.                         | 110 |
| 7.57: | 3 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde temas açısı grafiği.        | 115 |
| 7.58: | 3 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde yarıçap değerleri grafiği.  | 116 |
| 7.59: | 3 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde hacim grafiği.              | 116 |
| 7.60: | 3 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde buharlaşma hızları grafiği. | 117 |
| 7.61: | 2 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde temas açısı grafiği.        | 117 |

|       |                                                                                                                     |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.62: | 2 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde yarıçap grafiği.            | 118 |
| 7.63: | 2 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde hacim grafiği.              | 118 |
| 7.64: | 2 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde buharlaşma hızları grafiği. | 118 |
| 7.65: | Yıkanmamış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.               | 124 |
| 7.66: | Yıkanmamış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.                   | 124 |
| 7.67: | Yıkanmamış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.                     | 124 |
| 7.68: | Yıkanmamış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.           | 125 |
| 7.69: | Yıkanmamış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.               | 125 |
| 7.70: | Yıkanmamış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.                   | 126 |
| 7.71: | Yıkanmamış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.                     | 126 |
| 7.72: | Yıkanmamış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.           | 127 |
| 7.73: | Yıkanmamış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.               | 127 |
| 7.74: | Yıkanmamış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.                   | 128 |
| 7.75: | Yıkanmamış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.                     | 128 |
| 7.76: | Yıkanmamış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.           | 129 |
| 7.77: | Yıkanmış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.                 | 129 |

|       |                                                                                                         |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.78: | Yıkanmış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.         | 130 |
| 7.79: | Yıkanmış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.           | 130 |
| 7.80: | Yıkanmış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği. | 131 |
| 7.81: | Yıkanmış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.     | 131 |
| 7.82: | Yıkanmış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.         | 132 |
| 7.83: | Yıkanmış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.           | 132 |
| 7.84: | Yıkanmış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği. | 132 |
| 7.85: | Yıkanmış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.     | 133 |
| 7.86: | Yıkanmış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.         | 133 |
| 7.87: | Yıkanmış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.           | 134 |
| 7.88: | Yıkanmış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği. | 134 |
| 7.89: | %35 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan temas açısı grafiği.                                             | 137 |
| 7.90: | %35 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan yarıçap grafiği.                                                 | 137 |
| 7.91: | %35 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan hacim grafiği.                                                   | 138 |
| 7.92: | %35 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan buharlaşma hızı grafiği.                                         | 138 |
| 7.93: | %55 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan temas açısı grafiği.                                             | 139 |
| 7.94: | %55 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan yarıçap grafiği.                                                 | 139 |
| 7.95: | %55 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan hacim grafiği.                                                   | 140 |
| 7.96: | %55 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan buharlaşma hızı grafiği.                                         | 140 |
| 7.97: | %85 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan temas açısı grafiği.                                             | 141 |
| 7.98: | %85 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan yarıçap grafiği.                                                 | 141 |
| 7.99: | %85 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan hacim grafiği.                                                   | 142 |

7.100: %85 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan buharlaşma hızı grafiği. 142

## TABLÖLAR DİZİNİ

| <b><u>Tablo No:</u></b>                                                                                                                         | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 4.1: Pestisit çeşitlerinin en çok kullanılan pestisit türlerinin kimyasal yapıları.                                                             | 29                  |
| 4.2: Ülkelerin milyon kilogram cinsinden yıllık pestisit tüketim miktarları.                                                                    | 31                  |
| 4.3: Mancozeb pestisitinin başlıca kullanım alanları.                                                                                           | 39                  |
| 4.4: Hekplan pestisitinin başlıca etkili olduğu bitki ve zararlı organizmalar.                                                                  | 40                  |
| 4.5: Domateste görülen hastalıklar.                                                                                                             | 42                  |
| 5.1: Referanslarda kullanılan pestisit türleri, aktif bileşenleri konsantrasyonları ve referansları.                                            | 49                  |
| 5.2: Referanslarda kullanılan surfaktan türleri ve aktif bileşenleri.                                                                           | 50                  |
| 5.3: Pestisit uygulaması yapılacak hedef yüzeyler için optimum damla çapları.                                                                   | 52                  |
| 6.1: Doygun tuz çözeltilerinin bağıl nem değerleri.                                                                                             | 63                  |
| 7.1: Sıvıların yüzey gerilimi değerleri.                                                                                                        | 66                  |
| 7.2: Su, etilen glikol, formamid, diiodometan ve $\alpha$ -Bromonaftalen domates üzerinde temas açısı değerleri.                                | 66                  |
| 7.3: Yıkanmış ve yıkanmamış domates kabuğu üzerinde saf suyun t=0 anında ilk damla görüntüleri.                                                 | 67                  |
| 7.4: Mancozeb dispersiyonlarının teflon, pp, pmma ve cam yüzeyler üzerinde t=0 anında ilk damla görüntüleri.                                    | 68                  |
| 7.5: Mancozeb dispersiyonlarının teflon, pp, pmma ve cam yüzeyler üzerinde 50X büyütme ile kalıntı görüntüleri.                                 | 70                  |
| 7.6: Yıkanmamış domates kabuğu üzerinde t=0 anı damla görüntüleri.                                                                              | 71                  |
| 7.7: Yıkanmış domates kabuğu üzerinde t=0 anı damla görüntüleri.                                                                                | 72                  |
| 7.8: 0,5 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri. | 81                  |

|       |                                                                                                                                             |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.9:  | 0,75 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri. | 81 |
| 7.10: | 1 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.    | 82 |
| 7.11: | 2 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.    | 82 |
| 7.12: | 0,5 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.    | 83 |
| 7.13: | 0,75 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.   | 83 |
| 7.14: | 1 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.      | 84 |
| 7.15: | 2 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.      | 84 |
| 7.16: | 0,5 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                                                     | 85 |
| 7.17: | 0,75 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                                                    | 86 |
| 7.18: | 1 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                                                       | 86 |
| 7.19: | 2 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                                                       | 87 |
| 7.20: | 0,5 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                                                   | 87 |
| 7.21: | 0,75 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                                                  | 88 |

|       |                                                                                                                                                        |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.22: | 1 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                                                                | 88  |
| 7.23: | 2 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                                                                | 89  |
| 7.24: | Yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde %35, %55 ve %85 bağıl nemde Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızları verileri.                       | 102 |
| 7.25: | Yıkanmamış domates kabuğu üzerinde Mancozeb-alkol dispersiyonlarının t=0 anında damla görüntüleri.                                                     | 103 |
| 7.26: | Alkol eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı verileri.                                                                                   | 110 |
| 7.27: | 0,5 mg/ml Mancozeb-Etanol domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.                 | 111 |
| 7.28: | 1 mg/ml Mancozeb-Etanol domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.                   | 111 |
| 7.29: | 2 mg/ml Mancozeb-Etanol domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.                   | 112 |
| 7.30: | 0,5 mg/ml Mancozeb-İPA domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.                    | 112 |
| 7.31: | 1 mg/ml Mancozeb-İPA domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.                      | 113 |
| 7.32: | 2 mg/ml Mancozeb-İzopropil Alkol yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri. | 113 |
| 7.33: | Yıkanmış domates kabuğu ve yıkanmamış domates kabuğu üzerinde t=0 anı damla görüntüleri.                                                               | 115 |
| 7.34: | Hekplan yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeyinde buharlaşma hızları grafiği.                                                                           | 119 |

|       |                                                                                                               |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.35: | 2 mg/ml Hekplan yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri. | 119 |
| 7.36: | 3 mg/ml Hekplan yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri. | 120 |
| 7.37: | 2 mg/ml Hekplan yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.   | 120 |
| 7.38: | 3 mg/ml Hekplan yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.   | 121 |
| 7.39: | 2 mg/ml Hekplan yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                          | 121 |
| 7.40: | 2 mg/ml Hekplan yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                        | 122 |
| 7.41: | 3 mg/ml Hekplan yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                          | 122 |
| 7.42: | 3 mg/ml Hekplan yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.                        | 123 |
| 7.43: | Yıkanmamış domates üzerinde hekplan-alkol dispersiyonlarının t=0 anında ilk damla görüntüleri.                | 136 |
| 7.44: | Alkol eklenmiş Hekplan buharlaşma hızı verileri.                                                              | 136 |
| 7.45: | 2 mg/ml Hekplan-Etanol domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.     | 143 |
| 7.46: | 3 mg/ml Hekplan-Etanol domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.     | 143 |
| 7.47: | 2 mg/ml Hekplan-İPA domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.        | 144 |
| 7.48: | 3 mg/ml Hekplan-İPA domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.        | 144 |

# 1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu ile birlikte kişi başına düşen gıda üretiminin artışı için tarımsal alanlar artırılmış ancak bu alanlarda sınırlara varılmak üzeredir. Bu durumda mahsullerin veriminin artırılması ancak zirai kimyasalların ve organik gübrelerin kullanımı, su yönetimi ve biyolojik kontroller gibi çeşitli etkenlerden biri veya bunların bir kombinasyonunun uygulanması ile elde edilebilir [Carvalho, 2006]. Gıda üretiminin artmasına duyulan ihtiyacın derhal karşılanması talebi tarım kimyasallarının daha yoğun kullanımına sebep olmuştur [Borlaugh and Dowsnell, 1993].

Pestisitler, zararlıları kontrol etmek için bilinçli olarak dağılmış zehirlerdir [Barcelo and Hennion, 1997], [Taylor et al., 2003]. Pestisitlerin tüm yararlarına rağmen, kullanımlarının dünya genelinde yarattığı kaygılar, pestisitlerin hedef dışı organizmalar olan insanlar, hayvanlar, vahşi yaşam ve hedeflenmeyen bitkiler üzerinde risk oluşturmalarından kaynaklanmaktadır. Pestisitler bitkilere, hayvanlara ve insanlara yönelik potansiyel bir çevresel tehlike grubu oluşturur. Pestisitlerin tarım esnasında uygun olmayan konsantrasyonlarda kullanılması, homojen böcek öldürücü tabakanın oluşturulmaması gibi durumlar böceklerin bu ilaçlara karşı direnç geliştirmesine sebep olur. Bu nedenle kimyasal şirketleri sürekli olarak yeni kimyasallar sentezlemekte ve piyasaya vermektedirler. Avrupa Birliği'nde pestisit olarak kayıtlı 800'den fazla kimyasal vardır. Ancak bu kimyasalların çevresel davranışları ve insan sağlığı üzerindeki etkileri hakkında çok az şey bilinmektedir [Sharpe, 1999], [EEA, 2005]. Pestisitlerin hedef dışı organizmalara olan etkisi, yarattığı ekosistem dengesizliği ve oluşturduğu çevresel kontaminasyon istenmeyen yan etkilerdir [Igbedioh, 1991]. Böcek ilacı kalıntıları toprak ve suyu kirletir, mahsullerde kalır, besin zincirine girer ve nihayet gıda maddeleri ve suyla insanlar tarafından yutulur [Barcelo and Hennion, 1997], [Taylor et al., 2003].

Bu nedenle, tarımsal pestisitlerin insanlar ve diğer canlı organizmalar üzerindeki olumsuz etkilerini ve bu etkileri en aza indirmenin yolları araştırılmaktadır. Türkiye'de pestisit kalıntıları için yapılan çalışmalar, gelişmiş ülkelere oranla azdır. Elde edilen sonuçlara göre, bitkisel ürünlerimizde tolerans üstü pestisit kalıntısı içerenlerin sayısı az olmasına karşın, AB ülkelerine giden ürünlerimizin uygun bulunmayan partilerinde pestisit kalıntısı önemli bir sorun olarak görülmektedir [Delen vd., 2005]. Bu nedenle

uygun yöntemlerle, mesela pestisit damla buharlaşma davranışı incelenmek ve kalıntı fotoğraflarının yorumlanmasıyla ve bu şekilde minimum pestisit konsantrasyonunu bulmak önemli bir konudur. Bu şekilde maksimum tarımsal verim sağlanırken çevreye minimum negatif etki yapılacaktır. Sulu dispersiyon damlaları olan pestisitlerin bitkiler üzerindeki damla buharlaşması prosesinin ve buharlaşma sonrası pestisit kalıntılarının incelenmesiyle bu konuya büyük katkı sağlanacaktır.

## **1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği**

Küresel olarak, hasat öncesi zararlılar yüzünden ortalama %35 potansiyel mahsul verimi kaybedilmektedir [Oerke, 2006]. Sürdürülebilir üretim ve mevcut arazide verimliliği artırmak, mevcut koşullar altında en etken uygulamalardır [Popp et al., 2013]. Tarımı daha üretken ve karlı hale getirmek için, artan maliyetler ve artan insan ve çevre sağlığı standartları karşısında mevcut teknolojilerin ve pestisitlerin en iyi kombinasyonu kullanılmalıdır. Tarımsal ürünlerin korunması ve verimliliği için kullanılan pestisitlerin miktarı dünya çapında giderek artmaktadır. Bitkilerin hastalık, zararlı ve yabancı otların etkilerinden korunması, ürünün ve kalitenin artırılmasını sağlar. Ancak tüm bu koruma ekonomik ölçüler dahilinde gerçekleştirilmelidir. Pestisitlerin insan ve çevre sağlığına olumsuz etkileri nedeniyle verimli olan minimum konsantrasyonda kullanılması gerekmektedir. Pestisitlerin bilinçsiz ve kontrolsüz kullanımı sonucu, zararlı organizmalarda dayanıklılık oluşturabilme riskleri ve kalıntılar yoluyla insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkileri kesinlikle göz ardı edilmemelidir. Söz konusu riskler nedeniyle, dispersiyon çözeltilerden oluşan pestisitlerin daha etkin ve minimum konsantrasyonda kullanılmasının mümkün olup olmadığı araştırılmıştır.

Sıvı bir damla katı bir yüzey üzerinde buharlaştığında, çözünen faz damla çevresi boyunca birikmeyi tercih ederek halka benzeri bir morfoloji oluşturur. Bu fenomen, tek tip, yüksek çözünürlükte kalıplar elde etmek için istenmeyen durum olan kahve halkası etkisidir. Bu homojen olmayan birikim yapısı ve oluşum mekanizması ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Deegan ve arkadaşları radyal kılcal bir akış nedeniyle oluşturulan çevresel halka birikintisinde, parçacıkların sabitlenmiş üç fazlı temas hattına doğru taşıdığı sonucuna varmıştır [Deegan et al., 1997]. Sabitlenmiş üç fazlı temas hattına sahip damlacık için, buharlaşma kenarda daha yüksek seviyededir

ve halka kenarlarında daha fazla çözücü kaybedilir [Kuang et al., 2014]. Tarımsal mücadelede kahve halkası oluşumu istenmeyen bir oluşumdur. Halka yüzeyinin kaplanabileceği ve halka oluşumdaki yüzey alanının azaltılabileceği şekilde damlacıklar üçlü faz hattına bırakılmalıdır [Pierce et al., 2008]. Tarımsal mücadelede bu olgunun negatif etkilerinin ortadan kaldırılması için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Tarımsal uygulamada sprey uygulamalarında düşük püskürtme hacimleri küçük kalıntılar üretirken, yüksek partikül-adjuvan ilişkisi gözlenir. Daha yüksek püskürtme hacimleri temas hattının parçacıklar ile sıkıştırılmasıyla yüzeyde halka şeklinde oluşan büyük kalıntılar bırakır [Faers and Pontzen, 2008]. Tarımsal mücadelede bu yapının gözlenmesinin istenmeme sebebi, halka oluşumunda meydana gelen bitki tarafından emilmesi gereken aktif madde veya bitki yüzeyinin tamamen kaplanması gereken aktif maddenin belirli bölgelerde birikmesidir. Tarım ilaçlarında, hidrofilik yüzeylerde damlacık sabit bir boyuta erişerek ve onu koruyarak yayılır. Bu aşamada maksimum yayılma olan alanda bir halka birikimi meydana gelir. Buharlaşmanın tamamlanmasına doğru su filmi geri çekilir ve halka içinde küçük surfaktan madde tortusu adaları oluşur. Daha düşük surfaktan konsantrasyonlarında ise halka yapısında parçalanmış halka oluşumları gözlenir. Bu sonuç, alt tabaka temas alanının iç kısmında daha küçük adaların bir dağılımını göstermektedir. Daha yüksek konsantrasyonlarda, buharlaşma sonrası sadece katı bir yüzey aktif madde halkası kalır. Artan yüzey aktif madde konsantrasyonu, iç ada büyüklüğünün ortalamasını artırma ve toplam ada büyüklüğü dağılımını genişletme eğilimindedir. Yeterince hidrofobik yüzeylerde, yüzey aktif madde yüklü damlacıklar çivileme, halka oluşumları veya buharlaşma sonrası iç adaların kanıtı değildir. İlginç bir şekilde, düşük nem, daha yüksek yüzey aktif madde konsantrasyonlarında yayılmayı arttırmaktadır. Tarımsal uygulamada kahve halkası etkisinin azaltılması için çalışmalar yapılmaktadır [Pierce et al., 2008].

İnsektisit ilaçlar böceklerle karşı, fungusit pestisit ise mantar ve mantar sporlarının öldürülmesinde ve kontrol altına alınmasında kullanılan tarım ilaçlarıdır. Tez çalışmamızda “Mancozeb” isimli bir fungusit ilaç ve etken maddesi “acetamiprid” ve ticari adı “Hekplan” olan bir insektisit tarım ilacı kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, Mancozeb ve Hekplan böcek ilaçları içeren damlaların domates yüzeyindeki buharlaşmalarını takip etmek ve damla buharlaşması sonrası yüzeyde kalan birikintinin şeklinin saptanıp böcek öldürücünün yüzey kaplama alanı etkinliğinin araştırılmasıdır. Böylelikle son yıllarda tüketiminin artmasıyla insan

sağlığını ve çevreyi tehdit eden pestisit tüketiminde bir azaltma sağlamak için en düşük konsantrasyonunun belirlenmesine katkıda bulunulacağı planlanmıştır.

Türkiye’de sebzeler iç pazar taleplerinin karşılanması, ihracata katkı yapması ve sanayiye hammadde sağlaması ile önemli bir tarımsal ürün grubudur. Türkiye’nin sebze üretiminde domates önemli bir paya sahiptir. 2017 verilerine göre Türkiye sebze üretiminin %41,4’ünü domates oluşturmaktadır. Domatesin anavatanı; Orta ve Güney Amerika’dır. Ancak ülkemizde domates çok yaygın olarak yetiştirilen ve tüketilen bir sebze türüdür. Günümüzde hemen hemen tüm bölgelerimizde yetiştirilmektedir [Güvenç, 2017]. Dünyada domates üretimi ise 177 milyon tondur [Web 1, 2018]. Türkiye dünya domates üretiminde 4. sırada ve %7,2’lik paya sahiptir. Bu durum Türkiye’nin domates üretiminde dünyada söz sahibi olduğunun kanıtıdır. Ayrıca domates dış ticaretinde geliştirilebilecek potansiyeli olduğunu göstermektedir. Erkan ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptığı araştırmalara göre domatesin ihracatta rekabet gücünün var olduğu ve artış gösterdiği tespit edilmiştir [Erkan vd., 2015]. Tüm bu nedenler göz önünde bulundurularak domatesin daha verimli etkin bir şekilde korunabilmesine ve yurtdışı pazar payında daha etkin rekabet edebilmesine katkı sağlayabilmek amacı ile domates üzerinde kullanılabilecek minimum pestisit miktarının tespiti çalışmalarını bu tez kapsamında gerçekleştirmiş bulunmaktayız.

Tezin ilk bölümünde, pestisit etkinliğini araştırmak ve domates yüzeyinde oluşacak olan pestisit kalıntısını analiz etmek amacıyla yıkanmış ve yıkanmamış domates kabuğu üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Önce domates kabuğunun temas açıları ölçülerek serbest yüzey enerjisi hesaplanmıştır. Yıkanmış domates yüzeyi ve yıkanmamış domates yüzeyi kullanılarak domates yüzeyinin damla buharlaşma süresi ve buharlaşma sonrası kalıntı geometrisi üzerinde etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Tezin ikinci bölümünde, kullanılan Mancozeb fungisitinin farklı yüzeylerde davranışını incelemek amacıyla, farklı hidrofobik ve hidrofil yüzeyleri temsilen cam, polipropilen, polimetilmetakrilat ve teflon yüzeyinde damla buharlaşmaları davranışları incelenmiştir. Tezin üçüncü bölümünde, Mancozeb’in yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde damla buharlaşması davranışını incelenmiş ve fungusit kalıntısının incelenmesi için 2 boyutlu ve 3 boyutlu fotoğrafları çekilmiştir. Mancozeb konsantrasyonunun ve bağıl nemin Mancozeb buharlaşma hızına ve Mancozeb’in kalıntı geometrisine etkileri ele alınmıştır. Ayrıca Mancozeb dispersiyonuna etanol ve izopropanol eklenmesinin Mancozeb buharlaşma hızına ve Mancozeb kalıntı geometrisine etkileri incelenmiştir. Tezin dördüncü bölümünde ise

etken maddesi ‘Acetamiprid’ olan Hekplan inektisitinin yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde damla buharlaşması davranışını incelenmiş ve fungusit kalıntısının incelenmesi için 2 boyutlu ve 3 boyutlu fotoğrafları çekilmiştir. Hekplan konsantrasyonunun ve bağıl nem etkisinin Hekplan buharlaşma hızına ve Hekplan’ın kalıntı geometrisine etkileri ele alınmıştır. Ek olarak, Hekplan inektisitine etanol ve izopropanol eklenmesinin Hekplan buharlaşma hızına ve Hekplan kalıntı geometrisine etkileri incelenmiştir.

## 2. DAMLA BUHARLAŞMASI

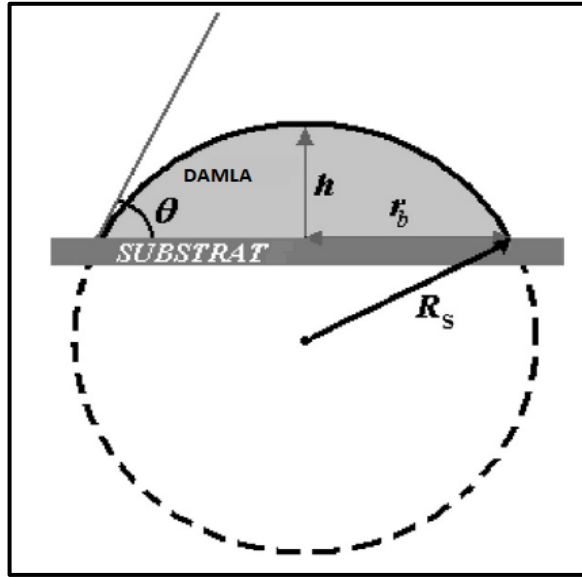
Damla buharlaşması; sıvı buharının havaya difüzyonu tarafından kontrol edilen; başlangıç temas açısı, difüzyon katsayısı ve buhar basıncı ile ilişkili olan bir işlemdir [Erbil, 2015]. Damla buharlaşması sıcaklık ve buhar konsantrasyonu farkına sahip bir ortamda meydana gelir. Durağan olmayan bu proses doğal koşullar altında son derece karmaşıktır. Ortam ve damlalar arasındaki ısı ve kütle transferi iletim, taşınım ve ısıtım mekanizması ile gerçekleşir [Erbil, 2012]. Buharlaşma için itici güç, buharlaşan sıvı / buhar fazındaki damla sıvısının buhar basıncı ile çevresindeki atmosferdeki basınç arasındaki farktır. Buhar basıncı, havanın toplam basıncının bir parçasıdır. Buharlaşma ilerledikçe, çevre havası yavaş yavaş buharla doymun hale gelebilir ve buharlaşma yavaşlar ve eğer buhar difüzyonla (veya konveksiyonla) atmosfere aktarılmazsa durabilir [Erbil, 2015]. Damla buharlaşması difüzyon kontrollü damla buharlaşması ve konveksiyon altında damla buharlaşması olarak iki başlık altında ele alınmıştır.

### 2.1. Damla Buharlaşması Önemi ve Teorisi

Damlacıklar ve buharlaşma ile ilgili çalışmalar 1800 sonlarından bu yana yapılmıştır ve Scopus veri tabanında arşivlendiği gibi referans dergilerde 6800'den fazla makale yayınlanmıştır [Brutin and Starov, 2018]. Damla buharlaşmasının kontrolü ve anlaşılması çoğu endüstriyel ve medikal uygulamalarda anahtar rol oynar. Bunlardan bazıları; ink-jet baskı, medikal testler, DNA haritası, tarımda pestisit uygulamaları, yemek endüstrisi, biyoloji, ısı değiştiriciler, olay yeri inceleme gibi alanlardır [Perrin et al., 2018]. Havadaki serbest bir damlacık için, damlacık simetrik olarak buharlaşır ve sıvı-buhar ara yüzündeki buharlaşma akısı aynıdır [Yu et al., 2015].

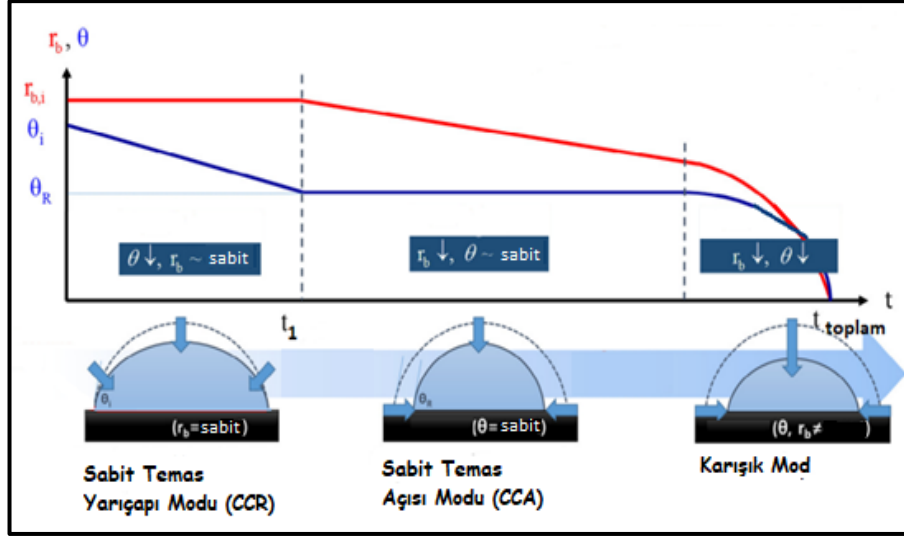
Yüzeydeki bir damlacık için sıvı-buhar, sıvı-katı, katı-buhar ara yüzleri ve bir temas hattı vardır. Sıvı-buhar ara yüzlerindeki buharlaşma akısı damlacık buharlaşma şekline bağlıdır [Yu et al., 2015]. Durağan damlanın katı bir substrat üzerinde biriktirildikten sonra ıslatma alanı üç fazlı temas hattı ile sınırlıdır. Neredeyse küresel bir damla için bu üç farklı parametre temas yarıçapı ( $r_b$ ), temas açısı ( $\theta$ ) ve damla yüksekliğidir ( $h$ ) [Erbil, 2012], [Öztürk and Erbil, 2018]. Bu parametreler Şekil 2.1'de gösterilmiştir [Yu et al., 2015]. Başlangıç temas açısı ve temas alanı durağan sıvı

damla buharlaşırken, sıvı damlanın buhar basıncı oranı, ortam koşulları ve buharlaşma tipine bağlı olarak zamanla azalır [Erbil, 2015].



Şekil 2.1: Substrat üzerinde durağan damlanın ölçüleri.

Picknett ve Bexon, 1977 yılında yapmış oldukları çalışmalarda, damla buharlaşmasının temel olarak 3 mod üzerinden gerçekleştiğini bulmuşlardır. Bunlar; sabit temas yarıçapı modu, sabit temas açısı modu ve karışık mod olarak adlandırılmıştır [Erbil et al., 2002]. Damla buharlaşma modları Şekil 2.2’de gösterilmiştir [Yu et al., 2015]. Damlacık ilk kez bir yüzeye yerleştirildiğinde temas açısı ve temas yarıçapı ile karakterize edilebilir. Sabit temas yarıçapı modunda (CCR) temas açısı azalır ve damlanın temas hattı sabitlendiğinden temas yarıçapı sabit kalır. Temas hattındaki sabitleme kuvveti kademeli olarak artar. Sabit temas açısı modunda (CCA) temas açısı sabit kalırken temas hattı daralır. İlk ve uzak temas açısı arasındaki fark temas açısı histerizi olarak adlandırılır [Yu et al., 2015]. Karışık modda ise damla şekli aniden değişebilir, temas açısında bir artış ile temas dairesi çapında bir düşüş ya da bazen her iki miktarda da bir düşüş meydana gelir [Erbil et al., 2002]. Birçok deneysel çalışmada, buharlaşma sırasındaki damla şekli evrimleri, bir şırıngadan substrat üzerinde bir miktar kontrollü hacim damlatılmasından sonra bir dijital kamera yardımıyla damla görselleştirmesi ile izlenir [Öztürk and Erbil, 2018].



Şekil 2.2: Damla buharlaşması modlarını gösteren şematik diyagram.

### 2.1.1 Difüzyon Kontrollü Damla Buharlaşması

Bir damlanın hemen çevresindeki atmosfer, sıvının buharı ile doymadığında sıvı damlaları buharlaşır [Erbil, 2012], [Erbil, 2015]. Bir damlacığın gaz halinde bir ortamda buharlaşması ilk defa Maxwell tarafından ortaya konmuştur [Hegseth et al., 1996]. Damla yüzeyinden difüzyon kontrollü buharlaşma için buhar konsantrasyonu gradyanı, damladan uzakta sonsuz bir mesafeye kadar oluşur. Maxwell, hareketsiz olan küresel bir damlanın sonsuz tek biçimli bir ortama göre genel difüzyon hızı denklemini türetmiştir [Maxwell, 1890].

Durağan buharlaşma için damla yüzeyinin sıcaklığındaki doymuş buhar konsantrasyonunun ve buharlaşma ile kütleli kayıp oranının verildiğini varsaymıştır.

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

m: kütle (kg), t zaman (s), R: küresel damlanın merkezine radyal mesafe (m), D: difüzyon katsayısı ( $m^2/s$ ), ve c ise buhar konsantrasyonudur ( $kg/m^3$ ).

$C_\infty$ , damladan sonsuz mesafedeki düşüşün konsantrasyonu ise, sınır koşulları,  $R = R_s$  ve  $R = \infty$  olduğunda  $C = C_s$  olur ve denklem;

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

$R_s$  küresel damlanın merkeze olan mesafeden yarıçapı,  $C_s$  küresel damlanın yüzey konsantrasyonu ( $R_s$  mesafesinde). Buhar konsantrasyonu su dışındaki sıvılar için sonsuz mesafede 0'a eşit olacaktır ( $C_\infty = 0$ ). Kütle yerine ise yoğunluk ve hacim çarpımı yazılır.

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

$V$  sıvı damlasının hacmini ( $m^3$ ),  $\rho$  ise sıvı damlanın yoğunluğunu ( $kg/m^3$ ) göstermektedir.

Şekil 2.1'de verilen damla yüksekliği, temas açısı, temas yarıçapı ve küresel damlanın yarıçapı bilgileri geometri ile ilişkilendirildiğinde;

$$r_b = R_s \sin \theta \quad (2.4)$$

$$R_s = \left( \frac{3V_{küre}}{\pi \beta} \right)^{1/3} \quad (2.5)$$

$$R_s = \left( \frac{3V_{küre}}{\pi \beta} \right)^{1/3} \quad (2.6)$$

$$\beta = (1 - \cos \theta)^2 (2 + \cos \theta) = 2 - 3 \cos \theta + \cos^3 \theta \quad (2.7)$$

Picknett ve Bexon, buharlaşan damlanın altındaki katı substratın varlığının buharlaşmayı engellediğine dikkat çekti [Picknett and Bexon, 1977]. Katı substrat üzerinde duran tamamen küresel bir damla, havada asılı duran küresel damlaya göre daha yavaş buharlaşacaktır. Yatay katı yüzey aşağı yönde yayılacak olan buharı engeller ve zamana göre hacimde azalma oranı olarak verilir [Erbil, 2012].

$$-\left( \frac{dV_c}{dt} \right) = \frac{4\pi R_s D}{\rho_L} (C_s - C_\infty) f(\theta) \quad (2.8)$$

$f(\theta)$  küresel damlanın temas açısının bir fonksiyonudur.

Picknett ve Bexon, difüzyon akısı ve elektrostatik potansiyel arasındaki ilişkiyi kullanarak küresel kabın temas açısının bir fonksiyonu olan  $C$  (kapasitans) faktörünü tanımlayarak bu durum için bir denklem elde etti. Temas açısı olan  $\theta$  ve eğrilik yarıçapı olan  $R$ 'nin bir fonksiyonu olarak  $C$  ifade etmişlerdir ve sapsız bir damlanın buharlaşma hızını belirleme problemini, aynı boyutta ve şekilde eş dışbükey merceğin izole edilmiş bir iletken gövdenin kapasitansını aşağıdaki formülle belirtmişlerdir [Picknett and Bexon, 1977].

$$f(\theta) = \frac{1}{2} \left( \frac{C}{R_s} \right) \quad (2.9)$$

$C$  eş dışbükey merceğin kapasitansıdır. Akış fonksiyonları kullanılarak elde edilen Picknett ve Bexon, daha kolay hesaplamaları kolaylaştırmak için ampirik bir polinomla kapasitans ile tepe açısını ilişkilendirmek için Snow'un sonlu serisini [Snow, 1949] uyguladı [Picknett and Bexon 1977]. Eşdeğer kapasitans faktörüne iki polinom uyumu sağladılar [Erbil, 2012].

$$0 \leq \theta < 0.175 \text{ rad} (0 \leq \theta < 10^\circ) \quad (2.10)$$

ise;

$$\frac{C}{R_s} = 0.6366\theta + 0.09591\theta^2 - 0.06144\theta^3 \quad (2.11)$$

ve eğer;

$$0.175 \leq \theta \leq \pi \text{ rad} (10^\circ \leq \theta < 180^\circ) \quad (2.12)$$

ise;

$$\frac{C}{R_s} = 0.00008957 + 0.6333\theta + 0.116\theta^2 - 0.08878\theta^3 + 0.01033\theta^4 \quad (2.13)$$

Picknett ve Bexon, sonlu serilerden elde edilen değerler ile Snow formülünden elde edilenler arasındaki farkların, her durumda %0,2'den küçük olduğunu ve genellikle %0,1'den düşük olduğunu belirtti [Picknett and Bexon, 1977]. Entegrasyonu gerçekleştirmek için, denklem  $V_{küre}$  ve  $\beta$  cinsinden yazılmıştır,

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

$$K = \frac{4\pi^{\frac{2}{3}}3^{\frac{1}{3}}D(C_s - C_\infty)}{\rho_L\beta^{1/3}} \quad (2.15)$$

K zaman ve hacimden bağımsız bir sabittir. Denklem  $t \rightarrow 0$  anında  $V_{ci}$  ve  $t \rightarrow t$  anında  $V_c$  olarak entegre edildiğinde;

$$V_c^{2/3} = V_{ci}^{2/3} - \frac{2}{3}Kf(\theta)t \quad (2.16)$$

Denklem (2.16) damlanın toplam ömrünü veren “CCA modu” için analitik olarak entegre edilebilir ve verilen  $V_c^{2/3}$  ve  $\theta$  değerleri için doğrusal  $V_c^{2/3} - t$  grafiği oluşturmak mümkündür. Bununla birlikte, böyle bir entegrasyon “CCR modu” için mümkün değildir ve sadece sayısal çözümler hesaplanabilir [Picknett and Bexon, 1977].

### 2.1.2. Konveksiyon Altında Damla Buharlaşması

Buharlaşan damlanın kütlesi zamanla azalır. Konveksiyon ve difüzyon etkisiyle damlacık kütlesi buharlaştırıcı damlacıktan uzaklaşır. Sıvı fazının yüzeydeki bir gaza dönüşümü için buharlaşmanın gizli ısısı gerekmektedir. Hem dış gazdan hem de iç sıvılardan yüzeye bir ısı akısı iletim, taşınım veya radyasyon yoluyla mümkündür. Işınımlı ısı transferi, iletim ve taşınımdan daha az etkilidir. Buharlaşan damlacık iç kısmındaki sıvıdan gerekli ısı damlacık yüzeyine sağlanmalıdır. Buharlaşan damlacık yüzeyine sıcaklık gradyanı gelişir ve ısı yüzeye doğru hızla iletilir. Yüzey geriliminin sıcaklığa bağlı olması nedeniyle iletken durum kararsız olma potansiyeline sahiptir.

Yüzeyde homojen olmayan sıcaklık dağılımı, yüzey akışkanının yüzey gerilimi daha yüksek olan bölgelere doğru çekildiği bir yüzey gerilimi gradyanı oluşturur. Viskoz kuvvet, momentumu damlacık içine taşır ve damlacık boyunca konvektif bir akış gerçekleşir [Hegseth et al., 1996]. Bu etki, 1855 yılında bu yüzey olayını ilk kez bildiren İtalyan fizikçi Carlo Marangoni'nin adını taşıyan Marangoni etkisi olarak adlandırılır.

Tek bileşenli bir damlacık, ısıtılmamış bir alt tabaka üzerine biriktirildiğinde, buharlaşmanın çoğu, temas hattının yakınında meydana gelir. Süreklilik nedeniyle, radyal olarak dışarı doğru bir akış, menisküs bölgesinde buharlaştırılan sıvının kılcal akış olarak adlandırılan kısmını yeniler.

Substrat ısıtılırsa, katı / sıvı ara yüzünden sıvı / buhar ara yüzüne ısı iletilir. Daha kısa ısı transfer yolu nedeniyle, temas hattının çevresindeki sıcaklık, damlacık üstündeki sıcaklıktan daha yüksektir. Artan sıcaklık, temas hattına yakın bölgenin yüzey gerilimini azaltır ve sıvı, sıvı / buhar ara yüzü boyunca daha yüksek yüzey gerilimi olan damlacık tepe noktasına sürülür. İndüklenen akış, termal Marangoni akışı veya termokapiller akış olarak adlandırılır [Chen, 2018].

Konveksiyon tarafından gerçekleşen ısı transfer oranı;

$$H = 4\pi r^2 k \frac{dt}{dr} \quad (2.17)$$

Isı transfer oranı H, r damla merkezine olan yarıçap mesafesi, k ise havanın termal iletkenliğidir.

Konveksiyon altında damlanın buharlaşma oranı ise;

$$W = 4\pi r^2 D \frac{dn}{dr} \quad (2.18)$$

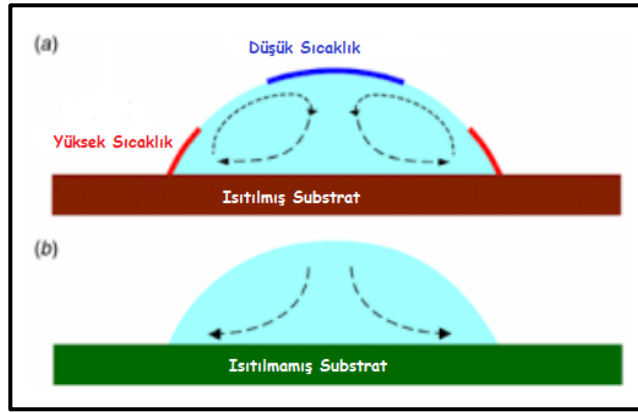
W suyun buharlaşma oranı, D ise buhar difüzyon katsayısıdır.

$$W = 4\pi a D (n_s - n_0) \quad (2.19)$$

a damla yarıçapı, n ise birim hacim başına buhar konsantrasyonudur. Sıvının buhar basıncı, barometrik basınca göre düşükse, aşağıdaki denklem yazılabilir;

$$W = 4\pi a D \rho \left( \frac{e_s - e_0}{P} \right) \frac{M_e}{M_a} \quad (2.20)$$

Bir damlanın buharlaşma hızı bu denklemden hesaplanabilir.  $\rho$  havanın ağırlıklı yoğunluğu, yüzey sıcaklığında doygunculuktaki buhar basıncıdır;  $e_0$ , havanın gövdesindeki buhar basıncı,  $P$  barometrik basınç mmHg,  $M_a$  havanın molekül ağırlığı,  $M_e$  buharın molekül ağırlığı  $e$ 'nin değeridir. Damlanın ısıtılmış ve ısıtılmamış substratta buharlaşma davranışı Şekil 2.3'de [Hendarto and Gianchandani, 2013] gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Tek bileşenli durağan damlacık içindeki akış yapısı a) ısıtılmış substrat üzerinde b) ısıtılmamış substrat üzerinde.

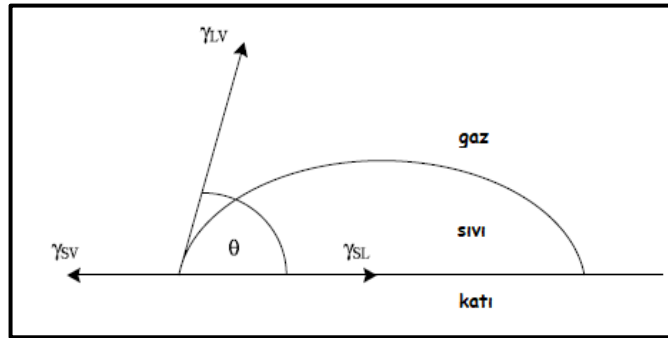
Damla buharlaşması çalışmalarının uygulama alanlarından bahsedecek olursak; Katı yüzeylerin sıvı damlalar tarafından ıslatılması, 1800'lü yıllardan bu yana incelenmiştir. Buharlaşma kinetiği, damla ve substratın bileşimi, çevre koşulları ve yakındaki diğer damlaların varlığı, desen morfolojisine karar vermede rol oynamaktadır [Zanga et al., 2019.] Difüzyon kontrollü buharlaşma ile gerçekleşen damla buharlaşması, ilgilenilen önemli bir konudur. Bunun sebebi, partiküllerin katı yüzeylere birikmesini kontrol etme, mürekkep püskürtmeli baskıda, pestisitlerin püskürtme prosesleri, mikro / nano malzeme üretimi, ince film kaplamalar, biyokimyasal deneyler, akıllı soğutma, DNA / RNA mikro dizilerinin biriktirilmesi ve son on yılda yeni optik ve elektronik malzemelerin üretimi gibi alanlarda oldukça önemli rol oynamasıdır [Erbil, 2012].

### 3. YÜZEY GERİLİMİ ve TEMAS AÇISI

Faz, bir maddenin kimyasal bileşim ve fiziksel durum içerisinde tekdüze olan bir formudur. Katı, sıvı ve gaz olmak üzere 3 faz mevcuttur. Yüzey, fazlardan sadece birinin fiziksel sınırını ifade eder [Erbil, 2006]. Ara yüzey ise iki kondanse faz arasındaki sınırı ifade eder ve temas halindeki fazlar arasındaki ince 3 boyutlu katmanı tarif etmek için kullanılır. Bu bölgeler ayrı fazlar olarak kabul edilemez, çünkü bunlar sadece birkaç moleküler çap kalınlığındadır ve özellikleri toplu fazdan dik mesafeyle değişir. İzotropik yoğunlaştırılmış bir fazın kütledeki moleküller simetrik bir kuvvet alanındadır, yani moleküller arasındaki çekici kuvvetler her yöne aynıdır. Yüzeydeki moleküller, aynı fazdaki tüm komşu moleküller tarafından kütleyle çekilir ve kuvvetlerin elde edilen toplamı, yüzey düzlemine dik olarak işaret eder, çünkü gaz fazının çekimi sıfırdır. Bu, yüzey serbest enerjisi denilen yüzey aşırı enerjisine sahip asimetric bir kuvvet alanı yaratır. Bu asimetriyi azaltma eğilimi, adsorpsiyon, adezyon ve ıslanma olaylarını oluşturur [Kloubek, 1992].

Temas açısının büyüklüğü, katı, sıvı ve gaz fazı arasındaki temas hattındaki ara yüzey gerilimleriyle doğrudan ilgilidir [Koopal, 2012]. Katı substrat üzerinde temas açısı ve ara yüzey gerilimleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir [Chander and Hogg, 2007]. Young, temas açısı dengesini ilk kez 1805’te ortaya koymuştur [Young, 1805].

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad (3.1)$$

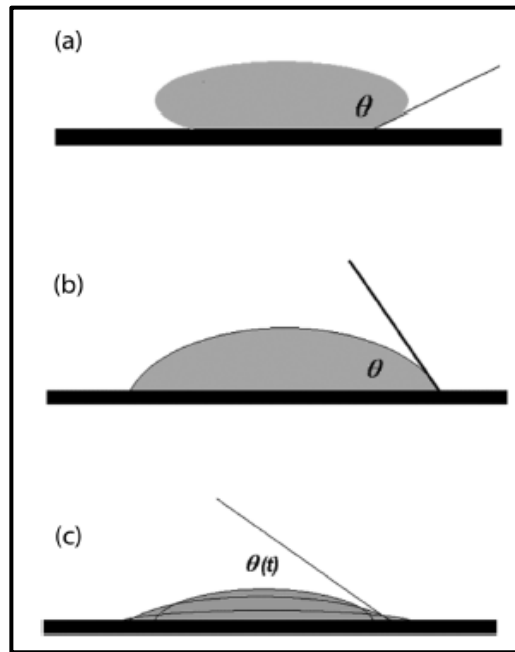


Şekil 3.2: Katı substrat üzerinde sıvı fazda temas açısı.  $\gamma_{SV}$ : katı-buhar arayüzey gerilimi,  $\gamma_{LV}$ : sıvı-buhar arayüzey gerilimi ve  $\gamma_{SL}$ : katı-sıvı arayüzey gerilimi.

Sıvıların yüzey gerilimi artan sıcaklık ile azalır. Katı yüzey gerilimi ile ilişkili ifade edilen değerler sıcaklıktan az etkilenirler,  $\gamma_{SV} - \gamma_{SL}$  yaklaşık olarak sıfırdır.

Sıcaklık arttıkça  $\cos\theta$  ifadesinin değeri artar. Bu da, sıcaklığın artmasıyla  $\theta$  değerinin azalmasına sebep olur.

Islatma, sıvıların katılar üzerinde oluşturduğu temas açılarıyla karakterize edilir [Kloubek, 1992]. Temas açısının  $0^\circ$  eşit olduğu durumda substrat sıvı tarafından tamamen ıslatılır. Eğer,  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  ise kısmen ıslanma gerçekleşir.  $90^\circ < \theta < 180^\circ$  ise substrat ıslak olarak nitelendirilir. Temas açısının  $180^\circ$  eşit olduğu durum söz konusu ise substrat sıvı tarafından ıslatılamaz [Law, 2001]. Tüm durumlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir [Brutin and Starov, 2018]. Temas açısı arttıkça substratın hidrofobikliği artar.



Şekil 3.1: Farklı ıslanma durumları: a)  $90^\circ$ 'den büyük bir temas açısına sahip ıslanmama durumu b) Sıfır ve  $90^\circ$  arasında bir temas açısına sahip kısmi ıslatma c) tam ıslatma durumu.

### 3.1. Sıvı Yüzey Gerilimi

Moleküller arası kuvvetlerin etkin görüldüğü yer, bir sıvının yüzeyindeki gerilimdir. Ara yüzey hattında, net etkisi dengede sıfır olan bir moleküle etki eden asimetric kuvvetlerin olduğu olacaktır. Bu nedenle, yüzey tabakası gergindir ve denge durumunda, toplam akışkan kütlesi, kabın neden olduğu kısıtlamalar ve dış kuvvetler ile uyumlu olması gereken alanını en aza indirmeye eğilimindedir. Bu gerginliğin ölçülebilir ifadesi olan yüzey gerilimi ( $\gamma$ ), birim uzunluk başına yüzeyin düzlemine

uygulanan kuvvet olarak tanımlanmaktadır [Escebedo and Mansoori, 1996]. Saf sıvıların ve sıvı karışımların yüzey gerilimini tahmin etmek için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Sıvı yüzey gerilimi adsorpsiyon, ekstraksiyon ve fraksiyonlama gibi birçok kimyasal prosesi doğrudan etkilediğinden önemi oldukça büyüktür. Sıcaklık arttıkça, moleküllerin kinetik hareketlilikleri ve buharlaşma eğrileri artar. Moleküller arası bağ zayıflarken, yüzey gerilimi azalır [Meissner and Michaels, 1949].

Sıvı-buhar bir yüzeyin yüzey gerilimi ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi ifade etmek için,

$$PV = RT \quad (3.2)$$

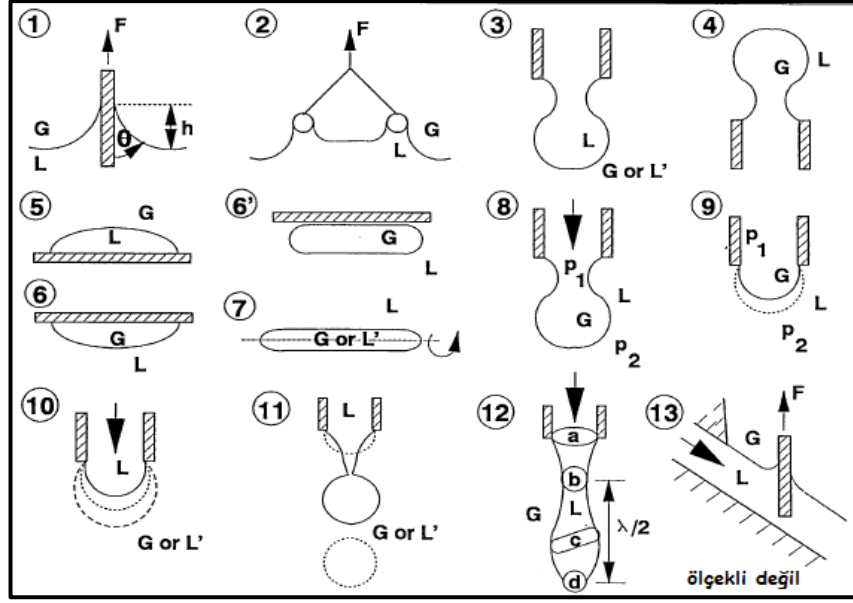
gaz yasasına benzer şekilde, Eötvös 1886 yılında denklem önerdi [Eötvös, 1886].

$$\gamma(V_M)^{2/3} = k(T_c - T) \quad (3.3)$$

$V_M$  sıvının molar hacmi ve ( $V_M = M_W/\rho_L$  ve  $M_W$  ise bileşenlerin moleküler ağırlığı,  $\rho_L$  sıvı yoğunluğudur.),  $k$  sabittir.  $(V_M)^{2/3}$  molar yüzey alanı olarak isimlendirilir.  $\gamma(V_M)^{2/3}$  ise molar serbest yüzey enerjisidir.

$$\gamma \left( \frac{M_W}{\rho_L - \rho_V} \right)^{2/3} = k(T_c - T) \quad (3.4)$$

Dinamik yüzey gerilimini ölçmek için uygulanan yöntemler Şekil 3.3'te gösterilmiştir ve kısaca yöntemler ile ilgili bilgileri özetleyecek olursak; 1) Wilhelmy plaka yöntemi (F [kuvvet]) ölçülür;  $h$  duvarda kılcık yükselme; ve  $\theta$ , dinamik temas açısıdır), 2) DuNouy halka yöntemi, 3) Pendant damla metodu, 4) ortaya çıkan kabarcık metodu, 5) sapsız düşme yöntemi, 6) esir kabarcık yöntemi, 7) dönen kabarcık veya bırakma yöntemi, 8) maksimum kabarcık basıncı yöntemi, 9) kabarcık metodu (sabit alan modu, düz çizgi ve değişken alan veya düz çizgi ve kesikli çizgi arasında, titreşimli kabarcık modu), 10) büyüyen damla yöntemi, 11) damla ağırlık veya hacim yöntemi, 12) salınımlı jet yöntemi ( $a$  ve  $c$ , büyükleri ile elips olan kesitleri temsil eder ve küçük eksenler değiştirilir;  $d$  grubu, daire olan kesitleri temsil eder ve dalga boyudur), 13) eğimli plaka yöntemi (gerginlik bir Wilhelmy plakası ile ölçülür) [Franses et al., 1996].



Şekil 3.3: Dinamik yüzey gerilimini ölçmek için deneysel düzeneklerin şematik gösterimi.

### 3.2. Katı Yüzey Gerilimi

Katı yüzeylere adezyon, koşullara bağlı olarak arzu edilebilir veya edilmeyebilir. Boyalar, kaplamalar, yapıştırıcılar ve fiber-matris kompozitler alanlarında, akışkan ve genel olarak katı substrat arasında iyi yapışma gerekir. Ayrıca bakterilerin su arıtma tesislerinde ve bazı biyo-teknik uygulamalarda katı desteklere yapışması da istenmektedir. Buna karşın, özellikle yüzeylerin kirlenmesinde yapışmanın istenmediği birçok alan vardır. Bakteriyel kirlenme, petrol platformlarının ve gemi gövdelerinin korozyonunun, ısı eşanjörlerinin kirlenmesinde, diş çürümesinde, kontakt lens enfeksiyonlarında ve gıda üretim tesislerinde korozyon gibi fenomenlerde çok ciddi bir problemdir. Islanma ve yapışmadan sorumlu moleküller arası kuvvetler kısa mesafeli olduğu için, işlem birçok durumda bir monomoleküler tabakanın bile yapışma davranışını tamamen değiştirebildiği yüzey modifikasyonu ile kontrol edilebilir [Clint, 2001].

Katı bir yüzeye yapışma kuvveti, uygun kuvvet ölçümleri kullanılarak doğrudan ölçülebilir veya ilk önce Harkins tarafından sunulan termodinamiğe dayanan “adezyon işi”,  $W_a$  değerinden tahmin edilebilir [Harkins, 1928].

$$W_a = \gamma_S + \gamma_L - \gamma_{SL} \quad (3.5)$$

Bu denklemde hava ve sıvı gibi iki akışkan arasındaki ara yüzey gerilimlerinden yalnızca  $\gamma_L$  güvenilir ölçülebilir ve katı arayüzey gerilimini içeren ifadeler bağımsız olarak ölçülemez. Bu nedenler Young-Dupree eşitliği ortaya çıkmıştır;

$$\gamma_L \cos \theta = \gamma_S - \gamma_{SL} \quad (3.6)$$

Böylelikle adezyon işi denklemi daha kullanışlı hale gelmiştir;

$$W_a = \gamma_L (1 + \cos \theta) \quad (3.7)$$

Bileşenleri fazların kimyasal yapısı ile daha yakından ilişkilendirmek için Van Oss, Good ve arkadaşları [Oss and Good et al., 1988], polar bileşenin asit-baz etkileşimleri açısından daha iyi tanımlanabileceğini önerdi. Böylece bir arayüzey gerginliği;

$$\gamma = \gamma^{LW} + \gamma^{AB} \quad (3.8)$$

$\gamma^{LW}$  apolar London van der Waals bileşeni,  $\gamma^{AB}$  ise asit baz etkileşimlerinin bileşenidir. Bu asit-baz etkileşimleri elektron alıcı ( $\gamma^+$ ) yüzey gerilimi ve elektron verici ( $\gamma^-$ ) yüzey gerilimi parametrelerini içerir.

$$\gamma^{AB} = 2\sqrt{\gamma^+ \gamma^-} \quad (3.9)$$

### 3.3. Temas Açısı Ölçümü ile Karakterizasyonu

Temas açısı ölçümü basit görünmesine karşın, her bir aşaması sonucu doğrudan etkileyen adımlar içerir. Substratın uygun şekilde hazırlanmaması, damla oluştururken saf sıvıların kullanılmaması, ölçüm sırasında gerçekleşen damla buharlaşması, iğnenin damla içerisindeki yeri ve video görüntüsünde keskin bir görüntünün elde edilememesi yanlış ve gerçeği yansıtmayan temas açısı değerlerinin elde edilmesine yol açar [Erbil, 2014].

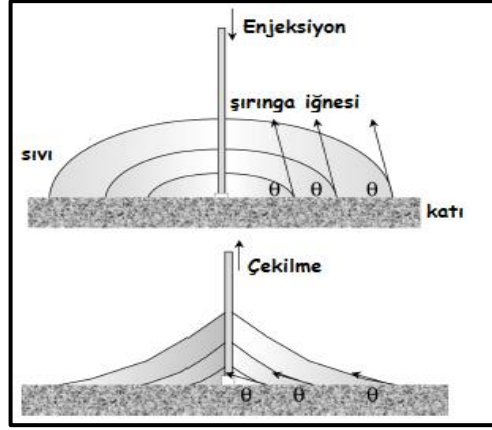
Günümüzde sadece iki yöntem en popüler olanıdır, bunlardan ilki bir iğne ve şırınga vasıtasıyla bir katı üzerinde oluşan bir sapsız düşmenin temas açısının

ölçülmesi ve görüntü yakalama için bir gonyometre veya video kamera kullanılmasıdır, [Erbil, 2014] diğeri ise etkileşimin kuvvetlerini ölçmeyi içeren tensiyometri ile dinamik temas açısı ölçüm yöntemidir [Bendure, 1973]. Dinamik temas açısı ölçüm yöntemi, hareketli düz bir katı plaka bir test sıvısına daldırılmış halde iken yapılmaktadır [Strobel et al., 2011]. Dinamik temas açıları, üç faz sınırının gerçek hareket halinde olması durumunda ölçülebilen açılardır. Genellikle, tensiyometrik temas açısı metodu olarak da adlandırılan Wilhelmy plaka metodu kullanılır. Pratikte çok kullanışlı bir yöntem olan Wilhelmy plaka yöntemi cam slayt üzerine platin veya başka bir metalin kaplanmasıyla elde edilen plakanın sıvı içine daldırılması yöntemidir. Sıvının hem yüzey gerilimini hem de temas açısını ölçebilir.

İdeal olmayan bir yüzey üzerinde yavaşça ilerledikçe bir sıvının temas açısı  $\theta_a$  ile sıvının aynı yüzey üzerinde çekilmesi sırasında temas açısı  $\theta_r$  arasındaki genel olarak gözlenen fark, temas açısı histerezi olarak adlandırılır:

$$\Delta\theta = \theta_a - \theta_r \quad (3.10)$$

Neredeyse tüm katı yüzeyler temas açısı histerezi sergiler. Katı bir yüzey üzerindeki sıvı damlanın ilerleyen ve gerileyen temas açıları Şekil 3.4'te şematize edilmiştir. Sıvı enjekte edildiğinde temas hattı ilerler ve geri çekildiğinde temas hattı geri çekilir. Kuru bir yüzey üzerinde ilerleyen bir sıvının oluşturduğu temas açısı, genellikle daha önce ıslatılmış yüzey üzerinde gerileyen aynı sıvının temas açısından daha büyüktür. Temas açısı histerezisinin değeri, genel olarak histerezin katı bir yüzeyin pürüzlülüğünden veya heterojenliğinden kaynaklanır. Dolayısıyla yüzey heterojenitesi ile arttığı varsayılarak katı yüzeyin kalitesi ile ilgilidir. Histerezisizliğin teorik temeli, sistemin, Young denklemi tarafından tanımlanan ideallik koşullarını yerine getirememesidir. Young denkleminin “gerçek” temas açısının aksine, pürüzlü bir yüzeydeki temas açısı “görünür” temas açısıyla nitelendirilebilir. Yüzeyin pürüzlülüğü ve kimyasal heterojenite temas açısı histerezisinin ana nedenlerini temsil eder. İlerleyen temas açısı, katı yüzeyin henüz sıvı tarafından kirlenmediği koşullar altında ölçülür. Bu nedenle uzaklaşan temas açıları her zaman ilerleyenlerden daha küçüktür. Eğer yüzeyin temas açısının sıvısı ile kirlendiği tam derece bulunmak istenmiyorsa, uzaklaşan temas açısının kullanımından her zaman kaçınılmalıdır [Karbowski, 2006].



Şekil 3.4: Katı bir yüzey üzerinde bir sıvı damlasının ilerleyen ve gerileyen temas açısının şematik gösterimi.

Statik yöntemde, sapsız düşmenin, normal şekilde ölçüldüğü gibi,  $\theta$ 'nın gerçek dengesi olmasa bile, tam mekanik dengede olduğu varsayılır. Sonuncusu genellikle ideallikten sapan deneysel koşullardan kaynaklanmaktadır. Sapsız düşme yöntemi, lokalize bölgelerin katı bir yüzey üzerinde ıslanma özelliklerini tahmin etmek için kullanılan bir optik temas açısı yöntemidir. Bir damla profilinden temas açısı ölçümü için en sık kullanılan iki yöntem konvansiyonel gonyometre ve Neumann ve iş arkadaşları tarafından geliştirilen Eksenel Simetrik Damla Şekli Analizi (ADSA) yöntemleridir [Kwok et al., 1996]. Bunlar arasındaki temel fark, ADSA yöntemi görüntü işleme ve eğri uydurma esasına dayanmasına rağmen, gonyometre yönteminin damlanın taban çizgisi ile damlama sınırındaki teğet arasındaki temas açısını manuel olarak ölçmeye dayanmasıdır. Düşürme profilinin büyütülmüş bir görüntüsünün video çekimi, bir bilgisayara görsel bir bilgiyle, genellikle bir CCD (Charged Coupling Devices) kamerayla, görsel bilgilerin elektriksel sinyallere dönüştürülmesini sağlar. Daha sonra, deneysel bırakma profilinin Laplacian ve Axisymmetric olduğu varsayılır ve üç fazın temasında teğetten bu teorik profile temas açısını hesaplamak için teorik Laplacian denklemi bulunur. Bu son yöntem temas açısı ölçümlerinde yüksek doğrulukla sonuçlanır [Cheng et al., 1990], [Rotenberg et al., 1983], [Kwok et al., 1996]. Son zamanlarda yüksek hassasiyetli temas açısı ölçümleri için bir Otomatik Polinom Armatür (APF) önerilmiştir. Bu APF yöntemi, damla profilinin yüksek oranda büyütülmüş görüntülerini elde etmeye ve temas açısını belirlemek için bir polinom fittinginin uygulanmasına dayanır. Bu yöntemle ADSA yöntemi arasında çok çeşitli durumlara, örneğin eksenel simetrik olmayan damlalara bile uygulama avantajı ile iyi bir anlaşma buldular [Erbil, 2006], [Karbowski, 2006]. Diğer statik temas açısı

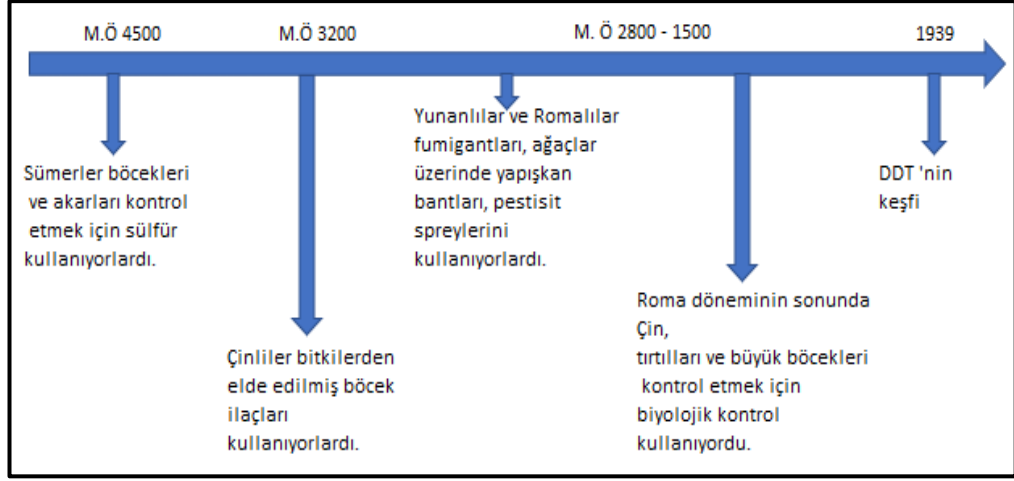
ölçme yöntemleri; esir kabarcık metodu, eğimli plaka üzerinde kayan damla yöntemi, damla ölçüleri metodu ve statik Wilhelmy plaka metodudur.

Statik temas açısı ölçümünün avantajları bu yöntemi daha uygulanabilir hale getirmektedir. Hemen hemen her yüzey için kullanılabilir olması ve çok az miktarda sıvı kullanılarak yapılması avantajlarındandır. Aynı zamanda ısıtılmış bölmelerde polimer eriyikleri gibi yüksek sıcaklıktaki sıvıları test etmek kolaydır. Tüm bu avantajların yanı sıra bazı kısıtlamalarla da karşılaşmaktadır. Teğet çizgisinin belirlenmesinin manuel olarak yapılması, hatalara sebep olabilecek başlıca dezavantajdır. Diğer dezavantaj ise temas açısının ilerlemenin veya geri çekilme hızına bağımlılığının nicel ölçümüne özellikle iyi adapte olmamasıdır, çünkü düşme hacmindeki doğrusal bir değişim hızı, düşme cephesinin doğrusal bir hareket hızına karşılık gelmez. Ayrıca iğne damlanın düşme yüzeyini bozabilir ve silindirik fiberler gibi düz yüzeye sahip olmayan yüzeylerde kolaylıkla çalışamaz. Dinamik temas açısı ölçümü yönteminin statik temas açısı yönteminde göre avantajları oldukça fazladır. Wilhelmy plaka yöntemi  $0.5^\circ$  daha iyi sonuç verir.  $\theta_a$  ve  $\theta_r$  değerleri kolaylıkla ölçülebilir ve bu metod güvenilir histerezis değerini verir. [Erbil, 2006].

## 4. PESTİSİT

Pestisitler için Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yapılan tanım şu şekildedir; “İnsan veya hayvanlarda oluşabilecek hastalıkları taşıyıcı; gıdaların, tarımsal ürünlerin, ahşap ve ahşap ürünlerinin veya hayvan yemlerinin üretimi, işlenmesi, taşınması, depolanması ve/veya pazarlanması sırasında bu uygulamaları olumsuz etkileyecek her türlü zararlının önlenmesi, yok edilmesi veya kontrol altına alınması amacıyla veya hayvanlar üzerinde veya vücutlarında bulunabilecek zararlıların kontrol altına alınması amacıyla kullanılan maddelerdir. Bu tanım, ayrıca bitki büyümesini düzenleyici, yaprak dökücü, kurutucu veya meyve seyreltici veya ham meyvelerin dökülmesini önleyici etkenleri ve depolanma ve taşınma sırasında ticari malların bozulmasını önlemek amacıyla hasat öncesi ve sonrası ürüne uygulanan maddeleri de kapsamaktadır.” [FAO, 2002]. Benzer tanım, Kodeks Alimentarius Komisyonu ve Avrupa Konseyi tarafından da yapılmıştır. Tüm bu tanımlamalarda gübreler, bitki ve hayvansal besinler, besin katkı maddeleri ve hayvansal ilaçlar hariç tutulmuştur [WHO, 1990].

Tarım zararlarının kontrolü ve tarımsal hastalıklarla mücadele en eski bulgulara göre 10.000 yıl kadar önce tarımın gelişmesiyle başlamış olup, günümüzde hala devam etmektedir. 4.500 yıldan daha uzun bir süre önce Sümerlerin böcekleri ve akarları kontrol etmek için sülfür bileşiklerini kullandıklarına, 3.200 yıl önce Çinlilerin bitkilerden elde edilen böcek öldürücüleri kullandıklarına dair kanıtlara rastlanmıştır. 2.500 yıl önce ise kontrol altına alınamayan hava koşulları ve tarımsal hastalıklar gibi olayları fark edip haşere salgınlarından kaçınmak için mahsul ekim zamanlarını ayarlamak ve Yunanlılar ve Romalıların fumigantlar, sivrisinek ağları, tahıl ambarları, ağaçlarda yapışkan bantlar ve böcek ilacı spreyleri ve merhemlerinin kullanımı gibi yollara başvurmuşlardır. Çin haşere kontrol teknolojilerini geliştirmeye devam ederek ve biyolojik kontrolleri kullanarak, tırtılları ve büyük böcekleri kontrol etmek için narenciye bahçelerinde karınca yuvaları kuruyordu. Avrupalılar ise, biyolojik bilgiden ziyade dini inanca daha fazla güveniyorlardı ve dini inançları doğrultusunda hareket ediyorlardı. 17. yüzyılda, biyolojik kontrol kavramını ve Avrupa’ya çeşitli doğal pestisitlerin keşfedilmesi ve tanıtılmasına olan ilgi artmış, böylece Rönesans ile birlikte bu durum tersine dönmüştür. Tarımsal mücadelede tarihsel gelişimin özeti Şekil 4.1’de verilmiştir [Handley, 2019].



Şekil.4.1: Pestisit kullanımının tarihsel gelişimi.

Tarım devrimi olarak nitelendirilen 1750-1880 arası dönem Avrupa'da şimdiye kadar kaydedilen en büyük tarım felaketlerini de beraberinde getirdi; İrlanda, İngiltere ve Belçika'daki patateslerdeki hastalıklar (1840'lar), (1850'ler) Avrupa'nın üzüm yetiştirme bölgelerinde toz halinde küf salgını ve Fransa'daki şarap endüstrisini neredeyse tamamen tahrip eden bir böceğin üzüm filosu işgali.

19. Yüzyılın başlarında, tarımsal mücadelede beş ana yaklaşım kabul görmüştür;

- i) Biyolojik Kontrol,
- ii) Kimyasal Kontrol,
- iii) Mekanik ve Fiziksel Kontrol (ağaçlara yapışkan bant şeritlerin çekilmesi),
- iv) Kültürel ve Sağlık Kontrolleri (ürün rotasyonu gibi),
- v) Dayanıklı Çeşitlerin kullanımıdır.

Bu beş yaklaşımın oldukça önemli rol oynamasıyla birlikte, tarımsal mücadele de 20.yüzyılın başları ilerleme dönemiye [Handley, 2019].

Pestisitlerin tüm yararlarına rağmen, bunların kullanımıyla ilgili dünya çapında bir endişe vardır, çünkü pestisitler hedef olmayan organizmaları, özellikle de insanları, canlı hayvanları, vahşi yaşamı ve arzu edilen bitkilere zarar vermektedir. Çevresel kimyasallar arasında, pestisitler bitkilere, hayvanlara ve insanlara yönelik önemli bir çevresel tehlike grubunu oluşturur. İstenmeyen yan etkiler yaygındır ve hedef olmayan organizmaların, ekosistem dengesizliğine ve kalıcı çevresel kirlenmeye yol açar. Öte yandan, düşük pestisit seviyelerine uzun süre maruz kalmak ve hedef dışı organizmalar üzerindeki etki insan sağlığını ve doğal yaşam döngüsünü doğrudan etkilemektedir.

Tüm bu sebepler göz önünde bulundurularak, tarımsal pestisitlerin insanlar ve diğer canlı organizmalar üzerindeki olumsuz etkilerini ve bu etkileri en aza indirmeye yollarını düşünmek gerekir [Igbedioh, 1991].

Pestisit seçimi ve pestisit uygulamalarında;

- i) İnsan sağlığı üzerinde minimum etkiye sahip pestisitler tercih edilmeli,
- ii) Düşük toksisiteye sahip pestisitler minimum konsantrasyonda uygulanmalı,
- iii) Bal arıları, kuşlar, balıklar ve diğer yararlı bitkiler gibi hedef dışı organizmalara etkisi en az etkin uygulama metotları ve pestisit türleri tercih edilmeli,
- iv) Seçilen uygulama metodu ve pestisit türü yeraltı sularına bulaşmamalı,
- v) Haşere direnci yaratmayacak pestisit çeşitleri ve uygulama dozları tercih edilmeli,
- vi) Entegre haşere yöntemi ile yüksek uyumluluğa sahip pestisitler tercih edilmeli
- vii) Daha az uygulama gerektirecek pestisitler tercih edilmeli ve
- viii) Mümkün olan en yüksek verimliliği sağlayacak pestisit türü ve uygulama metodu tercih edilmelidir [Stenersen, 2004].

#### **4.1. Pestisit Çeşitleri ve Dünya’da Pestisit Kullanımı**

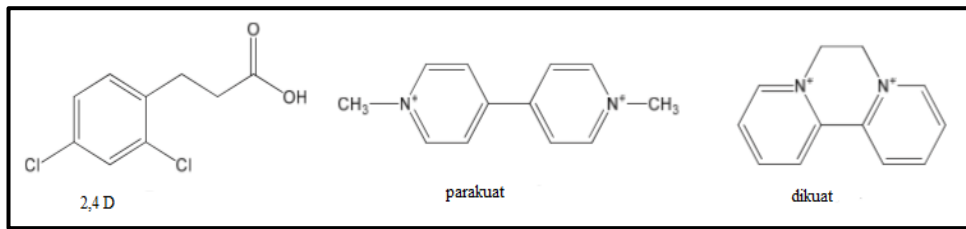
Pestisitler genellikle fiziksel, kimyasal ve özdeş benzersiz özelliklerine göre ayrılırlar. Pestisitleri sınıflandırmanın en uygun ve erişilebilir yöntemi hedef organizmaya girmesine ve kimyasal bileşimine dayanmaktadır [Drum, 1980]. Pestisitlerin sistemik, sistemik olmayan, mide zehirleri, fumigantlar ve kovucular gibi hedef organizmalara girmesinin birkaç yolu vardır [Sulaiman vd., 2019]. Kimyasal etki mekanizmalarının incelenmesi önemlidir, çünkü insan ve hedef dışı organizmalara karşı oluşan sağlık tehlikelerinin anlaşılmasını ve daha etkili tedavi önlemlerinin alınmasına ve zararlı böceklerde direncin gelişmemesi için önlemler alınmasına yardımcı olur [Igbedioh, 1991].

Zararlı organizma ile etkileşime geçen pestisitlerin onları öldürme ve yavaşlatma gibi etkenleri insektisitlere, fungusitlere ve herbisitlere göre değişmektedir [Birişik vd., 2018]. Yetiştirilen ana tarımsal ürün böcek gibi zararlı organizmalardan korunmak isteniyorsa insektisit, tarımsal ürünün verimini etkileyecek bitkisel hastalık ve bu bitkisel hastalıkların oluşturduğu hastalıklardan (özellikle mantar kökenli) korunmak

isteniyorsa fungusit ve asıl tarımsal ürünün gelişimini engelleyen ve kalitesini düşüren, ayrıca yabancı ot ve çalılıkların yollarını temizlemek, istilacı bitkileri öldürmek veya su kütlelerinde yosun gelişimini kontrol etmek için ve tarımsal ürünün alanında daralmaya yol açan bitkilerin kontrolü ve öldürülmesi isteniyorsa herbisit türü pestisitler kullanılırlar. Bu pestisit türleri hedef alanları farklı olmaları sebebiyle pestisitlerin en bilinen sınıflandırılma şekilleridir. Dünya çapında, pestisit kullanımının %40'ı herbisitlere, %17'sinin insektisitlere ve %10'unun mantar ilaçlarına katkıda bulunmaktadır [Web 9, 2017].

- Herbisitler

Herbisitler bazı reaksiyonlar sonucu zararlı bitkilerin ölümüne yol açarlar veya gelişimlerini engellerler. Kimyasal yapıları Şekil 4.2'de gösterilmiştir [Zacharia, 2011]. Bu reaksiyonlar ise fotosentezi engelleyen reaksiyonlar, aminoasit sentezini engelleyen reaksiyonlar, pigment sentezini engelleyen reaksiyonlar, fide, kök/gövde gelişim engelleyen reaksiyonlar, oksin tipi bitki büyüme engelleyici reaksiyonlar ve mitoz bölünmeyi engelleyen reaksiyonlardır [Birişik vd., 2018]. Yabancı otların ekili alanda geniş yer kaplaması ve büyümesi, asıl olan tarım ürününün gelişimini olumsuz yönde etkiler. Herbisitler, zararlı ve istenmeyen yani yabancı otları yok etmek için tercih edilirler. Daha çok bitkilerin etrafını sarıp böceklenmeye neden olan bitkileri yok eden pestisit çeşididir. Herbisitler tamamen organik maddelerden oluşmaktadır [Web 7, 2018].

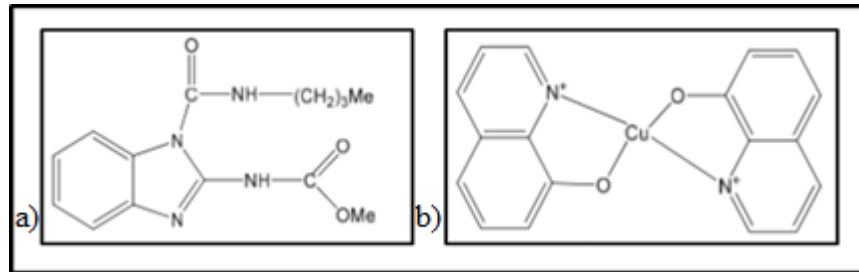


Şekil 4.2: Herbisit pestisitlerinin kimyasal yapıları.

- Fungusitler

Bitki hastalıklarından mantar kaynaklı olan hastalıklara karşı kullanılan pestisit türüdür. Fungus ve fungus benzeri mantar organizmaların gelişimini durdurucu veya öldürücü etkide bulunurlar. Yeşil aksam, tohum, toprak, ağaçlarda gövde ve yaralara uygulama ve hasat sonrası depo bitki koruma ürünleri başlıca uygulama alanlarıdır

[Toros vd., 2001]. Fungisitler, bitki hücre duvarı geçirgenliğini bozarak, mitokondrial fonksiyonlar, solunum, protein ve enzim sentezi gibi metabolik faaliyetleri engellenmesine sebep olurlar, bunun sonucunda ise fungus sporlarının çimlenmesi veya çim tüplerinin uzaması durur ve enfeksiyon yapmalarının önüne geçilmiş olur. Bitki dokularına nüfuz eden fungisitlerde mevcuttur. Bu fungisitler bitki içerisinde taşınarak, doku içerisinde fungus gelişimini baskılayarak, hastalık etmenleri daha önceden enfeksiyon yapmış olmaları söz konusu bile olsa, hastalık belirtilerinin oluşmasını engellemektedir. Fungisitler kendi içlerinde; bitkilerdeki hareketlerine ve taşınmasına, kullanım yerlerine, koruyucu etkinliğine, etki etme mekanizmasına, etki yerine, kimyasal gruba ve direnç durumlarına göre gruplandırılırlar [Birişik vd., 2018]. Bitkilerin mantar hastalığından korunarak, daha verimli yetişmesini sağlarlar. Çünkü mantar hastalığı ürünlerin kısa sürede bozulmasına neden olur ve verimliliği önemli ölçüde etkiler [Web 7, 2018]. İnorganik ve organik mantar öldürücüler vardır. İnorganik yapılu fungisitler Bordeaux  $\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CaSO}_4$  ve malakit  $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})\text{CuCO}_3$  kimyasal bileşenlerini içerirler. Organik fungisitler ise bunların yanında benomil ve bakır oksin kimyasal bileşenlerini içerirler. Bu bileşenler Şekil 4.3'te gösterilmiştir [Zacharia, 2011].



Şekil 4.3: a) Benomil kimyasal yapısı ve b) oksin bakır kimyasal yapısı.

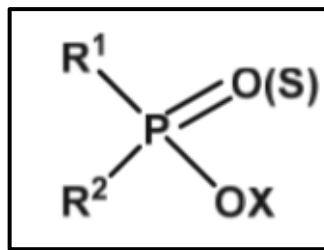
- İnsektisitler

Bitkilere zarar veren böcekleri öldürmek için kullanılan pestisit çeşitleridir. Hedeflenen zararlı organizmanın sinir sistemine müdahale ederek ölmelerine sebep olurlar. Kendi içerisinde klorlu hidrokarbon yapısındaki insektisitler ve organik fosforlu insektisitler olarak ikiye ayrılmaktadır. Birinci grup, içerisindeki klor sayısına göre yine başka sınıflara ayrılmaktadırlar. Klorlu hidrokarbon yapısındaki insektisitlerin kullanımı bazı ülkeler tarafından yasaklanmıştır. Organik fosforlu

insektisitler ise böceklerdeki kolinesteraz enzimini inhibe ederek etki göstermektedir [Web 7, 2018].

Tarımda ve halk sağlığında kullanılan ilk sentetik organik böcek ilaçları olan organoklorinler, beş veya daha fazla klor atomuna sahip organik bileşiklerdir. Organoklorin böcek öldürücüler, böceklerin sarsılmasına ve felce neden olur ve ölümle sonuçlanan sinir sistemi bozucuları olarak hareket eder [Zacharia, 2011]. En yaygın olarak bilinen organoklor insektisit, diklorodifeniltrikloroetan, yani kontrolsüz kullanımı birçok çevre ve insan sağlığı sorununa neden olan böcek ilacı DDT'dir. Dieldrin, endosülfan, heptaklor, dikloro ve metoksiklor, böcek ilacı olarak kullanılan diğer bazı organoklorinlerdir. [Nicolopoulou-Stamati et al., 2016] Birçok kimyasal ve mikrobiyal bozulmaya karşı dirençli olduklarından, çevrede uzun süreli bir kalıntı etkisine sahiptir [Zacharia, 2011].

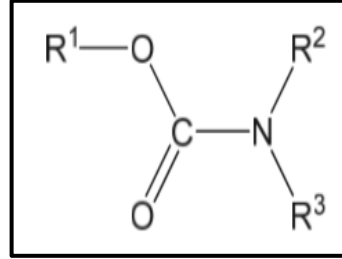
Organoklorinlere daha ekolojik bir alternatif olarak tanıtılan organofosfatlar, [Nicolopoulou-Stamati et al., 2016] temel yapısında fosfat grubu içerir [Zacharia, 2011]. Organoklorinlerin aksine, organofosforlu insektisitler, çevrede çeşitli kimyasal ve biyolojik reaksiyonlarla kolayca ayrışır, bu nedenle çevrede kalıcı değildir. Omurgalılar ve omurgasızlar için daha toksik olan organofosfatların etkileri hedef organizmada felç ve ölümle sonuçlanır. Yaygın olarak kullanılan organofosforlu insektisitlerin bazıları parathion, malathion, diaznon ve glifosatı içerir [Zacharia, 2011]. Şekil 4.4'te verilen organofosforların kimyasal yapısal formülündeki R<sup>1</sup> ve R<sup>2</sup> grupları genellikle metil veya etil gruplarıdır, OX grubundaki O bazı bileşenlerde S ile yer değiştirebilir, X grubu ise çok çeşitli biçimlerde olabilir.



Şekil 4.4: Organofosfatların genel kimyasal formülü.

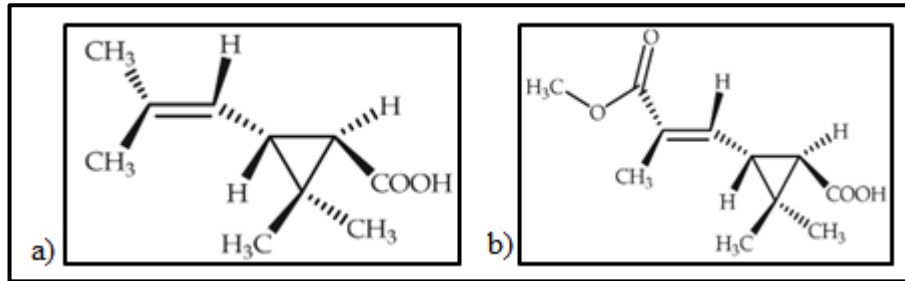
Karbamatlar, karbamik asitten türemiş organik pestisitlerdir [Zacharia, 2011]. Aldicarb, carbofuran ve ziram gibi çeşitleri mevcuttur [Nicolopoulou-Stamati et al., 2016]. Bilimsel adı Chrysanthemum olan Türkçe karşılığı kasımpatı bitkisinin, çiçek ürünü olan ve doğal olarak oluşan piretrinlerin sentetik olarak sentezlenmesiyle

piretroidler elde edilir. Şekil 4.5’te verilen genel formülündeki R<sup>1</sup> alkol grubu, R<sup>2</sup> metil grubu ve R<sup>3</sup> ise genellikle hidrojenidir [Matthews, 2018].



Şekil 4.5: Karbamatların genel kimyasal formülü.

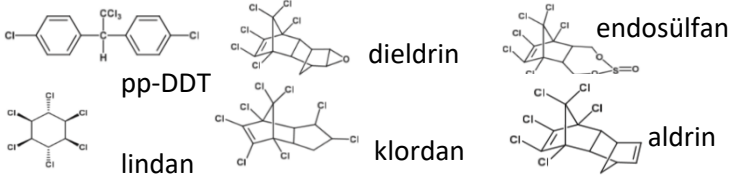
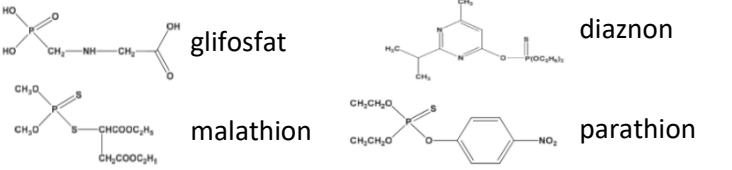
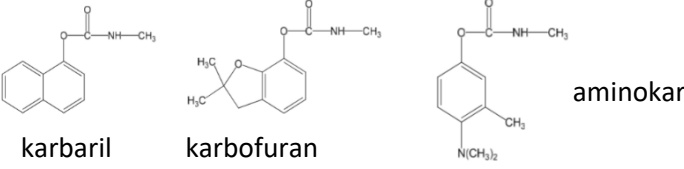
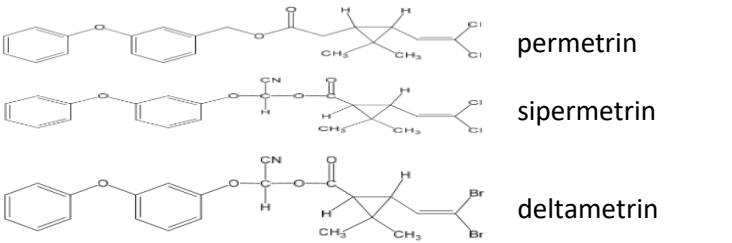
Piretrum çiçeklerin böcek öldürücü bileşenleri trans-krizantemik asit ve trans-piretroik asitten türetilen optik olarak aktif esterlerdir. Doğal olarak oluşan piretrinler etkili böcek öldürücüler olmasına rağmen, fotokimyasal bozulmalarının çok hızlı olması nedeniyle, tarımsal böcek öldürücüler olarak kullanımları pratik değildir. En yaygın kullanılan sentetik piretroidler arasında permetrin, sipermetrin ve deltametrin bulunur. Şekil 4.6’da kimyasal yapıları yer almaktadır [Zacharia, 2011].



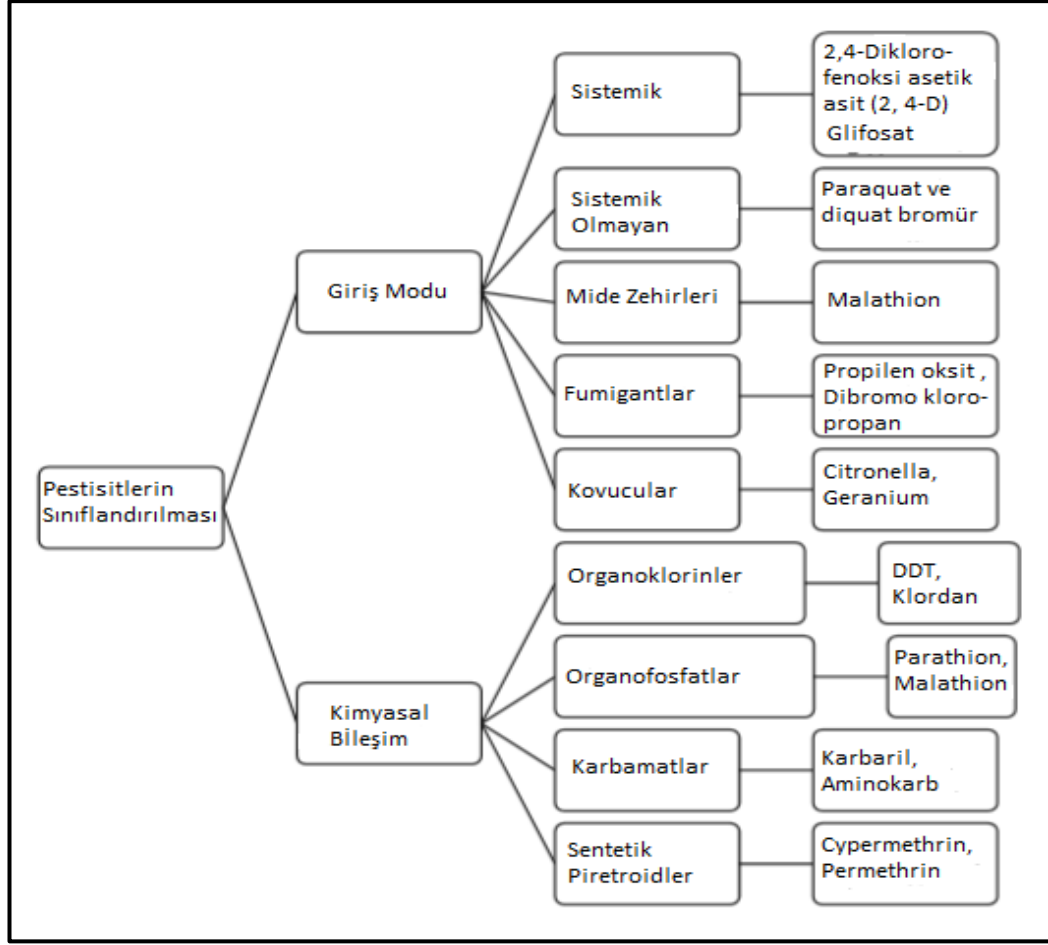
Şekil 4.6: a) (+)-trans krisantemik asit ve b) (+)-trans piretroik asit genel kimyasal yapıları.

Kimyasal bileşimlerine göre böcek ilaçlarını gruplamak için ise fiziksel ve kimyasal özellikler de dahil olmak üzere aktif bileşenlerin yapısı incelenmelidir. Organoklorinler, organofosfor, karbamatlar ve ayrıca sentetik piretroidler içeren kimyasal bir kompozisyon ile belirtilen dört ana pestisit grubu vardır. Tablo 4.1’de bu pestisit türlerinin en çok kullanılan çeşitlerinin kimyasal yapıları yer almaktadır. Tablo 4.1 incelendiğinde yaygın kullanılan pestisit çeşitlerinin kimyasal yapılarındaki farklılıklar açıkça gözlenebilir.

Tablo 4.1: Pestisit çeşitlerinin en çok kullanılan pestisit türlerinin kimyasal yapıları.

| Pestisit Türü          | Yaygın Kullanılan Çeşitlerinin Kimyasal Yapısı                                                                                                  |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Organoklorinler        |  <p>pp-DDT, lindan, dieldrin, klordan, endosülfan, aldrin</p> |
| Organofosfatlar        |  <p>glifosfat, malathion, diazon, parathion</p>               |
| Karbamatlar            |  <p>karbaril, karbofuran, aminokarb</p>                       |
| Sentetik Piretrioidler |  <p>permetrin, sipermetrin, deltametrin</p>                  |

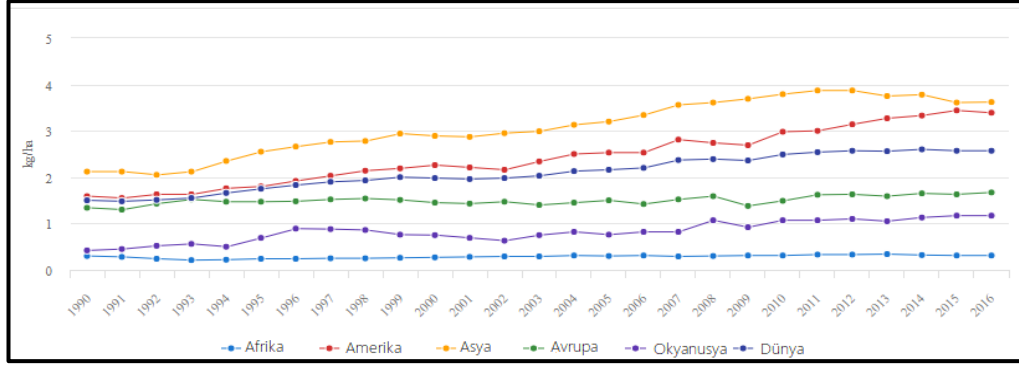
Pestisitlerin kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırılmasından bahsedilmiştir. Bir diğer sınıflandırma türü hedef organizmaya giriş moduna göre sınıflandırmaktır. Bu iki sınıflandırmanın şematize edilmiş hali Şekil 4.7’de örnekleriyle birlikte yer almaktadır [Sulaiman vd., 2019]. Giriş moduna göre pestisit türleri; sistemik, sistemik olmayan, mide zehirleri, fumigantlar ve kovuculardır. Sistemik pestisitler, bitkiler tarafından emilir ve yapraklar, gövdeler ve kökler gibi işlenmemiş dokulara aktarılır. Pestisitler, her bitki dokusu boyunca yer değiştirerek, bitkiyi besleyen organizmalara potansiyel toksik sonuç verir [Buchel, 1983]. Sistemik olmayan pestisitler, pestisitler ile hedef organizma arasındaki fiziksel temasa bağlıdır. Böcek ilacı, belirli zararlıları hedef almak için epidermlerinden girerek haşereleri öldürür [Yadav and Devi, 2017]. Haşere ilacı, zehirlenmeye neden olan yapraklar veya bitkilerin diğer kısımlarına iletildikten sonra haşere tarafından sindirilir.



Şekil 4.7: Giriş modu ve kimyasal bileşime göre pestisit sınıflandırılması.

Fumigantlar, hedef organizmayı, uygulandığında zehirli gazlara dönüşecek buharın üretimiyle öldüren böcek ilaçlarıdır. Pestisitlerin buharlaştırılmasıyla, gaz solunum sistemi yoluyla zararlıların vücuduna girer ve bu da haşereyi öldürür. Depolama sırasında mahsullerden haşereyi öldürmek ve ayrıca toprakta haşere büyümesini engellemek için sıklıkla uygulanır [Sulaiman, 2019]. Kovucular ise haşere böceklerinin mahsulde lokalize olma özelliğini engelleme ve haşereyi işlenmiş ürünlerden uzak tutmaya yarar. Haşere veya herhangi bir hedef organizmayı öldürmesi söz konusu değildir [Yadav and Devri, 2017].

Birleşmiş Milletler (BM) tarafından hazırlanan “Dünya Nüfus Beklentisi” başlıklı rapora göre şu an yaklaşık 7,7 milyar olan dünya nüfusu 2050 yılında iki milyar artarak 9,7 milyara yükseleceği öngörülmektedir [Web 3, 2019]. Artan nüfus ile birlikte, gıda ve elyaf ihtiyacı devam edecek ve tarımsal kimyasallar da dahil olmak üzere herhangi bir yolla zararlı böcekleri kontrol etme ihtiyacı artacaktır.



Şekil 4.8: 1990-2016 yılları arasında ekili alan başına düşen ortalama pestisit kullanım miktarı.

Nijerya, Doğu Timor (Güneydoğu Asya’da Timor adasının doğusu) ve Tanzanya ülkelerinde ise 1990-2016 yılları arasında, FAO verilerine göre pestisit kullanımına hiç rastlanmamıştır. Afrika, Amerika, Avrupa, Okyanusya, Asya ve tüm Dünya’da ekili alan başına düşen ortalama pestisit miktarı Şekil 4.8’de verilmiştir [Web 2, 2019].

Tablo 4.2: Ülkelerin milyon kilogram cinsinden yıllık pestisit tüketim miktarları.

| Ülke     | Yıllık Pestisit Tüketimi<br>(milyon kilogram) |
|----------|-----------------------------------------------|
| Çin      | 1806                                          |
| ABD      | 386                                           |
| Arjantin | 265                                           |
| Tayland  | 87                                            |
| Brezilya | 76                                            |
| İtalya   | 63                                            |
| Fransa   | 62                                            |
| Kanada   | 54                                            |

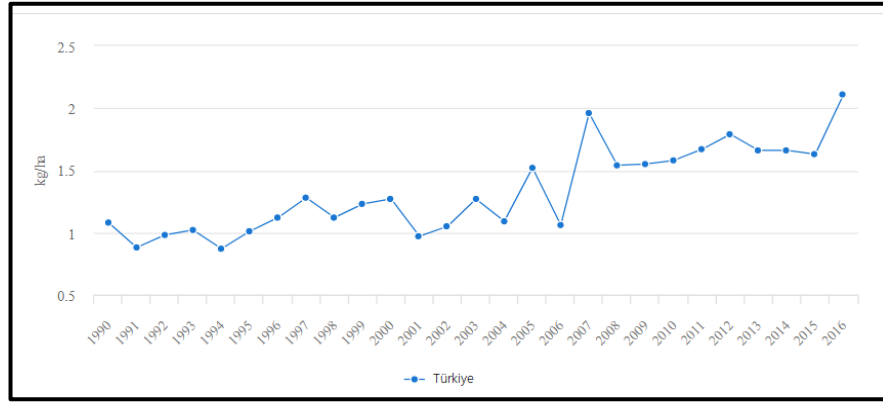
En çok pestisit kullanımına sahip ülkeler ise Tablo 4.2’de verilmiştir. Çin’in güvenli seviyeleri aşarak pestisit kullanması, insan ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Ülke, toprak kirliliğine yol açan pestisit kullanımını artırarak yıl boyunca ekim ve hasat uygulamaktadır. Kirlenmiş toprak, hiç bitmeyen bir tarımsal katkı döngüsüne maruz kalmaktadır. ABD’de pestisitlerin kullanımı hane halkının çimlere uygulaması ve belediyelerin parklara uygulamalarının etkisiyle

oldukça yaygındır. Kontaminasyon 6 milyon ila 14 milyon balık ölümü ve 67 milyon kuş ölümüyle sonuçlanır. Japonya en küçük kara alanlarından birine sahip olmasına karşın bu listede yer almaktadır. Bu da kirlenme seviyesinin önemli ölçüde konsantre olduğu anlamına gelmektedir [Web 9, 2017].

Tarımsal savaşım, bitkilerin çeşitli hastalık, zararlı organizmalar ve yabancı otların etkilerinden ekonomik ölçüler içinde korunması, ürün kaybının önlenmesi ve kalitenin artırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda tarımsal savaşım entegre savaş yöntemi ile uygulamak gerekmektedir. Entegre mücadele; kültür bitkilerindeki hastalık, zararlı ve yabancı otlarla; ekonomi, insan sağlığı, çevre, biyolojik çeşitlilik ve doğal dengeyi dikkate alan, sürdürülebilir bir mücadele sistemidir [Atlamaz, 2009]. Tarımsal savaşım için pestisitlerin bir diğer adıyla tarım ilaçlarının kullanılması kimyasal savaşım kavramını ortaya çıkarmıştır. Kimyasal savaşım yüksek verim sağlayan, hızlı sonuç veren, oldukça ekonomik ve ürünü toksin salgılayan organizmalardan da koruyabilen en çok kullanılan savaşım yöntemidir [Waard et al., 1993], [Ragsdale, 1994]. Ancak, pestisitlerin bilinçsiz ve kontrolsüz kullanımı sonucu, zararlı organizmalarda dayanıklılık oluşturabilme riskleri ve kalıntılar yoluyla insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkileri kesinlikle göz ardı edilmemelidir [Gullino and Kuijpers, 1994], [Ragsdale and Sisler, 1994]. Modern tarımsal savaşım, pestisitlerin çevreye zarar vermeyecek düzeyde ve gerçekten gerekli olduğunda kullanılması benimsenmiştir. Diğer yandan, pestisit kullanılmadan modern anlamda bitkisel ürün yetiştirmenin olanaksızlığı gelişmiş ülkelere bilinmesi yanında, pestisit kullanımının sürekli arttırarak verimin de sürekli artmayacağı anlaşılmıştır. Bu nedenle, maliyetleri yükseltmemek açısından gereksiz ilaçlamalardan kaçınılmaya başlanmıştır. Örneğin, Avrupa ülkelerinde fungusit kullanımı patatesten %30 ve elmada %20 azaltılmasına karşın verimde bir düşüş gözlenmemiştir [Gullino and Kuijpers, 1994].

Tarımın yanı sıra, tarımsal ham maddeler bilindiği üzere gıda sanayisi, içki sanayisi, alkol, tütün ve tütün mamulleri sanayisi, tüketim malı üreten sanayiler, dokuma ve giyim sanayisi, orman ürünleri sanayisi, kâğıt sanayisi ara ürünleri üreten sanayiler, deri ve deri mamulleri sanayisi gibi çok geniş yelpazede endüstri hammaddesi olarak kullanılmaktadır. En büyük alıcıları ise, başta Avrupa Birliği (AB) ülkeleri ile Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve sonra da diğer gelişmiş ya da gelişmekte olan ülkelerdir. İhracatımızı sürdürebilmek ve bunu ekonomimize yük oluşturmayacak biçimde yapabilmek için pestisit kullanımının çok kontrollü ve bilinçli programlar içerisinde yapılması gerekmektedir. FAO sitesin resmi verilere göre, 1990-

2016 yılları arasında ülkemizde kullanılan ortalama pestisit miktarını Şekil 4.9’da görebiliriz [Web 2, 2019].



Şekil 4.9: 1990-2016 yılları arasında Türkiye’de ekili alan başına kullanılan ortalama pestisit miktarı.

2008 yılından bu yana çevre bilincinin artması ile insan sağlığının, çevrenin ve biyolojik çeşitliliğin korunması tüm çalışmalarda ön plana çıkmıştır. Tüketim hızının yavaşlamasıyla bu sonuç doğrulanmaktadır. Bu nedenle zirai mücadele uygulamalarında, pestisit tüketiminin azaltılması, agro-ekosistem analizi ve sürdürülebilir tarımsal üretim dikkate alınarak mücadele uygulamalarının yapılması bir zorunluluk halini almıştır. Bu durum sonucunda başta biyolojik mücadele olmak üzere, kimyasal mücadeleye alternatif yöntemlere ve tüm yöntemlerin bütünleşmesine, diğer bir ifade ile entegre mücadeleye daha çok önem verilmeye başlanmıştır. Pestisit tüketimindeki artış hızının 2002’den sonra ilk yıllara oranla düşmesi, toprak işlemede entegre mücadelenin anlaşıldığı ve uygulamaya konulduğunun en açık göstergesidir [Matthews, 2018].

## 4.2. Pestisitlerin Kimyasal Özellikleri

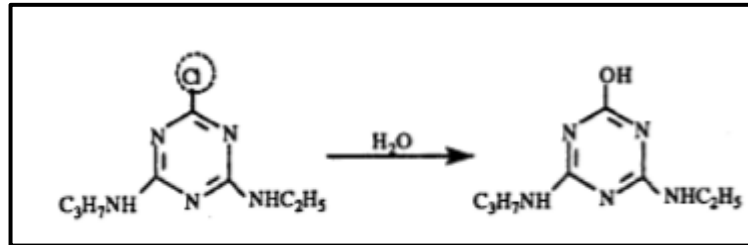
Pestisitler öncelikle ortamda fiziksel işlemlerle dağılır, ardından kimyasal ve / veya biyolojik tepkimelerle parçalanırlar. Fiziksel dağılıma, sedimentasyon adsorpsiyon ve pestisit damlasının buharlaşması işlemleriyle gerçekleşir. Genellikle suda veya atmosferde meydana gelen kimyasal tepkimeler ise dört reaksiyonun birbirini takip etmesiyle meydana gelir. Bunlar; oksidasyon, indirgenme, hidroliz ve fotolizdir. Topraktaki ve canlı organizmalardaki biyolojik mekanizmalar, kimyasalları

parçalamak için oksidasyon, indirgeme, hidroliz ve konjugasyonu kullanır. Pestisit damlasının fiziksel işlemlerle dağılmasının ardından, bozulma süreci pestisit dağıldığı su, toprak, atmosfer, biota (belirli bir bölgede ya da çevrede bulunan bitki ve hayvan yaşamının bütünü) tarafından gerçekleşecektir [Linde and Davis, 1994].

i) Oksidasyon; Ortamdaki çözülmüş halde bulunan oksijenin reaksiyona girmesiyle gerçekleşen kimyasal tepkimedir. Tepkime oksijen, hidrojen peroksit, ozon veya diğer hidroksi radikalleri ile gerçekleşebilir. Pestisitlerin su veya atmosferde kimyasal oksidasyonunu sağlayan birincil grup hidroksi radikalidir. Radikal, pestisitlerden veya ortamdaki diğer moleküllerden oluşabilir [Zacharia, 2011].

ii) İndirgenme; Ortamdaki indirgeyiciler (genellikle +H) tarafından pestisit oksidasyon durumunun azalması reaksiyonudur.

iii) Hidroliz; Güçlü kutupsal doğası nedeniyle, suda çok çözünen bir kimyasal toprakta veya biyotada birikme eğiliminde değildir. Hidroliz, pestisit bozulması için su içinde gerçekleşen önemli bir reaksiyondur. Bir pestisit, çevreye yayılabilecek bozulma ürünleri oluşturmak için suyla reaksiyona girer [Linde and Davis, 1994].



Şekil 4.10: Atrazin hidrolizini gösteren kimyasal tepkime.

iv) Fotokimyasal Bozunma; Pestisit dispersiyonları büyük ölçüde atmosfere buharlaşarak kaybolur. Atmosferde, meydana gelen iki ana bozulma yolu vardır. Birincisi güneş ışığından kaynaklanan fotokimyasal reaksiyonlar ve ikincisi serbest radikal reaksiyonlardır. Oluşan ürünler ana kimyasaldan daha toksik olabilir veya olmayabilir. Fotokimyasal reaksiyonlar, güneş ışığı mevcut olduğunda havada veya suda gerçekleşebilir. Çevresel faktörlerden etkilenen su ve havadaki fotokimyasal reaksiyonların oranının belirlenmesi oldukça zordur. Doğrudan foto-bozunma reaksiyon hızları, serbest radikal reaksiyonlar ve çevresel koşulların kombinasyonu ile belirlenir. Belirlenen bu oranlar laboratuvarında ideal koşullar altında ölçülür. Bozunma hızı genellikle  $t_{1/2}$  (yarı ömür) olarak ifade edilir [Linde and Davis, 1994].

v) Biyolojik Bozunma; Doğada gerçekleşen, organik maddelerin mikrobik canlı organizmaların ürettikleri enzimler yoluyla bileşenlerine ayrılması sürecidir. Pestisitler söz konusu olduğunda topraktaki bozunma tek biyolojik bozunma değildir, ancak asıl ve en önemli olanıdır [Linde and Davis, 1994].

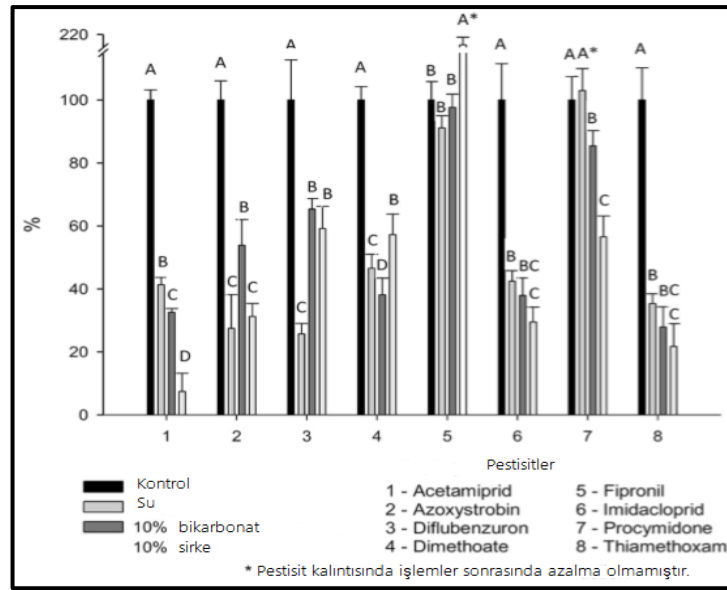
### **4.3. Pestisit Kalıntısının Bitki Yüzeyinden Uzaklaştırılması**

İnsan vücudunda organik klorlu pestisit kalıntılarının bulunmasıyla, 1948 yılında pestisit kalıntılarının ne denli önemli olduğu anlaşılmıştır. Pestisit kalıntılarının en çok tarımsal ürünlerde rastlanır. Bu nedenle, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından 1960 yılında “pestisit kalıntıları kodeks komitesi” kurulmuştur. Gıdalarda bulunması kabul edilebilir azami pestisit dozu ve maksimum kalıntı değerleri bu komite tarafından saptanmıştır [Akman vd., 2004].

Böcek ilacı kalıntıları, pişmiş yemekler, su, şarap, meyve suları, serinletici içecekler ve hayvan yemleri dahil olmak üzere çok çeşitli günlük yiyecek ve içeceklerde bulunabilir. İnsan anne sütü örneklerinde pestisit kalıntıları da tespit edilmiştir, bu nedenle çocuklarda doğum öncesi maruz olma ve sağlık üzerindeki etkiler konusunda endişeler bulunmaktadır. Yıkama ve soyma proseslerinin böcek ilacı kalıntılarını tamamen gideremediği göz önünde bulundurulmalıdır [Nicolopoulou-Stamati et al., 2016]. Pestisit kalıntıları içeren gıdaların bozulmasına neden olan kronik zehirlenmeler solunum, dermatolojik, nörolojik ve kanser gibi ciddi hastalıklara neden olur. Özellikle meyveler gibi çiğ tüketilen gıdalar ve domates gibi sebzeler yüksek risk taşır. Kalıntıları kısmen kaldırılmış olmasına rağmen, aktif maddelerden ve tamamlayıcı maddelerden yoksun olmaları mümkün değildir. Pestisit kalıntılarını gidermek için kimyasal çözücüler yıkama çözeltileri olarak kullanıldığında, pestisitlerden sonra ikinci kez gıdaların toksik kimyasallara maruz kalmasına neden olur [Rasolonjatovo et al., 2017].

Penetrasyon, pestisit kalıntısının yıkama sırasında kontrol edebilmesine dayanan dinamik bir işlemdir. Sulu ortamın pH değeri, iyonik kuvvet ve uygulanan pestisit formülasyonu, sıcaklık, başlangıç konsantrasyonu gibi faktörler de pestisit çözünme mekanizmasını etkilemektedir. Andrade ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada domates üzerinde yapılan yıkama ve soyma işlemleri ile pestisit kalıntısının yüzdesel olarak değişimi incelenmiştir. Yıkama çözeltisi olarak evlerde rahatça ulaşılabilen

sirke ve su kullanılmıştır. Yıkama prosesleri yalnızca daldırıp yarım saate yakın süre bekletmenin ardından çıkarılması ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; yıkama prosesinin pestisit kalıntısı açısından etkinliği suda çözünürlüğü yüksek pestisitler için daha belirgindir. Suda daha yüksek çözünürlüğe sahip dimetoat, acetamiprid ve tiametoksam pestisitleri, sirke kullanılarak, asidik ortamda daha yüksek yıkama verimi göstermişlerdir. Bu ise iyonize edilebilir grupların yıkamadaki verimlilik üzerindeki çözünürlükten daha fazla etkiye sahip olduğunu gösterir. Tüm verilerin şematize edilmiş hali Şekil 4.11’de gösterilmiştir [Andrade, 2015].



Şekil 4.11: Domates yüzeyi üzerinde yıkama prosesleri sonrası yüzde olarak pestisit kalıntısının azalışı.

Pestisit kalıntılarının gıda ürünlerinden giderilmesine fiziksel, kimyasal, biyolojik, fizikokimyasal ve biyokimyasal yöntemlere başvurulur. Biyolojik olarak parçalanamayan kirleticilerin zararsız maddelere dönüştürülmesinde gelişmiş oksidasyon prosesleri (AOP'ler) olarak adlandırılan hidroksil radikallerinin (OH) üretimi ve kullanımına dayanan fizyokimyasal yöntemler, oldukça etkili bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Fotokatalitik, ozonoliz, fenton, fotofenton, elektrokimyasal ve sonikasyon işlemleri gibi AOP'lerin uygulanarak pestisitlerin bozunması için çeşitli çalışmalar mevcuttur [Cengiz et al., 2018].

Gelişmiş oksidasyon prosesleri, yüksek reaktif oksitleyici türler üreterek organik maddelerin bozunmalarına neden olan proseslerdir. Günümüzde AOP'lar, termodinamik canlılıklarından dolayı yüksek verimli fiziksel-kimyasal işlemler olarak

kabul edilir ve kirleticilerin kimyasal yapısında değişiklikler meydana getirirler. Elektrokimyasal yöntem, organik bileşiklerin esasen su oksidasyonundan üretilen anot yüzeyinde adsorbe edilmiş hidroksil radikalleri ile reaksiyona sokulmasıyla bozunduğu anodik oksidasyondur [Quiroz et al., 2011]. Ortam sıcaklıklarında çalışma avantajı, kimyasal madde kullanımının az olması ve ağır olmayan çalışma koşulları gibi pozitif özelliklerinden dolayı hassas çalışmalar için kullanılan ileri teknolojilerden biridir.

Elektrokimyasal yöntemde kirleticilerin elektrot yüzeyinde bozunması birbirini takip eden adımlardan meydana gelir;

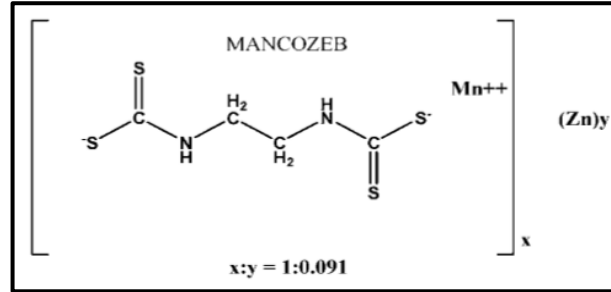
- i) Kirleticilerin kütleden ayrılarak elektrot yüzeyine taşınması adımı olan kütle taşınımı,
- ii) Elektrot yakınındaki kirleticilerin elektrot yüzeyine adsorpsiyonu ve ara maddelerin elektrot yüzeyinden desorpsiyonu ile gerçekleşen adsorpsiyon ve desorpsiyon adımı,
- iii) Kirleticilerin elektronlarını kaybettikleri elektrokimyasal reaksiyon adımıdır. Oksidasyon reaksiyonu doğrudan ve dolaylı olarak iki yolla gerçekleşir [Thokchom et al., 2015].

Reaksiyon ortamında düşük konsantrasyonda kirletici mevcut olması durumunda elektrokimyasal yöntemin etkinliği yetersiz olabilmektedir. Ayrıca, reaksiyonun yan ürünleri tarafından elektrot yüzeyinin pasifleştirilmesi söz konusudur. Bu nedenlerle ultrason yöntemleri yardımcı bir araç olarak kullanılabilirler. Ultrason yöntemi ikincil kirletici madde üretmemesi ve en önemlisi kimyasal içermemesinden dolayı çevre dostu bir teknik olarak nitelendirilmektedir. Ultrason yöntemleri elektrokimyasal yöntemlere entegre edildiğinde, ultrasonun katmanın kalınlığını azalttığı ve reaktiflerin elektrot yüzeyine kütleli taşınımını artırmaktadır. Reaksiyonda kullanılan elektrotlar temiz tutulabilir ve aktif hale getirilebilir. Bu da elektrokimyasal yöntemin etkinliğinin ve veriminin artması demektir. Bu kombine proses su ve atık su alanında uygulama alanı bulmasına rağmen, bilindiği kadarıyla ham tarımsal ürünlerde pestisit bozunması hakkında bir çalışmaya rastlanmamıştır [Cengiz et al., 2018].

#### 4.4. Mancozeb Fungisit Özellikleri

Ditiyokarbamatların mantar öldürücü aktivitesi ilk olarak 1934'te bildirilmiş olmasına rağmen, bu ve diğer organik koruyucu grupların ticari gelişimi ancak II. Dünya Savaşı'ndan sonra gerçekleşti. İlk geliştirilen ditiokarbamik asidin ferrik tuzu olan “Ferbam”, ticari olarak kullanılan bu kimyasalların ilk öneği arasındaydı, ancak yapraklar üzerinde siyah bir tortu bıraktığı için popüler değildi. Daha sonra geliştirilen “Thiram” (tetrametylthiuram disulfide) tohumlarda etkili olup ve diğer patojenlere karşı uzun bir kullanım süresine sahipti. Bu fungusit ailesinin diğer üyeleri, Çinko (Zineb), Manganez (Maneb) veya ikisinin bir kompleksi Mancozeb’dir. Bunlar, bir tuz formülasyonu olarak kullanılan alkil-diaminleri içerir. Bunların, toz halindeki küfler hariç, bir dizi hastalığa karşı aktif olarak, yaprak kullanımında fitotoksitesi düşük olan, son derece yetkin koruyucu fungusitler olduğu kanıtlanmıştır.

Mancozeb’in ticari olarak ıslanabilir toz ve granül toz formülasyonları mevcuttur [Web 4, 2019]. Sarımsı bir tozdur. Yoğunluğu 1.33 g/cm<sup>3</sup> tür. Suda çözünmez, etil asetat ve asetonda çözünür [Web 5, 2019].



Şekil 4.12: Mancozeb bileşiğinin yapısal formülü.

Mancozeb ((1,2-etandiilbis[karbamo ditioat]) olarak da adlandırılabilen sistemik olmayan tarımsal bir mantar ilacıdır. Kimyasal formülü Şekil 4.12’de gösterilmiştir [Gullino et al., 2010]. Mancozeb kullanımı ilk 1961’de rapor edildi ve AB’de kabul edildi. Patates, domates ve süs bitkileri gibi ekinlerdeki kabuklar da dahil olmak üzere çok çeşitli patojenleri kontrol etmek için kullanılır [Matthews, 2018]. Mancozeb, F Grubu Etkileşim Fungisit Direnç Eylem Komitesi tarafından, M grubu (Çok Alanlı Eylem) grubunda sınıflandırılmıştır. Etkili bir şekilde, suya maruz kaldığında, UV ışığının etkisiyle daha sonra etilen bisisotiyosiyanata (EBI) dönüştürülen etilen bisisotiyosiyanat sülfürü (EBIS) serbest bırakmak için parçalanan bir profungisit

olarak kabul edilmektedir. Hem EBIS hem de EBI aktif toksik maddelerdir ve sülfiril grupları içeren enzimlere müdahale etmektedirler. Çekirdek enzimatik işlemlerin bu ölümcül bozulmasının, mantar hücresi sitoplazması ve mitokondri içindeki en az altı farklı biyokimyasal işlemi engellemesi veya müdahale etmesi beklenir. Başlıca etkili olduğu ekin ürünü ve etkili olduğu hastalık çeşitleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir [Gullino et al., 2010].

Tablo 4.3: Mancozeb pestisitinin başlıca kullanım alanları.

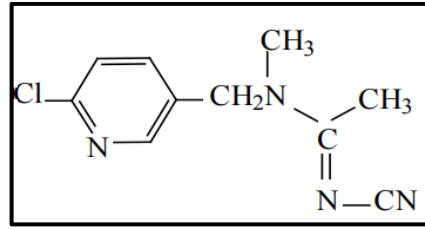
| Ekin         | Ana Hastalık                |
|--------------|-----------------------------|
| Patates      | Erken Yanıklık              |
|              | Geç Yanıklık                |
| Domates      | Erken Yanıklık              |
|              | Geç Yanıklık                |
|              | Yaprak Lekesi               |
|              | Antraknoz                   |
|              | Bakteri Lekesi ve Noktaları |
| Asma         | Tüylü Küf                   |
|              | Kara Çürüklük               |
|              | Rotbrenner                  |
|              | Phomopsis                   |
| Turunçgiller | Antraknoz                   |
|              | Siyah Lekeler               |
|              | Melanozu                    |
|              | Kahverengi Çürükler         |

## 4.5. Hekplan İnsektisit Özellikleri

Neonikotinoid insektisitler, 1980'lerin sonlarından beri, temelde nikotine benzer bir etki şekli olan sistemik insektisitler olarak geliştirilmiştir. Seçici olarak böcek nikotinik asetilkolin reseptör bölgesini bağlar ve etkileşime girerek etkileşime girerler ve sıklıkla birkaç saat içinde ölüme yol açan, ancak memeliler için daha az toksik olan felce neden olurlar. Bu sınıf ilaçlar, böcek zararlılarını öldüren ticari böcek ilacı olmuşlardır. Acetamiprid ise bir neonikotinoid isteksitit türüdür [Matthews, 2018].

Acetamiprid, meyve ve sebzelerin yetiştirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan pestisit aktif maddesidir [Rasolonjatovo et al., 2017]. Acetamiprid 'in kimyasal adı  $N^1$ -[(6-kloro-3-pridil)metil]- $N^2$ -siyano- $N^2$ -metilasetamidin'dir. Kapalı formülü  $C_{10}H_{11}ClN_4$  dir. Kimyasal yapısı Şekil 4.13'te gösterilmiştir [Web 5, 2019].

Hekplan insektisiti, %20 Acetamiprid etken maddesi içeren, suda çözünebilen toz pestisit türüdür [Web 6, 2017]. Acetamiprid etken maddesinin 25°C' de damıtılmış sudaki çözünürlüğü 2,95 g/L olarak literatüre geçmiştir. Memelilere göreceli olarak düşük kronik toksisite nedeniyle geri dönüşümsüz asetilkolin esterazı deaktive ederek ciddi etkiler gösteren organofosfor yerine kullanılmıştır. Bununla birlikte, Asetamiprid'in insanlar üzerinde bir zehirlenme etkisi olduğu gösterilmiştir. Asetamiprid, EPA (ABD Çevre Koruma İdaresi) tarafından akut oral toksisite için Toksikoloji Sınıf II (orta derecede toksik) olarak sınıflandırılmıştır [Rasolonjatovo et al., 2017]. FAO resmi verilerine göre; molekül ağırlığı 222,68 g/mol, erime noktası 98,9°C'dir [Web 5, 2019].



Şekil 4.13: Acetamiprid aktif maddesinin kimyasal yapısı.

Etkili olduğu ürün ve hangi zararlıya karşı mücadelede etkili olduğu bilgileri Tablo 4.4'te yer almaktadır [Web 6, 2017].

Tablo 4.4: Hekplan pestisitinin başlıca etkili olduğu bitki ve zararlı organizmalar.

| Bitki Adı     | Zararlı Adı        |
|---------------|--------------------|
| Pamuk         | Pamuk yaprak biti  |
|               | Yaprak piresi      |
| Patates       | Patates böceği     |
| Domates Tarla | Tütün beyaz sineği |
| Domates sera  | Tütün beyaz sineği |
|               | Sera beyaz sineği  |

#### 4.6. Domates Özellikleri ve Domates Tarımında Kullanılan Pestisitlerin Özellikleri

Domates (*Solanum lycopersicum*), patlıcangiller (*Solanaceae*) ailesinden, anavatanı Güney ve Orta Amerika olan, meyvesi yenebilen otsu bitki türüdür. Sebze üretiminden fazla paya sahip olan domates, tek başına tüketilebildiği gibi aynı zamanda birçok sanayi dalına (salça, ketçap, turşu, konserve vb.) hammadde sağlamaktadır [Frenkel and Jen, 1989]. Tropik bölgelerde çok yıllık, diğer bölgelerde tek yıllık bir kültür bitkisidir. Türkiye'ye ise Adana'dan girdiği bilinmektedir. Domates yetiştiriciliği özellikle Marmara, Akdeniz, Ege, Karadeniz bölgesinde önemli bir yere sahiptir. Bu sebzenin yetiştirilmesi için ülkemizin iklim şartları çok uygundur. Sebze işleyecek sanayi 1970'li yıllardan itibaren hızla kurulmuştur. Bu sebeplerden dolayı ülkemiz domates üretiminde dünya ülkeleri arasında alt sıralardan hızla üst sıralara tırmanarak Amerika ve İtalya gibi üretim devlerinin arasına girmeyi başarmıştır [Web 8, 2008].



Şekil 4.14: Tez çalışmasında kullanılan Antalya'da yetiştirilen konvansiyonel domates.

Domates yetiştiriciliğinde mücadele edilmesi gereken birçok hastalık vardır. Bunlar fungal, bakteriyel ve virüs hastalıklarıdır. Fungal hastalıklar için 7-8 gün ara ile organik fungusitlerle koruyucu mücadele, zararlılara karşı ise zararlı görüldüğünde tavsiye edilen ilaçlarla ilaçlama yapılmalıdır. Domates zararlı organizmaları; yeşil kurt, dana burnu, beyaz sinek, kırmızı örümcekler ve yaprak galeri sineğidir. Ayrıca domates yetiştiriciliğinde karşılaşılan hastalıklar Tablo 4.5'te verilmiştir [Web 8, 2008].

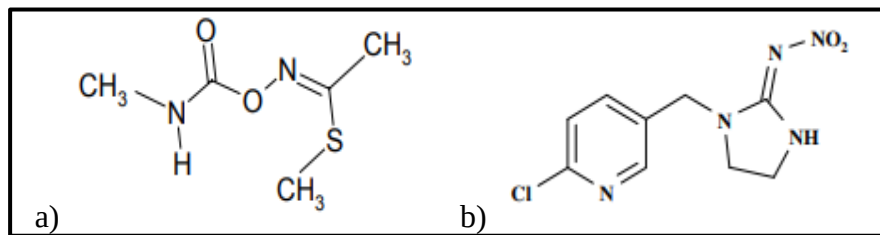
Tablo 4.5: Domateste görülen hastalıklar.

| Domateste Görülen Hastalıklar                |                                                  |                                         |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Fungal Hastalıklar                           | Bakteriyel Hastalıklar                           | Virüs Hastalıkları                      |
| Domates mildiyözü ve fidelikte kök çürüklüğü | Domates öz nekrozu                               | Domates sarı yaprak ve kıvrıkcık virüsü |
| Kurşuni küf ve domates yaprak küfü           | Domates bakteriyel benek hastalığı               | Domates mozaik virüsü                   |
| Beyaz çürüklük                               | Domates bakteriyel kanser ve solgunluk hastalığı | Domates çift virüslü çizgi hastalığı    |
| Domateste erken yaprak yanıklığı hastalığı   | Domates bakteriyel leke                          | Domates lekeli solgunluk hastalığı      |

Domates yetiştiriciliğinde sık kullanılan bazı pestisit aktif maddeleri; azoxystrobin, diflubenzuron, dimethoate, fipronil, imidacloprid, procymidone, thiamethoxam, ve metomildir. Birkaçını yakından incelenmek üzere incelersek;

Metomil; Molekül formülü  $C_5H_{10}N_2O_2S$  olmakla birlikte, kimyasal formülü Şekil 4.15'de gösterilmiştir [FAO, 2002]. Erime noktası  $77^\circ C$  olan beyaz kristal bir katıdır. Suda ve birçok organik çözücünde çözünür. 1966'dan beri kullanılmakta olan monometil karbamat bir insektisittir. Birçok ülkede meyve, üzüm, şerbetçiotu, sebze, tahıl, soya fasulyesi, pamuk ve süs bitkileri üzerindeki böcekleri kontrol etmek için kullanılır. Metomil esas olarak suda çözünür tozlar ve suda karışabilen sıvılar olarak formüle edilir. [WHO, 1995].

Imidacloprid; Molekül formülü  $C_9H_{10}ClN_5O_2$  ve kimyasal formülü Şekil 4.15'de gösterilmiştir [FAO, 2008]. Molekül ağırlığı 255,661 g/mol ve  $20^\circ C$  sudaki çözünürlüğü 0,51 g/L'dir. Renksiz kristal formundadır. Böcek nörotoksini olarak görev yapan ve böceklerin merkezi sinir sistemi üzerinde etkiyen neonikotinoidler adı verilen bir kimyasallar sınıfına ait olan sistemik bir böcek öldürücüdür.



Şekil 4.15: a) Metomil ve b) imidacloprid kimyasal yapısal formülü.

## 5. DAMLA BUHARLAŞMASI İLE ZİRAATTE PESTİSİT KALINTISI KONTROLÜ

Tarımda kimyasal mücadele, bitkisel üretimi sınırlayan ve verimin düşmesine sebep olan her türlü hastalık, zararlı organizmalar ve yabancı (istenmeyen) otların olumsuz etkilerinden bitkileri koruma yoluyla tarımsal üretimin artmasını ve kalitesinin yükselmesi amacıyla yapılan tüm işlemleri oluşturur. Kullanılan pestisit türü, uygulanacak makine seçimi, hedef organizma yapısı ve uygulama yapılan alan kimyasal mücadele uygulamalarının temel etkenlerini oluşturur. Kullanılan yöntemler; havadan uygulanan ilaçlama (dron, helikopter, uçak vb.), yerden uygulanan ilaçlama (pülverizatör, atomizör vb.), kapalı alanlarda uygulanan ilaçlama (serada toprak dezenfeksiyonu vb.), bitkiye enjekte yöntemi veya bitki yüzeyine sürme yolu ile yapılan ilaçlama, sulama ve besleme sistemi yoluyla yapılan ilaçlamalar (damlama vb.) ve tohum ilaçlamasıdır.

Havadan uygulanan ilaçlama yöntemi ile yapılan ilaçlamalarda kullanılan pestisitlerin en önemlisi hedef dışı organizmalara olan etkisi (insanlar ve faydalı böcekler gibi), zararlı organizmaların kontrolünde istenen verimin sağlanamaması ve uygulama aşamasında karşılaşılan uygulayıcı riskleri gibi nedenlerle 2005 yılından bu yana yasaklanmıştır. Ancak epidemi riskinin kontrol edilememesi veya zeytin yetiştirilen alanlar ve çeltik alanları gibi diğer mücadele yöntemlerinin uygulanmadığı tarımsal alanlarda bakanlık tarafından alınan özel izinle bu yöntem kullanılabilmektedir. Bitkiye enjeksiyon veya sürme yöntemi ekonomik olmadığından uygulamada üretici tarafından pek tercih edilen bir yöntem değildir. Ancak genetik kaynak koruma ve peyzaj uygulamalarında tercih edilmektedir. Sulama veya besleme sistemi metodu ise çok miktarda pestisit kullanımına karşın sınırlı sayıda organizmaya etki etmekle beraber toprak ve su kaynaklarında ekotoksikoloji riskler oluşmasına sebep olmaktadır. Kuru gıda depoları, seralar, hangarlar ve konteynırlar gibi az sayıda alanlarda yalnızca özel eğitim ve yetki almış “fumigatörler” tarafından gerçekleştirilen kimyasal mücadele yöntemi ise kapalı alan uygulamalarıdır.

Ülkemizde tarımda kimyasal mücadele uygulamalarında ikinci kategoride yer alan yerden ilaçlama tercih edilmektedir. Yerden ilaçlama metodunu kullanan pestisit türüne göre ve makine seçimine göre sınıflandıracak olursak; etken maddenin taşıyıcı sıvı faz ile karıştırılması ile, damlalar halinde bitkiye ulaştıran pülverizatörler, katı fazda etken maddeyi (toz veya granül gibi), bitkiye hava akımı yardımıyla ulaştıran

tozlayıcılar, gaz halindeki etkili maddeyi, istenilen bölgeye ulaştıran fumigatörler, toz veya granül haldeki katı etkili maddeyi, toprak yüzeyine veya içine ulaştıran mikrogranül aplikatörler ve sıvı fazdaki etken maddenin, toprak içerisine nüfuz etmesini sağlayan toprak enjektörleridir. Daha az pestisit kullanılarak daha çok verim elde etmek için; uygulamanın etkinliği ile uygulama sistemi doğru seçilmiş olmalı, pestisit aktif maddeleri doğru formülasyonlarla kullanılmalı, bitki yüzey yapısı özellikleri bilinmeli, mikro iklimlendirme koşulları tanınmalı ve araştırılması gerekmektedir [Yu et al., 2009a].

Tarım ilaçlarının çoğunluğu pestisit çözeltilerinin püskürtme yöntemi ile hedef bitki yüzeyine uygulanır. Sprey uygulaması birçok bağlı bileşeni içeren karmaşık ve dinamik bir prosestir. Aktif maddenin taşınması, püskürtme çözeltisinin hazırlanmasından sonra hedef yüzeye taşınımı ve pestisit çözeltisi ile yaprak yüzeyi arasındaki etkileşim ile başlayan işlemler dizisidir. Yaprak yüzey özellikleri, sprey çözeltisi özellikleri ve çevresel koşullar pestisit çözeltilerinin hedef ürün üzerinde püskürtülmesini engeller. Böylelikle damlacıkların buharlaşma davranışları, kalıntı oluşumunu, kuruma prosesini, hedef bitki tarafından emilimini, taşınımını ve biyo verimliliği doğrudan etkiler [Zhou, 2017].

Yapılan çalışmalar hedef bitki yüzeyinde pestisit verimliliği için çok önemli iki soruyu ortaya çıkarmıştır. Bunlardan ilki ‘damla nasıl yayılır?’ sorusu iken bir diğeri ise ‘damla yüzeyde daha uzun süre nasıl kalır?’ sorusudur. Damlanın farklı bitki yüzeylerinde buharlaşma süresi hedef bitki morfolojisi ve aktif madde emilimi ile doğrudan ilgilidir [Yu et al., 2009b]. Damla buharlaşması ve yüzeyde tutunması pestisitlerin etkin kontrolünde oldukça önemli rol oynar [Zhou et al., 2017]. Damla tamamen buharlaştığında hedef yüzey kimyasal emilimi durdurabilir, eğer damla yüzeyde homojen dağılmamışsa kimyasal kalıntılar kristalize formda olabilir ve kristaller süspanse olabilir ve bunun sonucu olarak rüzgâr tarafından hedef bölgeden uzaklaşarak etkinliğini kaybederler. Bunlar doğrudan damlanın yüzeyde yayılması ile ilgilidir. Sprey damlasının ömrünün artması, hedef bitki yüzeyinde aktif maddenin emilimini artırır ve bileşenin kristalize olmasını engeller [Yu et al., 2009b]. Örneğin sistemik pestisitlerin verimliliği için buharlaşma süresi oldukça önemlidir, çünkü bu tür pestisitler bitki tarafından absorbe olduktan sonra etkili olurlar. Daha uzun buharlaşma süreleri bitkilerin aktif bileşenle temas etme şansını artırır [Zhou et al., 2017].

Damla buharlaşması ve damlanın maksimum kaplama alanı bilgileri, yaprak tarafından emilim oranı oldukça yüksek pestisit formülasyonlarının geliştirilmesinde önemli rol oynar. Optimum damla boyutu seçimi ve çevre koşulları dikkate alınarak hazırlanan pestisit formülasyonları, maksimum verimlilik sağlayarak, minimum pestisit kimyasal aktif maddesi kullanımını sağlamaktadır [Yu et al., 2009b]. Bu çalışma ise pratikte maksimum verimle minimum pestisit kullanımı ile ilgilidir.

Ekipman ve metodun çeşitliliğinden kaynaklanan karmaşık pestisit uygulamaları, kimyasal spreylere değişik fiziksel özellikleri, çeşitli tarım ürünleri ve büyüme alışkanlıkları, çok sayıda tarımsal hastalık diye nitelendirilebilen problemlere karşı çok sayıda pestisit çeşidi, pestisit uygulaması yapan kişilerin aynı bilinçli ve kontrollü davranış sergilememesi ve eğitimsiz kişilerce yanlış yapılan uygulamalar, kontrol edilemeyen hava koşulları, geniş anlamda çalışan güvenliğinin kapsamı, çevre sağlığı ve düzenlemeleri ve ekonomik boyuttan da ele alacak olursak, tüm bu durumlar ziraate pestisit uygulamalarında neden damla buharlaşması ile çalışmalara ihtiyaç duyulduğunun açıkça göstergesidir. Kullanılan pestisit çeşidinin damla buharlaşması süresi üzerinde, maksimum kaplama alanı üzerinde ve ıslak alan üzerinde herhangi belirgin bir özelliği yoktur [Zhu et al., 2010]. Pestisit damlasının hedef bitki yüzeyi üzerinden hızla buharlaşması ve yayılmaması sonucu, düşük alıkonma süresine sahip damla, kristalize olabilir. Pestisit damlasının yüzeyde kalma süresi arttıkça aktif madde emilimi artar ve bu emilim buharlaşma sonunda durabilir. Damlanın yüzeyde kristalize olması istenmeyen durumdur. Diğer yandan su damlasının uzun alıkonma süresi, patojenler üzerinde hızlandırıcı etki yapar [Huber and Gillespie, 1992], [Bradley et al., 2003]. Pestisitlerin hedef bitki yüzeyi üzerinde buharlaşma sürelerinin ve yayılma alanlarının bilinmesi pestisit üreticilerinin ürünlerinin geliştirilmesine yardımcı olarak, yaprak tarafından maksimum emilim sağlayacak formülasyonlar üretilmesini sağlar. Bunun yanı sıra, spesifik çevre koşullarında optimum damla boyutunun bilinmesi ve geçerli kimyasal formülasyonun kullanılması, sprey uygulamalarında maksimum etkinlik ve minimum kimyasal kullanımına da yardımcı olmuştur [Zhu et al., 2010].

Tez çalışmamızın kapsamında yer alan pestisit damlalarının buharlaşma prosesini etkileyen parametreler ve pestisit damlalarının yüzeyde bıraktıkları kalıntıları etkileyen parametreler alt başlıklar halinde bölümlendirilmiştir ve bu bölümde ayrıntılı bir biçimde ele alınmıştır.

## **5.1. Pestisit Dispersiyonlarında Damla Buharlaşmasını Etkileyen Faktörler**

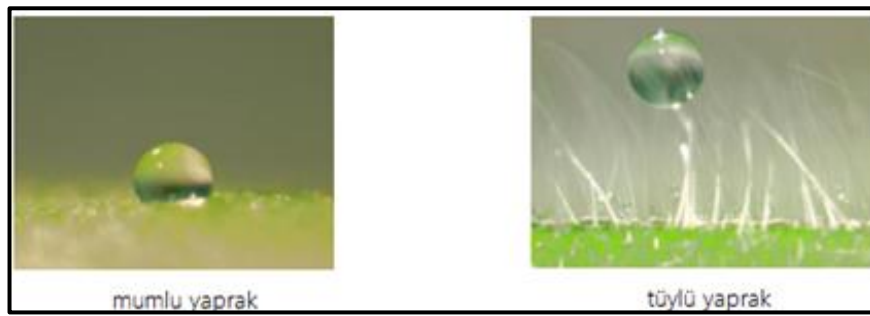
Pestisit damlalarının buharlaşma prosesini etkileyen başlıca etmenler; damla büyüklüğü, bağıl nem, hedef bitki yüzey özellikleri ve uygulanacak pestisit formülasyonlarıdır. Bu formülasyonlara; surfaktan eklenmesi, surfaktan çeşidi ve konsantrasyonu, kayma geciktirici eklenmesi örnek olarak verilebilir. Pestisit türü damla buharlaşması üzerinde etkili değildir [Yu et al., 2011, 2009c]. Damlanın kayma potansiyelini önlemek ve hedef bitki yüzeyinin ıslak alanını arttırmak için kullanılan kayma geciktiriciler, damla buharlaşma süresini uzatırlar.

### **5.1.1. Bitki Yüzey Özelliklerinin Pestisit Damla Buharlaşması Üzerine Etkisi**

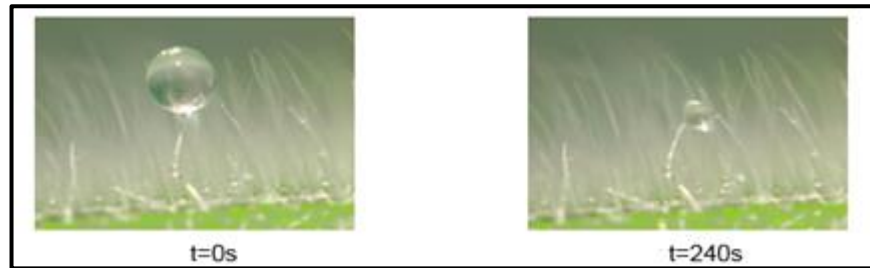
Yaprak yüzeylerinin hidrofilik veya hidrofobik özellikleri yaprak yapısının temas açısı karakterizasyonu ile belirlenir. Temas açısı 90°'den düşükse hidrofilik, eğer temas açısı 90°'den büyükse hidrofobik yüzey olarak adlandırılır. Bu özellikler ise yaprağın mumlu tabakası miktarına, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey enerjisine bağlıdır [Yu et al., 2009b]. Pestisit damlalarının buharlaşma sürelerinde hedef yüzey özellikleri doğrudan etkilidir. Yu ve arkadaşlarının 2009 yılında yaptıkları çalışmada üç farklı yüzey özelliğine sahip hedef bitki seçilmiştir. Bunlar temas açısı yaklaşık 42° olan hidrofilik yaprak, temas açısı 92° olan hidrofobik yaprak ve temas açısı 65° olan yaban elması yaprağıdır [Yu et al., 2009a]. Hidrofobik yaprak yüzeyinde uzun hidrokarbon zincirleri bulunurken, hidrofilik yaprak yüzeyinde ise alkol ve asit grupları bulunur [Yu vd., 2009b]. Bitki yüzey özellikleri ve pestisit damlaları arasındaki damlanın yayılması ve emilimi gibi ilişkiler taramalı elektron mikroskobu ile bitki yüzeyinin incelenmesi ile analiz edilmektedir [Chachalis et al., 2001a], [Chachalis et al., 2001b], [Hatterman-Valenti et al., 2006].

Üç hedef yüzey arasında, belirli bir bağıl nem koşulundaki aynı boyuttaki damlacıklar için, hidrofobik yüzeydeki damlacıklar en uzun buharlaşma süresine sahipken, yaban elması yaprağı yüzeylerindeki damlacıklar en kısa buharlaşma süresine sahiptir. Yaban elması yaprağının en kısa buharlaşma süresine sahip olmasının sebebi termal iletkenliğinin hidrofilik ve hidrofobik yüzeylerden yüksek olmasıdır [Yu et al., 2009a]. Mumlu yaprakların buharlaşma süresi tüylü yaprakların

buharlaşma süresinden daha uzundur. Hidrofobik, hidrofilik, mumlu ve tüylü yapraklar arasındaki damla buharlaşma süresini karşılaştıracak olursak; hidrofobik yaprak en uzun buharlaşma süresine sahipken, daha sonra mumlu yaprak, hidrofilik yaprak ve son olarak tüylü yaprak gelmektedir [Yu et al., 2009b]. Tüylü yaprak üzerinde pestisit damlası temas alanı buharlaşma süresi tamamlanıncaya kadar devam ederken, mumlu yapraklarda buharlaşma süresi boyunca damla temas alanı azalır [Zhu et al., 2010]. şekil 5.1 ve 5.2’de mumlu yaprak ve tüylü yaprak üzerinde su damlası resimleri ve bitkisel yağ konsantrasi içeren damlanın tüylü ve mumlu yapraklar üzerinde davranışı gösterilmiştir [Xu et al., 2010b].



şekil 5.1: 500 µm hacminde su damlasının yaprak üzerinde görüntüsü.

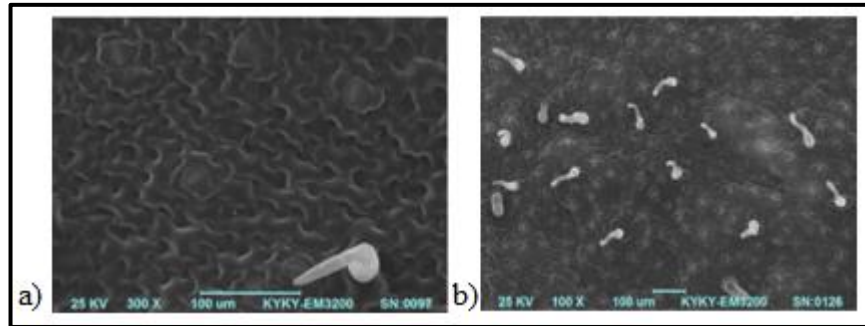


şekil 5.2: 500 µm hacminde bitkisel yağ konsantrasyonu içeren damlanın tüylü yaprağın trikomlarında olan görüntüsü.

Tütün yapraklarındaki yapısal değişiklik pestisit damla buharlaşmasında önemli farklılıklar ortaya koymaktadır [Yu et al., 2011]. Tütün yaprakları ile pestisit damlalarının buharlaşma prosesi arasındaki ilişkiyi yakından incelemek için öncelikle bazı terimleri açıklamamız gerekmektedir. Tütün yapraklarının en üst tabakası olarak adlandırılan epidermis tabakasında, epidermis hücrelerinden bazılarının fasulye biçiminde form değiştirmiş iki hücrenin karşı karşıya gelmesinden meydana gelen ve hücrelerinin arasında havanın alışverişine yarayan stoma (gözenek) adı verilen delikler bulunmaktadır. Stoma deliğinin bağlı olduğu hücre arası boşluğunun diğer hücre arası

boşluklarla bağlantılı olması dolayısıyla dokunun tüm hücreleriyle ilişkisi bulunmaktadır. Yaprığın üst yüzeyindeki stomaların miktarı alt yüzeyindekinden yaklaşık olarak iki katı kadar fazladır. Ayrıca tütün yaprağının üst epidermis hücrelerinden bazılarının oluşturduğu uzantılardan tüycükler meydana gelmektedir. Bu tüycükler genellikle geniş bir baş ve bir sap olmak üzere raket biçiminde veya birkaç kısımdan oluşmaktadır [Web 7, 2017].

Yu ve arkadaşları 3 farklı yoğunlukta stoma ve tüylere sahip tütün yaprakları ile pestisit damla buharlaşma prosesinin ilişkisini incelemişlerdir. Bu tütün yapraklarından 0,12 mm<sup>2</sup> yaprak kesiti üzerindeki stoma sayıları sırasıyla 6, 21 ve 16'dır. 1,08 mm<sup>2</sup> yaprak kesiti üzerinde ise sahip oldukları tüy sayıları sırasıyla 22, 14 ve 16'dır. Yapılan incelemeler sonucu elde edilen sonuçlar belirtilmiştir; Pestisit çözeltisine surfaktan eklense ya da eklenmese dahi en az damla buharlaşma süresine tütün yaprağı 6 stoma / 0,12 mm<sup>2</sup> ve 16 tüy / 1,08 mm<sup>2</sup> sahiptir. Buradan, az stoma ve çok tüy miktarına sahip olma özelliği damla buharlaşma süresini kısalttığı anlaşılmaktadır. Stoma ve tüy yapılarını gösteren tütün yapraklarının tarama stereoskop görüntüsü Şekil 5.3'te verilmiştir [Yu et al., 2011].



Şekil 5.3: a) 6 adet stomaya sahip ve b) 16 tüye sahip tütün yaprağının görüntüsü.

### 5.1.2. Pestisit Türünün Pestisit Damla Buharlaşması Üzerine Etkisi

Yu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarda pestisit türlerinin değişik özellikte tütün yaprakları üzerinde elde ettikleri denemeler sonucu, buharlaşma prosesi üzerinde belli bir etkisi olmadığı sonucunu elde etmişlerdir [Yu et al., 2011]. Farklı pestisit türlerinin tüylü ve mumlu yapraklarda buharlaşma prosesleri izlendiğinde ise yine belirli bir etkisinden söz edilemeyeceği anlaşılmıştır [Zhu et al., 2010], [Yu et al., 2009b]. Su içerisinde önerilen konsantrasyonlarında hazırlanan 20% Dinotefuran [Yu

et al., 2009a] ve 21,4% Imidacloprid [Yu et al., 2009a], [Yu et al., 2009c] içeren insektisitlerinin pestisit çözeltileri ile yapılan denemeler sonucu damla buharlaşma süresinin çok büyük farklar görülmemekle beraber nispeten buharlaşma sürelerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5.1: Referanslarda kullanılan pestisit türleri, aktif bileşenleri konsantrasyonları ve referansları.

| Kimyasal   | Aktif Bileşen       | Konsantrasyon | Referans                                                    |
|------------|---------------------|---------------|-------------------------------------------------------------|
| İnsektisit | %21,4 İmidacloprid  | 0,13 ml/L     | [Zhu et al., 2008, 2010], [Yu et al., 2009a, 2009b, 2009c], |
| İnsektisit | %20 Dinotefuran     | 0,45 mg/L     | [Zhu et al., 2008, 2010], [Yu et al., 2009a, 2009b],        |
| İnsektisit | %16 Clothianidin    | 0,23 mg/mL    | [Yu et al., 2009b], [Zhu et.al, 2010].                      |
| Fungisit   | %14,3 Propicanazole | 1,5 mg/mL     |                                                             |
| Pestisit   | %10 Imidacloprid    | 0,33 ml/L     | [Yu et al., 2011]                                           |
| Pestisit   | %70 Mancozeb        | 1,11 mg/mL    |                                                             |
| Pestisit   | %40 Dimeachlone     | 1,67 mg/mL    |                                                             |

Değişen damla çapı ve bağıl nem koşullarında insektisit türünün damla buharlaşma süreleri verileri Şekil 5.4'te yer almaktadır [Yu et al., 2009c], [Zhu et al., 2008].

| %RH             |    | Damla Çapı (µm) |     |     |     |     |
|-----------------|----|-----------------|-----|-----|-----|-----|
|                 |    | 246             | 343 | 575 | 762 | 886 |
| Su              | 30 | 40              | 77  | 139 | 250 | 389 |
|                 | 60 | 60              | 123 | 217 | 382 | 589 |
|                 | 90 | 96              | 186 | 321 | 518 | 765 |
| Su + İnsektisit | 30 | 39              | 68  | 127 | 226 | 391 |
|                 | 60 | 54              | 104 | 185 | 321 | 527 |
|                 | 90 | 92              | 161 | 267 | 442 | 693 |

Şekil 5.4: Hidrofobik yüzeyde gerçekleşen yalnızca su buharlaşma süreleri ve su ve insektisit içeren pestisit çözeltileri buharlaşma süreleri.

### 5.1.3. Surfaktan Katkılı Pestisit Damlalarının Pestisit Damla Buharlaşması Üzerine Etkisi

Surfaktanlar iyonik olmayan, anyonik, katyonik, organoslikonlar ve silikonları içerir [Xu et al., 2010b]. Surfaktanların diğer adı yüzey aktif maddelerdir. Yüzey aktif maddeler, yüzeylerin ıslanmasını ve tarım kimyasallarının su bazlı formülasyonlarının yayılmasını kolaylaştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 5.2: Referanslarda kullanılan surfaktan türleri ve aktif bileşenleri.

| Kimyasal                 | Aktif Bileşen                                                               | Referans                                                   |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Surfaktan                | 90% alkil polioksietilen ve 10% adjuvan olarak etkisiz bileşenler           | [Zhu et al., 2008, 2010], [Yu et al., 2009a, 2009b, 2009c] |
| Bitkisel Yağ Konsantresi | 83% parafin bazlı petrol yağı ve 17% surfaktan karışımı                     | [Xu et al., 2010a, 2010b], [Gimenes et al., 2013]          |
| Tohum Yağı               | Metil soyat, nonilfenol etoksilat (15% surfaktan içerir)                    |                                                            |
| İyonik Olmayan Surfaktan | Alkilfenol etoksilat, bütıl alkol, 90% dimetil polisiloksan,                |                                                            |
| Yağ Surfaktan Karışımı   | Etile edilmiş tohum yağı, polioksietilen dioleat (40% surfaktan karışımı)   |                                                            |
| İyonik Olmayan Surfaktan | Oktifenol polioksietilen eter                                               | [Xu et al., 2010c]                                         |
| Surfaktan                | Poli (akrilik asit/ dimetil diallilamonyum klorid/ oktadesil) metil-akrilat | [Zhou et al., 2017], [Zhou et al., 2018]                   |

Sulu pestisit çözeltisi damlalarına surfaktan eklenmesi, özellikle yoğunlaşma halindeki çözünmeyen tek tabakalar için buharlaşmayı önemli ölçüde azaltır. Ancak bazı yüzey aktif maddeler, damla buharlaşmasını kolaylaştırırken, temas açısını azaltır ve bu da temas hattı yarıçapının artmasına sebep olur. Zhou ve arkadaşlarının 2017 yılında pirinç yaprakları üzerinde yaptıkları bir dizi deneyler sonucunda ayrıca

surfaktan konsantrasyonunun artışı ile yüzey geriliminin azaldığı gözlenmiştir [Zhou, 2017].

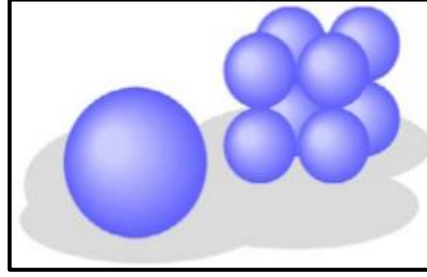
Pestisit formülasyonlarına eklenen surfaktanlar; geliştirilmiş kimyasal örtü sağlar, sprey ve yaprak yüzeyi arasındaki hava filmini kaldırır, yüzey gerilimini azaltır, damlacık adezyonunu artırır ve yayılma alanını artırır. Ayrıca sistemik pestisitlerde pestisit, hedef bitki yüzeyinde emilimi için oldukça önemli bir faktör olan, yaprak yüzeyinde tutulma süresini artırır [Yu et al., 2009a, 2009c, 2011].

Surfaktan konsantrasyonunun artması hedef bitki yüzeyi üzerinde pestisit emilimini artırmaktadır. Ancak bazı surfaktanlar için surfaktan konsantrasyonu kritik bir değerin üzerine çıkması durumunda pestisit emilimi üzerinde olumsuz bir etki yaratabilir. Alkil polioksietilen aktif bileşenine sahip damlaların hafif hidrofilik yüzeyler üzerinde düşük konsantrasyonlarda buharlaşmaları sonrasında kalan kalıntılar “halka adaları” ve daha yüksek konsantrasyonlarda ise “katı halkalar” şeklindedir. Pestisit çözeltileri gibi dispersiyon çözeltilerinin buharlaşması sonrası oluşan üç fazlı hat nedeniyle “kahve halkası” oluşumu gözlenir. Yağ bazlı adjuvanlar (yardımcı maddeler) bitkinin balmumu kutikülünden (yaprakların her iki yüzünde bulunan ve suyu sızdırmadığı, buharlaşmayı önlediği için bitkinin kurummasına engel olan ince zar) kimyasal emilimine katkı sağlar. Yağ bazlı adjuvanlar bitkisel yağlar, bitkisel yağ konsantreleri ve tohum yağ konsantrasyonlarıdır. Birçok adjuvanın Pestisit spreylelerinin performansını arttırdığı konusunda birçok adjuvan belirlenmiştir, ancak farklı adjuvan sınıflarının hedef bitki yüzeyinde yayılması ve oluşturduğu ıslak alan üzerinde nicel analizler bulunmamaktadır. Bu ilişkinin bilimsel açıdan kanıtlanması tarımda başarılı pestisit uygulamaları için oldukça önemlidir.

Surfaktan içeren pestisit damlaları daha kısa buharlaşma süresine sahiptirler [Yu et al., 2009a, 2009c, 2011]. Ayrıca pestisit damlalarına surfaktan eklenmesiyle, küçük damlaların yüzeyde tutunması geliştirilmiş ve küçük damlaların büyük damlalara kıyasla daha çok yayılması sağlanmıştır [Baur, 2006]. Surfaktan eklenmesiyle pestisitlerin aktif madde bileşenlerinin biyolojik etkinliği artırılmaktadır [Braaze et al., 2004]. Saha denemeleri sonucu, farklı tip nozüller için düşük uygulama oranlarına sahip olsalar dahi herbisit sprey karışımlarına iyonik olmayan surfaktan eklenmesiyle geliştirilebileceği kanıtlanmıştır [Ramsdale and Messersmith, 2001], [Yu et al., 2009b].

#### 5.1.4. Damla Büyüklüğünün Pestisit Damla Buharlaşması Üzerine Etkisi

Pestisit kontrolünde damla büyüklüğü en önemli parametrelerden biridir. Reichard 1977’de damla büyüklüğünün pestisit kontrolü ve verimliliğine etkisi üzerinde; damlalar, hedefe ulaşacakları sırada gerçekleşen buharlaşmaya rağmen hedefte birikecek kadar büyük olması, ancak hedef bitki yüzeyinde yeterli pestisit kapsamı sağlayacak kadar küçük olması gerektiğini ileri sürmüştür [Yu et al., 2009a].



Şekil.5.5: Büyük hacimli tek bir damla ve küçük hacimli damlalar ve görseli.

Buradan büyük damla kullanılması fikri anlaşılmamalıdır. Çünkü büyük damlaların kullanılması halinde sürüklenme potansiyeli azaltılabilir, ancak aşırı pestisit kullanımıyla sonuçlanan uygulama verimliliğini düşürür [Yu et al., 2009b]. Damla büyüklüğü arttıkça damla buharlaşma süresi artmaktadır [Yu et al., 2009c], [Zhu et al., 2010]. Ayrıca surfaktan kullanımıyla yüzey/ hacim oranı artırılabilir [Yu et al., 2009a]. Küçük damlaların hacmi büyük damlaların hacmine kıyasla daha küçüktür. Ancak hacimleri küçülen damlalar, aynı hacimdeki tek bir büyük damlaya göre daha fazla alan kaplar. Bu da hedef üzerinde tekdüze dağılım sağlamak için gereklidir. Şekil 5.5’te gösterilmiştir [Birişk vd., 2018].

Tablo 5.3: Pestisit uygulaması yapılacak hedef yüzeyler için optimum damla çapları.

| İlaçlama yapılacak hedef                       | Damla çapı (VMD, $\mu\text{m}$ ) |
|------------------------------------------------|----------------------------------|
| Uçan böceklere karşı (İnsektisit)              | 10-50                            |
| Yaprak üzerindeki böceklere karşı (İnsektisit) | 30-50                            |
| Yaprak ilaçlaması (Fungisit)                   | 40-100                           |
| Toprak ilaçlaması (Herbisit)                   | 250-500                          |

Biyolojik etkinliğin uygun seviyede sağlanabilmesi için uygulanacak hedef yüzey üzerinde gerekli sayıda ve optimum çapta damla boyutları tercih edilmelidir. Her hedef yüzeyde maksimum verimi sağlayacak optimum damla çapı vardır. Bu değerler Tablo 5.3'te verilmiştir [Matthews, 1992]. İnsektisit ve akarisitlere karşı maksimum verim 100 µm'den daha küçük çaplı damlaların uygulanması sonucu elde edilmiştir [Himel, 1969].

Pestisit sprey uygulamalarında büyük damlalar hedef bitki yüzeyine daha hızlı bir şekilde ulaşmaktadır. Büyük damlalar küçük damlalara kıyasla rüzgârdan daha az etkilenir ve aynı zamanda sprey nozulünden daha hızlı düşüş gösterirler. Pestisit damlasının uygulandığı yükseklik arttıkça, rüzgârın damla üzerindeki etkisi daha güçlü olmakta ve damlanın sürüklenme olasılığı da artmaktadır. Hacmi 150 µm'den daha küçük damlalar için sürüklenme eğilimi söz konusudur. Böylelikle, damla optimum verimi sağlayacak koşullarda yeteri hacimdeyse hızlı bir şekilde hedefe ulaşır. Aksi takdirde damlanın aşırı küçük olması durumunda damlanın hedef yüzeye ulaşması zaman alacaktır ve orta şiddette rüzgar koşullarında bile etkilenerek sürüklenme eğilimi gösterecektir.

#### **5.1.5. Ortamın Bağıl Neminin Pestisit Damla Buharlaşması Üzerine Etkisi**

Bağıl nem parametresinin damla buharlaşması ve hedef yüzey üzerindeki kalıntı üzerindeki etkisini Vesala (1992) ile Jung ve Bhusan (2006) sırasıyla şöyle ifade etmişlerdir. Başlangıç damla boyutuna bakılmaksızın bağıl nem arttıkça yüzeyde biriken kalıntı kütlesi azalmaktadır [Vesala, 1992]. Bağıl nem arttıkça pürüzlü yüzeylerde, damla ve yüzey arasındaki yapışma ve sürtünme artmaktadır [Jung and Bhushan, 2006]. Bağıl nem arttıkça damla buharlaşması süresi artmaktadır [Yu et al., 2009a, 2009c], [Zhu et al., 2010].

#### **5.2. Pestisit Dispersiyonlarının Buharlaşma Kalıntılarını Etkileyen Faktörler**

Maksimum kaplama alanı üzerinde etkili başlıca etmenler ise surfaktan eklenmesi, surfaktan çeşidi ve konsantrasyonu, hedef bitki yüzey özellikleri ve damla büyüklüğüdür.

Bağıl nem (RH) parametresinin damla buharlaşması sonrası hedef yüzey üzerindeki kalıntı üzerindeki etkisini Vesala (1992) ile Jung ve Bhusan (2006) sırasıyla şöyle ifade etmişlerdir. Başlangıç damla boyutuna bakılmaksızın bağıl nem arttıkça yüzeyde biriken kalıntı kütlesi azalmaktadır [Vesala, 1992]. Bağıl nem arttıkça pürüzlü yüzeylerde, damla ve yüzey arasındaki yapışma ve sürtünme artmaktadır. Ancak tarımsal mücadelede bağıl nem değişimi maksimum kaplama alanı üzerinde ve yüzeyde oluşan ıslak alan üzerinde etkili değildir [Zhu et al., 2010].

Pestisit konsantrasyonu ve çeşidi damla buharlaşması ve maksimum kaplama alanı üzerinde etkili değildir [Zhou, 2017], [Zhu et al., 2010], [Yu et al., 2009c, 2011].

### **5.2.1. Bitki Yüzey Özelliklerinin Pestisit Damlalarının Kalıntısı Üzerine Etkisi**

Hedef yüzey özellikleri maksimum kaplama alanı üzerinde de etkilidir. Hidrofobik yüzey özelliklerine sahip bitki yüzeyleri pestisit damlalarının yayılmasına karşı en fazla direnç gösteren yüzeylerdir. Hidrofilik yüzey özelliklerine sahip bitki yüzeylerinde bu direnç oldukça düşüktür. Böylece maksimum kaplama alanı hidrofilik yüzeyde hem hidrofobik yüzeyden [Yu et al., 2009c] hem de yaban elması yaprağından daha büyüktür [Yu et al., 2009a].

Tüylü yapraklarla yapılan çalışmalarda yüzey karakterizasyonu için hedef bitki yüzeyinde bulunan tüyler ölçüm için gerekli temas açısının görünmesini engellemiştir. Tüyümsü çıkıntıların yoğunluğu maksimum kaplama alanı üzerinde, hedef bitki yüzeyinde bulunan tüyümsü uzantıların uzunluğundan daha çok etkilidir. Çünkü yakın aralıklı trikomlar (tüyümsü çıkıntılar) hava paketleri üretiyor gibi görüldüğünden yaprak yüzeyinin pestisit damlasıyla olan temasını engeller. Ayrıca trikomların sayı büyüklüğü mikro pürüzlülüğü artırır bu yüzden damla daha çok yayılır. Mumlu diye adlandırılan yaprakların su, kayma geciktirici ve surfaktan eklenerek yapılan temas açısı ölçümlerinde ise sırasıyla 84°, 86° ve 30° elde edilmiştir [Yu et al., 2009b]. Tütün yaprak çeşitliğinin damla buharlaşması üzerinde etkili olmasına karşın maksimum kaplama alanı üzerinde etkisi yoktur.

Tütün yaprakları üzerinde maksimum kaplama alanı diğer yüzeylerde olduğu gibi surfaktan eklenince artmakta, surfaktan konsantrasyonu ve çeşidi ile değişmektedir [Yu et al., 2011]. Surfaktanların pestisit damlalarının kalıntısı üzerine etkisi 5.2.2 başlığı altında incelenmiştir.

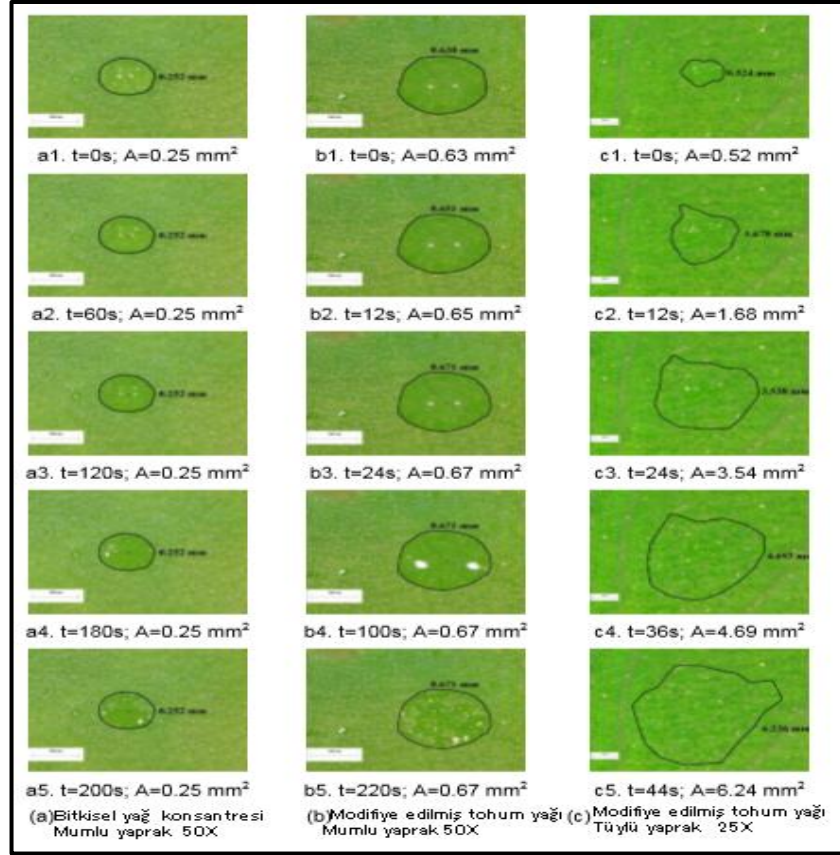
### 5.2.2. Surfaktanların Pestisit Damlalarının Kalıntısı Üzerine Etkisi

Pestisit çözeltilerine surfaktan eklenmesi, buharlaşma süresi ve maksimum kaplama alanı açısından mumlu ve tüylü hedef yüzeyler birbiriyle kıyaslandığında tüylü yapraklarda daha etkili olduğu görülmüştür. Surfaktan eklenmediğinde tüyler arası oluşan hava paketlerinden dolayı yayılamayan pestisit damlası, surfaktan eklenmesiyle tüyümsü çıkıntılar arasına girerek yayılmasına ve tüyler arası yollar boyunca ilerlemesine yardımcı olduğu gözlenmiştir [Yu et al., 2009b], [Zhu et al., 2010].

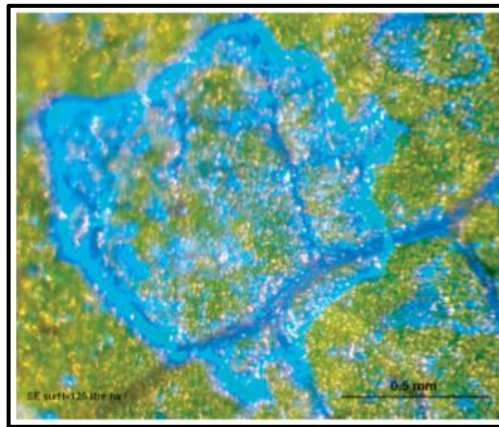
Surfaktan eklenmiş pestisit damlalarının maksimum kaplama alanı tüylü yapraklarda mumlu yapraklardan daha büyüktür. Ancak surfaktan olmadığı koşullarda bu durumun tam tersi gözlenmiştir [Yu et al., 2009b]. Optimum surfaktan konsantrasyonuna maksimum kaplama alanı oluştuğunda ulaşılır [Yu et al., 2011]. Zhu ve arkadaşları 2010 yılında ayrıca hedef bitki yüzeyinin ıslak alanından bahsetmişlerdir. Surfaktanın eklenmesiyle hedef bitki yüzeylerinde ıslak alan artmaktadır. Surfaktan eklenmediği koşullarda tüylü yaprakların ıslak alanı mumlu yaprakların ıslak alanından daha küçüktür. Tüylü ve mumlu yapraklardaki ıslak alan artışını karşılaştıracak olursak; surfaktan eklendiğinde tüylü yapraklardaki ıslak alan artışı mumlu yaprakların ıslak alan artışından daha büyüktür [Zhu et al., 2010].

Tablo 5.2’de bitkisel yağ konsantresi ve tohum yağı adjuvanlarının bilgileri verilmiştir. Bu bilgilere dayanarak, bitkisel yağ konsantresi ile hazırlanmış adjuvan damlasının mumlu yaprak üzerinde oluşturduğu ıslak alan ile, modifiye edilmiş tohum yağı, iyonik olmayan surfaktan ve yağ surfaktan karışımı adjuvanlarının damlalarının oluşturduğu ıslak alan kıyaslanacak olursa, kayda değer bir farkla modifiye edilmiş tohum yağı adjuvan damlası daha küçük ıslak alan yaratmıştır. Tüylü yapraklarda, bitkisel yağ konsantre damlaları genellikle trikomlar tarafından tutulur ve yaprağın epidermal yüzeyine ulaşamaz. Modifiye edilmiş tohum yağı veya yağ surfaktan karışımı adjuvanları ile ıslatılmış alanlar aynı konsantrasyonda iyonik olmayan surfaktan karışımı ile ıslatılmış alandan 9 ile 6 kat daha büyük olduğu gözlenmiştir. Modifiye edilmiş tohum yağı veya yağ surfaktan karışımı içeren damlacıklar, tüylü yaprak üzerinde daha hızlı yayılırlar. Damlanın yüzeye temas ettiği andan itibaren ve buharlaşma sürecinin sonuna kadar yayılmaları sürekli olarak devam eder. Çünkü bu iki adjuvan trikomları kırma ve yaprak epidermisinin yüzeyinde bulunan balmumu tabakasının seyreltme özelliğine sahiptir. Bu da spreyci damlalarının yayılmasını ve

penetrasyonunu attırmaya yardımcı olmaktadır. Bitkisel yağ konsantrasyonunun mumlu yaprak üzerinde ve modifiye edilmiş tohum yağı adjuvan damlasının mumlu ve tüylü yaprak üzerindeki görüntüleri aşağıdaki resimde verilmiştir [Xu et al., 2010a].

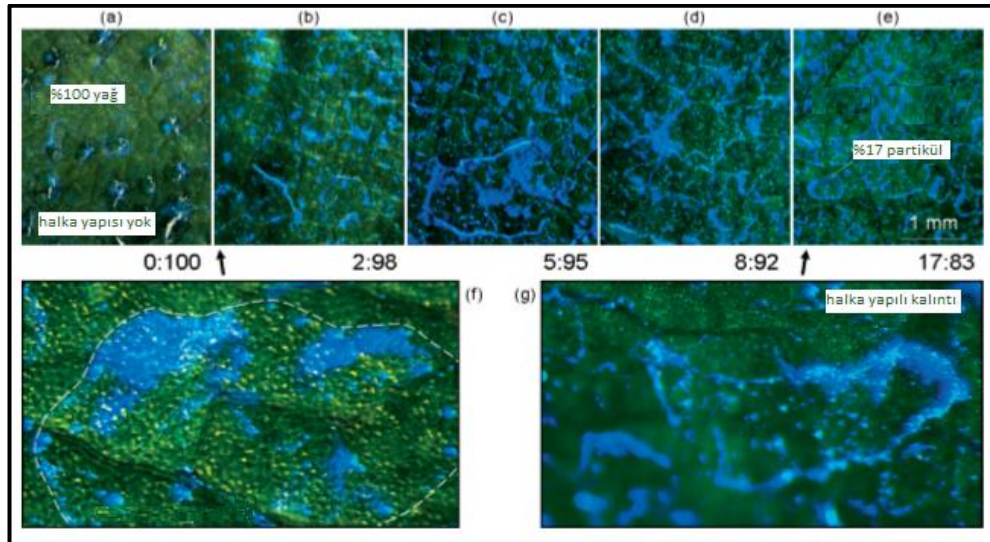


Şekil 5.6: 500  $\mu\text{m}$  hacminde damlaların yaprak üzerinde yayılma prosesi: a) mumlu yaprak üzerinde bitkisel yağ konsantrasyonu, b) mumlu yaprak üzerinde modifiye edilmiş tohum yağı ve c) tüylü yaprak üzerinde modifiye edilmiş tohum yağı.



Şekil 5.7: Yaprak yüzeyinde buharlaşma sonrası sprey süspansiyon pestisit damlasının halka şeklinin mikroskopik görüntüsü.

Şekil 5.7’de [Faers and Pontzen, 2008] gözlenen halka yapısında partiküllerin önemi oldukça büyüktür, merkezde partikül ve yağ yapısı gözlenir ancak aktif madde ve adjuvant çoğunlukla yoktur. Düşük surfaktan konsantrasyonlarında partiküller halkada ve adjuvanlar merkezde toplanırlar. Orta surfaktan konsantrasyonlarında ise partikül ve adjuvanlardan oluşan halkalar oluşur. Yüksek surfaktan konsantrasyonlarında iken kalıntılar büyük olur ve birkaç halka içerirler. Faers ve Pontzen’in yağ-partikül oranıyla halka yapısı formunda elde ettikleri sonuçlar verilmiştir. Burada partiküllerin yağ adjuvanlara oranı kademeli olarak 0:100’den 17:83’e soldan sağa arttırılmıştır. Yağ adjuvanının halka içindeki parçacıklarla ilişkilendirilmesinin ardından, yağın parçacıklardan uzağa çok az yayıldığı gözlenmiştir [Faers and Pontzen, 2008].



Şekil 5.8: a, b, c) düşük parçacık konsantrasyonlarına sahip merkezi birikintilerden d, e) yüksek parçacık konsantrasyonlarına sahip halka birikintilerine geçişi gösteren mikroskopik görüntüler.

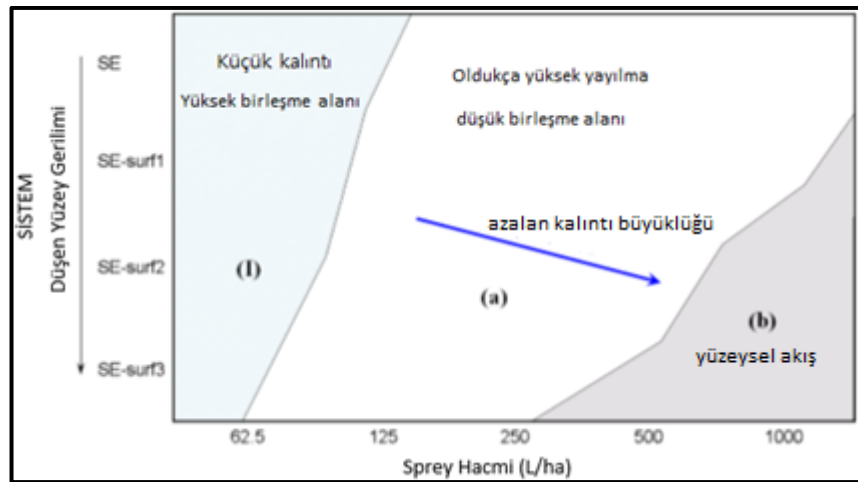
### 5.2.3. Damla Büyüklüğünün Pestisit Kalıntısı Üzerine Etkisi

Maksimum kaplama alanı damla çapı arttıkça artmaktadır [Yu et al., 2009a, 2009b]. Ayrıca ıslak alan ile damla çapı doğru orantılıdır [Zhu et al., 2010]. Ancak kaplama alanının büyük olması biyolojik açıdan etkinliğin verimli olduğu anlamına gelmemelidir. Kontak etkili pestisitlerin aktif maddelerinin tamamen kaplama oluşturması oldukça önemlidir. Ancak sistemik etkili aktif maddeler için bitkinin

tamamen ıslanmasından önce yapraklardan köke kadar aktif maddenin iletimi biyolojik etkinlik açısından tamamen kaplama alanı oluşturmamasından daha etkilidir.

Sprey uygulamalarında damla boyutu sıvı spreyn hacmine göre tanımlanır. Damla boyutu hacim boyutu (veya kütle) ile ölçülür. Böylece spreyn hacimleri incelenerek uygulama esnasında olan etkileri anlaşılabilir. Faers ve Pontzen asma yaprakları üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda; 62,5 L ile en düşük spreyn püskürtme hacminde, küçük boyutlu kalıntıların tek biçimli ince kaplama alanı oluşturduğunu ve püskürtme hacminin artırılmasında kaplama alanı, artan aktif madde-yag adjuvanı birleşimi ile 250 L'ye kadar nispeten tek biçimli olarak gözlenmiştir. Daha yüksek püskürtme hacimleri, temas hattının parçacıklar ile sıkıştırılmasıyla oluşan halka şeklinde büyük birikintiler üretir.

Aktif madde ile yağ adjuvanı (surfaktan ve süspoemülsiyon (SE)) arasında asma yaprağı üzerinde gözlenen ilişki Şekil 5.9'da şematize edilmiştir. Bölge I'de yüksek aktif madde ve adjuvan bileşimi gerçekleşmektedir. Bu bölgenin dışında a bölgesinde ise yayılma daha yüksektir. Yüksek surfaktan konsantrasyonları ve yüksek spreyn hacimleri ilişkisi sonucu aktif madde partikülleri ve adjuvan yağı arasında tükenme meydana gelir. Bu sonuçlar ise daha fazla biyolojik açıdan etkin emilim için daha büyük spreyn hacimlerinin gerektiği genel kanısının yanlış olduğunu açığa çıkarmaktadır. Adjuvanlar için ise daha büyük bir temas alanına ulaşmanın zorunlu olarak daha fazla alım veya biyolojik etkinlik gerektirmediği anlaşılmıştır [Faers and Pontzen, 2008].

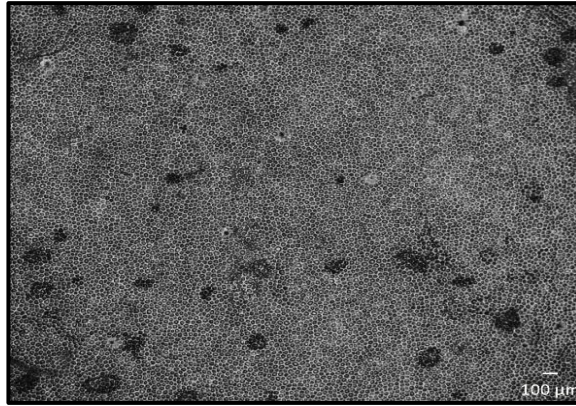


Şekil 5.9: Sprey hacmi ile yüzey gerilimi arasındaki ilişki nedeniyle asma yaprağı yüzeyinde izlenen sonuçların diyagramı.

## 6. DENEYSEL YÖNTEM

### 6.1. Kullanılan Kimyasal ve Materyaller

Konvansiyonel domates, üretim yeri bilgileri tüketiciye sunulduğu için Migros marketler zincirinden tedarik edilmiştir. Denemelerde üretim yeri Antalya olan domatesler kullanılmıştır. Domatesin kavisli yapısından dolayı kabuğu ayrılırken herhangi bir yüzeysel deformasyona sebep olmaması için ortalama boyutlarda domatesler tercih edilmiştir. Seçilen domatesler ortalama 0,15-0,2 g ağırlıktadır. Domates kabuğu domatesten ayrılması işlemi esnasında hedef yüzeye zarar vermemek için oldukça hassas davranılmış ve domatesten ayrılan kabuk yaklaşık 10-15 dakika civarında oda koşullarında bekletilmiştir. Domates kabuğunun alt yüzeyi çift taraflı bant ile cam lama yapıştırılmıştır. Hedef yüzey, tarımsal üretim koşullarında uygulanan hedef domates yüzeyini temsil etmelidir. Domates kabuğunun canlı biyolojik yapısının olduğu unutulmamalıdır. Domates kabuğu, cam lam üzerinde çift taraflı banda yapışacak ve tamamen düz yüzey verecek şekilde yerleşecek kadar kuru olmasına, ancak canlı biyolojik yapısını kaybedecek kadar kuru olmamasına dikkat edilmelidir. Tamamen kuruyan domates kabuğunun hücresel yapısı canlı yapısındaki gibi değildir ve aynı sonuçları vermeyecektir. Kullanılan domateslerin yüzeyinin 2D optik mikroskop görüntüsü Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Konvansiyonel domates yüzeyi Nikon Eclipse LV 150L optik mikroskobunda (Gebze Teknik Üniversitesi) elde edilmiştir.



Şekil 6.1: Tez çalışmasında kullanılan konvansiyonel domates yüzeyi 2D optik görüntüsü.

Hekplan, bir insektisit olup, bunun %20 Acetamiprid aktif maddesi içeren suda çözünen toz formu Hektaş firmasından tedarik edilmiştir. 2 mg/ml ve 3 mg/ml konsantrasyonları ile domates kabuğu yüzeyinde insektisit dispersiyon damla buharlaşması deneyleri yapılmıştır. Hassas terazide tartılan toz insektisit saf su ile dispersiyon çözeltisi hazırlanmıştır. Ayrıca alkol etkisini araştırmak adına, %40 etanol (absolute extra pure MERCK)-Hekplan ve %40 izopropanol (İPA)i (absolute extra pure FLUKA)-Hekplan dispersiyon çözeltileri de hazırlanmıştır. Alkol çözeltileri 40 ml saf alkol sıvısı 100 ml'lik balonjojeye konularak, joje çizgisine kadar saf su ile tamamlanarak hazırlanmıştır. Hassas terazide tartılan Hekplan tozu hazırlanan %40'lık alkol çözeltilerinde çözülerek istenilen konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlanmıştır.

Mancozeb bir fungusit olup, bunun suda ıslanabilen toz formu Hektaş firmasından tedarik edilmiştir. Etiket bilgilerinde önerilen uygulama dozu 2 mg/ml olarak verilmiştir. 0,5 mg/ml, 0,75 mg/ml, 1 mg/ml ve 2 mg/ml konsantrasyonları ile domates kabuğu yüzeyinde fungusit dispersiyon damla buharlaşması deneyleri yapılmıştır. Hassas terazide tartılan toz fungusit saf su ile dispersiyon çözeltisi hazırlanmıştır. Ayrıca alkol etkisini araştırmak adına, %40 etanol (absolute extra pure MERCK)-Mancozeb ve %40 izopropanol (absolute extra pure FLUKA)-Mancozeb dispersiyon çözeltisi hazırlanmıştır. Alkol çözeltileri 40 ml alkol sıvısı 100 ml'lik balonjojeye konularak, joje çizgisine kadar saf su ile tamamlanarak hazırlanmıştır. Hassas terazide tartılan 0,5 mg, 0,75 mg, 1 mg ve 2 mg Mancozeb her biri alkol çözeltileri içinde çözünerek, istenilen konsantrasyonlarda hazırlanmıştır.

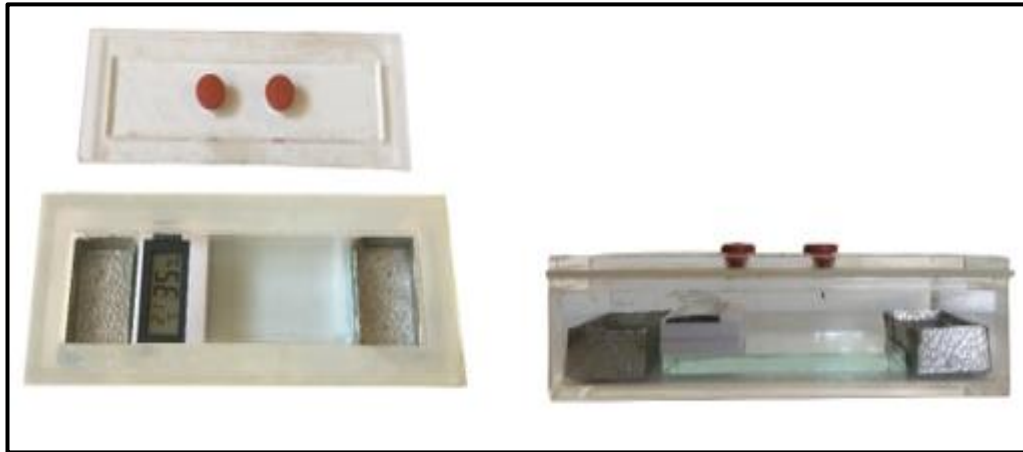


Şekil 6.2: a) Hekplan ve b) Mancozeb.

Kullanılan dispersiyon çözeltilerinin hedef yüzeye damlatılabilmesi için, şırınga iğnesinin ucu Gebze Teknik Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde önce kesilerek ardından döner zımpara ile zımparalanarak tamamen düz hale getirilmiştir.

### 6.1.1. Damla Buharlaşması Deney Düzenegi

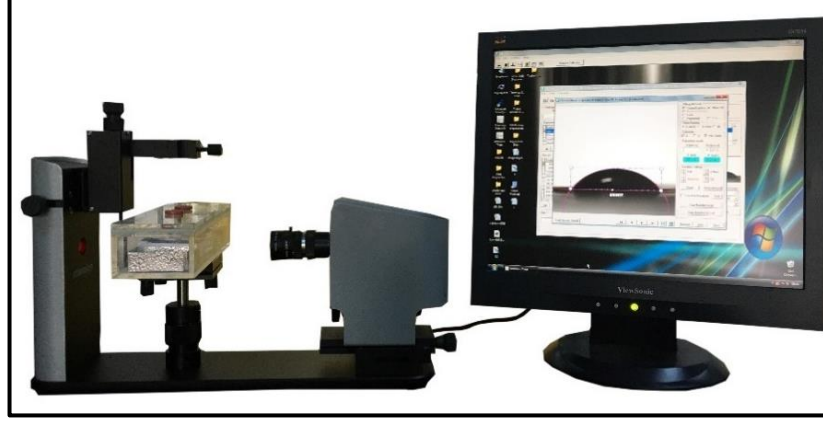
Şeffaf Plexiglass'tan (renksiz plastik cam) dikdörtgenler prizması şeklinde 5x8x20 cm ebatlarında kapağı açılıp kapanabilen, damla buharlaşmasının gerçekleşeceği bir deney hücresi kurulmuştur. Hafif plastik yapısı özelliği kolay taşınabilmesi ve kırılma olmamasını sağlarken, saydam olması özelliği ise damla buharlaşmasının kamera ile temas açılarının net bir şekilde görünmesini sağladığı için plexiglass yapımı hücre tercih edilmiştir. Hücre ile kapak arasında izolasyonun sağlanması ve hava akımının engellenmesi için beyaz plastik conta malzeme yapıştırılmıştır. Hücre kapağında 2 adet delik bulunmaktadır. Bu deliklere septum takılarak ortam izolasyonu sağlanmış ve hava akımı engellenmiştir. Hücre içine sıvı damlasının verilmesi bu septumlardan hücre içine girmesi sağlanan ucu tamamen düz iğne tarafından gerçekleştirilmiştir.



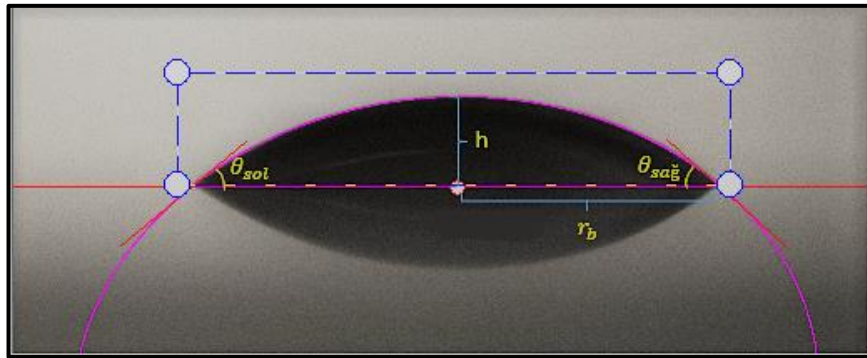
Şekil 6.3: Plexiglass hücre fotoğrafları.

Hazırlanan domates kabuğu cam slayta çift taraflı bant ile yapıştırılmıştır. Plexiglass hücre Attension-KSV-ThetaLite-101 Contact Angle Meter cihazına yerleştirilmiştir. Bilgisayarda ilgili uygulama programı açılmıştır. Deney yapılacak yüzey özellikleri, deney ismi gibi girdiler ilgili bölümlere yazılmıştır ve damla görüntüsü ekranda görünmüştür. Pestisit çözeltisi daha önce hazırlanan ucu düz şırınga kullanılarak damlatılmıştır. Temas açısı ölçümü için uygun olan netlik, ışık ve yakınlaştırma-uzaklaştırma ayarları yapıldıktan sonra damla buharlaşması esnasında çekilecek fotoğraf sayısı ve fotoğrafların hangi zaman aralığında çekileceği bilgileri girildikten sonra program başlatılmıştır. Damla buharlaşmasının tamamlanmasının

ardından damla fotoğraflarında cihaz programında hesaplanan temas açıları, damla çapı, damla yüksekliği, damla hacmi ve damla alanı verileri alınarak ilgili hesaplamalarda kullanılmıştır.



Şekil 6.4: Attension-KSV-ThetaLite-101 Contact Angle Meter cihazı ve damla buharlaşması deney düzeneği.



Şekil 6.5: 1 mg/ml manoczeb cam slayt üzerinde damla buharlaşması esnasında görüntüsü ve program tarafından ölçülen parametreleri.

### 6.1.2. Sabit Bağıl Nem Çözeltilerinin Hazırlanması

20°C ve 25°C de teorik olarak doymuş tuz çözeltilerinin bağıl nem değerleri [Greenspan, 1977] Tablo 6.1’de verilmiştir. Ayrıca deney koşullarının bağıl nem değerleri tabloya eklenmiştir. Tablo 6.1’de belirtilen doymuş tuz çözeltileri hazırlanarak gerekli bağıl nem için tuz çözeltileri hazırlanmıştır. Doymuş tuz çözeltilerini hücre içerisine koymak için alüminyum folyo kaplar tercih edilmiştir. Bu kaplar hücre içerisine girecek ebatlarda şekillendirilmiş ve kenarlarından sızmayı önlemek için 80°C de parafin çözeltisine daldırılarak kaplama yapılmıştır. İki adet

Alüminyum folyo kaba, hazırlanan doygun tuz çözeltisi konulduktan sonra çözeltiler hücrenin her iki yanına eşit uzaklıkta yerleştirilmiştir. Doygun tuz çözeltileri hücrelerin içerisine yerleştirildikten sonra dengeye gelip sabit bağıl nem değeri göstermeleri için yirmi dört saat boyunca bekletilmiştir. Ortam sıcaklığı ise klima ile sabit tutulmuştur  $25^{\circ}\text{C}\pm 2$ .

Tablo 6.1: Doygun tuz çözeltilerinin bağıl nem değerleri.

| Doygun Tuz Çözeltileri                                     | 20°C<br>Teorik | 25°C<br>Teorik | 25°C<br>Deneysel |
|------------------------------------------------------------|----------------|----------------|------------------|
| $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (MERCK)           | 33%            | 32.5%          | $36\pm 2\%$      |
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (SIAL) | 55.5%          | 50.5%          | $55\pm 2\%$      |
| KCl (SIGMA ALDRICH)                                        | 85%            | 85%            | $86\pm 1\%$      |

Bağıl nemin ve sıcaklığın ölçümü için Şekil 6.6’da gösterilen TFA marka termo-higrometre kullanılmıştır.

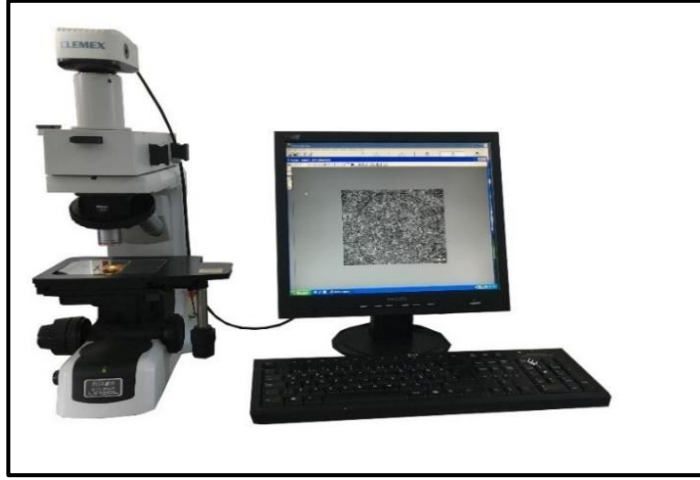


Şekil 6.6: Hücre içerisindeki bağıl nemin kontrolü için kullanılan TFA marka termo-higrometre.

### 6.1.3. Pestisit Kalıntılarının 2D ve 3D Fotoğraflarının Çekilmesi

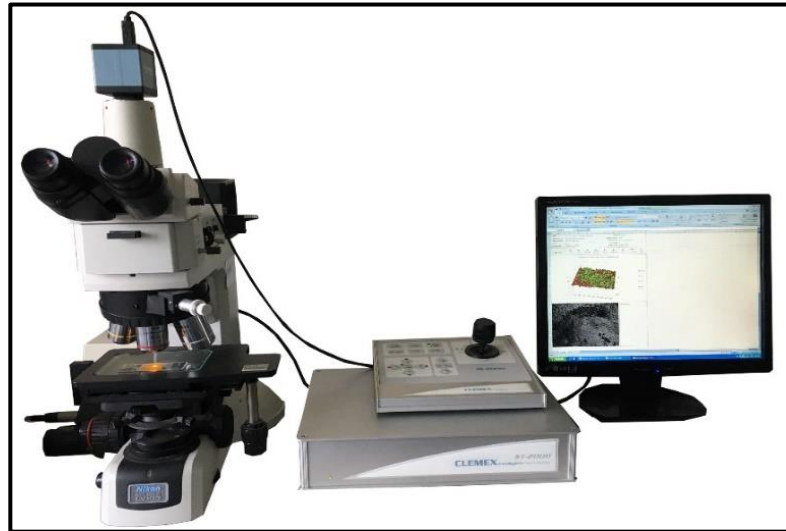
2D yüzey fotoğrafının incelenmesi için; Nikon Eclipse LV 150L mikroskobu kullanılmıştır. Görüntülenecek substrat numune bölmesine yerleştirilmiştir. Mikroskobun bağlı bulunduğu bilgisayarda Clemex Captiva programı başlatılmıştır. Işık ve netlik ayarları yapılmıştır. 5X objektifi ile 50 kat büyütme ve 20X objektifi ile

200 kat büyütme sağlanmıştır. Görüntü ölçeklendirilerek sabitlendikten sonra kaydedilmiştir.



Şekil 6.7: Nikon Eclipse LV 150L mikroskobu ve deney düzeneği.

3D yüzey fotoğrafının çekilmesi için ise Nikon Eclipse LV 100D/SYMANTEC 3D optik mikroskop ve 3D profilometresi kullanılmıştır. Numune bölmesine yerleştirilen substrat için önce ışık ve odaklama ayarları yapılmıştır. Clemex Vision Professional Edition programı başlatılır, bununla 2D ve 3D olarak yüzey görüntüsü almak mümkündür. Cihaz tarafından yüzey taraması yaptırılarak yüzeyin üç boyutlu profili çıkarılır ve kaydedilir. 50X objektifi ile büyütme sağlanarak 3 boyutlu yüzey profili elde edilmiştir.



Şekil 6.8: Nikon Eclipse LV 100D/SYMANTEC 3D cihazı ve deney düzeneği.

#### 6.1.4. Katı Serbest Yüzey Enerjisinin Hesaplanması

Yıkanan domates kabuğunun tamamen düz bir şekilde yerleştirilmesine özen gösterilerek, cihazın numune bölmesine konulmuştur. Serbest yüzey enerjisinin hesaplanabilmesi için domates kabuğunun literatürde temas açıları verilen sıvıların domates kabuğu üzerinde temas açısı ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle KSV CAM 200 Contact Angle Meter cihazı kullanılmıştır. CAM programı ile gerekli veriler elde edilmektedir. Program içinde ağır ve hafif fazlar program veri tabanından seçilir. İğne ucunda damla oluşturulduktan sonra kayıt butonuna basılır ve kaydetme işlemi bittikten sonra program sonlandırılır. Temas açısı ölçüm değerleri programdan alınır. Katı bir yüzey olan domatesin serbest yüzey enerjisinin hesaplanabilmesi için literatürde değerleri bilinen sıvılar kullanılmıştır. Bu sıvılar; saf su (LAB SCAN), diiodometan (MERCK),  $\alpha$ -bromonaftalen (MERCK), etilen glikol (MERCK) ve formamiddir (MERCK). Tüm sıvılardan elde edilen temas açısı sonuçları Van Oss-Good yönteminde yerine koyularak domatesin serbest yüzey enerjisi hesaplanmıştır. Van Oss-Good metodundan bölüm 3.2’de bahsedilmiştir. Yüzey enerjisi hesaplama verileri ise sonuçlar kısmında verilecektir.



Şekil 6.9: KSV CAM 200 Contact Angle Meter cihazı ve deney düzeneği.

## 7. BULGULAR VE YORUMLAR

### 7.1. Yıkanmış Domates Serbest Yüzey Enerjisi

Bilinen sıvıların yüzey gerilimi değerleri Tablo 7.1’de verilmiştir [Erbil, 2006]. Bu değerlerden yola çıkarak, su, etilen glikol (EG), diiodometan,  $\alpha$ -Bromonaftalen ( $\alpha$ -Br) ve formamid sıvılarının yıkanmış domates kabuğu üzerindeki yüzey gerilimi değerleri bulunmuş ve Van Oss-Good metodu ile domatesin yüzey gerilimi hesaplanmıştır.

Tablo 7.1: Sıvıların yüzey gerilimi değerleri.

| Sıvı         | $\gamma_{LV}$ | $\gamma_{LV}^{LW}$ | $\gamma_{LV}^+$ | $\gamma_{LV}^-$ |
|--------------|---------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Su           | 72,8          | 21,8               | 25,5            | 25,5            |
| EG           | 48            | 29                 | 1,92            | 47,0            |
| Formamid     | 58            | 39,5               | 2,28            | 39,6            |
| Diiodometan  | 50,8          | 50,8               | 0               | 0               |
| $\alpha$ -Br | 44,4          | 44,4               | 0               | 0               |

Tablo 7.2: Su, etilen glikol, formamid, diiodometan ve  $\alpha$ -Bromonaftalen domates üzerinde temas açısı değerleri.

| Sıvı          | Temas Açısı ( $\theta$ ) |
|---------------|--------------------------|
| Su            | 100 $\pm$ 5              |
| Etilen glikol | 74 $\pm$ 2               |
| Formamid      | 81 $\pm$ 5               |
| Diiodometan   | 64 $\pm$ 4               |
| $\alpha$ -Br  | 42 $\pm$ 5               |

Van Oss Good

$$\gamma_L(1 + \cos \theta) = 2 \left[ \sqrt{\gamma_S^{LW} \gamma_L^{LW}} + \sqrt{\gamma_S^+ \gamma_L^-} + \sqrt{\gamma_S^- \gamma_L^+} \right] \quad (7.1)$$

Hesaplamalar sonucu bulunan  $\gamma_S^{LW}$ ,  $\gamma_S^+$ ,  $\gamma_S^-$  ve ortalama değerleri;

$$\gamma_{MeI_2}^{LW} = 26,27 \text{ mN/m} \quad (7.2)$$

$$\gamma_{\alpha-Br}^{LW} = 33,73 \text{ mN/m} \quad (7.3)$$

$$\gamma_{ort}^{LW} = 30 \text{ mN/m} \quad (7.4)$$

$\gamma_{SU-EG}^+$  ve  $\gamma_{SU-EG}^-$  değerleri sırasıyla  $0,017 \text{ mN/m}$  ve  $0,56 \text{ mN/m}$  bulunmuştur.  $\gamma_{SU-Formamid}^+$  ve  $\gamma_{SU-Formamid}^-$  değerleri sırasıyla  $0,004 \text{ mN/m}$  ve  $0,76 \text{ mN/m}$  olarak hesaplanmıştır. Bu verilerden yola çıkarak ortalama değerler ise  $\gamma_{ort}^+$  ve  $\gamma_{ort}^-$  değerleri sırasıyla  $0,011 \text{ mN/m}$  ve  $0,66 \text{ mN/m}$  olarak hesaplanmıştır.

$$\gamma_S^{AB} = 2 \sqrt{\gamma_S^- \gamma_S^+} \quad (7.5)$$

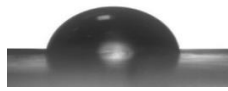
$$\gamma_S^{AB} = 0,17 \text{ mN/m} \quad (7.6)$$

$$\gamma_S^{total} = \gamma_S^{LW} + \gamma_S^{AB} \quad (7.7)$$

$$\gamma_S^{total} = 30,17 \text{ mN/m} \quad (7.8)$$

Domatesin polar ve dağıtıcı bileşenleri  $0,17 \text{ mN/m}$  ve  $30 \text{ mN/m}$  ve toplam yüzey gerilimi  $30,17 \text{ mN/m}$  bulunmuştur.

Tablo 7.3: Yıkanmış ve yıkanmamış domates kabuğu üzerinde saf suyun  $t=0$  anında ilk damla görüntüleri.

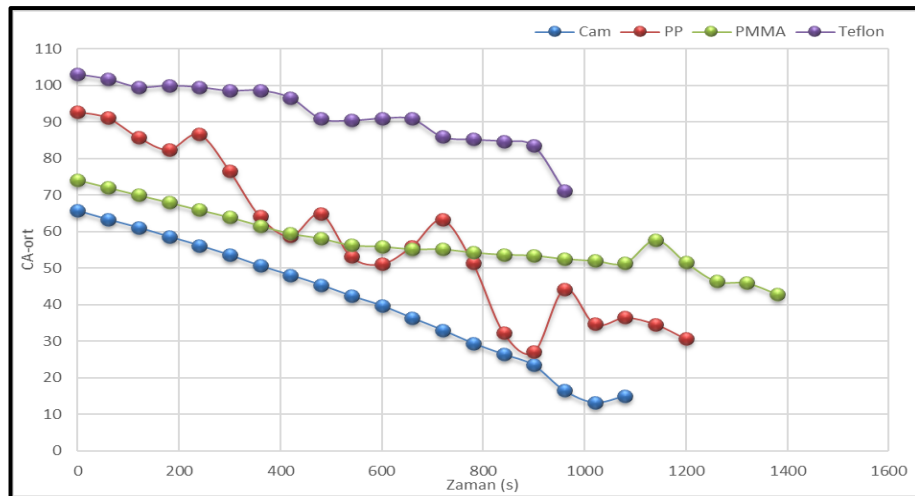
| Yüzey            | Saf Su                                                                              | Yüzey              | Saf Su                                                                                |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Yıkanmış Domates |  | Yıkanmamış Domates |  |

## 7.2 Mancozeb Buharlaşma Verileri ve Kalıntı Geometrisi

Hedef yüzey özelliklerinin pestisit damlalarının buharlaşma proseslerinde doğrudan etkili olduğun değinilmiştir. Mancozeb'in hidroforik ve hidroforilik yüzeylerde olan davranışının karakteristik özelliklerini anlayabilmek adına hazırlanan 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonu öncelikle hedef yüzeyler üzerinde buharlaşma davranışları ve kalıntı geometrileri incelenmiştir. Hidroforilik ve hidroforik yüzeyleri temsilen, teflon, polimetilmetakrilat (PMMA), polipropilen (PP) ve cam seçilmiştir.

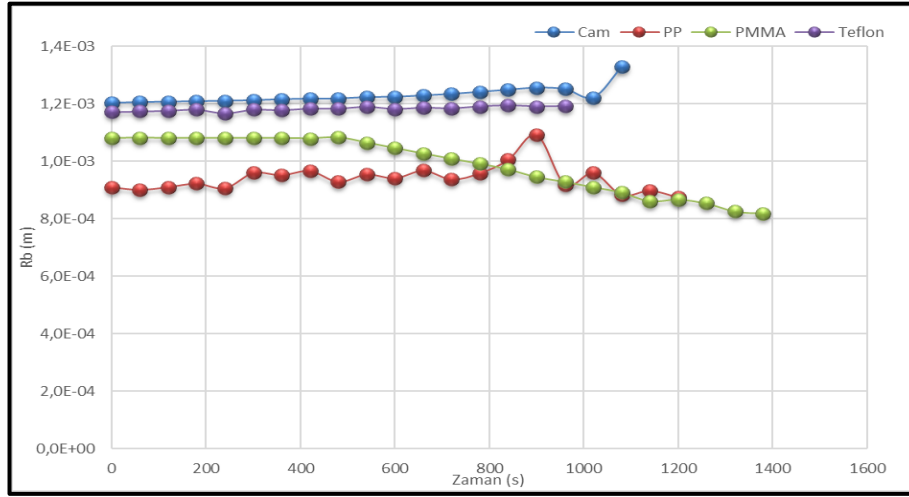
Tablo 7.4: Mancozeb dispersiyonlarının (%55 RH) teflon, pp, pmma ve cam yüzeyler üzerinde t=0 anında ilk damla görüntüleri.

| Yüzey<br>(mg/ml) | Teflon | PP | PMMA | Cam |
|------------------|--------|----|------|-----|
| 0,5<br>Mancozeb  |        |    |      |     |
| 1<br>Mancozeb    |        |    |      |     |



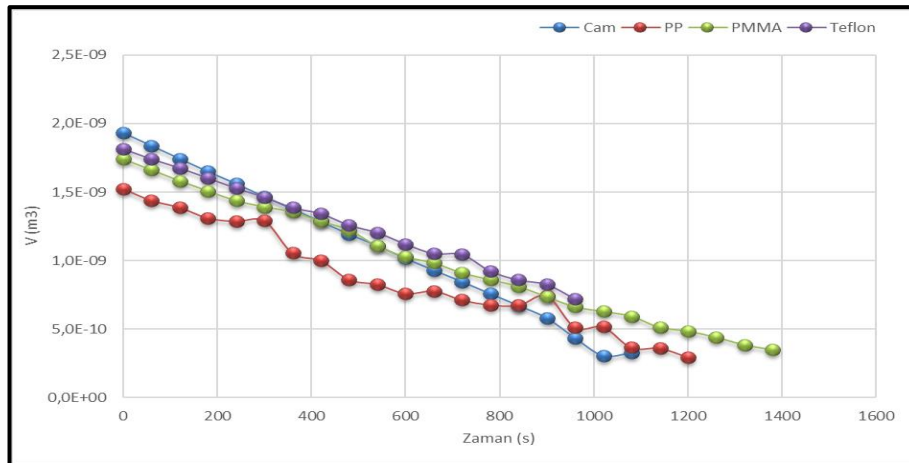
Şekil 7.1: 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun (%55 RH) teflon, pp, pmma ve cam üzerinde temas açısı grafiği.

Hidrofobik yüzey olan teflon üzerinde  $103^\circ$  temas açısı oluşturan Mancozeb, yüzey hidrofilik özelliği arttıkça temas açısı düşerek PP üzerinde  $93^\circ$ , PMMA üzerinde  $74^\circ$  ve cam üzerinde  $65^\circ$  temas açısı oluşturmuştur. Yüzey hidrofilikliği arttıkça Mancozeb dispersiyon sıvısı ile substrat arasındaki açı azalmıştır. Her bir substrat üzerinde Mancozeb dispersiyonu, cam, PP ve PMMA üzerinde zamanla azalan temas açısı karakteristiği göstermiştir.

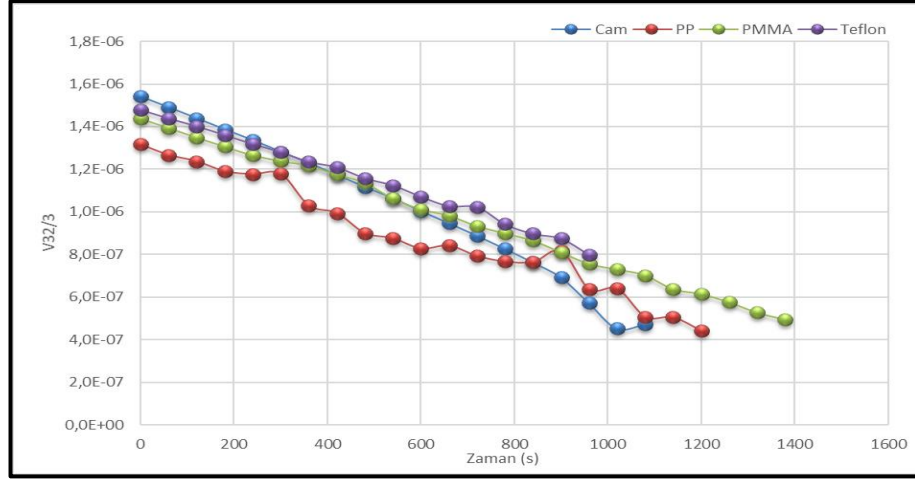


Şekil 7.2: 0,5mg/ml Mancozeb dispersiyonunun (%55 RH) teflon, pp, pmma ve cam üzerinde zamana karşı yarıçap grafiği.

Mancozeb dispersiyonu hidrofobik ve hidrofilik yüzeylerde buharlaşma esnasında sabit yarıçap modu (CCR) davranışı göstermiştir.



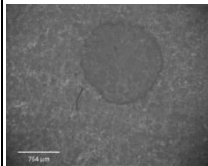
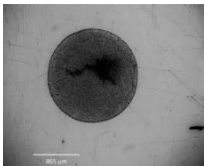
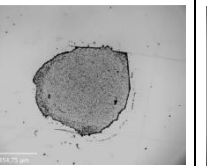
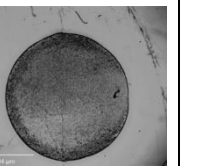
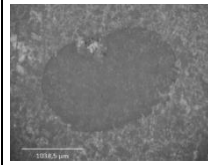
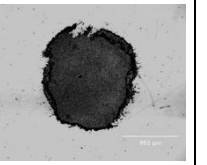
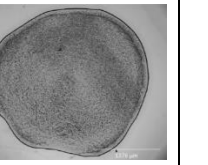
Şekil 7.3: 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun (%55 RH) teflon, pp, pmma ve cam üzerinde zamana karşı hacim grafiği.



Şekil 7.4: 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun (%55 RH) teflon, pp, pmma ve cam üzerinde buharlaşma hızları grafiği.

Bu grafiğin eğimi bize dispersiyon damlasının buharlaşma hızı ile ilgili bilgi vermektedir. Bu grafik ikinci bölümde yer alan denklem 2.16'nın grafiğe aktarılmasıyla elde edilmiştir. Eğim açısı arttıkça buharlaşma hızı artmaktadır. Hidrofilik özellikte olan cam en hızlı buharlaşma süresine sahip yüzeydir. Hidrofob yüzey olan teflon en uzun buharlaşma süresine sahiptir. PP ile PMMA buharlaşma hızları birbirine oldukça yakın gözlenmekle beraber PP daha hızlı buharlaşmıştır.

Tablo 7.5: Mancozeb dispersiyonlarının (%55 RH) teflon, pp, pmma ve cam yüzeyler üzerinde 50X büyütme ile kalıntı görüntüleri.

| Yüzey              | Teflon                                                                              | PP                                                                                  | PMMA                                                                                 | CAM                                                                                   |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,5 mg/ml Mancozeb |  |  |  |  |
| 1 mg/ml Mancozeb   |  |  |  |  |

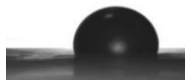
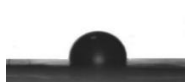
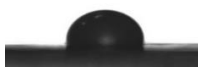
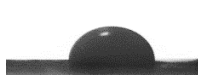
Mancozeb kalıntısı daire şeklinde bir yapı göstermiştir. Kalıntı yapısı teflon, PP ve cam üzerinde tam bir daire formunda iken, PMMA üzerinde bıraktığı kalıntı daire formunun bazı bölgelerinde dışarı yayılma şeklindedir. PP üzerinde daire formunun ortasında dispersiyon partikülleri toplanma eğilimi gösterirken, cam üzerinde daire

formunun kenarlarına doğru yayılma göstermiştir. Yüzey hidrofiliği arttıkça dispersiyon partiküllerinin kalıntı kenarlarına doğru toplandığı sonucu gözlenmiştir.

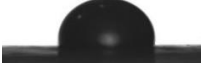
### 7.2.1. Yıkanmış ve Yıkanmamış Domates Kabuğunun Mancozeb Damla Buharlaştırma Hızına ve Domates Üzerinde Mancozeb Kalıntısı Geometrisine Etkileri

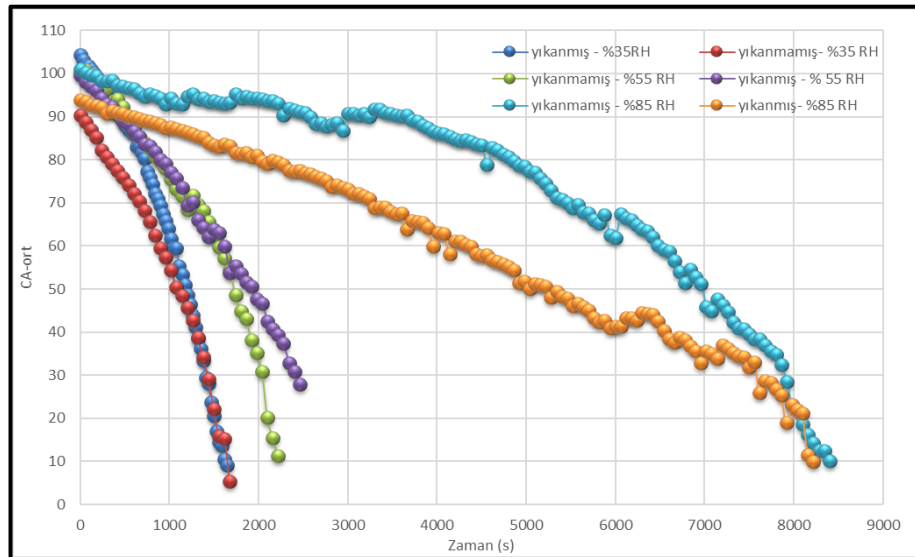
Domates üretiminin ve tüketiminin ülkemizde bu denli yüksek olması, yemek kültürümüzde kullanılan malzemeler listesinde oldukça popüler tercih edilen bir ürün olması ve Dünya'daki pazar payımızın kayda değer büyüklükte olması nedeniyle domates tercih edilmiştir. Hedef yüzey farklılıklarının etkisini gözlemlemek amacıyla yıkanmış ve yıkanmamış domates kabuğu tercih edilmiştir. Yıkanmış domates kabuğunu yıkama işlemi yalnızca musluk suyu ile yıkama prosesini içermektedir. Mancozeb'in domatesin tarımsal mücadelesinde 2 mg/ml olarak uygulanması önerilmiştir. Bu konsantrasyondan yola çıkarak 2 mg/ml, 1 mg/ml, 0,75 mg/ml ve 0,5 mg/ml konsantrasyonlarda hazırlanan dispersiyon çözeltileri tez çalışması kapsamında denenmiştir.

Tablo 7.6: Yıkanmamış domates kabuğu üzerinde t=0 anı damla görüntüleri.

| RH<br>(mg/ml) | %35                                                                                 | %55                                                                                  | %85                                                                                   |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,5 Mancozeb  |  |  |  |
| 0,75 Mancozeb |  |  |  |
| 1 Mancozeb    |  |  |  |
| 2 Mancozeb    |  |  |  |

Tablo 7.7: Yıkanmış domates kabuğu üzerinde t=0 anı damla görüntüleri.

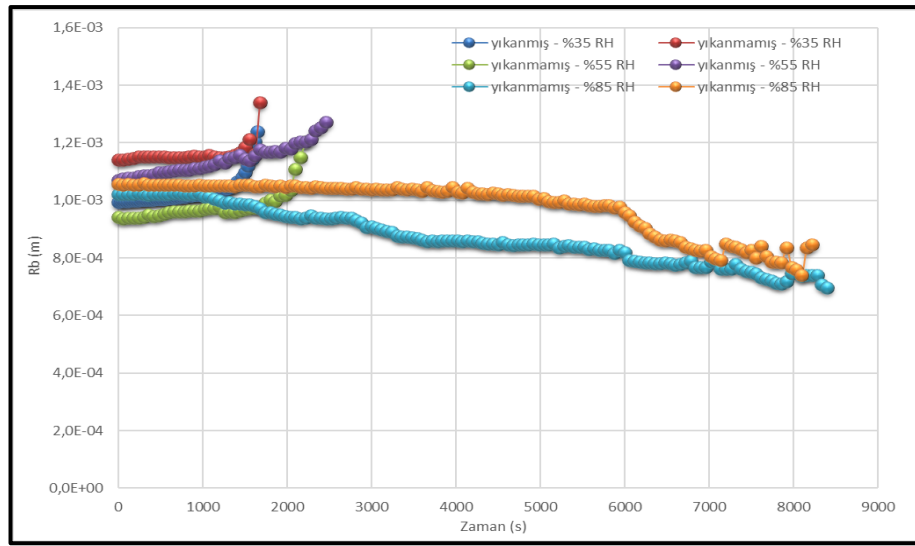
| RH<br>(mg/ml)    | %35                                                                                 | %55                                                                                  | %85                                                                                   |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,5<br>Mancozeb  |    |    |    |
| 0,75<br>Mancozeb |    |    |    |
| 1<br>Mancozeb    |    |    |    |
| 2<br>Mancozeb    |  |  |  |



Şekil 7.5: 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde temas açısı grafiği.

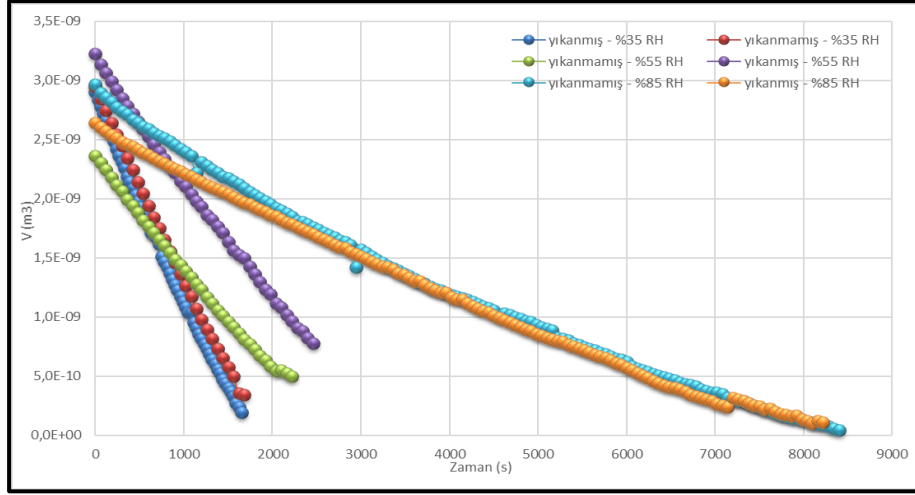
%35 RH koşullarında yıkanmış domates üzerinde 104° temas açısı, yıkanmamış domates üzerinde ise 90° temas açısı gözlenmiştir. %55 RH koşullarında yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde 100° temas açısı gözlenmiştir. %85 RH koşullarında

buharlaşan dispersiyonun temas açısı davranışı incelendiğinde ise, yıkanmış domates üzerinde buharlaşmanın başladığı ilk andan 1000 saniyeye kadar olan zaman aralığında temas açısı zamanla azalırken, 1000 saniye ile 4000 saniye zaman aralığında temas açısı sabit denecek kadar birbirine yakın değerlerde gözlenmiş olup, buharlaşmanın tamamlanmasına kadar kalan sürede ise temas açısı zamanla azalmıştır. Yıkanmamış domates üzerinde ise temas açısının sabit kaldığı herhangi bir zaman aralığı gözlenmezken, temas açısı zamanla sürekli olarak azalmıştır. %85 RH yüzey farkı temas açısında farklı davranışlar gözlenmesine sebep olmuştur.



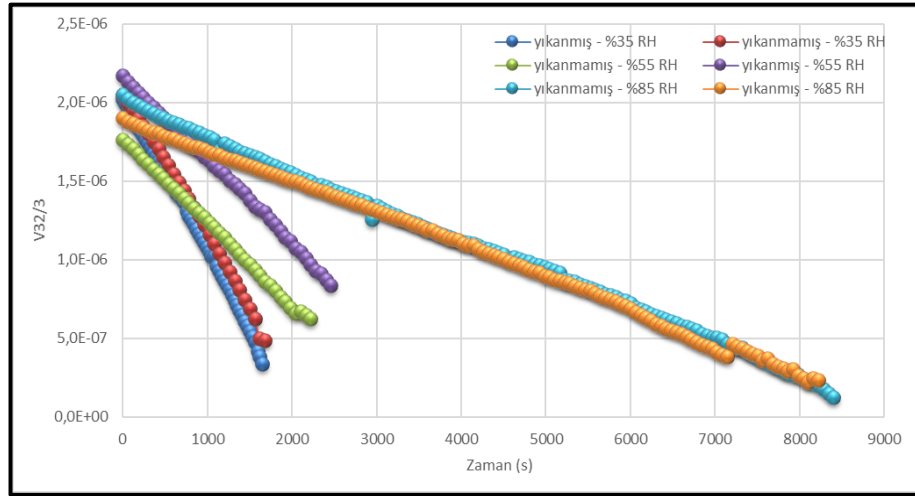
Şekil 7.6: 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde yarıçap grafiği.

%35 ve %85 RH buharlaşma prosesinin tamamlanma süresine yaklaşıldığında (1400 saniyeden sonra), Mancozeb dispersiyonunun yayılma davranışı göstererek yarıçapının arttığı gözlenmiştir. %85 RH yıkanmış ve yıkanmamış yüzeylerde yarıçapın sabit gözlendiği görölmüştür. Şekil 7.5 ile Şekil 7.6 birlikte ele alındığında buharlaşma modu CCR modu olarak değerlendirilir.



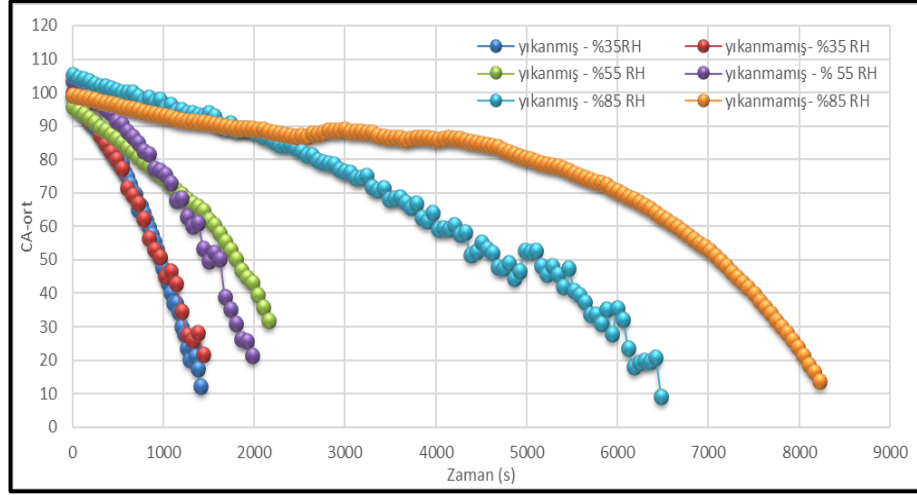
Şekil 7.7: 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde hacim grafiği.

Yaklaşık olarak 3 µl hacmine sahip 0,5 mg/ml Mancozeb damlalarının farklı yüzeylerde zamanla hacimleri azalmıştır.



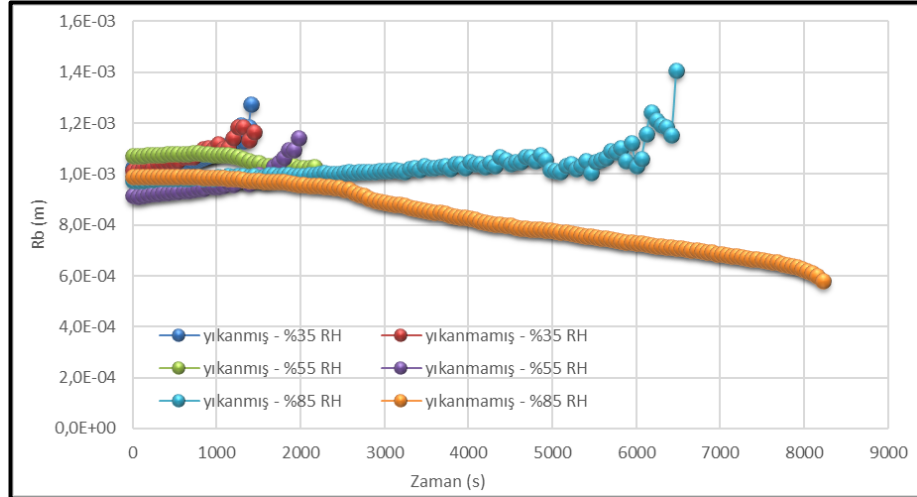
Şekil 7.8: 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma hızları grafiği.

%35 ve %55 RH yıkanmış yüzeyde oluşturulan grafiğin eğimi, yıkanmamış yüzeyde olan eğimden daha büyük olduğundan, yıkanmış yüzeyde buharlaşma daha hızlı gerçekleşmiştir. %85 RH koşullarında ise yıkanmamış domates üzerinde daha hızlı buharlaşmıştır.



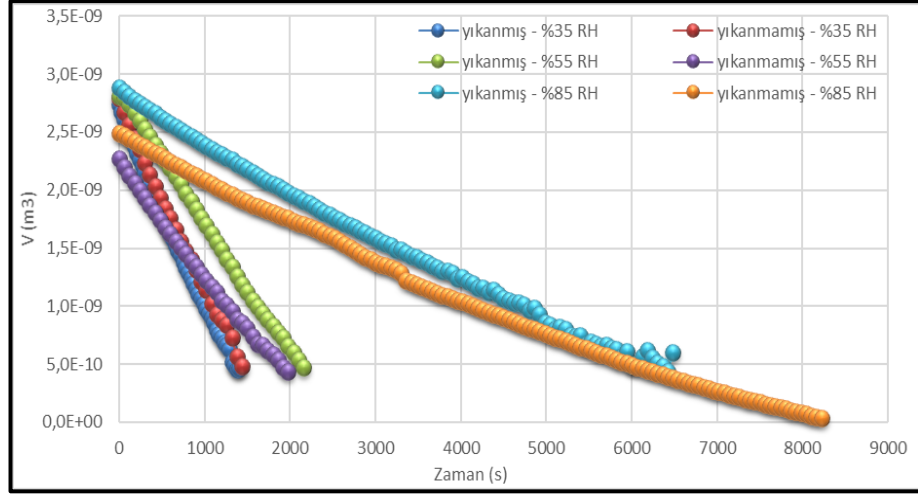
Şekil 7.9: 0,75 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde temas açısı grafiği.

$t=0$  anında gözlenen temas açılarını ele alacak olursak; %35 RH yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde  $100^\circ$  temas açısı gözlenmiştir. %55 RH ise yıkanmış domates yüzeyinde temas açısı  $96^\circ$  iken yıkanmamış domates üzerinde  $103^\circ$ 'dir. %85 RH ise yıkanmış yüzeyde  $105^\circ$  iken temas açısı, yıkanmamış yüzeyde  $99^\circ$ 'dir. %35, %55 ve %85 RH koşullarında temas açısı buharlaşma prosesi boyunca azalma gözlenmiştir.

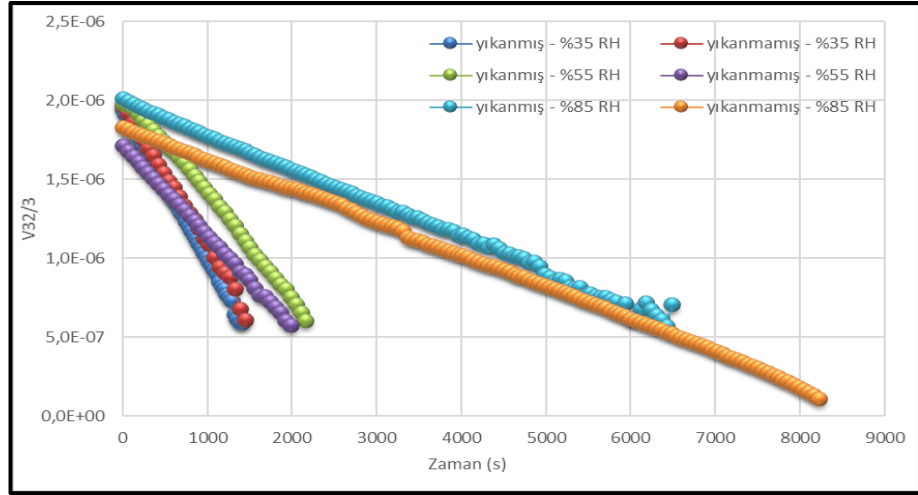


Şekil 7.10: 0,75 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde yarıçap grafiği.

Yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde  $t=0$  anında dispersiyon damlalarının yarıçapları birbirine çok yakındır. Tüm bağıl nemlerde yarıçap değerleri buharlaşma prosesi boyunca sabit kaldığından buharlaşma modu CCR modudur.

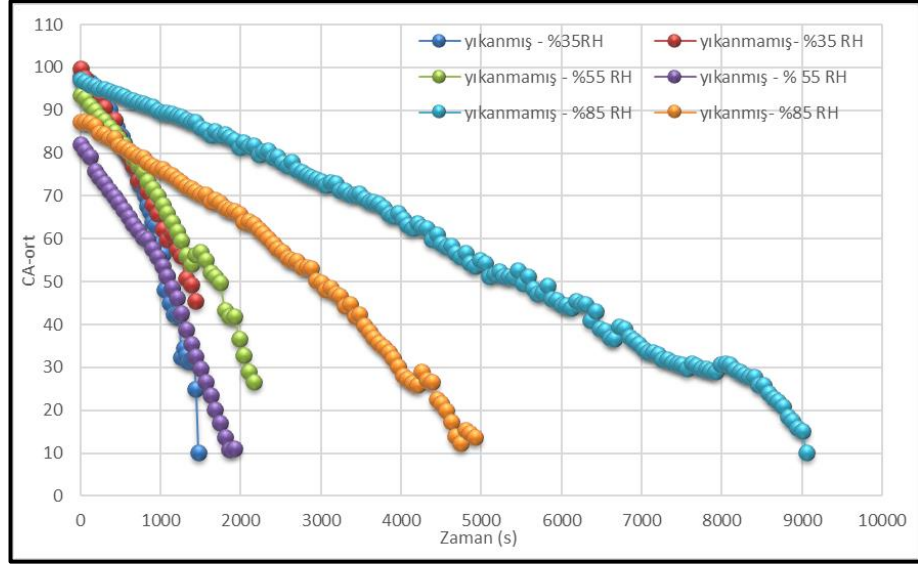


Şekil 7.11: 0,75 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde hacim grafiği.



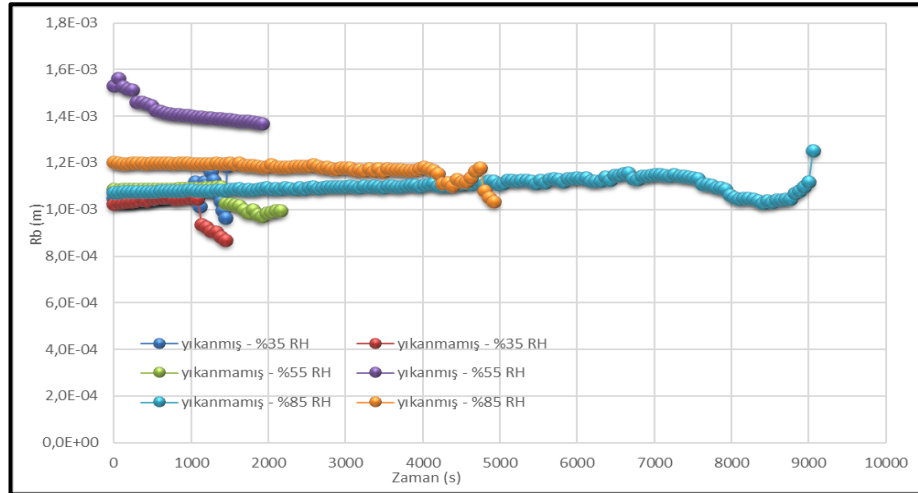
Şekil 7.12: 0,75 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma hızları grafiği.

%35, %55 ve %85 RH yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde buharlaşma hızları karşılaştırıldığında yıkanmış domates yüzeylerinde dispersiyon damlalarının buharlaşmaları daha hızlı gerçekleşmiştir.



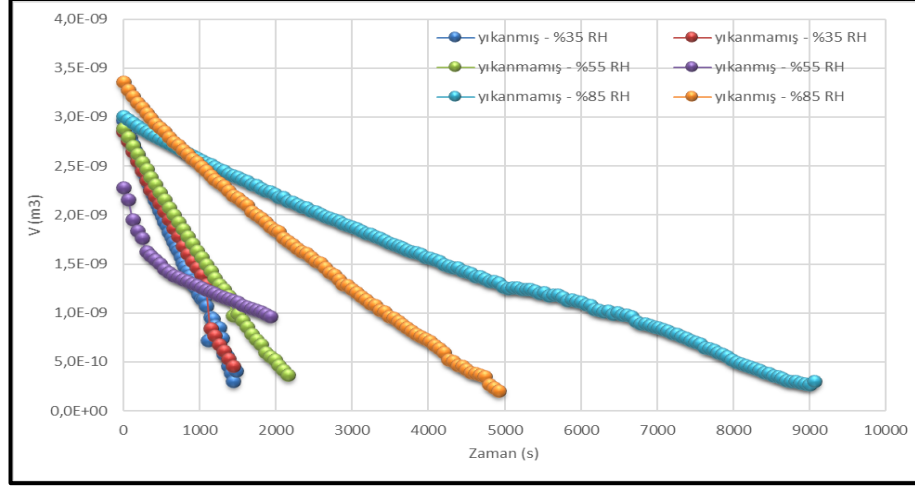
Şekil 7.13: 1 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde temas açısı grafiği.

1 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun yıkanmamış domates yüzeyinde  $t=0$  anında oluşturduğu temas açısı ortalama  $97^\circ$ . Yıkanmış domates yüzeyinde ise oluşan temas açıları ortalama  $89^\circ$ 'dir. En düşük temas açısı yıkanmış yüzeyde %55 RH koşullarında oluşurken, en yüksek temas açısı ise %35 RH koşullarında yıkanmamış yüzeyde gözlenmiştir. Temas açıları zamanla azalmıştır.



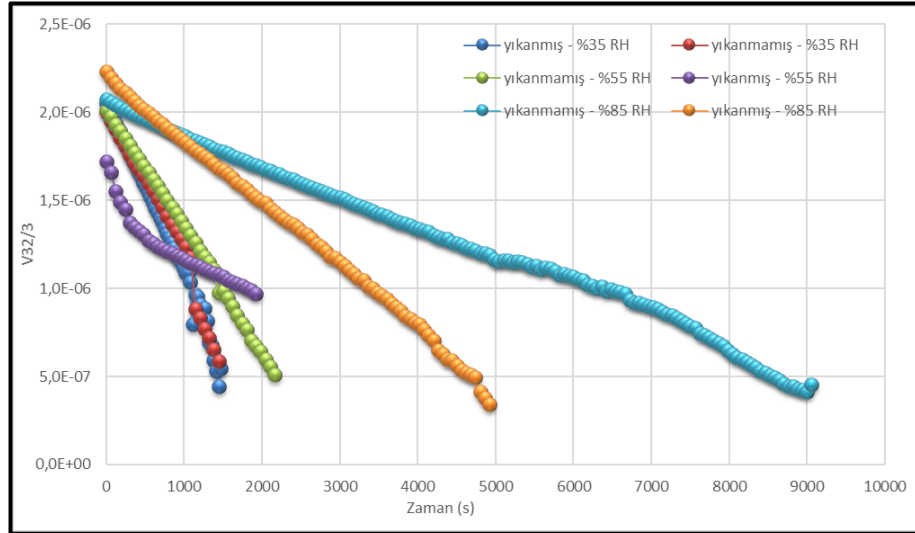
Şekil 7.14: 1 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde yarıçap grafiği.

%35, %55 ve %85 RH koşullarında yıkanmış ve yıkanmamış yüzeylerde dispersiyon damlalarının buharlaşma süresi boyunca yarıçap değerleri sabit seyretmektedir. CCR modunda buharlaşma gerçekleşmiştir.



Şekil 7.15: 1 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde hacim grafiği.

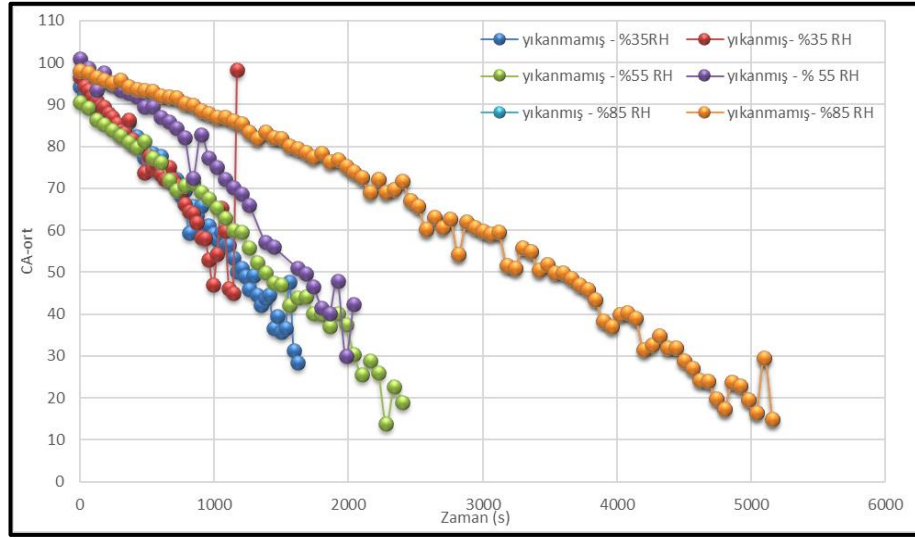
%35, %55 ve %85 RH koşullarında yıkanmış ve yıkanmamış yüzeylerde dispersiyon damlalarının zamanla hacim azalışı davranışı gözlenmiştir.



Şekil 7.16: 1 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma hızları grafiği.

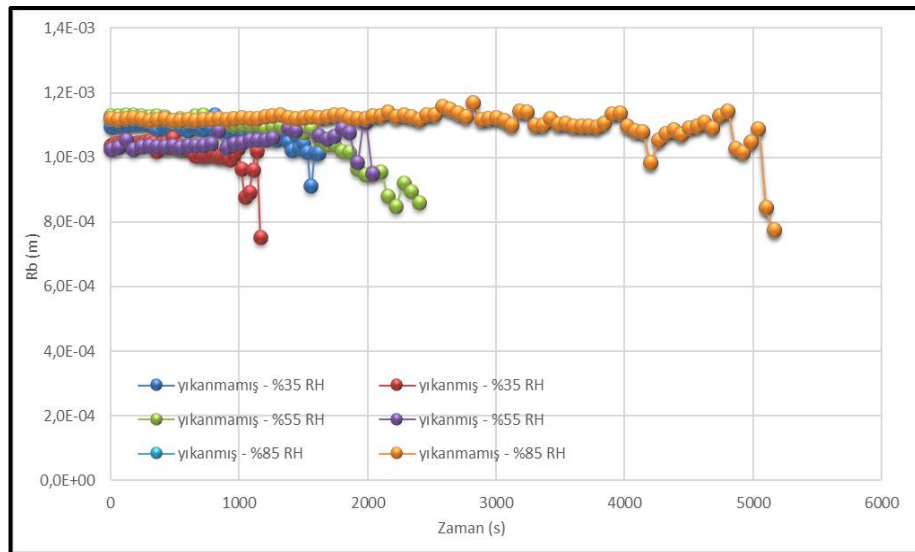
%35 RH koşullarında yıkanmış ve yıkanmamış yüzeyde buharlaşma hızları oldukça yakındır. %55 RH yıkanmamış yüzeyde buharlaşma daha hızlıyken, %85 RH

koşullarında ise yıkanmış yüzeyde damla buharlaşmasının daha hızlı gerçekleştiği anlaşılmaktadır.



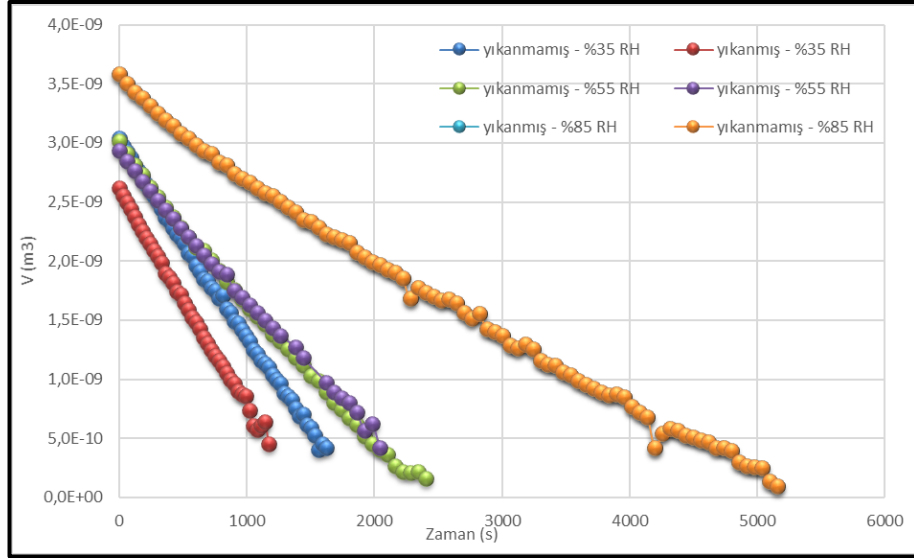
Şekil 7.17: 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde temas açısı grafiği.

2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35 RH yıkanmış ve yıkanmamış yüzeylerde oluşan ilk dispersiyon damlasının temas açısı değerleri sırasıyla 96° ve 94°'dir. %55 RH koşullarında yıkanmış yüzeyde ilk temas açısı 101° iken yıkanmamış yüzeyde 95°'dir. %85 RH koşullarında ise dispersiyon damlalarının ilk temas açıları 98°'dir.

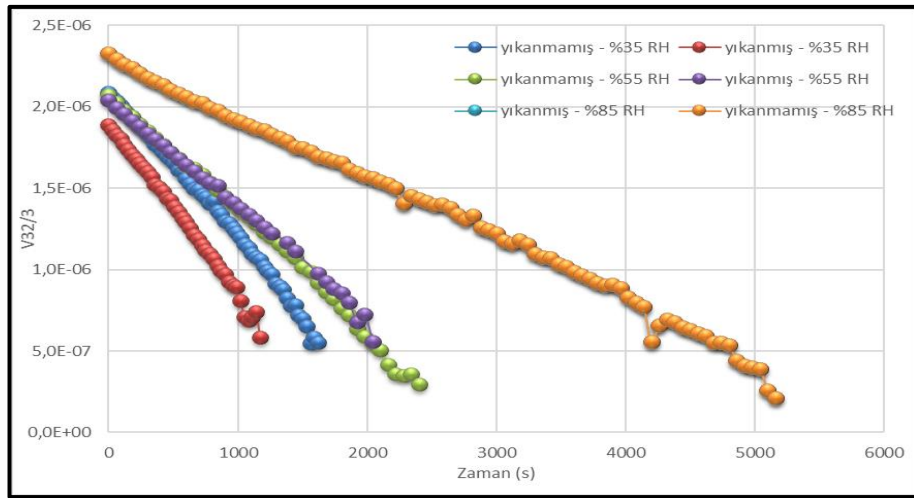


Şekil 7.18: 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde yarıçap grafiği.

3 farklı RH koşullarında dispersiyon damlasının buharlaşma süresi boyunca yarıçap değerleri sabit kalmıştır. Temas açısı grafiği ile birlikte değerlendirecek olursak, CCR modunda buharlaşmanın gerçekleştiği görülmüştür.



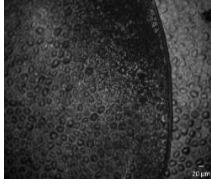
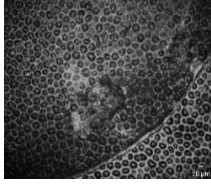
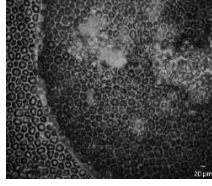
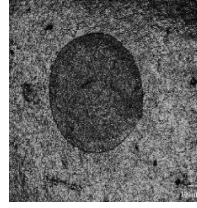
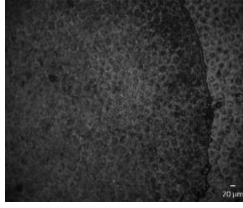
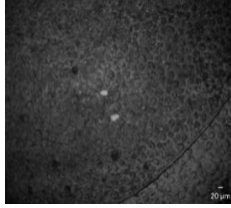
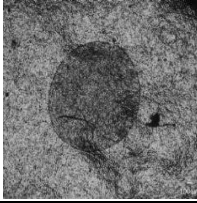
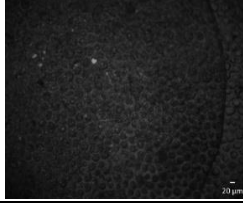
Şekil 7.19: 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde hacim grafiği.



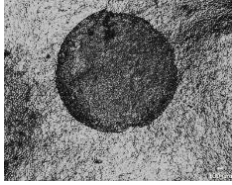
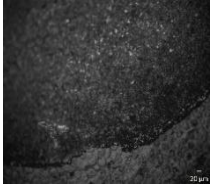
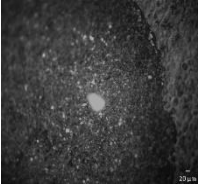
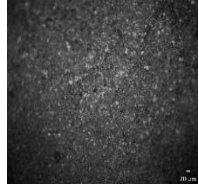
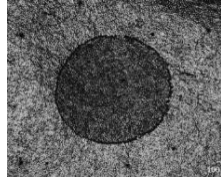
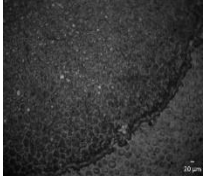
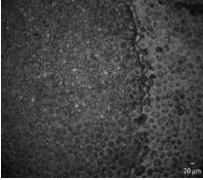
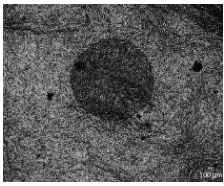
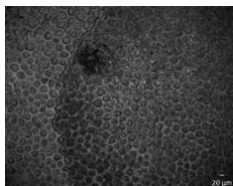
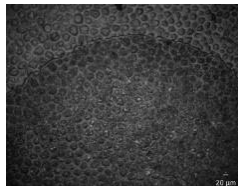
Şekil 7.20: 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma hızları grafiği.

Şekil 7.20 incelenecek olursa grafikte yer alan yıkanmış ve yıkanmamış yüzeylerde gerçekleşen buharlaşmadan elde edilen verilerden, yıkanmış yüzeylerde gerçekleşen buharlaşmanın yıkanmamış yüzeylerdeki buharlaşmadan daha hızlı gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

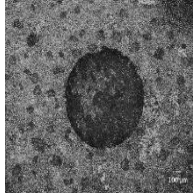
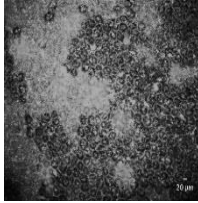
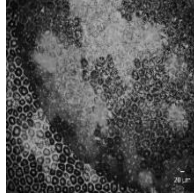
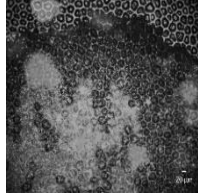
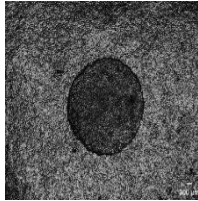
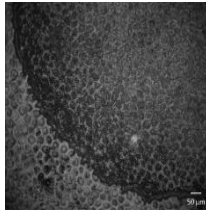
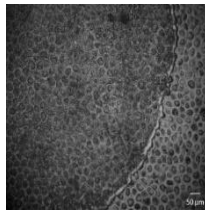
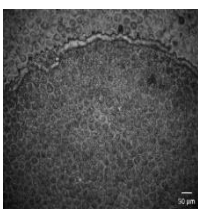
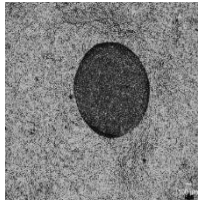
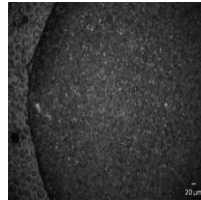
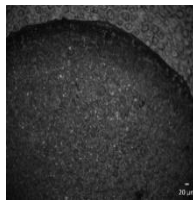
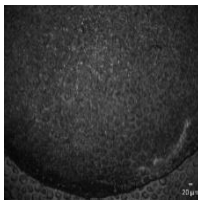
Tablo 7.8: 0,5 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| % RH | 50 X                                                                               | 200 X                                                                               |                                                                                      |                                                                                     |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 35   |   |    |    |  |
| 55   |   |   |   |                                                                                     |
| 85   |  |  |  |                                                                                     |

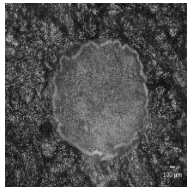
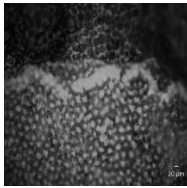
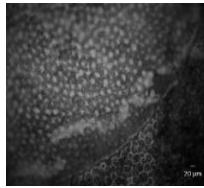
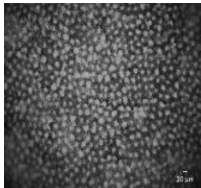
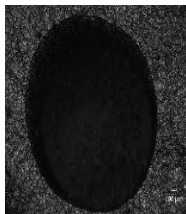
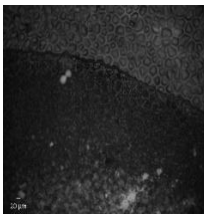
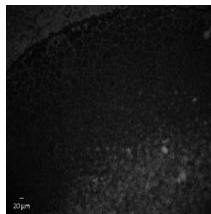
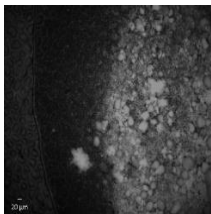
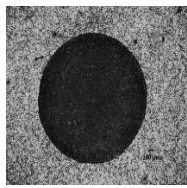
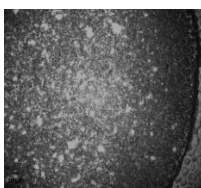
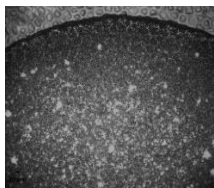
Tablo 7.9: 0,75 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| % RH | 50 X                                                                                | 200 X                                                                                |                                                                                       |                                                                                       |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35   |  |   |   |  |
| 55   |  |   |   |  |
| 85   |  |  |  |                                                                                       |

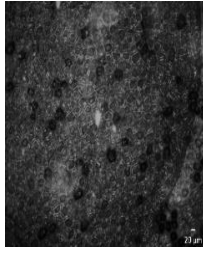
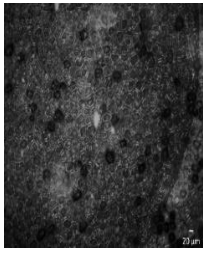
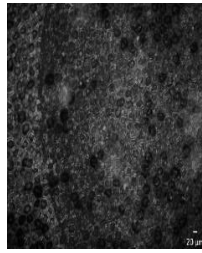
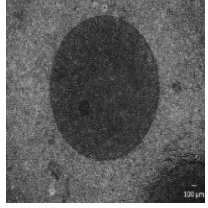
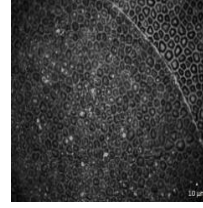
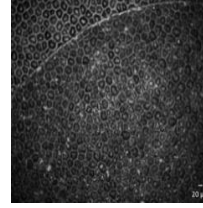
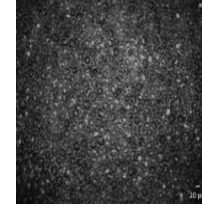
Tablo 7.10: 1 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| % RH | 50 X                                                                               | 200 X                                                                              |                                                                                     |                                                                                      |  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 35   |   |   |   |   |  |
| 55   |   |   |   |   |  |
| 85   |  |  |  |  |  |

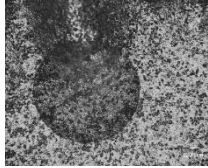
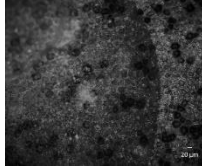
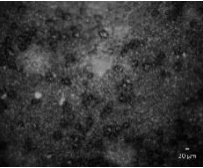
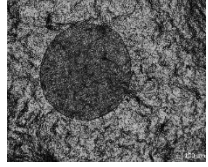
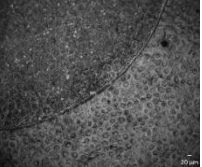
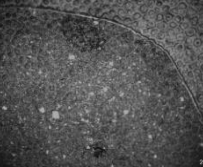
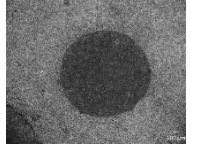
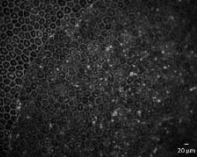
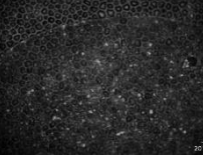
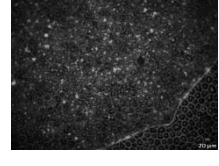
Tablo 7.11: 2 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| % RH | 50 X                                                                                | 200 X                                                                               |                                                                                      |                                                                                       |  |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 35   |  |  |  |  |  |
| 55   |  |  |  |  |  |
| 85   |  |  |  |  |  |

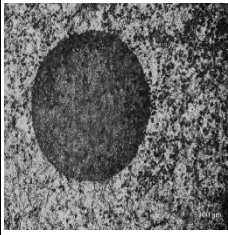
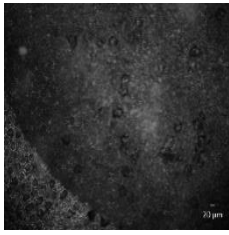
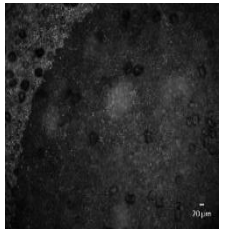
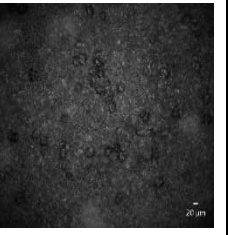
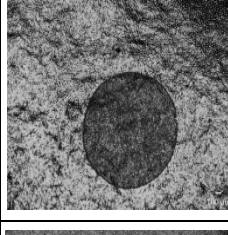
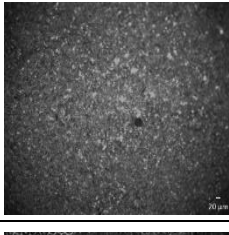
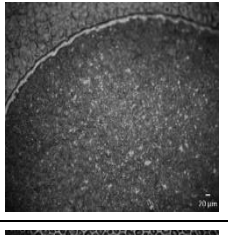
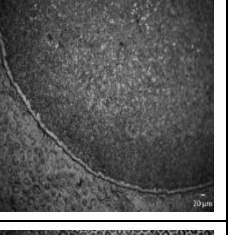
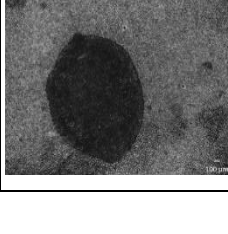
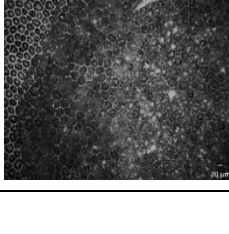
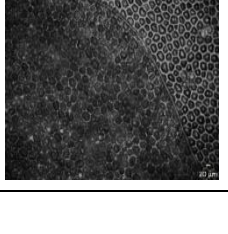
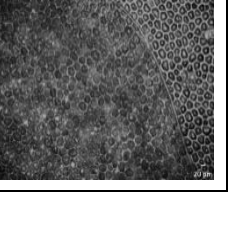
Tablo 7.12: 0,5 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| % RH | 50 X                                                                               | 200 X                                                                              |                                                                                     |                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35   |   |   |   |   |
| 55   |   |  |                                                                                     |                                                                                      |
| 85   |  |  |  |  |

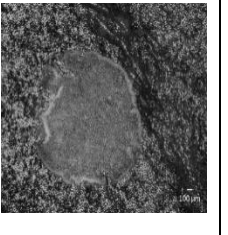
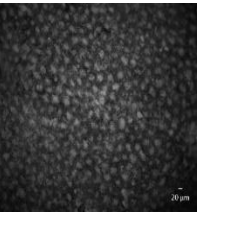
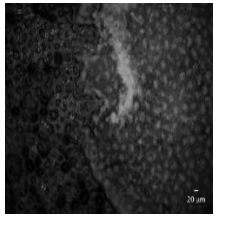
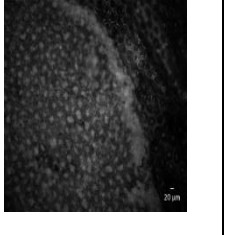
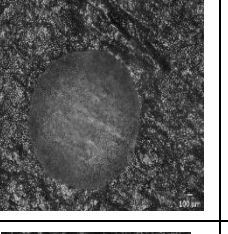
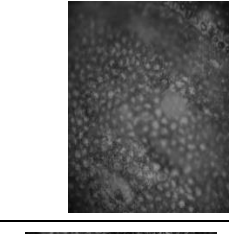
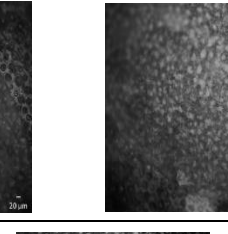
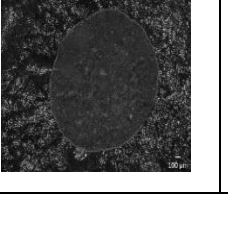
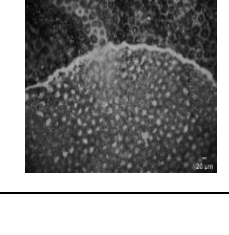
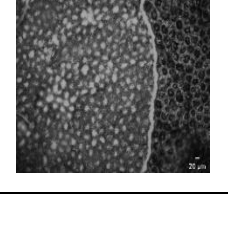
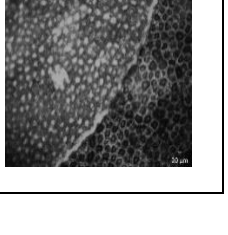
Tablo 7.13: 0,75 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| % RH | 50 X                                                                                | 200 X                                                                               |                                                                                      |                                                                                       |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35   |  |  |  |  |
| 55   |  |  |  |  |
| 85   |  |  |  |  |

Tablo 7.14: 1 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

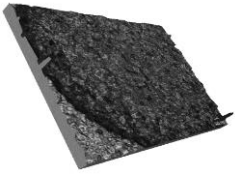
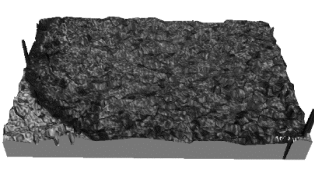
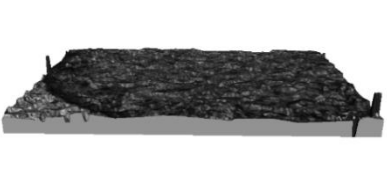
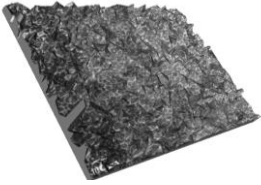
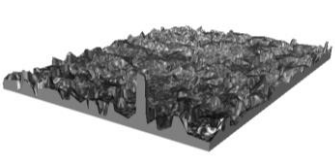
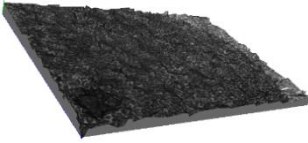
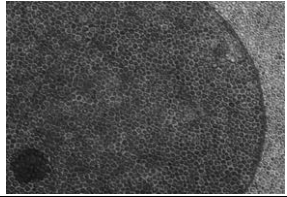
| % RH | 50 X                                                                               | 200 X                                                                              |                                                                                     |                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35   |   |   |   |   |
| 55   |   |   |   |   |
| 85   |  |  |  |  |

Tablo 7.15: 2 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

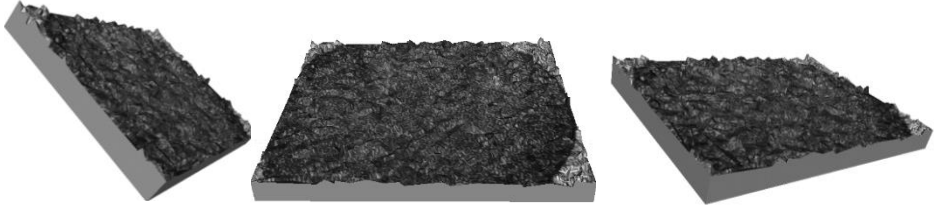
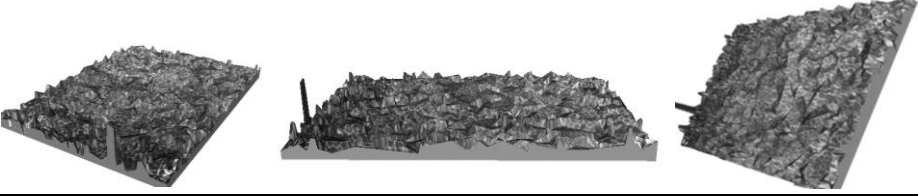
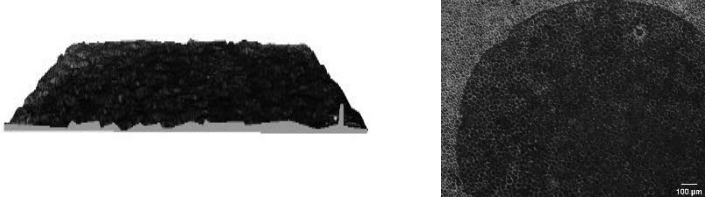
| % RH | 50 X                                                                                | 200 X                                                                               |                                                                                      |                                                                                       |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35   |  |  |  |  |
| 55   |  |  |  |                                                                                       |
| 85   |  |  |  |  |

0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35 bağıl nemdeki tablo 7.8’de yıkanmamış yüzeydeki görüntüsü ile tablo 7.12’de yıkanmış yüzeydeki görüntüleri arasında oldukça büyük farklılıklar vardır. Yıkanmış yüzeyde daha homojen dağılmasına rağmen, yıkanmamış yüzeyde dispersiyon çözeltisinin yayılmasının sonucu boşluklu kalıntı formu oluşmuştur. Yıkanmamış yüzeyde daire şeklindeki Mancozeb kalıntısının orta kısmında boşluklara rastlanırken, kenar kısımlarda ise birikmelere rastlanmıştır. Ancak yıkanmış yüzeyde bu derecede boşluklu yapılar gözlenmemektedir. 0,75 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde kayda değer farklılıklar görülmemiştir. 1 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun kalıntısının farklı yüzeylerde olan formunu inceleyecek olursak; tablo 7.10 ile tablo 7.14’de yer alan görüntülerden aynı bağıl nem koşullarındaki görüntüleri karşılaştırmamız gerekmektedir. Bunun için %35 bağıl nem koşullarındaki görüntüler göz önünde bulundurulduğunda, yıkanmamış yüzeyde gözlenen formun sol üst kısma yakın bölümünde boşluklu yapı oluşurken, kenarlarda birikme söz konusudur. Yıkanmış yüzeyde ise böyle bir boşluklu yapıdan söz edilemez. 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun yıkanmamış yüzeylerde oluşan görüntülerinde küçük boşluk yapısında belirli alanlar mevcuttur. Yıkanmış yüzeylerdeki görüntüler kısmen daha homojen bir kalıntı formunun oluştuğunu göstermektedir.

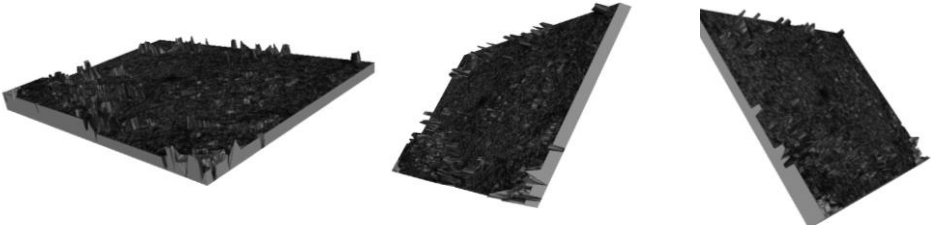
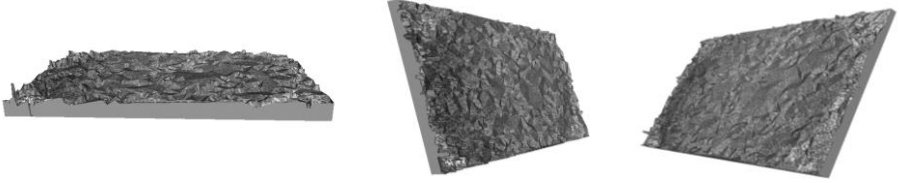
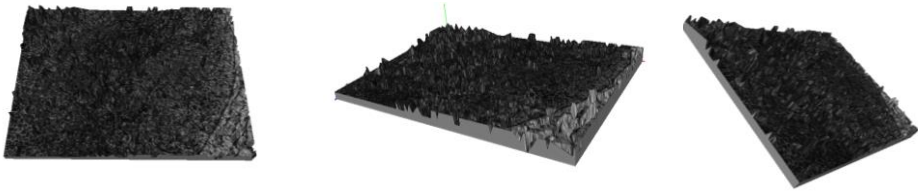
Tablo 7.16: 0,5 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

| %RH | 0,5 mg/ml Mancozeb – yıkanmış domates                                               |                                                                                      |                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |   |   |
| 55  |  |   |  |
| 85  |  |  |  |

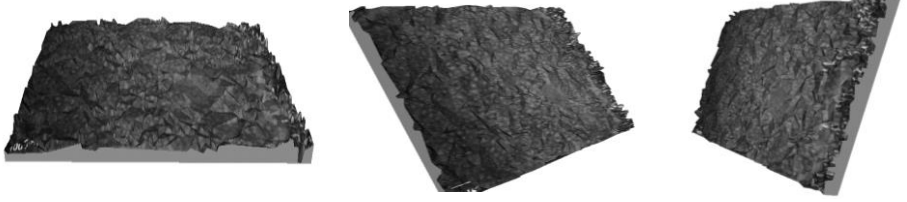
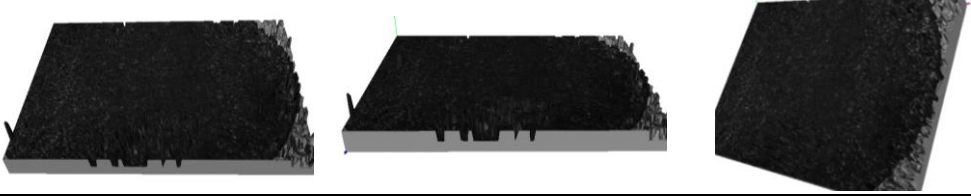
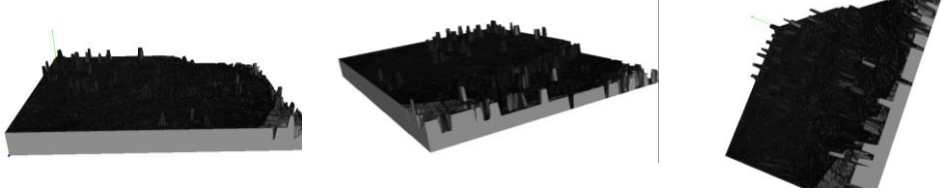
Tablo 7.17: 0,75 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

| %RH | 0,75 mg/ml Mancozeb – yıkanmış domates                                              |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |
| 55  |   |
| 85  |  |

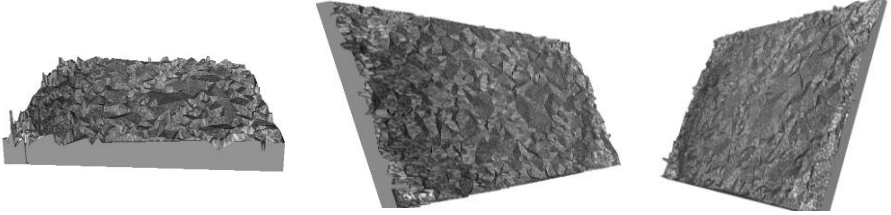
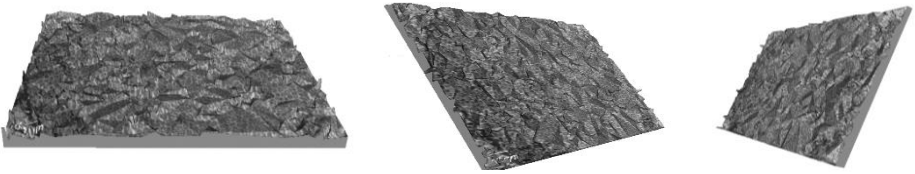
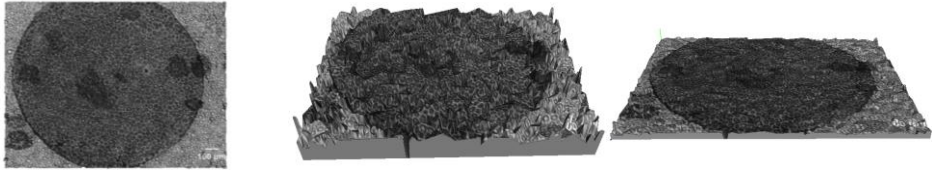
Tablo 7.18: 1 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

| %RH | 1 mg/ml Mancozeb – yıkanmış domates                                                  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |
| 55  |  |
| 85  |  |

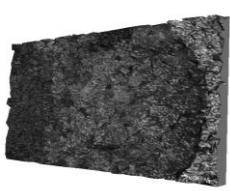
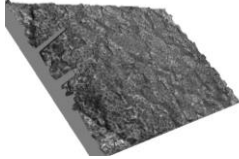
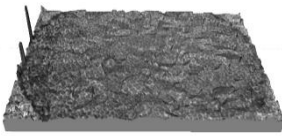
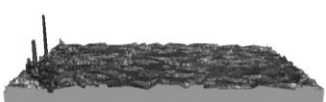
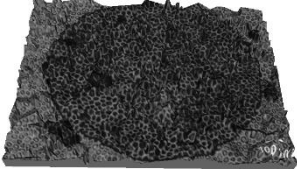
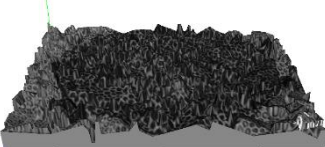
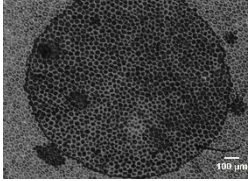
Tablo 7.19: 2 mg/ml Mancozeb yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

| %RH | 2 mg/ml Mancozeb – yıkanmış domates                                                 |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |
| 55  |   |
| 85  |  |

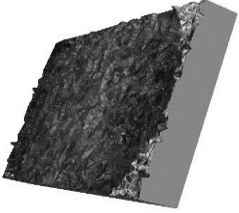
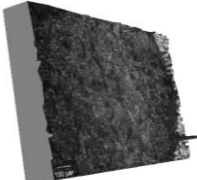
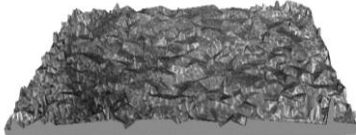
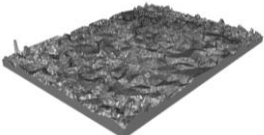
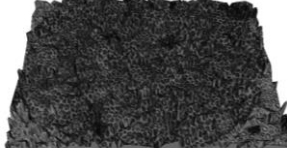
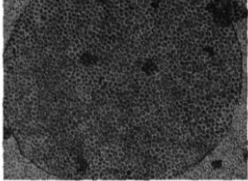
Tablo 7.20: 0,5 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

| %RH | 0,5 mg/ml Mancozeb – yıkanmamış domates                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |
| 55  |  |
| 85  |  |

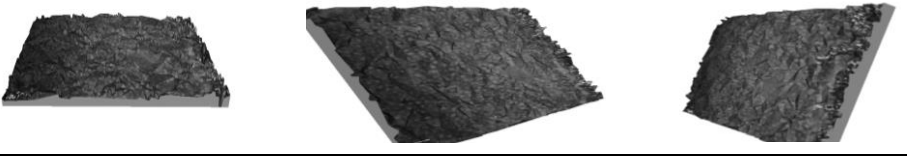
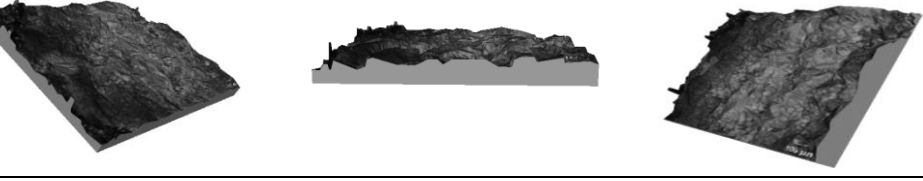
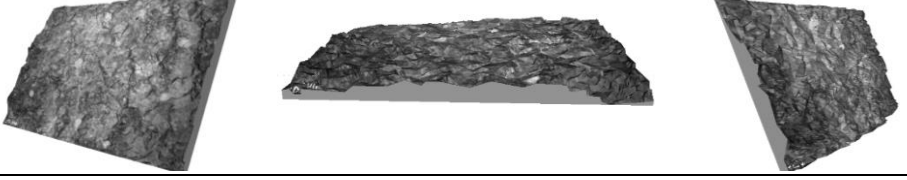
Tablo 7.21: 0,75 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

| %RH | 0,75 mg/ml Mancozeb – yıkanmamış domates                                          |                                                                                    |                                                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |  |  |
| 55  |  |  |  |
| 85  |  |  |  |

Tablo 7.22: 1 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

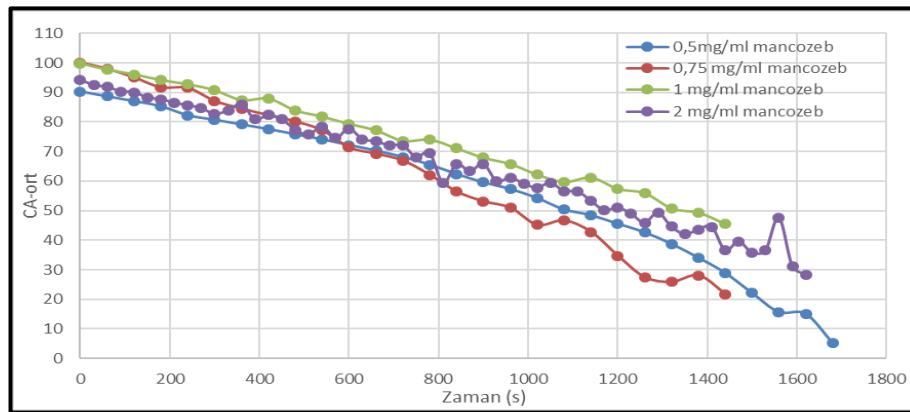
| %RH | 1 mg/ml Mancozeb – yıkanmamış domates                                               |                                                                                      |                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |  |  |
| 55  |  |  |  |
| 85  |  |  |  |

Tablo 7.23: 2 mg/ml Mancozeb yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

| %RH | 2 mg/ml Mancozeb – yıkanmış domates                                                |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |
| 55  |  |
| 85  |  |

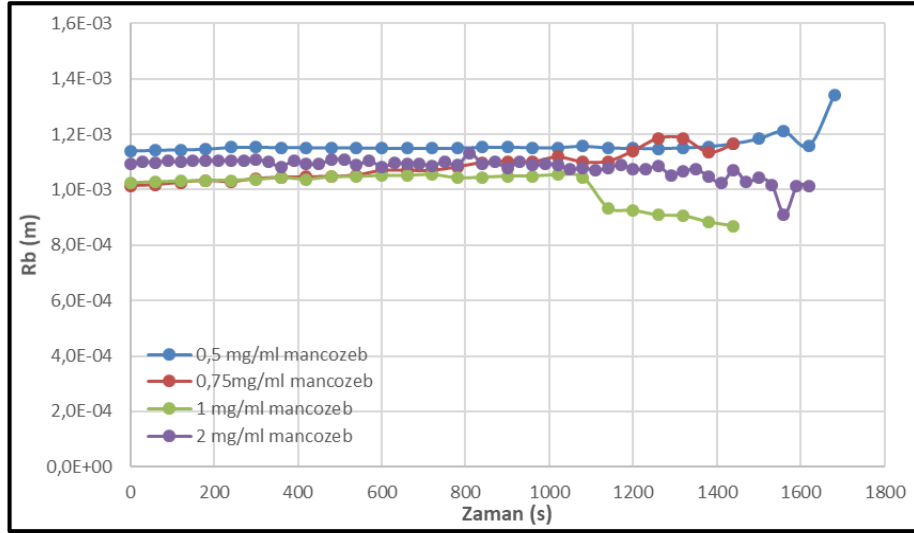
### 7.2.2. Mancozeb Konsantrasyonunun Mancozeb Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Mancozeb Kalıntısı Geometrisine Etkileri

Mancozeb dispersiyonunun konsantrasyonunun damla buharlaşması ve damla buharlaşması sonrası kalıntısı üzerine etkilerini bu bölümde 2 mg/ml, 1 mg/ml, 0,75 mg/ml ve 0,5 mg/ml Mancozeb konsantrasyonunun bağıl nem ve yüzeyin sabit alınarak, değişkenin konsantrasyon olarak seçildiği grafiklerde incelenecektir.



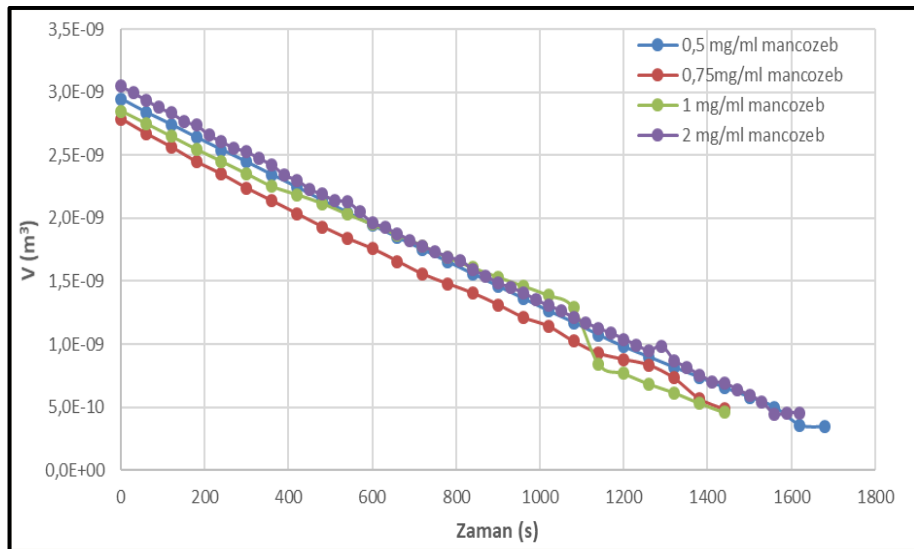
Şekil 7.21: %35 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

Yıkanmamış domates yüzeyinde %35 RH koşullarında ilk anda oluşan dispersiyon damlalarının temas açıları  $90^\circ$  ile  $100^\circ$  aralığındadır ve en düşük temas açısına 0,5 mg/ml konsantrasyonlu dispersiyon sahiptir. Buharlaşma prosesi boyunca temas açısı zamanla azalmıştır.



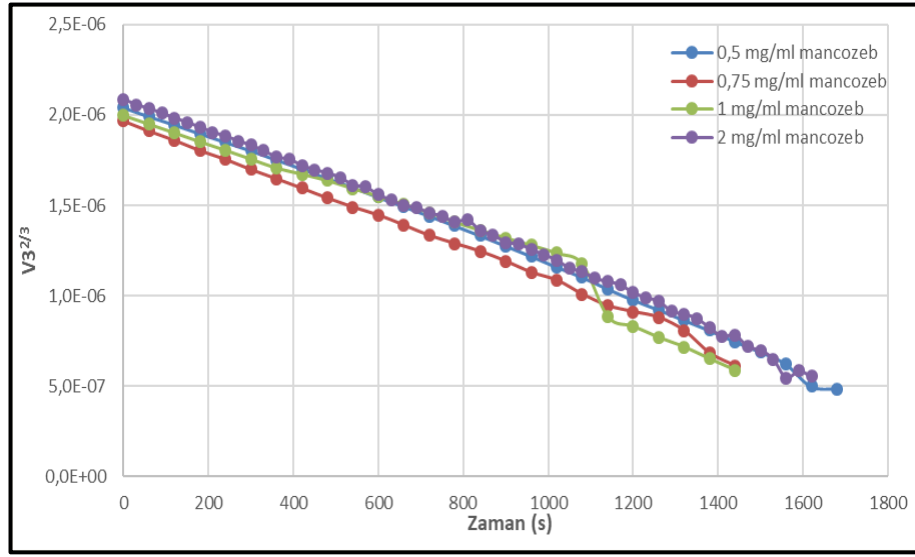
Şekil 7.22: %35 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

Mancozeb dispersiyonlarının tüm konsantrasyonlarının buharlaşma prosesi boyunca yarıçap sabit kalmıştır. Konsantrasyon değişimi ile buharlaşma modu değişmemiştir. Dispersiyon damlaları CCR modunda buharlaşmıştır.



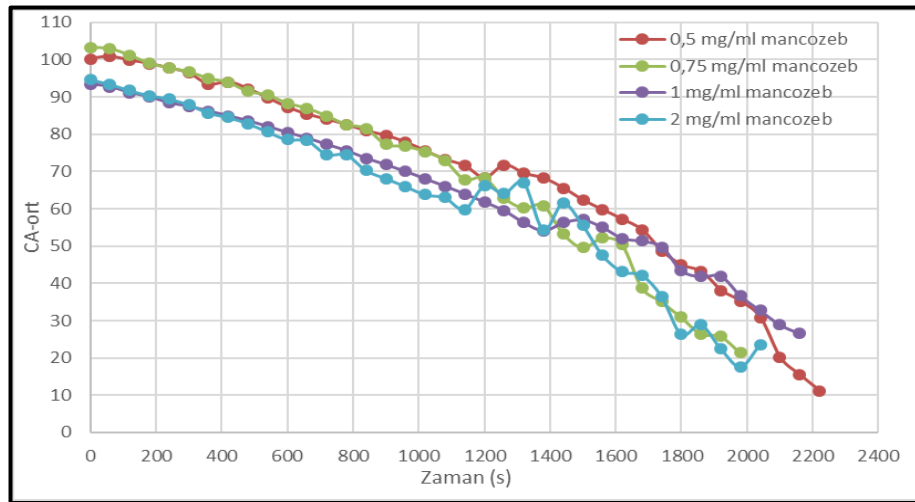
Şekil 7.23: %35 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.

Tüm konsantrasyonların hacimleri yaklaşık olarak 2,8-3 µl aralığındadır.



Şekil 7.24: %35 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

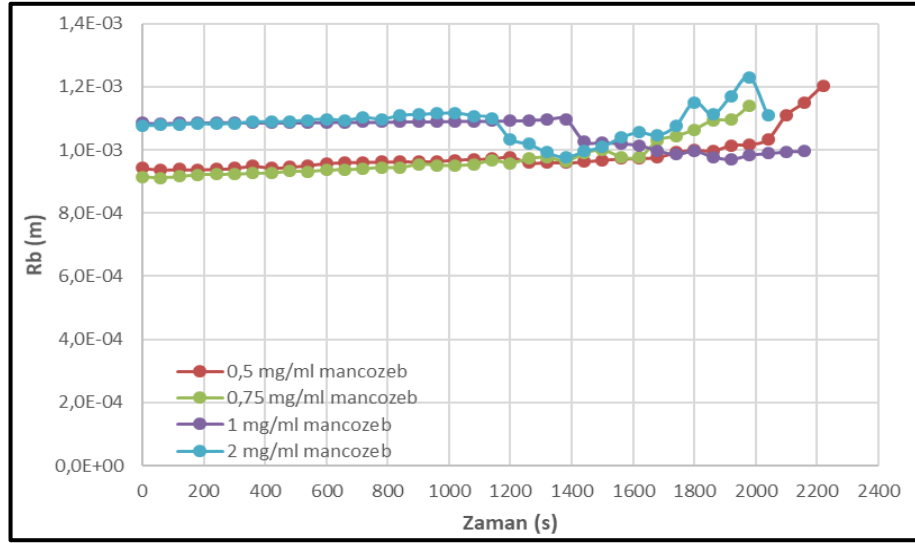
%35 RH yıkanmamış domates yüzeyinde Şekil 7.24'teki veri değerlerinin eğimleri karşılaştırılacak olursa; en hızlı buharlaşma 1 mg/ml konsantrasyonlu dispersiyon damlasında gerçekleşmiştir. Ardından sırasıyla 2 mg/ml, 0,5 mg/ml ve 0,75 mg/ml konsantrasyonlu dispersiyon çözeltileri takip etmektedir.



Şekil 7.25: %55 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

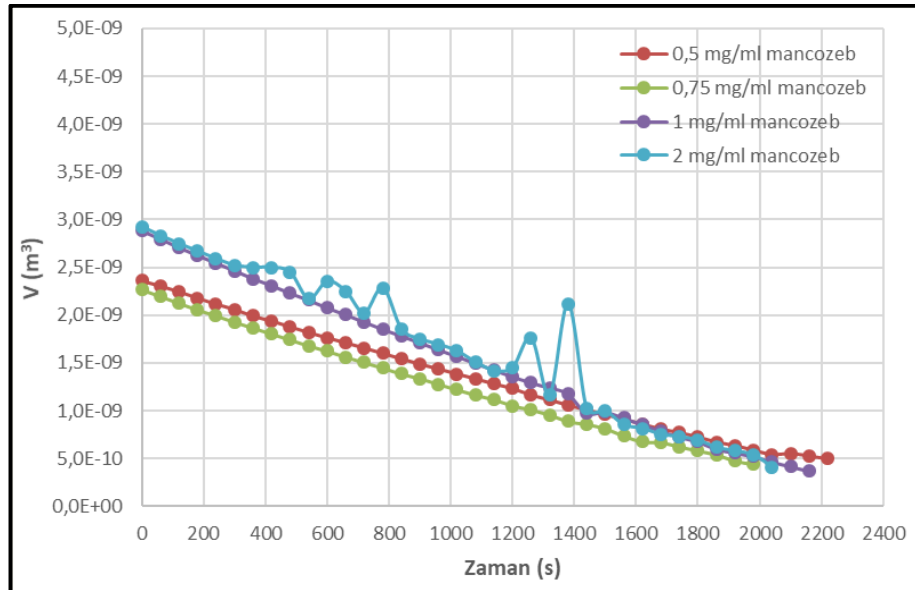
%55 RH yıkanmamış domates üzerinde 0,5 mg/ml ve 0,75 mg/ml dispersiyonlarının başlangıç temas açıları ortalama yaklaşık  $103^\circ$  iken, 1 mg/ml ve 2

mg/ml Mancozeb dispersiyonlarının başlangıç temas açıları ise ortalama  $93^\circ$ 'dir. Zamanla temas açıları azalmıştır.

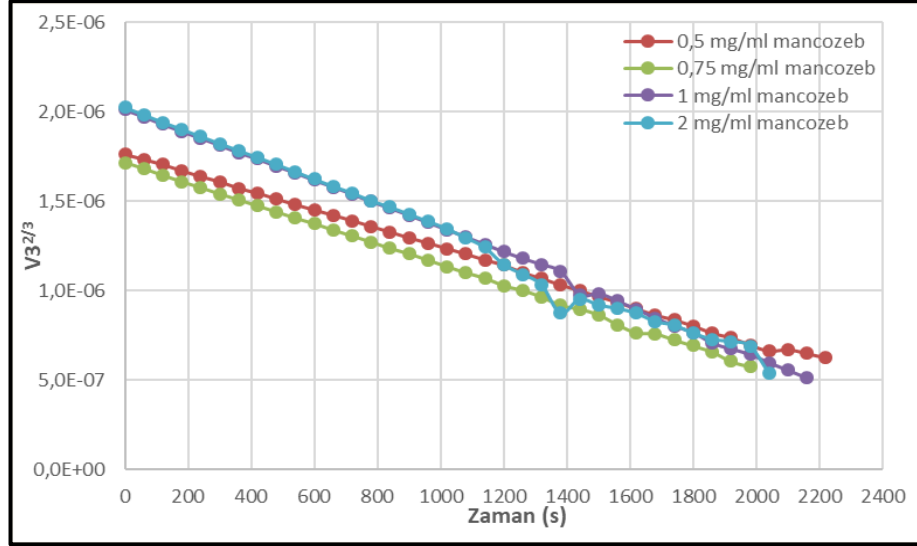


Şekil 7.26: %55 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

%55 bağıl nem koşullarında yıkanmamış yüzeyde 1 mg/ml ile 2 mg/ml konsantrasyonunun ve 0,5 mg/ml ile 0,75 mg/ml konsantrasyonunun zamana karşı yarıçap değerleri verileri oldukça birbirine benzer davranışlar göstermektedir. Konsantrasyon değişimi dispersiyon damla buharlaşması modunu değiştirmemiştir.

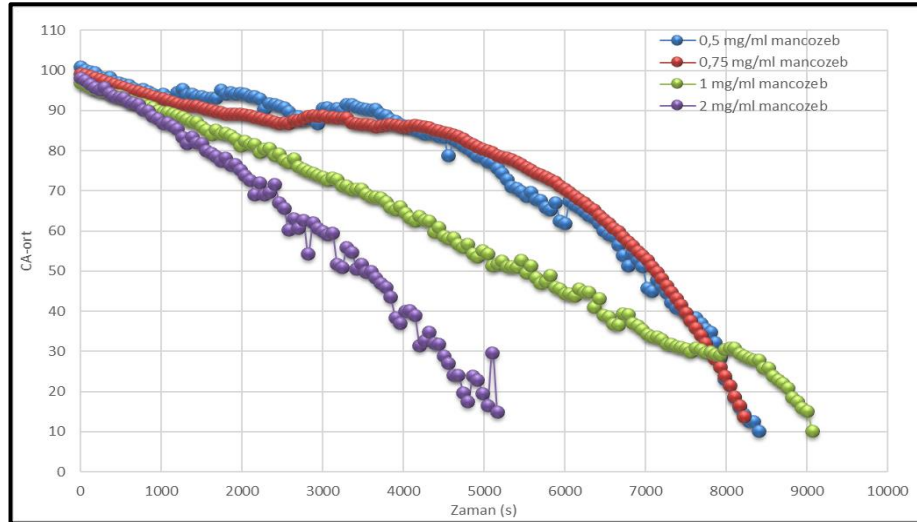


Şekil 7.27: %55 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.



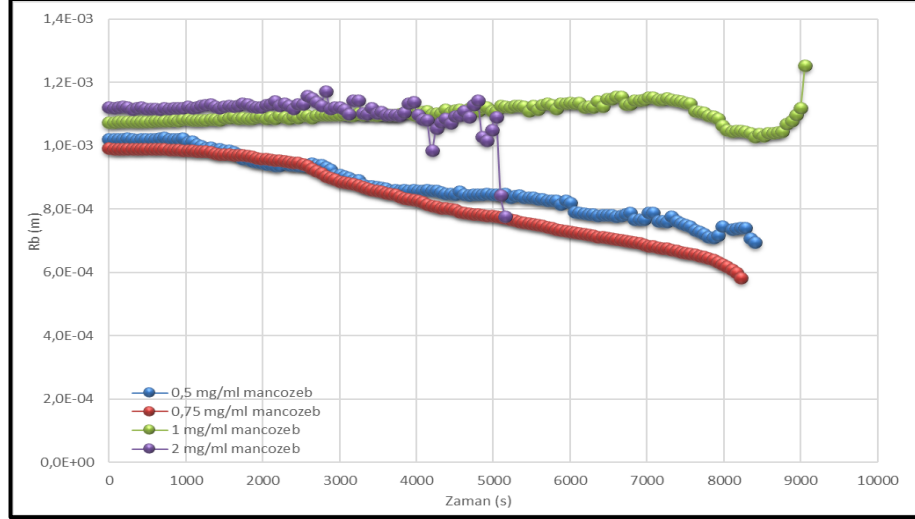
Şekil 7.28: %55 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

%55 RH koşullarında yıkanmamış domates üzerinde konsantrasyonları farklı dispersiyonların en hızlı buharlaşma süresine sahip dispersiyondan en yavaş buharlaşma süresine sahip dispersiyona doğru sıralayacak olursak; 2 mg/ml, 1 mg/ml, 0,75 mg/ml ve 0,5 mg/ml olarak sıralanır. Bu verilerden konsantrasyon artışı ile damla buharlaşma süresi arasında ters orantı olduğu görülmektedir.



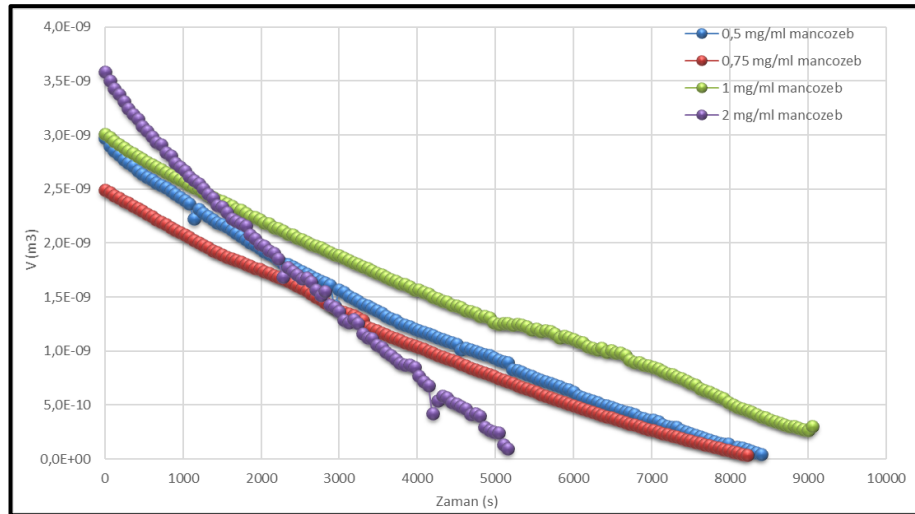
Şekil 7.29: %85 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

%85 bağıl nemde yıkanmamış yüzeyde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonları birbirlerine oldukça yakın değerlerde başlangıç temas açısı değerlerine sahiptir. Temas açıları her konsantrasyon için farklı bir eğimle azalış göstermiştir.

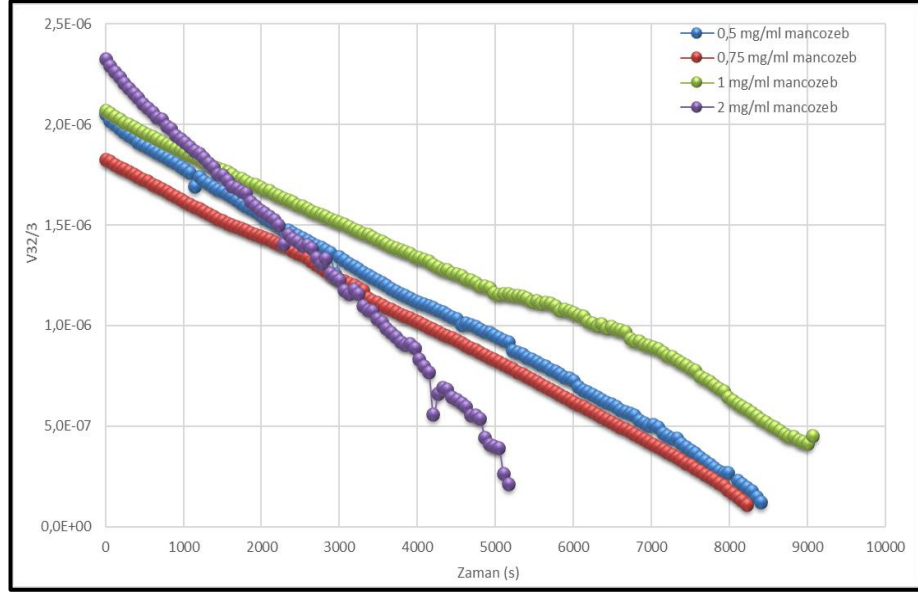


Şekil 7.30: %85 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

0,5 mg/ml ve 0,75 mg/ml konsantrasyonuna sahip dispersiyon damlaları ilk 100 saniye boyunca yarıçap değerleri sabit kalırken, bu saniyeden sonra buharlaşma tamamlanana kadar temas açısı zamanla azalmıştır. 1 mg/ml ve 2 mg/ml konsantrasyonlu dispersiyon damlaları ise tüm buharlaşma prosesi boyunca az oranda bir artış ile sabit yarıçap değerlerine sahiptirler.

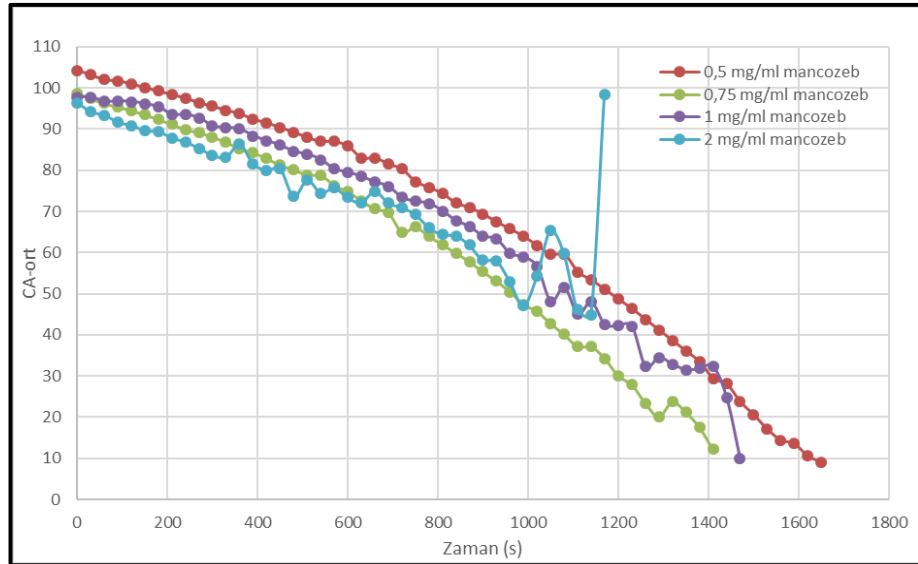


Şekil 7.31: %85 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.



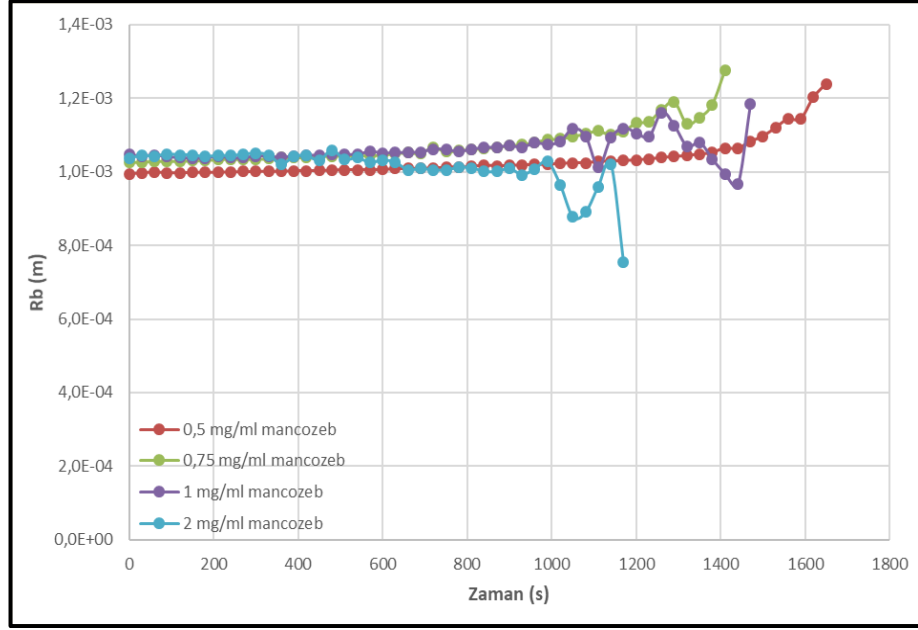
Şekil 7.32: %85 bağıl nemde yıkanmamış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

Grafikteki verilerin eğim değerlerinden yola çıkılarak, en yoğun konsantrasyona sahip olan dispersiyon çözeltisi, 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonu en hızlı buharlaşma süresine sahiptir.



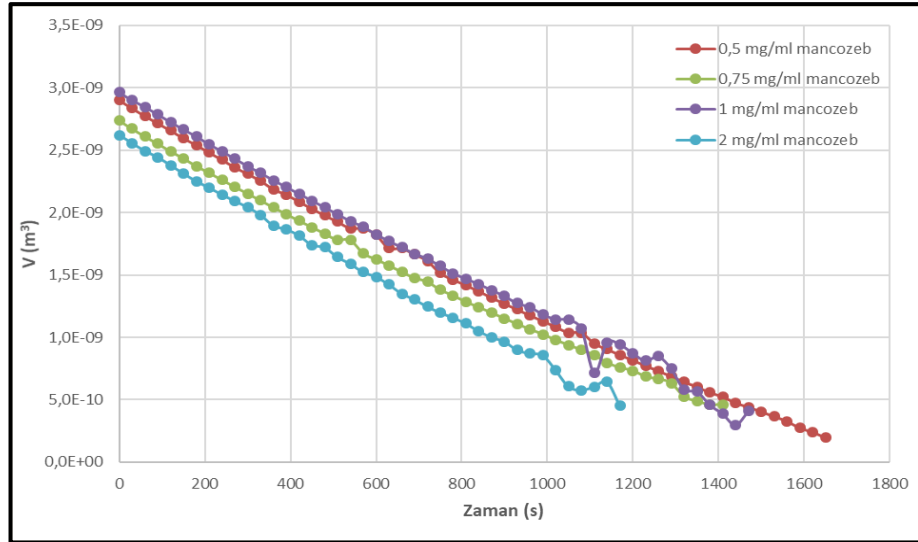
Şekil 7.33: %35 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

Yıkanmış domates üzerinde %35 bağıl nemde en yüksek temas açısına 0,5 mg/ml konsantrasyonlu Mancozeb dispersiyonu sahiptir. Konsantrasyon artışı ile temas açısı azalmıştır.

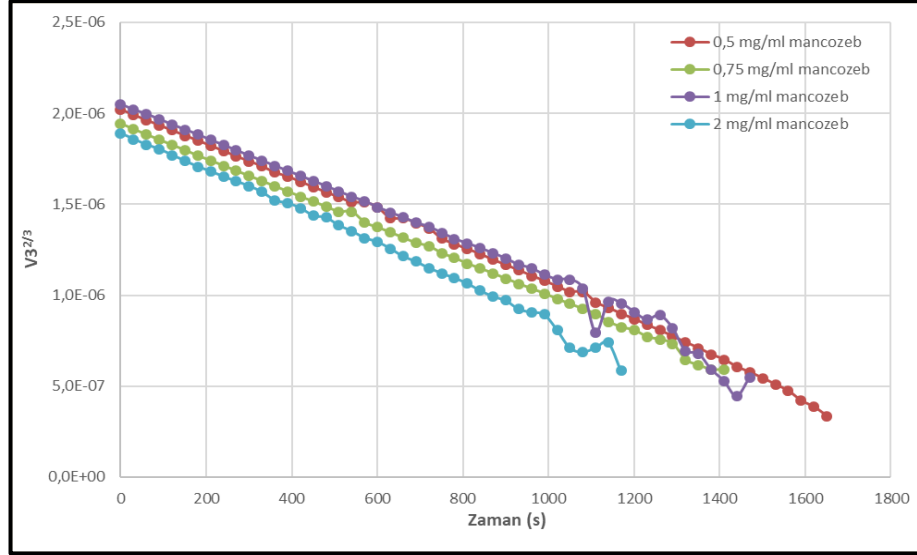


Şekil 7.34: %35 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

Tüm Mancozeb konsantrasyonlarında ilk 1000 saniyeye kadar olan sürede, aslında buharlaşma prosesinin oldukça büyük bir kısmında, dispersiyon damlalarının sabit yarıçap değerlerinde buharlaşmalarının gerçekleştiği görülmektedir. Dispersiyon damlaları CCR modunda buharlaşmaktadır.

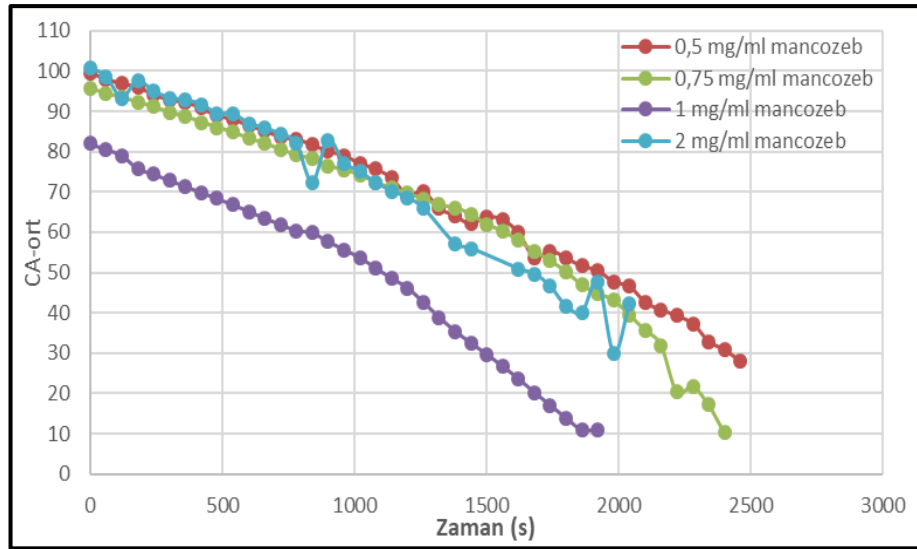


Şekil 7.35: %35 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.



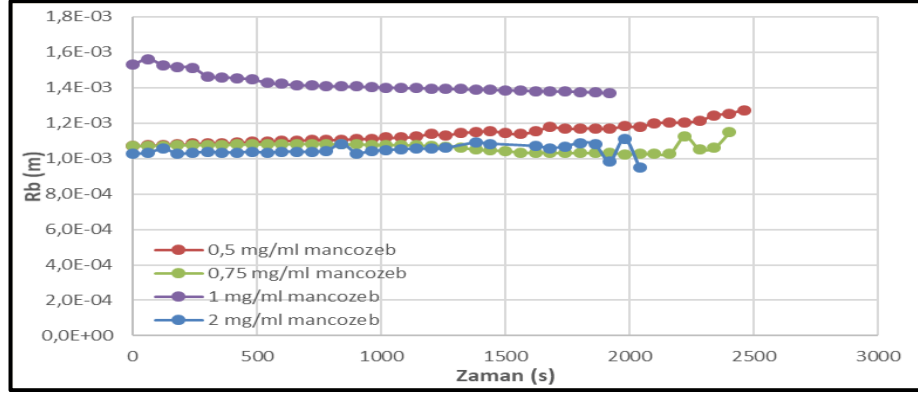
Şekil 7.36: %35 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızları grafiği.

%35 bağıl nemde en hızlı buharlaşma 2 mg/ml konsantrasyonlu dispersiyon damlası sahiptir. Daha sonra 1 mg/ml dispersiyonu gelmektedir. 0,5 mg/ml ve 0,75 mg/ml birbirine oldukça yakın eğim değerlerine sahiptirler. Bu da oldukça yakın buharlaşma sürelerine sahip oldukları anlamına gelmektedir.



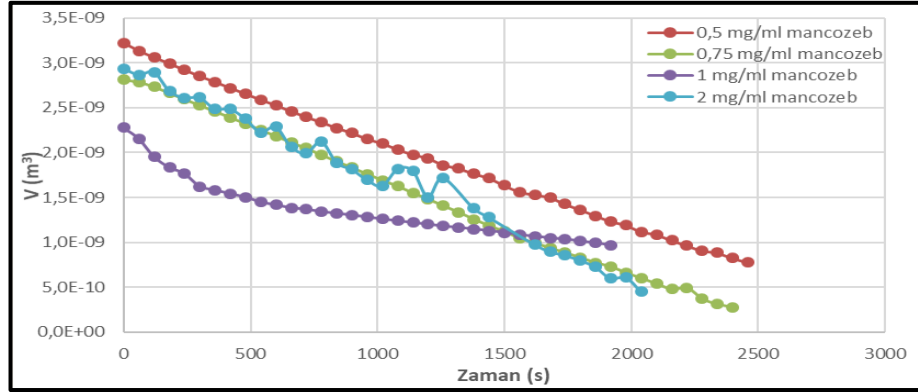
Şekil 7.37: %55 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

Konsantrasyonun 0,5 mg/ml'den 0,75 mg/ml'ye artmasından sonra temas açısı azalmıştır. 1 mg/ml ve 2 mg/ml konsantrasyonlu dispersiyonlar içinde aynı durum söz konusudur. Temas açısı tüm konsantrasyonlarda zamanla azalmıştır.

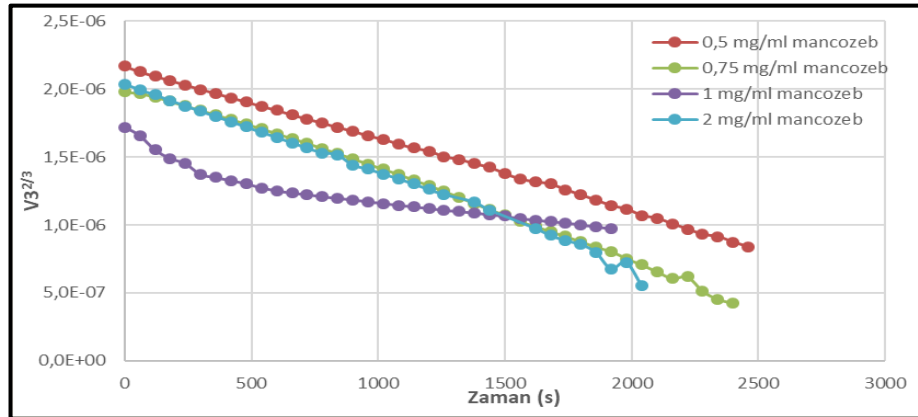


Şekil 7.38: %55 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma yarıçap grafiği.

Tüm konsantrasyonlar için buharlaşma modu CCR'dir. 0,5 mg/ml konsantrasyonlu dispersiyonun yarıçapındaki artış gözlenirken, 0,75 mg/ml ve 1 mg/ml dispersiyonunun yarıçapındaki artış 1000 saniyeden sonra başlamıştır.

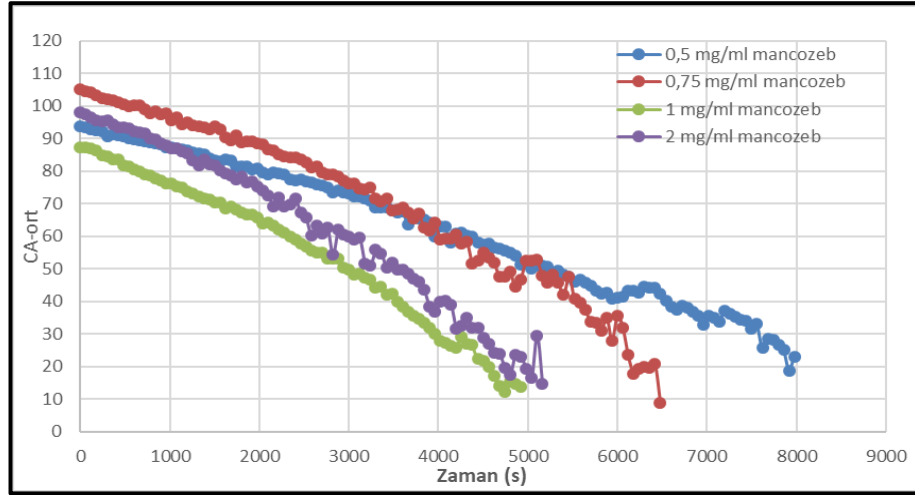


Şekil 7.39: %55 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hacim grafiği.



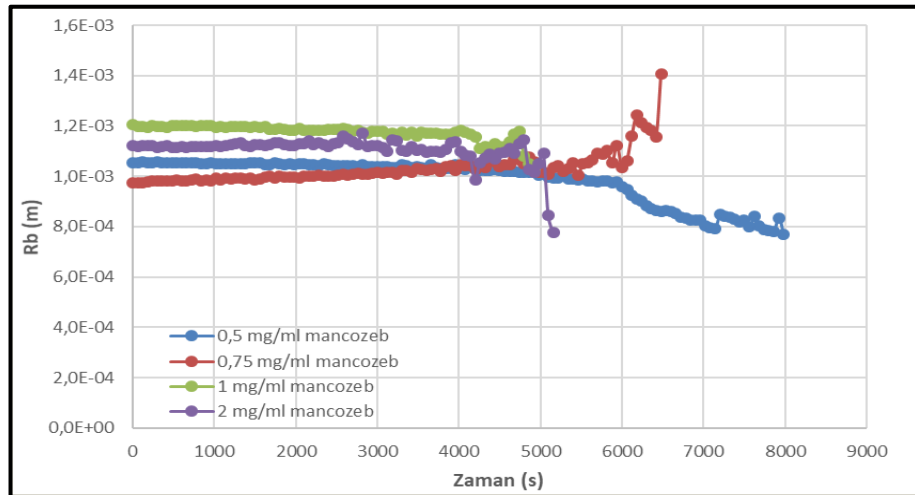
Şekil 7.40: %55 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızları grafiği.

En hızlı buharlaşma süresine 2 mg/ml konsantrasyonlu dispersiyon damlası sahiptir. 0,75 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun buharlaşma süresi ise 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun buharlaşma süresinden kısadır. Dispersiyon damlalarındaki partikül yoğunluğunun artması damla buharlaşma süresini kısaltmıştır.



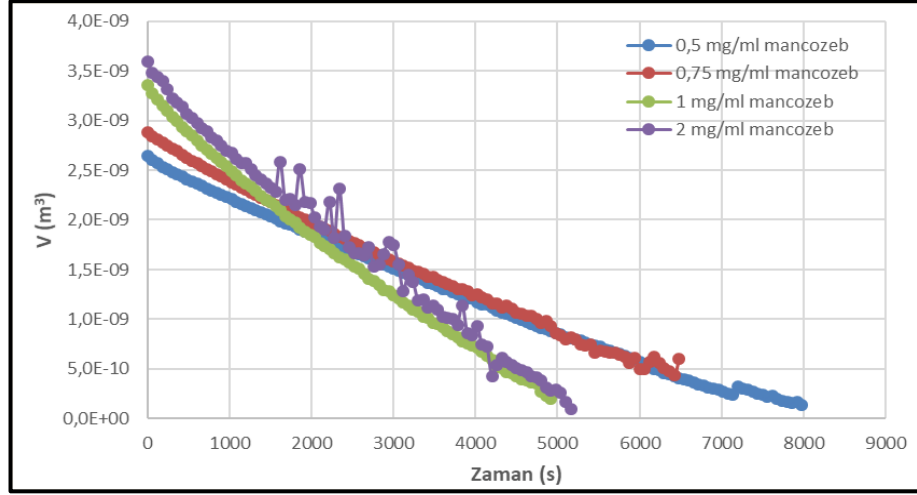
Şekil 7.41: %85 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

%85 bağıl nemde 0,75 mg/ml konsantrasyonlu dispersiyon damlası en düşük temas açısına sahiptir. Temas açıları oldukça yavaş azalış göstermiştir.

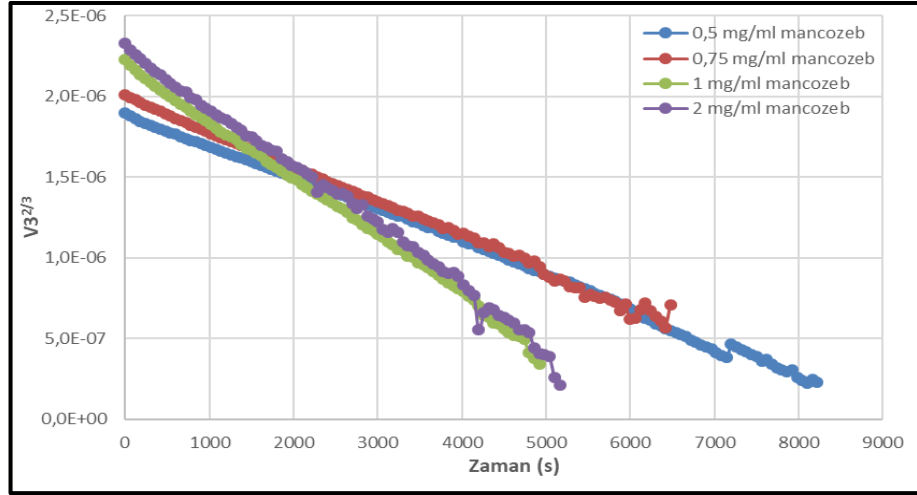


Şekil 7.42: %85 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

Temas aç değeri zamanla azalırken, yarıçap değeri sabit kalmıştır. %85 bağıl nemde konsantrasyon değişimi damla buharlaşma modunu etkilememiştir.



Şekil 7.43: %85 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.



Şekil 7.44: %85 bağıl nemde yıkanmış domates üzerinde farklı konsantrasyonlardaki Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

En hızlı buharlaşma süresine sahip olan dispersiyon damlası 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonu ve sonra sırasıyla 1 mg/ml, 0,75 mg/ml ve 0,5 mg/ml dispersiyon damlaları takip etmektedir.

Tüm buharlaşma hızları konsantrasyon grafikleri etkisi açısından ele alındığında en hızlı buharlaşma süresine 2 mg/ml dispersiyon damlası sahiptir. Damla buharlaşma süreleri genel olarak konsantrasyon arttıkça azalmıştır. %35 RH en düşük temas açısı değerine 0,5 mg/ml dispersiyonu sahipken, %55 RH ise en düşük temas açısı değerine 1 mg/ml konsantrasyonu sahiptir. Konsantrasyonun artmasıyla kalıntı geometrisinde dispersiyon partiküllerinin biriktiği alanlardaki partikül yoğunluğu artmıştır.

### **7.2.3. Bağıl Nem Farkının Mancozeb Damla Buharlaştırma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Mancozeb Kalıntısı Geometrisine Etkileri**

7.2.1 başlık altında sunulan grafiklerde, konsantrasyon sabit tutulurken, yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde %35 RH, yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde %55 RH, yıkanmamış ve yıkanmamış domates üzerinde %85 RH koşullarında dispersiyon damlalarının buharlaştırma verileri grafiklere aktarılmıştır. Bu grafikler üzerinden 7.2.1 numaralı konu başlığında yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeyleri üzerinden açıklayıcı yorumlamalar yapılmıştır. Bu başlıkta ise aynı grafiklerin bağıl nem verileri üzerinden açıklamalara yer verilecektir.

Şekil 7.5’de 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun yıkanmış ve yıkanmamış yüzeylerden her bir yüzey için tüm bağıl nem koşulları için temas açısı zamanla azalmıştır. RH artışı ile temas açısı değerlerindeki azalış yavaşlamıştır. Şekil 7.6’da 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun farklı RH koşullarındaki yarıçap değerleri verilerine bakıldığında, RH azaldığında dispersiyon damlasının yarıçapında damla buharlaşmasının tamamlanmasına yakın sürede yarıçapın arttığı gözlenmiştir. Bu da dispersiyon damlalarının daha geniş leke bıraktığı anlamına gelir. Çünkü RH azaldıkça domates üzerinde bulunan film kalınlığı azalır ve dispersiyon damlasının daha hızlı yayılmasına sebep olur. Yarıçap değerlerinin sabit ve temas açısının ise zamanla azalmasıyla damlanın buharlaştırma modunun CCR modu olduğu anlaşılır. Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun tüm bağıl nemlerde hacim azalışı verileri ile 3 farklı bağıl nem koşullarında dispersiyon damlasının buharlaştırma hızları hakkında verileri yer almaktadır. RH artışı ile yıkanmış domates yüzeyinde de yıkanmamış domates yüzeyinde de dispersiyon damlasının buharlaştırma süresi uzamıştır.

Şekil 7.9’da RH artışı ile temas açısı değerleri daha yavaş azalmışlardır. Bunun nedeni RH arttıkça dispersiyon damlasının termal dengesini koruyarak buharlaşmasıdır. Böylece %85 RH koşullarında temas açısında oldukça küçük değişiklikler gözlenmiştir. Şekil 7.10 yarıçap verileri ile temas açısındaki sürekli azalış ile CCR modunda buharlaştırma gerçekleşmektedir. Şekil 7.11 ve Şekil 7.12 incelendiğinde 0,75 mg/ml Mancozeb konsantrasyonlu dispersiyon damlası için RH arttıkça damla buharlaştırma süresi uzamaktadır.

1 mg/ml ve 2 mg/ml Mancozeb dispersiyonunun %35, %55 ve %85 RH koşullarında temas açısı zamanla azalış gösterirken, buharlaştırma süresi boyunca

yarıçap sabit kaldığından dolayı CCR modu gözlenmiştir. 2 mg/ml Mancozeb başlangıç temas açısı değerleri yaklaşık olarak 100 derecedir. RH arttıkça damla buharlaşma süresi uzamaktadır.

RH artışı ile Mancozeb kalıntılarının görüntülerini yorumlamak için, 7.2.1 başlığı altında tablolarda verilen görüntüler yorumlanacaktır. 0,5 mg/ml Mancozeb dispersiyonu için Tablo 7.8'e bakacak olursak, %35 RH'da kalıntıda yapısal olarak homojen olmayan bir dağılım ve yapısal olarak oldukça boşluklu bir form olduğu gözlenir. Bu düşük RH koşullarında damlanın oldukça hızlı buharlaşmasının bir sonucudur. RH arttıkça damla buharlaşmasının yavaş olması ve termal dengede gerçekleşen buharlaşma sonrası kalıntı görüntüleri kısmen daha homojen görünen bir kalıntı oluşturmaktadır. Tablo 7.9'da 0,75 mg/ml konsantrasyonu için kalıntılar RH arttıkça kalıntıda yapısal olarak nispeten daha az boşluklu bir yapı ve dağılım gözlenmiştir. Tablo 7.10'da 1 mg/ml konsantrasyonu için %35 RH daire şeklindeki kalıntı formunun kenarlarında birikme ve orta kısımlarında boşluklar gözlenmektedir. %55 RH boşluk ve birikintiden oluşan bir daire çevresi gözlenirken, %85 RH kenarlarda birikintiler oluşsa dahi kayda değer boşluklar oluşmamıştır. Tablo 7.11'de 2 mg/ml konsantrasyonlu dispersiyon damlası için tüm bağıl nemlerde dairesel kalıntı formları oluşmuştur.

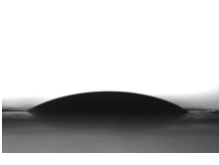
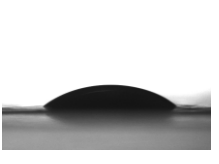
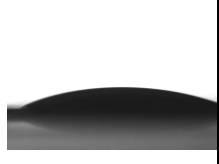
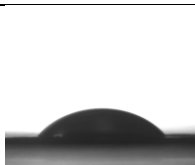
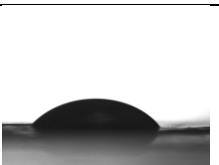
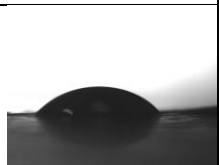
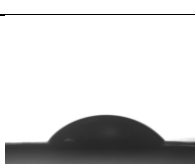
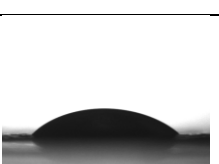
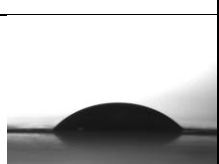
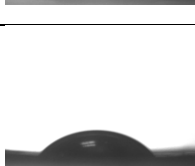
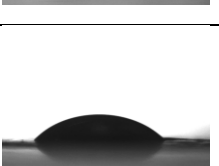
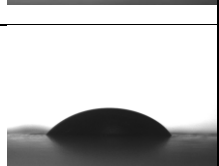
Damla buharlaşma hızları grafiklerden yorumlanabileceği gibi, daha net bir şekilde yorumlanabilmesi için damla buharlaşma hızı verileri aşağıdaki tablo verilmektedir.

Tablo 7.24: Yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde %35, %55 ve %85 bağıl nemde Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızları verileri.

| Buharlaşma Hızı | $\frac{dV^{2/3}}{dt}$   |          |          |                           |          |          |
|-----------------|-------------------------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|
| Yüzey           | Yıkanmış Domates Yüzeyi |          |          | Yıkanmamış Domates Yüzeyi |          |          |
| % RH<br>(mg/ml) | 35                      | 55       | 85       | 35                        | 55       | 85       |
| 0,5 Mancozeb    | 9,92E-10                | 5,32E-10 | 2,04E-10 | 9,28E-10                  | 5,31E-10 | 2,15E-10 |
| 0,75 Mancozeb   | 9,57E-10                | 6,10E-10 | 2,17E-10 | 8,99E-10                  | 5,72E-10 | 2,04E-10 |
| 1 Mancozeb      | 1,02E-09                | 4,02E-10 | 3,60E-10 | 9,59E-10                  | 6,97E-10 | 1,72E-10 |
| 2 Mancozeb      | 1,07E-09                | 6,77E-10 | 3,75E-10 | 9,59E-10                  | 7,20E-10 | 3,75E-10 |

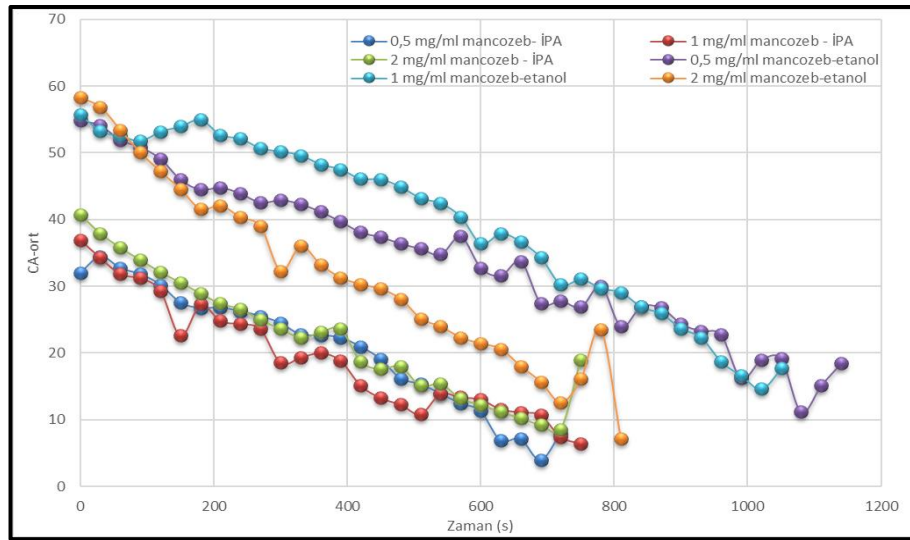
#### 7.2.4 Dispersiyona Etanol ve İzopropanol Katılmasının Mancozeb Damla Buharlaştırma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Mancozeb Kalıntı Geometrisine Etkisi

Tablo 7.25: Yıkanmamış domates kabuğu üzerinde Mancozeb-alkol dispersiyonlarının t=0 anında damla görüntüleri.

| %RH<br>(mg/ml)          | 38                                                                                  | 55                                                                                   | 85                                                                                    |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,5<br>Mancozeb- İPA    |    |    |    |
| 1 Mancozeb-İPA          |    |    |    |
| 2 Mancozeb-İPA          |   |   |   |
| 0,5 Mancozeb-<br>Etanol |  |  |  |
| 1<br>Mancozeb-Etanol    |  |  |  |
| 2<br>Mancozeb-Etanol    |  |  |  |

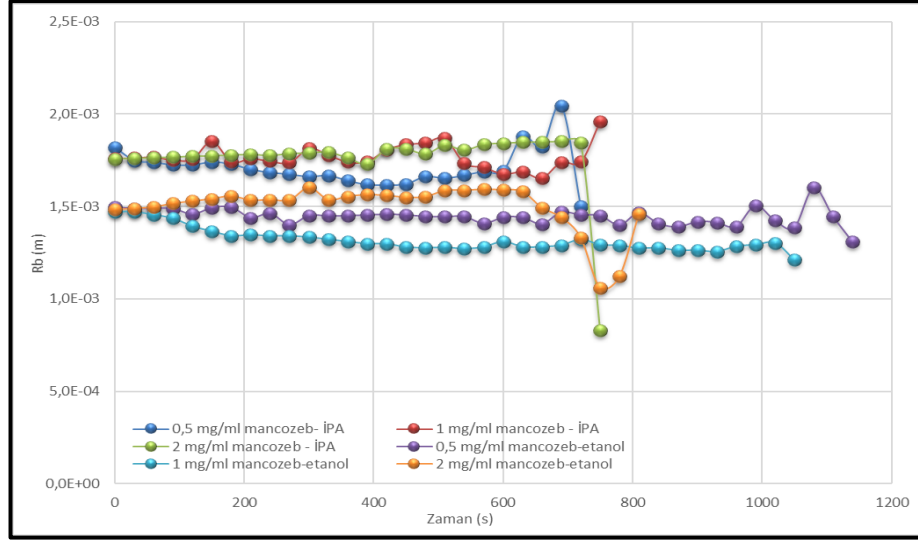
Bu kısımda hem etanol eklenmiş Mancozeb dispersiyonu ile İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonunun arasındaki buharlaştırma davranışları farkları ve aynı zamanda kalıntı geometrisinde oluşturdukları farklar incelenecek, hem de Mancozeb dispersiyonları ile alkol eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının damla buharlaştırması ve kalıntı geometrisinde oluşturdukları farklar incelenecektir.

Tablo 7.25 ile Tablo 7.6 karşılaştırıldığında dispersiyon çözeltisine alkol eklenmesiyle  $t=0$  anında damlaların domates yüzeyi ile oluşturdukları temas açısının, Mancozeb dispersiyon damlalarının  $t=0$  anındaki temas açılarından gözle görünür biçimde düşük olduğu fark edilmektedir. Surfaktanların pestisit dispersiyonlarında yüzey gerilimini azalttığından önceki bölümlerde söz etmiştik. Bu kısımda da seçmiş olduğumuz iyonik olmayan surfaktanlar olan etanol ve İPA, yüzey ile dispersiyon damlası arasındaki gerilimi düşürerek temas açısının azalmasına sebep olmuştur. Bu da ilk anda oluşan ıslak alanın artması anlamına gelmektedir. Ayrıca etanol eklenmiş dispersiyonlar ile İPA eklenmiş dispersiyonların  $t=0$  anında oluşturdukları temas açılarını inceleyecek olursak İPA eklenmiş dispersiyon damlalarının ilk temas açıları etanol eklenmiş damlaların temas açılarından daha küçüktür. İPA eklenmiş dispersiyon damlaları yüzeyle olan temasının ilk anda daha çok yayılırlar.



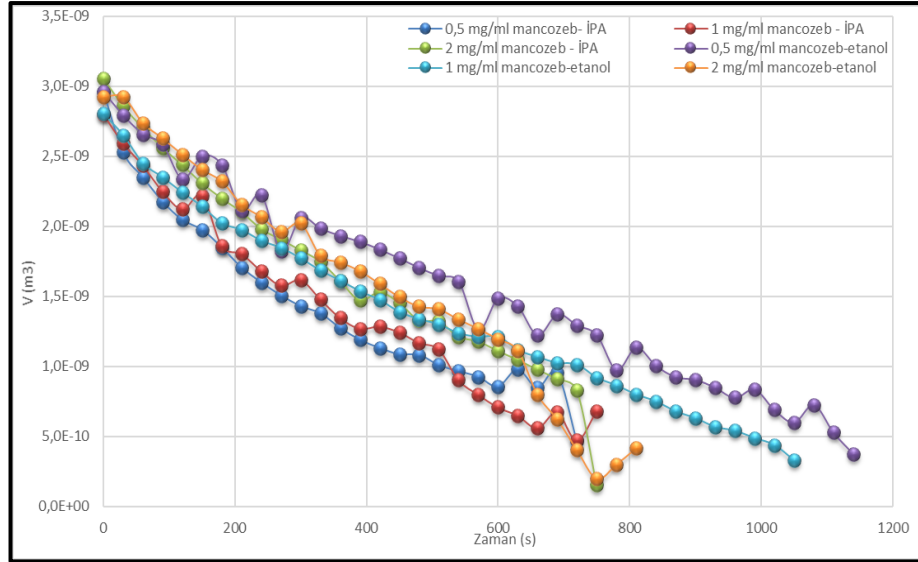
Şekil 7.45: %35 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

%35 RH Mancozeb-İPA dispersiyonları konsantrasyon artışı ile  $t=0$  anındaki dispersiyon damlası ile domates yüzeyi arasındaki temas açısı artmıştır. Mancozeb-etanol dispersiyonlarının başlangıç temas açıları ise ortalama  $58^\circ$ 'dir. İPA içeren dispersiyon damlalarının başlangıç temas açıları etanol içeren dispersiyon damlalarının temas açılarından küçük olmakla beraber, alkol içeren dispersiyon damlalarının başlangıç temas açıları ise Mancozeb dispersiyonlarının başlangıç temas açılarından küçüktür.



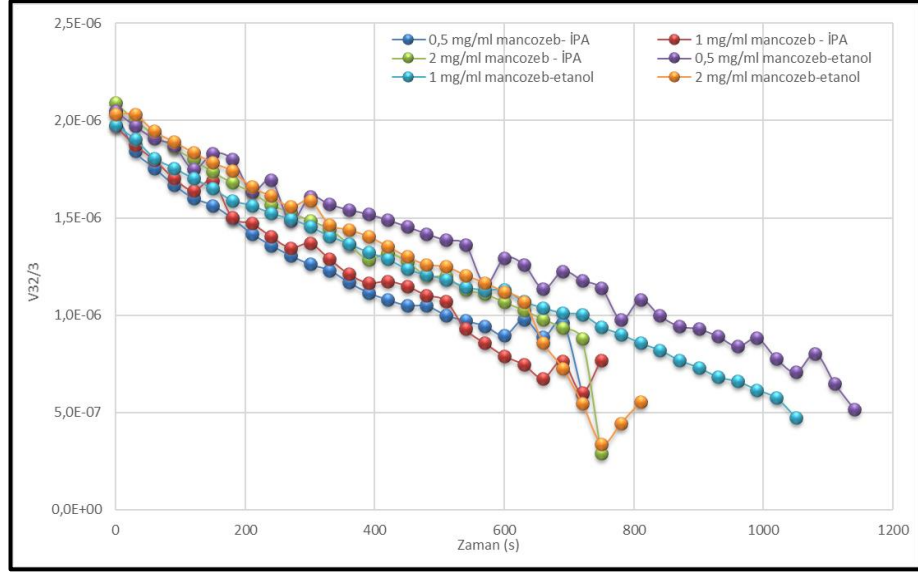
Şekil 7.46: %35 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

Aynı hacimde olmalarına rağmen, İPA içeren dispersiyon damlalarının yarıçap değerleri etanol içeren dispersiyon damlalarının yarıçap değerlerinden büyüktür. Bu da İPA içeren damlaların yüzeyde daha fazla yayıldığı anlamına gelmektedir. CCR modunda buharlaşma söz konusudur.



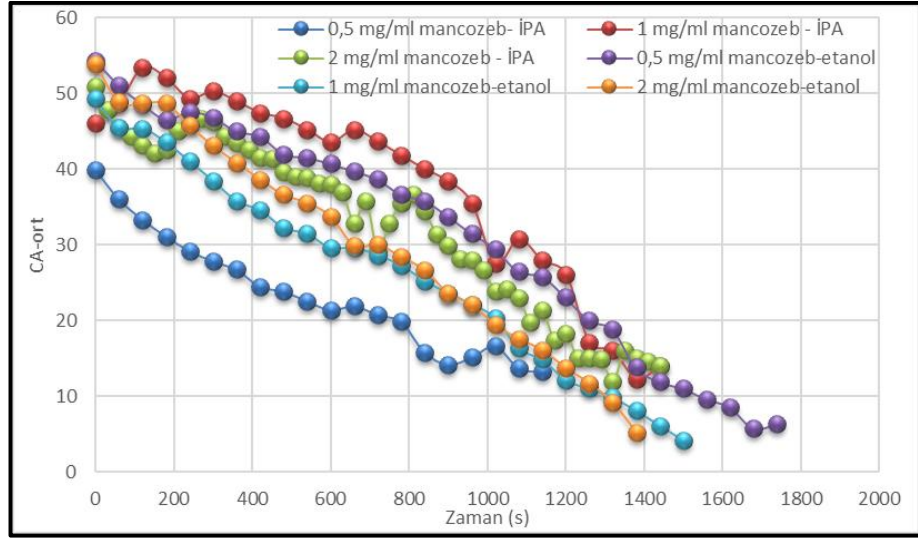
Şekil 7.47: %35 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.

%35 RH tüm alkol içeren dispersiyon damlaları 3 µl yakın hacimde başlangıç hacmine sahiptir. Zamanla hacim değerleri azalmıştır.



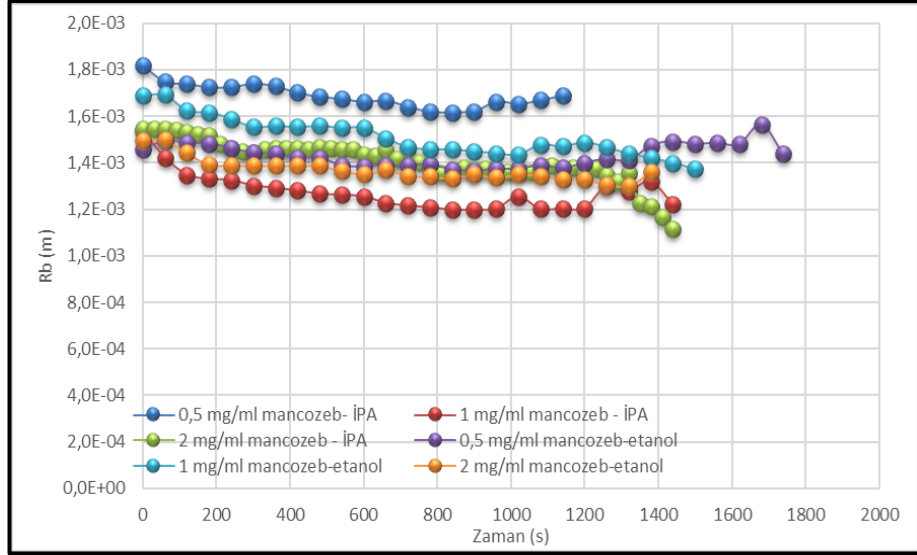
Şekil 7.48: %35 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

%35 RH İPA ve etanol dispersiyonları için konsantrasyon arttıkça damla daha hızlı buharlaşmıştır. Damla buharlaşma süreleri en kısıdan en uzuna doğru sırasıyla 2 mg/ml, 1 mg/ml ve 0,5 mg/ml'dir. Ayrıca Tablo 7.26'da buharlaşma hızları verilmiştir.



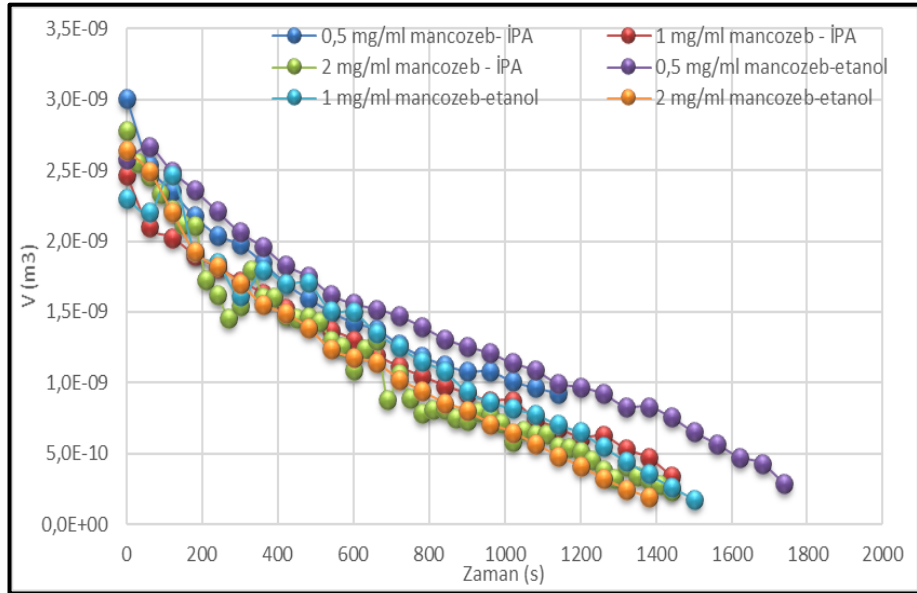
Şekil 7.49: %55 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

%55 RH koşullarında, %35 RH koşullarında oluşan temas açısı değerlerindeki belirgin farkın aksine 0,5 mg/ml Mancozeb-İPA dispersiyonu dışındaki tüm dispersiyonlar için temas açısı değerleri birbirine yakındır. Dispersiyon damlalarının temas açısı değerleri zamanla azalmıştır.



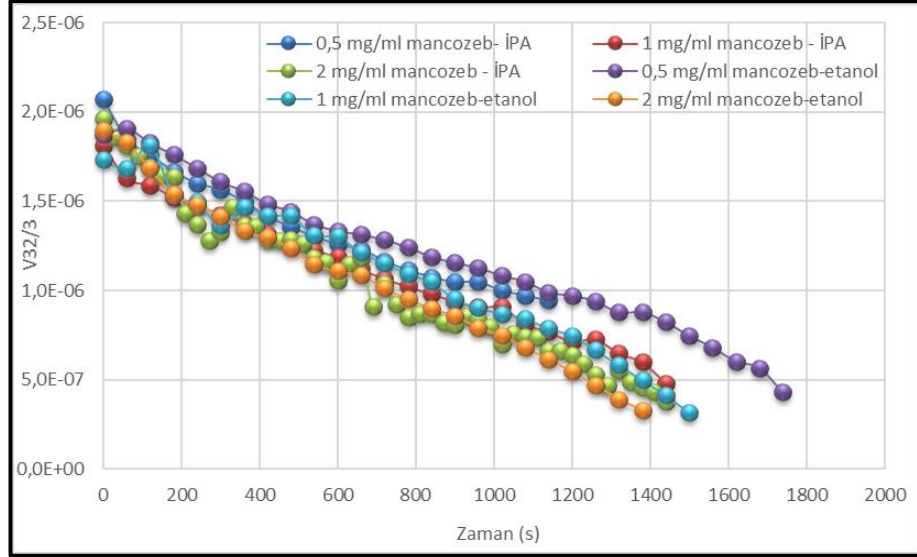
Şekil 7.50: %55 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

İPA içeren dispersiyon damlaları yarıçap değerleri daha büyüktür, etanol içeren damlalardan daha fazla yayıldıkları anlamına gelir.



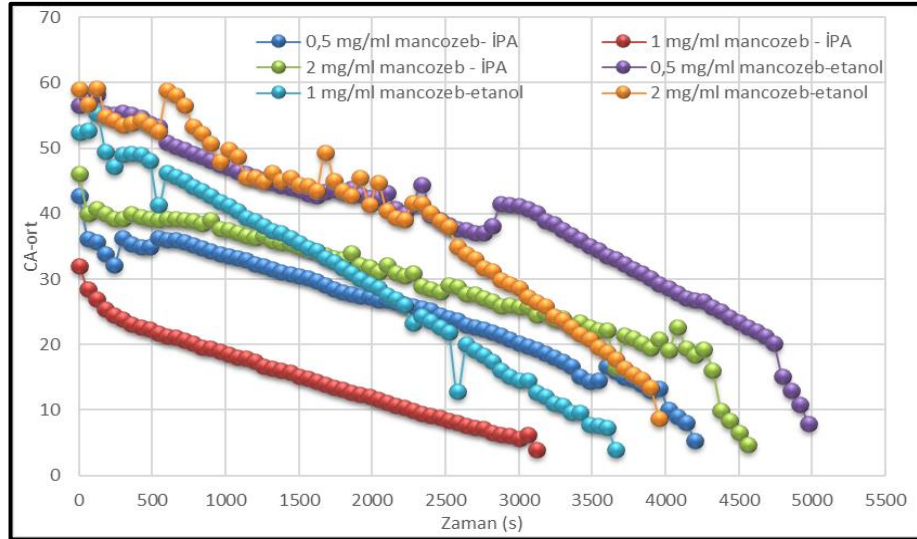
Şekil 7.51: %55 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.

Şekil 7.51’de yer alan verilerde zamana karşı hacim değerleri yer almaktadır. Şekil 7.51’de bu verilerin doğrusal grafiğinin elde edilmesiyle buharlaşma süreleri hakkında veriler elde edilir.



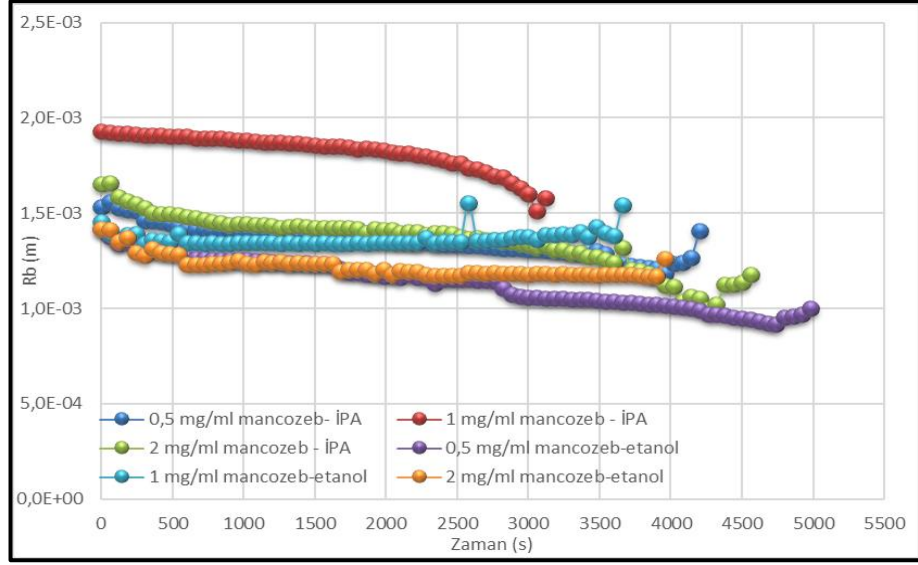
Şekil 7.52: %55 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

%55 bağıl nem koşullarında İPA ve etanol eklenmiş dispersiyon damlalarının buharlaşma süresi en kısa sırasıyla 2 mg/ml, 0,5 mg/ml ve 1 mg/ml konsantrasyonuna sahip dispersiyondur.



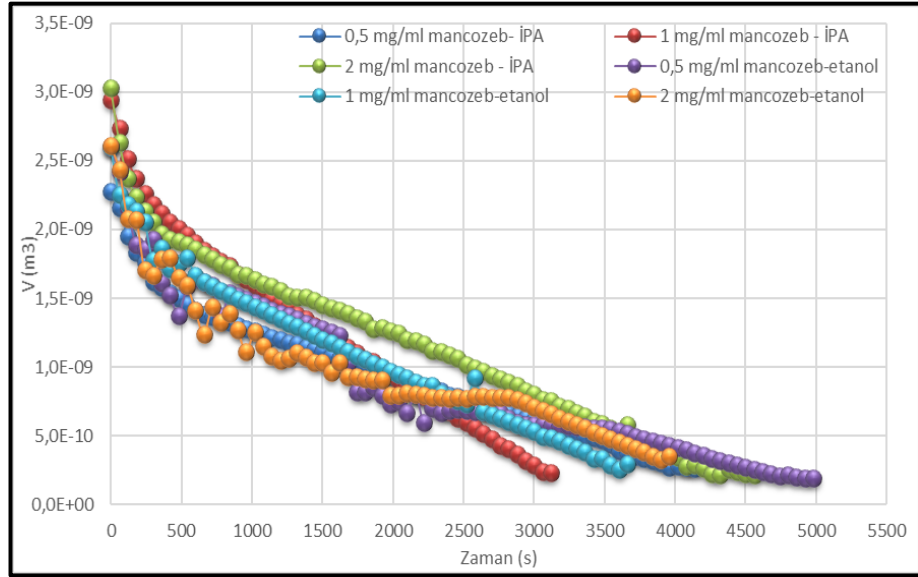
Şekil 7.53: %85 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

%85 RH koşullarında dispersiyon damlalarının temas açıları Şekil 7.49'da verilen temas açısı değerlerinden daha düşüktür. Etanol eklenmiş dispersiyon damlalarının başlangıç temas açıları İPA eklenmiş dispersiyon damlaların başlangıç temas açılarından daha büyüktür.



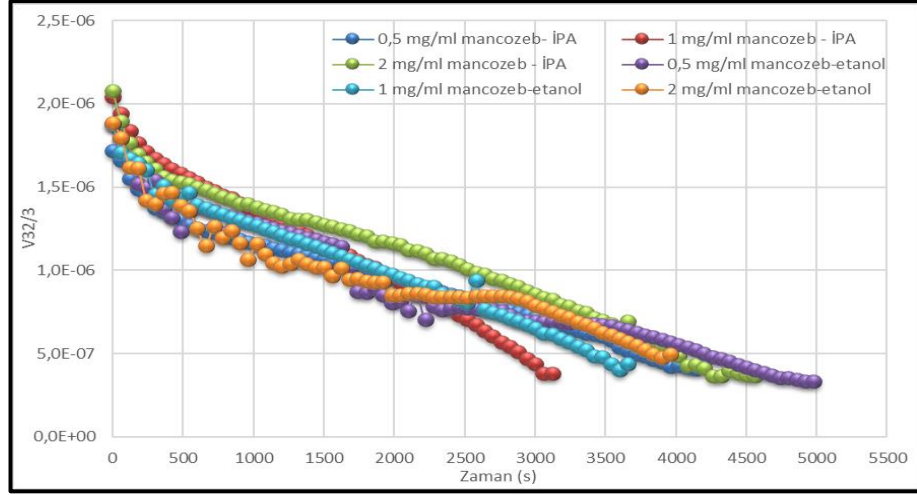
Şekil 7.54: %85 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

1 mg/ml Mancozeb-İPA dispersiyonu yarıçapı en büyük olan ve en çok yayılan dispersiyon damlasıdır.



Şekil 7.55: %85 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının hacim grafiği.

RH arttıkça damla buharlaşma süresi yavaşlamaktadır ve bundan dolayı damlalar hacimlerini daha yavaş kaybederler.



Şekil 7.56: %85 bağıl nemde etanol ve İPA eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

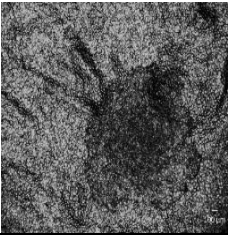
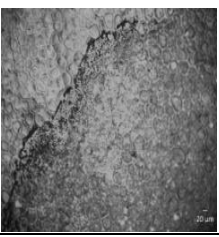
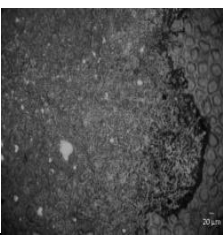
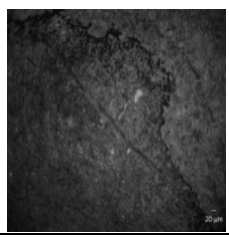
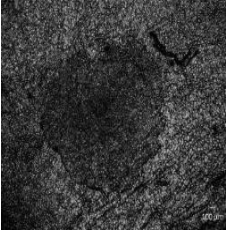
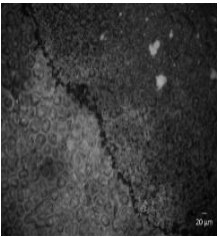
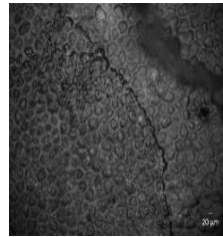
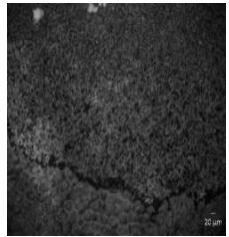
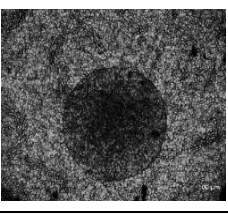
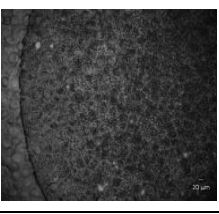
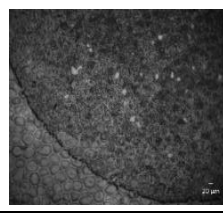
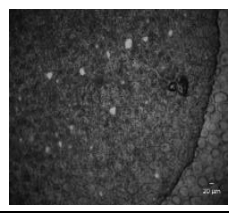
%85 RH koşullarında alkol eklenmiş dispersiyonlarının en kısa damla buharlaşma süresinden en uzuna sıralayacak olursak, 1 mg/ml, 2 mg/ml ve 0,5 mg/ml konsantrasyonlarıdır.

Tablo 7.26: Alkol eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızı verileri.

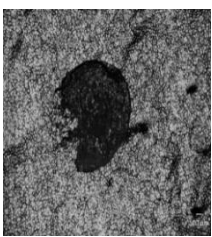
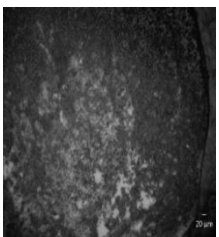
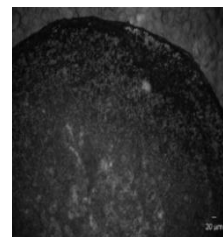
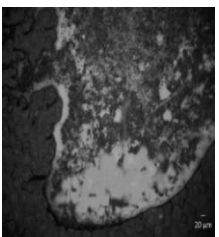
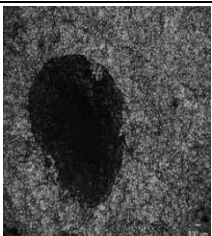
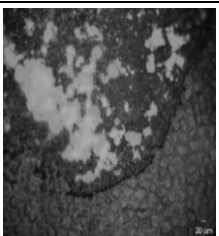
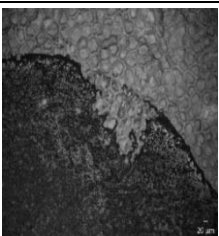
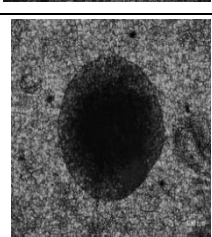
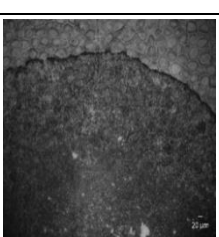
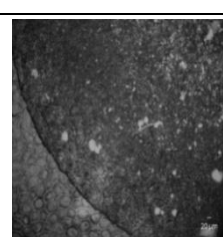
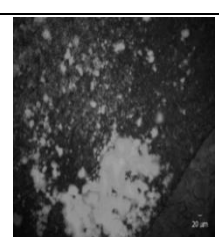
| Buharlaşma Hızı  | $\frac{dV^{2/3}}{dt}$ |          |          |                 |          |          |
|------------------|-----------------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| Mancozeb - Alkol | Mancozeb-İPA          |          |          | Mancozeb-Etanol |          |          |
| % RH<br>(mg/ml)  | 35                    | 55       | 85       | 35              | 55       | 85       |
| 0,5              | 1,53E-09              | 8,84E-10 | 2,57E-10 | 1,16E-09        | 7,64E-10 | 2,48E-10 |
| 1                | 1,71E-09              | 8,04E-10 | 4,63E-10 | 1,26E-09        | 9,06E-10 | 3,33E-10 |
| 2                | 1,73E-09              | 9,62E-10 | 3,05E-10 | 1,92E-09        | 1,04E-09 | 2,52E-10 |

Tablo 7.26 ile Tablo 7.24 birlikte ele alındığında, alkol eklenmiş Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızları ile Mancozeb dispersiyonlarının buharlaşma hızlarını karşılaştırmak mümkündür. Mancozeb dispersiyonlarına alkol eklenmesiyle tüm RH koşullarında damla buharlaşma süresi kısalmıştır. Tablo 7.26’da görüldüğü üzere alkol eklenmiş dispersiyonlar için de RH arttıkça damla buharlaşma süresi uzamıştır.

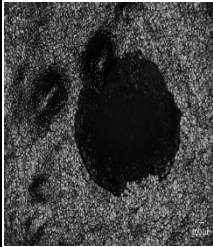
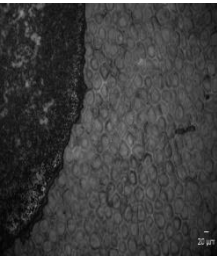
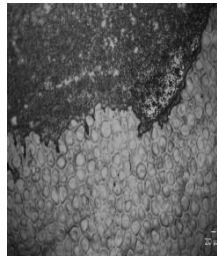
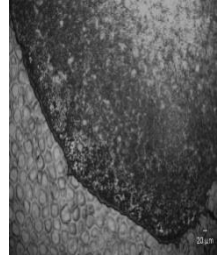
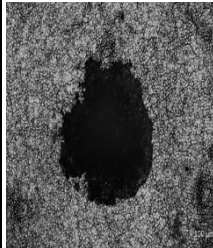
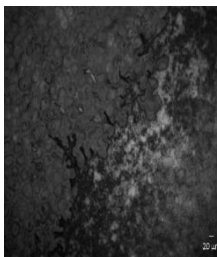
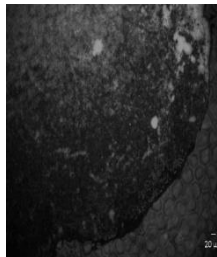
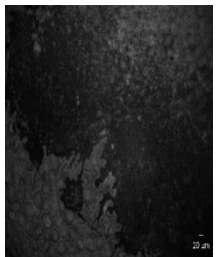
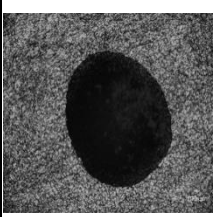
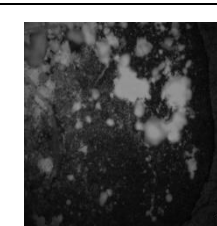
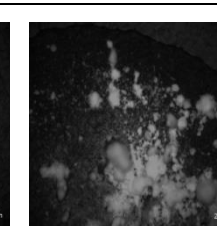
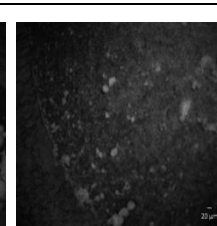
Tablo 7.27: 0,5 mg/ml Mancozeb-Etanol domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 50 X                                                                               | 200 X                                                                              |                                                                                     |                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |   |   |   |
| 55  |   |   |   |   |
| 85  |  |  |  |  |

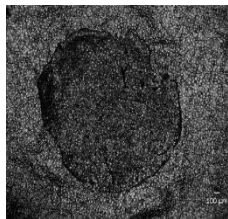
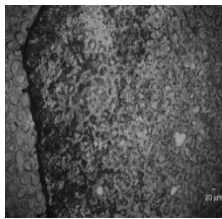
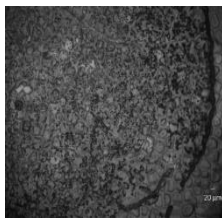
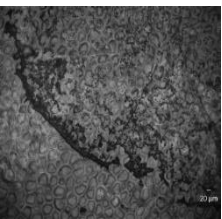
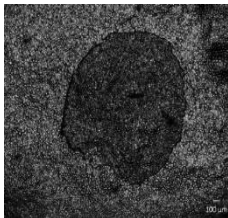
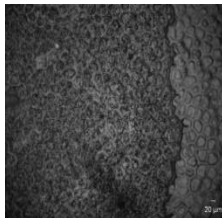
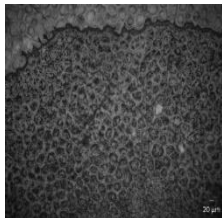
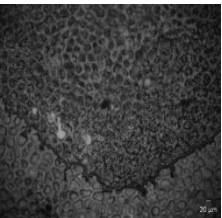
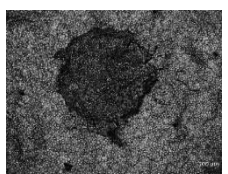
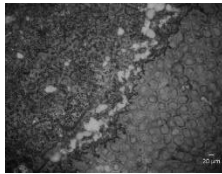
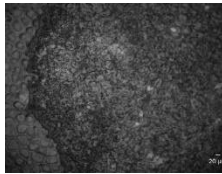
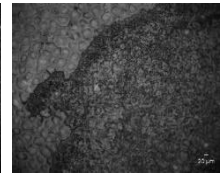
Tablo 7.28: 1 mg/ml Mancozeb-Etanol domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 50 X                                                                                | 200 X                                                                               |                                                                                      |                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |  |  |  |
| 55  |  |  |  |  |
| 85  |  |  |  |  |

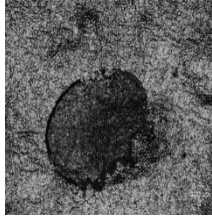
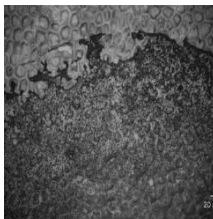
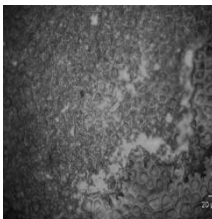
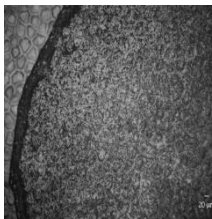
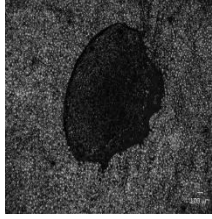
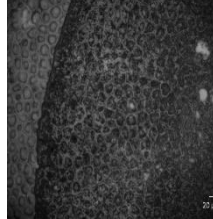
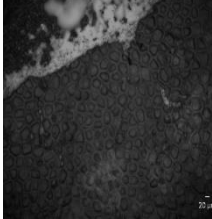
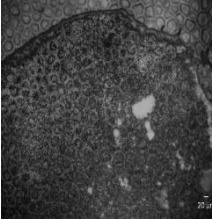
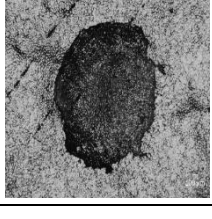
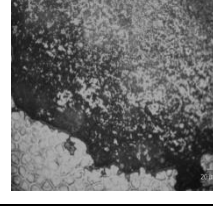
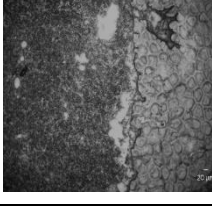
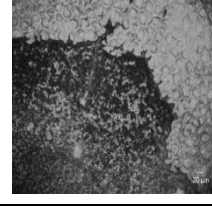
Tablo 7.29: 2 mg/ml Mancozeb-Etanol domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| % RH | 50 X                                                                               | 200 X                                                                              |                                                                                     |                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35   |   |   |   |   |
| 55   |   |   |   |   |
| 85   |  |  |  |  |

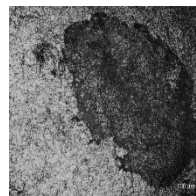
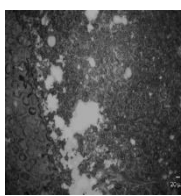
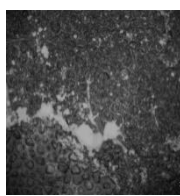
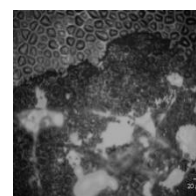
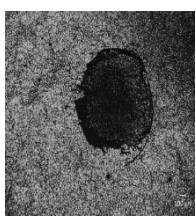
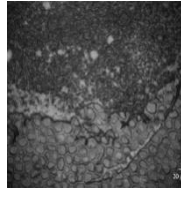
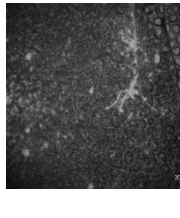
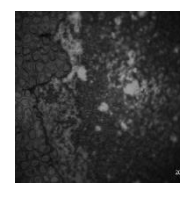
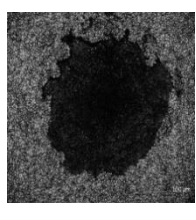
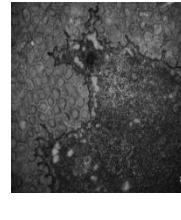
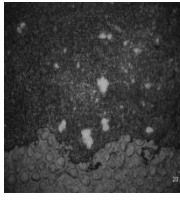
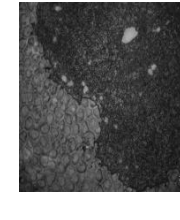
Tablo 7.30: 0,5 mg/ml Mancozeb-İPA domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 50 X                                                                                | 200 X                                                                               |                                                                                      |                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |  |  |  |
| 55  |  |  |  |  |
| 85  |  |  |  |  |

Tablo 7.31: 1 mg/ml Mancozeb-İPA domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 50 X                                                                               | 200 X                                                                              |                                                                                     |                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |   |   |   |
| 55  |   |   |   |   |
| 85  |  |  |  |  |

Tablo 7.32: 2 mg/ml Mancozeb-İPA yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 50 X                                                                                | 200 X                                                                               |                                                                                      |                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |  |  |  |
| 55  |  |  |  |  |
| 85  |  |  |  |  |

0,5 mg/ml Macozeb-etanol kalıntılarında, etanol sayesinde kalıntının daha geniş leke bıraktığı gözlenmiştir. Tüm RH'larda kalıntıda gözlenen biriken alanlar fazla gözlenmemiştir. %35 ve %55 RH'da kalıntı içeriğindeki partiküller dairesel şekildeki kalıntı formunun dışına çıkarak yayılma göstermişlerdir. %85 RH koşullarında gerçekleşen yavaş buharlaşma sebebiyle kalıntı daha dairesel ve daha homojen görünmektedir. Konsantrasyonun 1 mg/ml'ye artırılması ile kalıntı formlarında biriken alanlar gözlenmektedir. En düzgün kalıntı görüntüsü %85 RH'da elde edilmiştir. RH azalması kalıntı kenarlarına taşınan partiküller dairesel kalıntı şeklinin bozulmasına neden olmuştur. Ancak partiküllerin daha geniş leke bırakmasına yardımcı olmuşlardır. 2 mg/ml konsantrasyona sahip kalıntıda %35 RH'da bile oldukça az boşluklu yapılar gözlenmiştir. RH artmasıyla daha fazla yayılma gözlenmiştir. %85 RH'da kalıntı dairesel formunu korumuştur. Biriken alanlar söz konusu olmakla beraber boşluklu yapılar da gözlenmiştir.

0,5 mg/ml Mancozeb-İPA %35, %55 ve %85 RH koşullarında buharlaşma sonrası kalıntılar İPA yardımıyla oldukça ince bir tabaka halinde, biriken alanlar gözlenmeden kalıntı bırakmıştır. Dairesel form nispeten korunsada dahi kenarlardan dışarı doğru yayılmalar söz konusudur. %35 bağıl nemde daha ince kalıntı tabakası daha geniş leke bırakırken, %85 bağıl nemde daha toparlanmış bir dairesel form ile birlikte nispeten daha kalın bir tabaka mevcuttur. 1 mg/ml Mancozeb-İPA dispersiyonunun kalıntı kenarlarında partiküller birikmiştir. Orta kısmında ise ince bir tabaka halinde oluşum gözlenmiştir. 2 mg/ml Mancozeb-İPA %35 bağıl nem koşullarında gözlenen boşluklu yapı bağıl nemin artmasıyla oldukça azalmıştır.

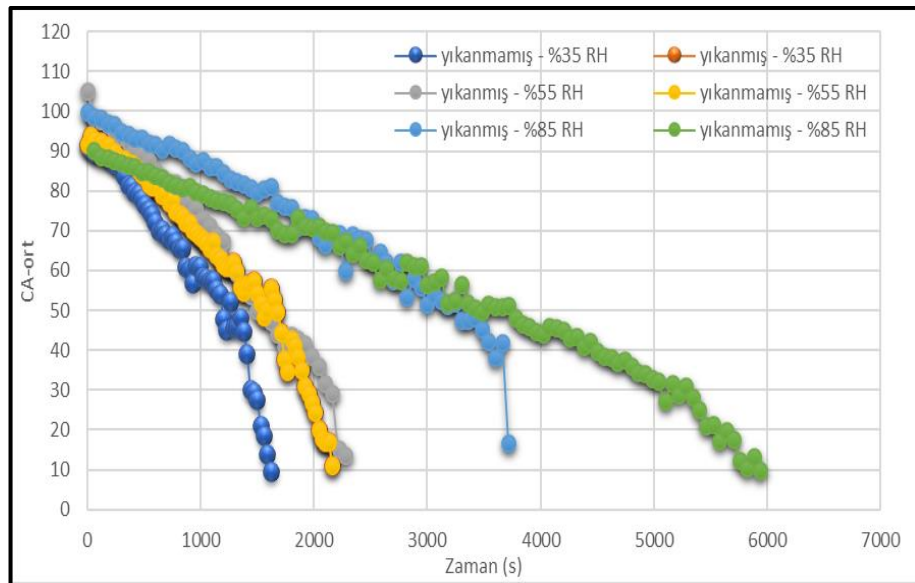
### **7.3. Hekplan Buharlaşma Verileri ve Kalıntı Fotoğrafları**

Hekplan'ın domates üzerindeki etkilerini inceleyebilmek adına yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde ve farklı ortam koşullarını temsilen %35, %55 ve %85 RH koşullarında buharlaşma verileri incelenmiştir. 3 mg/ml konsantrasyonda ve bu konsantrasyonun altına düşerek 2 mg/ml konsantrasyonda denemeler yapılmıştır. Kalıntı analizleri için buharlaşma sonrası 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak optik mikroskopta görüntüleri kaydedilmiştir. Daha sonra alkol eklenerek buharlaşma verileri ve kalıntı geometrilerinde oluşan farklılıklar incelenmiştir. Tüm veriler alt başlıklarda sınıflandırılarak yer verilmiştir.

### 7.3.1. Yıkanmış ve Yıkanmamış Domates Kabuğunun Hekplan Damla Buharlaştırma Hızına ve Domates Üzerinde Hekplan Kalıntısı Geometrisine Etkileri

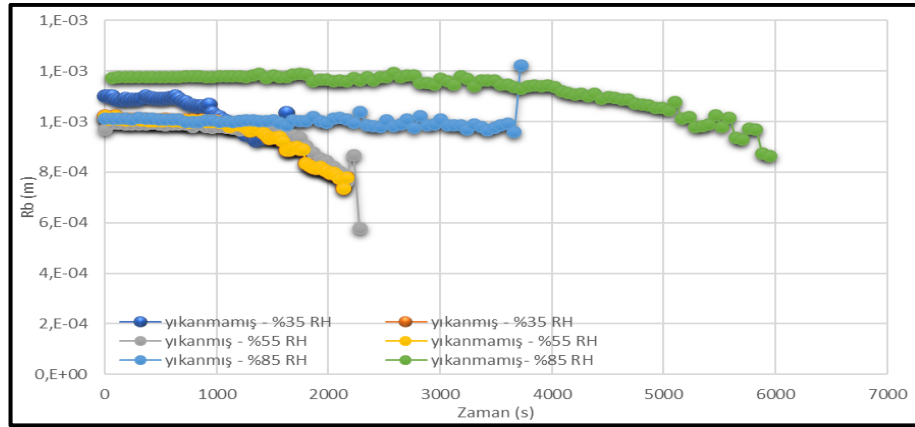
Tablo 7.33: Yıkanmış domates kabuğu ve yıkanmamış domates kabuğu üzerinde t=0 anı damla görüntüleri.

| RH  | Yıkanmış Domates Kabuğu |                 | Yıkanmamış Domates Kabuğu |                 |
|-----|-------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
|     | 2 mg/ml Hekplan         | 3 mg/ml Hekplan | 2 mg/ml Hekplan           | 3 mg/ml Hekplan |
| %35 |                         |                 |                           |                 |
| %55 |                         |                 |                           |                 |
| %85 |                         |                 |                           |                 |



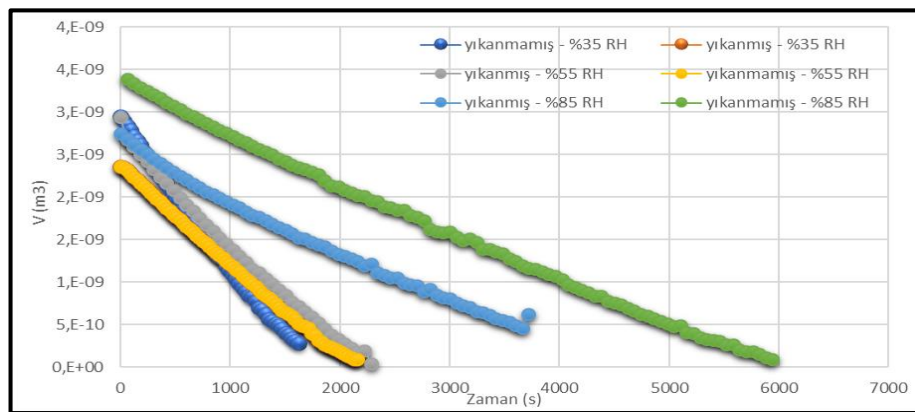
Şekil 7.57: 3 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde temas açısı grafiği.

%35 RH yıkanmış ve yıkanmamış yüzeyde başlangıç temas açısı sırasıyla  $91,84^\circ$  ve  $91,3^\circ$ 'dir. %55 RH yıkanmış ve yıkanmamış yüzeyde başlangıç temas açısı sırasıyla  $105,2^\circ$  ve  $91,84^\circ$ 'dir. %85 RH yıkanmış ve yıkanmamış yüzeyde başlangıç temas açısı sırasıyla  $99,74^\circ$  ve  $90,2^\circ$ 'dir.  $t=0$  anında ortalama temas açıları değerleri yıkanmış yüzeylerde  $98,94^\circ$  yıkanmamış yüzeylerde  $91,12^\circ$ 'dir. 3 mg/ml Hekplan için yıkanmış yüzeylerde temas açısı değerleri yıkanmamış yüzey temas açısı değerlerinden daha büyüktür.



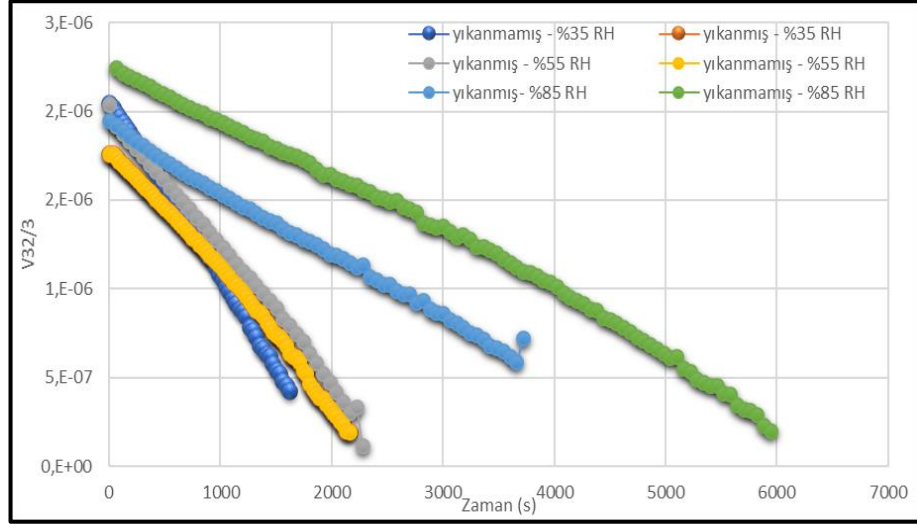
Şekil 7.58: 3 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde yarıçap değerleri grafiği.

Buharlaştırma sonlarına doğru gözlenen yarıçap değerlerinde küçülme, Hekplan'ın yüzeyde toplandığını göstermektedir. CCR modunda buharlaştırma gerçekleşmiştir.



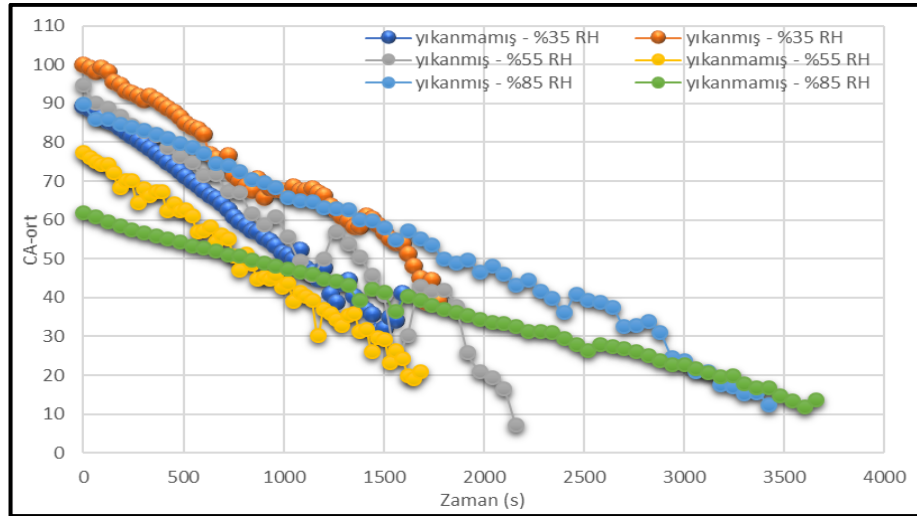
Şekil 7.59: 3 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde hacim grafiği.

%85 RH yıkanmamış yüzeyde damla hacmi yaklaşık 4  $\mu l$  olduğundan Şekil 7.57'de en yüksek damla yarıçapı değerine sahiptir.



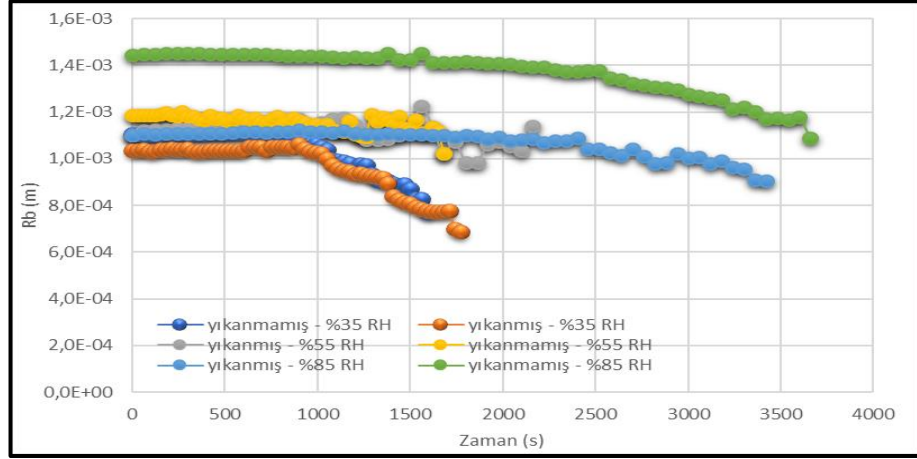
Şekil 7.60: 3 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde buharlaşma hızları grafiği.

%35 RH yıkanmamış yüzeyde buharlaşması yıkanmış yüzeyde gerçekleşen buharlaşmadan daha kısa sürede gerçekleşmiştir. %55 ve %35 RH ise yıkanmış yüzeyde damla buharlaşma süresi daha kısadır.



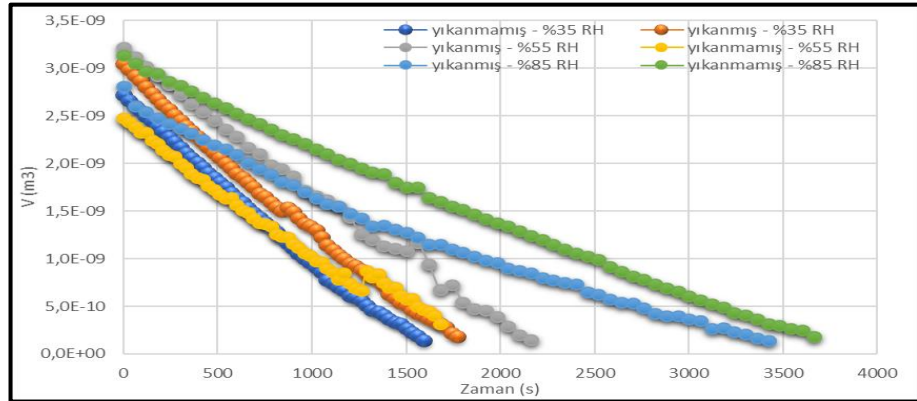
Şekil 7.61: 2 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde temas açısı grafiği.

%35 RH yıkanmış ve yıkanmamış yüzeyde başlangıç temas açıları sırasıyla 100° ve 89,5°'dir. %55 RH yıkanmış ve yıkanmamış yüzeyde başlangıç temas açıları sırasıyla 94,97° ve 77,65°'dir. %85 RH yıkanmış ve yıkanmamış yüzeyde başlangıç temas açıları sırasıyla 90,3° ve 62,04°'dir. Yıkanmış yüzeylerde ortalama başlangıç temas açısı 95° iken yıkanmamış yüzeylerde ortalama başlangıç temas açısı 77°'dir.

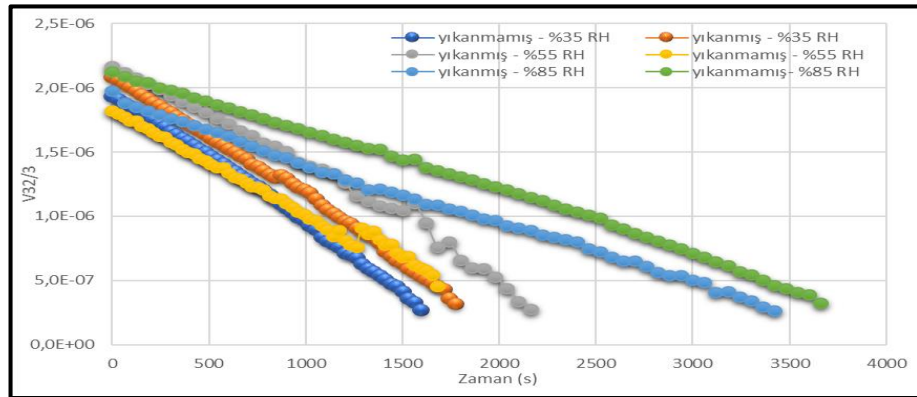


Şekil 7.62: 2 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde yarıçap grafiği.

Damla yarıçap değerlerinin azalması damlanın yüzeyde toplanma durumunu göstermektedir. %85 RH yıkanmamış yüzeyde yarıçap değeri daha büyüktür.



Şekil 7.63: 2 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde hacim grafiği.



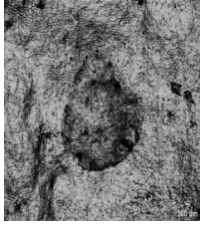
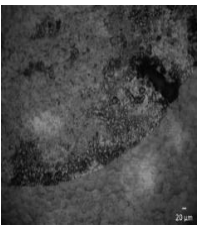
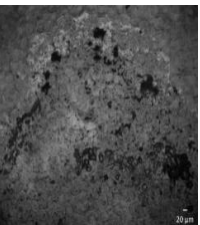
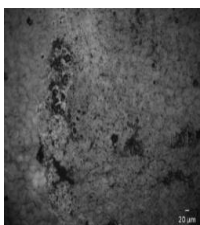
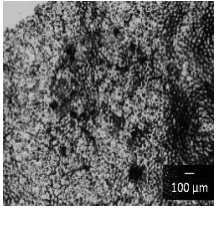
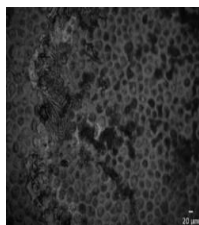
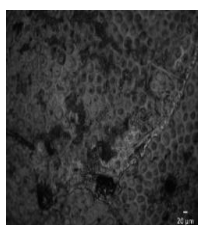
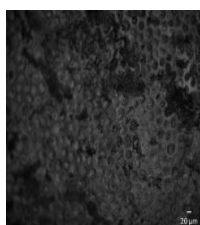
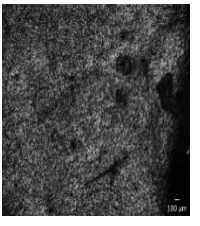
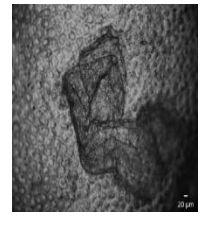
Şekil 7.64: 2 mg/ml Hekplan %35, %55 ve %85 bağıl nemde yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinde buharlaşma hızları grafiği.

Tablo 7.34: Hekplan yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeyinde buharlaşma hızları grafiği.

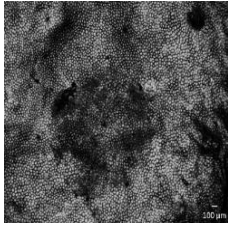
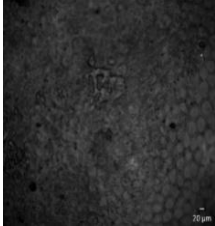
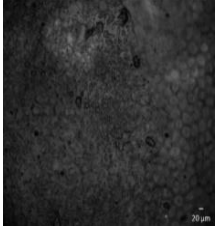
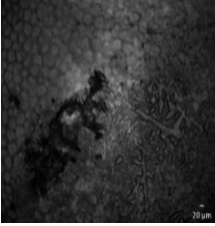
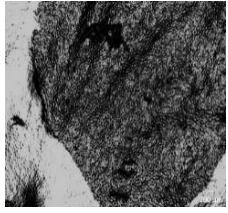
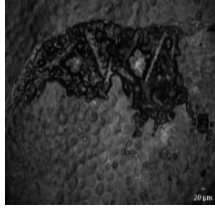
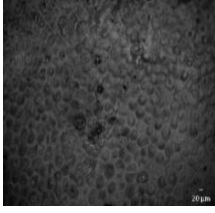
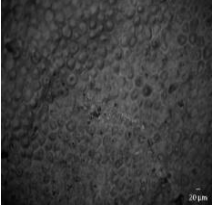
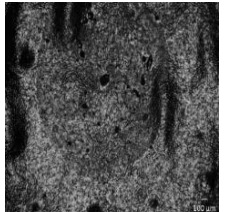
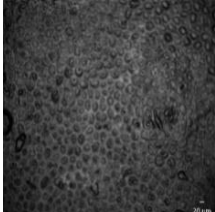
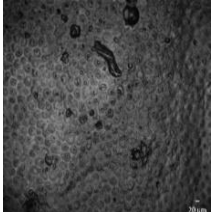
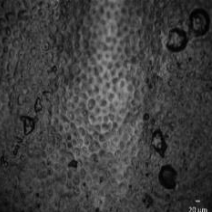
| Hız             | $\frac{dV^{2/3}}{dt}$ |          |          |                  |          |          |
|-----------------|-----------------------|----------|----------|------------------|----------|----------|
| Yüzey           | Yıkanmış Yüzey        |          |          | Yıkanmamış Yüzey |          |          |
| % RH            | 35                    | 55       | 85       | 35               | 55       | 85       |
| 2 mg/ml Hekplan | 9,70E-10              | 8,38E-10 | 4,69E-10 | 1,04E-09         | 7,61E-10 | 4,77E-10 |
| 3 mg/ml Hekplan | 7,36E-10              | 7,63E-10 | 3,52E-10 | 1,01E-09         | 7,36E-10 | 3,32E-10 |

%35 ve %85 RH koşullarında yıkanmamış yüzeyde daha hızlı buharlaşırken, %55 bağıl nemde ise yıkanmış yüzeyde daha hızlı buharlaşma gerçekleşmiştir. Yıkanmamış yüzeylerde temas açısı değerleri daha düşük olduğundan, damla buharlaşma süresi boyunca temas alanı daha fazla olduğundan buharlaşma daha hızlı gerçekleşmiştir.

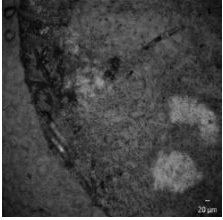
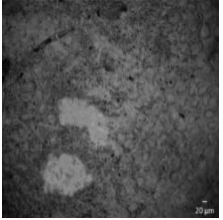
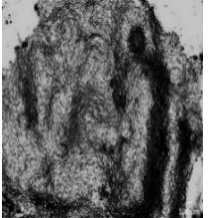
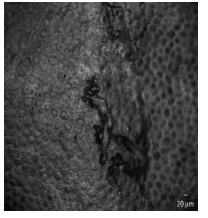
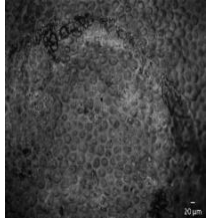
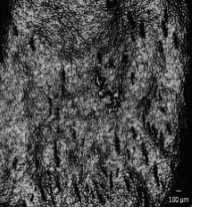
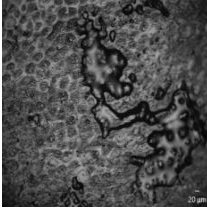
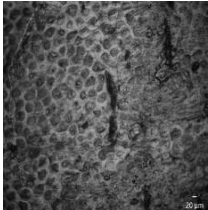
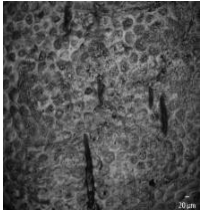
Tablo 7.35: 2 mg/ml Hekplan yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 50 X                                                                                | 200 X                                                                                |                                                                                      |                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |   |  |  |
| 55  |  |   |  |  |
| 85  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |

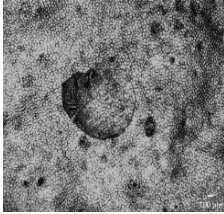
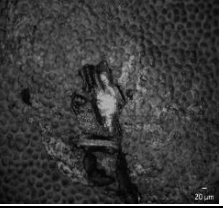
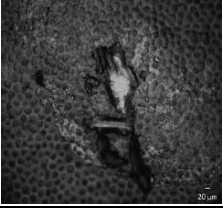
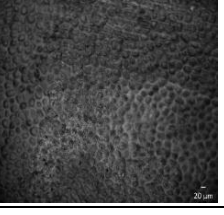
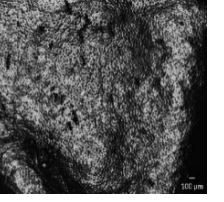
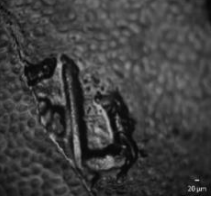
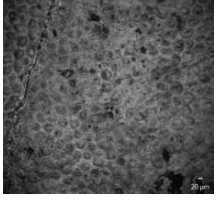
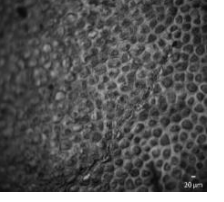
Tablo 7.36: 3 mg/ml Hekplan yıkanmamış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 X ve 200 X büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 50 X                                                                               | 200 X                                                                              |                                                                                     |                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |   |   |   |
| 55  |   |   |   |   |
| 85  |  |  |  |  |

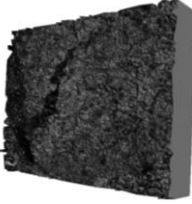
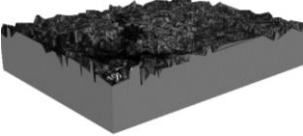
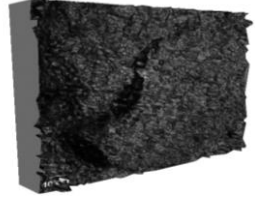
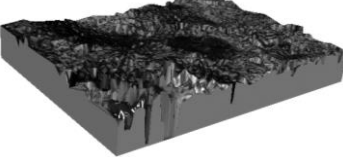
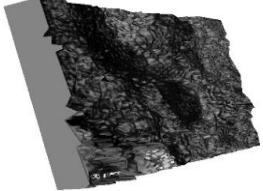
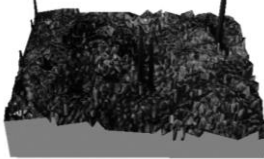
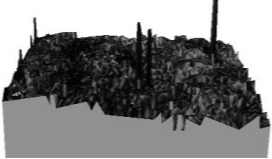
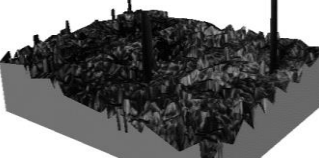
Tablo 7.37: 2 mg/ml Hekplan yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 XM ve 200 XM büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 50 X                                                                                | 200 X                                                                               |                                                                                       |                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |  |   |  |
| 55  |  |  |  |                                                                                       |
| 85  |  |  |   |  |

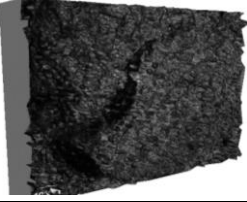
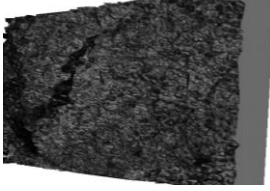
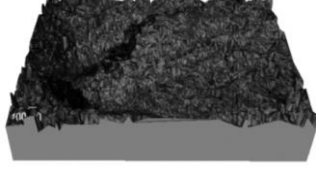
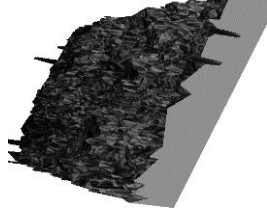
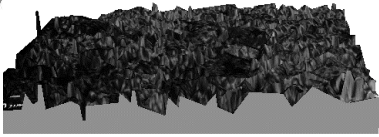
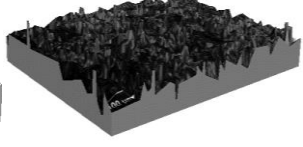
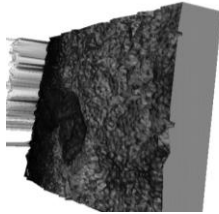
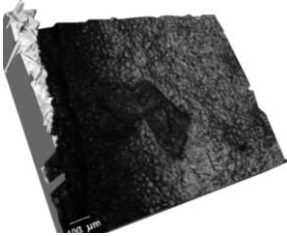
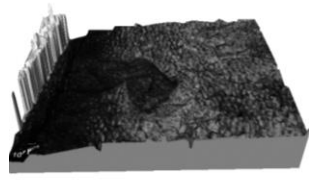
Tablo 7.38: 3 mg/ml Hekplan yıkanmış domates üzerinde damla buharlaşması sonrası 50 XM ve 200 XM büyütme ile optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 50 X                                                                               | 200 X                                                                              |                                                                                     |                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |   |   |   |
| 55  |   |   |   |   |
| 85  |  |  |  |  |

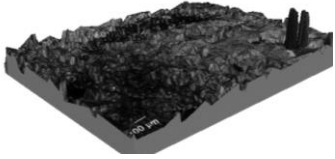
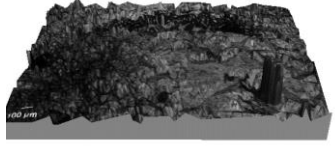
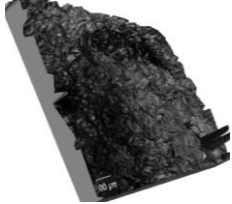
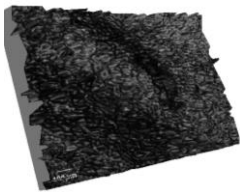
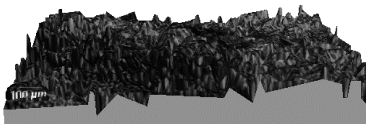
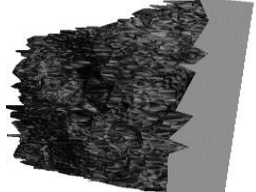
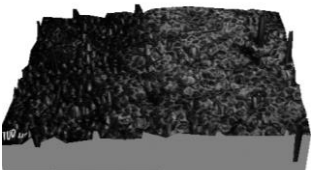
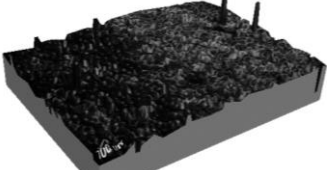
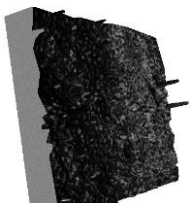
Tablo 7.39: 2 mg/ml Hekplan yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

| %RH | 2 mg/ml Hekplan – yıkanmış domates                                                  |                                                                                      |                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |   |  |
| 55  |  |  |  |
| 85  |  |   |  |

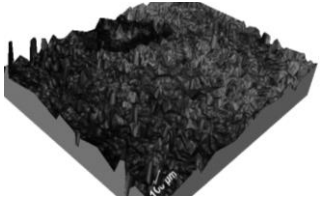
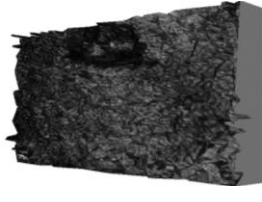
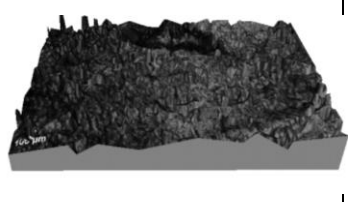
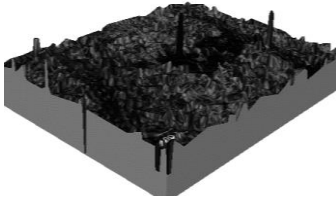
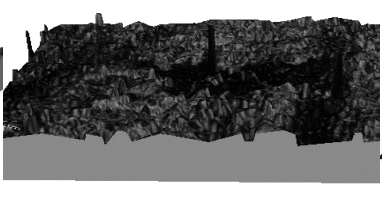
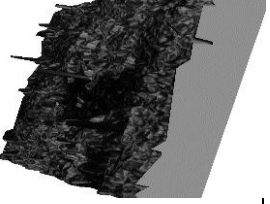
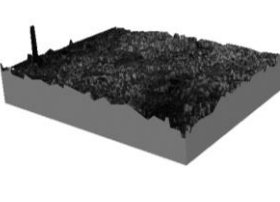
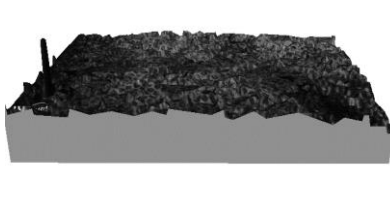
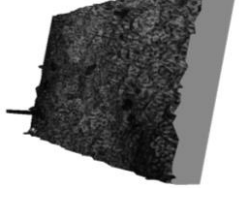
Tablo 7.40: 2 mg/ml Hekplan yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

| %RH | 2 mg/ml Hekplan – yıkanmamış domates                                               |                                                                                     |                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |   |   |
| 55  |   |   |   |
| 85  |  |  |  |

Tablo 7.41: 3 mg/ml Hekplan yıkanmış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

| %RH | 3 mg/ml Hekplan – yıkanmış domates                                                  |                                                                                      |                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |  |  |
| 55  |  |  |  |
| 85  |  |  |  |

Tablo 7.42: 3 mg/ml Hekplan yıkanmamış domates üzerinde buharlaşma sonrası 3D kalıntı görüntüleri.

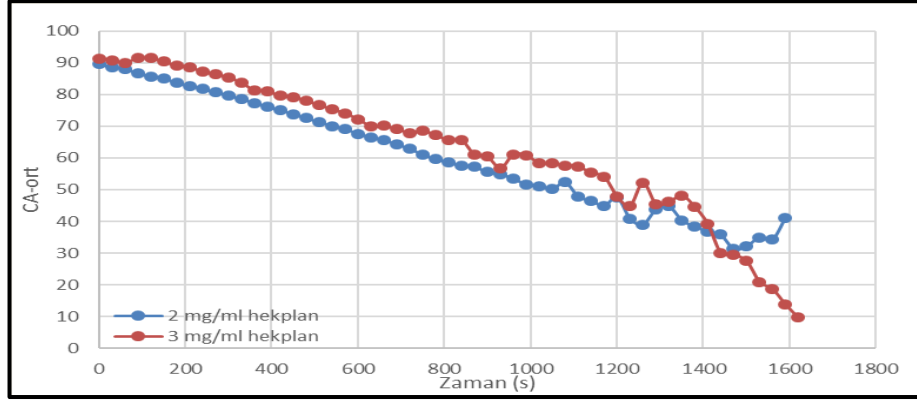
| %RH | 3 mg/ml Hekplan – yıkanmamış domates                                               |                                                                                     |                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |   |   |
| 55  |   |   |   |
| 85  |  |  |  |

2 mg/ml Hekplan yıkanmış domates üzerinde daha net ve daha iyi görüntüler elde edilmiştir. Yıkanmış domates üzerinde partiküller daha çok bir arada gözlenmiştir. Buharlaşma esnasında partiküller damlanın yüzeyde temas ettiği kısımlarda kalarak buharlaşma gerçekleşmiştir. 3 mg/ml Hekplan yıkanmamış ve yıkanmamış domates üzerindeki görüntüleri karşılaştıracak olursak, yıkanmış yüzeyde kalıntılar daha net gözlenmiş olup, nispeten tabaka halinde yayılmıştır.

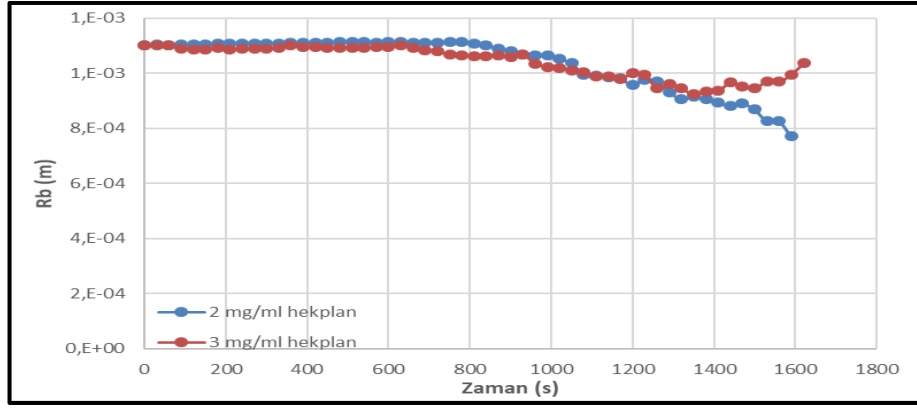
### 7.3.2. Hekplan Konsantrasyonun Hekplan Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Hekplan Kalıntısı Geometrisine Etkileri

Bu başlık altında yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeylerinden her biri için, %35, %55 ve %85 RH koşulları altında, tüm farklı konsantrasyon verileri üst üste çizilerek konsantrasyon farkının damla buharlaşması verilerini daha iyi değerlendirebilmek amacı hedeflenmiştir.

Şekil 7.65'te 2 mg/ml ve 3 mg/ml Hekplan temas açısı değerleri 89,5° ve 91,3°'dir. 3 mg/ml konsantrasyona sahip Hekplan temas açısı değerleri buharlaşma boyunca daha büyüktür.

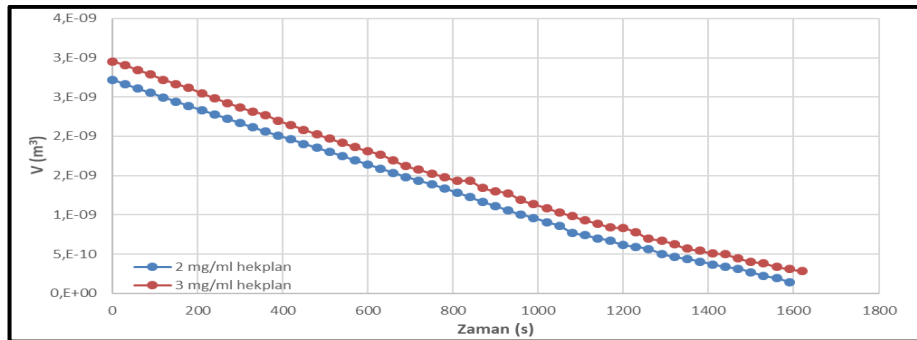


Şekil 7.65: Yıkanmamış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.



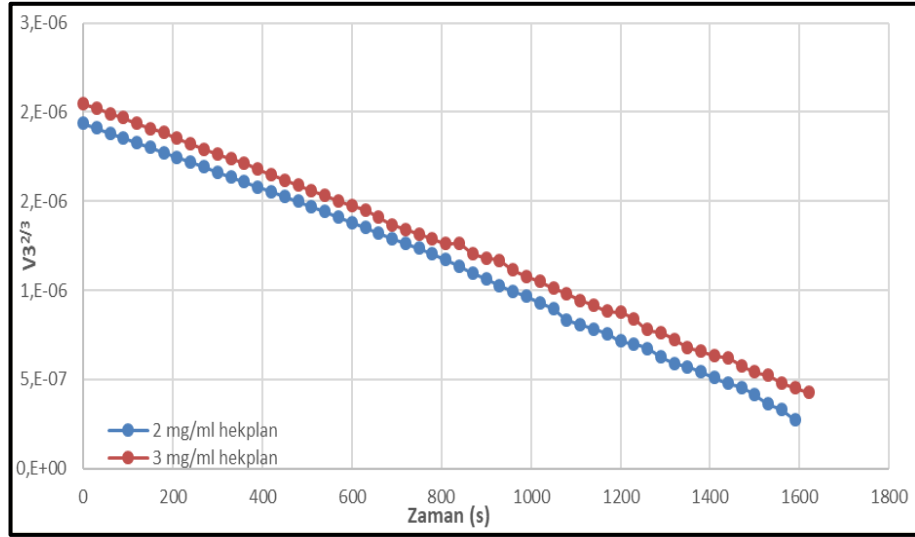
Şekil 7.66: Yıkanmamış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

Buharlaştırma tamamlanması ile grafikte görülen yarıçap değerlerine bakılacak olursa 2 mg/ml konsantrasyonlu damla, yüzeyde daha fazla toplanma davranışı göstermiştir. Konsantrasyonu düşük olan damlada daha az partikül oluşu ve bu partiküllerin bir araya toplanma isteği daha küçük çapta bir kalıntıya neden olmaktadır.



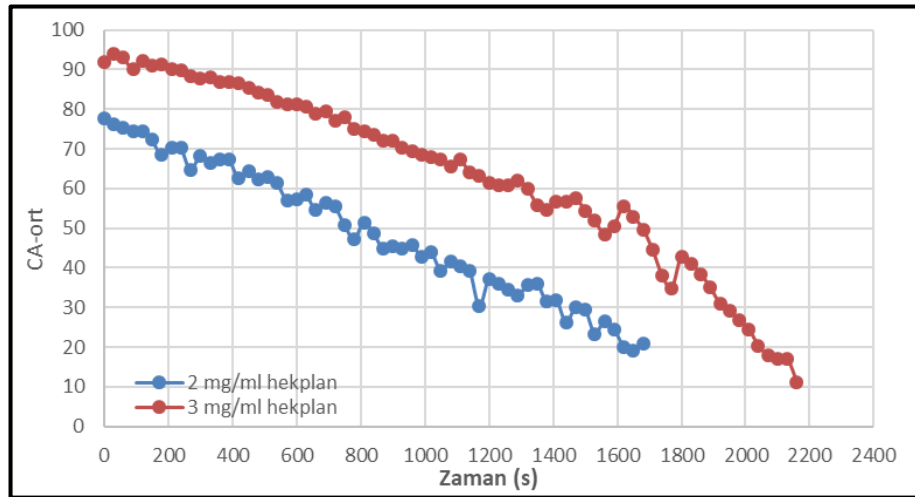
Şekil 7.67: Yıkanmamış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.

Konsantrasyonların zamanla hacimleri azalmıştır. Buharlaşma boyunca damlalar hacim kaybetmişlerdir. Şekil 7.68 ile buharlaşma hızları yorumlanabilir.



Şekil 7.68: Yıkılmamış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

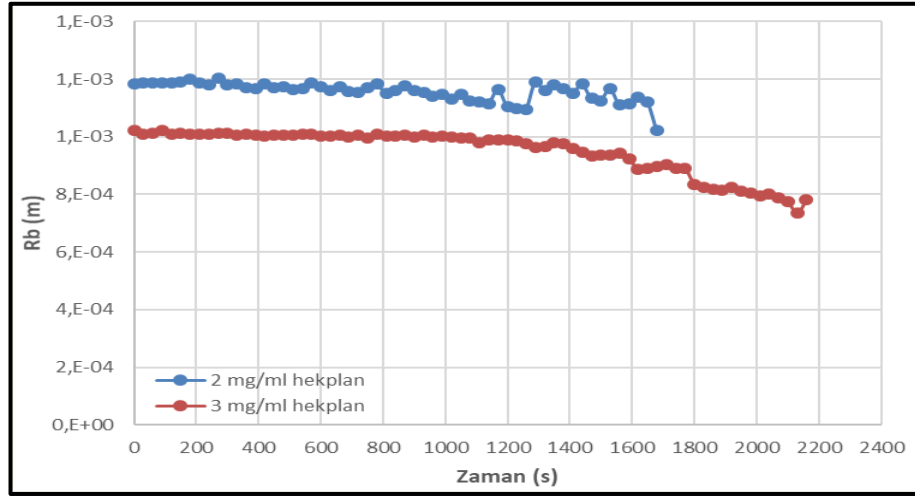
Şekil 7.68'den elde edilen eğimler 2 mg/ml için  $1,04E-09$  olup, 3 mg/ml için ise  $1,01E-09$  olarak elde edilmiştir. Buharlaşma hızları arasında oldukça küçük bir fark mevcuttur.



Şekil 7.69: Yıkılmamış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

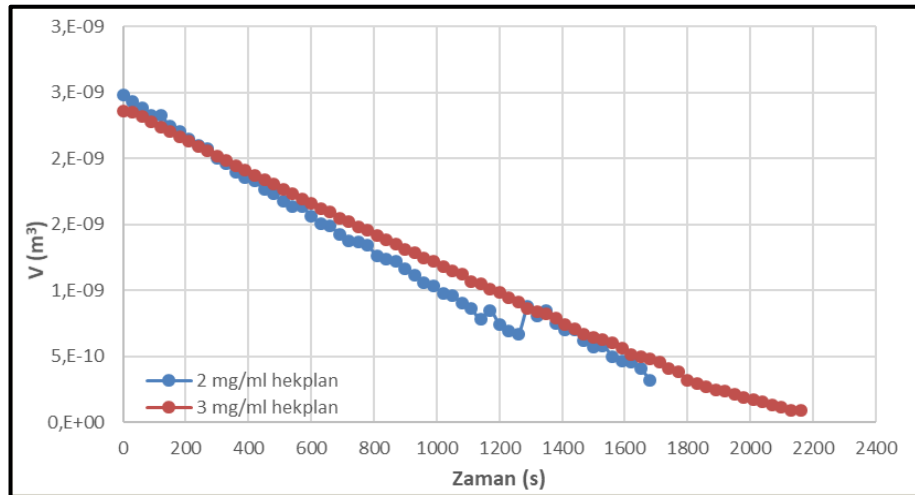
2 mg/ml konsantrasyona sahip damla başlangıç temas açısı 77,65 derece, 3 mg/ml konsantrasyona sahip damla ise 91,84 derecedir. Konsantrasyonu yüksek olan

damla temas açısı değerleri başlangıçta ve buharlaşma boyunca daha büyüktür. Temas açısı zamanla azalırken, bazı saniyelerde damlalar toplanma eğilimi göstermişlerdir.



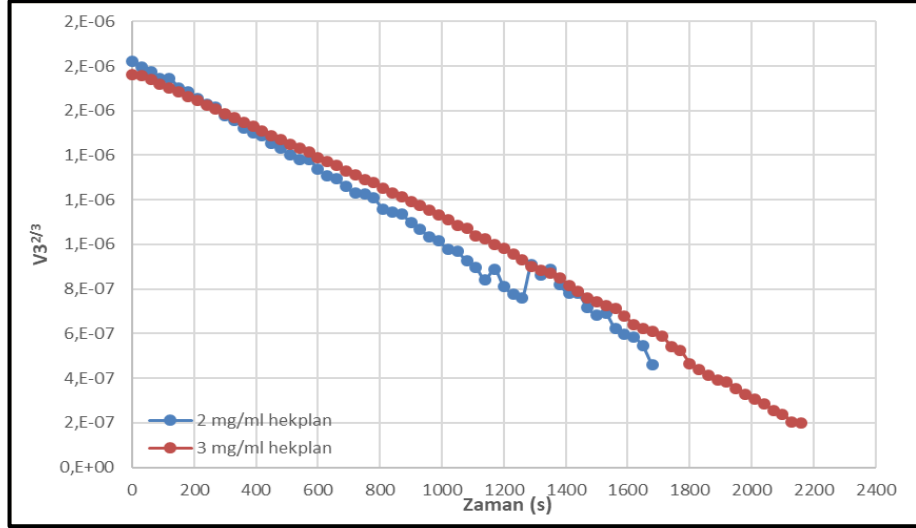
Şekil 7.70: Yıkanmamış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

2 mg/ml konsantrasyona sahip damla konsantrasyonu daha düşük olan damla yarıçap değeri başlangıç anından itibaren daha büyük yarıçap değerine sahip olup, yüzeyde daha fazla yayılmıştır. 3 mg/ml olan damla daha fazla partikül içerdiğinden bu partiküller daha fazla toplanma eğilimi göstermişlerdir.



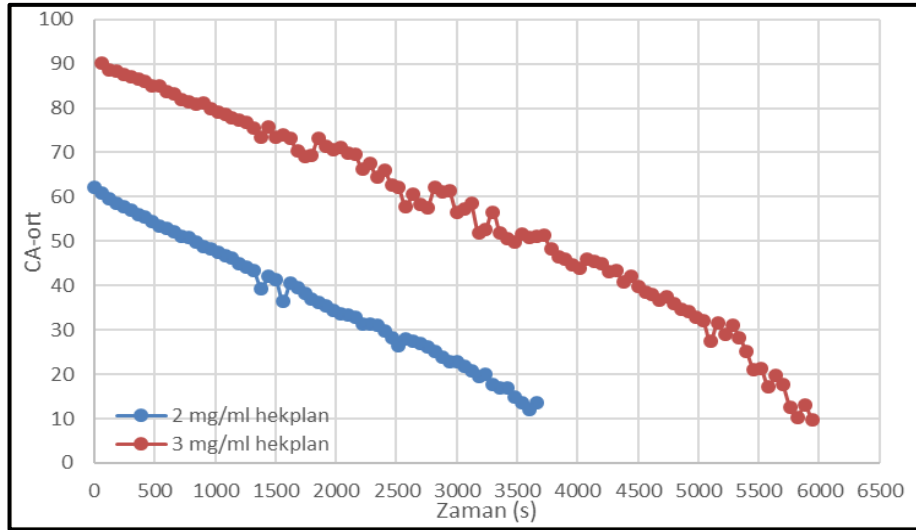
Şekil 7.71: Yıkanmamış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.

%55 RH koşullarında yıkanmamış domates yüzeyinde damlaların buharlaşma süresi boyunca hacim verilerine ait bilgiler Şekil 7.70'de yer almaktadır.



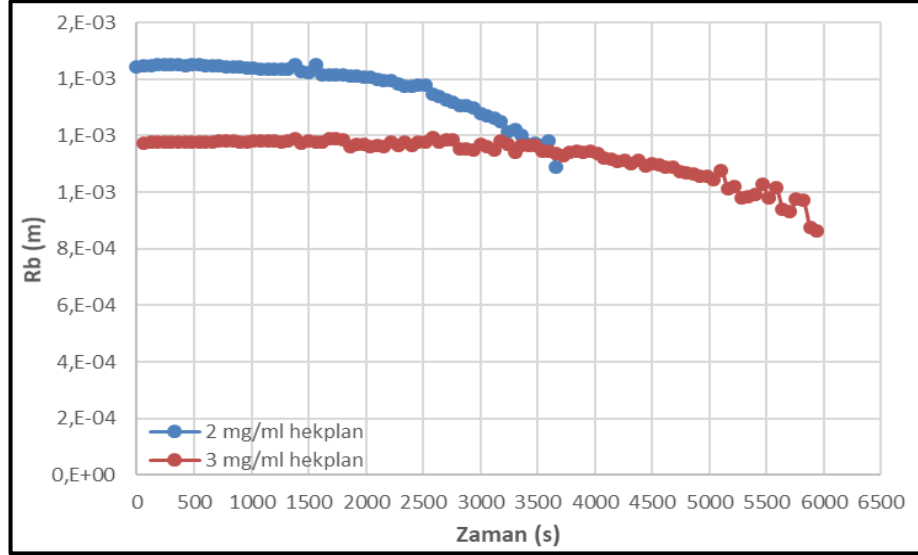
Şekil 7.72: Yıkanmamış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

2 mg/ml konsantrasyona sahip damlanın buharlaşma hızı  $7,61E-10$  iken, 3 mg/ml konsantrasyona sahip damlanın buharlaşma hızı  $7,36E-10$  olarak eğim verilerinden elde edilmiştir.



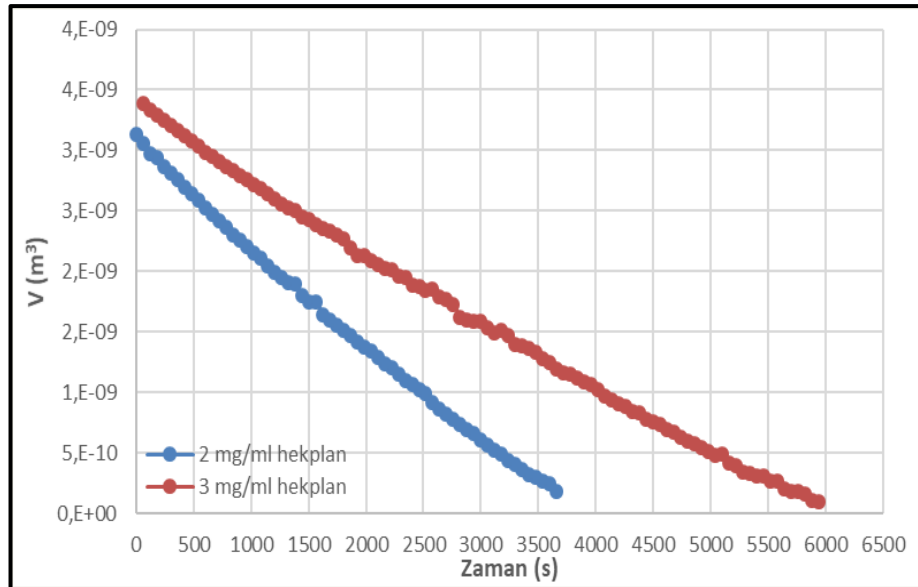
Şekil 7.73: Yıkanmamış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

Konsantrasyonu düşük olan 2 mg/ml damla, partiküllerin az olması nedeniyle yüzeyde daha fazla yayılmıştır ve temas açısı daha düşüktür. 3 mg/ml konsantrasyonlu damla başlangıç temas açısı ve buharlaşma süresi boyunca temas açısı değerleri yüksektir. Partiküllerin birbirini çekim kuvvetinden dolayı damla ile yüzey arasındaki gerilim daha fazladır.



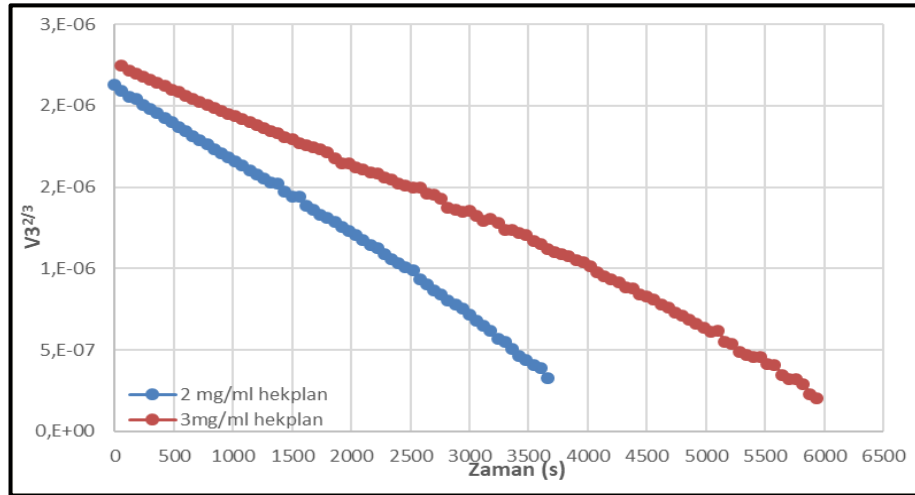
Şekil 7.74: Yıkanmamış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

Konsantrasyonu daha düşük olduğundan 2 mg/ml Hekplan daha yüksek yarıçap değerine sahip olup, yüzeyde daha fazla yayılmıştır. Konsantrasyonun artmasıyla daha fazla katı partikül içeren 3 mg/ml konsantrasyonlu damla yüzeyde daha fazla toplanma davranışı sergilemiştir.



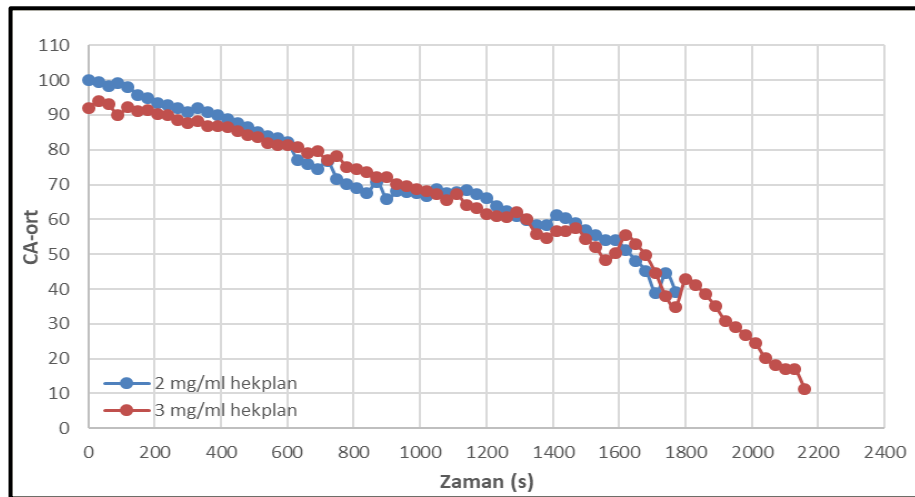
Şekil 7.75: Yıkanmamış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.

Buharlaştırma boyunca gerçekleşen hacim azalışı Şekil 7.75'de yer almaktadır. Başlangıç hacimlerinde az da olsa fark mevcuttur.



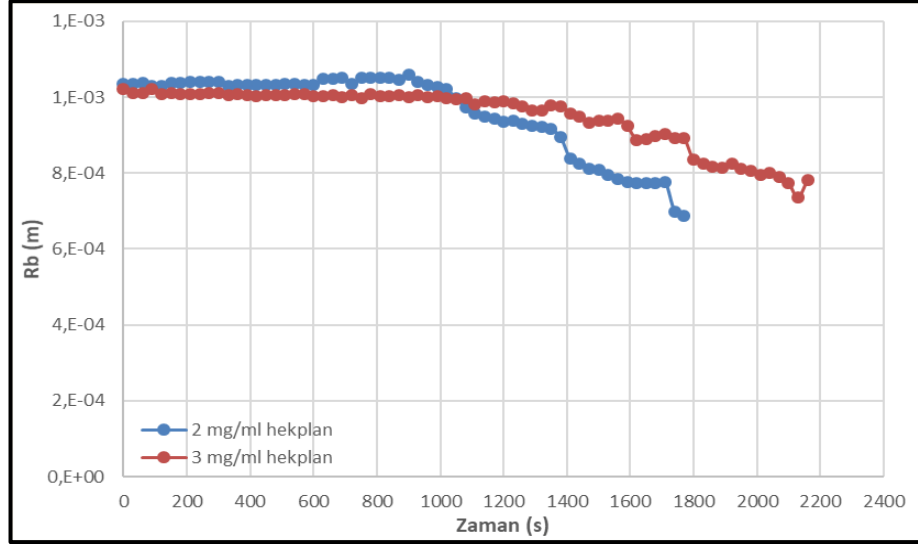
Şekil 7.76: Yıkanmamış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

2 mg/ml konsantrasyona sahip damla daha hızlı buharlaşmıştır. Ancak başlangıç hacmi 3 mg/ml konsantrasyonlu damladan daha düşüktür. 2 mg/ml konsantrasyonlu Hekplan damlası buharlaşma hızı  $4,77E-10$  iken, 3 mg/ml konsantrasyonlu Hekplan damlası buharlaşma hızı  $3,32E-10$  olarak Tablo 7.26'da yer almaktadır.



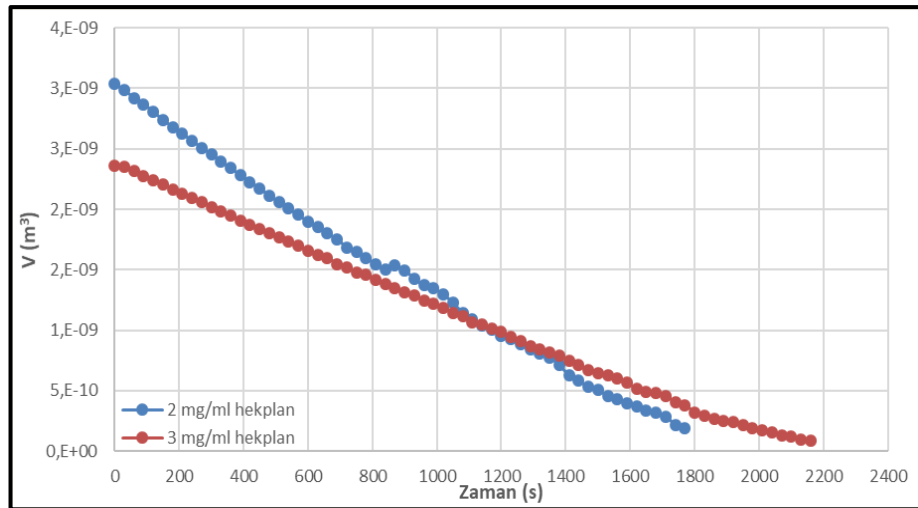
Şekil 7.77: Yıkanmış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

Yıkanmış domates yüzeyinde %35 RH koşullarında, 2 mg/ml konsantrasyonlu Hekplan damlasının başlangıç temas açısı 100 derece, 2 mg/ml konsantrasyonlu Hekplan damlasının başlangıç temas açısı ise 91,84 derecedir. Yıkanmış domates yüzeyinde temas açısı değerleri daha büyüktür.



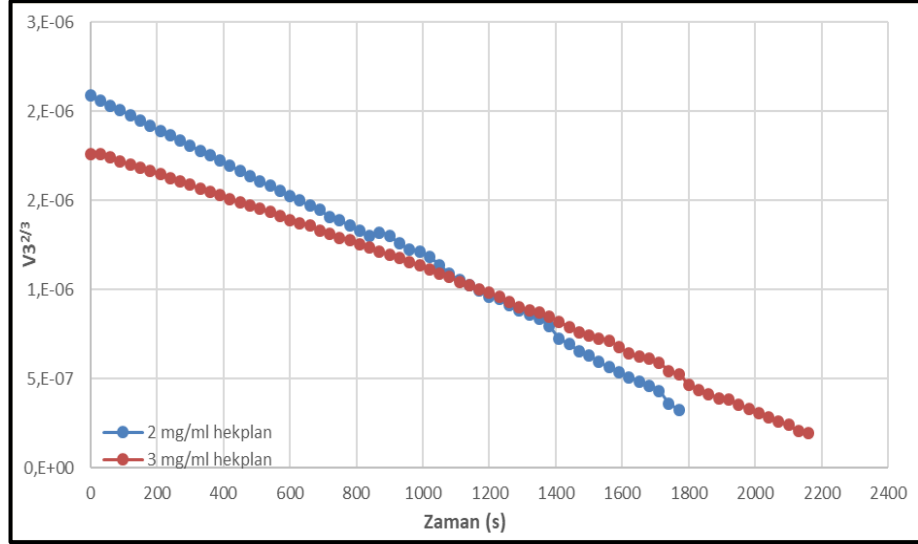
Şekil 7.78: Yıkanmış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

Azalan temas açısı değerlerine karşı, sabit kalan temas yarıçapı değerleri buharlaşmanın CCR modunda gerçekleştiğini gösterir. Buharlaşma sonlarına doğru sıvı fazın buharlaşması ile kalan katı partiküller yüzeyde toplanma eğilimi göstermişlerdir.



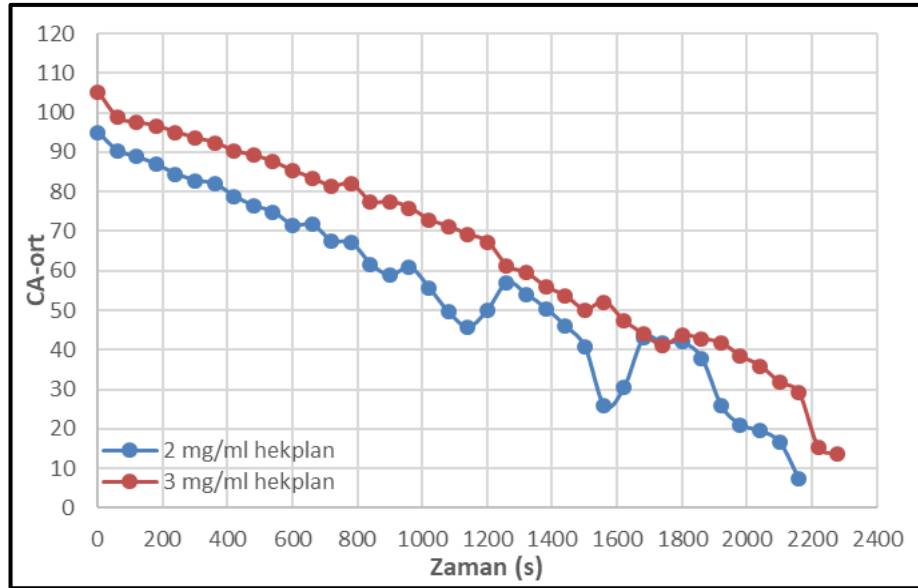
Şekil 7.79: Yıkanmış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.

3 mg/ml Hekplan damlasının başlangıç hacmi 2 mg/ml Hekplan damlasının başlangıç hacminden küçüktür. Buharlaşma boyunca gerçekleşen sıvı fazın buharlaşması ve yüzeyde katı partiküllerin kalması ile damla hacmi buharlaşma boyunca zamanla azalmıştır.



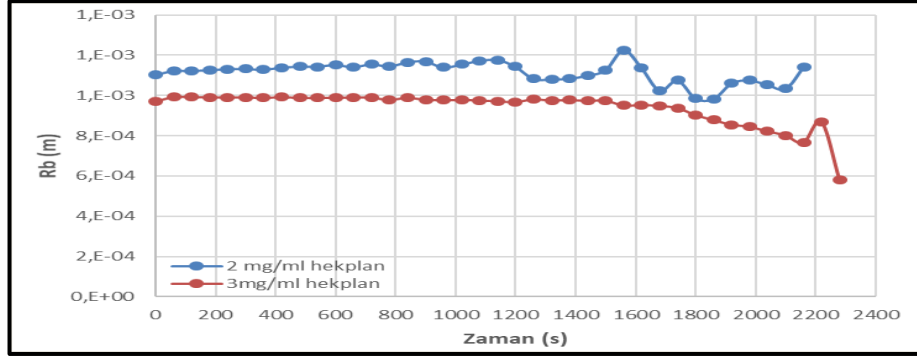
Şekil 7.80: Yıkanmış yüzeyde %35 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

2 mg/ml Hekplan buharlaşma hızı grafiğinin eğiminden,  $9,70E-10$  ve 3 mg/ml Hekplan buharlaşma hızı  $7,36E-10$ 'dur. 2 mg/ml konsantrasyona sahip damla daha hızlı buharlaşmıştır.



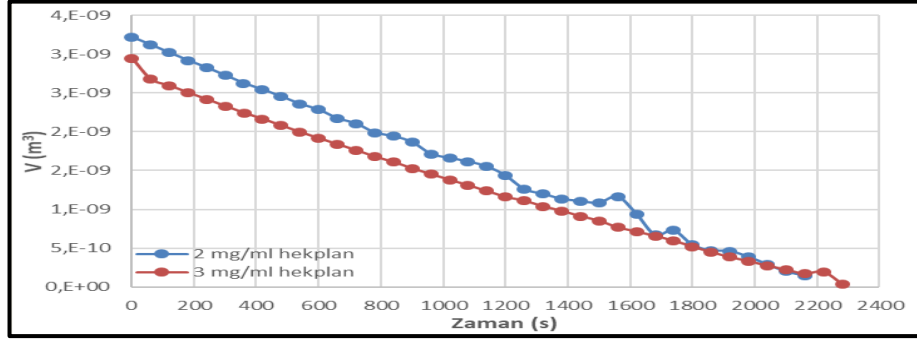
Şekil 7.81: Yıkanmış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

2 mg/ml Hekplan başlangıç temas açısı  $94,97$  derece, 3 mg/ml Hekplan başlangıç temas açısı ise  $105,23$  derecedir. Konsantrasyonu yüksek olan damlanın temas açısı buharlaşma boyunca da daha yüksektir.



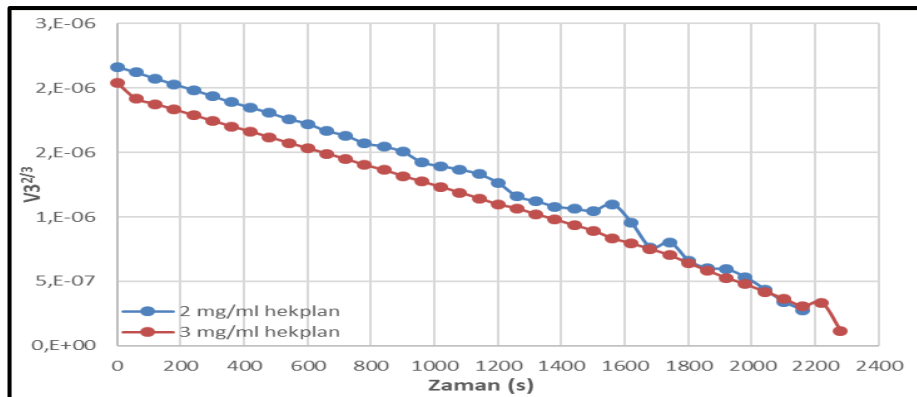
Şekil 7.82: Yıkanmış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

Her iki konsantrasyon içinde yarıçap değerleri buharlaşma süresi boyunca temas açısı azaldığından CCR modunda buharlaşma gözlenmiştir.



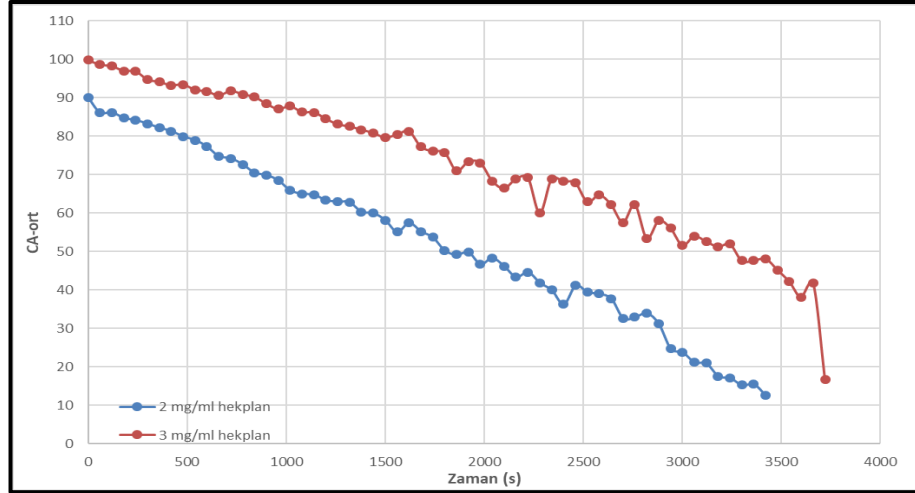
Şekil 7.83: Yıkanmış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.

2 mg/ml Hekplan 1400 saniyeden sonra toplanma davranışı gözlenmiştir. 3 mg/ml Hekplan konsantrasyonuna sahip damlanın zamanla hacim azalışı oldukça doğrusaldır.



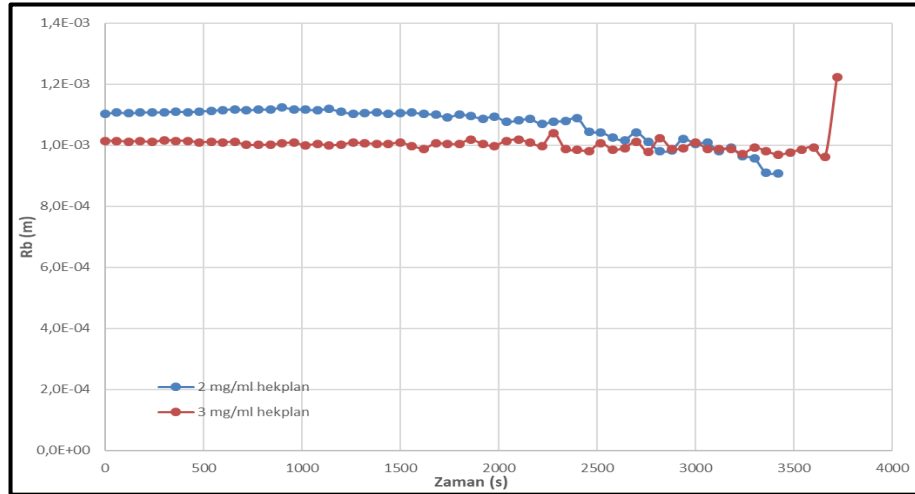
Şekil 7.84: Yıkanmış yüzeyde %55 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

%55 RH yıkanmış yüzeyde 2 mg/ml Hekplan buharlaşma hızı  $8,38E-10$  ve 3 mg/ml Hekplan buharlaşma hızı  $7,63E-10$ 'dur. Konsantrasyonu düşük olan damla daha hızlı buharlaşmıştır.



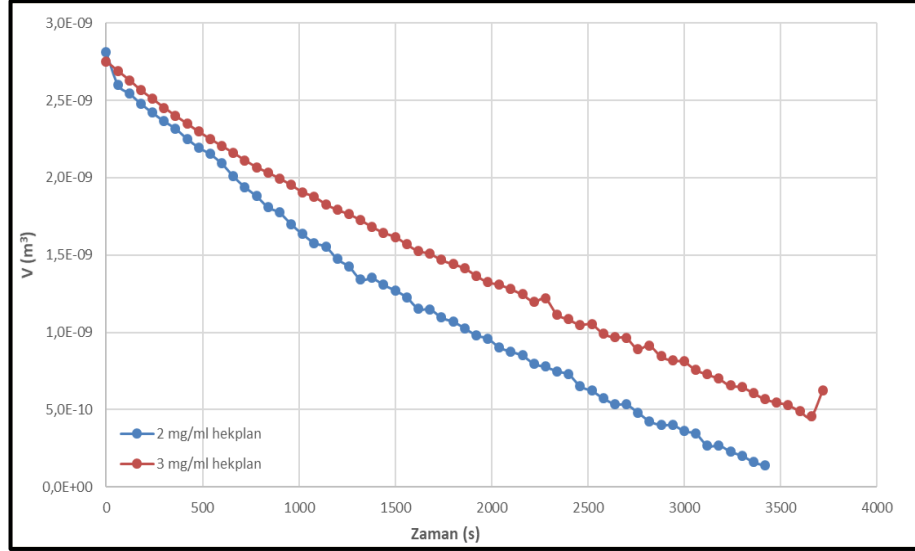
Şekil 7.85: Yıkanmış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının temas açısı grafiği.

Konsantrasyon artışı ile başlangıç temas açısı artmıştır. Buharlaşma süresi boyunca 3 mg/ml Hekplan damlasının temas açıları daha yüksektir.



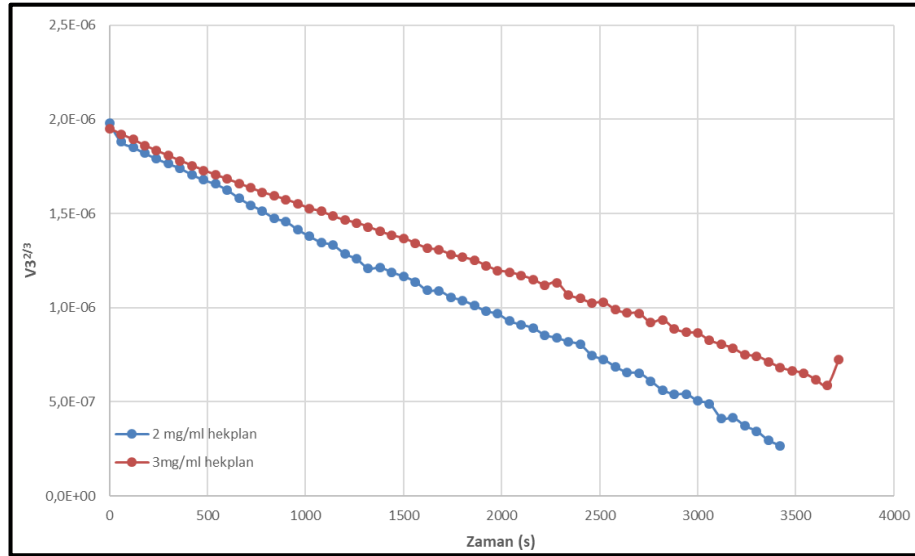
Şekil 7.86: Yıkanmış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının yarıçap grafiği.

Temas açıları zamanla azalırken damlanın yüzeyle olan temas açısı sabit kalmıştır. Damla buharlaşması CCR modunda gerçekleşmektedir. 2 mg/ml Hekplan yüzeyde daha fazla yayılmıştır.



Şekil 7.87: Yıkanmış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının hacim grafiği.

2 mg/ml Hekplan ve 3 mg/ml Hekplan damlanın başlangıç hacimleri yaklaşık 2,7 mikro litredir.



Şekil 7.88: Yıkanmış yüzeyde %85 RH farklı konsantrasyonlardaki Hekplan dispersiyonlarının buharlaşma hızı grafiği.

2 mg/ml Hekplan daha kısa sürede buharlaşmıştır. Kalıntı görüntülerinden, 3 mg/ml konsantrasyona sahip Hekplan damlası daha konsantre olduğundan yüzeyde daha fazla Hekplan kalıntısı bulunmaktadır. Ayrıca konsantrasyon artışı ile tabaka halinde kalıntı gözlenmiştir.

### 7.3.3. Bağlı Nem Farkının Hekplan Damla Buharlaştırma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Hekplan Kalıntısı Geometrisine Etkileri

7.3.1 başlık numaralı konu içeriğinde sunulan grafiklerde, konsantrasyon sabit tutulurken, yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde %35 RH, yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde %55 RH ve yıkanmış ve yıkanmamış domates üzerinde %85 RH koşullarında dispersiyon damlalarının buharlaştırma verileri grafiklere aktarılmıştır. Bu grafikler üzerinden 7.3.1 numaralı konu başlığında yıkanmış ve yıkanmamış domates yüzeyleri üzerinden açıklayıcı yorumlamalar yapılmıştır. Bu başlıkta ise aynı grafiklerin RH verileri üzerinden açıklamalara yer verilecektir.

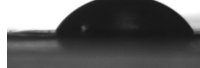
Şekil 7.57’de 3 mg/ml Hekplan yıkanmış ve yıkanmamış yüzeylerden her bir yüzey için tüm RH koşulları için temas açısı zamanla azalmıştır. RH artışı ile temas açısı değerlerindeki azalış yavaşlamıştır. Şekil 7.58’de 3 mg/ml Hekplan’ın farklı RH koşullarındaki yarıçap değerleri verilerine bakıldığında RH arttıkça damla kalıntıları daha fazla yayılmıştır. Bu da damlalarının daha geniş leke bıraktığı anlamına gelir. Yarıçap değerlerinin sabit ve temas açısının ise zamanla azalmasıyla damlanın buharlaştırma modu CCR modudur. Şekil 7.59 ve Şekil 7.60, 3 mg/ml Hekplan tüm bağlı nemlerde hacim azalışı verileri ile 3 farklı bağlı nem koşullarında dispersiyon damlasının buharlaştırma hızları hakkında verileri içermektedir. Bağlı nem artışı ile yıkanmış domates yüzeyinde de yıkanmamış domates yüzeyinde de dispersiyon damlasının buharlaştırma süresi uzamıştır.

Şekil 7.61’de 2 mg/ml dispersiyonunun Şekil 7.62 yarıçap verileri ile temas açısındaki sürekli azalış ile CCR modunda buharlaştırma 3 farklı RH koşullarında da gerçekleşmektedir. Şekil 7.63 ve Şekil 7.64 incelendiğinde 2 mg/ml Hekplan konsantrasyonlu dispersiyon damlası için RH arttıkça damla buharlaştırma süresi uzamaktadır.

RH artışı ile Hekplan kalıntılarının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görüntülerini yorumlamak için, 7.3.1 başlığı altında tablolarda verilen görüntüler yorumlanacaktır. RH artışı ile biriken alanlardaki partikül yoğunluğu arttığı gözlenmektedir

### 7.3.4. Dispersiyona Etanol ve İzopropanol Katılmasının Hekplan Damla Buharlaşma Hızına ve Domates Üzerinde Kalan Hekplan Kalıntısı Geometrisine Etkileri

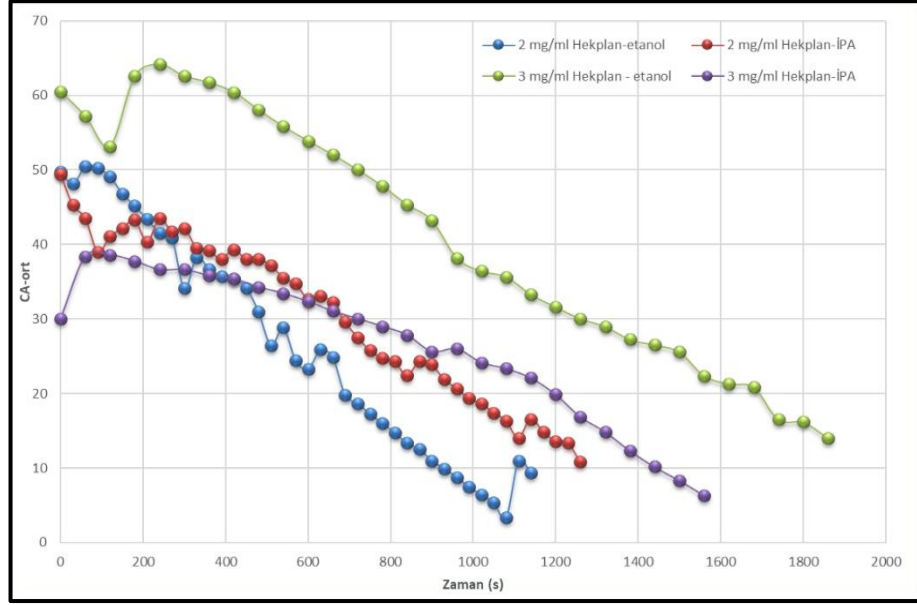
Tablo 7.43: Yıkanmamış domates üzerinde hekplan-alkol dispersiyonlarının t=0 anında ilk damla görüntüleri.

| %RH                           | 35                                                                                  | 55                                                                                   | 85                                                                                    |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 mg/ml<br>Hekplan-İPA        |    |    |    |
| 3 mg/ml<br>Hekplan-İPA        |    |    |    |
| 2 mg/ml<br>Hekplan-<br>Etanol |  |  |  |
| 3 mg/ml<br>Hekplan-<br>Etanol |  |  |  |

Tablo 7.44: Alkol eklenmiş Hekplan buharlaşma hızı verileri.

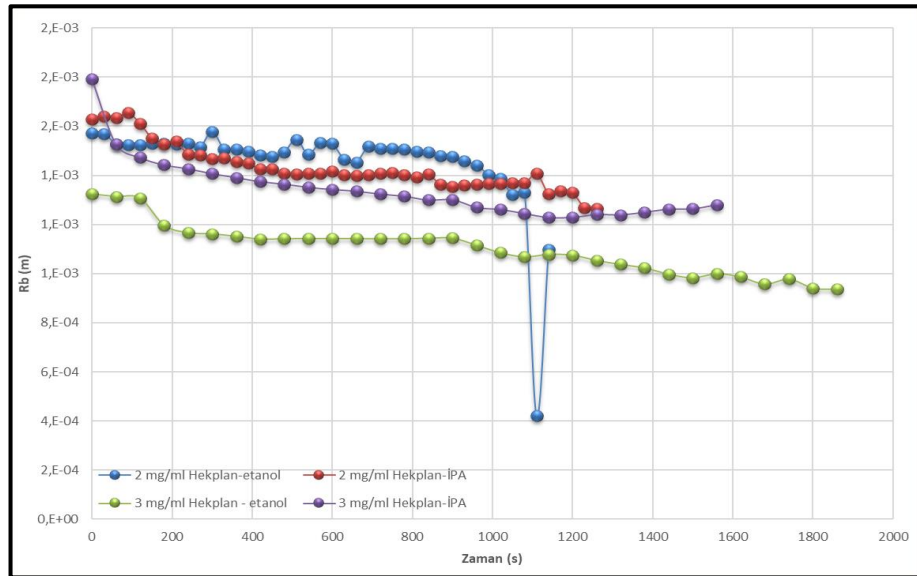
|         | $\frac{dV^{2/3}}{dt}$ |          |          |             |          |          |
|---------|-----------------------|----------|----------|-------------|----------|----------|
|         | Hekplan-Etanol        |          |          | Hekplan-İPA |          |          |
| %RH     | 35                    | 55       | 85       | 35          | 55       | 85       |
| 2 mg/ml | 1,57E-09              | 9,37E-10 | 2,09E-10 | 1,17E-09    | 1,05E-09 | 3,23E-10 |
| 3 mg/ml | 6,84E-10              | 2,59E-10 | 2,40E-10 | 7,58E-10    | 4,14E-10 | 3,47E-10 |

Tablo 7.44’de alkol eklenmiş Hekplan damlalarının buharlaşma hızı verileri yer almaktadır. Ayrıca bu veriler bu bölümde ilgili grafiklerde gösterilerek yorumlanmıştır.



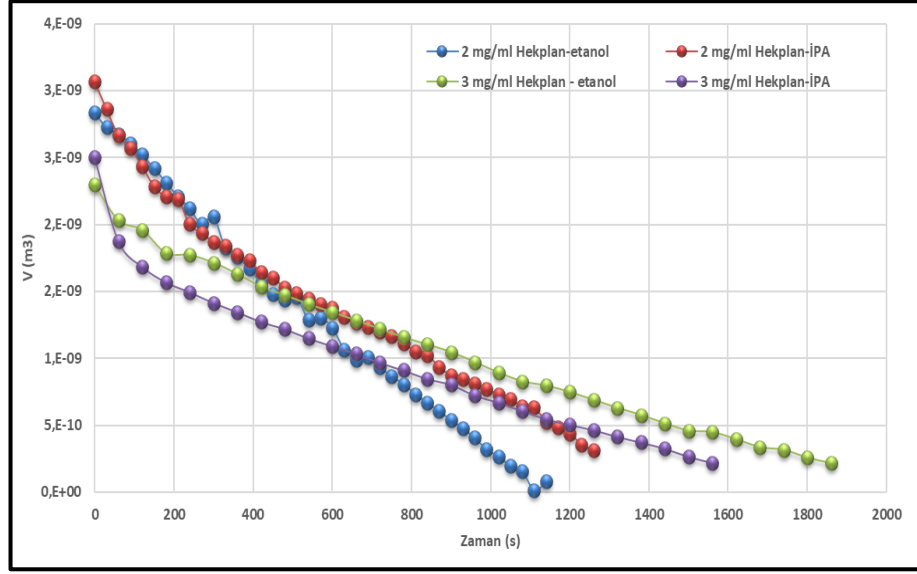
Şekil 7.89: %35 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan temas açısı grafiği.

2 mg/ml Hekplan-etanol başlangıç temas açısı 49,74 ve 3 mg/ml Hekplan-etanol başlangıç temas açısı 60,53, 2 mg/ml Hekplan-İPA 49,41 ve 3mg/ml Hekplan-İPA başlangıç temas açısı ise 30.01 derecedir. Hekplan-etanol başlangıç temas açısı değerleri hekplan-İPA başlangıç temas açısı değerlerinden daha büyüktür.

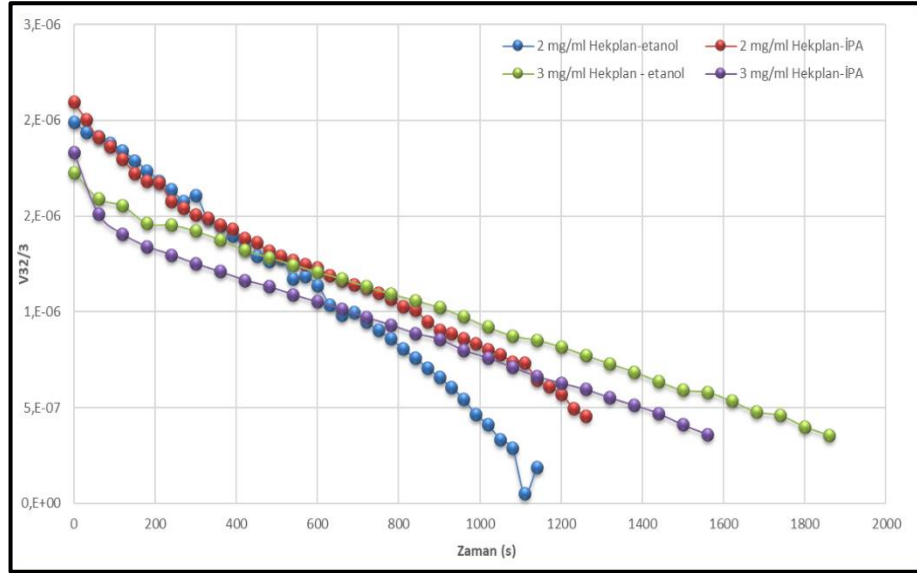


Şekil 7.90: %35 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan yarıçap grafiği.

İPA içeren damlalar buharlaşma tamamlanmasına yakın daha fazla yayılmıştır.

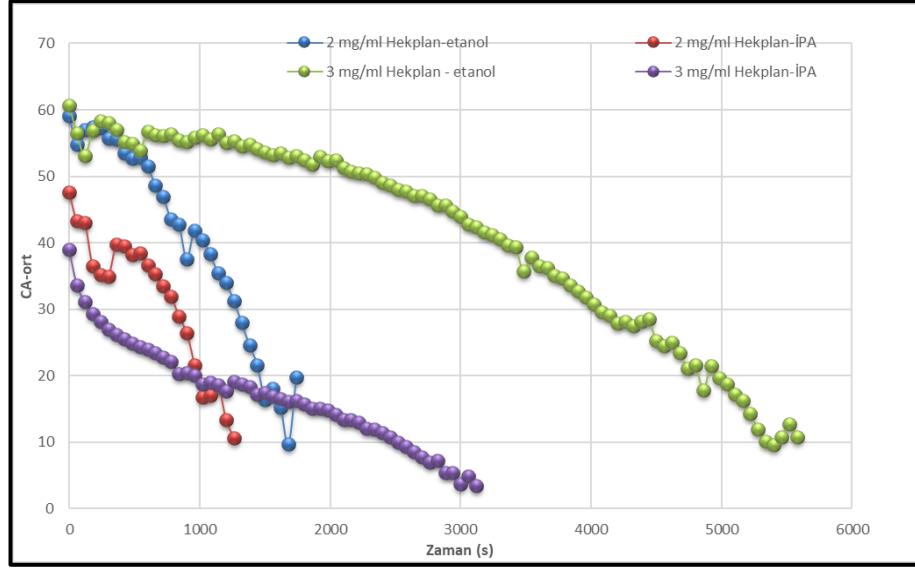


Şekil 7.91: %35 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan hacim grafiği.



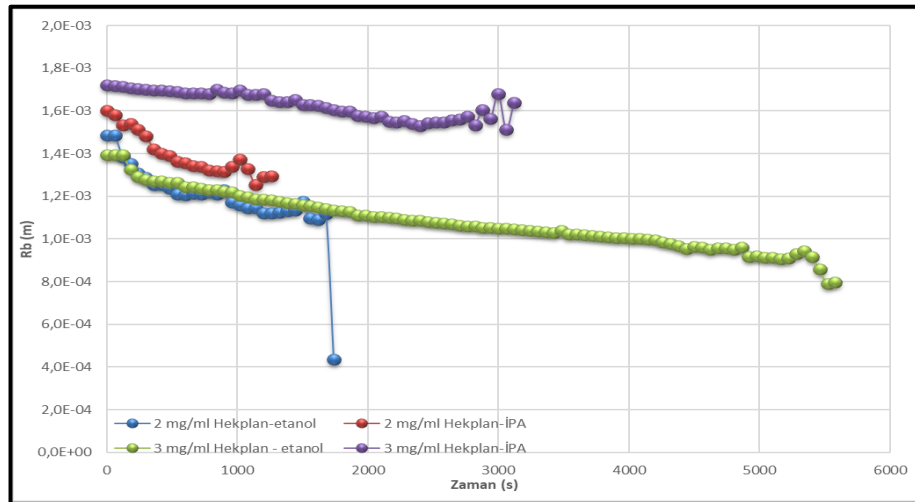
Şekil 7.92: %35 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan buharlaşma hızı grafiği.

En kısa buharlaşma süresine sahip damladan en yavaş buharlaşan damlaya doğru sıralarsak, 2 mg/ml hekplan-etanol, 2 mg/ml hekplan-İPA, 3 mg/ml hekplan-İPA ve 3 mg/ml hekplan-etanol damlasıdır. İPA eklenmiş damlaların buharlaşma süresi etanol eklenmiş damlaların buharlaşma süresinden daha kısadır.



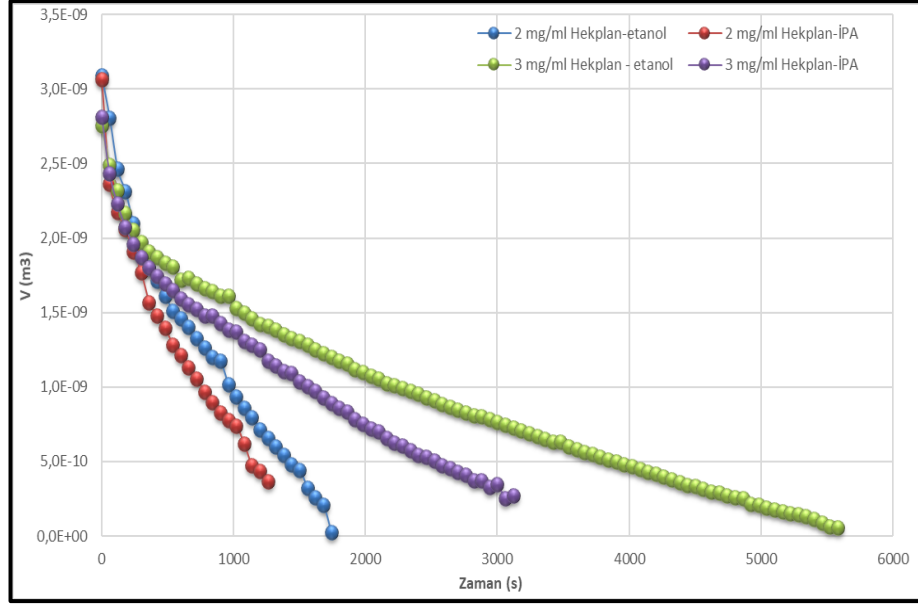
Şekil 7.93: %55 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan temas açısı grafiği.

2 mg/ml Hekplan-etanol damlasının başlangıç temas açısı 59 derece, 3 mg/ml Hekplan-etanol damlasının başlangıç temas açısı 60,67 derece, 2 mg/ml Hekplan-İPA damlasının başlangıç temas açısı 49,41 ve 3 mg/ml Hekplan-İPA damlasının başlangıç temas açısı 30,01 derecedir. Etanol içeren hekplan damlalarının başlangıç temas açısı değerleri İPA içeren damlaların başlangıç temas açısı değerlerinden daha büyüktür. İPA içeren damlalar yüzey ile daha fazla temas hattına sahiptirler.



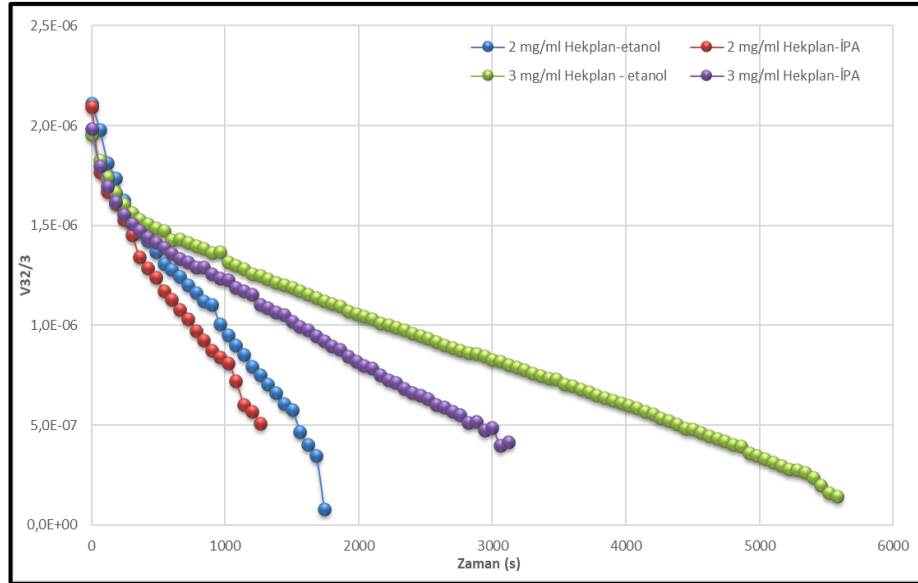
Şekil 7.94: %55 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan yarıçap grafiği.

İPA içeren Hekplan damlaları damla buharlaşması sonunda yüzeyde daha fazla toplanmışlardır. Çünkü damlaların yarıçap değerleri buharlaşma sonuna doğru azalmışlardır.



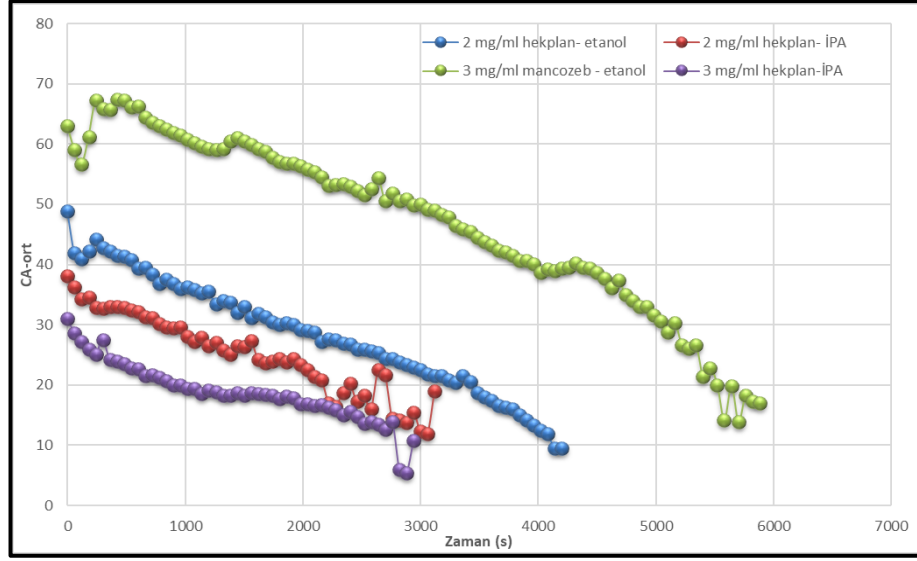
Şekil 7.95: %55 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan hacim grafiği.

Alkol içeren hekplan konsantrasyonlarının zamanla hacim azalış değerleri yer almaktadır. En hızlı buharlaşma İPA içeren 2 mg/ml hekplan sahiptir.



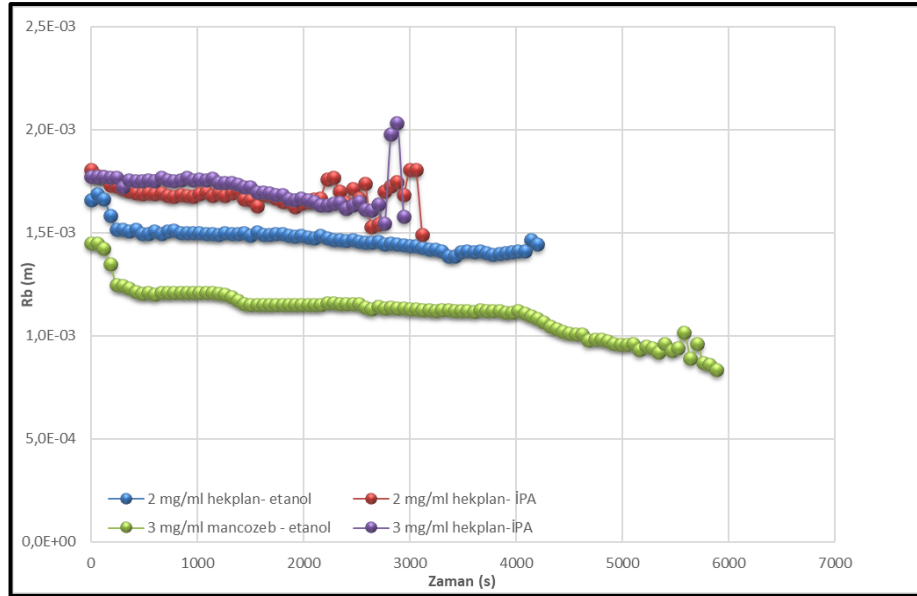
Şekil 7.96: %55 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan buharlaşma hızı grafiği.

İPA içeren damlalar etanol içeren damlalardan daha hızlı buharlaşmışlardır. 2 mg/ml Hekplan-İPA, 2 mg/ml Hekplan-etanol dispersiyonundan daha hızlı buharlaşmışken, 3 mg/ml Hekplan-İPA ise 3 mg/ml Hekplan-etanol dispersiyonundan daha hızlı buharlaşmıştır.



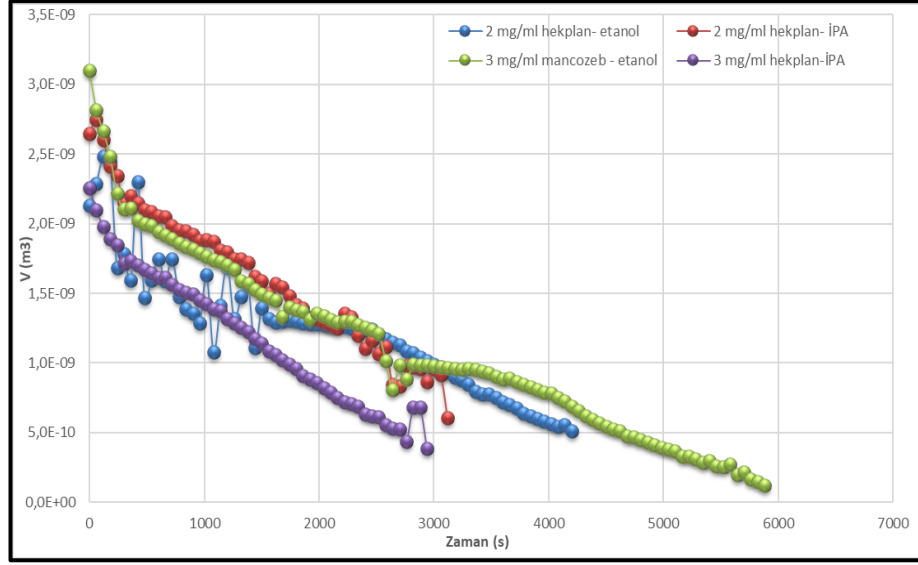
Şekil 7.97: %85 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan temas açısı grafiği.

2 mg/ml Hekplan-etanol başlangıç temas açısı 48,86 derece, 3 mg/ml Hekplan-etanol başlangıç temas açısı 63,01 derece, 2 mg/ml Hekplan-İPA başlangıç temas açısı 38,08 derece ve 3 mg/ml Hekplan-İPA başlangıç temas açısı ise 30,98 derecedir.



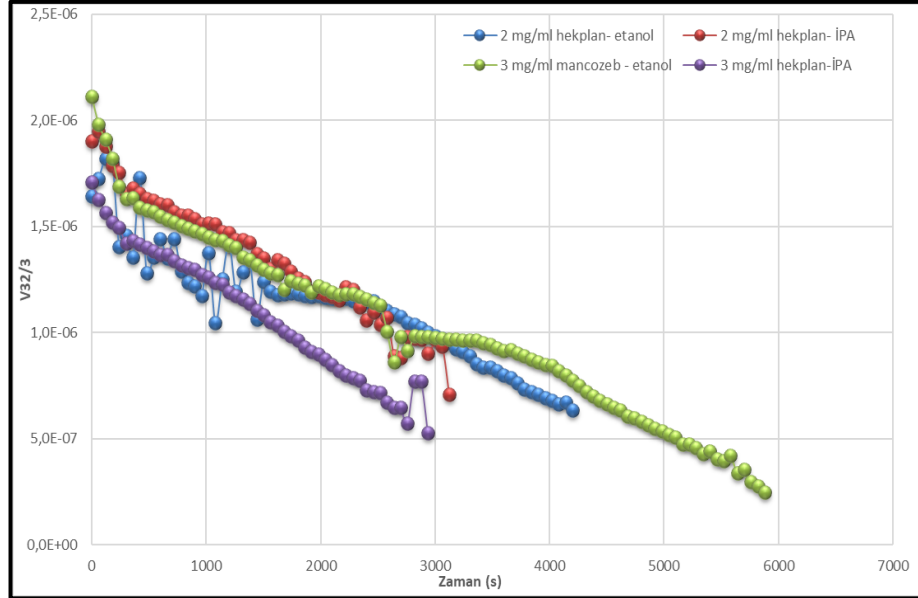
Şekil 7.98: %85 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan yarıçap grafiği.

Temas açısı değerleri zamanla azalırken, yarıçap değerleri sabit kaldığından alkol içeren Hekplan damlaları CCR modunda buharlaşmışlardır.



Şekil 7.99: %85 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan hacim grafiği.

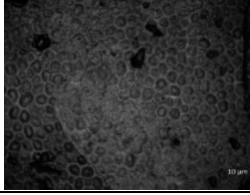
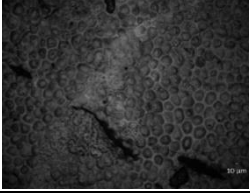
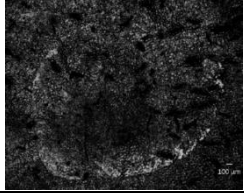
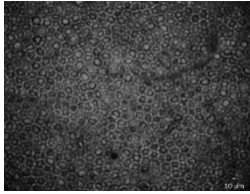
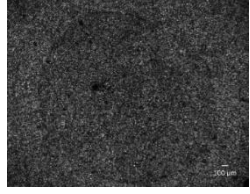
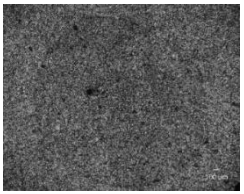
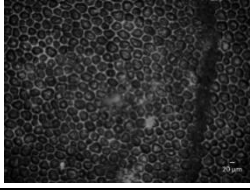
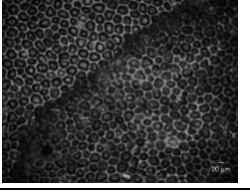
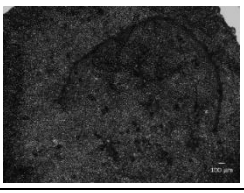
%85 RH alkol eklenmiş Hekplan hacim değerleri Şekil 7.97’de yer almaktadır. Buharlaşma hızı verileri için bu grafiğin doğrusal verileri Şekil 7.98’de yer almaktadır.



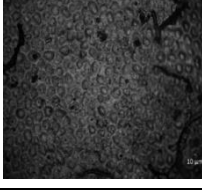
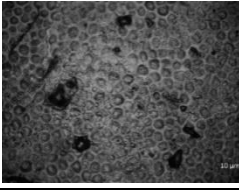
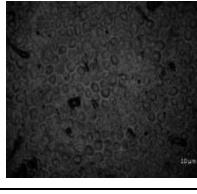
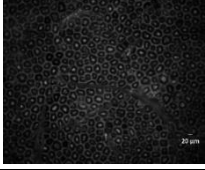
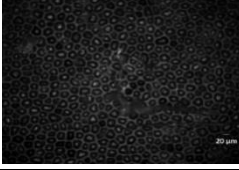
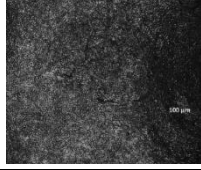
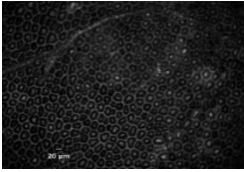
Şekil 7.100: %85 bağıl nemde alkol eklenmiş Hekplan buharlaşma hızı grafiği.

Alkol içeren hekplan damlalarını buharlaşma hızlarına göre sıralayacak olursak; Şekil 7.100 grafiğinin eğim değerleri ile en hızlı buharlaşan damla 3 mg/ml konsantrasyona sahip İPA içeren Hekplan dispersiyonudur. Sonrasında en hızlı buharlaşan damla ise 2 mg/ml Hekplan-İPA damlasıdır. Daha sonra ise 3 mg/ml Hekplan-etanol ve 2 mg/ml Hekplan-etanol damlasıdır.

Tablo 7.45: 2 mg/ml Hekplan-Etanol domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 2 mg/ml Hekplan-Etanol                                                            |                                                                                    |                                                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |  |  |  |
| 55  |  |  |  |
| 85  |  |  |  |

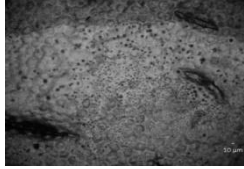
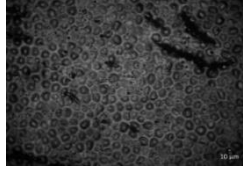
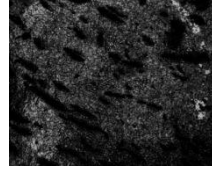
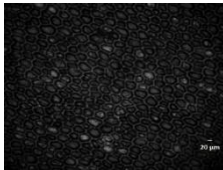
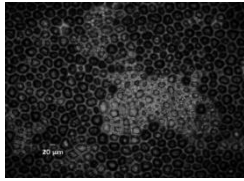
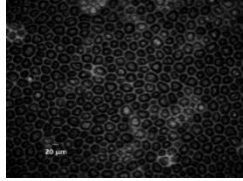
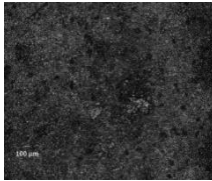
Tablo 7.46: 3 mg/ml Hekplan-Etanol domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 3 mg/ml Hekplan-Etanol                                                               |                                                                                      |                                                                                       |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |  |  |
| 55  |   |  |  |
| 85  |  |                                                                                      |                                                                                       |

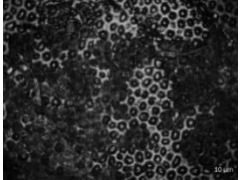
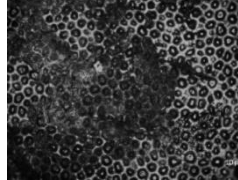
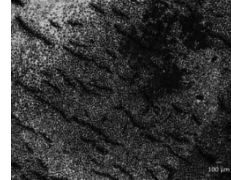
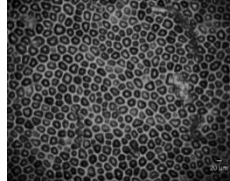
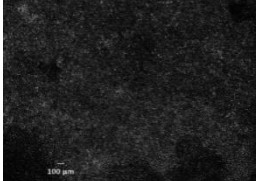
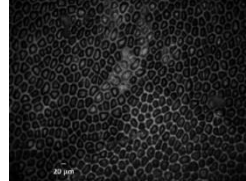
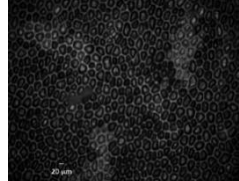
Alkol eklenmemiş Hekplan görüntülerine göre etanol eklenmiş Hekplan dispersiyonlarının kalıntıları daha fazla yayılmış ve tabaka halinde bir yapı gözlenmektedir. Kalıntı geometrisi iyileştirilmiştir. RH artmasıyla yüzeyde daha homojen yayılmış kalıntı gözlenmiştir. Konsantrasyonun 3 mg/ml çıkmasıyla oluşan

kalıntı tabakasında birikmiş alanlar mevcuttur. Etanol eklenmesiyle Hekplan'ın yüzeyde daha etkin bir şekilde yayılmasını sağlamıştır.

Tablo 7.47: 2 mg/ml Hekplan-İPA domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 2 mg/ml Hekplan-İPA                                                                |                                                                                     |                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |   |   |
| 55  |   |                                                                                     |                                                                                      |
| 85  |  |  |  |

Tablo 7.48: 3 mg/ml Hekplan-İPA domates üzerinde damla buharlaşması sonrası optik mikroskopta kalıntı görüntüleri.

| %RH | 3 mg/ml Hekplan-İPA                                                                  |                                                                                      |                                                                                       |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 35  |   |  |  |
| 55  |  |                                                                                      |                                                                                       |
| 85  |   |  |  |

İPA eklenen Hekplan damlaları yüzeyde yayılmıştır ancak partiküllerin birikmiş olduğu alanlar gözlenmektedir.

## 8. SONUÇLAR

Öncelikle domates kabuğunun serbest yüzey enerjisi ölçülmüş olup polar ve dispersiyon komponentleri sırasıyla 0.17 ve 30 mJ/m<sup>2</sup> ve toplam serbest yüzey enerjisi ise 30.17 mJ/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Yıkanmamış domates yüzeylerinde su damlasının başlangıç temas açısı değerleri, yıkanmış domates yüzeylerinin başlangıç temas açısı değerlerinden daha büyüktür. Mancozeb pestisiti içeren sulu dispersiyon damlarının buharlaşması, sabit temas yarıçapı (CCR) modu ile olmaktadır. Ortamın bağıl nemi arttıkça damla buharlaşma süresi uzamıştır. Bunun nedeni ortamdaki su buharı miktarının artmasıyla difüzlenen su molekülü miktarının azalmasıdır. Bağıl nem arttıkça kalıntıda gözlenen boşluklu yapılar azalmış ve daha homojen bir tabaka gözlenmiştir. Çünkü termal dengede gerçekleşen yavaş buharlaşma ile partiküllerin yüzeyde düzgün yerleşmesi için gereken zamanı tanınmaktadır. Bu dispersiyon damlasında Mancozeb konsantrasyonu artışı damlanın toplam buharlaşma süresi üzerindeki etkisi azdır. Yıkanmış domates yüzeyinde, dispersiyon damlaları yıkanmamış domates yüzeyine göre daha hızlı buharlaşmışlardır. Yıkanma prosesinin ardından domates yüzeyinin hidrofilikliği artar, hidrofilik yüzeylerde de düşük su temas açısı yüzünden buharlaşma daha hızlı gerçekleşir. Mancozeb konsantrasyonu artışı ile kalıntıda partikül yoğunluğu artmıştır. Çünkü konsantrasyon artışı ile dispersiyon çözeltisi ve kalıntı içindeki partikül miktarı artar. Yıkanmamış yüzeyde daha çok boşluklu yapılar gözlenirken, yıkanmış yüzeyde kalıntı görüntüleri daha nettir.

Hekplan pestisiti içeren sulu dispersiyon damlarının buharlaşması, sabit temas yarıçapı (CCR) modu ile olmaktadır. Bu dispersiyon damlasında Hekplan konsantrasyonu arttıkça damla daha yavaş buharlaşmıştır. Konsantrasyonu artan dispersiyon çözeltisinin buharlaşma dinamiği doğrusal olmayan buharlaşma dinamiklerine sebep olduğundan dolayı normal buharlaşma dinamiğinden sapmaktadır. Bağıl nem arttıkça damla buharlaşma süresi uzamıştır. Hekplan konsantrasyonu arttıkça kalıntıda partiküllerin yoğunluğu artmıştır.

Hekplan içeren sulu dispersiyon damlarının buharlaşma hızları Mancozeb içerenlerden %25-50 daha fazladır. Bunun sebebinin damlanın köşelerinde Hekplan partiküllerin çapları ve yerleşme kolaylığı olduğu değerlendirilmiştir. Mancozeb ve Hekplan pestisitlerini içeren sulu dispersiyonlara etanol ve izopropanol eklenmesiyle başlangıç temas açısı değerleri düşmüştür ve yüzeyde daha fazla yayılmışlardır. Etanol

ve izopropanolde bulunan metil grupları domates yüzeyindeki hidrofob gruplar ile etkileşime geçerek su damlasının temas açısını düşürürler bu ise damlanın yüzeyde daha çok yayılmasına neden olur. Alkoller damlanın yüzeyle oluşturduğu temas açısını düşürdüğünden dolayı alkol içeren dispersiyon damlaları domates yüzeyinde alkol içermeyen dispersiyonlardan daha hızlı buharlaşmışlardır. Alkol olarak izopropil alkol eklenen dispersiyonlar etil alkol eklenen dispersiyonlardan daha düşük başlangıç temas açısına sahiptirler ve daha hızlı buharlaşmışlardır. Ayrıca izopropil alkol içeren dispersiyonlar yüzeyde daha fazla yayılmışlardır. İzopropil alkolün başlangıç temas açısının düşük olması ve yüzeyde daha fazla yayılmasının sebebi bu alkolde etanolden daha fazla metil grubunun bulunmasıdır.

## KAYNAKLAR

Akman Y., Ketenoğlu, O., Kurt, L., Düzenli, S., Güney, K. Ve Kurt, F., (2004), “Çevre Kirliliği”, ISBN 975-7477-73-7, Palme Yayıncılık.

Andrade G. C. R. M., Monteiro S. H., Francisco J. G., Figueiredo L. A., Rocha A. A., Tornisielo V. L., (2015), “Effects of Types of Washing and Peeling in Relation to Pesticide Residues in Tomatoes”, Journal of the Brazilian Chemical Society, 26, 1994-2002.

Atlamaz A., (2009), “Entegre Mücadele Teknik Talimatları Revize Toplantısı” Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, Antalya, Türkiye, 19–24 Ekim.

Barcelo´ D., Hennion, M. C., (1997), “Trace Determination of and Their Degradation Products in Water”, Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry, 19, 542.

Baur P., (2006), “Impact of Adjuvants on Droplet Spreading and Droplet Deposit Area After Spray Application”, Journal of ASTM International, 9, 1-9.

Bendure L. R., (1973), “Dynamic Adhesion Tension Measurement”, Journal of Colloid and Interface Science, 42, 137-144.

Birişik N., Özdem A., Karahan A., Sezgen M., Ertürk S., Alkan M., Çakır E., Elibüyük A. E., Koca E., Aksu P., Doğan F., Aydar A., Sabahoğlu Y., Yılmaz A., Kodan M., Güler Y., Erdurmuş G., Yiğit N., Bozkurt V., Yıldırım A. F., Bayram Y., (2018), “Teoriden Pratiğe Kimyasal Mücadele”, ISBN 978-605-2207-13-0, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Mıtsa Basımevi.

Borlaugh N., Dowswell C.R., (1993), “Fertilizer: to Nourish Infertile Soil that Feeds a Fertile Population that Crowds a Fragile World”, Proceeding of the 61st International Fertilizer Association Annual Conference, 6-7 ,New Orleans, Los Angeles, United States of America, May 1993.

Bradley D. J., Gilbert G. S., Parker I. M., (2003), “Susceptibility of Clover Species to Fungal Infection: The Interaction of Leaf Surface Traits and Environment”, American Journal of Botany, 90, 857-864.

Brutin D., Starov V., (2018), “Recent Advances in Droplet Wetting and Evaporation”, Chemical Society Reviews, 47, 558-585.

Buchel K. H., (1983), “Chemistry of Pesticides”, ISBN 978-0471056829, John Wiley & Sons.

Carvalho P. F., (2006), “Agriculture, Pesticides, Food Security and Food Safety”, Environmental Science & Policy, 9, 685-692.

Cengiz M. F., Başlar M., Basançelebi O., Kılıçlı M., (2018), “Reduction of Pesticide Residues from Tomatoes by Low Intensity Electrical Current and Ultrasound Applications”, *Food Chemistry*, 267, 60-66.

Chachalis D., Reddy K. N., Elmore C. D., (2001a), “Characterization of Leaf Surface, Wax Composition, and Control of Redvine and Trumpetcreeper with Glyphosate”, *Weed Science*, 49, 156-163.

Chachalis D., Reddy K. N., Elmore C. D., Steele M. L., (2001b), “Herbicide Efficacy, Leaf Structure, and Spray Droplet Contact Angle Among Ipomoea Species and Small Flower Morning Glory”, *Weed Science*, 49, 628-634.

Chander S., Hogg R., (2007), “Characterization of the Wetting and Dewetting Behavior of Powders”, *Kona*, 25, 56-75.

Chen P., (2018), “Enhancement of Drop Evaporation Using Nanoparticles and Alcohols”, Doctora Thesis, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis.

Cheng P., Li D., Boruvka L., Rotenberg Y., (1990), “Automation of Axisymmetric Drop Shape-Analysis for Measurement of Interfacial-Tensions and Contact Angles”, *Colloids and Surfaces*, 43, 151–167.

Deegan R. D., Bakajin, O., Dupont T. F., Huber G., Nagel S. R., Witten T. A., (1997), “Capillary Flow as the Cause of Ring Stains from Dried Liquid Drops”, *Nature*, 389, 827–829.

Delen N., Durmuşoğlu E., Güncan A., Güngör N., Turgut C., Burçak A., (2005), “Türkiye’de Pestisit Kullanımı, Kalıntı ve Organizmalarda Duyarlılık Azalışı Sorunları”, Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongre, Ankara, Türkiye, Ocak 2005.

Eötvös R., (1886), “Ueber den Zusammenhang der Oberflächenspannung der Flüssigkeiten mit ihrem Molecular olumen”, *Annalen der Physik*, 263, 448-459.

Erbil H. Y., (2006), “Surface Chemistry of Solid and Liquid Interfaces”, ISBN 1-4051-1968-9, Blackwell Publishing.

Erbil H. Y., (2012), “Evaporation of Pure Liquid Sessile and Spherical Suspended Drops: A review”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 170, 67-86.

Erbil H. Y., (2014), “The Debate on the Dependence of Apparent Contact Angles on Drop Contact Area or Three-Phase Contact Line: A review”, *Surface Science Reports*, 69, 325-365.

Erbil H. Y., (2015), “Control of Stain Geometry by Drop Evaporation of Surfactant Containing Dispersions”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 222, 275-290.

Erbil H. Y, McHale G., Newton M. L., (2002), “Drop Evaporation on Solid Surfaces: Constant Contact Angle Mode”, *Langmuir*, 18, 2636-2641.

Erkan B., Arpacı B. B., Yaralı F., Güvenç İ., (2015), “Türkiye’nin Sebze İhracatında Karşılaştırmalı Üstünlükleri”, KSÜ Doğa Bilimler Dergisi, 18, 70-76.

European Environment Agency, (2005), “Annual Report 2005”, ISBN 92-9167-781-7, EEA.

Faers A. M., Pontzen R., (2008), “Factors Influencing the Association Between Active Ingredient and Adjuvant in the Leaf Deposit of Adjuvant-Containing Suspoemulsion Formulations”, Pest Management Science, 64, 820-833.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2002), “FAO Specifications and Evaluations for Plant Protection Products Methomyl”, 3-25, FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2002), “International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides”, ISBN 92-5-104914-9, FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2008), “FAO Specifications and Evaluations for Agricultural Pesticides Imidacloprid”, 3-38, FAO.

Franses I. E., Basaran A. O., Chang C. H., (1996), “Techniques to Measure Dynamic Surface Tension”, Current Opinion in Colloid & Interface Science, 1, 296-303.

Gimenes M. J., Zhu H., Raetano C. G., Oliveira R. B., (2013), “Dispersion and Evaporation of Droplets Amended with Adjuvants on Soybeans”, Crop Protection, 44, 84-90.

Greenspan L., (1977), “Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions”, Journal of Research of the National Bureau of Standards- A. Physics and Chemistry, 81, 89-96.

Gullino L. M., Tinivella F., Garibaldi A., Kemmitt M. G., Bacci L., Sheppard B., (2010), “Mancozeb Past, Present and Future”, Plant Disease, 94, 1076-1086.

Gullino M. L., Kuijpers L. A. M., (1994), “Social and Political Implication of Managing Plant Diseases with Restricted Fungicides in Europe”, Annual Review Phytopathology, 32, 559-579.

Güvenç İ., (2017), “Sebzecilik: Temel Bilgiler, Muhafaza ve Yetiştiricilik”, 1. Baskı, NOBEL Akademik Yayıncılık.

Handley J., (2019), “Pesticides – A Brief History and Analysis”, Pitchcare Magazine, 83.

Harkins W. D., (1928), “Surface Energy and the Orientation of Molecules in Surfaces as Revealed by Surface Energy Relations”, Z Physical Chemistry, 139, 647-691.

Hatterman-Valenti H. M., Pitty A., Owen M. D. K., (2006), “Effect of Environment on Giant Foxtail (Setaria Faberi) Leaf Wax and Fluazifop-P Absorption”, Weed Science, 54, 607-614.

Hegseth J. J., Rashidnia N., Chai A., (1996), “Natural Convection in Droplet Evaporation”, *Physical Review E*, 54, 1640-1644.

Hendarto E., Gianchandani Y. B., (2013), “Size Sorting of Floating Spheres Based on Marangoni Forces in Evaporating Droplets”, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 23, 075016.

Himel C. M., (1969), “The Optimum Size for Insecticide Spray Droplets”, *Journal of Economic Entomology*, 62, 919-925.

Huber L., Gillespie T. J., (1992), “Modeling Leaf Wetness in Relation to Plant Disease Epidemiology”, *Annual Review of Phytopathology*, 30, 553-577.

Igbedioh S. O., (1991), “Effects of Agricultural Pesticides on Humans, Animals and Higher Plants in Developing Countries”, *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 46, 218–224.

Jung Y. C., Bhushan B., (2006), “Contact Angle, Adhesion and Friction Properties of Micro-and Nanopatterned Polymers for Super Hydrophobicity”, *Nanotechnology*, 17, 4970–4980.

Karbowiak T., Debeaufort F., Voilley A., (2006), “Importance of Surface Tension Characterization for Food, Pharmaceutical and Packaging Products: A Review”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46, 391-407.

Kloubek J., (1992), “Development of Methods for Surface Free Energy Determination Using Contact Angles of Liquids on Solids”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 38, 99-142.

Koopal L. K., (2012), “Wetting of Solid Surfaces: Fundamentals and Charge Effects”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 179–182, 29–42.

Kuang M., Wang L., Song Y., (2014), “Controllable Printing Droplets for High-Resolution Patterns”, *Advanced Materials*, 26, 6950–6958.

Kwok D. Y., Lin R., Mui M., Neumann A.W., (1996), “Low-Rate Dynamic and Static Contact Angles and the Determination of Solid Surface Tension”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 116, 63–77.

Law B. M., (2001), “Wetting, Adsorption and Surface Critical Phenomena”, *Progress in Surface Science*, 66, 159-216.

Linde D. C., Davis U. C., (1994), “Physico-Chemical Properties and Environmental Fate of Pesticides”, *Environmental Hazards Assessment Program*, California, United States of America, January 1994.

Matthews A. G., (2018), “A History of Pesticides”, ISBN 9781786394880, CABI.

Maxwell J. C., (1890), “Collected Scientific Papers”, Dover Publications, 2, 625.

Meissner H. P., Michaels A. S., (1949), "Surface Tensions of Pure Liquids and Liquid Mixtures", *Industrial & Engineering Chemistry*, 41, 2782–2787.

Nicolopoulou-Stamati P., Maipas S., Kotampasi C., Stamatis P., Hens L., (2016), "Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture", *Frontiers in Public Health*, 4, 148.

Oerke E. C., (2006), "Crop Losses to Pests", *The Journal of Agricultural Science*, 144, 31–43.

Oss V. C. J., Chaudhury K. M., Good J. R., (1988), "Interfacial Lifschitz-Van der Waals and Polar Interactions in Macroscopic Systems", *Journal Chemical Review*, 88, 927-941.

Oss V. C. J., Good J. R., Chaudhury K. M., (1988), "Additive and Nonadditive Surface-Tension Components and the Interpretation of Contact Angles", *Langmuir*, 4, 884-891.

Öztürk T., Erbil H. Y., (2018), "Evaporation of Water-Ethanol Binary Sessile Drop on Fluoropolymer Surfaces: Influence of Relative Humidity", *Colloids and Surfaces*, 553, 327-336.

Perrin L., Pajor-Swierzy A., Magdassi S., Kamyshny A., Ortega F., Rubio G. R., (2018), "Evaporation of Nanosuspensions on Substrates with Different Hydrophobicity", *ACS Applied Materials Interfaces*, 10, 3082-3093.

Picknett R. G., Bexon R. J., (1977), "The Evaporation of Sessile or Pendant Drops in Still Air", *Journal Colloid Interface Science*, 61, 336-350.

Pierce S. M., Chan B. K., Zhu H., (2008), "Residual Patterns of Alkyl Polyoxyethylene Surfactant Droplets after Water Evaporation", *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 56, 213–219.

Popp J., Pető K., Nagy J., (2013), "Pesticide Productivity and Food Security. A Review", 33, 234-255.

Quiroz M., Bandala E. R., Martínez-Huitle C. A., (2011), "Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Removal of Pesticides from Aqueous Media", *Pesticides-Formulations, Effects, Fate*, ISBN 978-953-307-532-7, InTech.

Ragsdale N. N., Sisler H. D., (1994), "Social and Political Implication of Managing Plant Disease in the United States", *Annual Review Phytopathology*, 32, 545-557.

Ramsdale B. K., Messersmith C. G., (2001), "Nozzle, Spray Volume, and Adjuvants Effects on Carfentrazone and Imazamox Efficacy", *Weed Technology*, 15, 485-491.

Rasolonjatovo M. A., Cemek M., Cengiz F. M., Ortaç D., Konuk B. H., Karaman E., Kocaman T. A., Göneş S., (2017), "Reduction of Methomyl and Acetamiprid Residues from Tomatoes After Various Household Washing Solutions", *International Journal of Food Properties*, 20, 2748-2759.

Rotenberg Y., Boruvka L., Neumann A. W, (1983), “Determination of Surface Tension and Contact Angle from the Shape of Axisymmetric Fluid Interface”, Journal of Colloid and Interface Science, 93, 169–183.

Sharpe, M., (1999), “Towards Sustainable Pesticides”, Journal of Environmental Monitoring, 1, 33–36.

Snow C., (1949), “Potential Problems and Capacitance for a Conductor Bounded by Two Intersecting Spheres”, Part of the Journal of Research of the National Bureau of Standards, 43, 377-407.

Stenersen J., (2004), “Chemical Pesticides Mode of Action and Toxicology”, ISBN 9780748409105, CRC Press.

Strobel M., Lyons S. C., (2011), “An Essay on Contact Angle Measurements Mark Strobel”, Plasma Process and Polymers, 8, 8–13.

Sulaiman S. N., Rovina K., Joseph M. V., (2019), “Chemical Pesticides Mode of Action and Toxicology, Classification, Extraction and Current Analytical Approaches for Detection of Pesticides in Various Food Products”, Journal of Consumer Protection and Food Safety, 14, 209–221.

Taylor M., Klaine S., Carvalho F. P., Barcelo D., Everaarts J., (2003), “Pesticide Residues in Coastal Tropical Ecosystems: Distribution, Fate and Effects”, Taylor and Francis, 1st Edition, CRC Press.

Thokchom B., Pandit A. B., Qiu P., Park B., Choi J., Khim J., (2015), “A Review on Sonoelectrochemical Technology as an Upcoming Alternative for Pollutant Degradation”, Ultrasonics Sonochemistry, 27, 210–234.

Toros S., Maden S., Sözeri S., (2001), “Tarımsal Savaşım Yöntem ve İlaçları”, IV. Baskı, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Vesala T., Kukkonen J., (1992), “A Model for Binary Droplet Evaporation and Condensation, and Its Application for Ammonia Droplets in Humid Air”, Atmospheric Environment, 26, 1573-1581.

Waard M. A., Georgopoulos S. G., Hollaman D. W., Ishii H., Leroux P., Ragsdale N. N., Schwinin F. J., (1993), “Chemical Control of Plant Diseases: Problem and Prospects”, Annual Review Phytopathology, 31, 403-421.

Web 1, (2018), <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>, (Erişim Tarihi: 14/06/2018).

Web 2, (2019), <http://www.fao.org/faostat/en/#data/EP/visualize> , (Erişim Tarihi, 5/11/2019).

Web 3, (2019), <https://www.dw.com/tr/2050de-d%C3%BCnya-n%C3%BCfusu-97-milyar-olacak/a-49245966>, (Erişim Tarihi, 5/11/2019).

Web 4, (2019), <https://www.sorhocam.com/etiket.asp?sid=3880&mancozeb/>, (Erişim Tarihi, 7/11/2019).

Web 5, (2019), [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/JMPR/Evaluation11/Acetamiprid.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation11/Acetamiprid.pdf), (Erişim Tarihi, 9/11/2019).

Web 6, (2017), <https://www.hektas.com.tr/urundetay/Hekplan-20-SP/277>, (Erişim Tarihi, 9/11/2019).

Web 7, (2017), <http://www.tutuneksper.org.tr/kaynaklar/ekspertiz/tutun-yapraginin-dokusu>, (Erişim Tarihi, 10/11/2019).

Web 7, (2018), <https://bilgihanem.com/pestisit-nedir/>, (Erişim Tarihi, 9/11/2019).

Web 8, (2008), [http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/bahcecilik/moduller/domates\\_yetistiriciligi.pdf](http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/bahcecilik/moduller/domates_yetistiriciligi.pdf), (Erişim Tarihi, 13/11/2019).

Web 9, (2017), <https://www.worldatlas.com/articles/top-pesticide-consuming-countries-of-the-world.html>, (Erişim Tarihi, 05/01/2020).

World Health Organization, (1990), "Public Health Impact of Pesticides Used in Agriculture", ISBN 9241561394, WHO.

World Health Organization, (1995), "Methomyl", IPCS International Program on Chemical Safety Health and Safety Guide, 97.

Xu L., Zhu H., Ozkan E., Bagley E. W., (2010a), "Evaporation and Spread of Droplets with Various Types and Concentrations of Adjuvants on Waxy and Hairy Leaves", An ASABE Meeting Presentation, 1008586, David L. Lawrence Convention Center Pittsburgh, Pennsylvania, June 20 – June 23.

Xu L., Zhu H., Ozkan H. E., Bagley W. E., Derksen R. C., Krause C. R., (2010b), "Adjuvant Effects on Evaporation Time and Wetted Area of Droplets on Waxy Leaves", Transactions of the Asabe, 53, 13-20.

Yadav I. C., Devi N. L., (2017), "Pesticides Classification and Its Impact on Human and Environment", Environment Science Engineering, 6, 140–158.

Yıldıztekin M., Özler M. A., Nadeem S., Tuna A. L., (2019), "Investigations on the Effects of Commonly Used Pesticides on Tomato Plant Growth", Fresenius Environmental Bulletin, 28, 376-382.

Young T., (1805), "An Essay on the Cohesion of Fluids", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 95, 65-87.

Yu I. D., Kwak J. H., Doh W. S., Kang C. H., Ahn S. H., Kiyofumi M., Park S.H., Kim H. M., (2015), "Wetting and Evaporation Phenomena of Water Droplets on Textured Surfaces", International Journal of Heat and Mass Transfer, 90, 191–200.

Yu Y., Chen H. X., Yang W. H., Wu G. X., Rao J. Z., Wang S., (2011), “Effect of Surfactants on Evaporation and Deposition Coverage Area of Pesticide Droplets on Different Tobacco Leaves”, 2011 ASABE Annual International Meeting, 1110473, Louisville, Kentucky, 7-10 August.

Yu Y., Zhu H., Frantz J. M., Reding M. E., Chan K. C., Ozkan H. E., (2009b), “Evaporation and Coverage Area of Pesticide Droplets on Hairy and Waxy Leaves”, *Biosystems Engineering*, 104, 324-334.

Yu Y., Zhu H., Ozkan H. E., (2009c), “Evaporation of Pesticide Droplets on Surfaces Under Various Relative Humidity Conditions”, *Journal of ASTM International*, 6, 1-8.

Yu Y., Zhu H., Ozkan H. E., Derksen R. C., Krause C. R., (2009a), “Evaporation and Deposition Coverage Area of Droplets Containing Insecticides and Spray Additives on Hydrophilic, Hydrophobic, and Crabapple Leaf Surfaces”, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 52, 39-49.

Zacharia J. T., (2011), “Identity, Physical and Chemical Properties of Pesticides”, *Pesticides in the Modern World - Trends in Pesticides Analysis*, ISBN 978-953-307-437-5, InTech.

Zanga D., Tarafdarb S., Tarasevichc Y. Y., Choudhuryb D. M., Duttat T., (2019), “Evaporation of a Droplet: From Physics to Applications”, *Physics Reports*, 804, 1-56.

Zhou Z., Cao C., Cao L., Zheng L., Zheng L., Xu J., Li F., Huang Q., (2018), “Effect of Surfactant Concentration on the Evaporation of Droplets on Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Leaves”, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 167, 206-212.

Zhou Z-L., Cao C., Cao L-D., Zheng L., Xu J., Li F-M., Huang Q., (2017), “Evaporation Kinetics of Surfactant Solution Droplets on Rice (*Oryza Sativa*) Leaves”, *PLoS ONE*, 12, 1-15.

Zhu H., Yu Y., Ozkan H. E., Derksen C. R., Krause R. C., (2008), “Influence of Spray Additives on Droplet Evaporation and Residual Patterns on Wax and Wax-Free Surfaces”, ASABE Annual International Meeting, 083752, Rhode Island, June 29-July 2.

Zhu H., Yu Y., Xu L., Ozkan H. E., Krause C. R., (2010), “Evaporation Time and Spread Area of Adjuvant-Amended Droplets on Waxy and Hairy Leaves”, *ILASS-Americas 22nd Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, 1-15, Cincinnati, OH, May.

Zisman W. A., (1964), “Relation of the Equilibrium Contact Angle to Liquid and Solid Constitution”, *Advances in Chemistry*, 43, 1-51.

## ÖZGEÇMİŞ

Emine Tuğçe ARITÜRK 1994 yılında İstanbul’da doğdu. 2012 yılında başladığı Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünü 2016 yılında başarıyla tamamlayarak 2017 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2017-2019 yılları arasında Green Chemicals A. Ş. şirketinde Teknik Destek Mühendisi pozisyonunda görev yeri TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi olarak çalışmıştır.

## **EKLER**

### **Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar**

Arıtürk E. T., Erbil H.Y., (2019), “Damla Buharlaştırması Metoduyla Böcek Öldürücü Tabakanın Domates Üzerinde İnce Silindirik Halde Oluşturulması”, Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu ve Tanıtım Günleri, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 17-18 Haziran.