

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**TARIMSAL AMAÇLI PÜLVERİZASYONLARDA DAMLA TEMAS AÇISI
ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK BİR SİSTEM GELİŞTİRİLMESİ**

Muhittin Yağmur POLAT

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ANKARA
2021**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

TARIMSAL AMAÇLI PÜLVERİZASYONLARDA DAMLA TEMAS AÇISI ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK BİR SİSTEM GELİŞTİRİLMESİ

Muhittin Yağmur POLAT

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim ÇİLİNGİR

Bu tez çalışmasında tarımsal amaçlı pülverizasyonlara yönelik olarak yapraklar üzerinde damla temas açılarını ölçebilecek bir sistem geliştirilmiştir. Sistem; yaprak tutucu birimi, dozaj birimi, mikroskop birimi, elektronik kontrol birimi ve görüntülerin toplanarak temas açılarının hesaplandığı bilgisayardan oluşmaktadır. Sistemin geliştirilmesinden sonra, üç farklı kullanıcı tarafından üç farklı çelik bilyenin çapları farklı günlerde ölçülerek sistemin ölçüm kesinliği belirlenmiştir. Yaprak yüzeyleri üzerine pülverizasyon sıvıları 1000 µm'lik çapta damlalar halinde üretilerek aktarılmış ve oluşan temas açılarının ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçları üzerinde varyans analizi yapılarak yapraklar ve sıvılar arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Geliştirilen sistemin ölçüm kesinliği 1000 µm çap için $998,94 \pm 4,90$ µm, 1500 µm için $1498,42 \pm 5,38$ µm ve 3000 µm için ise $3001,93 \pm 5,66$ µm olarak belirlenmiştir. Çift faktörlü varyans analizi testi sonucunda yaprak, sıvılar ve her ikisi ile yapılan ölçüm sonuçları arasında istatistiksel olarak $P < 0,05$ önem düzeyinde anlamlı farklılık bulunmuştur. Yapılan LSD çoklu karşılaştırma testleri sonuçlarına göre de tüm yüzeyler arasında ve tüm sıvılar arasında istatistiksel olarak $P < 0,05$ önem düzeyinde anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Sadece fungusit ve NPK yaprak gübresi solüsyonları arasındaki farklılık ise $P < 0,05$ düzeyinde önemsiz bulunmuştur. Asetat kâğıdı üzerinde Saf Su ve Saf Su + Yayıcı Yapıştırıcı karışımlarının damlatmadan sonra 5, 15 ve 25. saniyelerdeki temas açıları ölçüm sonuçları üzerinde yapılan tek faktörlü varyans analizi sonucunda; zamanın ölçülen temas açısı ortalamaları üzerine etkisi $P < 0,01$ önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Ocak 2021, 88 sayfa

Anahtar kelimeler: Temas açısı, Pülverizasyon, Pestisitler, Yaprak gübreleri, Mikroskop, Mikro-denetleyici

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MEASURING DROPLET CONTACT ANGLES IN AGRICULTURAL SPRAYING

Muhittin Yağmur POLAT

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery & Technologies Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim ÇİLİNGİR

In this thesis, a system has been developed to measure drop contact angles on leaves for agricultural pulverization. The system consists of leaf holder unit, dosing unit, microscope unit, electronic control unit and a computer where the contact angles are calculated. After the development, the uncertainty of the system were determined by measuring diameters of three different steel balls on different days by three users. Drops of 1000 μm diameter were produced from the liquids and transferred onto the surfaces and the contact angles formed were measured. The relationships between leaves and liquids were investigated by performing variance analysis on measurement results. The uncertainty of developed system is determined as $998.94 \pm 4.90 \mu\text{m}$ for 1000 μm diameter, $1498.42 \pm 5.38 \mu\text{m}$ for 1500 μm and $3001.93 \pm 5.66 \mu\text{m}$ for 3000 μm . As a result of the two-way analysis of variance, a significant difference was found at the $P < 0.05$ level between the measurement results made with leaves, liquids and both. According to the results of LSD tests, a difference was found between all surfaces and between all liquids at the $P < 0.05$ significance level. Only the difference between Fungicide and NPK solutions was found to be insignificant at $P < 0.05$. Single factor variance analysis was performed to the contact angle results of distilled water and distilled water + surfactant mixtures measured on acetate, and the effect of time on the measured contact angles was found to be significant at $P < 0.01$ level.

January 2021, 88 pages

Keywords: Contact angle, Pulverization, Pesticides, Foliar fertilizers, Microscope, Microcontroller

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Prof. Dr. İbrahim ÇİLİNGİR, tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Ergin DURSUN ve Prof. Dr. Yakup Zekai KATIRCIOĞLU'na katkı ve önerilerinden dolayı sonsuz teşekkürler.

Annem Selver GEDİKBAŞ, ağabeyim Savaşarslan POLAT, kız kardeşim Aybala POLAT ve kardeşim Emir Mehmet POLAT'a teşekkür ediyorum.

Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü'nden mesai arkadaşlarım Dr. Kevser KARAGÖZ SEZER, Celal KOCA, Nuray GÜNEŞ, İlhan GÜNGÖR, Yener YAVUZ ve Yaşar TEPECİK'e, ayrıca değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Serdar ABACI (Hacettepe Üniversitesi), Dr. Cem BAYRAM (Hacettepe Üniversitesi), Dr. Mesut GÖLBAŞI (UTEM)'na ve desteklerinden dolayı Doç. Dr. Abdullah BEYAZ'a (Ankara Üniversitesi) teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında herhangi bir kurum veya kuruluştan maddi destek alınmamıştır.

Muhittin Yağmur POLAT
Ankara, Ocak 2021

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Pestisitler	2
1.3 Yaprak Gübreleri	4
1.4 Yapraklar	6
1.5 Mikroskoplar ve Sayısal Görüntüler	8
1.6 Mikro-denetleyiciler ve Adım Motorları	13
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ	20
3. MATERYAL ve METOD	37
3.1 Materyal	37
3.1.1 Geliştirilen sistemin yaprak tutucu birimi	37
3.1.2 Geliştirilen sistemin dozaj birimi	39
3.1.3 Geliştirilen sistemin mikroskop birimi	42
3.1.4 Geliştirilen sistemin elektronik kontrol birimi	44
3.1.5 Geliştirilen sistemde kullanılan ImageJ görüntü işleme yazılımı	47
3.1.6 Geliştirilen sistemin denenmesinde kullanılan yüzeyler	48
3.1.7 Geliştirilen sistemin denenmesinde kullanılan sıvılar	51
3.2 Yöntem	52
3.2.1 Geliştirilen sistemin kullanıma hazırlanması	52
3.2.2 Geliştirilen sistemle sayısal görüntülerin elde edilmesi	54
3.2.3 Sayısal görüntülerden temas açılarının hesaplanması	57
3.2.4 Verilerin değerlendirilmesi	58
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	60
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	70
KAYNAKLAR	74
EKLER	81
EK 1 Geliştirilen mikro-denetleyici programının kaynak kodları	81
ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER DİZİNİ

μm	Mikrometre
ppm	Milyonda Bir Parçacık
$\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$	gram·litre ⁻¹
V	Volt
MHz	Megahertz
MP	Megapiksel
E	Yayıma Katsayısı
θ	Temas Açısı
θ_T	Damla İçinde Oluşan Üçgenin Taban Açısı
h	Damlanın Yüksekliği
b	Damlanın Taban Uzunluğu
H_2SO_4	Sülfürik Asit
P_2O_5	Fosfor Pentaoksit
K_2O	Potasyum Oksit
α	Hata Düzeyi (%)

Kısaltmalar

vb.	ve benzerleri
PTPE	Poli-Tetra-Floro-Etilen (Teflon)
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
MC	Mikro-denetleyici
IC	Tümleşik devre
CPU	Merkezi işlem birimi
ADC	Analogdan Sayısala Dönüştürücü

DAC	Sayısalda Analoga Dönüştürücü
IDE	Entegre Geliştirme Ortamı
G/Ç	Giriş/Çıkış
UART	Evrensel Asenkron Alıcı ve Verici
USB	Evrensel Seri Veriyolu
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
DC	Doğru Akım
PC	Kişisel Bilgisayar
CMOS	Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı-İletken
CCD	Yük Bağlısımlı Aygıt
FPS	Saniyede Görüntülenen Resim Sayısı
ISO	Fotoğraf Makinesinin Işığa Duyarlılığı
SLR	Tek Mercek Yansıtma
LED	Işık Yayan Diyot
NIH	National Institute of Health of USA
AISI	American Iron and Steel Institute
AK	Asetat Kâğıdı
DT	Beyaz Dut (<i>Morus alba</i>)
AS	Asma (<i>Vitis vinifera</i>)
EM	Eşek Marulu (<i>Sonchus oleraceus</i> L.)
KO	Kedi Otu (<i>Lepidium draba</i>)
SS	Saf Su
TH	Total Herbisit
FN	Fungusit
NPK	NPK sıvı yaprak gübresi
YY	Yayıcı-Yapıştırıcı
s.d.	Serbestlik Derecesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Hidrolojik çevrimde pestisitlerin izlediği yollar	3
Şekil 1.2 Yaprak dokusunun kesiti	6
Şekil 1.3 Tipik bir ışık mikroskobu ve parçaları.....	10
Şekil 1.4 Objektif mikrometre	10
Şekil 1.5 Bazı Arduino kartları.	14
Şekil 1.6 Bir Arduino kartı ile kalkanların birlikte kullanımı.....	16
Şekil 1.7 Bazı Arduino eklenti kartları (Hughes 2016).....	16
Şekil 1.8 Arduino IDE ekran görüntüsü.....	17
Şekil 1.9 Arduino Mega 2560 kartı.....	18
Şekil 1.10 Basit bir adım motorunun şeması	19
Şekil 2.1 Temas açılarının şematik gösterimi	26
Şekil 2.2 Temas açısı - kaplama oranı ilişkisi.....	29
Şekil 2.3 Bir yüzey aktif maddenin damlacıklara etkisi.	29
Şekil 2.4 Örnek bir gonyometre şeması.	31
Şekil 2.5 Intel Play QX3 ile çekilmiş 5 µl'lik saf su damlaları.	33
Şekil 2.6 Su (a), gliserol (b), propanol (c) ve etilen glikol (d) damlaları.....	34
Şekil 2.7 Örnek bir temas açısı ölçüm düzeneği.	35
Şekil 2.8 Temas açısının (θ) bulunması.	35
Şekil 2.9 Krüss DSA10 cihazı.....	36
Şekil 3.1 Geliştirilen sistemin şeması.	37
Şekil 3.2 Sistemin genel görünümü.	38
Şekil 3.3 Yaprak Tutucu.	39
Şekil 3.4 27G düz tip şırınga iğnesi.	40
Şekil 3.5 Şırınga pompası.	41
Şekil 3.6 Damlatıcı.....	41
Şekil 3.7 İğnenin ucunda oluşan damla.....	42
Şekil 3.8 Geliştirilen sistemde kullanılan sayısal mikroskop	43
Şekil 3.9 Yatay eksen hareket mekanizması	43
Şekil 3.10 Doğrusal hareket mekanizması	44
Şekil 3.11 Elektronik kontrol biriminin şematik görünümü	45

Şekil 3.12 Mikro-denetleyici programının algoritması.....	46
Şekil 3.13 ImageJ yazılımında yapılan bir çalışma.....	47
Şekil 3.14 Beyaz Dut (<i>Morus alba</i>) yaprakları.....	48
Şekil 3.15 Asma (<i>Vitis vinifera</i> L.) yaprağı.....	49
Şekil 3.16 Eşek marulu (<i>Sonchus oleraceus</i> L.).....	50
Şekil 3.17 Kedi otu (<i>Lepidium draba</i>).....	51
Şekil 3.18 Sistemde kullanılan 1500 µm çapında paslanmaz çelik bilye	53
Şekil 3.19 Yaprak tablası ve üzerine konulan çelik bilye	54
Şekil 3.20 ImageJ Webcam Capture eklentisi.....	55
Şekil 3.21 Bir damlanın büyüklüğünün kontrolü.....	56
Şekil 3.22 Ölçüm sürecindeki bir damlanın sayısal mikroskoptan görünümü	56
Şekil 3.23 Yarım açı metoduna göre temas açısı	57
Şekil 3.24 ImageJ yazılımı ile bir damlanın taban uzunluğunun ölçülmesi	57
Şekil 4.1 AK-SS Regresyon grafiği.	69
Şekil 4.2 AK-SS+YY Regresyon grafiği.	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Bazı Arduino modellerinin temel donanım özellikleri (Hughes 2016)	15
Çizelge 2.1 Temas açılarına göre yaprakların sınıflandırılması (Wang vd. 2015)	25
Çizelge 2.2 Temas açısı - yayılma katsayısı ilişkisi (Çilingir ve Dursun 2002).....	26
Çizelge 2.3 Bazı yabancı ot yapraklarında su ile ölçülen temas açıları (Çilingir ve Dursun 2002).....	27
Çizelge 2.4 Cam ve PTFE yüzeylerde temas açısı değerleri (Vicente vd. 2012)	34
Çizelge 2.5 Bazı temas açısı ölçüm cihazlarının temel özellikleri.....	36
Çizelge 3.1 Kullanılan yüzeyler	48
Çizelge 3.2 Temas açısı ölçümlerinde kullanılan sıvılar ve özellikleri	52
Çizelge 3.3 Bilyeler ve kullanıcılar.....	58
Çizelge 3.4 Kullanılan yüzeyler ve sıvılar	59
Çizelge 4.1 Grubbs Testi değerleri.....	60
Çizelge 4.2 1000 µm çapındaki bilye ölçümlerinin istatistikleri	61
Çizelge 4.3 1500 µm çapındaki bilye ölçümlerinin istatistikleri	61
Çizelge 4.4 3000 µm çapındaki bilye ölçümlerinin istatistikleri	62
Çizelge 4.5 Temas açısı ölçümlerinin tanıtıcı değerleri	63
Çizelge 4.6 Çift faktörlü varyans analizi sonuçları	64
Çizelge 4.7 Sıvılar arası farklılıkların belirlenmesi için yapılan LSD testi sonuçları.....	65
Çizelge 4.8 Yüzeyler arası farklılıkların belirlenmesi için yapılan LSD testi sonuçları.	66
Çizelge 4.9 Zamanın temas açısını etkisi çalışması istatistikleri	67
Çizelge 4.10 Levene varyansların homojenliği testi tablosu	67
Çizelge 4.11 AK-SS için LSD testi Sonuçları	68
Çizelge 4.12 AK-SS+YY için LSD Testi Sonuçları	68
Çizelge 4.13 Regresyon denklemleri tablosu.....	68

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Toprak ve su kaynaklarının korunabilmesi için sürdürülebilir tarım yapılması ve kullanılan tarım ilaçları ile yaprak gübrelerinin en uygun şekilde uygulanması gerekmektedir. Bu kimyasallar genellikle sıvı formlarda olup pülverizasyon tekniği ile uygulanırlar. Etkili bir pülverizasyon uygulaması için yaprak yüzeylerinin ıslanma özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Yaprak yüzeylerinin ıslanma özelliklerinin önemli bir göstergesi de sıvı damlalarının yüzeyler üzerinde gösterdikleri temas açılarıdır. Temas açısı ölçümlerine göre pülverizatör ve meme tasarımları ile yaprak yüzeylerine uygulanacak sıvıların özellikleri optimize edilebilmektedirler. Farklı kaynaklarda temas açısı, değme açısı olarak da isimlendirilmektedir.

Temas açısı; tarımda ve endüstriyel alanlarda yüzeylerin özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla ölçülen önemli bir parametredir. Yüzeylerin ıslanma ve sıvı damlacıklarının yüzeye yapışma özelliklerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca bitki yüzeylerinin ıslanmayla ilişkili olan damlacık tutma özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklere göre bitkilerin sınıflandırılarak pülverizasyon uygulamalarında uygulayıcılara bilgi vermesi amacıyla da kullanılmaktadır. Temas açısı ölçümleri ile pülverizatör ve benzeri tarım makineleri için gerekli tasarım parametreleri sağlanabilmekte, özellikle bitkilerin yaprak yüzeylerine uygulanacak sıvılar katkı maddelerinin yardımıyla bitkilere özel olarak optimize edilebilmektedir. Bu sayede uygulaması yapılan ilaç ve diğer kimyasallardan en fazla yarar sağlanacak şekilde çevre, tarımsal ekoloji ve insan sağlığına verilebilecek zararlar azaltılabilmektedir.

Temas açısı; pülverizasyon uygulamalarının yanı sıra yaprakların ıslanma yetenekleri; yağışların bitki yüzeylerinde tutulma kapasitesini ve bu nedenle yüzey akışına katılan su miktarını değiştirmesi nedeniyle su erozyonunda önemlidir. Ayrıca fotosentez hızında, patojen bulaşmalarında ve asit yağmurlarının bitkilere verdiği zararlar açısından da

önemlidir. Bu konularda yapılacak çalışmalarda temas açılarının ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Mevcut temas açısı ölçüm sistemleri genellikle endüstriyel amaçlı yapay ve homojen yüzeyler için tasarlandıklarından dolayı yaprak gibi doğal yüzeylerdeki ölçümlerde yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı bitkilerin toprak üstündeki yüzey alanının en büyük kısmını kaplayan yaprakların üstünde damlaların gösterdiği temas açılarının ölçümü için özelleştirilmiş bir sistem geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında tarımsal amaçlı pülverizasyonlarda kullanılan kimyasallara yönelik bir damla temas açısı ölçüm sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasında katı yüzeylerin ıslanma ve sıvıların ıslatma özellikleri ile bu özellikleri etkileyen diğer etkenlerin (yüzey pürüzlülüğü, yüzeyde bulunan mum, tüy v.b. yapılar) etkilerinin belirlenebilmesi için önemli bir gösterge olan temas açılarının özellikle doğal yüzeylerde durgun damla yöntemiyle ölçümünü görüntü işleme teknikleri kullanarak yapabilecek bir sistem geliştirilmiştir.

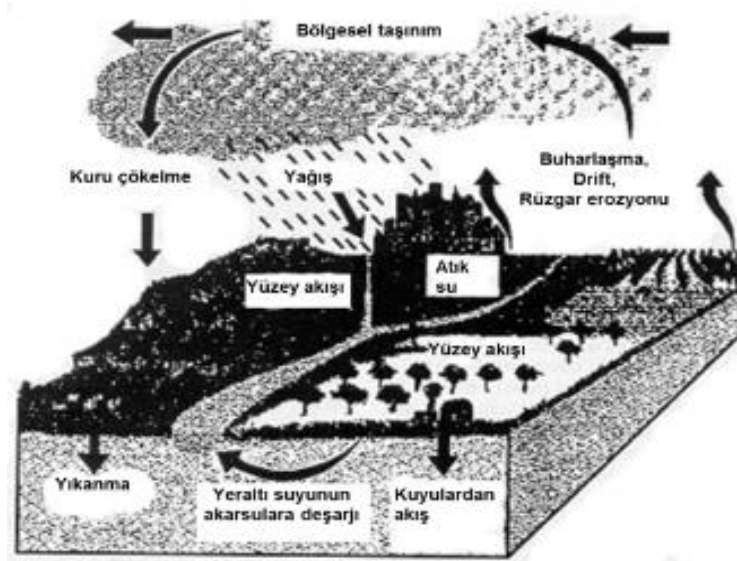
1.2 Pestisitler

Pestisitler modern tarımın tamamlayıcı bir bileşenidir ve 1940'lı yıllardan bu yana kullanımları ile tarımsal üretimi arttıran en önemli bileşen haline gelmişlerdir. Pestisitler tarımsal üretimden hayvan sağlığı ve halk sağlığı alanlarına kadar geniş bir çeşitlilikte kullanılmaktadırlar. Zararlıların, hastalıkların ve yabancı otların zararlarını azaltmakta ve bu sayede üretim miktarının yükselmesine, kalitenin artmasına ve ekonomik toparlanmaya katkıda bulunmaktadırlar. Tarımsal üretime zarar veren kaynakların sebep olduğu kayıpların ortalama % 20 ile % 40 arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Üretim kayıpları hasat, kurutma, depolama ve işleme aşamalarında da devam etmektedir. Dünyada üretilen hububat miktarının yaklaşık % 20'sinin hasat öncesi ve hasat sonrasındaki evrelerde yitirildiği tahmin edilmektedir. Dünya çapındaki bütün tarım ekosistemlerindeki üretim süreçlerinde pestisitlere ihtiyaç duyulmakta ve en az bir veya birden fazla sayıda uygulama yapılmaktadır. Üretim miktarındaki artışlarla birlikte, pestisitlerin yılda 10 ile 15 defa uygulanması özellikle meyve ve sebzelerde olağan sayılabilmektedir. Yabancı otları, zararlıları ve hastalıkları öldürmek üzere

tasarlanmış olan pestisit aktif maddeleri (adjuvantlar), aynı uygulama esnasında bir arada da kullanılabilirler. Pestisitler genellikle katı veya sıvı halde satılmaktadırlar (Yıldız vd. 2005).

Avrupa ülkelerine oranla son derece küçük ve parasal değeri dünya pazarının yüzde birinden az olan Türkiye pestisit pazarındaki yıllık tüketim miktarı 400-700 gram·hektar⁻¹ civarındadır. Ancak Türkiye'nin belirli bölgelerinde uygulanan pestisit miktarı, dünyada pestisitlerin en yoğun seviyede kullanıldığı bölgelerin seviyesindedir. Bu bölgelerde pestisitlerden kaynaklanan çevre riskleri daha fazladır (Yıldız vd. 2005).

Tarımsal amaç ile kullanılan pestisitlerin çoğunluğunun parçalanabilirlikleri yok denecek kadar az olduğu için, gerek toprağı gerekse sucul ortamı sürekli olarak kirletmektedirler. Ayrıca biyolojik birikim de meydana getirdiklerinden devamlı artış göstermektedirler. Örneğin; bu birikim en alt seviyede olan 7 ppm'den 100 ppm'e kadar çıkabilmektedir. Tarımsal alanlara püskürtülen inorganik kimyasallar ve gübreler de sucul ortamlara doğru yol almakta ve bunlarda ötrofikasyon olayına neden olmaktadır (Öztürk ve Seçmen 1999). Çevre koşullarına ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak pestisitlerin parçalanması yıllar sürebilmekte ve bu geçen zamanda hidrolojik çevrimde (Şekil 1.1) hareket etmektedirler (Stevenson vd. 1997).



Şekil 1.1 Hidrolojik çevrimde pestisitlerin izlediği yollar (Stevenson vd. 1997)

1940'lı yıllara kadar mevcut olmayan yaklaşık 80.000 sentetik kimyasal madde çeşidi bulunmakta ve bunlardan yaklaşık 400 ile 500 kadarını ise vücudumuzda taşıdığımız tahmin edilmektedir. Yeni üretilen yaklaşık 1500 farklı çeşit kimyasal madde her yıl pazara arz edilmektedir. Adana Adli Tıp Grup Başkanlığı'na gelen 82 adet vakadan alınan doku örneklerinin % 100'ünde tarım ilacı kalıntısı bulunmuştur. Ayrıca kadınlardaki tarım ilacı kalıntısı miktarı erkeklere göre daha yüksek bulunmuştur. Bu zehirler annelerden bebeklere de geçmektedir (Aydın 2012).

1.3 Yaprak Gübreleri

Bitkilerin beslenebilmesi için elzem olan ve en az bir besin maddesi içeren, organik, inorganik, tabii veya suni çeşitli maddeler gübre olarak tanımlanabilmektedir. Bu maddelerin katı veya sıvı olarak toprağa veya sıvı halde dolaysız olarak yapraklara tatbik edilmesine de gübreleme denilmektedir (Karaöz 1992).

Bitkilerin yapraklarına püskürtülerek uygulanan ve en az bir adet bitki besin maddesi içeren solüsyonlara yaprak gübresi denir. Ülkemiz tarımında yaprak gübreleri son yıllarda giderek yaygınlaşan miktarda kullanılmaktadırlar. Bitki büyümesinde makro besinlerin (fosfor, potasyum, azot vb.) gibi yanı sıra mikro besinler (bor, bakır, çinko, demir vb.) de lüzumludur. Ancak bitkilerin makro elementlere göre daha az mikro element ihtiyaçları vardır (Anonymous 2011a).

Hızlı etki gösteren yaprak gübrelemesinde çoğunlukla mikroelementlerle güçlendirilmiş 23-21-17 (NPK) karma gübresi kullanılır. Bunun yanında kullanıma hazır yaprak gübreleri de satılmaktadır. Bitki gelişim döneminin başlangıcında uygulanması önerilen yaprak gübrelerinin özellikle akşamüstü ya da gölgede uygulanması önemlidir (Karaöz 1992).

Bitkilerin gelişimi için yaşamsal olarak önemli olan bitki besleyici elementler, çeşitli nedenlerle toprak parçacıklarına bağlanabilir ve bitkilerin kökleri aracılığıyla alınamazlar. Bu sıkıntıya çözüm olarak yaprak gübrelemesi gereklidir. Böylelikle bitkinin ihtiyacı olan besinler bitki tarafından hızlı bir şekilde alınabilirler. Bitkilerin

toplam gübre ihtiyacını karşılamak yerine gübreleme programlarını desteklemek için yaprak gübrelemesi yapılmalıdır. Yaprak gübrelemesi bitkinin besin maddesi ihtiyacına veya farklı vejetasyon aşamalarına göre uygulanır. Ayrıca bitki için yararlı olan besin maddelerinin topraktaki durumu, bitkilerin köklerindeki sorunlar, bitki bakım süreçleri ve iklim şartları da uygulama için belirleyicidir (Anonim 2011a).

Bitki besin maddeleri toprağa gübre olarak verilebildikleri gibi yaprak gübrelemesi ile de bazı mineral bitki besinleri yapraklara uygulanabilirler. Püskürtülerek uygulama yapılan bu yöntem sayesinde besin maddeleri yapraklar tarafından emilebilirler. Gübrelerin toprağa uygulanması yöntemine kıyasla bazı şartlarda yaprak gübrelemesinin tarım için avantajları bulunmaktadır. Yapraklara yapılan uygulama sayesinde gübrelerin püskürtülmeleri ile emilmeleri arasındaki gecikme aralığı azaltılabilir ve bu durum hızlı gerçekleşen bir büyüme aşamasında özellikle önemlidir. Bunun yanında topraktan sınırlı besin alımı sorunu da bu uygulama sayesinde ortadan kalkar. Mesela, bakır, manganez ve demir vb. bazı mineral besin maddeleri yapraklara uygulandığında, toprağa yapılan uygulamaya göre daha çok etki gösterirler. Bunun nedeni ise bu maddelerin toprak parçacıklarının yüzeyine tutunmaları ve bitki kökleri tarafından daha az faydalanılabilir hale gelmeleridir (Taiz ve Zeiger 2008).

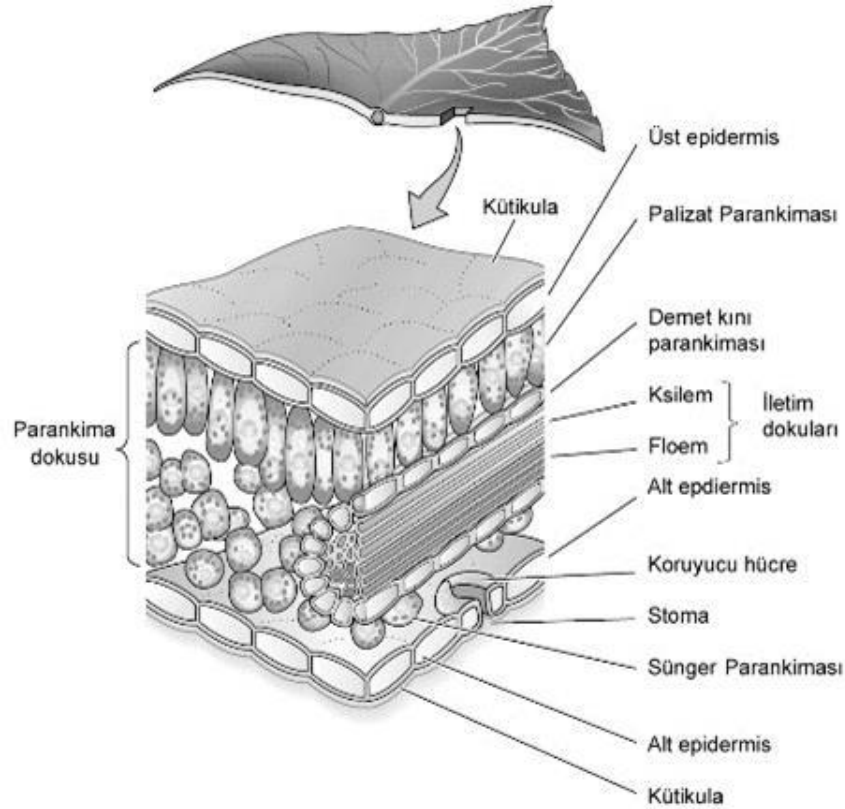
Yapraktan yapılan gübreleme ile toprağa uygulanan gübrenin alımı artar. Örneğin çinko ve demirin emilimini yüksek düzeydeki fosfor engeller. Topraktaki birtakım etkenler de besin elementlerinin emilmesini engellerler. pH derecesi yüksek olan topraklardaki bakır, bor, demir, çinko ve manganez gibi maddeler bazı bitkilerce engellenirler. Bu sayılan elementlerin alınması sorunu yapraktan gübreleme sayesinde kolayca giderilir. Yapraktan gübre uygulamaları ile bitkilerin kök bölgelerindeki yarayışlı mikroorganizmaların sayısında bir artış görülür ve dolayısıyla da bitkinin şeker üretimi artar. Bu nedenle yaprak gübrelerinin bazıları, inorganik gübrelerden daha çok etkilidirler (Anonim 2011a).

Bitki yaprakları tarafından bitki besleyici maddelerin alımı, kullanılan çözeltinin yapraklar üzerinde ince bir katman halini aldığı şartlarda daha fazla etkilidir. Bu ince katmanın oluşumu genellikle çözeltiye gerilimi azaltan ve adsorpsiyonu destekleyen

kimyasal maddelerin eklenmesini gerektirir. Yaprak hücrelerinin sıvıları emmesi ve kütikula aracılığıyla difüzyon, besin maddelerinin bitkinin içine doğru olan hareketinin başlıca yollarıdır. Stomalar besin maddelerinin yaprağa alımı için bir yol olmasına rağmen, bunlar yapıları nedeniyle sıvı alımını büyük ölçüde engellerler (Taiz ve Zeiger 2008).

1.4 Yapraklar

Fotosentez yapan ve yeşil klorofil içeren hücrelere barınma ve korunma sağlamak yaprakların ana görevidir. Yaprak yüzeyleri genellikle mumsu bir tabaka ile korunur. Bu tabakaya kütikül adı verilir. Kütikülün üzerinde stoma adı verilen gözenekler vardır. Stomalar, bitki dokuları ile çevresindeki atmosfer arasında gaz değişiminin gerçekleşmesine izin verir. Bu gözenekler genellikle nemi korumak için açıktır, ancak havadaki nem seviyeleri düşük olduğunda kapanabilirler (Woods vd. 2005). Örnek bir yaprak dokusunun kesiti Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Yaprak dokusunun kesiti (Taiz ve Zeiger 2008)

Doğal koşullarda, bitkilerin yaprak yüzeyleri sıkça yağmur, sis ve çiy ile ıslanır. Bu nedenle normal bir yaprağın dış yüzeyi az ya da çok miktarda sıvı suyla kaplıdır. Bu durumda stomalar boyunca gaz difüzyonu engellenmektedir. Yüzey ıslaklığı, türler arasında yaprak fotosentezinde farklı değişikliklere neden olur, çünkü yaprak yüzeyinin ıslanabilirliği, neredeyse tamamen su ile kaplanmasından su iticiliğine kadar çok çeşitlidir. Yaprak dokuları ile su arasında çözünmüş madde ve su değişimi olabildiğinden ıslanmanın fizyolojik etkileri bitkinin yaşamında önemlidir. Bu nedenle, bir yaprağın su ile ıslatılma derecesini belirleyen faktörlerle ilgili bilgi sahibi olmak gerekmektedir (Fogg 1947, Hanba vd. 2004).

Biyolojik malzemelerin yüzeyleri kavramı dış yüzeylerini içerir. Dış yüzeyin şekli, ürünün biçimini ortaya koymakta fakat dış yüzeyin üstü ise yüzeyini oluşturmaktadır. Yüzeyin düzlüğü, pürüzlülüğü, tüylülüğü, girinti-çıkıntılığı, çizgililiği, yivliliği, donukluğu, parlaklığı gibi özellikler, yüzey özellikleridir. Su ve kuru madde varlığı, yüzey gerilimi, olgunluk derecesi, strüktür türü gibi unsurların biyolojik malzemelerin yüzey özelliklerine etkileri vardır (Tunalıgil 1993).

Bitkiler birbirlerinden farklı yüzeylere sahiptirler. Yapraklar parlak yüzeyli, mumlu veya tüylü olabilirler. Yaprakların bazıları kolay ıslanabilen özellik gösterirken, bazıları ise daha az ıslanabilen özellik gösterirler. Yaprakların üst ve alt yüzeyleri de birbirlerinden farklı özellikler gösterebilirler (Zeren ve Bayat 1999).

Bitkisel üretimde pestisit uygulamalarının değerlendirilebilmesi için yaprak yüzeyi ıslaklığının tespiti önemlidir. Püskürtme teknolojisi araştırmalarında pestisit birikiminin değerlendirilmesinde doğru, kolay, hızlı ve ucuz bir yöntem eksikliği çekilmektedir (Ramalingam vd. 2003).

Yaprak yüzeylerinin ıslanma yetenekleri yağışların tutulmasında, fotosentezde, patojen enfeksiyonlarında ve çevresel kalitede ekolojik olarak önem taşımaktadır (Wang vd. 2015).

1.5 Mikroskoplar ve Sayısal Görüntüler

İnsanlar ancak 100 μm 'den büyük nesneleri çıplak gözle görebilirler (Anonymous 2011b). Mikroskoplar, küçük nesnelerin görüntülerini büyüterek detaylı olarak incelenebilmelerini sağlayan cihazlardır. Modern tıbbın pek çok dalında teşhis ve araştırma için amacıyla mikroskoplardan yararlanılmaktadır. Farklı teknik niteliklere sahip olmalarına rağmen, retinaya, bir fotoğraf tabakasına ya da bir ekrana incelenecek olan nesnenin görüntüsünün büyütülerek aktarılması amacıyla kullanılırlar (Açıkalın vd. 1996). Mikroskop adı, “mikros: küçük” ve “scopein: bakmak” anlamına gelen Grekçe iki kelimenin birleşiminden oluşur (Demirkol vd. 2018).

Çok geniş bir kullanım alanına sahip cihazlar olan mikroskoplar, laboratuvarların vazgeçilmez cihazlarıdır. Tıbbın birçok dalı ile jeoloji, biyoloji, kimya gibi bilim ve endüstri alanlarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu nedenle sadece biyomedikal alanına ait cihazlar değildir (Anonim 2011c).

Işık mikroskobu en yaygın olarak kullanılan mikroskop çeşididir. Mekanik ve optik olmak üzere iki bölümden oluşur. Optik bölüm kondansatör, objektif ve oküler olarak isimlendirilen üç lens sisteminden oluşur. Kondansatör incelenecek olan dokuyu aydınlatan bir hüzmeye oluşturacak şekilde ışığı toplar. Objektif, incelenen dokunun aydınlatılan görüntüsünü büyütür. Oküler bu görüntüyü daha da büyütür. Gözlem yapan kişinin retinası veya fotoğraflanacaksa fotoğraf plağı üzerine düşürür. Mikroskobun çözünürlük gücü optik sistemine, ışık kaynağının dalga boyuna, kesit kalınlığına, fiksasyon kalitesine ve boyama yoğunluğuna bağlıdır. İnsan gözünün çözünürlük gücü 0,2 mm iken, ışık mikroskoplarının 0,2 μm , taramalı elektron mikroskoplarının 2,5 nm, transmisyon elektron mikroskoplarının ise 0,05 nm'dir (Eşrefoğlu 2009).

Mikroskobun ana parçaları; gövde (taban, masa, kol), ışık kaynağı, yoğunlaştırıcı (kondansör), diyafram ile objektif ve oküler lenslerden oluşan büyütme kısmıdır (Müller ve Raith 1988, Akbay vd. 2000).

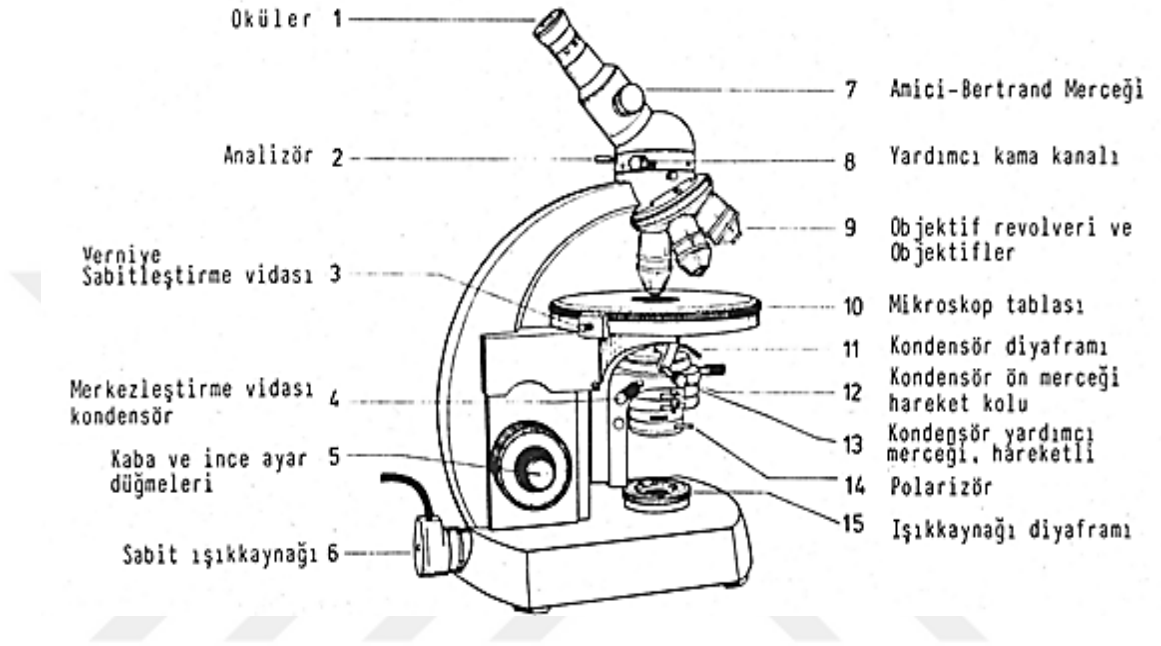
Işık, karşıtlık ve çözünürlük mikroskop tekniğinde önemli kavramların başında gelir. Işık gözlenecek nesneyi zeminden ayırmak için gerekli olan karşıtlığı sağlar. Çözünürlük nesneleri birbirinden ayırt etme yetisidir. Lens sistemi, ışığı kırma ve odaklama işlevini yapmakta ve göz ile koordine olarak kullanılmaktadır (Akbay vd. 2000).

Diyafram ışık kaynağından gelen ışınları toplayıp tutar ve ışık demeti haline getirir ve ışık ayarını sağlar. Kondansör ışık demetini kırar ve cisim üzerine gönderir. Cismin büyütülmesinde esas görev objektif ve oküler merceklerine aittir. Objektif mercekleri çok sayıdadır ve hepsi tüpün alt ucundaki dönebilir bir bölüm olan revolver üzerine yerleştirilmiştir. Her bir objektifin büyütme gücü birbirinden farklıdır. Objektif üzerinde, örneğin 20/0.65-160/0.17 sayıları varsa bu sayıların anlamları şöyledir; 20: objektifin büyütme gücü; 0.65: nesnedeki yapıların ayırım gücü; 160: objektifin kullanıldığı tüpün uzunluğu (mm); 0.17: kesitte kullanılması gereken lamelin kalınlığıdır (mm). Okülerler, tüpün göze gelen tarafında bulunan mercek sisteminden oluşur. Okülerin sayısına göre mikroskoplar monoküler (tek okülerli) ve binoküler (çift okülerli) gibi adlarla anılırlar (Ceylan ve Ünal 2020).

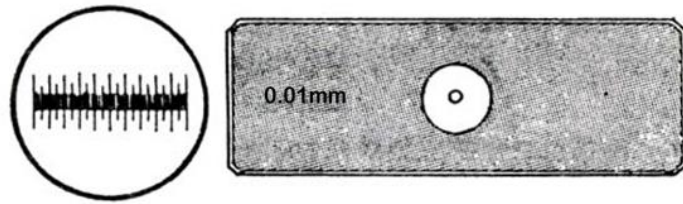
Mikroskobun toplam büyütme emsalini hesaplayabilmek için oküler ve objektif lensinin büyütme katsayıları birbiriyle çarpılır. Büyütme kısmında 5x, 10x ve 20x büyüten oküler lensleri, düşük seviyede büyütme için 10x, yüksek seviyede büyütme için 40x, 45x objektif lensleri ve yağa batırılan 100x immersiyon objektifi bulunur. Bu şekilde 10x ile 1000x arasında değişen toplam büyütme elde edilebilir. Objektif lensleri ise 1,8 mm, 4 mm ve 16 mm odak genişliğinde olabilirler. Mikroskopta, ideal odak elde etmek için kaba ve ince ayar düğmeleriyle yoğunlaştırıcı ve sayısal açıklık ayarlanmalıdır (Akbay vd. 2000). Tipik bir ışık mikroskobu ve parçaları Şekil 1.3’de gösterilmiştir.

Mikroskopta yapılan araştırmalara ait fotoğraflar yayınlanırken, genel olarak bunların görüntüleri kaç kat büyüttüğü belirtilir. Mikroskoptaki görüntünün boyu ve eni ölçülmek istenirse objektif mikrometre (Şekil 1.4) ile oküler mikrometre kullanılarak her oküler ve objektife ait katsayılar bulunur. Mikroskoptaki görüntünün boy ve enini ölçmenin diğer bir yolu ise, bilgisayar programı ve sayısal (dijital) kamera kullanmaktır.

Sayısal bir kamera ve program ile objektif mikrometredeki ölçü her bir objektif büyüklüğü için bir defa hesaplanır. Bu bilgi bilgisayar programına kaydedildikten sonra incelenecek mikroskop görüntüsünün büyüklüğü (büyütme emsali) sayısal olarak belirlenmiş olur (Elçi ve Sancak 2013).



Şekil 1.3 Tipik bir ışık mikroskobu ve parçaları (Müller ve Raith 1988)



Şekil 1.4 Objektif mikrometre (Elçi ve Sancak 2013)

Günümüzde mikroskoba bağlanabilen en etkili fotoğraf makinaları analog SLR tipte olanlardır. Son zamanlarda sayısal SLR makinaların kullanımı düşük ISO değerli fotoğraf filmlerinin bulunmasındaki güçlükten dolayı yaygınlaşmıştır. Sayısal fotoğraf makinaları, film yerine görüntüyü CCD veya CMOS adı verilen algılayıcılar aracılığı ile hafızaya kaydetmektedirler. Ancak, ISO değerleri fotoğraf filmleri kadar düşük olmadığından dolayı henüz analog makinalar kadar başarılı değillerdir. Sayısal fotoğraf makinalarının çekim tekniği analog olanlarla tamamen aynıdır. Işık mikroskoplarında

alttan ışıklandırılmalı, elektrikle çalışan çok çeşitli lamba tipleri vardır. Bu aydınlatmaya teknik ilerledikçe LED aydınlatma gibi yenileri katılmaktadır (Elçi ve Sancak 2013).

Sayısal mikroskop tekniği; ışık mikroskobu ve sayısal görüntülemenin kapsamlı bir bütünleşmesi olan ve yeni ortaya çıkan bir teknolojidir. Teknik olarak, sayısal mikroskop teknolojisi optik, elektronik, mekanik, sayısal görüntüleme, görüntü işleme, görüntü analizi, otomatik kontrol, ağ oluşturma ve bilgisayar teknolojilerini birleştirir. Sayısal mikroskop tekniği araştırmacıların görüntü verilerini gözlemlemesi, edinmesi, kaydetmesi, paylaşması, analiz etmesi ve yönetmesine yardımcı olan kolaylaştırıcı bir teknolojidir. Her ne kadar giderek artan sayıda biyolojik görüntüleme çalışan araştırmacı şu anda sayısal mikroskop tekniği ile görüntülemenin potansiyellerini fark etseler de, yeni teknolojiler ve yaklaşımlar hala emekleme aşamasında olduğundan bu alanda çok fazla teknik gelişime ihtiyaç vardır (McCullough vd. 2004).

Bilgisayarlardaki grafik yazılımları ve USB kameralı mikroskoplar sayesinde görüntü analizi ile temas açılarının doğru bir şekilde ölçülmesini basitleştirmiş ve geliştirmiştir. Böylelikle 1990'dan başlayarak temas açısını doğrudan ölçmeye çalışmak yerine, sayısal görüntünün kenarlarının x ve y koordinatlarının elde edildiği yaklaşım benimsenmiştir (Williams vd. 2010).

Günümüzde Mikroskop teknolojisi hızla ilerlemekte ve giderek daha uygun maliyetli, daha hızlı ve daha hassas kantitatif biyomedikal görüntülemeyi mümkün kılmaktadır. Buna karşılık olarak da daha gelişmiş görüntü işleme ve analiz tekniklerini gerektirmektedir. Ticari yazılımlardan akademik yazılımlara ve küçükten büyüğe geniş bir yazılım yelpazesi mevcuttur, ancak bir yazılımın bilimsel araştırma için uygun olan temel özelliği erişilebilirliğidir. Açık kaynaklı yazılımlar, bilimsel çabalar için idealdir çünkü serbestçe incelenebilir, değiştirilebilir ve yeniden dağıtılabılır. Özellikle açık yazılım platformu ImageJ yaşam bilimleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olmuştur ve etkisi halen devam etmektedir (Schindelin vd. 2015).

Teknolojik gelişim sürecinde insanların en önemli ilgi alanlarından bir tanesi çevresinde gelişen olayların kayıt altına alınması ve kalıcı hale getirilmesi olmuştur. Geliştirilen ilk

fotoğraf ve video cihazları ile ancak siyah-beyaz görüntüler kaydedilebilirken, sonraki yıllarda görüntüler renkli olarak elde edilmiştir. Sayısal teknolojilerin ilerlemesiyle birlikte ses ve video görüntüleri bilgisayarda işlenebilecek şekilde kayıt altına alınabilmeye başlanmıştır. Görüntülerin bilgisayarlara aktarılabilmesi ile birlikte görüntü işleme aygıtlarının hızlarında ve kapasitelerinde önemli iyileştirmeler olmuş ve buna bağlı olarak giderek daha yüksek çözünürlükte görüntüler elde etmeye izin veren görüntü işlemcileri geliştirilmiştir (Anonim 2007a).

Görüntü yüzeyi üzerindeki noktaların aydınlık veya renk değerlerini temsil eden sayı grubuna sayısal görüntü denir. Görüntülerin bilgisayarlar ortamında işlenebilmeleri, depolanabilmeleri, çözümlenebilmeleri ve düzenlenebilmeleri ancak sayısal görüntü haline dönüştürülmeleri ile mümkündür. Fotoğraf veya görüntülerin sayısal kamera, tarayıcı vb. cihazlar aracılığıyla sayısallaştırılması ile elde edilirler (Kırkaç 2005).

Gerçek yaşamdaki analog bir verinin kamera gibi donanımlar kullanılarak sayısal bir hale getirilmesiyle sayısal görüntü oluşmaktadır. Sayısal bir görüntünün satır ve sütun olarak depolanmasında satır ve sütunların kesiştiği konumdaki her bir nokta piksel olarak adlandırılmaktadır. Piksel, sayısal görüntüyü oluşturan en küçük birimdir ve sayısal görüntüler bu kare şeklindeki noktalardan oluşurlar. Sayısal görüntüde, piksel bilgileri satır ve sütun şeklindeki 2 boyutlu bir dizi olarak veya renk uzayına göre farklı boyutlara sahip matris halinde depolanabilmektedir. Pikseller mavi, yeşil ve kırmızı renklerin birleşiminden meydana gelirler. Piksel çözünürlüğü arttıkça görüntü daha netleşir ancak çözünürlük aşırı derecede arttığında ise dosya boyutu da artar (Anonim 2007b, Pişkin 2016).

Görüntü işleme cihazlarının çözünürlüğünü belirleyen en önemli etken görüntü algılayıcılarıdır. Uygun çözünürlükleri ucuz maliyetlerle sunabildiklerinden genellikle CMOS optik algılayıcıları kullanılırlar. Çok daha fazla ayrıntıyı yakalayabilen CCD sistemi ise bazı ileri teknolojiye sahip modellerde kullanılmaktadır. Görüntü algılayıcılarının çerçeve hızları ise FPS kısaltması ile belirtilir (Anonim 2012).

1.6 Mikro-denetleyiciler ve Adım Motorları

Günümüzdeki araştırmalar, çok amaçlı elektronik birimlerin kullanımına ve programlamanın geliştirilmesine odaklanmıştır. Bu yaklaşım, prototiplerin boyutlarını ve maliyetlerini azaltmakla birlikte bunların esnekliğini, uyarlanabilirliğini ve paylaşılabilirliğini artırabilmektedir. Normal koşullar altında, örneğin kimyagerler tarafından geliştirilen cihaz prototiplerinin genellikle üst düzey ticari cihazlarla rekabet etmesi beklenemez, ancak mikro-denetleyici kartları ve tek kartlı bilgisayarlarla prototip yapmanın belirgin avantajları sayesinde zorluklara yaratıcı teknolojik çözümler geliştirerek laboratuvar verimliliği artırılabilir (Urban, 2018).

Bir mikro-denetleyici, bağımsız çalışabilen, özellikle izleme ve/veya kontrol görevleri için tasarlanmış bir elektronik bileşendir (Gridling ve Weiss 2007). Makinelerin ve işlemlerin kontrolü ve otomasyonu için tek bir tümleşik devreden (IC) oluşan mikro-bilgisayarlar olarak tanımlanabilirler (Deshmukh 2005).

Mikro-denetleyicilerde; CPU, bellek, G/Ç portları, zamanlayıcılar ve sayıcılar, ADC'ler, DAC'lar, seri portlar, kesme mantığı birimi, osilatör ve daha pek çok işlevsel birim tek bir IC üzerinde bulunmaktadır. Tüm bu fonksiyonel blokların tek bir IC'de toplanması; kontrol panelinin küçülmesine, düşük güç tüketimine, daha fazla güvenilirliğe ve uygulama tasarımında bütünleşme kolaylığına neden olur. Mikro-denetleyicilerin kullanımı sadece otomasyon maliyetini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda daha fazla esneklik sağlar. Tasarımcılar, ADC ve DAC'ler gibi harici çevre birimlerinin karmaşık ara yüzleri ile uğraşmak yerine uygulamalara ve geliştirme yönlerine odaklanabilirler (Deshmukh 2005).

Mikro-denetleyicileri programlamak için Assembly ve C gibi çeşitli programlama dilleri kullanılmaktadır. Assembly ve C dilleri mikro-denetleyicileri programlamak için kuvvetli dillerden ikisidir. Alt seviye bir dil olduğu için Assembly'nin anlaşılması zordur ve diğer üst seviye dillere göre daha uzun kod yazmak gerekmektedir (Dökmetaş 2016).

Arduino, Atmel AVR serisi mikro-denetleyicileri kullanan bir fiziksel programlama platformudur. Çeşitli DAC ve ADC giriş ve çıkışlara sahiptir. Farklı amaçlarla kullanılan algılayıcılardan gelen analog ve sayısal sinyalleri değerlendirmek için kullanılabilir. Değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar başka sistemler için de veri kaynağı olarak kullanılabilirler (Beyaz ve Beyaz 2015). Bazı Arduino kartları Şekil 1.5’de gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Bazı Arduino kartları (Hughes 2016)

Arduino, kolayca programlanabilen, silinebilen ve yeniden programlanabilen açık kaynaklı bir bilgi işlem ve mikro-denetleyici platformu olarak 2005 yılında tanıtılmıştır. Hobi meraklılarının, öğrencilerin ve profesyonellerin basit mikro-denetleyici kartları, algılayıcılar ve hareket başlatıcı elemanlar kullanarak çevreleriyle etkileşime giren elektronik cihazlar oluşturabilmelerini ve programlayabilmelerini sağlamak için ucuz ve kolay bir yol sağlamak üzere tasarlanmıştır. Arduino, diğer mikro-denetleyiciler gibi çeşitli elektronik cihazlar ile girişler ve çıkışları kontrol edebilen bir mini bilgisayar gibi kullanılabilir. Arduino, kalkan adı verilen ilave birimlerin yardımıyla internet üzerinden bilgi alma ve gönderme yeteneğine de sahiptir (Louis 2016). Bazı Arduino kartlarının temel donanım özellikleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Bazı Arduino modellerinin temel donanım özellikleri (Hughes 2016)

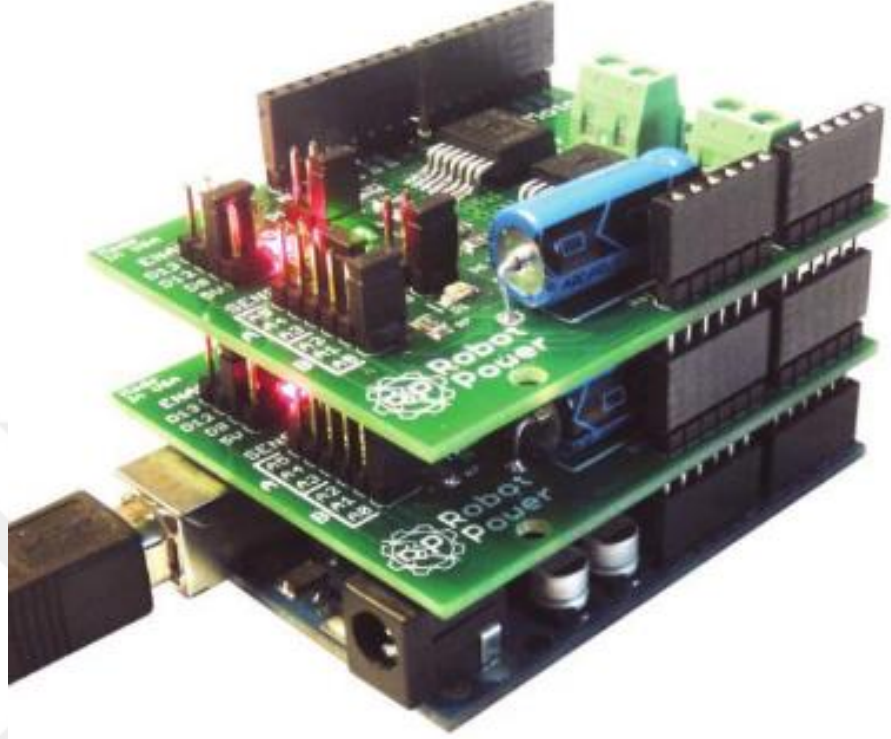
Kartın Adı	ATmega MC	DC Besleme Gerilimi (V)	Saat Frekansı (MHz)	Analog Giriş iğne adedi	Sayısal G/Ç iğne adedi	PWM iğne adedi*	USB bağlantı tipi
Esplora	32U4	5	16	-	-	-	Mikro
Ethernet	328	5	16	6	14	4	Standart
Leonardo	32U4	5	16	12	20	7	Mikro
Mega ADK	2560	5	16	16	54	15	Standart
Mega 2560	2560	5	16	16	54	15	Standart
Micro	32U4	5	16	12	20	7	Mikro
Mini	328	5	16	8	14	6	-
Nano (168)	168	5	16	8	14	6	Mini-B
Nano (328)	328	5	16	8	14	6	Mini-B
Pro (168)	168	3,3	8	6	14	6	-
Pro (328)	328	5	16	6	14	6	-
Uno	328	5	16	6	14	6	Standart
* PWM çıkışı olarak da kullanılabilen sayısal G/Ç iğneleri							

Kalkanlar bir Arduino kartı ile arayüz oluşturmak için gerekli iğnelere sahip eklenti devre kartlarıdır. Bu kalkanlar için Arduino'ların DC güç, sayısal G/Ç, analog G/Ç vb. bağlantıları kullanılabilir. Prototip oluşturmak için en basit kartlardan, motor kontrolcülerine, ağ ara yüzlerine, hafıza kartlarına ve ekranlara kadar çeşitli uygulamalar için kalkanlar mevcuttur. Arduino kartları aynı anda iki veya daha fazla kalkanla birlikte ara yüz oluşturulabilmesine izin verirler (Hughes 2016). Kalkanların en büyük avantajı, özellikle yeni Arduino kullanıcıları için tasarlama ve inşa edilme zahmetine girilmeden hazır devrelerin projelere dâhil edilmesinin sağlamasıdır (Yarnold 2015). Kalkanların bir Arduino kartı ile birlikte kullanımı Şekil 1.6'da gösterilmektedir.

Kalkanlar birçok işleve sahip olmalarına rağmen, çok sayıdaki farklı algılayıcı, kontrol ve hareket başlatıcı elemanların kullanımı için ilave olarak tek işlevli ve küçük boyutlu eklenti kartlarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar arasında sıcaklık, nem ve titreşim algılayıcıları, fotoğraf dedektörleri, tuş takımları, kumanda kolları ve katı hal lazerleri bulunur (Hughes 2016). Bazı Arduino eklenti kartları Şekil 1.7'de gösterilmiştir.

Arduino'nun genellikle Atmel AVR mikro-denetleyiciler ile oluşturulan ve geliştirme kartı olarak da bilinen donanımlarına C/C++ programlama dilinin basitleştirilmiş bir

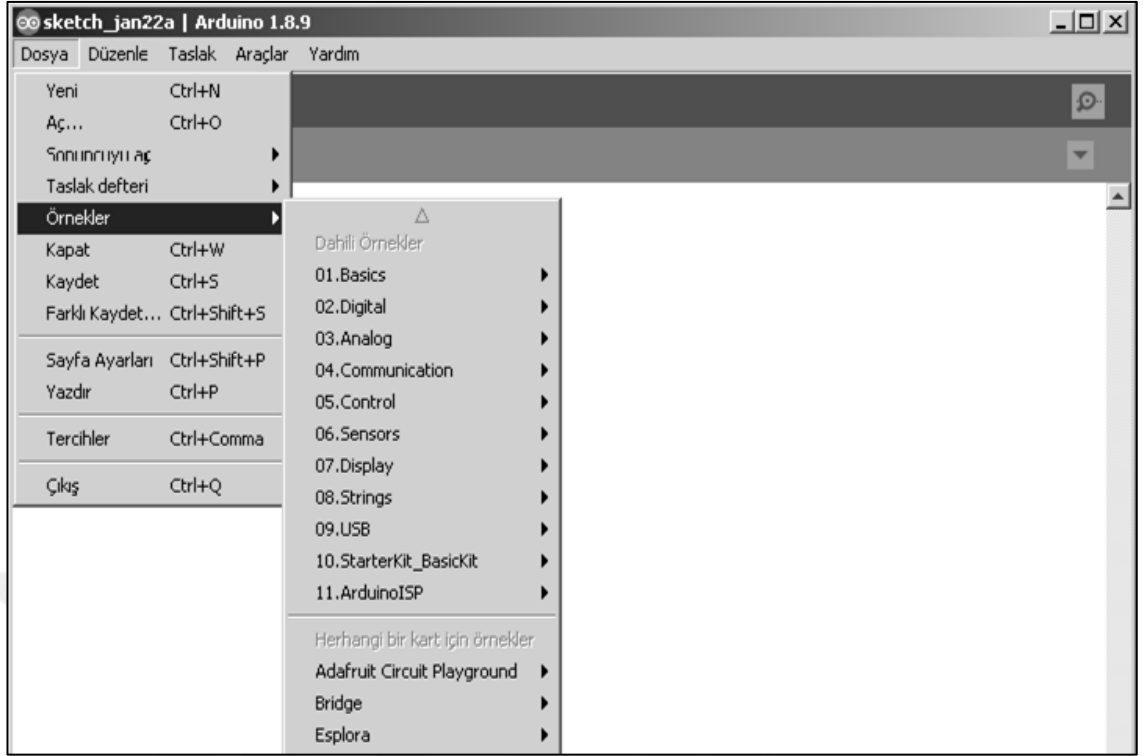
sürümü ile program kodu geliştirmek için Arduino IDE (şekil 1.8) yazılımını kullanılır (Louis 2016).



şekil 1.6 Bir Arduino kartı ile kalkanların birlikte kullanımı (Yarnold 2015)



şekil 1.7 Bazı Arduino eklenti kartları (Hughes 2016)



Şekil 1.8 Arduino IDE ekran görüntüsü

Bir Arduino kartına bilgisayardan program yüklemek ve çeşitli sürücülerin kurulması için Arduino IDE yazılımının yüklenmesi gerekmektedir. Bu yazılım ücretsiz olarak Arduino'nun resmi sitesi olan Arduino.cc'den indirilebilmektedir. Aynı sitede Arduino kartları hakkında çeşitli donanım bilgileri ve örnek kodlar da bulunmaktadır (Dökmetaş 2016).

Arduino IDE'de; mikro-denetleyici kodunun yazılabileceği bir "metin düzenleyici", hata bilgileri, kodun kaydedilmesi ve dışa aktarılması hakkında geri bildirimde bulunan bir mesaj alanı, bir metin konsolu ve bir konsol araç çubuğu bulunmaktadır. Hata mesajları ve diğer bilgiler metin konsolunda görüntülenir. Konsol araç çubuğunda ise doğrula, yükle, yeni, aç, kaydet ve seri monitör gibi çeşitli düğmeler bulunur (Louis 2016).

Arduino IDE'de, program taslakları ile bu taslaklarla kullanılabilen bir kütüphane koleksiyonu da bulunur. Bu kütüphaneler; ağ arabirimi, sıvı kristal ekran, geleneksel seri arabirim vb. çevresel cihazlara erişmek için işlevler içerir (Hughes 2016).

Arduino Mega 2560 kartı (Şekil 1.9), robotlar ve üç boyutlu yazıcılar gibi karmaşık projeler geliştirmek için tasarlanmıştır. Üzerinde 54 adet sayısal G/Ç, 16 adet analog giriş ve 4 adet UART bağlantısı gibi özellikleri olan bir ATmega2560 mikro-denetleyici bulunmaktadır. Giriş seviyesi diğer Arduino modellerine göre daha fazla özellik ve performansa sahiptir. USB portu üzerinden PC'lere kolayca bağlanabilmektedir (Nayyar & Puri 2016).

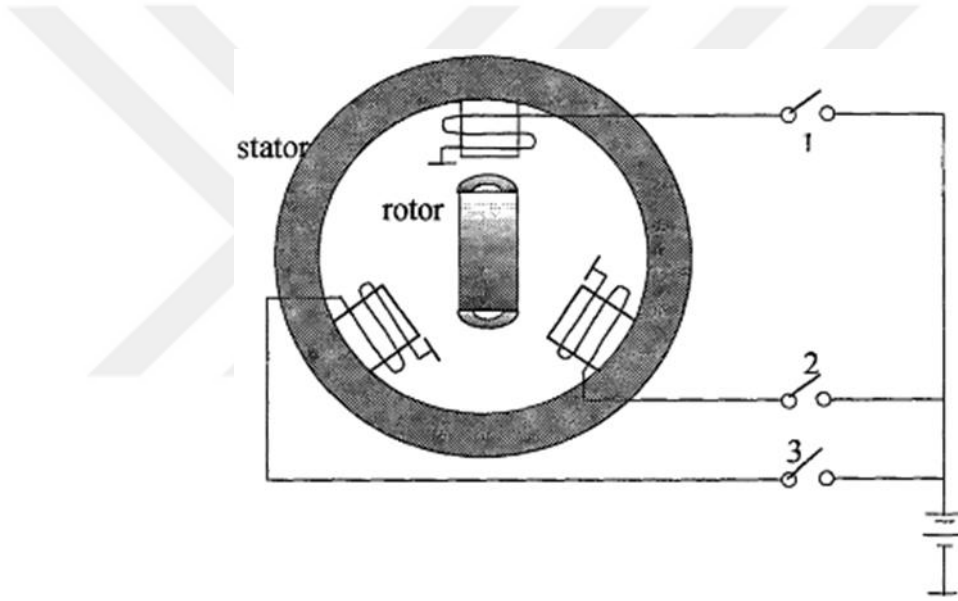


Şekil 1.9 Arduino Mega 2560 kartı

Adım motorları özel bir servo motor türüdür. Diğer servo sürücülerin aksine, konum ölçümüne ve geri bildirimine gerek kalmadan kontrollü, kademeli bir hareket sağlarlar. Böylece doğru konumlandırmayı, maliyetli ve zarar görebilen bir konum sensörü ile karmaşık rotor konumu geri bildirimleri olmadan gerçekleştirilebilir. Elektromanyetik yapı ve uyarma, fark edilebilir bir adım açısı ile sonuçlanır (Melkebeek 2018).

Adım motorları ya da diğer adıyla step motorlar, aldıkları sayısal darbeler (0 veya 1) göre belirlenmiş bir açıda dönüş hareketi yaparlar. Dönüş hareketi esnasında sadece tekil adımlar atabilirler. Bu özellikleri sayesinde kullanım alanları oldukça fazladır. Hızları uygulanan sayısal darbelerin frekansı değiştirilerek kontrol edilmektedir. Stator sargılarına verilen sinyallerin sıralaması değiştirilerek adım motorlarının dönüş yönü değiştirilebilir. Bu özellikleri sayesinde bilgisayar ve mikroişlemciler tarafından kumanda edilebilmektedirler (Çayıroğlu ve Şimşir 2008).

Adım motorları elektrik enerjisini dönme hareketine dönüştüren elektromekanik cihazlardır. Elektrik enerjisi uygulandığında, birbirlerine bağlı olan rotor ve şaft belirlenmiş açılı adımlarla dönmeye başlarlar. Bu motorlar, anahtarlamayı yüksek hızla yapabilme yeteneğine sahip adım motoru sürücülerine bağlanırlar. Bu motor sürücüler, giriş darbeleri bir kodlayıcıdan ya da PLC'den alırlar. Alınan her giriş darbesi ile motor şaftı bir adım atar. Adım motorları, bir motor devrinde atılan adım sayısı ile anılırlar. Örneğin, 400 adımlı bir adım motoru, bir tam devirde 400 adım atar. Bu motorun bir adımının açısı ise $360 \div 400 = 0,9^0$ olur. Bir tam devirde atılan adım sayısı arttıkça, duyarlılık ve step motorun maliyeti de yükselir (Anonim 2011d). Basit bir adım motorunun şeması Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10 Basit bir adım motorunun şeması (Aslan 1999)

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ

Temas açısı terimi, yaprak yüzeyindeki bir damlanın yayılma durumunu tespit etmek için kullanılır. Temas açısı ne kadar küçükse, damla yaprak yüzeyinde o kadar iyi yayılır. Bu açığı azaltmak için bitki koruma ilaçlarına yüzey gerilimini azaltan maddeler (adjuvantlar) eklenmektedir (Zeren ve Bayat 1999).

Farklı kaynaklarda temas açısı ve değme açısı terimleri eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Acartürk vd. (2009), temas açısını bir damlanın bir katının yüzeyi ile oluşturduğu açı olarak tanımlamıştır. Çilingir ve Dursun (2002), bir damlanın yaprağa temas ettiği köşe noktalarından geçirilen bir teğet ile yaprak yüzeyinin arasında kalan açının (ϕ) değme açısı olarak tanımlandığını, bu açının iç ve dış açı olarak ölçülebilmekte olduğunu ifade etmişlerdir.

Temas açısı, katı bir yüzeye ait yüzey enerjisi ve bir malzemenin ıslanabilirlik yeteneği hakkında bilgi sağlar. Bu açıların belirlenmesi, sıvıların yayılma ve ıslatma mekanizmalarının daha net anlaşılabilmesi için önemlidir. Islanabilirlik, yapışkanlık ve yüzey enerjisi, temas açısı değeri azaldıkça artar, açı arttıkça azalır (Aydar ve Bağdatlıoğlu 2014). Bir sıvı damlası katı bir yüzeye damlatılırsa, damla biçiminde kalabilir ya da oldukça yayılabilir. Bu esnada katı ve sıvının yüzeyleri arasında bir etkileşim vardır. Bu etkileşim, sıvı ile katı arasında oluşan temas açısı ile açıklanabilir (Acartürk vd. 2009). Temas açısı ölçümleri yüzey ıslanabilirliği-ıslanamazlığı, yüzey yükü ve yüzey enerjisi hakkında bilgi sağlayan bir yöntemdir (Anıl 1997).

Bir takım teknolojik, çevresel ve biyolojik olaylarda önemli bir rol oynamasından dolayı temas açıları ilgi çekmektedir. Gözenekli ortamın su emmesi teorisinin gıda, toprak fiziği, jeoloji, baskı tekniği ve daha pek çok alanda çok-disiplinli bir geçerliliğe sahip olduğu gösterilmiştir. Bir sıvının gözenekli bir katı tarafından emilmesi, ıslanmaya oldukça bağımlı bir olgudur. Emilim, genellikle sıvıların katı ile oluşturduğu temas açılarının ölçülmesiyle belirlenen gözenekli ortamın ıslanabilme özelliğine oldukça bağımlıdır (Anonymous 2015).

Hareketsiz durgun halde bulunan sıvıların atmosferle temasta bulunan serbest sıvı yüzeyleri ya da birbirlerine karışmayan iki sıvının dokunma yüzeyleri sanki ince bir zar ile kaplanmış gibidir. Bu zarı delmek, yarmak için bir kuvvet harcamak gerekmektedir. Harcanan kuvvet sıvının cinsine ve özelliğine bağlıdır. Küçük bir cıva damlası düzgün bir yüzeye konduğunda küre biçimini alacaktır. Çünkü yüzeydeki kohezif (iç) kuvvetler moleküllerin tamamının kompakt biçim almasını sağlayacaktır. Yine su damlası mumlu yüzeye düştüğünde aynı nedenle küresel yapıya dönüşecektir. Sıvıların kararlı halde olabilmesi için yüzey alanının minimum olması gerekir. Bu nedenle bir katı cisimde asılı duran veya bir damlalıktan aşağıya düşen su damlacığının şekli küreseldir (Keskin ve Güner 2001).

Su damlası bir katının yüzeyine tamamen yayılarak ıslatabildiğinde temas açısı (θ) sıfırdır. Bu durumda su molekülleri arasındaki kuvvetler, su ile katı arasındaki çekim kuvvetlerinden daha küçük veya eşittir. Bir katı suyla ıslandığında, su katının içindeki hava ile yer değiştirir. Materyalin ıslanabilirliği, su ile materyal arasındaki temas açısı ölçülerek değerlendirilir (Acartürk vd. 2009).

Islatma, katı yüzeyin üzerine bir sıvının yayılması ve belli bir ölçüde kaplamasıdır. Islanma ise katı bir yüzeyin bir sıvı tarafından belli bir ölçüde kaplanmasıdır. Bu olayların gerçekleşme seviyesi, sıvılar açısından ıslatabilirlik, katılar açısından ise ıslanabilirlik olarak tanımlanır (Anıl 1997).

Islanma, bir katı ile bir sıvının temas etmesidir. Islanmanın gerçekleştiği ortam bir gaz veya başka bir karışmaz sıvıdan oluşabilir. Günlük yaşamda, biyolojide ve endüstride ıslanmaya bağlı işlemlerin tipik örnekleri arasında yapışma, baskı, temizleme, boya, yağlama ve daha pek çok şey vardır. Bu nedenle, katı yüzeylerin ıslanabilirliğinin karakterizasyonu çok dikkat çekmiştir. Karmaşıklığından dolayı, ıslanma üzerine uzun yıllar süren çalışmalar yapılmış ancak olay tam olarak açıklanamamıştır (Marmur 2009).

Sıvıların katı yüzeylerle temas halinde davranışı farklı olabilir. Bazı sıvılar, bir film oluşturarak yüzeylerin üzerine yayılırken, diğerleri onları sınırlı bir dereceye kadar

ıslatırken, belirli bir temas açısında damlalar oluşturur (Goclawski ve Urbaniak-Domagala 2008).

Sıvıların katı yüzeyleri ıslatma yetenekleri ve dolayısıyla da oluşan temas açılarının boyutunu etkileyen faktörler sıvıların akışkanlıkları, katı yüzeylerin kirliliği ve pürüzlülük derecesi ile katıların yüzey düzensizliklerinin şekilleridir (İnan vd. 2010).

Düşük veya yüksek enerjili olarak nitelendirilen katı yüzeylerde, eğer enerji yüksekse sıvı katı yüzeye eşit olarak yayılır ve bir film tabakası oluşturur. Bu şartlarda yüzey bütünüyle ıslanır ve temas açısı sıfır olur. Bu durumda katı yüzey hidrofiliktir. Ters durumda ise sıvı damlacıkları düşük enerjili yüzeylerden ayrılmaya çalıştıkları için damlalar yüzeye birbirlerinde ayrı olarak yerleşirler ve temas açısı 90°'nin üstünde olur. Bu durumda ise katı yüzey hidrofobiktir (Aydar ve Bağdatlıoğlu 2014).

Bir su damlası katı yüzey üzerine damlatıldığında, katının yüzeyinde; sıvı-hava (γ_{SH}) ve katı-hava yüzey gerilimi (γ_{KH}) ile katı-su ara yüzey gerilimi (γ_{KS}) olmak üzere üç kuvvet gözlemlenir (Acartürk vd. 2009). Wenzel (1936) bildirdiğine göre Young Eşitliği (Eşitlik 1); katı, sıvı ve hava (gaz) temasındaki üç fazlı dengeyi tanımlamaktadır.

$$\gamma_{KH} = \gamma_{KS} + \gamma_{SH} \cos\theta \quad (1)$$

θ : temas açısı,

γ_{KH} : katı - hava (gaz) arasındaki yüzey gerilimi,

γ_{KS} : katı - sıvı arasındaki ara yüzey gerilimi,

γ_{SH} : hava (gaz) - sıvı arasındaki yüzey gerilimi.

İlaç ve püskürtme etkinliğini artırmak için tarım ilacı uygulamalarında katkı maddeleri kullanılmaktadır. İlacın yüzeylerde daha iyi yayılması ve yapışması uygulamanın etkili olması için gereklidir. Özellikle taşıyıcı sıvı su ise damla oluşumu ve hedef yüzeyinde yayılma suyun fiziksel nitelikleri değiştirilerek bir miktar kontrol altında tutulabilir (Temeldaş 2007).

Bir damla bir katının yüzeyine bırakıldığında değişik kimyasal ve fiziksel etmenlerden etkilenir. Katı, sıvı ve gaz yüzeyleri arası gerilimlere bağlı olarak temas açısı değişiklik gösterir. Temas açısı; eğer katı ile gaz arası gerilimin miktarı, katı ile sıvı arasında oluşan gerilimden yüksekse 0° ile 90° arasında olur, aksi halde 90° ile 180° arasındadır. Yüksek temas açısında sıvı yüzeyden akarken, düşük temas açısında ise katı malzemeyi sıvı ıslatır. Katının yüzey pürüzlülük miktarı da sıvı emme oranını etkileyen bir etkidir (Aydar ve Bağdatlıoğlu 2014).

Sıvı ve katının yüzeyi arasında oluşan temas açısı 0° ile 180° arasındadır. Temas açısının yüksekliği, katı yüzey üzerinde sıvının yayılmasına bağlıdır. Sıvı ne kadar az dağılırsa açı o ölçüde büyük olur (Acartürk vd. 2009).

Hidrofilik, su ile temasa elverişli olan ayrıca su ile arasında 90° 'den küçük temas açısı oluşan materyallere denir. Tersi özellik gösteren malzemelere ise hidrofobik denir (Anıl 1997).

Temas açısının ölçülebilmesi için sıvının katı yüzeyine damlatıldıktan sonra durgun hale gelmesi beklenir ve sonra ölçüm yapılır. Katılar üzerinde doğru ölçüm sonuçları elde edilebilmesi katı yüzeyinin düzgün olması önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü temas açısını etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü ne kadar artarsa temas açısı da o oranda büyür. Katı yüzey üzerine aktarılan bir sıvı damlası 90° 'nin üstünde bir açı oluşturduğunda, sıvı çukurlukları dolduramaz, diğer bir ifadeyle katıyı ıslatamaz. Aksi durumlarda meydana gelen açı 90° 'den küçük olur (Acartürk vd. 2009).

Islanabilirlik, yaprakların katı, gaz ve sıvı faz ara yüzüne kapsamlı bir cevaptır ve bitkilerin fizyolojik ve ekolojik fonksiyonlarını önemli ölçüde etkiler. Örneğin yaprak ıslanabilirliği, asit yağmuru, ozon ve partikül madde gibi kirletici birikintilerini, yaprak besinleri süzülmesinde, bitki hastalığının kontrolünde, bitki fotosentezi ve verimi için ve çökeltmenin durdurulmasında etkiler (Wang ve Wang 2015).

Islanabilirlik, bir katı ile bir sıvı arasındaki yapışmanın ters bir ölçümünü veren temas açısı vasıtasıyla en uygun olarak ölçülmektedir. Bitkilerin dış yüzeyleri, ıslanabilirlikleri açısından tamamen ıslanabilenden su iticiliğe kadar değişen farklılıklar göstermektedirler. Bitki türleri arasında meydana gelen ıslanabilirlikteki önemli farklılıklar, temas açısı ölçümleri ile kolayca vurgulanabilmektedir. Yaprak yüzeyinin ıslanabilirliği, herhangi bir katı yüzeyin ıslanmasını düzenleyen aynı temel fiziko-kimyasal faktörler tarafından yönetilir. Bunların başlıcaları, uygulanan kimyasal maddenin yapısı, yaprak yüzeyinin kimyasal yapısı ve yüzey pürüzlülüğüdür. Bitki yapraklarına nüfuz etmeden önce, uygulanan kimyasal maddenin püskürtülen damlacıkları bitki yüzeyine çarpmalı ve tutulmalıdır. Yaprak yüzeyinin fiziko-kimyasal özellikleri ıslanabilirliği kontrol eder ve penetrasyonun önündeki ilk engeli oluşturur. Ayrıca bu özellikler püskürtülen kimyasalların birikmesini, dağılımını ve tutulmasını etkileyen penetrasyon öncesi işlemlerde de önemli bir rol oynarlar. Doğal yaprak yüzeyleri, temel olarak ıslatma özelliklerini etkileyebilecek birçok pürüzlülük şekli sergilerler (Holloway 1970).

Temas açısının sayısal değeri, püskürtülen damlacıkların yüzeye yapışma kabiliyetinin (adezyon) tahmini ve bitki yüzeylerinin tutma (retention) özelliklerine göre sınıflandırılması için kullanılan yararlı bir araçtır. Bitki koruma araştırmalarında yüzeylerin mikro pürüzlülüğünü karakterize etmek ve türlerin ıslanma özelliklerini ayırt etmek amacıyla temas açısı ölçüm yöntemi rutin olarak uygulanmaktadır. Yöntem bitki yüzeylerini yapışma özelliklerine göre sıralamak için ve pülverizasyon sıvısına eklenen farklı yüzey aktif maddelerin hedefte (yaprak veya meyvede) tutunmaya faydalı olup olmayacağının tahmin edilmesi için kullanılan bir araçtır (Gaskin vd. 2005).

En yaygın olarak, temas açısı değeri ile belirlenen yaprak ıslanabilirliği; bir bitkinin sis, yağmur veya çiy varlığının bir sonucu olarak yüzeyinde suyu tutma kabiliyeti olarak anlaşılmaktadır (Papierowska vd. 2018). Yaprak hidrofobikliği, bir su damlasının yaprak yüzeyinde ne kadar iticiliğinin bir ölçüsüdür ve yaygın olarak bir durağan su damlası ile yaprak yüzeyi arasındaki temas açısının hesaplanmasıyla ölçülür (Holder 2013).

Yaprak ıslanabilirliği; hidrolojik döngü, bitki patojenlerinin gelişmesi, kirleticiler ve zirai mücadele ilaçlarının emilimi/biriktilmesi gibi çeşitli işlemler üzerinde etkili olan önemli bir olgudur. Yaprak ıslanabilirliğine bağlı olarak, bir yaprak yüzeyine yerleştirilen su damlası, buharlaşma süresiyle belirlenen farklı şekiller alır. Yaprak ıslanabilirliğine bağlı olarak bitkiler tarafından tutulan su miktarı; yaprak yüzey alanına, hava kirliliğine, bitkinin durumuna, bitki türlerinin özelliklerine, yağış yoğunluğuna ve su damlası oluşum sürecini etkileyen su sıcaklığına bağlıdır (Papierowska vd. 2018).

Kolayca ıslanabilen bir yüzeyde damlacık yüzeye yayılır ve daha hızlı kuruyan ince bir su tabakasıyla kaplanır. Damlacığın dağılmadığı ancak şeklini koruduğu yani zayıf bir şekilde ıslanabilen bir yüzey daha yavaş kurur. Yaprak yüzeyinde daha fazla miktarda su ile birlikte daha uzun bir su tutma süresi, bitki patojenlerinin gelişmesi için uygun koşullar yaratır ve bitkilerin biyokimyasal stresini artırır (Papierowska vd. 2018).

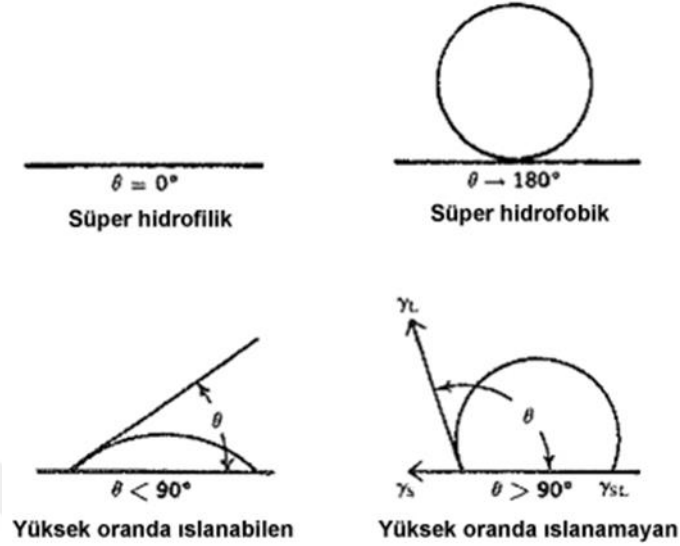
Yaprak yüzeylerindeki suya afiniteyi gösteren yaprak ıslanabilirliği, çok çeşitli habitatlardaki bitkiler için yaygın bir olgudur. Yapraklarda gaz, katı ve sıvı ara biriminde ölçülen suyun temas açısı (θ), yüzey ıslanabilirliğinin bir göstergesidir. Hem iç hem de dış faktörler yaprak ıslanabilirliğini etkiler. Temas açısı değerlerine göre yaprakların sınıflandırılması Çizelge 2.1’de gösterilmektedir (Wang vd. 2015). Şekil 2.1’de temas açılarının şematik gösterimi bulunmaktadır.

Çizelge 2.1 Temas açılara göre yaprakların sınıflandırılması (Wang vd. 2015)

Temas Açısı (θ)	Yaprağın cinsi
$0^\circ < \theta < 40^\circ$	Süper hidrofilik
$40^\circ < \theta < 90^\circ$	Yüksek oranda ıslanabilen
$90^\circ < \theta < 110^\circ$	Islanabilen
$110^\circ < \theta < 130^\circ$	Islanamayan
$130^\circ < \theta < 150^\circ$	Yüksek oranda ıslanamayan
$150^\circ < \theta < 180^\circ$	Süper hidrofobik

Temas açısı ne kadar küçük olursa damla da yaprak yüzeyine o kadar iyi yayılır. Yaprak üzerindeki temas açısı ile yayılma katsayısı arasında bir ilişki vardır. Temas açısı ne kadar büyük olursa, damla değme çapı da o denli küçük olacak ve yayılma katsayısı da o kadar

küçülecektir. Damla temas (değme) açısı ile yayılma katsayısı (E) arasındaki ilişki Çizelge 2.2’de gösterilmiştir. (Çilingir ve Dursun 2002).



Şekil 2.1 Temas açılarının şematik gösterimi (Acartürk vd. 2009, Wang vd. 2015)

Çizelge 2.2 Temas açısı - yayılma katsayısı ilişkisi (Çilingir ve Dursun 2002)

Temas Açısı (θ)	10 ⁰	30 ⁰	50 ⁰	70 ⁰	90 ⁰	110 ⁰	120 ⁰	180 ⁰
Yayılma katsayısı (E)	6,13	2,87	2,00	1,40	1,00	0,68	0,53	0

Birbirlerinden farklı yaprak yüzey nitelikleri gösteren bitkilerde parlak, mumlu veya tüylü yapraklar olabilir ve bu nitelikler temas açısını etkilerler. Bu yaprakların bir kısmı kolay ıslanabilirken bazıları zor ıslanır. Mumlu bir yaprağın yüzeyinde oluşan damlanın temas açısı mumlu olmayanlara oranla daha büyüktür. Yaprakların alt ve üst yüzeylerinde de temas açısı değişir. Yerçekiminin etkisiyle alt yüzeye yapışan damlaların temas açıları, üst yüzeydeki damlalardan daha büyüktür. Bazı yabancı ot yapraklarında su ile ölçülen temas açısı değerleri Çizelge 2.3’de verilmiştir (Çilingir ve Dursun 2002).

Damlaların bir yüzeye yayılma özelliklerini yüzey gerilimi etkiler. Yüksek yüzey gerilimine sahip sıvılar, küresel formlarını korumaya çalışarak yaprak yüzeyinde küçük bir temas çapı ve geniş bir temas açısı oluştururlar. Bilhassa mumlu yüzeyli bitkilerde damla yaprak yüzeyine tutunamaz ve yüzeyden kayarak düşer. Damla çapı arttıkça da

eğimli yaprakların yüzeylerine tutunamayıp düşen damlaların sayısı artar. Yüzey gerilimi azaldıkça damlalar daha iyi yayılır, temas açıları artar, temas açıları ve kaplama oranı yükselir. Bu nedenle su ile karıştırıldığında yüzey gerilimini azaltan bazı katkı maddeleri bitki koruma ilaçlarına eklenir (Zeren ve Bayat 1999).

Katının içindeki atomlar, komşu atomlara eşit derecede çekilir. Katının yüzeyinde bulunan atomlar, yüzeyin altında bulunan atomlara çekilir. Yüzeydeki ile yüzey altındaki atomların birbirlerine olan çekim kuvveti yüzey atomlarının birbirlerine olan çekim kuvvetinden daha küçüktür. Katının yüzey gerilimini, çekim kuvvetleri arasındaki bu fark oluşturur. Damlayı meydana getiren sıvının içindeki çekme kuvveti ise sıvının yüzey gerilimidir. Katı yüzeyin üzerindeki damlaların yayılmasına bu çekme kuvveti engel olmaya çalışır. Sıvı yüzeyinde bulunan moleküller yapışma kuvveti alanına yönelirler ve böylece sıvının yüzeyi potansiyel enerji elde eder. Sayısal olarak yakın olduklarından dolayı yüzey enerjisi ile yüzey gerilimi ifadeleri birbirlerinin yerine kullanılabilirler (İnan vd. 2010).

Çizelge 2.3 Bazı yabancı ot yapraklarında su ile ölçülen temas açıları (Çilingir ve Dursun 2002)

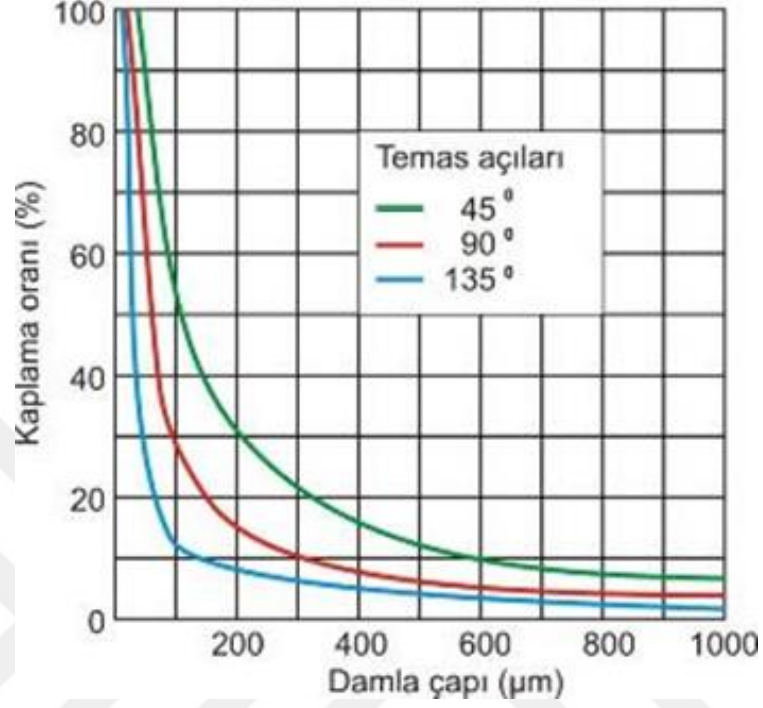
Bitki	Temas açısı (°)
Yulaf (<i>Aven fatu</i>)	161 ± 0,6
Arpa (<i>Hordeum distichum</i>)	166 ± 0,5
Tırşon (<i>Polygonum lapathifolium</i> L.)	101 ± 2,4
Ak kazayağı (<i>Chenopodium album</i>)	157 ± 0,4
Kuş yüreği (<i>Stelleria media</i>)	78 ± 4,2
Yabani hardal (<i>Sinapis Arvensis</i>)	64 ± 1,1
Beyaz hardal (<i>Sinapis alba</i>)	62 ± 1,1
Bezelye (<i>Pisum sativum</i>)	169 ± 0,5
Keten (<i>Linum usitastissimum</i>)	166 ± 0,9
Adi kedibaşı (<i>Galeopsis tetrahit</i>)	100 ± 1,3
Büyük sinir otu (<i>Plangato major</i>)	57 ± 2,7
Yapışkan otu (<i>Galium aparine</i>)	53 ± 2,2
Yabani krizantem (<i>Chrysanthemum segetum</i>)	160 ± 1,1
Köygöçüren (<i>Cirisum arvense</i>)	60 ± 1,5
Peygamber çiçeği (<i>Centaurea arvense</i>)	152 ± 1,7
Eşek marulu (<i>Sonchus arvensis</i>)	160 ± 1,5

Birim uzunluğa yüzeyin 1 cm^2 artırılabilmesi için tatbik edilen kuvvet yüzey gerilimidir. Başka bir ifadeyle; ortak yüzeyin birim alanını meydana getirmek amacıyla yeterli sayıdaki molekülün sıvının içinden ortak yüzeye getirilmesi için yapılan işe yüzey gerilimi denir. Yüzey gerilimi sıvıların bir özelliğidir, sıcaklık arttıkça azalmakta ve sıvıların cinsine bağlı olarak değişmektedir (Keskin ve Güner 2001). Birimi, SI birim sisteminde $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$, CGS birim sisteminde $\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-1}$ ve teknik ölçü birim sisteminde ise $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$ 'dir. Oda sıcaklığında ise suyun yüzey gerilimi $72,8 \text{ dyn}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($0,0728 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$)'dir. Diğer bir deyişle $72,8 \text{ dyn}\cdot\text{cm}^{-1}$ 'lik enerji suyun oda sıcaklığında 1 cm^2 genişletilebilmesi için gereklidir (Aydar ve Bağdathıoğlu 2014).

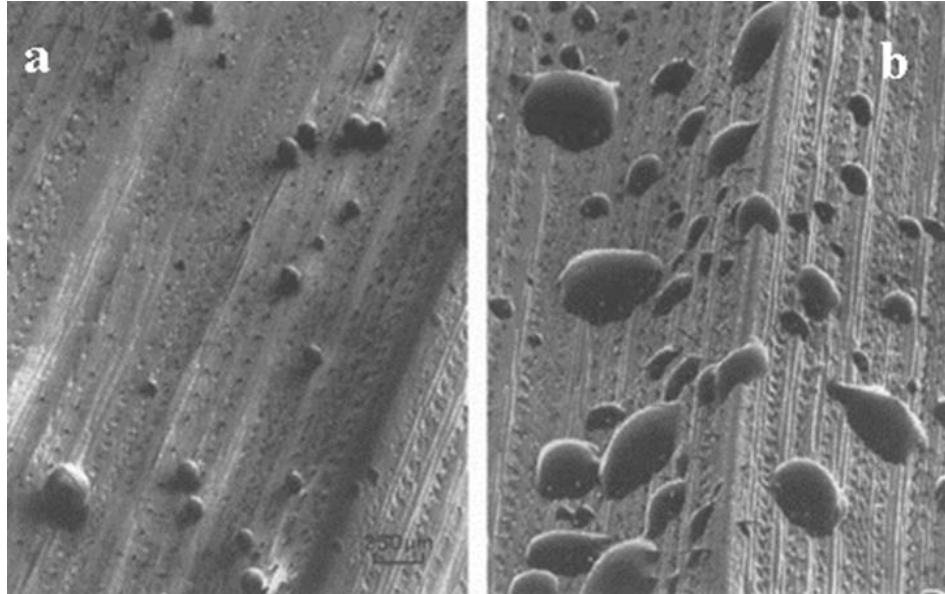
Temas açısı arttıkça, oluşan damla temas çapları azalacak ve dolayısıyla yaprak yüzeyindeki damla ıslatma alanı ve yüzey kaplama oranı düşecektir. Bu durum Şekil 3.3'te görülebilir. $10 \text{ l}\cdot\text{da}^{-1}$ 'lık sıvı ilaç normunda, çapı $100 \mu\text{m}$ olan damlalar püskürtüldüğünde 45° temas açısında % 55, 135° 'de % 10 ve 90° 'de ise % 28'lik kaplama oranları gözlemlenebilmektedir. $100 \mu\text{m}$ yerine $400 \mu\text{m}$ 'lik damla çaplarında, aynı değme açıları için sırasıyla % 14, % 7,5 ve % 5 kaplama oranı sağlanabilmektedir. $10 \text{ l}\cdot\text{da}^{-1}$ 'lık ilaç normunda temas açısı değişiminin kaplama oranına (%) etkisi grafiği Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Çilingir ve Dursun 2002).

Yapraklarda ıslanmanın değerlendirilmesinde, temas açısının 90° 'ın üstünde veya altında olup olmadığına bağlı olarak yaprak yüzeyinin iki ana türü vardır. 90° 'ın altında yer alan grupta, yüzeysel mum belirleyici bir özellik değildir, ancak 90° üzerinde temas açısı olan yaprak yüzeyleri üzerinde mum ıslanabilirliği önemli derecede etkiler. Pürüzsüz bir yüzeysel mum katmanı ile 90 - 110° arasında temas açıları oluşur. 110° 'nin üstünde ise, temas açısı yüzeyin pürüzlülüğüne bağlıdır. Özellikle pestisitlerin yüzey aktif maddeler ile formüle edilmesinden dolayı damlacık boyutu $150 \mu\text{m}$ 'nin altındayken yaprak pürüzlülüğünün daha az önemli olduğuna dair bir genelleme vardır. Yüzey aktif maddeler (sürfaktanlar, adjuvantlar, ıslak maddeler) yaprak yüzeyine bağlı olarak farklı davranırlar, bu nedenle pestisitleri tüm kullanımlar için en iyi şekilde formüleştirmek mümkün değildir. Yüzey aktif maddeler, zor ıslanan bezelye yaprakları gibi yüzeylerde tutunmaya daha fazla etki ederler. Şekil 2.3'de Serada yetiştirilen buğdayın ekstenel yüzeyinde bitki büyüme düzenleyicisi damlacıklarına yüzey aktif madde eklenmesinin

etkisini gösteren SEM görüntülerinde yayılmamış damlacıklar (a) ve yüzey aktif maddenin etkisi sayesinde yayılmış damlacıklar (b) görülmektedir (Matthews 2000).



Şekil 2.2 Temas açısı - kaplama oranı ilişkisi (Çilingir ve Dursun 2002)



Şekil 2.3 Bir yüzey aktif maddenin damlacıklara etkisi (Matthews 2000)

Genellikle ilaçlama esnasında suyun yüzey gerilimini, buharlaşmayı, köpürmeyi, sürüklenmeyi düşürmek ayrıca damlaların yayılma etkinliklerini ve kaplama oranını arttırmak amacıyla bazı kimyasal katkı maddeleri (adjuvantlar) pülverizatörlerin depolarında püskürtülecek olan karışıma eklenirler (Zeren ve Bayat 1999).

Pestisitlerin hava kütlelerinin taşınması veya difüzyon yoluyla amaçlanan hedef alanının dışına hareketi drift olarak tanımlanmaktadır (Anonymous 2003). Özkan vd. (1993)'e göre; ilaç karışımının viskozitesini artırmak suretiyle, drifte elverişli küçük damlacıkların sayısı azaltılabilmektedir. İlaç karışımının viskozitesini artırmak için çeşitli ilaç katkı maddeleri eklenebilmektedir. Driftin kontrol altına alınmasının yanı sıra, bu katkı maddelerinin çoğu pestisitlerin yapraklar üzerine yayılma ve tutunmasını iyileştirmektedir. Bu tip katkı maddeleri drifti tamamen engelleyemezler. Driftin azalmasına yardımcı olan bu tip maddelerden istenilen sonuçları elde etmek için etiket değerlerine ve önerilerine göre karıştırılmalı ve uygulanmalıdır (Dursun 1998).

Bitki hastalıklarının bazıları, yapraklar ıslak olduğunda yayılma eğilimindedir. Bundan dolayı ıslak yaprakların neden olduğu hastalıklara duyarlı bitkilerin sulanmasında genellikle yağmurlama sulama yapmak doğru değildir. Ayrıca gündüz saatlerinde sulama bitirilirse, bitki yaprakları üzerinde kalacak su damlaları mercek görevi yaparak güneş ışınlarını odaklar ve yaprakların yanmasına neden olabilir. Bu nedenle, sulamanın güneş battıktan sonra tamamlanacak biçimde planlanması yerinde olur. Aynı sorun, tuzlu sulama suyunun uygulanması koşullarında da meydana gelebilir. Sulama tamamlandıktan ve yapraklar üzerindeki su buharlaştıktan sonra, yapraklar üzerinde kalacak tuz taneleri yaprakların yanmasına neden olabilir (Yıldırım 2013).

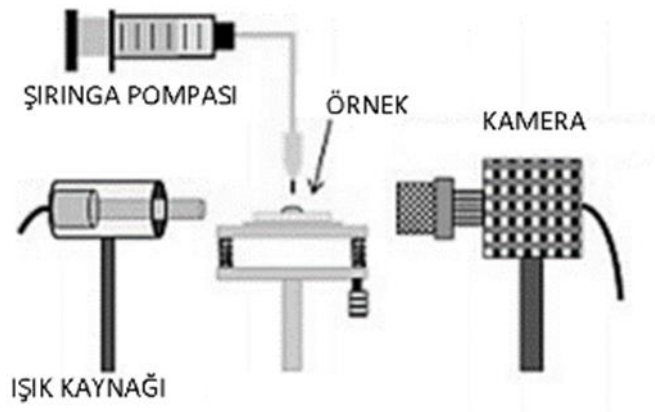
Kanopinin yüzey alanı, mimarisi ve rüzgâr gibi çeşitli değişkenler bitki kanopisinin su saklama kapasitesini etkiler. Aynı kanopi alanına sahip, ancak yaprak hidrofobikliği ve su damlacıklarının tutulması bakımından farklı olan farklı türler, farklı kanopi su depolama kapasitesi değerleri üretebilirler (Holder 2013).

Bitki yüzeyinde tutulmuş olan su bazen toprağa düşer, bazen de buharlaşır. Sağanak yağmurdan sonra bir mısır tarlası incelendiğinde bitkilerin altındaki toprağın, diğer

tarafllara göre daha az ısladığı görülür. Bu Şekilde tutulan suyun miktarı, toprak üzerindeki materyalin cinsine bağlıdır. İyi bir mısır tarlasında 0,5 mm ve ormanda ise 13 mm'ye kadar yağış tutulabilir (Munsuz 1982).

Birçok temas açısı ölçümü yöntemi arasında durağan damla (sessile drop) yöntemi dikkat çekmektedir. İncelenecek düz yzeeye konulan sıvı damlasının menisküs Şekli analiz edilir. Durağan damla yönteminin tartışılmaz bir avantajı; yüzeyi araştırmak için az miktarda sıvının kullanılması ve yerel bölgelerde ıslanma kinetik olgusunun gözlenmesi olasılığıdır (Goclawski ve Urbaniak-Domagala 2008).

Durgun damla yöntemi temas açılarının belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemdir. Temas açısını belirlemek için bu yöntemde kullanılan cihazlara gonyometre adı verilir (Şekil 2.4). Yöntemde temas açısı belirlenecek olan sıvının bir mikropipet ile oluşturulan bir damlası katı bir yzeeye damlatılır. Damlatılan bu damlanın görüntüleri yüksek çözünürlüklü bir kamera ile belirli bir süre kaydedilir ve bilgisayara aktarılır. Temas açıları bilgisayara aktarılan bu görüntülerden hesaplanır (Aydar 2012). rnek olarak bir gonyometrenin Şeması Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4 rnek bir gonyometre Şeması (Aydar 2012)

Hall ve Burke (1974), Avustralya'da 52 farklı türde orman, çalılık ve mera bitkisinin ıslanma özelliklerini laboratuvar ve sahadaki farklı hava koşullarında gözlemlemişlerdir. Taramalı elektron mikroskobu ile de yaprak yüzey muayenesi

yapmışlar ve yaprakların hem adaksiyal hem de aksenel yüzeylerinin ıslanabilirliklerini ve çeşitli koşullarda su tutulmalarını incelemişlerdir. Temas açılarını ölçmek için kesilmiş yaprak parçalarına hipodermik bir şırınga kullanarak 1,5 mm çapındaki damıtılmış su damlacıkları yerleştirmiş ve elde ettikleri çekilmiş görüntüyü cam bir ekrana yansıtmışlardır.

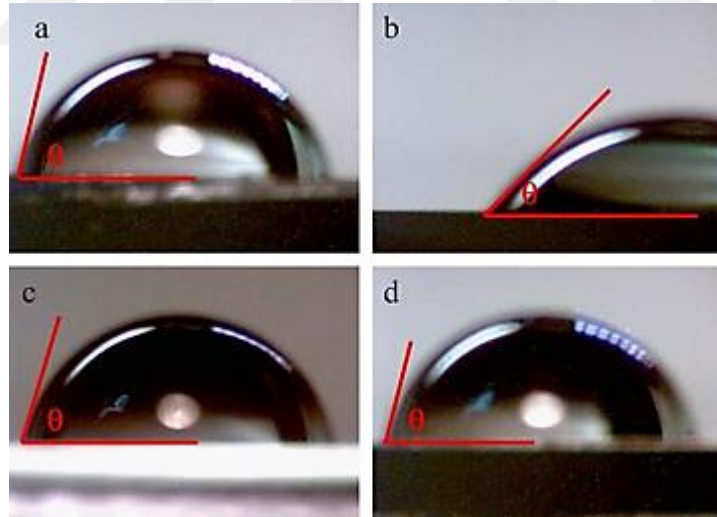
Anıl (1997), yüzeye damlatılan bir su damlasının yatay düzlemde çekilen fotoğrafının bilgisayarda analizinin yapılarak temas açısının ölçülebileceğini belirtmiştir. Temas ekseninin ve açılarının hesaplanacağı kesimlerin net olmasının temas açısı ölçümü için gerekli yatay düzlem fotoğrafında önemli olduğunu vurgulamıştır.

Forster ve Zabkiewicz (2001), evrensel bir sıvı damlacık yapışma modeli geliştirmek için yaptıkları çalışmada bir yaprak üzerine damlatılan % 20 aseton-su solüsyonu damlasının statik temas açısının, yüzeyler arasındaki yapışmada gözlemlenen farklılıkları hesaplayabilmek için basit ve kullanışlı bir ölçüm yöntemi olduğunu göstermişlerdir. Çeşitli yaprak yüzeyleri üzerinde yapışma yüzdesi ve temas açısı arasındaki korelasyonun çok iyi olduğunu da tespit etmişlerdir.

Gaskin vd. (2005) yapışkan bant üzerine yerleştirilmiş taze yapraklar ve meyvelerin yüzeylerine 1µl hacminde aseton+su çözeltisi damlaları uygulamışlardır. Statik temas açıları, modifiye edilmiş bir slayt projektörü kullanılarak elde edilen, damlacıkların yansıtılmış görüntülerinden hesaplanmıştır. Her bir türün en az üç farklı yaprak veya meyvesinin yüzeyine en az 20 tane aynı özellikte damlacıkla ölçüm yapmışlardır ve tüm numuneleri açık havada yetiştirilen bitkilerden almışlardır. Çalışma sonucunda; bitki yüzeylerindeki aseton-su damlacıklarının oluşturduğu temas açılarını basit bir yöntemle ölçmenin, farklı yüzeylerde ve türlerde göreceli olarak başlangıç pülverizasyon yapışmasını öngörmek için kullanılabilir bir yöntem olduğunu ve mikro-pürüzlülüğün bu nicel ölçümü ile daha karmaşık tutma özelliklerine göre yüzeylerin sınıflandırabileceğini, ayrıca kanopi yapısı ve hedef konumu ile birlikte bu temas açısı ölçüm değerleri kullanıldığında, yüzey aktif madde ilavesinin spesifik bitki yüzeylerini hedef alan agro-kimyasal sıvıların uygulanmasının başarısının tespitinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Williams vd. (2010), durağan damlaların temas açılarının, açık erişimli bilgisayar programları ile birlikte çok düşük maliyetli donanımlar kullanılarak doğru bir şekilde ölçülebileceğini göstermek amacıyla yaptıkları çalışmalarında; yarım açı metodu'na göre temas açılarını hesaplamışlardır. Bu çalışmada kullanılan küresel örnekler, yarım açı yöntemini kullanarak temas açısının çok hassas bir şekilde ölçülmesine izin vermiştir.

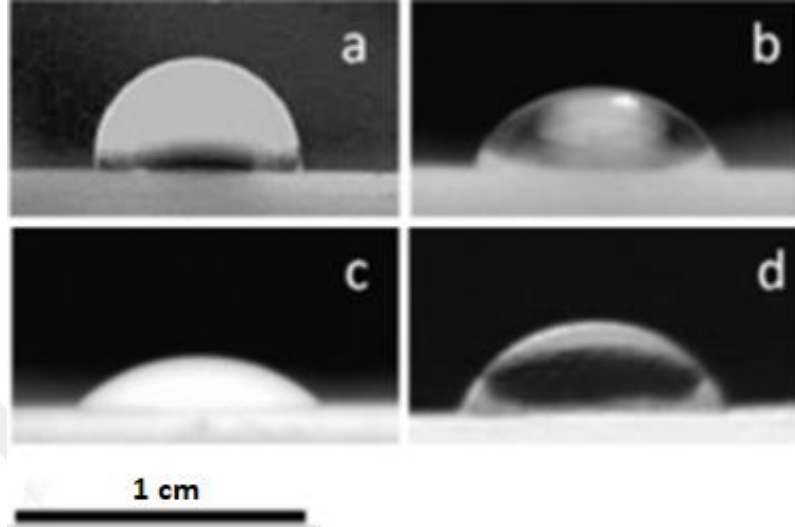
Pimanpag vd. (2006), bir Intel Play QX3 sayısal mikroskop ile temas açısı ölçümleri yapmışlardır. Ham ipek kumaş, H_2SO_4 çözeltisi ile muamele edilmiş ipek kumaş, ham parilen polimeri ve H_2SO_4 çözeltisi ile muamele edilmiş parilen polimeri üzerindeki 5 μl 'lik saf su damlalarının ortalama temas açıları sırasıyla $70 \pm 3^\circ$, $37 \pm 2^\circ$, $76 \pm 2^\circ$ ve $70 \pm 2^\circ$ olarak tespit edilmiştir. Şekil 2.5'de ham ipek kumaş (a), H_2SO_4 çözeltisi ile muamele edilmiş ipek kumaş (b), ham parilen polimeri (c) ve H_2SO_4 çözeltisi ile muamele edilmiş parilen polimeri (d) üzerindeki 5 μl 'lik saf su damlalarının örnek birer görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.5 Intel Play QX3 ile çekilmiş 5 μl 'lik saf su damlaları (Pimanpag vd. 2006)

Vicente vd. (2012), yüzeylerin serbest enerjilerini belirlemek için pratik bir yöntem geliştirdikleri çalışmalarında bir web kamerası tabanlı sistem kullanmışlardır. Bu sistemle PTPE yüzey üzerindeki su, gliserol, propanol ve etilen glikol damlalarının

sayısal görüntüleri, Şekil 2.6’da görülmektedir. Çizelge 2.4.’de ise cam ve PTFE yüzeyler üstünde oluşan damlaların ölçülen ortalama temas açısı değerleri verilmektedir.

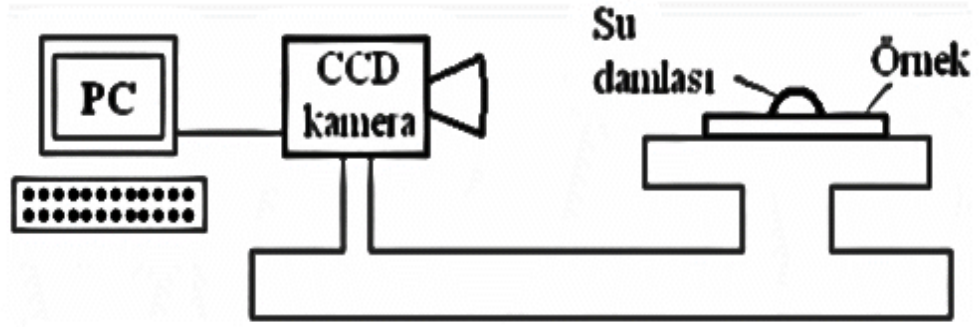


Şekil 2.6 Su (a), gliserol (b), propanol (c) ve etilen glikol (d) damlaları (Vicente vd. 2012)

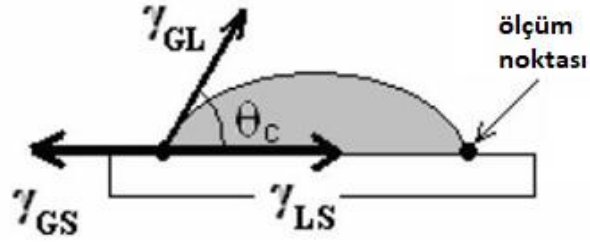
Çizelge 2.4 Cam ve PTFE yüzeylerde temas açısı değerleri (Vicente vd. 2012)

	Test Sıvıları			
Yüzeyler	Su	Gliserol	Propanol	Etilen Glikol
PTFE	89,6	86,8	30,0	76,6
Cam	34,9	38,3	~0,0	35,1

Ersoy ve Kuntman (2008), temas açılarını ölçmek için Şekil 2.7’de şeması gösterilen düzeneği kullanmışlardır. Deiyonize su damlatılan polimer yüzeylerin fotoğraflarını sayısal kamera kullanılarak çekmişler, kamerayı da temas açısının ölçümü için bilgisayara bağlamışlardır. Alınan görüntülerin sağından ve solundan damlanın yüzeyle yaptığı temas açısını Şekil 2.8’da gösterildiği gibi ölçmüşlerdir.

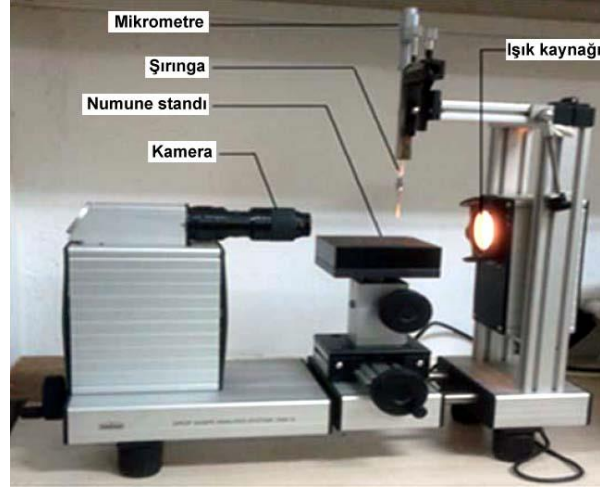


Şekil 2.7 Örnek bir temas açısı ölçüm düzeneği (Ersoy ve Kuntman 2008)



Şekil 2.8 Temas açısının (θ) bulunması (Ersoy ve Kuntman 2008)

Toraman ve Bayat (2015), bitki korumada kullanılan yayıcı-yapıştırıcı maddelerin bitkilere özel olarak tercih edilmesine yardımcı olmak amacıyla yaptıkları çalışmada, değişik yayıcı-yapıştırıcı maddeler eklenmiş su karışımlarının temas açılarını Krüss DSA10 cihazı (Şekil 2.9) ile ölçmüşlerdir. Karışım oluşturmadan önce birbirine yakın yüzey gerilimine sahip yayıcı-yapıştırıcı örneklerinin, suyla seyreltiklerinde yüzey gerilimleri arasında büyük farklılıkların olduğu görmüşlerdir. Bazı yayıcı-yapıştırıcıların, oluşturulan karışımların yüzey gerilim değerlerini düşürmediği, yani taşıyıcı olarak kullanılan suyun fiziki özellikleri üzerinde etkili olmadıkları, ayrıca damla oluşumu üzerinde etkili olan unsurları da değiştirmedikleri ve bu karışımların uygulandığı yüzeylerde tutunma, temas açısı gibi damla karakterleri üzerinde de uygulama sıvısının kapasitesini geliştirmedikleri tespit etmişlerdir anlaşılmaktadır. Piyasada yaygın olarak satılan karboksimetilselüloz ve sodyumkarboksimetilselüloz gibi selüloz türevi içeriklere sahip katkı maddelerinin etkili sonuç vermediği sonucuna ulaşmışlardır.



Şekil 2.9 Krüss DSA10 cihazı (Toraman ve Bayat 2015).

Ramé-Hart Surface Science Instruments, Krüss GMBH, Biolin Scientific vb. firmalar endüstriyel amaçlı temas açısı ölçüm cihazları üretmektedirler. Bu cihazlarda yüksek hızlı kameralardan elde edilen, yüksek karışıklığa sahip ve gri tonlamalı görüntüler kullanılmaktadırlar. Bazı cihazların ait temel özellikler Çizelge 2.5’te verilmiştir.

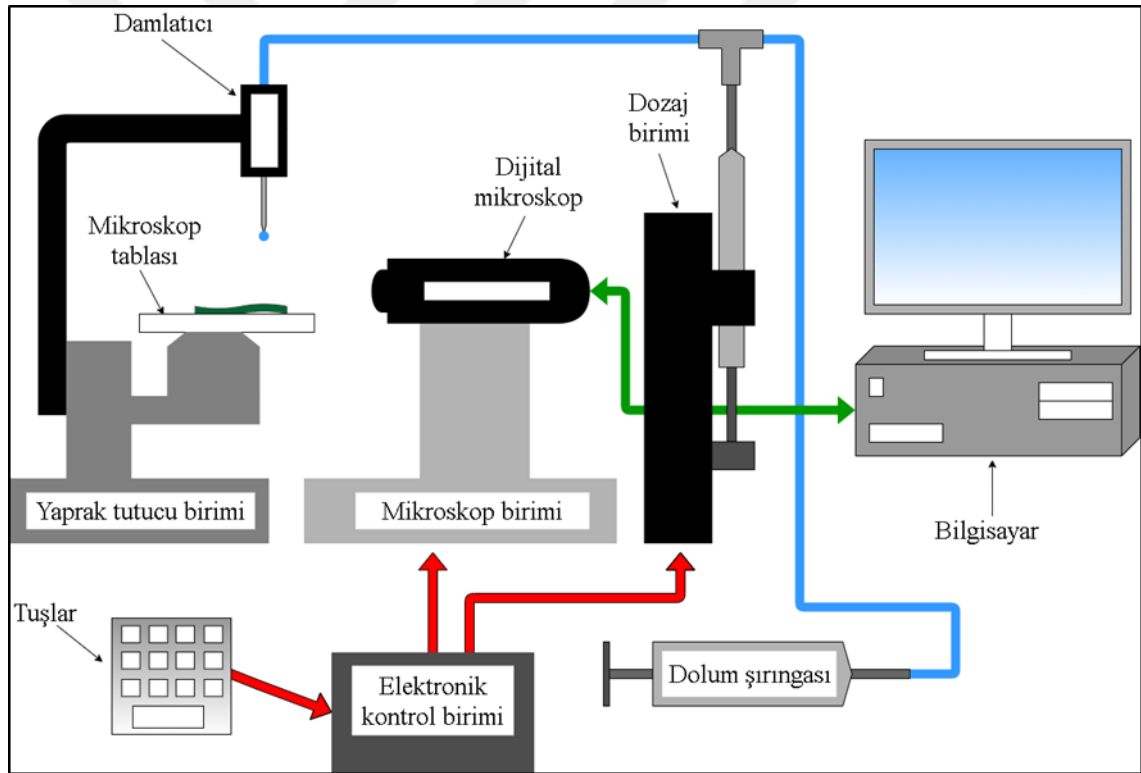
Çizelge 2.5 Bazı temas açısı ölçüm cihazlarının temel özellikleri

Marka	Model	Kamera Çözünürlüğü	FPS	Yazılım Adı
Ramé-Hart	M200	659 × 494	100	DROPimage CA
Krüss	DSA10	1200 × 1200 1200 × 600 1200 × 300 1200 × 100 1200 × 50	160 320 600 1440 2300	Krüss Advance
Krüss	DSA100E	1200 × 1200 1200 × 600 1200 × 300 1200 × 100 1200 × 50	160 320 600 1440 2300	Krüss Advance
Biolin Scientific	Theta Flex	1984 × 1264	3009	Oneattention
Biolin Scientific	Theta Lite	1280 × 1024	2068	Oneattention

3. MATERYAL ve METOD

3.1 Materyal

Damla temas açısı ölçümü amacıyla geliştirilen sistem; dozaj birimi, mikroskop birimi, elektronik kontrol birimi, yaprak tutucu birimi ve verilerin toplandığı ve değerlendirildiği bir kişisel bilgisayardan oluşmaktadır. Literatür taramaları ve ön çalışmalar neticesinde son haline getirilmiştir. Sistemin bileşenleri Şekil 3.1.'de şematik olarak gösterilmiştir. Sıvı akışı mavi, görüntü aktarımı yeşil ve elektronik kontrol ise kırmızı renkte gösterilmiştir. Geliştirilen sistemin genel görünüşü ise Şekil 3.2.'de verilmiştir.



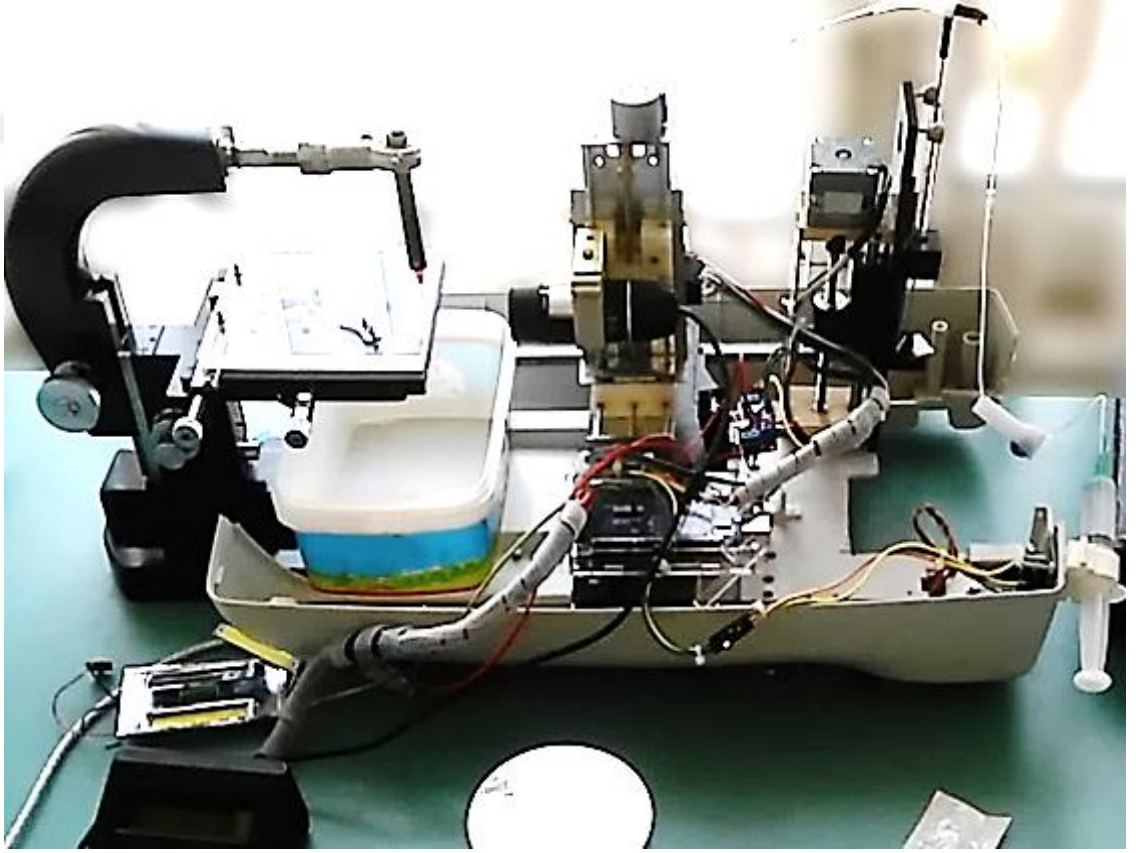
Şekil 3.1 Geliştirilen sistemin şeması

3.1.1 Geliştirilen sistemin yaprak tutucu birimi

Şekil 3.3'te gösterilen yaprak tutucunun yapımı için optik kısımları sökülmüş bir mikroskop gövdesinden yararlanılmıştır. Yaprak tutucu ve damlaticı aynı gövde üzerinde bulunmaktadır. Yaprak tutucu üzerinde bulunan mikroskop tablası sayesinde

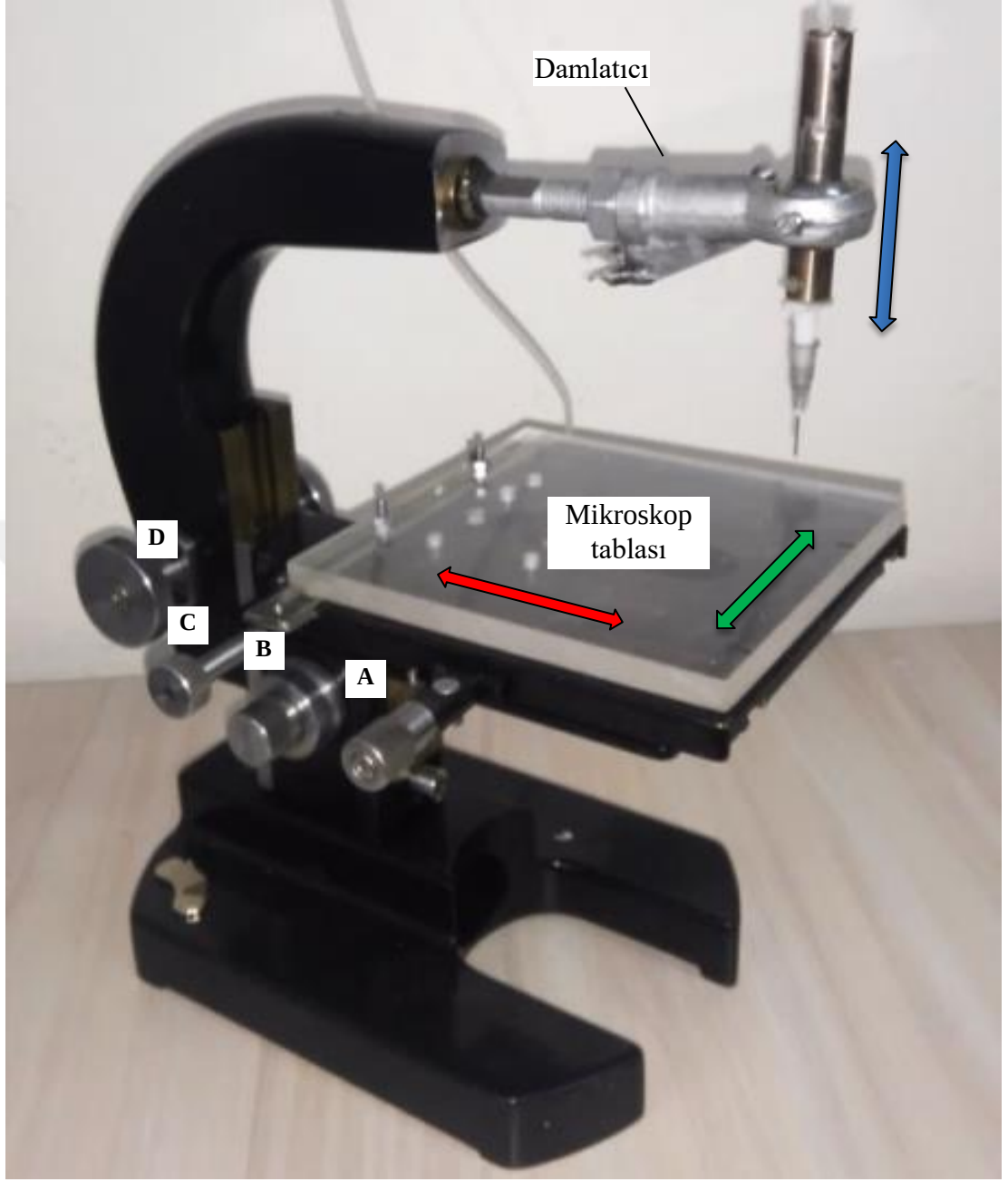
yapraklar iki farklı eksende (ileri-geri ve sağı-sola) manuel olarak hareket ettirilebilmektedir.

Yapraklar şeritler halinde kesilerek mikroskop tablasına yerleştirilmekte ve böylece yaprakların ölçüme uygun bölgeleri sayısal mikroskop ile daha rahat görüntülenebilmektedir. Damlatıcı ise yukarı aşağı manuel olarak hareket ettirilebilmektedir.



Şekil 3.2 Sistemin genel görünümü

Mikroskop tablası, Şekil 3.3'te A ile gösterilen kol çevrilerek ileri-geri yönünde, B ile gösterilen kol çevrilerek de sağ-sol yönünde istenilen konuma hareket ettirebilmektedir. C ile gösterilen kol çevrilerek de sağ-sola yapılan konumlandırma daha hassas yapılabilmektedir. D ile gösterilen kol çevrilince de damlatıcı yukarı-aşağı hareket ettirilerek damla yaprağı aktarılabilir.

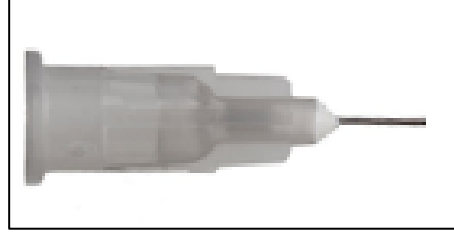


Şekil 3.3 Yaprak Tutucu

3.1.2 Geliştirilen sistemin dozaj birimi

Dozaj birimi; bir şırınga pompası, PTP hortumlar ve bir damlatıcıdan oluşmaktadır. Şırınga pompası mekanizması; step motorla tahrik edilmekte ve elektronik kontrol birimi ile kontrol edilmektedir.

Yapılan ön denemeler sonucunda 1000 μm $\varnothing$ damlalar üretmek için en uygun sonuçlar 27G ölçüsünde düz kesik ağız tipinde (blunt) şırınga iğnesi (Şekil 3.4) ile alındığından sistemin dozaj birimi tasarımı bu iğneye göre yapılmıştır.



Şekil 3.4 27G düz tip şırınga iğnesi

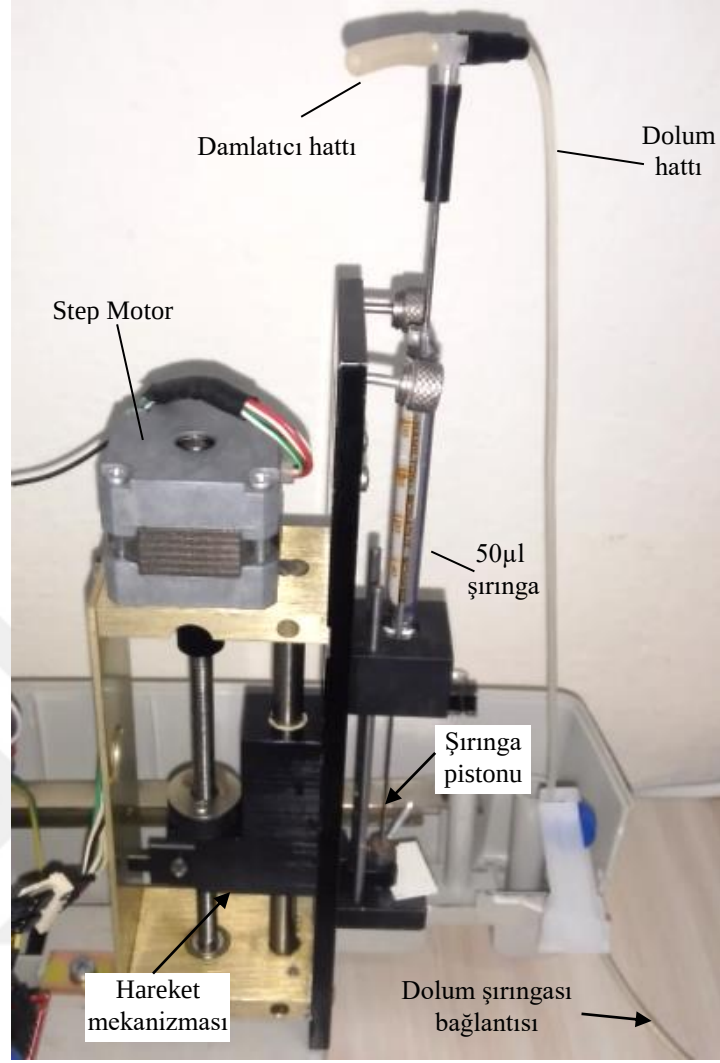
Şırınga pompası (Şekil 3.5), bir adım motorunun bağlı olduğu tek eksen doğrusal hareketli bir mekanizma ve 50 μL bir gaz kromatografi şırıngasından oluşmaktadır. Elektronik kontrol birimine bağlı butonlardan alınan komutlara göre mikro-denetleyici kartı adım motor sürücüsüne lojik sinyaller göndermekte ve adım motoru sürülmektedir.

Adım motorundan alınan dönüş hareketi doğrusal harekete çevrilerek şırınganın pistonunu istenilen miktarda itilebilmekte veya çekilebilmektedir. Bu sayede istenilen hacimde damlalar üretilebilmektedir. Damlatıcı vasıtasıyla da bu damlalar yaprak yüzeylerine aktarılmaktadır.

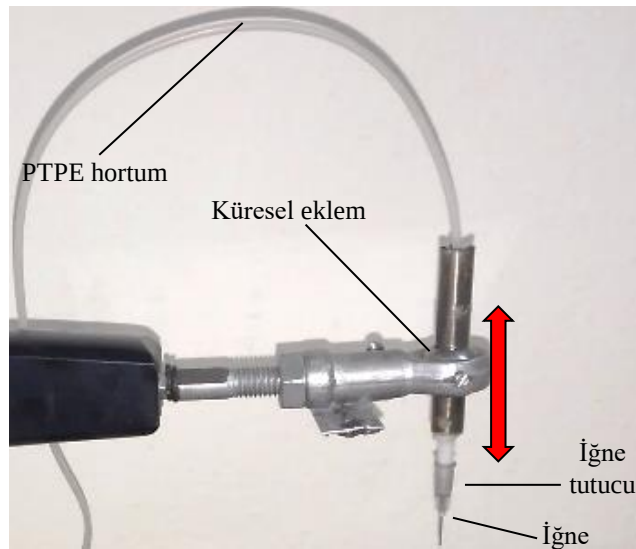
Damlatıcı, yaprak tablasının da bağlı olduğu modifiye edilmiş bir mikroskop gövdesine bağlıdır (Şekil 3.6). Mikroskobun optik donanımları sökülerek, boyun kısmına küresel bir eklem ve iğne tutucu takılarak oluşturulmuştur.

Küresel eklem kullanılarak iğne ucunun dikey ekseninde tam olarak aşağıya bakacak şekilde ayarlanabilmesi için kullanılmıştır. Şırınga pompasından gelen elastik boru iğne tutucuya bağlanmıştır. İğne tutucuya şırınga iğnesi takılmaktadır.

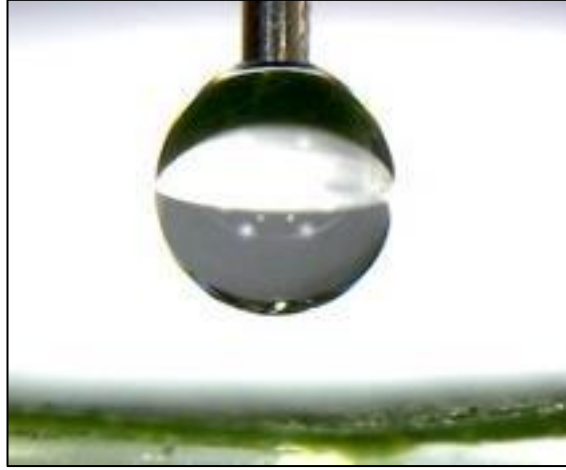
Şırınga pompasından istenilen hacimde sıvı gönderilerek damla üretildikten sonra damlatıcı manuel olarak aşağıya doğru hareket ettirilmekte ve iğnenin ucunda asılı duran damla yüzeye aktarılmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.5 Şırınga pompası



Şekil 3.6 Damlatıcı



Şekil 3.7 İğnenin ucunda oluşan damla

3.1.3 Geliştirilen sistemin mikroskop birimi

Mikroskop birimi; bir sayısal mikroskop ve 3 ekseninde hareket edebilen bir mikroskop tutucudan oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar ışığında 1000 μm 'lik damla çapı çalışılmak için seçilmiştir. Tasarım aşamasında belirlenen damla çapında çalışmaya uygun bir sayısal mikroskop temin edilmiştir.

Özellikle damla taban çizgisinin net olarak belirlenebilmesi için renkli görüntü alabilen bir mikroskop kullanılmıştır. Belirlenen yüzeylere damlatıcı şırınganın ucunda oluşturulan aktarılıp damlalar yüzeyde kararlı hale geldikten sonra yatay ekseninde sayısal mikroskop fotoğrafları çekebilecek şekilde birim tasarlanmıştır.

Renkli ve sayısal görüntüler elde edebilmek için 2 MP çözünürlükte renkli bir CMOS sensöre sahip bir sayısal mikroskop kullanılmıştır (Şekil 3.8).

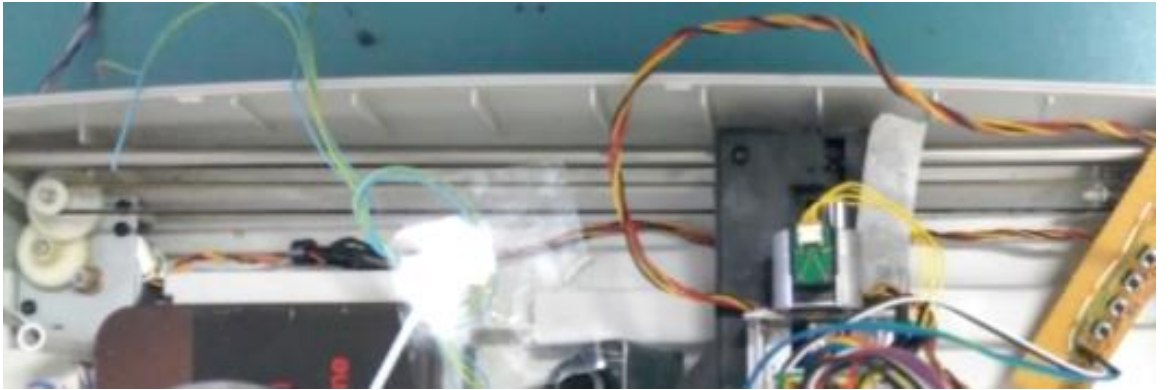
Bu mikroskopta büyütme oranı 25x - 400x, desteklenen resim çözünürlükleri ise azami 30 kare/saniye çekim hızında 1600 x 1200, 1280 x 960, 800 x 600, 640 x 480, 480 x 360 ve 320 x 240 pikseldir. Odak mesafesi ise 10 mm ile 40 mm arasında manuel olarak ayarlanabilmektedir. Üzerinde 8 adet parlaklığı ayarlanabilir aydınlatıcı LED bulunmaktadır. USB arabirimi üzerinden bilgisayarlara bağlanabilmektedir (Anonymous 2018).



Şekil 3.8 Geliştirilen sistemde kullanılan sayısal mikroskop

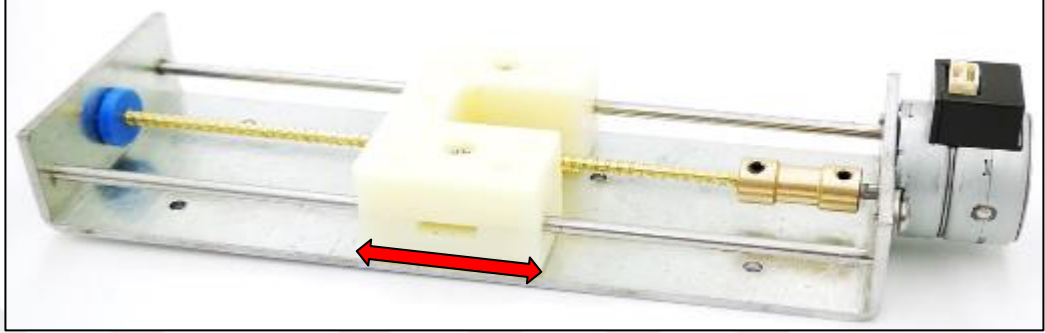
Yaprak yüzeylerindeki ölçüm yapılmaya uygun bölgelerin bulunarak görüntülenebilmesi ve damlalara net olarak odaklanılabilmesi için mikroskop tutucu üç eksen hareketli olarak geliştirilmiştir.

Mikroskop tutucunun hareketi elektronik kontrol birimine bağlı butonlardan alınan lojik komutlara göre hareket eden adım motorları ile sağlanmaktadır. Yatay eksen de ileri-geri hareket bir adım motoruna bağlı dişli kayış mekanizması ile sağlanmaktadır (Şekil 3.9). Mikroskop tutucunun sağa-sola hareketi ve yukarı-aşağı hareketi ise yine bir step motorun bağlı olduğu tek eksenli doğrusal hareket mekanizmaları ile sağlanmaktadır.



Şekil 3.9 Yatay eksen hareket mekanizması

Kullanılan doğrusal hareket mekanizmalarında (Şekil 3.10) vidalı bir mile bağlı kayan bir tabla bulunmaktadır. Adım motor dönüş hareketi yaptığında vidalı mil dönüş hareketine başlamakta ve mile bağlı tabla doğrusal hareket yaparak üzerine takılı parçayı hareket ettirmektedir.

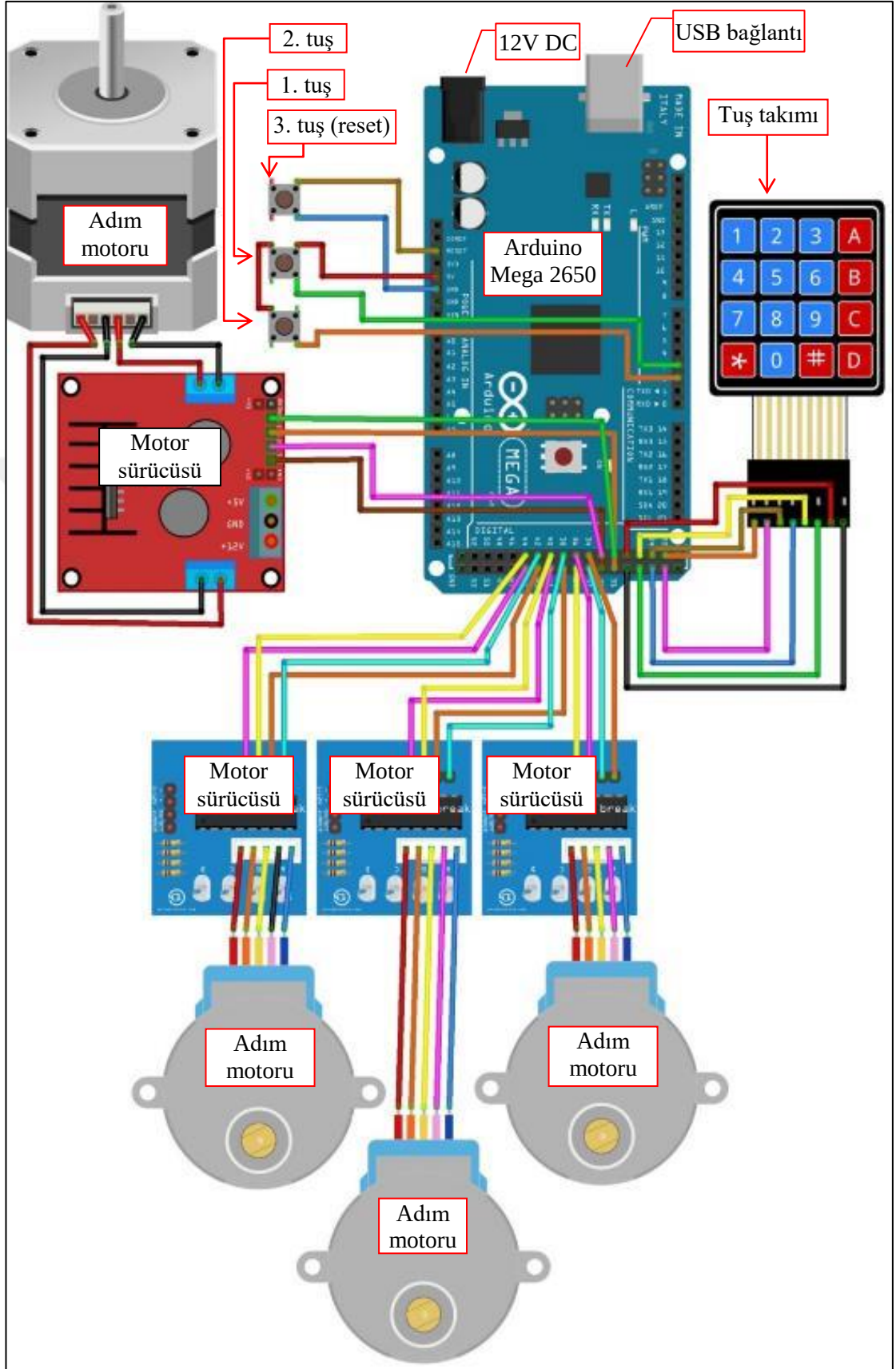


Şekil 3.10 Doğrusal hareket mekanizması

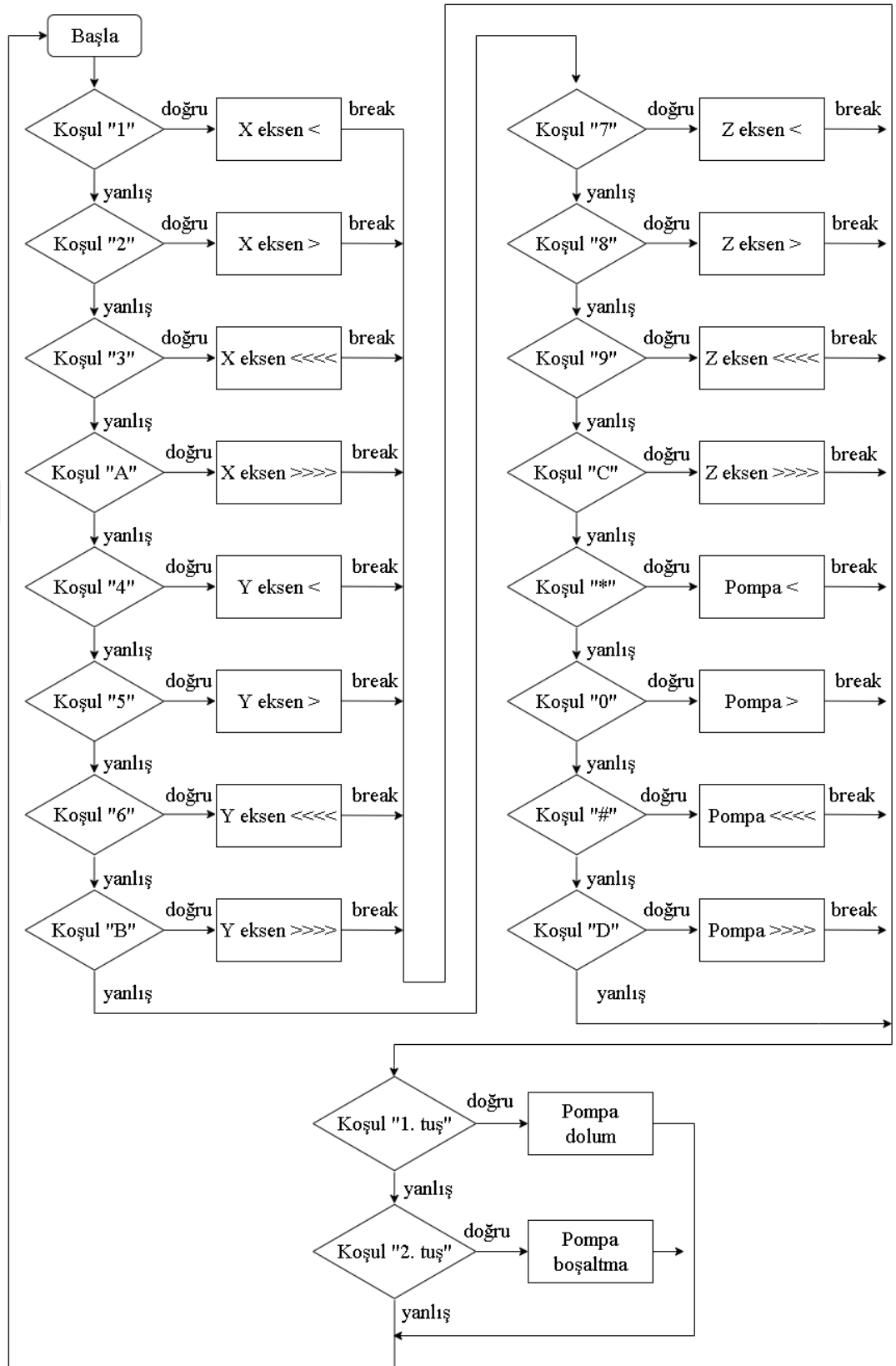
3.1.4 Geliştirilen sistemin elektronik kontrol birimi

Elektronik kontrol birimi; mikroskop tutucu birimindeki üç eksen hareket sağlayan adım motorlarını ve dozaj biriminde bulunan şırınga pompasını hassas bir şekilde kontrol edebilen adım motorunu kontrol etmek için tasarlanmıştır. Bir Arduino Mega 2560 mikro-denetleyici kartı, 4 adet adım motoru sürücü kartı, 16 tuşlu bir tuş takımından oluşmaktadır. Elektronik kontrol biriminin şematik görünümü ise şekil 3.11 de verilmiştir.

Tuşlardan alınan komutlara göre mikro-denetleyici kartı mikroskop tutucu ve şırınga pompasında bulunan step motorları motor sürücüleri aracılığıyla istenilen miktarda sürmektedir. Kullanılan mikro-denetleyici programı Arduino IDE’de C/C++ program dilinde geliştirilmiştir. Program, mikro-denetleyicilerde yaygın olarak kullanılan şekilde sonsuz bir döngüde çalışacak şekilde programlanmıştır. Arduino başlatıldıktan sonra, tuşların basılı olup-olmadığı mikro-denetleyici programı tarafından kontrol edilmektedir. Eğer bir tuşa basıldıysa o tuşa atanmış olan işlem yapılmakta ve döngü tekrar en baştan başlamaktadır. Geliştirilen programın algoritması Şekil 3.12’de, kaynak kodları ise Ek 1’de verilmiştir.



Şekil 3.11 Elektronik kontrol biriminin şematik görünümü

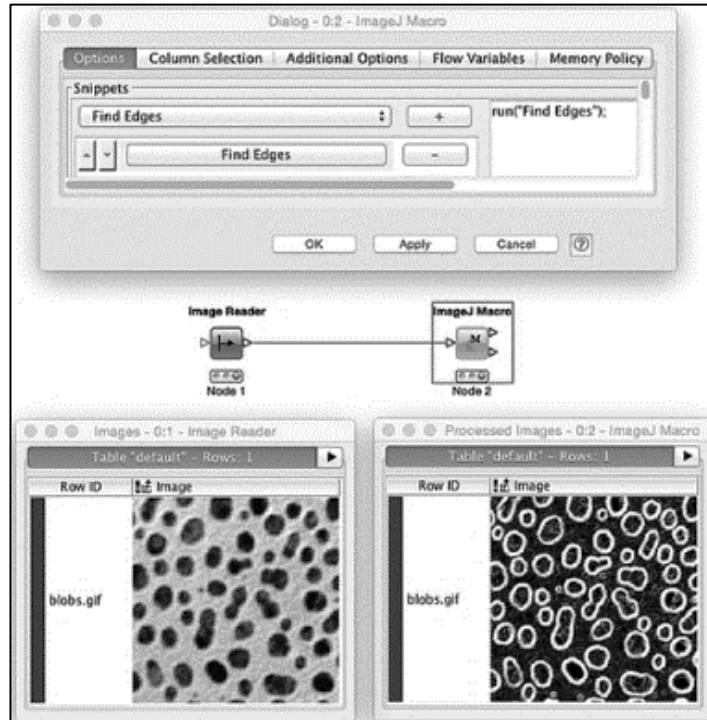


Şekil 3.12 Mikro-denetleyici programının algoritması

3.1.5 Geliştirilen sistemde kullanılan ImageJ görüntü işleme yazılımı

Sistemden elde edilen fotoğrafların depolanmasında ve değerlendirilmesinde Image-J programını çalıştırabilen ve USB bağlantıları bulunan Microsoft Windows 7 işletim sistemi yüklü bir kişisel bilgisayar kullanılmıştır.

ImageJ yazılımı, National Institute of Health of USA (NIH) tarafından geliştirilmiş ve görüntü işlemede kullanılan ücretsiz ve Java tabanlı bir programdır. Yaygın bilgisayar işletim sistemlerinde çalışmaktadır. 32, 16 ve 8 bit resimler ile "tiff", "jpg", "gif" gibi resim biçimlerinde çalışmaya izin vermektedir. Düzgünleştirme, keskinleştirme, filtreleme, vb. gibi birçok önemli görüntü işleme aracına sahiptir. Boyut ölçümleri, yüzey grafikleri, dağılımlar ve histogramlar yapılabilmektedir. Ayrıca bir eklenti aracına sahip olması sayesinde özel amaçlar için geliştirilmiş birçok eklenti ücretsiz olarak internetten indirilerek kullanılabilir. Bu eklentilerden "ImageJ webcam" eklentisi ile doğrudan web kamerası donanımları kullanılabilir ve ImageJ'nin makro aracı kullanılarak programlanabilmektedirler (Gelir vd. 2019). ImageJ yazılımında yapılan bir örnek çalışmanın görüntüsü Şekil 3.13'de gösterilmektedir.



Şekil 3.13 ImageJ yazılımında yapılan bir çalışma (Schindelin vd. 2015)

3.1.6 Geliştirilen sistemin denenmesinde kullanılan yüzeyler

Temas açılarını tespit etmek üzere; doğal yüzeyler olarak iki farklı tür yabancı ot (parlak ve tüylü) yaprakları, iki farklı tür kültür bitkisi yaprakları (parlak ve tüylü) ve ilaveten yapay yüzey olarak da asetat kâğıdı (parlak) parçaları kullanılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Kullanılan yüzeyler

Tip	Yabani bitki	Kültür bitkisi	Yapay yüzey
Parlak	Eşek marulu (<i>Sonchus oleraceus</i> L.)	Beyaz dut (<i>Morus alba</i>)	Asetat kâğıdı
Tüylü	Kedi otu (<i>Lepidium draba</i>)	Asma (<i>Vitis vinifera</i>)	

Polat (2004)'e göre; beyaz dut (*Morus alba*) 8 metreye kadar boylanabilen orta büyüklükteki ağaçlardır. Çiçekleri, küçük ve tek evcikli. Beyaz dutun anavatanı Çin olup sıcak ve ılıman bölgelerde yetişen eski bir kültür bitkisi ve en çok rastlanan dut türlerinden birisidir. Bitkisi ve meyvesi farklı alanlarda kullanılabilmektedir. Geniş ve yumuşak yaprakları ipek böcekleri için besin maddesi olduğundan dolayı ipek üretilen yörelerde yoğun olarak yetiştirilir. Meyvesi ise kurutulmuş ve taze olarak tüketilebilir. Ayrıca meyvelerinden pestil, pekmez, ispiro, reçel ve sirke de üretilmektedir. Türkiye’de bulunan 2.510.000 civarı dut ağacı yaklaşık 55.000 ton·yıl⁻¹ ürün vermektedir (Ketenoglu vd. 2016). Beyaz dut (*Morus alba*) yaprakları Şekil 2.14’te gösterilmektedir.



Şekil 3.14 Beyaz Dut (*Morus alba*) yaprakları

Asma (*Vitis vinifera* L.) dünyada ve Türkiye’de ekonomik olarak önemli ve yaygın biçimde yetiştirilen bir bitkidir. Meyvesi taze ve kurutulmuş olarak tüketilmektedir. Ayrıca meyvesinden pekmez, şarap ve üzüm suyu gibi ürünler de elde edilmektedir (Özden vd. 2008). Ilıman bölge bitkisidir ve geniş bir form çeşitliliği vardır (Deliorman vd. 2011). Türkiye asmanın gen merkezidir, asma için en uygun iklimi sahiptir. Ayrıca kadimden gelen bağcılık kültürüne sahip olan Türkiye’de bağcılık önemli bir kazanç kaynağıdır (Kızılgöz vd. 2011). Sülüklü tırmanıcı, geniş palamat (elsi) yapraklı küçük çiçekli bitkilerdir (Ketenoglu vd. 2016). Şekil 3.15’te bir asma (*Vitis vinifera* L.) yaprağı gösterilmektedir.



Şekil 3.15 Asma (*Vitis vinifera* L.) yaprağı

Eşek marulu (*Sonchus oleraceus* L.), başta Avrupa kıtasında olmak üzere dünyanın serin ve ılıman bölgelerinde geniş bir coğrafyaya yaygın olarak yetişmektedir. Yerel olarak çoban kavalı, helvacık ve çobandüdüğü gibi isimlerle de anılmaktadır. Otsu bir bitkidir ve tek yıllıktır ancak 100’cm ye kadar büyüyebilir. Buğday ekim alanlarında, bahçelerde ve bağlarda yaygın olarak görülür.

Eşek marulu, tarımsal alanlarda istenmeyen bir bitkidir. İlkbahar aylarında sıcaklıkların artmaya başlamasıyla birlikte generatif dönemi başlar ve uzun çiçek sürgünleri oluşur. Yaprakların üst yüzünde seyrek tüyler vardır. Yaprak kenarları parçalı ve testere dişlidir (Eşiyok vd. 2014). Bir eşek marulu (*Sonchus oleraceus* L.) bitkisi Şekil 3.16’da gösterilmektedir.



Şekil 3.16 Eşek marulu (*Sonchus oleraceus* L.)

Kedi otu (*Lepidium draba*) geniş ekolojik tolerans gösteren, dünyanın hemen her tarafında yayılmış, çok yıllık, istilacı özellikte ve otsu bir bitkidir. Boyu 15 ile 90 cm arasında olabilir. Diğer bitki türleri tarafından istilasını mümkün olmayan saf kolonileri çok hızlı bir biçimde meydana getirir. Allelopatik etkiye sahip olduğundan ve güçlü rekabet yeteneğinden dolayı meyve bitkileri de dâhil olmak üzere birçok kültür bitkisi ile rekabete girmektedir. Kök, taze sürgün, yaprak, bitki artıkları ve uçucu yağları fitotoksikite göstermektedir.

Kedi otunun yaprakları dikdörtgenimsi, ucu sivri, düzensiz ve derin dişli kenarlara sahiptirler ve bitkinin gövdesini sararlar. Yol kenarları, meralar gibi nemli yerlerde ve gölge kısımlarda hızlı büyür. Genellikle alkali toprakları tercih etmesine rağmen her türlü toprakta gelişebilir. Toprak altı kısımları çok iyi gelişmiştir. Tohumdan üreyebildiği gibi kopan kök parçalarından da vejetatif olarak üreyebildiğinden dolayı, geleneksel mücadele metotlarıyla kontrol altına alınması zordur. Tohumları sulama suyu ve çiftlik gübresi ile kolayca yayılabilir (Erez 2009, Aksakal 2010, Sürmen vd. 2019). Bir kedi otu (*Lepidium draba*) bitkisi şekil 3.17’de gösterilmektedir.



Şekil 3.17 Kedi otu (*Lepidium draba*)

3.1.7 Geliştirilen sistemin denenmesinde kullanılan sıvılar

Geliştirilen sistemin denenmesinde kullanılmak üzere saf su, bir adet NPK sıvı yaprak gübresi, bir adet fungusit, bir adet total herbisit ve bir adet yayıcı yapıştırıcı madde piyasadan temin edilmiş ve kullanım talimatlarına göre karışımlar hazırlanmıştır. Karışımların yüzey gerilimleri (γ) 28°C’de ölçülmüştür (Çizelge 3.2).

Kullanılan NPK sıvı yaprak gübresi süspansiyon formundadır. Kütlece; %10 Üre Azotu, %10 P₂O₅ ve %10 K₂O içermektedir. Ayrıca iz elementler olarak B, Cu, Fe, Mo, Mn ve Zn içermektedir. Cu, Fe, Mn ve Zn’nin tamamı şelatlanmış haldedir. Kullanılan fungusit, ıslanabilir toz halindedir ve su ile karıştırılarak süspansiyon haline getirilmektedir. İçeriğinde % 50 Metalik Bakır’a eşdeğer Bakır Oksiklorid bulunmaktadır. Kullanılan total herbisit ise çözelti halinde ve 480 g·l⁻¹ dozunda Glyphosate Isopropylamin tuzu içermektedir. Kullanılan yayıcı-yapıştırıcı ise çözelti halinde Sodyum Karboksimetil Selüloz içermektedir.

Çizelge 3.2 Temas açısı ölçümlerinde kullanılan sıvılar ve özellikleri

Sıvılar	γ (mN/m)	Doz	Yayıcı-yapıştırıcı dozu
Saf Su (SS)	72,42		
Saf Su + Yayıcı-yapıştırıcı (SS+YY)	71,06		0,30 ml/l
Yaprak Gübresi (NPK)	70,89	3 ml/l	
Yaprak Gübresi + Yayıcı-yapıştırıcı (NPK+YY)	71,44	3 ml/l	0,25 ml/l
Total Herbisit (TH)	49,30	10 ml/l	
Total Herbisit + Yayıcı-yapıştırıcı (TH+YY)	47,58	10 ml/l	0,30 ml/l
Fungusit (FU)	71,68	5 g/l	
Fungusit + Yayıcı-yapıştırıcı (FU+YY)	71,56	5 g/l	0,30 ml/l
Yayıcı-yapıştırıcı (YY)	42,34		

3.2 Yöntem

Sistem çalıştırılmaya hazırlandıktan sonra, yapraklar sisteme yerleştirilmiş ve üzerlerine sıvı damlaları damlatılmıştır. Sayısal mikroskoptan sıvı damlaları damlatıldıktan sonra elde edilen görüntüler ImageJ programı ile bilgisayara eş zamanlı olarak aktarılmıştır ve depolanmıştır. Bilgisayarda depolanan sayısal fotoğraflar ImageJ programı ile açılarak bunlar üzerinden damlaların taban ve yükseklikleri ölçülmüştür. Daha sonra taban ve yükseklik değerlerinden temas açıları hesaplanmıştır.

3.2.1 Geliştirilen sistemin kullanıma hazırlanması

Geliştirilen sistemde doğru ölçüm yapabilmek, üretilcek damlalarının sağ ve sol kenarlarının eşit açılı olabilmesi ve görüntülemeyi etkileyebilecek titreşimlerin önlenmesi amacıyla; sayısal mikroskop, şırınga düzeneği, yaprak tablası ve diğer bileşenler mermer bir laboratuvar tezgâhı üzerine su terazisi yardımı ile

konumlandırılmışlardır. Ölçümler 27 - 28°C hava sıcaklığı, 910 - 950 mbar hava basıncı ve % 25 - 30 nisbi nem koşullarında yapılmıştır.

Yaprak tutucu üzerindeki objelerin boyutlarını piksel birimi yerine μm cinsinden belirleyebilmek için 1500 μm , 2000 μm ve 3000 μm çaplarında AISI 52100 paslanmaz çelikten imal edilmiş bilyeler (Şekil 3.18) kullanılmıştır. Çelik bilyeler üzerinden ölçülen gerçek değerler ile sayısal görüntüler üzerinden ölçülen değerler arasındaki farklılıklar en düşük olana kadar gerekli ayarlamalar yapılmıştır.

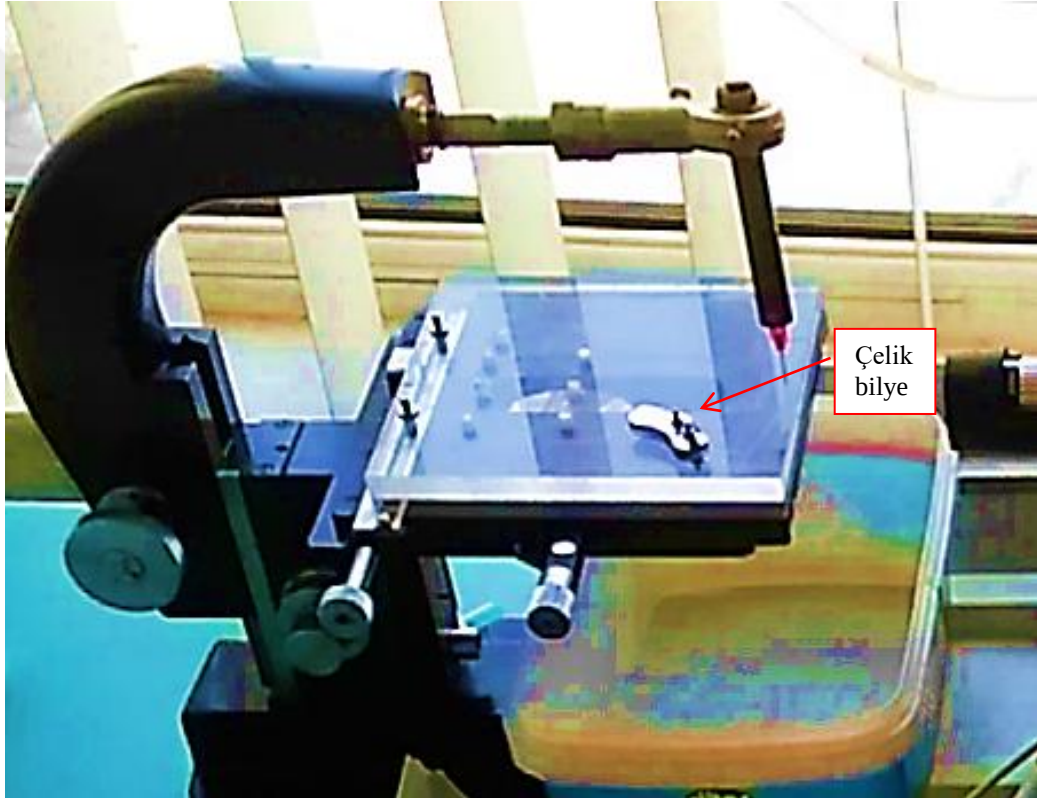


Şekil 3.18 Sistemde kullanılan 1500 μm çapında paslanmaz çelik bilye

Sisteme sıvı kimyasal madde doldurulması için; 2. tuşa basılarak (Şekil 3.11) dozaj ünitesindeki 50 μl 'lik şırınganın pistonu sonuna kadar geri çekilmiştir. Dolum şırıngası bağlantısına (Şekil 3.5) bağlanan 20 ml'lik şırıngaya elle basılarak sisteme sıvı kimyasal doldurulmaya başlanmış ve 50 μl 'lik dozaj şırıngasının (Şekil 3.5) piston yuvasından sıvı çıkışı görülünce 1. tuşa basılarak 50 μl 'lik şırınganın pistonu itilerek yerine oturması sağlanmış ve sıvı çıkışı durdurulmuştur. Sıvı çıkışı durduktan sonra bu defa damlatıcıdaki 27G şırınga ucundan sıvı çıkışı olana kadar tekrar dolum şırıngasına elle basılmıştır. Şırınga ucundan da sıvı çıkışı görüldükten sonra 20 ml'lik dolum şırıngasının hortumu sıkıştırılarak sistem kullanıma hazır hale getirilmiştir. Yaprak tutucu üzerindeki yaprak tablası en ileri konuma alınarak şerit halinde kesilmiş yaprak kenarlarından yaprak tutucuya yapıştırılmış ve ardından yaprak tutucu geriye çekilerek yaprak ölçüme hazır hale getirilmiştir.

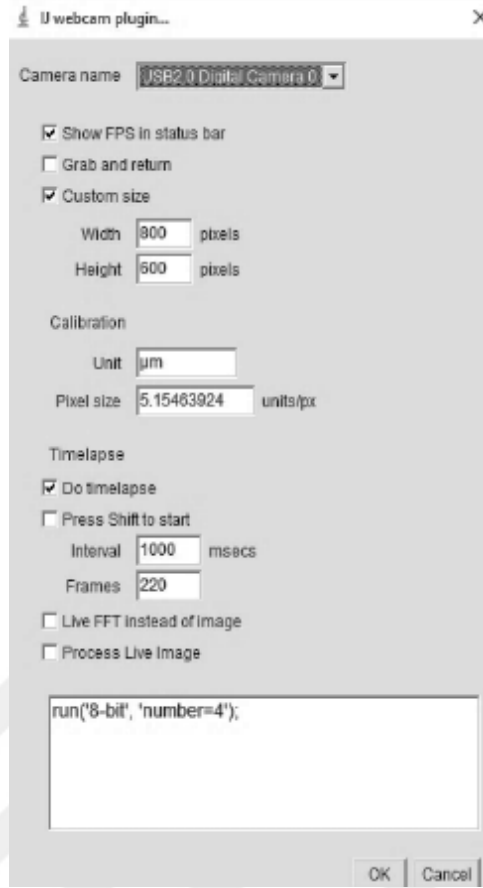
3.2.2 Geliştirilen sistemle sayısal görüntülerin elde edilmesi

Ölçümler için 800 x 600 piksel sayısal çözünürlükte çalışılmıştır. Dozaj birimine sıvı kimyasal doldurma ve yaprağın yaprak tutucuya sabitlenmesi işlemlerinin ardından, yaprak tablasına bir çelik bilye konulmuş (Şekil 3.19) ve ImageJ programının Webcam Capture eklentisi çalıştırılmıştır. Mikroskop tutucunun butonları kullanılarak çelik bilye net bir şekilde görüntülenene kadar sayısal mikroskobun odak noktası ayarlanmıştır. Resimlerin daha net elde edilebilmesi için parlaklığı ayarlanabilen bir ışık kaynağı kullanılmıştır.



Şekil 3.19 Yaprak tablası ve üzerine konulan çelik bilye

Odak noktası ayarlandıktan sonra ImageJ programının Webcam Capture eklentisi aracılığıyla bilyenin görüntüsü üzerinden ölçüm yapılarak piksel/gerçek uzunluk oranı hesaplanmış ve her bir piksel için kaç μm boyutta ölçüm yapıldığı bulunarak eklentinin ilgili kutucuğuna yazılmıştır (Şekil 3.20).



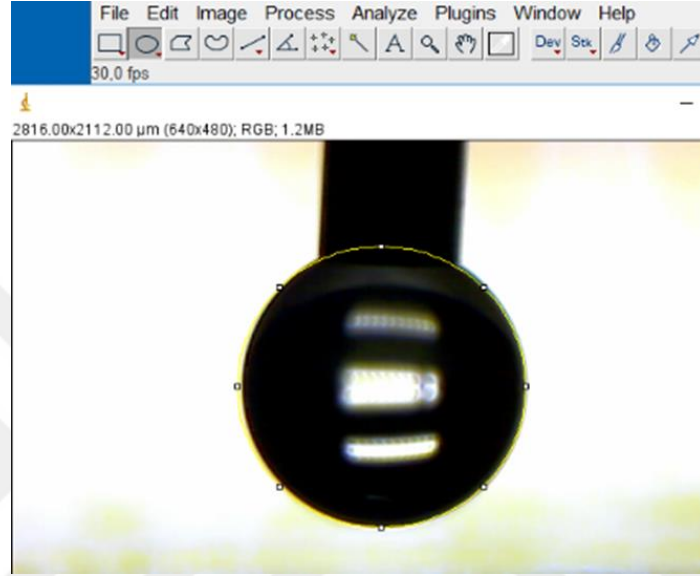
Şekil 3.20 ImageJ Webcam Capture eklentisi

Odaklama ve gerçek boyut ayarları tuş takımı üzerinde bulunan tuşlar ile yapıldıktan sonra damla 1000 μm çapına gelene kadar önce tuş takımındaki “*” tuşuyla kaba, sonra da “#” tuşuyla ince ayarda şırınganın pistonu ileri ittirilerek şırınga pompasından sıvı çıkışı sağlanmıştır. Damlaların istenilen çapta olup-olmadığı ImageJ programının dairesel ölçüm seçeneğiyle yapılmıştır (Şekil 3.21). Damla istenilenden büyük oluştuysa “0” tuşuyla kabaca ve “D” tuşuyla ince ayarda 50 μl ’lik şırınganın piston,u geri çekilerek damla küçültülmüştür.

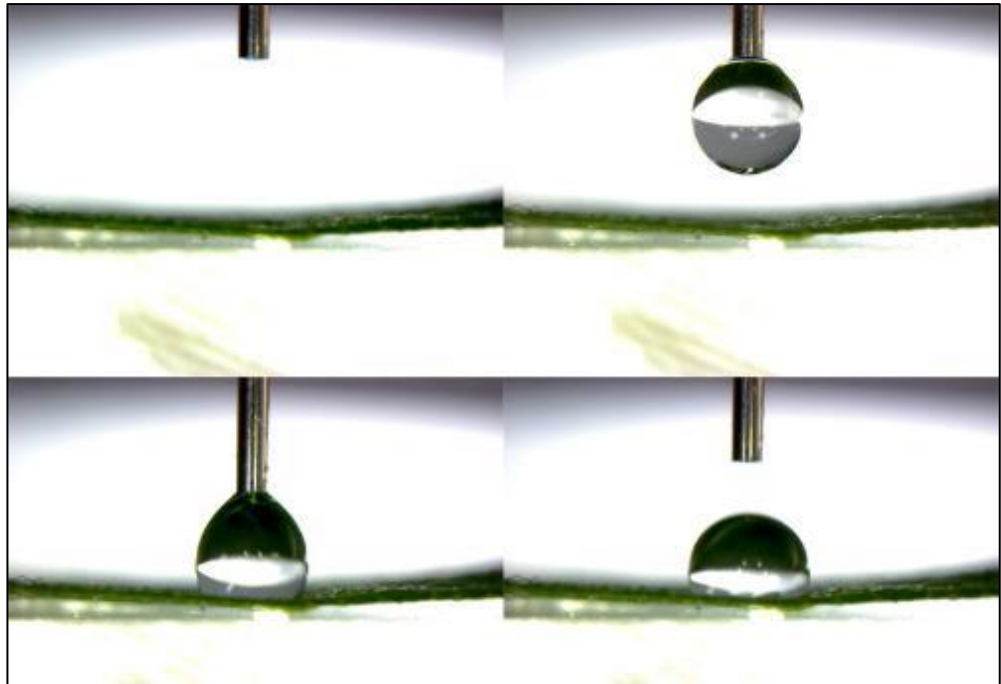
Bütün ayarlamalar tamamlandıktan sonra Webcam Capture eklentisinin menüsünde resim yakalama zamanı aralığı 20 milisaniye olarak ayarlanmıştır. “OK” simgesine basıldıktan sonra görüntü yakalanmaya başlanmıştır (Şekil 3.20).

Görüntü çekimi başladıktan sonra 1000 μm çaplı üretilen damlalar yaprak yüzeyine temas ettirilerek aktarılmış ve damlanın şırıngadan kurtulup yaprak yüzeyinde serbest

kaldığı temas anından itibaren 5 saniye beklendikten sonra “Save - Image Sequence” seçeneği ile sayısal görüntüler bilgisayara kaydedilmiştir. Temas açısının zamana göre değişiminin incelenebilmesi için asetat kâğıdı üzerinde SS ve SS+YY sıvıları için ilaveten 30 saniye çekim yapılmıştır. Ölçüm sürecindeki bir damlanın sayısal mikroskoptan görünümü Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Bir damlanın büyüklüğünün kontrolü.



Şekil 3.22 Ölçüm sürecindeki bir damlanın sayısal mikroskoptan görünümü

3.2.3 Sayısal görüntülerden temas açılarının hesaplanması

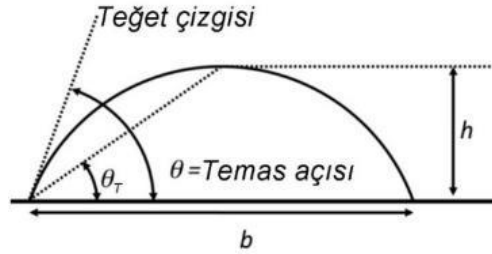
Sayısal görüntüler üzerinden temas açısı hesaplanmasına ilişkin yöntemlerin araştırılması sonucunda en çok kullanılan yöntemlerden biri olan yarım açı metodu (Williams vd. 2010) ile bilgisayara aktarılan fotoğraflar üzerinden temas açıları hesaplanmıştır. Yarım açı metoduna göre temas açısı (θ) damlanın içinde oluşan üçgenin taban açısının (θ_T) iki katıdır (Şekil 3.23). Elde edilen fotoğraflar Image-J programı ile açılarak damlaların taban (b) ve yükseklikleri (h) ölçülmüş (Şekil 3.24) ve temas açıları hesaplanmıştır (Eşitlik 2).

$$\theta = 2 \cdot (\tan^{-1} (b \cdot (2 \cdot h)^{-1})) \quad (2)$$

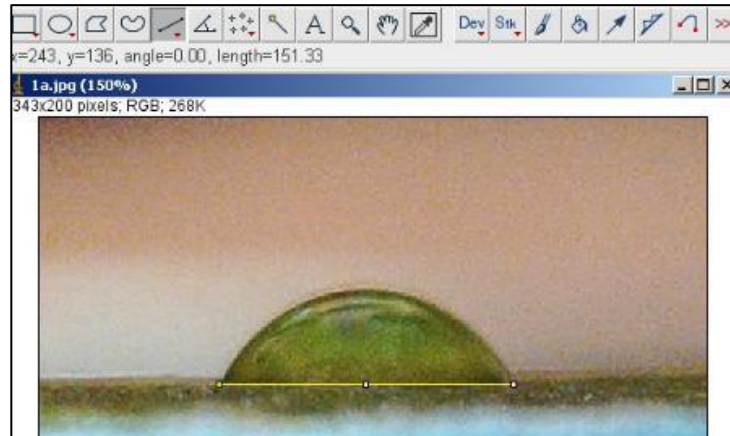
θ : Damlanın temas açısı ($2 \cdot \theta_T$)

h : damlanın yüksekliği

b : damlanın taban uzunluğu



Şekil 3.23 Yarım açı metoduna göre temas açısı (Williams vd. 2010)



Şekil 3.24 ImageJ yazılımı ile bir damlanın taban uzunluğunun ölçülmesi

3.2.4 Verilerin değerlendirilmesi

Yapılan bir test yeniden yapıldığında yine aynı sonuçların elde edilebilmesi olasılığı kesinlik olarak ifade edilir. Kesinliği belirlemek amacıyla tekrarlanabilirlik çalışmaları yapılır (Akday vd. 2000).

Tekrarlanabilirlik, aynı laboratuvar ortamı, cihaz/metot, uygulama koşulları ve uygulayıcı kişi tarafından kısa bir zaman aralığında, bir yöntemin sonuçlarının birbirlerine olan yakınlığının ölçüsüdür. Standart sapma (s), rölatif (RSD) veya % rölatif standart sapma (% RSD) olarak belirtilir (Ellison ve Williams 2000).

Geliştirilen sistemin tekrarlanabilirlik aralıklarının belirlenmesi için 1000, 1500 ve 3000 μm çaplarında 3 adet paslanmaz çelik bilye kullanılmıştır. Bu bilyelerin çapları ölçülmüş ve bunun için sayısal mikroskop fotoğrafları kullanılmıştır. Çalışma KLN1, KLN2 ve KLN3 olarak isimlendirilen üç farklı kullanıcı tarafından yürütülmüştür. Her bir kullanıcı farklı günlerde çalışmıştır. Kullanıcılar çalıştıkları gün içinde bu üç farklı çaptaki bilyelerin üzerinden 10'ar adet ölçüm yapmışlardır (Çizelge 3.3). Ölçümlerden sonra veri grupları üzerinde Grubbs Testi yapılmıştır. Bu test bir veri grubundaki uçdeğerleri (sapan değer) tespit eden istatistiksel bir testtir (Anonim 2018). Her bir bilye için ayrı ayrı varyans analizi ile ölçümlerin varyans kontrolü yapılmıştır. Duncan testi ile de ortalamalar arasında fark olup olmadığı kontrol edilmiştir ve her bir bilye için genişletilmiş belirsizlik aralığı belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 Bilyeler ve kullanıcılar

Bilyeler	Günler		
	1. Gün	2. Gün	3. Gün
1000 μm	KLN1	KLN2	KLN3
2000 μm	KLN1	KLN2	KLN3
3000 μm	KLN1	KLN2	KLN3

Ölçüm aşamasında ise yüzeyler üzerinde oluşturulan damlaların sayısal mikroskopla fotoğrafları çekilmiş ve fotoğraflar üzerinden temas açıları hesaplanmıştır. Temas açısı

ölçüm değerleri asetat kâğıdı (AK), dut (DT), asma (AS), eşek marulu (EM) ve kedi otu (KO) yaprakları üzerinde saf su (SS), total herbisit (TH), Fungusit (FN), NPK sıvı yaprak gübresi (NPK) ve saf su ile bunların yayıcı yapıştırıcı (YY) eklenmiş karışımları damlaları ile yapılmıştır (Çizelge 3.4). Damlaların titreşiminin durması için 5 saniye beklendikten sonra sayısal fotoğrafları çekilmiştir. Her iki sıvı için ve her 5 farklı yüzey tipinde 30 tekerrürlü ölçüm yapılmıştır. Yaprakların ve sıvıların temas açılarına etkisinin görülebilmesi amacıyla çift faktörlü varyans analizi testi yapılarak “H0: Bitki yaprağı türüne ve uygulanan sıvılara göre elde edilen temas açısı ölçümleri sonuçları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli değildir.” hipotezi test edilmiştir. Gerek yüzey gruplarında, gerekse sıvı grupları arasında etki farklılıkları olup olmadığı ise LSD çoklu karşılaştırma testi ile kontrol edilmiştir.

Çizelge 3.4 Kullanılan yüzeyler ve sıvılar

Yüzeyler	Sıvılar							
AK	FU	FU+YY	TH	TH+YY	NPK	NPK+YY	SS	SS+YY
AS	FU	FU+YY	-	-	NPK	NPK+YY	SS	SS+YY
DT	FU	FU+YY	-	-	NPK	NPK+YY	SS	SS+YY
EM	-	-	TH	TH+YY	-	-	SS	SS+YY
KO	-	-	TH	TH+YY	-	-	SS	SS+YY

Zamanın temas açısına etkisini gözlemlemek için, Asetat üzerinde Saf Su (SS) ve Saf Su + Yayıcı Yapıştırıcı (SS+YY) karışımlarının damlatılmasından sonra 5, 15, 25. saniyelerdeki ölçüm sonuçları üzerinde Tek faktörlü varyans analizi yapılarak “H0: Zamanın ölçülen temas açısı ortalamaları üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli değildir.” hipotezi test edilmiştir.

Hangi gruplar arasında farklılık olduğunu bulmak için kullanılacak yöntemin seçimi için homojenlik testi yapılmıştır. Homojen varyanslı dağılımlarda kullanılan LSD tekniği seçilmiştir. Asetat üstünde hem Saf Su (SS) ve Saf Su + Yayıcı Yapıştırıcı (SS+YY) karışımları damlalarının temas açılarının zaman göre değişimi için ortalamalar üzerinden regresyon denklemleri hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Geliştirilen sistem üzerinde yürütülen tekrarlanabilirlik çalışmasında 1000, 1500 ve 3000 μm 'lik çapa sahip 3 farklı bilyenin çapları ölçülmüştür. Her bir bilyeyi farklı günlerde KLN1, KLN2 ve KLN3 olarak isimlendirilen üç farklı kullanıcı tarafından ölçülmüştür. Her bir bilyenin kullanıcılar tarafından 10'ar adet çap ölçümü yapılmıştır. Toplamda 90 ölçüm yapılmıştır. Tekrarlanabilirlik çalışması için öncelikle bütün ölçüm grupları üzerinde Grubbs Testi yapılmış ve teste göre gruplarda sapan değer olmadığı anlaşılmıştır. Çizelge 4.1'de bu test için kullanılan değerler verilmiştir. Tekrarlanabilirlik çalışmasının kesinlik değerleri ise her bir bilye çapı için standart belirsizlik olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 Grubbs Testi değerleri

	1000 μm			1500 μm			3000 μm		
	KLN1	KLN2	KLN3	KLN1	KLN2	KLN3	KLN1	KLN2	KLN3
$\bar{x}$	998,42	999,48	998,95	1495,79	1498,42	1501,05	3001,58	3000,53	3003,69
S	5,57	5,79	7,76	8,15	7,04	8,52	6,58	7,62	8,96
%RSD	0,55	0,58	0,77	0,54	0,47	0,56	0,22	0,25	0,29
$X_{\max}-X_{\min}$	15,79	15,79	21,06	21,06	21,06	21,06	15,79	21,06	21,06
r	25,08	26,05	34,95	36,69	31,67	38,36	29,64	34,32	40,34
G_{low}	1,60	0,81	1,22	0,77	1,27	1,35	1,03	1,45	1,58
G_{high}	1,22	1,90	1,49	1,80	1,72	1,112	1,35	1,31	0,76
Kriter	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29

1000 μm çapındaki bilye için KLN1, KLN2 ve KLN3 kullanıcılar tarafından yapılan 10'ar adet çap ölçümü için hesaplanan istatistiki değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu ölçümlerin varyans analizi yapılmış ve sonuçlar arasında fark olmadığı anlaşılmıştır. Ancak kullanıcılar arası fark olabileceğinden dolayı sonuçlar Duncan çoklu karşılaştırma testine de tabi tutulmuş ve gruplar arasında istatistiksel olarak %5 hata düzeyinde (α) anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2 1000 µm çapındaki bilye ölçümlerinin istatistikleri

Tanıtıcı Değerler								
Kullanıcı	N	$\bar{x}$	Std. Sapma	Std. Hata	(% 95)		Min.	Maks.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
KLN1	10	998,42	5,57	1,76	994,43	1002,40	989,47	1005,26
KLN2	10	999,47	5,79	1,83	995,33	1003,61	994,74	1010,53
KLN3	10	998,94	7,76	2,45	993,38	1004,50	989,47	1010,53
Toplam	30	998,94	6,24	1,13	996,61	1001,27	989,47	1010,53
Varyans Analizi								
		Kareler Top.		s.d.	Ort. Hata Karesi		F	P
G. Arası		5,55		2	2,77		0,067	0,936
G. İçi		1124,50		27	41,64			
Top.		1130,06		29				
DUNCAN Çoklu karşılaştırma testi (Hata düzeyi (α) = %5)								
			N			1		
KLN1			10			998,421		
KLN2			10			998,946		
KLN3			10			999,475		
P						0,734		

1500 µm çapındaki bilye için KLN1, KLN2 ve KLN3 kullanıcılar tarafından yapılan 10'ar adet çap ölçümü için hesaplanan istatistiki değerler Çizelge 4.3'de verilmiştir. Bu ölçümlerin varyans analizi yapılmış ve sonuçlar arasında fark olmadığı anlaşılmıştır. Ancak kullanıcılar arası fark olabileceğinden dolayı sonuçlar Duncan çoklu karşılaştırma testine de tabi tutulmuş ve gruplar arasında istatistiksel olarak %5 hata düzeyinde (α) anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3 1500 µm çapındaki bilye ölçümlerinin istatistikleri

Tanıtıcı Değerler								
Kullanıcı	N	$\bar{x}$	Std. Sapma	Std. Hata	(% 95)		Min.	Maks.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
KLN1	10	1495,78	8,15	2,57	1489,95	1501,62	1489,47	1510,53
KLN2	10	1498,42	7,03	2,22	1493,38	1503,45	1489,47	1510,53
KLN3	10	1501,05	8,52	2,69	1494,95	1507,15	1489,47	1510,53
Toplam	30	1498,42	7,95	1,45	1495,44	1501,39	1489,47	1510,53
Varyans Analizi								
		Kareler Top.		s.d.	Ort. Hata Karesi		F	P
G. Arası		138,60		2	69,30		1,102	0,347
G. İçi		1698,58		27	62,91			
Top.		1837,18		29				
DUNCAN Çoklu karşılaştırma testi (Hata düzeyi (α) = %5)								
		N				1		
KLN1		10				1495,788		
KLN2		10				1498,421		
KLN3		10				1501,053		
P						0,172		

3000 µm çapındaki bilye için KLN1, KLN2 ve KLN3 kullanıcılar tarafından yapılan 10'ar adet çap ölçümü için hesaplanan istatistiki değerler Çizelge 4.4'de verilmiştir. Bu ölçümlerin varyans analizi yapılmış ve sonuçlar arasında fark olmadığı anlaşılmıştır. Ancak kullanıcılar arası fark olabileceğinden dolayı sonuçlar Duncan çoklu karşılaştırma testine de tabi tutulmuş ve gruplar arasında istatistiksel olarak %5 hata düzeyinde (α) anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4 3000 µm çapındaki bilye ölçümlerinin istatistikleri

Tanıtıcı Değerler								
Kullanıcı	N	$\bar{x}$	Std. Sapma	Std. Hata	(% 95)		Min.	Maks.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
KLN1	10	3001,58	6,58	2,08	2996,86	3006,29	2994,74	3010,53
KLN2	10	3000,52	7,62	2,41	2995,06	3005,98	2989,47	3010,53
KLN3	10	3003,68	8,96	2,83	2997,27	3010,09	2989,47	3010,53
Toplam	30	3001,93	7,63	1,39	2999,08	3004,78	2989,47	3010,53
Varyans Analizi								
	Kareler Top.		s.d.	Ort. Hata Karesi		F	P	
G. Arası	51,73		2	25,86		0,427	0,657	
G. İçi	1637,60		27	60,65				
Top.	1689,34		29					
DUNCAN Çoklu karşılaştırma testi (Hata düzeyi (α) = %5)								
	N					1		
KLN2	10					3000,526		
KLN1	10					3001,580		
KLN3	10					3003,685		
P						0,401		

1000 µm çaplı bilye için ortalama çap değeri 998,94 µm olarak hesaplanmıştır. Genişletilmiş belirsizlik için en yüksek standart hata değeri olan 2,45 değeri alınarak $k=2$ için 4,90 kabul edilmiştir. Standart belirsizlik ortalamanın standart hatası olarak verilmiştir. Buna göre ölçüm sonucu $998,94 \pm 4,90$ µm (% 95) olarak belirlenmiştir.

1500 µm çaplı bilye için ortalama çap değeri 1498,42 µm olarak hesaplanmıştır. Genişletilmiş belirsizlik için en yüksek standart hata değeri olan 2,69 değeri alınarak $k=2$ için 5,38 kabul edilmiştir. Standart belirsizlik ortalamanın standart hatası olarak verilmiştir. Buna göre ölçüm sonucu $1498,42 \pm 5,38$ µm (% 95) olmuştur.

3000 µm çaplı bilye ile ortalama çap değeri 3001,93 µm olarak hesaplanmıştır. Geniştirilmiş belirsizlik için en yüksek standart hata değeri olan 2,83 değeri alınarak $k=2$ için 5,66 kabul edilmiştir. Standart belirsizlik ortalamanın standart hatası olarak verilmiştir. Buna göre ölçüm sonucu $3001,93 \pm 5,66 \mu\text{m}$ (% 95) olmuştur.

Yaprakların ve sıvıların temas açısına etkilerinin gösterilebilmesi amacıyla çift faktörlü varyans analizi yapılmıştır. Temas açısı ölçümleri; asetat kâğıdı (AK), dut (DT), asma (AS), eşek marulu (EM) ve kedi otu (KO) yaprakları üzerinde saf su (SS), total herbisit (TH), Fungusit (FN) ve NPK sıvı yaprak gübresi (NPK) ile bunların yayıcı yapıştırıcı (YY) eklenmiş karışımları ile yapılmıştır. Her bir sıvı için, her bir farklı yüzey üzerinde 30 tekerrürlü ölçüm yapılmıştır. Çizelge 4.5’de ölçümlerin tanıtıcı istatistiki değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5 Temas açısı ölçümlerinin tanıtıcı değerleri

	N	Min.	Maks.	Ortalama	Std. Hata	Std. Sapma
AK - SS	30	74,75	82,71	80,37	0,30	1,63
AK - SS+YY	30	78,76	82,50	80,48	0,18	1,00
AK - NPK	30	77,71	81,56	80,23	0,18	1,00
AK - NPK+YY	30	78,39	82,56	81,02	0,17	0,94
AK - FN	30	79,29	83,21	81,37	0,19	1,04
AK - FN+YY	30	79,61	82,62	81,19	0,13	0,73
AK - TH	30	46,98	50,37	49,18	0,19	1,02
AK - TH+YY	30	46,02	47,81	46,74	0,11	0,62
DT - SS	30	84,59	87,72	87,07	0,18	0,99
DT - SS+YY	30	110,25	113,62	111,73	0,14	0,79
DT - FN	30	109,08	114,01	112,09	0,28	1,56
DT - FN+YY	30	101,27	103,95	102,46	0,15	0,80
DT - NPK	30	104,19	107,28	105,26	0,16	0,86
DT - NPK+YY	30	107,46	111,35	109,71	0,18	1,00
AS - SS	30	108,05	115,84	111,35	0,29	1,59
AS - SS+YY	30	110,74	116,43	113,75	0,28	1,53
AS - FN	30	106,39	110,20	107,69	0,19	1,06
AS - FN+YY	30	106,95	109,38	108,29	0,15	0,81
AS - NPK	30	114,10	118,19	116,60	0,22	1,21
AS - NPK+YY	30	116,56	119,74	117,93	0,14	0,79
KO - SS	30	103,85	108,26	105,77	0,21	1,12
KO - SS+YY	30	107,25	110,30	108,93	0,11	0,60
KO - TH	30	73,59	77,56	75,68	0,17	0,96
KO - TH+YY	30	70,40	72,99	71,37	0,13	0,70
EM - SS	30	145,15	151,66	148,85	0,35	1,93
EM - SS+YY	30	152,95	157,61	154,92	0,20	1,09
EM - TH	30	115,74	119,40	117,77	0,18	1,00
EM - TH+YY	30	100,07	102,92	101,59	0,16	0,90

Çift faktörlü varyans analizi sonucunda “H₀: Bitki yaprağı türüne ve uygulanan sıvılara göre elde edilen temas açısı ölçüm sonuçları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli değildir.” hipotezi Çizelge 4.6’daki sonuçlara göre reddedilmiştir. Hem yaprak, hem de sıvılar ile yapılan ölçüm sonuçları arası istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Bir başka ifadeyle ölçüm sonuçları, hem yaprak tipine, hem sıvı tipine, hem de ikisinin birlikte değerlendirildiği koşullarda $P < 0,05$ önem düzeyinde farklılık göstermektedir.

Çizelge 4.6 Çift faktörlü varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Kareler Top.	s.d.	Kareler Ort.	F	P
Düzeltilmiş Model	494128,47 ^a	27	18301,05	15311,12	0
Sabit	7839259,10	1	7839259,10	6558520,96	0
Yüzeyler	346033,11	4	86508,27	72374,99	0
Sıvılar	142977,02	7	20425,28	17088,31	0
Yüzeyler * Sıvılar	14320,25	16	895,01	748,79	
Hata	970,56	812	1,19		
Toplam	8712239,19	840			
Düzeltilmiş Toplam	495099,04	839			
a. $R^2 = 0,998$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,998$)					

Çift faktörlü varyans analizi sonucuna göre H₀ hipotezi reddedildiği için hangi yüzeylerin ve hangi sıvıların farklı olduğu LSD çoklu karşılaştırma testleri ile belirlenmiştir.

Sıvılar arası farklılıkların belirlenmesi için yapılan LSD çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; Fungusit (FU) ile NPK sıvı yaprak gübresi (NPK) arasında $P < 0,05$ önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı ancak diğer sıvılar arasında $P < 0,05$ önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.7’de sıvılar için yapılan LSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.7 Sıvılar arası farklılıkların belirlenmesi için yapılan LSD testi sonuçları

Sıvılar	Sıvılar	Ortalama fark	Standart Hata	P
FN	FN+YY	3,0702*	0,1629	0
	TH	19,5046*	0,1629	0
	TH+YY	27,1486*	0,1629	0
	NPK	-0,3134	0,1629	0,055
	NPK+YY	-2,5020*	0,1629	0
	SS	-6,2989*	0,1457	0
	SS+YY	-13,5796*	0,1457	0
FN+YY	FN	-3,0702*	0,1629	0
	TH	16,4343*	0,1629	0
	TH+YY	24,0783*	0,1629	0
	NPK	-3,3837*	0,1629	0
	NPK+YY	-5,5722*	0,1629	0
	SS	-9,3692*	0,1457	0
	SS+YY	-16,6498*	0,1457	0
TH	FN	-19,5046*	0,1629	0
	FN+YY	-16,4343*	0,1629	0
	TH+YY	7,6440*	0,1629	0
	NPK	-19,8180*	0,1629	0
	NPK+YY	-22,0066*	0,1629	0
	SS	-25,8035*	0,1457	0
	SS+YY	-33,0842*	0,1457	0
TH+YY	FN	-27,1486*	0,1629	0
	FN+YY	-24,0783*	0,1629	0
	TH	-7,6440*	0,1629	0
	NPK	-27,4620*	0,1629	0
	NPK+YY	-29,6506*	0,1629	0
	SS	-33,4475*	0,1457	0
	SS+YY	-40,7282*	0,1457	0
NPK	FN	0,3134	0,1629	0,055
	FN+YY	3,3837*	0,1629	0
	TH	19,8180*	0,1629	0
	TH+YY	27,4620*	0,1629	0
	NPK+YY	-2,1886*	0,1629	0
	SS	-5,9855*	0,1457	0
	SS+YY	-13,2662*	0,1457	0
NPK+YY	FN	2,5020*	0,1629	0
	FN+YY	5,5722*	0,1629	0
	TH	22,0066*	0,1629	0
	TH+YY	29,6506*	0,1629	0
	NPK	2,1886*	0,1629	0
	SS	-3,7969*	0,1457	0
	SS+YY	-11,0776*	0,1457	0
SS	FN	6,2989*	0,1457	0
	FN+YY	9,3692*	0,1457	0
	TH	25,8035*	0,1457	0
	TH+YY	33,4475*	0,1457	0
	NPK	5,9855*	0,1457	0
	NPK+YY	3,7969*	0,1457	0
	SS+YY	-7,2807*	0,1262	0
SS+YY	FN	13,5796*	0,1457	0
	FN+YY	16,6498*	0,1457	0
	TH	33,0842*	0,1457	0
	TH+YY	40,7282*	0,1457	0
	NPK	13,2662*	0,1457	0
	NPK+YY	11,0776*	0,1457	0
	SS	7,2807*	0,1262	0

Yüzeyler arası farklılıkların belirlenmesi için yapılan LSD çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; bütün yüzeyler arasında $P < 0,05$ önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.8’de yüzeyler için yapılan LSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.8 Yüzeyler arası farklılıkların belirlenmesi için yapılan LSD testi sonuçları

Yüzeyler	Yüzeyler	Ortalama fark	Standart Hata	P
AK	AS	-40,0320*	0,1078	0
	DT	-32,1468*	0,1078	0
	EM	-58,2111*	0,1222	0
	KO	-17,8675*	0,1222	0
AS	AK	40,0320*	0,1078	0
	DT	7,8852*	0,1152	0
	EM	-18,1791*	0,1288	0
	KO	22,1644*	0,1288	0
DT	AK	32,1468*	0,1078	0
	AS	-7,8852*	0,1152	0
	EM	-26,0643*	0,1288	0
	KO	14,2793*	0,1288	0
EM	AK	58,2111*	0,1222	0
	AS	18,1791*	0,1288	0
	DT	26,0643*	0,1288	0
	KO	40,3436*	0,1411	0
KO	AK	17,8675*	0,1222	0
	AS	-22,1644*	0,1288	0
	DT	-14,2793*	0,1288	0
	EM	-40,3436*	0,1411	0

Zamanın temas açılarına etkisini gözlemleyebilmek için, Asetat kâğıdı (AK) üzerinde Saf Su (SS) ve Saf Su + Yayıcı Yapıştırıcı (SS+YY) karışımlarının damlatılmasından sonra 5, 15 ve 25. saniyelerde ölçümler yapılmıştır. Bu sonuçlar üzerinde yapılan tek faktörlü varyans analizi ile “ H_0 : Zamanın ölçülen temas açısı ortalamaları üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli değildir.” hipotezi test edilmiştir. Asetat kâğıdı (AK) üzerinde hem Saf Su (SS), hem de Saf Su + Yayıcı Yapıştırıcı (SS+YY) karışımları ile farklı saniyelerde yapılan ölçüm sonuçları arasında $p < 0,001$ düzeyinde anlamlı fark bulunduğu için H_0 hipotezi reddedilmiştir. Ölçümlerin tanımlayıcı değerleri ile tek faktörlü varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 Zamanın temas açısını etkisi için yapılan istatistikler

Tanıtıcı değerler									
	Süre (s)	N	$\bar{x}$	Std. Sapma	Std. Hata	(%95)		Min.	Maks .
						Alt Sınır	Üst Sınır		
AK-SS	5	30	80,36	1,62	0,29	79,76	80,97	74,75	82,71
	15	30	77,71	2,04	0,37	76,95	78,47	70,74	79,97
	25	30	75,89	2,25	0,41	75,04	76,73	68,27	78,47
AK-SS+YY	5	30	80,48	1,00	0,18	80,10	80,85	78,76	82,50
	15	30	78,46	1,11	0,20	78,04	78,88	76,18	80,28
	25	30	77,13	1,07	0,19	76,72	77,53	75,26	79,22
Varyans analizi									
	AK-SS			AK-SS+YY					
	G. Arası		G. İçi	Toplam	G. Arası		G. İçi	Toplam	
Kareler Top.	304,19		345,1	649,29	170,93		99,26	270,2	
Kareler Ort.	152,09		3,96		85,46		1,14		
s.d.	2		87	89	2		87	89	
F	38,34				74,9				
P	0				0				

Tek faktörlü varyans analizi sonucuna göre H₀ hipotezi reddedildiğinden dolayı, hangi zaman grupları arasında fark olduğunu bulmak için kullanılacak yöntem Levene Varyansların Homojenliği Testi yapılarak belirlenmiştir. Test sonuçlarının bulunduğu tablo Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Levene Varyansların Homojenliği Testi tablosu

	Levene testi değeri	P	sd1	sd2
AK-SS	1,115	0,333	2	87
AK-SS+YY	0,435	0,649	2	87

Levene testine göre varyansların homojen olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle homojen varyanslı dağılımlarda kullanılan LSD çoklu karşılaştırma testi seçilmiştir. Yapılan LSD testi sonucunda Asetat kâğıdı (AK) üzerinde hem Saf Su (SS), hem de Saf Su + Yayıcı Yapıştırıcı (SS+YY) karışımlarının temas açılarının zaman göre değişimi istatistiksel olarak $P < 0,05$ önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.11 - 4.12).

Çizelge 4.11 AK-SS için LSD testi Sonuçları

	Saniye	Saniye	Ort. Fark	Std. Hata	P	(%95)	
						Alt sınır	Üst sınır
AK-SS	5	15,00	2,65*	0,51425	0	1,62	3,67
		25,00	4,47*	0,51425	0	3,45	5,50
	15	5,00	-2,65*	0,51425	0	-3,67	-1,62
		25,00	1,82*	0,51425	0,001	0,80	2,84
	25	5,00	-4,47*	0,51425	0	-5,50	-3,45
		15,00	-1,82*	0,51425	0,001	-2,84	-0,80

* Ortalama değişimi 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Çizelge 4.12 AK-SS+YY için LSD Testi Sonuçları

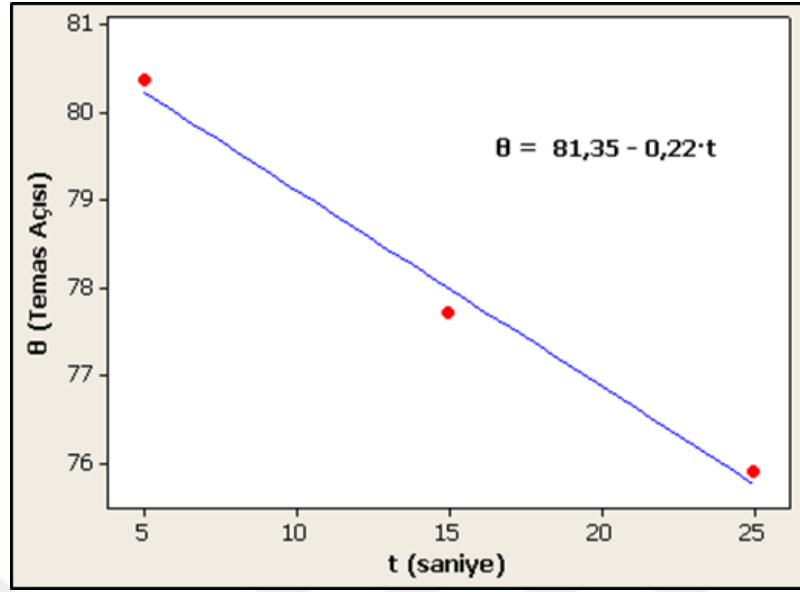
	Saniye	Saniye	Ort. Fark	Std. Hata	P	(%95)	
						Alt sınır	Üst sınır
AK-SS+YY	5	15,00	2,01*	0,27580	0	1,46	2,56
		25,00	3,35*	0,27580	0	2,80	3,90
	15	5,00	-2,01*	0,27580	0	-2,56	-1,46
		25,00	1,33*	0,27580	0	0,78	1,88
	25	5,00	-3,35*	0,27580	0	-3,90	-2,80
		15,00	-1,33*	0,27580	0	-1,88	-0,78

* Ortalama değişimi 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

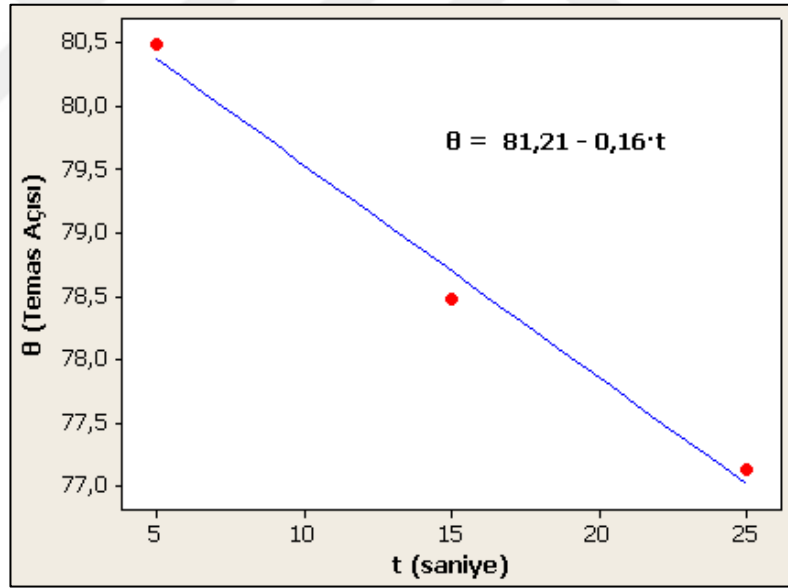
Temas açılarının zaman göre değişimi anlamlı olduğu için ortalamalar üzerinden regresyon denklemleri hesaplanmış (Çizelge 4.13) ve regresyon grafikleri ise Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.13 Regresyon denklemleri tablosu

	Regresyon Denklemi	Std. Sapma	R ²	R ² (düzeltilmiş)
AK-SS	$\theta = 81,35 - 0,22 \cdot t$	0,33	% 98,9	% 97,8
AK-SS+YY	$\theta = 81,21 - 0,16 \cdot t$	0,27	% 98,7	% 97,4



Şekil 4.1 AK-SS Regresyon grafiği.



Şekil 4.2 AK-SS+YY Regresyon grafiği.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Geliştirilen sistem üzerinde yapılan tekrarlanabilirlik çalışması sonucunda sistemin ölçüm kesinliği; 1000 µm çap için $998,94 \pm 4,90$ µm, 1500 µm çap için $1498,42 \pm 5,38$ µm ve 3000 µm çap için $3001,93 \pm 5,66$ µm olarak tespit edilmiştir.

Çift faktörlü varyans analizi testi sonucunda yaprak, sıvılar ve her ikisi ile yapılan ölçüm sonuçları arası $P < 0,05$ önem düzeyinde anlamlı farklılık bulunmuştur. Farklı yüzeylerinin ölçülen temas açılarına etkisi LSD çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiş ve tüm yüzeyler arasında $P < 0,05$ önem düzeyinde anlamlı farklılık bulunmuştur.

Farklı sıvıların ölçülen temas açılarına etkisi LSD çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiş ve FU ile NPK sıvıları haricinde tüm sıvılar arasında $P < 0,05$ önem düzeyinde anlamlı fark bulunmuştur. FU ile NPK sıvıları arasında fark olmaması ise bu sıvıların süspansiyon formunda olmalarından kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Bu iki sıvının yayıcı-yapıştırıcı katılmış karışımları (NPK+YY, FU+YY) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olması ise kullanılan yayıcı-yapıştırıcının bu sıvıların özelliklerine farklı şekillerde etki yaptığını göstermektedir.

Tarım ilaçları (FU, TH) ile ölçülen temas açıları sıvı yaprak gübresine (NPK) göre küçük bulunmuştur. Bu durum sıvı yaprak gübrelerinde ıslatabilirlik özellikleri açısından geliştirme çalışmaları yapılması gerektiğini göstermektedir.

Damlatmadan sonra geçen 5, 15 ve 25. saniyelerdeki ölçüm sonuçları üzerinde tek faktörlü varyans analizi yapılarak zamanın ölçülen temas açısı ortalamaları üzerine etkisi $P < 0,01$ önem düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Bunun nedeninin damlaların yaprak yüzeylerinde zamana bağlı olarak yayılmaya devam etmesi ile buharlaşmaya bağlı olarak damlaların yükseklik değerlerinin değişmesi olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan, yüzey gerilimini ve dolayısıyla temas açısını düşürmesi beklenen yayıcı-yapıştırıcı, total herbisite ilave edildiğinde temas açısını düşürmüş ancak beklenenin aksine başta saf su olmak üzere diğer sıvılarda değişken oranlarda temas açısını yükseltmiştir. Bu durum Toraman ve Bayat (2015)'ın; bazı yayıcı-yapıştırıcıların ilave edildikleri uygulama sıvısının yüzey gerilim değerlerini düşürmedikleri ayrıca yüzeylerde tutunma ve temas açısı gibi özelliklerini de geliştirmedikleri sonucuna vardıkları çalışmaları ile uyum göstermektedir.

Geliştirilen sistem; 2 MP renkli dijital mikroskop kullanımı, 3 eksen elektronik kontrollü mikroskop tutucu ile yaprakların istenilen bölgelerinden ölçüm yapılabilmesi, elektronik kontrollü şırınga pompası kullanımı gibi özellikleri ile Anıl (1997), Forster ve Zabkiewicz (2001), Gaskin vd. (2005) Pimanpag vd. (2006), Vicente vd. (2012), Ersoy ve Kuntman (2008) kullandıkları sistemler ile Toraman ve Bayat (2015)'ın, bitki korumada kullanılan yayıcı yapıştırıcı maddeler üzerine yaptıkları çalışmada kullandıkları endüstriyel cihaza göre özellikle homojen olmayan doğal yüzeylerde temas açısı ölçümünde gelişme sağlanmıştır.

Endüstriyel amaçlı temas açısı ölçüm cihazları yüksek hızlı kameralardan elde edilen, yüksek karışıklığa sahip ve gri tonlamalı görüntüler kullanılmaktadırlar. Ancak yaprak yüzeyi ile damla temas noktalarını doğru ayırt edememeleri nedeniyle hatalı sonuç verebildikleri için geliştirilen sistemde renkli dijital mikroskop kullanımı ile mevcut temas açısı ölçüm sistemlerindeki bu soruna çözüm bulunmuş, bu yüzeyler için hassas ve doğru ölçüm yapılabilmesi sağlanmıştır. Bu sayede gelecek dönemlerde, geliştirilen sistemde yüksek hızlı renkli sayısal mikroskoplar, giderek küçülen ve ucuzlayan hiperspektral kameralar ve gelişmiş görüntü analizi teknikleri kullanılarak doğal yüzeylerde daha detaylı ve hassas ölçüm sonuçları elde edilebilecektir.

Tarımsal pülverizasyon işlemlerinin incelenmesinde kullanılabilecek pratik bir gösterge olması nedeniyle, temas açısı ölçümleri farklı bitkilerin yüzeylerine püskürtülen sıvı damlalarının yayıcı-yapıştırıcı maddeler yardımıyla istenilen şekilde optimize edilmesine yardımcı olabilir. Ancak bunun sağlanabilmesi için farklı bitkiler aksamaları üzerinde, bitkilerin farklı fenolojik dönemlerinde ayrıca zaman, sıcaklık, nem gibi farklı

dış koşullar altında, farklı tarım ilacı, sıvı yaprak gübresi ve yayıcı yapıştırıcı gibi kimyasallarla çalışmaların devam etmesi gerekmektedir. Bu çalışmalar neticesinde tarım ilaçları, sıvı yaprak gübreleri gibi tarımsal amaçlı kimyasallardan en uygun fayda sağlanabilir ve drift (ilaç sürüklenmesi) gibi pülverizasyon başarısını etkileyen faktörler daha fazla kontrol altına alınabilir.

Geliştirilen sistemle bitkilerin yaprakları haricindeki diğer aksamaları ile farklı biyolojik materyallerin de temas açıları ölçülebilecektir. Söz gelimi aeroponik bitki yetiştirme yönteminde bitki kökleri havada asılıyken sıvı besin maddeleri köklere püskürtülmektedir. Her bir bitki türüne özel kök özellikleri belirlenerek bunların üstünde en uygun besin alımı için gerekli tutunmayı sağlayacak özellikte besin maddesi karışımları elde edilebilecektir. Meyvelerin yıkanması, koruyucu maddeler ile kaplanması ve ilaçlanması için de meyve yüzey özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Geliştirilen sistemle birlikte meyve yüzeylerinin gösterdiği temas açıları da ölçülebilecektir. Hayvansal üretimde önemli bir katma değer sahip olan başta yapağı gibi ürünlerin temas açısı değerleri belirlenerek bunların yıkanmasını ve temizliğini kolaylaştırabilecek kimyasalların geliştirilmesinin önü açılabilir.

Sistemde hem açık kaynak kodlu bir mikro-denetleyici platformu olan Arduino ve yine açık kaynak kodlu görüntü işleme yazılımı olan ImageJ programı kullanılmıştır. Ayrıca piyasada bulunabilen elektronik ve mekanik bileşenler kullanılmıştır. Böylece hem geliştirilmeye açık hem de düşük maliyetli bir sistem elde edilmiştir. Bu sayede Açık kaynak yazılım ve donanım mimarisi ile elektronik, mekanik ve optik bileşenlerin birlikte kullanıldığı ve bilimsel çalışmalarda kullanılabilecek kompleks sistemlerin düşük maliyetli olarak elde edilebileceği gösterilmiştir. Gelecekteki tarımda hassas tarım gibi yaklaşımların önem kazanması beklenmektedir ve bu kapsamda bitkilerin gösterdiği varyasyonların izlenmesi için çok sayıda, çok fonksiyonlu, minyatür ve portatif ölçüm cihazına ihtiyaç duyulacağı açıktır. Geliştirilen sistem, 5V - 12V DC gerilim ile çalıştırılabildiği için bu yöndeki saha çalışmalarına adapte edilebilecek şekilde taşınabilir hale getirilebilir potansiyeline sahiptir. Tarımsal amaçlı pülverizasyonlarda damla temas açısı ölçümüne yönelik olarak geliştirilen sistem, bilim insanlarının ve saha çalışmalarında bulunan kişilerin ihtiyaçlarına uygun ve

özelleştirebilir sistemleri kendilerinin geliştirebilmelerine katkı sağlayacak örnek bir çalışma olmuştur ve önümüzdeki dönemlerde benzer sistemlerin yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır.

Sistem geliştirilirken piyasadaki elektronik ve mekanik bileşenlerin temin edilmelerinde birden fazla isimle anılmakta olduklarından dolayı sıkıntı çekilmiştir. Bunun nedeni bileşenlerin genellikle ithal ürün olmaları nedeniyle çeşitli ülkelerden temin edilmeleri ve farklı alanlarda kullanılmalarıdır. Bu nedenle elektronik ve mekanik bileşenlerin isimlendirilmesinde bir standartlaşma getirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışması ile önceki araştırmalarda yapılan çalışmalar ışığında tarımsal pülverizasyonlara yönelik bir temas açısı ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Gelişen teknolojiyle birlikte ucuzlayan sayısal mikroskop teknolojisi ile bir mikro-denetleyici platformu kullanılarak açık kaynaklı ve düşük maliyetli bir sistem ortaya çıkarılmıştır. Böylece tarımsal amaçlı kullanılabilecek uygun fiyatlı ve kullanıcı tercihlerine göre özelleştirebilir laboratuvar cihazlarına örnek olabilecek bir sistem elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sistem temas açısı ölçümleri için kullanılabilir bulunmuştur.

Yapılan çalışma ile tarım ilacı, gübre ve tarım makinaları alanında çalışan imalatçı, araştırmacı ve öğrenciler ile bu alanlardaki ürünlerin kullanıcısı olan çiftçilere yeni teknolojilerin ve bilgilerin sağlanabileceği önemli bir örnek sistem geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Acartürk, F., Ağabeyoğlu, İ., Çelebi, N., Değim, T., Değim, Z., Doğanay, T., Takka, S., Tırnaksız, F., 2007. Modern Farmasötik Teknoloji. Türk Eczacılar Birliği Eczacılık Akademisi, 484, Ankara.
- Açıkalın E., Cingi, İ., Erol, K., 1996. Laboratuvar Teknikleri ve Gereçleri. Pütün, E. (eds), Anadolu Üniversitesi Yayınları: 978 Açıköğretim Fakültesi Yayınları: 548, 151, Eskişehir.
- Akbay, A., Öztaş, Y., Bozdayı, G., 2000. Klinik Laboratuvarında Temel Kavramlar. Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Yayınları No:1, 155, Ankara.
- Aksakal, Ö., 2010. İstilacı *Lepidium draba* L. türünün populasyonlarının fenotipik ve genetik farklılıkları ile ekolojik özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 130, Erzurum.
- Anıl, N., 1997. Dental materyallerin ıslanabilirliği. Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 21, 84-91.
- Anonim, 2007a. MEGEP Bilişim Teknolojileri, Görüntü İşleme Cihazları. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 55, Ankara.
- Anonim, 2007b. MEGEP Bilişim Teknolojileri, Görüntü İşleme-1. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 95, Ankara.
- Anonim, 2011a. Tarım Teknolojileri, Kimyasal Gübreleme-2, 622B00202. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 67, Ankara.
- Anonim, 2011b. Biyomedikal Cihaz Teknolojileri, Mikroskoplar, 523EO0239. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 68, Ankara.
- Anonim, 2011c. Tıbbi Laboratuvar, Tam Kan Sayımı-1, 725TTT122. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 72, Ankara.
- Anonim, 2011d. Elektrik - Elektronik Teknolojisi, Step ve Servo Motorlar, 522EE0096. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 42, Ankara.
- Anonim, 2012. Bilişim Teknolojileri, Görüntü İşleme Cihazları, 481BB0018. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 61, Ankara.
- Anonymous, 2003. ASAE Standards 2000-47th Edition. ASAE S327.2 DEC95: Terminology and Definitions for Agricultural Chemical Application. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, Michigan.

- Anonymous, 2015. Contact Angles. Web Sitesi: http://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Physical_Properties_of_Matter/Bulk_Properties/Contact_Angles, Erişim Tarihi: 06.12.2016.
- Anonymous 2018. New Design 2.0M 400X USB Microscope. Web Sitesi: https://www.barride-optics.com/html/Microscope_USB-Microscope_1532.html, Erişim Tarihi: 06.12.2018.
- Aslan, R., 1999. Step motor ile tahrik edilen iki eksenli bir kartezyen robotun, 8051 mikrodenetleyici çerçevesinde tasarlanması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, 87, İstanbul.
- Aydar, A. Y., 2012. Determination of Contact Angle of Olive oil and Canola Oil on a PTFE surface at Elevated Temperatures. Master of Science Thesis, NCSU, Food Science, 79, Raleigh, North Carolina.
- Aydar, A. Y., Bağdathoğlu, N., 2014. Yemeklik yağların yüzey gerilimi ve temas açılarının belirlenmesinde uygulanan yöntemler. Akademik Gıda, 12(1), 108-114.
- Aydın, A., 2012. İnsanlık için büyük tehlike: Toksinler. Ekoteknik ISG, 2012(3), 30-33.
- Beyaz, A., Beyaz, R., 2015. Traktörde güvenlik amaçlı galvanik deri tepkisi sensörü kullanım olanaklarının belirlenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), 121-125.
- Çayıroğlu, İ., Şimşir, M., 2008. PIC ve step motorla sürülen bir mobil robotun uzaktan kamera sistemi ile kontrolü. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 24(1), 1-16.
- Ceylan, T., Ünal, M A., 2020. Patoloji ve Histoloji Laboratuvarı Uygulama Kitabı. Kapadokya Üniversitesi Yayınları: 15 Sağlık Bilimleri Serisi: 7, 126, Nevşehir.
- Çilingir, İ., Dursun E., 2002. Bitki Koruma Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1531 Ders Kitabı: 484, 248, Ankara.
- Deliorman, O. D., Ergun, F., Orhan, N. 2011. Anadolu medeniyetlerinde asma (*Vitis vinifera* L.). Tarih Araştırmaları Dergisi, 30(50), 69-80.
- Demirkol, H., Moralı Güler, T., Akıncı, C., Alaca, İ., 2018. Nöroşirürji Pratiğinde Mikroskoplar. Türk Nöroşirürji Dergisi, 28(3):303-305.
- Deshmukh, A. V., 2005. Microcontrollers: Theory and Applications. Tata McGraw-Hill Publishing, 334, New Delhi.
- Dökmetaş, G., 2016. Arduino Eğitim Kitabı. Dikeyksen Yayınevi, 572, İstanbul.

- Dursun, E., 1998. Tarımsal İlaç Uygulamalarında Sürüklenmeyle Meydana Gelen İlaç Kayıpları ve Sürüklenmeye Etkili Faktörler. Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi (CD), 17-18 Eylül, Trakya Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Bildiri Özetleri CD'si, 58, Tekirdağ.
- Elçi, Ş., Sancak, C., 2013. Sitogenetikte Araştırma Yöntemleri ve Gözlemler. Ankara Üniversitesi Yayınları No: 386, Ankara Üniversitesi Yayınevi Yayın No: 4, 227, Ankara.
- Ellison, S. L., Williams, A., 2000. Eurachem/CITAC Guide CG 4: Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement (2th edition), 120, Caparica, Portugal.
- Erez, M. E., 2009. *Lepidium draba* L., *Acroptilon repens* (L.) DC., *Thymus kotchyanus* Boiss&Hohen. var. *kotchyanus*, *Inula peacockiana* (Aitch.&Hemsl.) Koravin, *Salvia kronenburgei* Rech. f. ve *Phlomis armeniaca* Wild. bitkilerinin allelopatik potansiyellerinin araştırılması. Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 180, Van.
- Ersoy, A., Kuntman, A., 2008. Polimerik Yalıtkanlarda Yüzey Özelliklerinin Temas Açısı ile İncelenmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO®2008), 26-30 Kasım, TÜYAP Bursa Uluslararası Fuar ve Kongre Merkezi, Bildiri Kitabı (Elektrik), 107-111, Bursa.
- Eşiyok, D., Bozokalfa, M. K., Aşçıoğlu, A. G. T., 2014. Eşek helvası. Dünya Gıda, 2014(11), 89-91.
- Eşrefoğlu, M., 2009. Genel Histoloji. Medipres Matbaacılık Yayıncılık, 278, Malatya.
- Fogg, G. E. 1947. Quantitative studies on the wetting of leaves by water. Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences, 134(877), 503-522.
- Forster, W.A., Zabkiewicz J.A., 2001. Improved Method for Leaf Surface Roughness Characterisation, 6th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals (ISAA 2001), 13-17 August, Book of Proceedings, 113-118, Amsterdam, The Netherlands.
- Gaskin, R. E., Steele, K.D., Forster, W.A., 2005. Characterising plant surfaces for spray adhesion and retention. New Zealand Plant Protection, (58), 179-183.
- Gelir, A., Kocaman, M., Pekacar, I., 2019. Image processing for quantitative measurement of e/m in the undergraduate laboratory. Physics Education, 54(5), 1-10.
- Goclawski, J., Urbaniak-Domagala, W., 2008. the measurement of wetting angle by applying and ADSA model of sessile drop on selected textile surfaces. Fibres and Textiles in Eastern Europe, 16(2), 84-88.
- Gridling, G., Weiss, B., 2007. Introduction to Microcontrollers. Vienna University of Technology, 169, Vienna.

- Hall, D. M., Burke, W., 1974. Wettability of leaves of a selection of New Zealand plants. *New Zealand Journal of Botany*, 12(3), 283-298.
- Hanba, Y. T., Moriya, A., Kimura, K., 2004. Effect of leaf surface wetness and wettability on photosynthesis in bean and pea. *Plant, Cell & Environment*, 27(4), 413-421.
- Holder, C. D., 2013. Effects of leaf hydrophobicity and water droplet retention on canopy storage capacity. *Ecohydrology*, 6(3), 483-490.
- Holloway, P. J., 1970. Surface factors affecting the wetting of leaves. *Pesticide science*, 1(4), 156-163.
- Hughes, J. M., 2016. *Arduino: A Technical Reference: A Handbook for Technicians, Engineers, and Makers*. O'Reilly Media, Inc., 613, Sebastopol, California.
- İnan, H., Tamam, E., Bağış, B., 2010. Tam protezlerde kullanılan farklı kaide materyallerinin ıslanabilirlik yönünden in vitro incelenmesi. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, 16(1), 35-43.
- Karaöz, M., 1992. Gübreler ve peyzaj uygulamalarında gübreleme teknikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 42(3-4), 49-60.
- Keskin, R., Güner, M., 2001. *Akışkanlar Mekaniği*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1523, Ders Kitabı: 476, 241, Ankara.
- Ketenoğlu, O., Körüklü, S. T., Bingöl, M.Ü., Kurt, L., Geven, F., Tuğ, G.N., Obalı, O., Güney, K., 2016. *Ekonomik Bitkiler (3. Baskı)*. Palme Yayınları, 279, Ankara.
- Kırkaç, Ç., 2005. İlaç damlacık dağılımının görüntü analiziyle değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, 84, Ankara.
- Kızılgöz, İ., Sakin, E., Gürsöz, S., 2011. Ovacık Köyü'nde (Şanlıurfa) yetiştirilen asma (*Vitis vinifera* L.) çeşitlerinin mineral beslenme durumunun değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(1), 1-10.
- Louis, L., 2016. Working principle of arduino and using it. *International Journal of Control, Automation, Communication and Systems (IJCACS)*, 1(2), 21-29.
- Marmur, A., 2009. Solid-surface characterization by wetting. *Annual Review of Materials Research*, (39), 473-489.
- Matthews, G.A., 2000. *Pesticide Application Methods (3th edition)*. Wiley-Blackwell, 452, New York.
- McCullough, B., Ying, X., Monticello, T., Bonnefoi, M., 2004. Digital microscopy imaging and new approaches in toxicologic pathology. *Toxicologic Pathology*, 32(2), 49-58.

- Melkebeek, J. A., 2018. Electrical Machines and Drives, Fundamentals and Advanced Modelling. Springer International Publishing AG, 442, Cham, Switzerland.
- Munsuz, N., 1982. Toprak-Su İlişkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 798, Ders Kitabı: 221, 241, Ankara.
- Müller, G., Raith, M., 1988. Mikroskopta Çalışma Yöntemleri. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayını No:148, 114, Ankara.
- Nayyar, A., Puri, V., 2016. A Review of Arduino board's, Lilypad's & Arduino shields, 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), 16-18 March, Book of Proceedings, 1485-1492, New Delhi, India.
- Özden, M., Demirel, U., Gürsöz, S., 2008. Öküzgözü ve Boğazkere (*Vitis vinifera* L.) üzüm çeşitlerinin yaprak eksplantlarından organogenesis yoluyla bitki regenerasyonu. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 12(4), 41-49.
- Özkan, H. E., Reichard, D. L., Zhu, H., Ackerman, K.D., 1993. Effect of Drift Retardant Chemicals on Spray Drift, Droplet Size, and Spray Pattern. In: Pesticide Formulations and Applications Systems (Vol. 13). Hall, F.R., Berger, P.D., ve Devisetty B.N. (eds), American Society for Testing and Metarials, 173-190, Phialadelphia.
- Öztürk, M. A., Seçmen, Ö., 1999. Bitki Ekolojisi. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları Yayın No: 141, 238, İzmir.
- Papierowska, E., Szporak-Wasilewska, S., Szewińska, J., Szatyłowicz, J., Debaene, G., Utratna, M., 2018. Contact angle measurements and water drop behavior on leaf surface for several deciduous shrub and tree species from a temperate zone. Trees, 32(5), 1253-1266.
- Pimanpang, S., Wang, P.I., Senkevich, J.J., Wang, G.C., Lu T.M., 2006. Effect of hydrophilic group on water droplet contact angles on surfaces of acid modified silk and parylene polymers. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 278(1-3), 53-59.
- Pişkin, M., 2016. OpenCV ile Görüntü İşleme. Web Sitesi: <http://mesutpiskin.com/blog/wp-content/uploads/2017/01/OpenCVKitap.pdf>, Erişim Tarihi: 15.08.2020
- Polat, A.A., 2004. Hatay'ın Antakya ilçesinde yetiştirilen bazı dut tiplerinin meyve özelliklerinin belirlenmesi. Bahçe, 33(1-2), 67-73.
- Ramalingam, N., Ling, P. P., Derksen, R. C., 2003. Leaf Surface Wetness Detection Using Ground Based Multispectral Imaging, 2003 ASAE Annual Meeting, July 27-30, Paper number 033130, Las Vegas, Nevada.
- Schindelin, J., Rueden, C. T., Hiner, M. C., Eliceiri, K. W., 2015. The ImageJ ecosystem: An open platform for biomedical image analysis. Molecular Reproduction and Development, 82(7-8), 518-529.

- Stevenson, D., Baumann, P. A., Jackman, J. A., 1997. Pesticide Properties That Affect Water Quality. Texas A&M AgriLife Extensions Service, 16, Texas. Web Sitesi: <http://texashelp.tamu.edu/wp-content/uploads/2016/02/EB-6050-pesticide-properties-water-quality.pdf>, Erişim Tarihi: 06.05.2018.
- Sürmen, B., Kılıç, D. D., Kutbay, H. G., Tuna, E. E., 2019. Doğal olarak yayılış gösteren *Lepidium draba* L. türünün fitoremediasyon yönteminde kullanılabilirliğinin araştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 491-499.
- Taiz, L., Zeiger, E., 2008. Bitki Fizyolojisi (3. Baskıdan Çeviri). Palme Yayıncılık, 720, Ankara.
- Temeldaş, M., 2007. Tarım ilaçları içerisine katılan yayıcı-yapıştırıcıların püskürtme tekniği açısından değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, 43, Adana.
- Toraman, M. C., Bayat, A., 2015. Bitki koruma ilaçlarına uygulanacak yayıcı ve yapıştırıcı seçiminde etkili faktörler. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 11(3), 187-193.
- Tunalıgil, B. G., 1993. Biyolojik Malzemelerin Teknik Özellikleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Yayınları: 1305 Ders Kitabı: 379, 136, Ankara.
- Urban, P.L., 2018. Prototyping instruments for the chemical laboratory using inexpensive electronic modules. Angewandte Chemie International Edition. 57(34): 11074-11077.
- Vicente, C.M.S., André, P.S., Ferreira, R.A.S., 2012. Simple measurement of surface free energy using a web cam. Revista Brasileira de Ensino de Física, 34(3), 1-5.
- Wang, H., Shi, H., Wang, Y., 2015. The wetting of leaf surfaces and its ecological significances. In: Wetting and Wettability. Aliofkhazraei, M. (ed), Intech, 295-321, Rijeka, Croatia.
- Wenzel, R. N., 1936. Resistance of solid surfaces to wetting by water. Industrial and Engineering Chemistry Research, 28(8), 988.
- Williams, D. L., Kuhn, A. T., Amann, M. A., Hausinger, M. B., Konarik, M. M., Nesselrode, E. I., 2010. Computerized measurement of contact angles. Galvanotechnik, (101), 2502-2512.
- Woods, N., Cowles, G., Crome, J., Lambourne, R., Simpson, P., Webster, R., 2005. Agricultural Chemical User's Manual: Guidelines and Principles for Responsible Agricultural Chemical Use. The State of Queensland, Department of Primary Industries and Fisheries, 139, Queensland.

- Yarnold, S., 2015. Arduino in Easy Steps. In Easy Steps Limited, 192, Southam, United Kingdom.
- Yıldırım, O., 2013. Sulama Sistemlerinin Tasarımı (4. Baskı). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:1594 Ders Kitabı: 546, 367, Ankara.
- Yıldız, M., Gürkan, M. O., Turgut, C., Kaya, Ü., Ünal, G., 2005. Tarımsal Savaşımda Kullanılan Pestisitlerin Yol Açtığı Çevre Sorunları, Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, 3-7 Ocak, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Bildiriler Kitabı 2. Cilt, 649-667, Ankara.
- Zeren, Y., Bayat, A., 1999. Tarımsal Savaş Mekanizasyonu. Çukurova Üniversitesi Ders Kitapları Genel Yayın: 108, 351, Adana.



EKLER

EK 1 Geliştirilen mikro-denetleyici programının kaynak kodları

```
#include <Wire.h>
#include <Stepper.h>
#define STEPSNMB 48
Stepper stepperNMB(STEPSNMB, 30, 31, 32, 33);
int speedNMB;
int adimNMB;
int eksiadimNMB;
#define STEPSZ 2038
Stepper stepperZ(STEPSZ, 34, 36, 35, 37);
int speedZ;
int adimZ;
int eksiadimZ;
#define STEPSY 2038
Stepper stepperY(STEPSY, 38, 40, 39, 41);
int speedY;
int adimY;
int eksiadimY;
#define STEPS 100
Stepper stepper(STEPS, 42, 43, 44, 45);
int hiz;
int adim;
int eksiadim;
const int pin_ileri= 2;
const int pin_geri= 3;
#include <Keypad.h>
const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;
char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3','A'},
```

```

    {'4','5','6','B'},
    {'7','8','9','C'},
    {'*','0','#','D'}
};

byte rowPins[COLS] = { 22, 23, 24, 25 };
byte colPins[ROWS] = { 26, 27, 28, 29 };

Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );

void setup()
{
    pinMode(pin_ileri,INPUT_PULLUP);
    pinMode(pin_geri,INPUT_PULLUP);
    hiz = 102;
    adim = 41;
    ekiadim = -30;
    speedNMB = 40;
    adimNMB = 480;
    ekiadimNMB = -480;
    pinMode(30, OUTPUT); pinMode(31, OUTPUT);
    pinMode(32, OUTPUT); pinMode(33, OUTPUT);
    pinMode(34, OUTPUT); pinMode(35, OUTPUT);
    pinMode(36, OUTPUT); pinMode(37, OUTPUT);
    pinMode(38, OUTPUT); pinMode(39, OUTPUT);
    pinMode(40, OUTPUT); pinMode(41, OUTPUT);
    pinMode(42, OUTPUT); pinMode(43, OUTPUT);
    pinMode(44, OUTPUT); pinMode(45, OUTPUT);
}

void loop()
{
    int buton_ileri=digitalRead(pin_ileri);
    int buton_geri=digitalRead(pin_geri);
    char key = keypad.getKey();
    if(key)

```

```

{
switch (key)
{
case '1':
stepperNMB.setSpeed(speedNMB);
stepperNMB.step(eksiadimNMB);
digitalWrite(30, LOW); digitalWrite(31, LOW);
digitalWrite(32, LOW); digitalWrite(33, LOW);
delay(100);
break;
case '2':
stepperNMB.setSpeed(speedNMB);
stepperNMB.step(adimNMB);
digitalWrite(30, LOW); digitalWrite(31, LOW);
digitalWrite(32, LOW); digitalWrite(33, LOW);
delay(100);
break;
case '3':
stepperNMB.setSpeed(10);
stepperNMB.step(-8);
digitalWrite(30, LOW); digitalWrite(31, LOW);
digitalWrite(32, LOW); digitalWrite(33, LOW);
delay(100);
break;
case 'A':
stepperNMB.setSpeed(10);
stepperNMB.step(8);
digitalWrite(30, LOW); digitalWrite(31, LOW);
digitalWrite(32, LOW); digitalWrite(33, LOW);
delay(100);
break;
case '4':

```

```
stepperY.setSpeed(15);
stepperY.step(-50000);
digitalWrite(38, LOW); digitalWrite(39, LOW);
digitalWrite(40, LOW); digitalWrite(41, LOW);
delay(100);
break;
case '5':
stepperY.setSpeed(15);
stepperY.step(50000);
digitalWrite(38, LOW); digitalWrite(39, LOW);
digitalWrite(40, LOW); digitalWrite(41, LOW);
delay(100);
break;
case '6':
stepperY.setSpeed(10);
stepperY.step(25);
digitalWrite(38, LOW); digitalWrite(39, LOW);
digitalWrite(40, LOW); digitalWrite(41, LOW);
delay(100);
break;
case 'B':
stepperY.setSpeed(10);
stepperY.step(-25);
digitalWrite(38, LOW); digitalWrite(39, LOW);
digitalWrite(40, LOW); digitalWrite(41, LOW);
delay(100);
break;
case '7':
stepperZ.setSpeed(15);
stepperZ.step(50000);
digitalWrite(34, LOW); digitalWrite(35, LOW);
digitalWrite(36, LOW); digitalWrite(37, LOW);
```

```
delay(100);
break;
case '8':
stepperZ.setSpeed(15);
stepperZ.step(-50000);
digitalWrite(34, LOW); digitalWrite(35, LOW);
digitalWrite(36, LOW); digitalWrite(37, LOW);
delay(100);
break;
case '9':
stepperZ.setSpeed(10);
stepperZ.step(-40);
digitalWrite(34, LOW); digitalWrite(35, LOW);
digitalWrite(36, LOW); digitalWrite(37, LOW);
delay(100);
break;
case 'C':
stepperZ.setSpeed(10);
stepperZ.step(40);
digitalWrite(34, LOW); digitalWrite(35, LOW);
digitalWrite(36, LOW); digitalWrite(37, LOW);
delay(100);
break;
case '*':
stepper.setSpeed(hiz);
stepper.step(adim);
delay(100);
break;
case '0':
stepper.setSpeed(hiz);
stepper.step(eksiadim);
delay(100);
```

```
break;
case '#':
stepper.setSpeed(2);
stepper.step(1);
delay(100);
break;
case 'D':
stepper.setSpeed(2);
stepper.step(-1);
delay(100);
break;
}
}
if(buton_ileri==0 && buton_geri==1)
{
stepper.setSpeed(50);
stepper.step(5000);
}
else if(buton_ileri==1 && buton_geri==0){
stepper.setSpeed(50);
stepper.step(-5000);
}
}
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı-soyadı: Muhittin Yağmur POLAT

Doğum yeri: Adana

Doğum tarihi: 08.01.1979

Medeni hali: Bekâr

Yabancı dil: İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ankara Atatürk Lisesi (1995)

Lisans : Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü (2002)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı (2004)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, İstanbul Tarım İl Müdürlüğü 2007-2011

T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 2011-2013

T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü 2013-2017

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 2017-

Uluslararası Kongrelerdeki Sözlü Bildiriler

Polat, M. Y., 2019. A Microcontroller Based Air Pressure, Humidity and Temperature Datalogger System Design for Agriculture. 5 th. International Eurasian Congress on Natural Nutrition, Healthy Life & Sport. 02-06 October 2019, Ankara, Turkey.

Uluslararası Hakemli Dergilerdeki Makaleler

Polat, M. Y., Beyaz, A., Çilingir, İ., 2020. Development of a Low-Cost pH Meter for Liquid Chemical Fertilizers. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 8(4).

Polat, M. Y., 2020. A Low-Cost Microcontroller Based Air Temperature, Humidity and Pressure Datalogger System Design for Agriculture. YYU Journal of Agricultural Science, 30(1).

Ulusal Dergilerdeki Makaleler

Polat, M. Y., 2018. İlaç Sürüklenmesi (Drift) ve Toprakta Pestisit Kirliliğine Etkisi. Çiftçi ve Köy Dünyası Dergisi, 402.

Proje Sonuç Raporları

Akgül, S., Demirkıran, O., Başkan, O., Cebeci, İ., Polat, M. Y., 2020. Haymana-Çatalkaya Havzasında MUSLE ve USLE Yöntemi ile Toprak Kayıplarının Tahmin Edilmesi. TAGEM/TSKAD/13/A13/P05/1. Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 66, Ankara.