

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**



**TARIMSAL AMAÇLI TASARLANAN DÖRT ROTORLU BİR
İNSANSIZ HAVA ARACINDA FARKLI MEME TİPLERİNİN
İLAÇLAMA PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

Doktora Tezi

Ruçhan ÇÖMLEK

Danışman

Doç. Dr. Taner YILDIZ

II. Danışman

Prof. Dr. Bahadır SAYINCI

Bu çalışma TÜBİTAK BİDEB 2211/C Yurt İçi Öncelikli Alanlar Doktora Burs programı kapsamında 36 ay süreyle ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO. ZRT. 190422003 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Ruçhan ÇÖMLEK tarafından, **Doç. Dr. Taner YILDIZ** danışmanlığında hazırlanan “ **TARIMSAL AMAÇLI TASARLANAN DÖRT ROTORLU BİR İNSANSIZ HAVA ARACINDA FARKLI MEME TİPLERİNİN İLAÇLAMA PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ** ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 16.2.2024 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Sefa ALTIKAT İğdır Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin SAUK Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Taner YILDIZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. M.Serhat ODABAŞ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bafra MYO Bitkisel ve Hayvansal Üretim Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Osman GÖKDOĞAN Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☐

Hayır ☒

04 /01 / 2024
Ruçhan ÇÖMLEK

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: TARIMSAL AMAÇLI TASARLANAN DÖRT ROTORLU BİR İNSANSIZ HAVA ARACINDA FARKLI MEME TİPLERİNİN İLAÇLAMA PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 04.01.2024 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 7

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

04 / 01 / 2024
Doç. Dr. Taner YILDIZ

ÖZET

TARIMSAL AMAÇLI TASARLANAN DÖRT ROTORLU BİR İNSANSIZ HAVA ARACINDA FARKLI MEME TİPLERİNİN İLAÇLAMA PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Ruĥan ÇÖMLEK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Doktora, Şubat/2024
Danışman: Doç. Dr. Taner YILDIZ

Bu çalışmanın amacı, son yıllarda pestisit uygulamalarında kullanılmaya başlanan düşük maliyetli bir Zirai İnsansız Hava Aracı'nın (ZİHA) tasarımı ve imalatının gerçekleştirilmesi, ZİHA'ların tasarımında göz önünde bulundurulması gereken tasarım parametrelerinin belirlenmesi, ZİHA ile kullanılacak farklı tipteki yelpaze huzmeli memelerin; farklı yüksekliklerdeki damla karakteristiklerini, pestisit hedef bitki kanopisi içindeki dağılımı ve püskürtme uygulamalarının bitki kök ve gövdesi üzerindeki etkisini belirlemektir. Çalışmada ZİHA dört rotorlu(quadcopter) olarak tasarlanmış ve 6s 16000 mAh'lık bir Li-Po batarya kullanılmıştır. ZİHA'nın ilaçlama ünitesinde, memeler arası mesafesi ayarlanabilir özellikte olan bum kolu, 2.4 sabit basınçlı pompa ve 5 litre depo kapasitesine sahip depo kullanılmıştır. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen ZİHA ile, ahşap örnekleme direkleri (2 metre boyunda ve 0.5 m aralıklarla yerleştirilmiş örnekleme kağıtları bulunan) ve brokoli bahçesi olmak üzere iki farklı deneme alanında gerçekleştirilmiştir. Denemelerde standart yelpaze huzmeli (ST), yüksek etki alanlı (LU), hava emişli (IDK) ve düşük sürüklenme potansiyelli (AD) olmak üzere 4 farklı tip hidrolik meme kullanılmış ve püskürtme uygulamaları sabit 240 kPa (2.4 bar) işletme basıncı ve 40 lha⁻¹ düşük uygulama hacminde gerçekleştirilmiştir. Damla örnekleme için suya duyarlı kağıt kullanılmış ve hidrolik memelerle ilgili yapılan tüm denemeler 10 ms⁻¹ ilerleme hızında üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Tasarım parametrelerinin belirlenmesinde, ZİHA'lar ile püskürtme uygulamalarında, GPS sistemi ile beraber RTK sisteminin kullanılmasının, özellikle sıraya ekim yapılan bitkilerde hedef dışı püskürtmeyi azaltacağı ortaya çıkarılmıştır. Kullanılan hidrolik memelerin birbirine olan mesafesinin ayarlanabilir olması ve pompa basıncının yüksek olması, ZİHA'lar da kullanılacak hidrolik meme çeşidini artırdığı gözlemlenmiştir. Örnekleme direkleri ile gerçekleşen denemelerde, 100 cm püskürtme yüksekliğinde en yüksek yüzey kaplama oranını LU tipi meme verirken, 150 cm yükseklikte AD tipi en yüksek yüzey kaplama oranına sahip olmuştur. 200 cm yükseklikte ise en yüksek yüzey kaplama oranı ST tipi memede bulunmuştur. Brokoli bahçesinde gerçekleşen denemede ise, bütün varyasyon kaynaklarında en yüksek yüzey kaplama oranı ST tipi memede bulunmuştur. Daha sonra sırası ile LU, IDK ve AD tipi memelerin yüzey kaplama oranı gelmektedir.

Anahtar Sözcükler: Zirai İnsansız Hava Aracı, İlaçlama Dronu, Tarımsal İHA, Düşük Hacimli İlaçlama, Yelpaze Huzmeli Meme,

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE SPRAYING PERFORMANCE OF DIFFERENT NOZZLE TYPES IN A FOUR-ROTOR UNMANNED AERIAL VEHICLE DESIGNED FOR AGRICULTURAL PURPOSES

Ruçhan ÇÖMLEK

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering

Ph.D. January/2024

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Taner YILDIZ

The aim of this study is to design and manufacture a low-cost Agricultural Unmanned Aerial Vehicle (AUAV), which has started to be used in pesticide applications in recent years. Determining the design parameters of ZİHA's. Different types of fan beam nozzles to be used with ZİHA, The aim is to determine the drop characteristics at different heights, the distribution of the pesticide within the target plant canopy and the effect of spray applications on the plant roots and stems. In the study, ZİHA was designed as a quadcopter and a 6s 16000 mAh Li-Po battery was used. In ZİHA's spraying unit, a boom arm with adjustable distance between nozzles, a 2.4 constant pressure pump and a tank with a capacity of 5 liters are used. Designed and manufactured ZİHA was carried out in two different trial areas: wooden poles (with sampling papers 2 meters long and placed at 0.5 m intervals) and a broccoli field. Four different types of hydraulic nozzles were used in the trials: standard flat fan (ST), multi-range (LU), air induction (IDK) and anti-drift (AD). Spraying applications were carried out at a constant operating pressure of 240 kP (2.4 bar) and a low application volume of 40 lha-1. Water-sensitive paper was used for drop sampling, and all experiments on hydraulic nozzles were carried out in three repetitions at a travel speed of 10 ms⁻¹. It has been revealed that the use of the RTK system together with the GPS system in spraying applications with ZİHA's in determining the design parameters will reduce non-target spraying, especially in row-planted plants. It has been observed that the adjustable distance between the hydraulic nozzles used and the high pump pressure increase the type of hydraulic nozzles to be used in ZİHA's. In experiments carried out with sampling poles, while LU type nozzle gave the highest surface coverage rate at 100 cm spray height, AD type had the highest surface coverage rate at 150 cm spray height. At a height of 200 cm, the highest surface coverage ratio was found in the ST type nozzle. In the spray applications carried out in the broccoli field; In all sources of variation, the highest surface coverage ratio was found in the ST type nozzle. Then comes the surface coverage ratio of LU, IDK and AD type nozzles, respectively.

Keywords: Agricultural Unmanned Aerial Vehicle, Spraying Drone, Agricultural UAV, Low Volume Spraying, Flat Fan Nozzle.

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım sırasında bana her türlü kolaylığı ve desteği sağlayan, tezimin hazırlanmasında ve yürütülmesinde bilgi, tecrübe ve yardımlarını benden esirgemeyen I. Danışman Hocam Doç. Dr. Sayın Taner Yıldız'a,

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli II. Danışman Hocam Prof. Dr. Sayın Bahadır SAYINCI'ya,

Tez denemelerimin yapılmasında bana destek ve yardımcı olan Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Zahid MALASLI' ya,

Tezimin yazımı sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamdaki yardımlarından dolayı, Araş. Gör. Cihat GEDİK, Araş. Gör. Kübra Meriç UĞURLUTEPE ve Araş. Gör. Tuğba KARAKÖSE'ye,

Çalışmalarım sırasında bana destek ve motivasyon veren Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Hocalarıma,

Benden maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen canımdan çok sevdiğim babam Abdullah ÇÖMLEK, annem Hüsniye ÇÖMLEK ve kardeşim Ahmet Furkan ÇÖMLEK'e,

Çalışmalarım süresince sabır göstererek, beni daima destekleyen kıymetli eşim Berna AYGİN ÇÖMLEK'e,

Tez çalışmamı 36 boyunca BİDEB 2211/C Yurt İçi Öncelikli Alanlar Doktora Burs Programı ile destekleyen TÜBİTAK'a, 48 ay boyunca Sürdürülebilir Etkin Tarım Programı kapsamında destekleyen YÖK'e ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (PYO. ZRT. 190.422.003) teşekkür ederim.

Adı SOYADI
Ruçhan ÇÖMLEK

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Ziraî İnsansız Hava Aracı Elektronik Bileşenleri	20
3.1.1.1. Uçuş Kontrolörü (FB)	22
3.1.1.2. Fırçasız Motor	24
3.1.1.3. Elektronik Hız Kontrol Ünitesi (ESC)	24
3.1.1.4. Batarya	25
3.1.1.5. Pervaneler	26
3.1.1.6. Güç Dağıtım Ünitesi (PDB)	26
3.1.1.7. Güç Modülü (PM)	27
3.1.1.8. Telemetri Modülü	28
3.1.1.9. Uzaktan Kumanda	28
3.1.1.10. GPS Modülü	29
3.1.1.11. Batarya Voltaj Test Cihazı	30
3.1.1.12. Kumanda Alıcısı	31
3.1.2. Ziraî İnsansız Hava Aracı İlaçlama Ünitesi Bileşenleri	32
3.1.2.1. İlaç Deposu	32
3.1.2.2. İlaçlama Pompası	32
3.1.2.3. Pompa ESC Modülü	33
3.1.2.4. Hidrolik Memeler	34
3.1.3. Ziraî İnsansız Hava Aracı Arazi Denemeleri	35
3.1.3.1. Deneme Alanı	35
3.1.3.2. Suyu Duyarlı Kartlar	36
3.1.3.3. Tarayıcı	37
3.1.3.4. Görüntü İşleme Programı	38
3.1.3.5. Hava İstasyonu	39
3.2. Yöntem	40
3.2.1. Fırçasız Motor ve Pervanenin Belirlenmesi	40

3.2.2. ZİHA’da Kullanılacak Pervanenin Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) İle İtki Kuvveti Hesabı	41
3.2.3. Batarya Seçimi ve İHA’nın Havada Kalma Süresinin Belirlenmesi	43
3.2.3.1. Gerilim Değeri (V)	43
3.2.3.2. Akım Değeri (A)	43
3.2.3.3. Maksimum Anlık Akım Değeri (C)	44
3.2.4. ZİHA İskeleti ve Seçilen Parçaların İskelete Montajı.....	44
3.2.5. ZİHA Kalibrasyonları Ve Uçuş Rotası Belirleme	47
3.2.5.1. Yer İstasyonu	47
3.2.5.2. ZİHA Donanımlarının Yapılandırılması	48
a) Temel Hedef.....	48
3.2.5.3. Uçuş Kalibrasyonları.....	55
3.2.5.4. Otonom Uçuş ve Uçuş Rotası Belirleme	61
3.2.6. İlaçlama Deneme Parametreleri	61
3.2.6.1. Meme Debilerinin Hesaplanması	61
3.2.6.2. ZİHA’nın ilerleme hızı ve uygulama hacminin belirlenmesi	62
3.2.6.3. ZİHA’nın püskürtme yüksekliğinin belirlenmesi	63
3.2.6.4. Damla Örnekleme Yöntemi	64
3.2.6.5. İklim Verileri.....	64
3.2.7. Deneme Uygulamaları	64
3.2.7.1. Örnekleme Direkleri.....	64
3.2.7.2. Brokoli Bahçesi Denemeleri	67
3.2.8. Deneme Verilerinin Sayısallaştırılması.....	70
3.2.8.1. Örneklerinin Taranması	70
3.2.8.2. Görüntü İşleme.....	70
3.2.8.3. Değişken Belirleme	71
3.2.9. İstatistik Analiz	71
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	72
4.1. Örnekleme Direkleri Bulguları.....	72
4.1.1. Damla Çapının Tahminlenmesi ve Damla sayısı	72
4.1.2. Yüzey Kaplama Oranı (%).....	72
4.1.2.1. Meme Tipinin Yüzey Kaplama Oranına (%) Etkisi.....	73
4.1.2.2. Memeler Arası Mesafenin Yüzey Kaplama Oranına (%) Etkisi.....	73
4.1.2.3. Püskürtme Yüksekliğinin Yüzey Kaplama Oranına (%) Etkisi.....	74
4.1.2.4. Suya Duyarlı Kart Konumunun Yüzey Kaplamaya Etkisi	75
4.2. Brokoli Bitkisi Bulguları	80
4.2.1. Yüzey Kaplama Oranı.....	80
4.2.1.1. Meme Tipinin Yüzey Kaplama Oranına (%) Etkisi.....	81
4.2.1.2. Memeler Arası Mesafenin Yüzey Kaplama Oranına (%) Etkisi.....	81
4.2.1.3. Bitki Kanopisi İçerisindeki Yüzey Kaplama Oranı	82

4.2.1.4. Suya Duyarlı Kart Konumunun Yüzey Kaplamaya Etkisi	83
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	87
5.1. Zirai İnsansız Hava Aracı Prototipi	87
5.2. Yüzey Kaplama Oranı	89
5.2.1. Meme Tipi Ve Püskürtme Yüksekliğinin Yüzey Kaplama Oranına Etkisi	91
5.2.1.1. Örnekleme Direkleri İle Gerçekleşen Denemenin Sonuçları.....	91
5.2.1.2. Brokoli Bahçesi Denemesi Sonuçları.....	92
5.2.2. Kart Konumlarına Göre Yüzey Kaplama Oranı.....	94
5.2.2.1. Örnekleme Direkleri İle Gerçekleşen Denemenin Sonuçları.....	94
5.2.2.2. Brokoli Bahçesi Deneme Sonuçları	95
5.2.3. Birim Alana Düşen Damla Sayıları, Damla Çapları ve Damla Birikimi	96
5.2.3.1. Örnekleme Direkleri İle Gerçekleşen Denemenin Sonuçları.....	97
5.2.3.2. Brokoli Bahçesi Deneme Sonuçları	98
6. KAYNAKLAR	100

SİMGELER VE KISALTMALAR

CV	: Varyasyon Katsayısı
DV	: Hacimsel Çap
F	: Varyans Analizi
ISO	: Uluslararası Standartlar Organizasyonu
Ø	: Çap
°	: Derece
PDIA	: Parçaçık Damla Görüntüleme Analizörü
PDA	: Faz Farkı Analizörü
Q	: Debi
R2	: Belirleme Katsayısı
RE	: Reynold Sayısı
SD	: Serbestlik Derecesi
SS	: Standart Sapma
ST	: Standart Yalpaze Huzmeli Meme
LU	: Yüksek Etki Alanlı Meme
IDK	: Hava Emişli Meme
IDKT	: Çift Yarıklı Hava Emişli Meme
STD	: Standart Meme
DC	: İçi Boş Konik Huzmeli Meme
AD	: Düşük Sürüklenme Potansiyelli Meme
WSP	: Suyu Duyarlı Kağıt
BCPC	: İngiliz Bitkisel Üretim Konseyi
µg	: Microgram
PAMI	: Prairie Tarım Makinaları Enstitüsü
UPLD	: Ultra Plus Low Drift
HSS	: Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelik
POM	: Poliasetal
V	: Hacim
n	: Motor Devri
R	: Çap
B	: Memeler Arası Mesafe
MT	: Meme Tipi
KK	: Kart Konumu
PY	: Püskürtme Yüksekliği
İH	: İlerleme Hızı
ESC	: Hız Kontrol Ünitesi
PDB	: Güç Dağıtım Ünitesi
Li-Po	: Lityum Polimer Batarya
FB	: Uçuş Kartı
İHA	: İnsansız Hava Aracı
ZİHA	: Zirai İnsansız Hava Aracı
RPM	: Devir Sayısı
OSP	: Yağa Duyarlı Kağıt
CFD	: Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği
FEM	: Sonlu Elemanlar Methodu
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
3D	: Üç Boyutlu Model
İMU	: Atalet Ölçü Birimi

GPS	: Coğrafi Konum Sistemi
RC	: Uzaktan Kumanda
OSD	: Görüntüleme Ekranı
KV	: Kilo Volt
S	: Lityum Polimer Batarya Hücresi
C	: Lityum Polimer Batarya Patlama Akım Değeri
Mhz	: Megahertz
Ghz	: Gigahertz
Dpi	: İnch Başına Piksel Değeri
V	: Volt
A	: Amper
Log	: Uçuş Günlükleri
TLog	: Telemetry Uçuş Günlükleri
Auto	: Ototomatik Uçuş Modu
kPa	: Kilopaskal



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Zırai İnsansız Hava Aracı CAD Modeli	21
Şekil 3.2. Zırai İnsansız Hava Aracı Bileşenlerinin Blok Diyagramı	22
Şekil 3.3. Uçuş kartının sistem şeması ve portları	23
Şekil 3.4. Fırçasız Motor.....	24
Şekil 3.5. Elektronik Hız Kontrol Ünitesi.....	25
Şekil 3.6. Lityum polimer batarya	25
Şekil 3.7. Pervane	26
Şekil 3.8. Güç dağıtım ünitesi.....	27
Şekil 3.9. Güç modülü (PM)	27
Şekil 3.10. Telemetry Modülü	28
Şekil 3.11. Uzaktan kumanda	29
Şekil 3.12. GPS	30
Şekil 3.13. Voltaj test cihazı	30
Şekil 3.14. Radyo alıcı	31
Şekil 3.15. İlaç deposu	32
Şekil 3.16. İlaç deposu	33
Şekil 3.17. Pompa ESC modülü.....	34
Şekil 3.18. Denemelerde kullanılan meme tipleri ve özellikleri	35
Şekil 3.19. Örnekleme direkleri deneme planı.....	35
Şekil 3.20. Brokoli bahçesi deneme planı.....	36
Şekil 3.21. Suya duyarlı kağıtlar(WSP).....	36
Şekil 3.22. Tarayıcı	38
Şekil 3.23. Görüntü işleme programı	39
Şekil 3.24. UAV Forecast 2.1 arayüzü.....	39
Şekil 3.25. Fırçasız motor üretici verileri	41
Şekil 3.26. Pervane yüzeyinde oluşan basınç kuvveti FEM analizi.....	42
Şekil 3.27. Pervanenin ürettiği hava akımının hızının FEM analizi	42
Şekil 3.28. Tek Pervanenin FEM analizi ile kaldırma kuvveti hesabı	43
Şekil 3.29. Tek Pervanenin FEM analizi ile kaldırma kuvveti hesabı 2	43
Şekil 3.30. ZİHA montajı.....	45
Şekil 3.31. ZİHA iskeletinin FEM analizi için kuvvet yükleme noktaları.....	45
Şekil 3.32. ZİHA iskeletinin stres noktalarının belirlenmesi	46
Şekil 3.33. ZİHA iskeletinin deformasyon noktalarının belirlenmesi	46
Şekil 3.34. ZİHA elektronik aksam montajı	47
Şekil 3.35. Uçuş yazılımı otonam rota oluşturma ara yüzü	48
Şekil 3.36. Kumanda üzerindeki kanallar ve görevleri	49
Şekil 3.37. Uçuş kartı çıkış soketleri.....	49
Şekil 3.38. Pervane dönüş yönleri.....	51

Şekil 3.39. Farklı tiplerdeki ZİHA motor-pervane yapılandırmaları	51
Şekil 3.40. Farklı tipte quadcopter yapılandırmaları.....	52
Şekil 3.41. Farklı tipte quad – x yapılandırmaları.....	52
Şekil 3.42. Uçuş kartı pusula kalibrasyon ara yüzü	53
Şekil 3.43. Mekanik arızalı bir İHA’ya ait uçuş günlüğü	55
Şekil 3.44. Prototip ZİHA’nın mekanik arıza kontrolü için uçuş günlüğü	56
Şekil 3.45. Titreşim arızasına sahip bir İHA uçuş günlüğü	56
Şekil 3.46. Prototip ZİHA’nın titreşim ölçümü için uçuş günlüğü	57
Şekil 3.47. ZİHA pusula hataları	58
Şekil 3.48. GPS hatasına sahip bir İHA’ya ait uçuş günlüğü.....	59
Şekil 3.49. Prototip ZİHA’nın GPS uçuş günlükleri.....	59
Şekil 3.50. Güç sorunu olan bir İHA’ya ait uçuş günlüğü	60
Şekil 3.51. İHA güç sorunları	60
Şekil 3.52. İHA voltaj sorunları 2	61
Şekil 3.53. Denemelerde kullanılacak zirai insansız hava aracı ve özellikleri	63
Şekil 3.54. Örneklemeye direkleri	65
Şekil 3.55. ZİHA’nın uçuşa hazırlanması.....	66
Şekil 3.56. ZİHA’nın örneklemeye direkleri üzerinden uygulama gerçekleştirmesi	67
Şekil 3.57. Brokoli bitkisinin kanopisine yerleştirilecek olan örneklemeye.....	68
Şekil 3.58. Örneklemeye direklerinin bitki kanopisine yerleştirilmesi.....	68
Şekil 3.59. ZİHA ile brokoli bahçesinde uygulamaların gerçekleştirilmesi	69
Şekil 3.60. Uygulama sonrası WSP’lerin toplanması ve sınıflandırılması	69
Şekil 4.1. Yatay ve düşey konumdaki suya duyarlı kartların yüzey kaplama.....	76
Şekil 4.2. Düşey eksenindeki suya duyarlı kartların yüzey kaplama oranları ($Ort \pm SS$)	76
Şekil 4.3. LU tipi memenin farklı yüksekliklerde yüzey kaplama ortalamaları	78
Şekil 4.4. IDK tipi memenin farklı yüksekliklerde yüzey kaplama ortalamaları.....	79
Şekil 4.5. ST tipi memenin farklı yüksekliklerde yüzey kaplama ortalamaları	80
Şekil 4.6. AD tipi memenin farklı yüksekliklerde yüzey kaplama ortalamaları	80
Şekil 4.7. Yatay ve düşey konumdaki kartların yüzey kaplama oranları ($Ort \pm SS$)	83
Şekil 4.8. Düşey konumdaki kartların yüzey kaplama oranları ($Ort \pm SS$).....	84
Şekil 4.9. LU tipi memenin farklı kanopi yüksekliklerinde yüzey kaplama ort	85
Şekil 4.10. ST tipi memenin farklı yüksekliklerinde yüzey kaplama ortalamaları	85
Şekil 4.11. AD tipi memenin farklı yüksekliklerinde yüzey kaplama ortalamaları	86
Şekil 4.12. IDK tipi memenin farklı yüksekliklerinde yüzey kaplama ortalamaları.....	86
Şekil 5.1. Meme tiplerine göre yüzey kaplama oranı karşılaştırması	99
Şekil 5.2. Memelerin püskürtme yüksekliğine göre yüzey kaplama oranı	99

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Uçuş kartı teknik özellikleri.....	24
Tablo 4.2. Fırçasız motor özellikleri teknik özellikleri.....	24
Tablo 4.3. Elektronik Hız Kontrol Ünitesi teknik özellikleri.....	25
Tablo 4.4. Lityum polimer batarya teknik özellikleri	26
Tablo 4.5. Pervane özellikleri	26
Tablo 4.6. Güç dağıtım ünitesi teknik özellikleri.....	27
Tablo 4.7. Güç modülü teknik özellikleri	27
Tablo 4.8. Telemetri modülü teknik özellikleri	28
Tablo 4.9. Uzaktan kumanda teknik özellikleri	29
Tablo 4.10. GPS teknik özellikleri.....	30
Tablo 4.11. Voltaj test cihazı teknik özellikleri	31
Tablo 4.12. Radyo alıcısı teknik özellikleri	31
Tablo 4.13. İlaç deposu özellikleri.....	32
Tablo 4.14. İlaç deposu özellikleri.....	33
Tablo 4.15. Pompa ESC modülü teknik özellikleri.....	34
Tablo 4.16. WSP damlacık çapı belirleme değerleri.....	37
Tablo 4.17 Tarayıcı teknik özellikleri.....	38
Tablo 4.18. Meme tiplerin deneme sırasındaki uygulama parametreleri.....	63
Tablo 4.19. Kullanılacak memelerin ortalama debisi	61
Tablo 4.20. Damla sayısı (adetcm^{-2} , $\text{Ort}\pm\text{SS}$), damla çapı tahminleri (μm , $\text{Ort}\pm\text{SS}$).....	72
Tablo 4.21. Yüzey kaplama oranı varyans analizi sonuçları	73
Tablo 4.22. Meme tipinin yüzey kaplama üzerine etkisi	73
Tablo 4.23. Memeler arası mesafeye göre yüzey kaplama oranı (%) etkisi ($\text{Ort}\pm\text{SS}$).....	74
Tablo 4.24. Püskürtme yüksekliğinin yüzey kaplama oranına (%) etkisi ($\text{Ort}\pm\text{SS}$)	75
Tablo 4.25. Kart konumlarının yüzey kaplama oranı (%) etkisi ($\text{Ort}\pm\text{SS}$)	77
Tablo 4.26. Yüzey kaplama oranı varyans analizi sonuçları	81
Tablo 4.27. Meme tipinin yüzey kaplama üzerine etkisi	81
Tablo 4.28. Memeler arası mesafeye göre yüzey kaplama oranı (%) etkisi ($\text{Ort}\pm\text{SS}$).....	82
Tablo 4.29. Meme tiplerinin bitki kanopisi içerisindeki yüzey kaplama oranı(%) etkisi	82
Tablo 4.30. Meme tiplerinin kart konumlarına göre yüzey kaplama oranı etkisi	84

1. GİRİŞ

Artan Dünya nüfusu ile beraber, insanların ihtiyaç duyduğu gıda talebi de giderek artmaktadır. 2050 yılında dünya nüfusunun 9,6 milyarı geçeceği tahmin edilmektedir. Bugünkü durumuyla gıda arzını 2050 yılında sürdürebilmek için tarım ürünlerinin miktarının %40 artırılması gerekmektedir (Blume et al., 2016).

Dünya’da yeryüzünün %12’si ürün yetiştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu alanın ise ancak %26’sında gıda üretimi yapılmaktadır. Yakın gelecekte Dünya nüfusunun gıda talebini karşılamak için yeni tarım alanlarının üretime açılması gerekmektedir. Fakat erozyon, yeni yerleşim yerlerinin açılması, yeni fabrikaların kurulması, trafiği rahatlatmak amacı ile yeni yolların açılması vb. nedenlerden dolayı tarıma elverişli sahalar giderek azalmaktadır (Fukase and Martin, 2020). Son seksen yıla bakıldığında, tarım arazilerinin genel olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Verilere göre 1990 yılında yaklaşık 42000 ha olan tarım alanları 2020 yılında 37800 ha ’ya gerilemiştir (TCCŞB, 2021). Yeni tarım arazileri üretime açılmadığından dolayı artan nüfusun gıda talebini karşılamak için, tarım alanlarının daha verimli hale getirilmesi ve alan başına düşen ürün veriminin artırılması gerekmektedir. Kaynakların sınırlı oluşu nedeni ile üretimde ihtiyacı karşılamanın yolu verim ve kalite artışına bağlıdır. Bu sebeple, modern tarım teknikleri ve girdilerinin kullanılması artık zorunluluk haline gelmiştir.

Ürünlerden alınan verimi arttırmanın yolları arasında sulama, uygun toprak işleme, gübreleme, ıslah, uygun hasat, üretici birliklerinin oluşturulması, mekanizasyon yanında modern bitki koruma yöntemlerinin uygulanması yer almaktadır. Bitki koruma yöntemleri ile ürün yetiştirmekteki en büyük problemler olan zararlı, hastalık ve yabancı otların kontrolü sağlanır (Çakmak, 2020). Bugün Dünya’da, bitkilerde zarar yapan hastalıklar, zararlılar ve yabancı otların, hasattan önce neden olduğu ürün kaybı %30-35 olup, bunun %14’ü zararlılardan, %11’i hastalıklardan ve %10’u da yabancı otlardan ileri gelmektedir. Hasattan sonra ise; böcekler, kemirgenler, kuşlar ve zararlı mikroorganizmalar, ortalama %14’lük bir ek zarara sebep olmaktadır. Böylece toplam zarar %50’yi bulmaktadır (Birişik vd., 2018). Bitki zararlı etmenlerine karşı mücadele edilmediği zaman ürün kayıpları %50’nin üzerine çıkmakta, bazı durumlarda ise hiç ürün alınamamaktadır (Kadioğlu, 2012).

Birim alandan alınan verimin artırılması için üreticiler konvansiyonel tarıma yönelmişlerdir. Ancak konvansiyonel tarım yöntemleri ile aşırı kimyasal ilaç

kullanımı insan sağlığını tehdit ederek toprağı ve suyu kirletmekte; doğal evre üzerinde yoğun olumsuz etkiler oluşturmaktadır (akmak ve Yavi, 2022). Bilinçsizce yapılan ve tekniğine uygun olmayan pestisit uygulamaları sonucunda, insan, hayvan ve evre sağlığı tehdit edilmekte, hava, su, toprak ve yabani hayat olumsuz etkilenmekte, gıda maddelerinde ilaç kalıntıları söz konusu olmakta, hedef alınan zararlılarda direnç oluşmakta, önemli olmayan bazı zararlılar ana zararlı konumuna geçmekte, yararlıların ve doğal hayatın öldürülmesiyle doğal denge bozulmakta ve bitkilerde fitotoksitite görülmektedir (Yıldırım, 2012). Konvansiyonel tarımın yol açtığı bu olumsuzluklara karşı; tarımsal retimın sürdürülebilirliği ve bu alanda yapılan uygulamaların doğru, ekonomik, evre ve insan sağlığı açısından en az zararlı yapıılıyor olması gerekmektedir (Erduran ve Tekin, 2022). Bu zorunlulukların yanı sıra, birim alana uygulanan ilaç miktarının da gerekli dozu geçmemesi gerekmektedir (Sumner et al., 2000). Ayrıca Pamuk beyazsineği, pamuk yaprak biti ve kırmızı örümcek gibi zararlılar yaprak altlarında beslendiklerinden kullanılan ilacın bitkiye penetrasyonunu sağlayabilecek ve yaprak altlarına yeterince ulaştırılabilecek etkinlikte ilaçlama ekipmanlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

řu an ki yapılan tarımsal retimın artan nüfusun gıda talebini karşılamada yetersiz oluşu, tarımsal üretim kaynaklı evre kirliliğinin artması, tarımsal sürdürülebilirliği sağlama zorunluluğu ve gıda güvenilirliği gibi vb. nedenler tarımsal üretimde yeni yaklaşımlar zorunlu hale getirmiştir (Ercan et al., 2019). Bu zorunluluk ve teknolojinin de gelişmesiyle birlikte akıllı tarım teknolojileri Türkiye tarımında kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan bu akıllı tarım teknolojilerinden biriside Zirai insansız hava araçlarıyla (ZİHA) tarım arazilerinde bitki koruma uygulamalarının gerçekleştirilmesidir.

Tarımsal alanlarda kullanılmaya başlanan insansız hava aracı sistemleri ile sürdürülebilir bir zararlı kontrolü yapılacağı düşünülmektedir. Bu nedenle ZİHA'ların optimum çalışma koşullarının belirlenmesi ve uygulanabilirliğinin ortaya çıkarılması bu akıllı teknolojilerin daha verimli kullanılması açısından önemli hale gelmiştir.

Teknolojinin gelişmesiyle beraber; teknolojinin tarıma entegrasyonu da geçtiğimiz on yıl içerisinde hız kazanmıştır. Bu entegrasyonun en önemli örneklerinden birisi de insansız hava araçlarıdır. Uzaktan algılama, bitki sağlığı takibi, yabancı otların tespiti, ilaçlama, mera ve sürü kontrolü gibi uygulamalarda, bitkisel ve hayvansal üretimde insansız hava araçlarından faydalanılmaya başlanmıştır (Aydoğan ve Topakı, 2022). Tarımsal İHA üretiminin artması ve tarımsal İHA'ların potansiyel

faydalarının fark edilmesi ile tarımda önemli bir teknoloji haline gelmiştir. Bununla beraber Zirai İnsansız Hava Aracı olarak literatürlere giren, insansız hava araçlarına entegre edilen depo ve sistemlerle tarımsal alanların ilaçlanmasını sağlayan araçlar da günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır.

Günümüzde bitkisel üretimin üçte birinde pestisit kullanıldığı göz önüne alındığında, yakın gelecekte pestisitlerden vazgeçmenin mümkün olmadığı görülmektedir. Pestisitlerin oluşturduğu kirliliğe karşı oluşan baskıdan dolayı biyopestisit gibi alternatif yollar aranmaktadır. Fakat uygulamada teknik engeller ve zorluklar nedeni ile etkin bir rol alınamamaktadır. Üretimde pestisit kullanımından vazgeçilmesi durumunda %60 oranında ürün ve verim kaybı meydana geldiği belirtilmiştir (Ayyıldız, 2022). Bu nedenle pestisitlerin hedef bitkiye, doğru miktarda gitmesi, kullanılması zorunlu bu pestisitlerin çevreye olan zararını azaltacaktır.

ZİHA'lar da pervanenin oluşturduğu aşağı yönlü hava akımının, kullanılan memelerin oluşturduğu ince yapılı (50-100 µm) damların rüzgâr ile savrulmasını azaltacağı düşünülmektedir. Traktöre monte edilen tarla pülverizatörü ile yapılan denemelerde, pülverizatördeki bum kolunda bulunan ilaçlama memelerinin üstüne monte edilen yardımcı hava akımlı sistem ile yapılan ilaçlamanın sürüklenmeyi azalttığı ortaya konmuştur (Bayat and Bozdogan, 2005). Soya fasulyesi üzerinde yapılan bir başka çalışmada, yardımcı hava akımı kullanılan bir el pülverizatörünün hava akımsız olana göre ilaç taşınımını 1.5 kat daha azalttığı belirlenmiştir (Gupta and Duc, 1996).

ZİHA'lar da tercih edilen bir yöntem olan düşük hacimli ilaç uygulamaları sürdürülebilirlik açısından önemli bir faktördür. Çimde (*Agrostis stolonifera* L.) yürütülen bir çalışmada düşük hacimli uygulama ile geleneksel ilaçlama karşılaştırılmıştır. Uygulamalar sonucunda çim veriminde istatistiksel açıdan bir fark olmadığı ortaya konulmuştur. Bu çalışmada %30 daha az ilaç ve su karışımıyla düşük hacimli uygulamalarının etkili bir ilaçlama yöntemi olabileceği belirlenmiştir. (Ferguson et al., 2016).

ZİHA'lar; traktörle veya elle ilaçlamaya göre birçok avantaja sahiptir. ZİHA'ların düşük enerji ihtiyaçları, engebeli ve meyilli arazileri ilaçlama kabiliyeti, toprak sıkışıklığını önlemesi, tarla trafiğini azaltması, ilaç ile operatörün temasını ortadan kaldırması, su tasarrufu, yüksek yüzey kaplama oranı gibi özellikleri ile öne çıkarak tarımda sürdürülebilirlik sağlaması amaçlanmaktadır (Alkan ve Ertuğrul, 2022).

ZİHA'lar yeni bir teknoloji olduğu için alım maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca ZİHA'ların tasarım parametreleri (*memeler arası mesafe, meme adeti, pompa basıncı*), püskürtme performansları (*hacimsel dağılım düzgünlüğü, damla dağılım düzgünlüğü(%CV), damla penetrasyonu (%CV), yüzey kaplama oranı (%)*), damla birikimi ($mlcm^{-2}$), damla yoğunluğu ($adetc m^{-2}$), damla çapı (μm), ilaçlama parametreleri (*uygulama hacmi (lha^{-1}), ilerleme hızı (ms^{-1}), ilaçlama yüksekliği (m)* ve pervanenin ürettiği aşağı yönlü hava akımının püskürtme üzerindeki etkisi henüz başlangıç aşamasındadır. Ayrıca yapılan çalışmalarda, ZİHA ilaçlamalarının bitki kök ve gövdesi üzerindeki dağılımları inceleyen çalışmalarda oldukça azdır (Lee et al., 2023).

Bu nedenle yapılan bu çalışmanın amacı; düşük maliyetli bir ZİHA'nın tasarımı ve imalatını gerçekleştirmek. ZİHA'ların tasarımında göz önünde bulundurulması gereken tasarım parametrelerini belirlenmek. ZİHA ile kullanılacak farklı tipteki yelpaze huzmeli memelerin, farklı yüksekliklerdeki damla karakteristiklerini, ilacın hedef bitki kanopisi içindeki dağılımını ve püskürtme uygulamalarının bitki kök ve gövdesi üzerindeki etkisini ortaya çıkarmak amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETLER

Tek rotorlu bir İHA ile; spreyl birikimi, yüzey kaplama oranı ve ilaç sürüklenmesini belirlemek için, yabancı otlar (*Herba Geranii*) üzerinde, düşük hacimli yelpaze huzmeli bir ilaçlama memesi ile (TeeJet 110055) arazi denemeleri yapılmıştır. Denemeler iki farklı yükseklik (2, 3 m), iki farklı ilerleme hızı (2, 3 ms⁻¹) ve sabit uygulama hacmi ile 4 farklı kombinasyonda (T1 = (2m-2ms⁻¹)- T2 = (2m-3ms⁻¹)- T3 = (3m-2ms⁻¹)- T4 = (3m-3ms⁻¹)) gerçekleştirilmiştir. Örnekleme materyali olarak suya duyarlı kartlar (WSP) kullanılmıştır. WSP'ler yabancı otların ortalama yüksekliğine (1 m), örnekleme direkleri ile yerleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek spreyl biriktirme oranı ortalama (2.29 µlcm⁻²) ile T1'de gerçekleşmiştir. Daha sonra T2, T3, T4 sıra ile ortalama 0.82 µlcm⁻², 2.01 µlcm⁻² ve 0.42 µlcm⁻² olarak bulunmuştur. Hedef dışı sürüklenme en çok % 8.47 ile T4'te görülürken en az % 2.47 ile T1'de görülmüştür. İlerleme hızı ve uçuş yüksekliğinin artması ile spreyl birikiminin önemli düzeyde (p=0.05) azaldığı görülmüştür. Yaprak yüzey kaplama oranları ise T1, T2, T3 ve T4 sırasıyla %18.77, %10.37, %19.91 ve %6.03 olarak bulunmuştur. Uçuş yüksekliği ve ilerleme hızının önemli bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır. Pervanenin oluşturduğu aşağı yönlü hava akımının, yüksek hızlarda sürüklenmeye negatif etki ettiği gözlemlenmiştir. Püskürtme etkinliğinin tehlikeye girmemesi için, uçuş hızının 3 ms⁻¹ daha yüksek olmaması gerektiği sonucuna varılmıştır (Fiaz et al., 2023).

Çeltik bahçesinde yapılan bir çalışmada, Zirai İnsansız Hava Aracı (ZİHA) ve sırt pülverizatörü, spreyl dağılım düzgünlüğü ve ilaç sürüklenme oranlarını belirlemek üzere karşılaştırılmıştır. Denemeler ortalama 1.2 kms⁻¹ rüzgâr hızında, 27.5⁰ sıcaklıkta ve %84 bağıl nemde gerçekleştirilmiştir. Denemelerde ZİHA ile 1.5, 2 ve 2.5 metre yükseklikten püskürtme uygulaması gerçekleştirirken, sırt pülverizatörü ile yaklaşık 0.15 metreden uygulama yapılmıştır. İHA deposunda sıvı olarak florescent maddesi ile su karışımı konularak, örnekleme direkleri üzerine yerleştirilen pamuk bezler üzerine püskürtme gerçekleştirilmiştir. Verilerin doğruluğu ve tutarlılığını test etmek için %CV değeri kullanılmıştır. Analizler sonucunda sırt pülverizatörünün %CV oranı ZİHA'ya göre yüksek bulunarak daha yüksek performans göstermiştir. Fakat ZİHA'nın da damla birikimi (adetcm⁻²) sırt pülverizatöründen daha yüksek bulunmuştur. ZİHA ile 2 metre yüksekten yapılan uygulama ile sırt pülverizatörü uygulaması arasında CV oranları benzerlik göstermiştir (0.43, 0.46). Her iki

püskürtme yöntemi de püskürtme kaynağından 25 m uzağa kadar bir sürüklenmeye neden olmuştur. İHA ile yapılan 1.5 ile 2 metre yüksekliğindeki uygulamanın tek düzeliği ve sürüklenme yönünden en iyi parametreler olduğu ortaya çıkarılmıştır (Mat et al., 2018).

Bir araştırmada 6 rotorlu (oktocopter) bir ZİHA'ya, ilaçlama sistemi monte edilerek zeytin bahçesinde uygulama kalitesini belirlemek üzere denemeler gerçekleştirilmiştir. ZİHA'da 2.5 bar basınca sahip bir pompa ve düşük hacimli ilaçlama yapan 4 adet ilaçlama memesi (Hardi ISO F-110) kullanılmıştır. Her bir ilaçlama memesinin debisi ortalama 0.22 lmin^{-1} olarak bulunmuştur. Denemeler düşük hacimde (25 lha^{-1}) gerçekleştirilmiştir. Yapılan denemeler, ortalama 2.5 metre yüksekliğe sahip, sıra arası 4 metre ve sıra üzeri 1.5 metre olan zeytin ağaçlarından, 50 metre uzunluktaki 4 adet sıra seçilerek gerçekleştirilmiştir. Denemelerde, ZİHA ile zeytin ağaçlarının 1 metre üstünden, 3 ms^{-1} ilerleme hızında püskürtme gerçekleştirilmiştir. Deneme sırasında ortalama rüzgâr 1.2 ms^{-1} olarak ölçülmüştür. Örnekleme materyali olan suya duyarlı kartlar(WSP) zeytin ağaçlarının üstün ve orta bölgelerine yerleştirilmiştir. Ayrıca ilaç sürüklenmesini analiz etmek için, ilaçlama yapılmayan sıralardaki ağaçlara da suya duyarlı kartlar yerleştirilmiştir. Toplam 150 adet WSP denemeler sonucunda analiz edilmiştir. Analizler sonucunda; ağaçların üst kısmında ortalama 25 damlacm^{-2} , orta kısmında ise 13 damlacm^{-2} elde edilmiştir. Ayrıca ağaçların her iki bölgesinde oldukça üniform bir damla çapı elde edilmiştir (üst kısımda $144 \mu\text{m}$ ve orta kısımda $120 \mu\text{m}$). Bu dağılımlar dağınık olsa bile, zeytin sineği zararlısı ile mücadelede ilaç üreticilerinin zararlıyı yok etmek için önerdiği dağılıma yakındır. Denemeler sonucunda ilaç sürüklenmesinin ihmal edilebilecek kadar az olduğu ortaya çıkarılmıştır. İHA sistemi ile yapılan hava uygulamasından elde edilen sonuçlar, bu tip uygulama ekipmanının, belirli konumlarda değişken püskürtme görevlerini tekdüze bir şekilde ve kapsamda, popülasyon ve damlacık çapı açısından kabul edilebilir bir kalitede gerçekleştirebileceğini ortaya çıkarmıştır (Martinez et al., 2020).

3 farklı rotor tipine sahip (tek rotorlu, 6 rotorlu ve 8 rotorlu) zirai insansız hava aracının(ZİHA) ilaçlama ve ilaç sürüklenme özelliklerini araştırmak amacıyla, yapay bir üzüm bağı platformu oluşturularak üzerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Yapay deneme alanında 9 sıra paslanmaz çelikten dikey platformlar, 2.5 m sıra arası ile yerleştirilmiştir. Her bir sıra uç uca bağlı, arası 2 metre genişlikte, sekiz paslanmaz çelikten profilden ($0.5 \times 2.0 \text{ m}$) oluşturularak üzerleri 4 mm gözenek çaplı ağ ile

kaplanmıştır. Uygulama sırasında örnekleme yöntemi; biriken spreyi ölçmek için ilaç toplayıcı petrilere oluşan bir şerit, havadan ilaç sürüklenmesini belirlemek için dikey örnekleme platformları ve driftin yönünü belirlemek için döner platformlar kullanılmıştır. Denemelerde ilaçlama memesi olarak, içi boş konik huzmeli meme (TR 80-0067) ve hava emişli meme (IDK 120-015) kullanılmıştır. Denemeler 2 ms^{-1} hızda, 2 metre iş genişliğinde, 3.5 metre yükseklikte ve sabit 3 bar basınçta gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda hava emişli meme; yüksek yüzey kaplama oranı, ilaç tekdüzeliği ve az sürüklenme ile içi boş konik huzmeli memeden daha iyi performans göstermiştir. Konik huzmeli meme ile gerçekleşen denemelerde damlacıkların %49,3-%73,4'ü hedeflenmeyen alana sürüklenmiştir. Aynı tip memeler ile gerçekleşen denemelerde İHA performansları sırası ile 6 rotorlu, 8 rotorlu ve tek rotorlu olarak gerçekleşmiştir. Performansı etkileyen iki ana neden pervanelerin oluşturduğu türbülanslı hava ve memelerin konumu olarak belirlenmiştir (Changling et al., 2022).

Üzüm bağında yapılan bir çalışmada, ZİHA ve bahçe pülverizatörünün ilaçlama performansı karşılaştırılmıştır. Denemeler; 3 farklı uçuş yöntemi (sıra paralel tek gidiş, sıraya dik tek gidiş, sıraya dik gidiş-dönüş), 2 farklı ilerleme hızı ($1 - 3 \text{ ms}^{-1}$) ve 6 farklı yelpaze huzmeli meme (SF 110 03 VP, AFC 110 03 VK, AFC 110 015 VK, SF 110 015 VP, HCI 60 03 VK, HCA 60 03 VK) ile gerçekleştirilmiştir. Denemelerde pompa basıncı sabit 3 bar olarak ayarlanmıştır. Bahçe pülverizatöründe ise içi boş konik huzmeli meme (ATR 80 VK) ile 5 bar basınçta ve 1.78 ms^{-1} hızda denemeler yapılmıştır. Denemelerde örnekleme materyali olarak suya duyarlı kart (WSP) ve petri kapları kullanılmıştır. İlacın bitki kanopisindeki dağılımı incelemek için WSP bitki kanopisine 3 farklı şekilde yerleştirilmiştir (alt, orta, üst). Petri kapları ise zemin kayıplarını ölçmek için tarla zeminine yerleştirilmiştir. Örnekler incelendiğinde ilacın bitki kanopisinin içine nüfus etme yönüyle ZİHA'lar bahçe pülverizatörüne göre daha yüksek bir performans ortaya çıkarmıştır. Ağaç zeminlerinde biriken ilaç miktarının ise ZİHA ile püskürtmede daha fazla olduğu tespit edilmiştir. ZİHA'lar da kullanılan meme tipinin ilaçlama performansını etkilediği tespit edilmiştir. Denemelerde kullanılan sürüklenme önleyici memeler her ne kadar ilaç sürüklenmesini önlese de, standart yelpaze huzmeli memelere göre düşük bitki kanopisi birikimi ve yüksek zemin kayıpları tespit edilmiştir. Özellikle standart memeler kullanıldığında, 3 ms^{-1} 'lik ilerleme hızı 1 ms^{-1} 'ye göre daha yüksek bitki kanopisi birikimi ve düşük ilaç kayıplarını ortaya çıkarmıştır. Standart yelpaze huzmeli meme ve 3 m.s^{-1} 'lik hızda,

sıraya paralel tek gidişlik uçuşun en ideal ilaçlama şekli olduğu ortaya çıkarılmıştır (Biglia et al., 2023).

Armut bahçesinde ZİHA ile yapılan denemelerde, ZİHA'dan püskürtülen ilacın yüzey kaplama oranı (%) ve damla yoğunluğu (adetcm^{-2}) belirlenmeye çalışılmıştır. Denemelerde ZİHA üç farklı uygulama hacminde ($60, 75$ ve 90 lha^{-1}), üç farklı ilerleme hızında ($1.5, 2.0$ ve 2.5 ms^{-1}), üç farklı uçuş yüksekliğinde ($4.5, 5.5$ ve 6.0 m), iki farklı yelpaze huzmeli püskürtme memesi (SX11001VS/SX110015VS) ve iki farklı uçuş yönünde (sıra üzeri ve sıraya paralel) uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Deneme örnekleme, uçuş yönündeki üç adet ağacın üstüne, ortasına ve zeminine yerleştirilen suya duyarlı kartlar (WSP) ile yapılmıştır. Analizler sonucunda yüzey kaplama oranı ve damla yoğunluğu üzerine en etkili parametreler ilerleme hızı ve uygulama yönü olarak belirlenmiştir ($p < 0.05$). Daha sonra sırası ile uçuş yüksekliği ve uygulama hacmi gelmektedir. En yüksek damla yoğunluğu 90 lha^{-1} uygulama hacmi, 1.5 ms^{-1} ilerleme hızı, 4.5 metre yükseklik ve sıra üzeri uçuş yönünde olduğu belirlenmiştir. Denemeler sonucunda ZİHA'lar ile armut ilaçlamalarının en az 75 lha^{-1} uygulama hacminde, en fazla 2 ms^{-1} hızda ve en fazla 5 metre yükseklikten ilaçlanması gerektiği ortaya konulmuştur (Qi et al., 2023).

Pamuk bahçesinde ZİHA ve tarla pülverizatörünün püskürtme etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Denemelerde iki ilaçlama makinesinin, pamuk zararlısı olan yaprak biti ve kırmızı örümcek üzerindeki etkileri ve buna ek olarak, örnekleme materyalleri kullanılarak yüzey kaplama oranları ve ilaç sürüklenmeleri karşılaştırılmıştır. Denemeler sonucunda püskürtme yüksekliğinin, yüzey kaplama ($P=0.022$) ve ilaç sürüklenmesi ($P=0.0013$) üzerine önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. 2 metre püskürtme yüksekliğinde %CV'nin düşük olduğu ve homojenliğinin kabul edilebilir oranlar içinde olduğu belirtilmiştir. 1.5 metre yükseklikten yapılan püskürtmede, örnekleme kağıtlarının bulunduğu konuma göre (üst, orta, alt) yüzey kaplama oranları %2.5, %3.2 ve %1.9 olarak bulunmuştur. Bu oranların 2 metre yükseklikten yapılan püskürtmeye göre düşük olmasının sebebinin düşük yükseklikten dolayı İHA pervanelerin oluşturduğu aşağı yönlü akımın yaprak yüzeylerindeki ilacın tutunmasını zorlaştırdığı olarak açıklanmıştır. İlaç sürüklenmesinin ise 1.5 metre yükseklikte ortalama % 7.9 olduğu ve yükseklik 2 metreye çıkarılınca sürüklenme oranının %20 olduğu gözlemlenmiştir. Pamuk yaprak bitinde; tarla pülverizatörü %90 zararlıyı yok etme etkinliği gösterirken ZİHA'nın etkinliği %68, örümcek zararlısında; pülverizatör

%64 etkinlik gösterirken ZİHA'nın etkinliği %61 olarak bulunmuştur (Lou et al., 2018).

Dört rotorlu bir ZİHA, pervanenin oluşturduğu hava akımının püskürtme dağılımı üzerindeki etkisini incelemek için, farklı motor devirlerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Denemelerde ZİHA pervanesinin bir modeli hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle simüle edilmiş ve laboratuvar koşullarındaki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Denemelerde kullanılan pompanın basıncı 0-10 bar arasında ayarlanabilmekte ve kullanılan memenin (ST 100 - 02) debisi 0 - 2 lmin⁻¹ arasında değişmektedir. Pervane rotor devri 4 farklı devirde seçilerek denemeler gerçekleştirilmiştir (1000 - 1500 - 2000 - 2500 RPM). Analizler sonucunda, simülasyonda motor devrinin artması ile pervanenin altında oluşan akımın hızı ve türbülansının arttığı gözlemlenmiştir. Ancak zamanın artması ile, yani ZİHA'nın ilaçlama hızının azalması ile aşağı yönlü akım ve türbülansın azaldığı gözlemlenmiştir. Aşağı yönlü rüzgârın en yoğun olduğu bölge pervanenin 1 metre altındaki alan olarak belirlenmiştir. Laboratuvarda yapılan testler sonucunda rotor hızının artması toplam ilaçlama alanını ve meme açısını azalttığı tespit edilmiştir. Ek olarak rotor altında ilaç damlacıklarının en yüksek hızı 19 ms⁻¹ olarak ölçülmüştür (Chang et al., 2023).

Mısır bitkisi üzerinde yapılan bir çalışmada, ZİHA farklı bitki boylarında, farklı hız ve yüksekliklerde uçurularak en etkin püskürtme şeklinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Denemelerde 1.20 - 1.53 - 2.08 metre boylarındaki mısırlar, sıra üzerinde 40 metre uzunluğundaki alana tek şerit halinde yerleştirilmiştir. Yerleştirilen mısırlar üzerinden, 1.0 - 1.5 - 2 ms⁻¹ hızlarda ve 2 - 4 - 6 metre yükseklikten püskürtme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Örneklerin toplanması için seçilen mısır bitkilerinin alt, orta ve üst kısımlarına örnekleme direkleri ile suya duyarlı kartlar (WSP) yerleştirilmiştir. Uygulamalar 3 bar basınçta ortalama 100 µm çaplı damlalar üreten standart yelpaze huzmeli bir ilaçlama memesi ile yapılmıştır. Ayrıca ilaç sürüklenmesini ölçmek için, mısırların yerleştirildiği sıraların 0.75 cm sağ ve sol taraflarına 5 metre ara ile petri kapları yerleştirilmiştir. Çıkan sonuçların matematiksel modellemesi yapılarak denemelerde incelenmeyen parametreler için en iyi yüzey kaplama kombinasyonu ortaya çıkarılmıştır. Sonuçların istatistiksel karşılaştırmasında, ilerleme hızı ve mısır boyu düştüğünde, ilaç yüzey kaplama oranının düştüğü ortaya çıkarılmıştır. Sonuçların matematiksel modelleme tahminlerine göre 1.20 m bitki boyunda en iyi yüzey kaplama parametreleri; 4 ms⁻¹ ilerleme hızı ve 1 metre püskürtme yüksekliği, 1.53 m bitki boyunda; 2 - 4 ms⁻¹

ilerleme hızlarında ve 2 metre püskürtme yüksekliği, 2.08 bitki boyunda 2 - 3 ms⁻¹ ilerleme hızlarında ve 1.8 - 2.0 metre püskürtme yükseklikleri olarak belirlenmiştir (Zheng et al., 2017).

Pamukta döner diskli ilaçlama memesine sahip bir ZİHA ile iki ayrı deneme gerçekleştirilmiştir. İlk denemede ortalama 70 cm uzunluğa sahip pamuk bahçesine farklı uygulama hacimlerinde (8.7, 12 ve 15 lha⁻¹), farklı püskürtme yüksekliklerinde (1, 2 ve 3 m) ve farklı damla çaplarında (döner diskli memelerin devirlerinin ayarlanması ile belirlenen damla çapları) (DV₀₅: 100, 150 ve 200 µm) uygulamalar gerçekleştirilmiştir. İkinci denemede ise ortalama 73 cm boyundaki pamuklara diğer parametreler aynı almak şartı ile farklı uygulama hacminde (18, 22,5 ve 30 lha⁻¹) uygulamalar yapılmıştır. Örnekleme kâğıtları olarak kullanılan suya duyarlı kartlar (WSP), örnekleme direkleri ile tabandan 30 cm ve 70 cm olmak üzere iki farklı yükseklikte tarlaya yerleştirilmişlerdir. Sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırıldığında, ilk denemede damlacık boyutu ve uygulama hacminin, yapraklardaki damla birikimini önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Damla çapları 200 µm olduğunda, her numunedeki ortalama damlacık birikimi 0,02 µlcm⁻² iken 100 µm'de 0,01 µlcm⁻² olarak tespit edilmiştir. Püskürtme yüksekliği ve damla boyutunun, damla birikimi üzerinde önemli derece değiştirdiği belirlenmiştir (P = 0.015). İkinci deneme sonuçlarına göre ise 200 µm çap ile yapılan uygulamadaki damla birikim miktarı, diğer iki damla çapına göre daha yüksek bulunmuştur. İki ayrı deneme sonuçlarına göre ise, damla boyutlarının birikim üzerine etki ettiği ve damla boyutu arttıkça damlanın kanopi içine nüfuz etme oranı da artmıştır. Yaprak yüzey kaplama oranları karşılaştırıldığında, üç metreden gerçekleştirilen uygulamanın 150 µm damla çapında en yüksek oranı verdiği tespit edilmiştir. Uygulama hacmi ve damla çapının artmasıyla yüzey kaplama oranının da arttığı gözlemlenmiştir. İlk denemede yaprak yüzey kaplama oranı %0.15- %0.65 arasında değişirken, bu oran ikinci denemede %0.50- %4.03 aralığında bulunmuştur. Damlacık yoğunlukları yönünden yapılan karşılaştırmada; püskürtme yüksekliği, uygulama hacmi ve damlacık boyutu arasında önemli farklar bulunmuştur. Püskürtme yüksekliği 1 metre olduğunda, her muamelenin ortalama damlacık birikimi 7,94 µlcm⁻² iken, 2 metrede 5,16 µlcm⁻² ve 3 metrede µlcm⁻² olmuştur. Damla çapı 100 µm olduğunda ortalama damla birikimi 8,84 µlcm⁻², 200 µm damla çapında 3,51 µlcm⁻² ve 150 µm damla çapında 5,83 µlcm⁻² olarak bulunmuştur (Chen et al., 2021).

ZİHA'lar da yaygın olarak kullanılan üç grup hidrolik yelpaze huzmeli meme (LU110-01, LU110-015, LU110-020) ile çeltik bitkisinin kardeşlenme ve çiçeklenme aşamasındaki, damlacık birikmesi incelenmiştir. Ayrıca suya eklenen ilaç kıvam vericilerin etkisi de araştırılmıştır. Denemelerde dört rotorlu bir ZİHA ile 15 lha⁻¹ uygulama hacminde, bitki kanopisinden 1.5 metre yükseklikte, belirtilen üç farklı meme ile püskürtme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Örnekleme materyali olarak; bitkinin kanopisi içine örnekleme direkleri ile bitki kökünden 30 cm ve 70 cm yüksekliğe yerleştirilen suya duyarlı kartlar (WSP) kullanılmıştır. Zararlı kontrolü için yapılan denemelerde, bitki boyları kardeşlenme ve çiçeklenme dönemlerinde sırasıyla ortalama 60 ve 90 cm olarak ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde, kullanılan üç nozul için (LU110-01, LU110-015, LU110-020) DV₅₀ damla çapı dağılımı sırası ile 132.8, 146.6 ve 167.0 µm olarak bulunmuştur. Kanopi içerisindeki dağılımlarda üç meme arasında önemli bir fark bulunamamıştır (p> 0.079). Biriktirme miktarları kardeşlenme aşamasında LU110-01'den LU110-02'ye yükselirken, çiçeklenme aşamasında fark bulunamamıştır. Kıvam artırıcı eklenerek yapılan LU110-015'deki damla birikimi 0.32 µlcm⁻² ile bitkinin üst tarafındaki en yüksek miktara sahipken, 0.08 µlcm⁻² 'lik kaplama miktarı ile bitkinin alt kanopisindeki en küçük miktara sahip meme olduğu belirlenmiştir. Kıvam ilaveli uygulamalar ile üst katmandaki birikim önemli ölçüde artarken, alt kısımların biriktirme oranları arasında önemli farklar bulunamamıştır. Yapılan istatistiksel analizlere göre, kullanılan üç memenin damla yoğunlukları arasında çok önemli farklar olduğu tespit edilmiştir (p<0.001). Çiçeklenme döneminde bitkinin alt ve üst katmanında en yüksek damlacık yoğunluğu LU110-01'de tespit edilmiştir. Memelerden çıkan damlaların çapı küçüldükçe damla yoğunluğunda artış gözlenmiştir. Yüzey kaplama oranları incelendiğinde, çiçeklenme döneminde çeltiğin üst katmanı alt katmanına göre önemli ölçüde yüksek yüzey kaplama oranına sahip olduğu bulunmuştur. LU100-02 tipi meme üst katmanda %4.94 ve alt katmanda %1.96 ile en yüksek kaplamaya sahip meme tipi olmuştur. Kıvam artırıcının eklenmesi ile bu oran LU100-01 tipi memede %6.11' yükselmiştir. Tüm sonuçlar karşılaştırıldığında ilaç sürüklenmesi göz ardı edilerek çeltik uygulamalarında LU100-01 tipi memenin kullanılması önerilmiştir (Chen et al., 2020)

Bir portakal bahçesinde budama ile oluşan ağaç kanopi şeklinin, ZİHA ilaçlama yüksekliğinin ve ZİHA ilerleme hızının; ilacın bitki içerisindeki dağılımına olan etkisini belirlemek için saha denemeleri gerçekleştirilmiştir. Denemelerde ortalama 2.5 metre boyunda ve ortalama 2.4 metre çapındaki portakal ağaçları, üçgen ve ters

üçgen şeklinde kanopiye sahip olacak şekilde budanmıştır. Budanan ağaçlar üzerinden 3 farklı yükseklik (0.7, 1.4, 2.1 m) ve hızda (1, 2, 3 ms⁻¹) ZİHA ile püskürtmeler gerçekleştirilmiştir. Denemelerde örnekleme materyali olan suya duyarlı kartlar (WSP) ağaç kanopisinin alt, orta ve üst kısımlarına tutturulmuştur. Denemeler sonucunda görüntü işlemesi tamamlanan kâğıtlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, en yüksek damlacık yoğunluğu 35.35 damlacm⁻² ile T9 (ters üçgen kanopi - 1.4 m - 1.0 ms⁻¹)’da, en düşük değer ise 15.78 damlacm⁻² ile T2 (üçgen kanopi - 0.7 m - 3ms⁻¹)’de bulunmuştur. Sonuçlar damla yoğunluğu ile uçuş hızı arasında ters bir ilişki olduğunu ortaya çıkarmıştır. İlerleme hızı, püskürtme yüksekliği ve bitki kanopi faktörlerinin damlacık yoğunluğunu etki yüzdeleri sırası ile %74.0, %16.2, ve %8.8 olarak tespit edilmiştir. Ters üçgen şeklinde budanan ağaçların üçgen şeklindeki budamaya göre daha yüksek ilaç yoğunluğu olduğu tespit edilmiştir (Hou et al., 2019).

İki farklı elma bahçesinde yapılan bir çalışmada ZİHA’nın farklı uygulama hacmi ve farklı uçuş şekillerinde denemeler gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Denemelerde ZİHA ile sabit 1.5 ms⁻¹ hızda, sıra arası, sıra üzeri ve sıraya dik şekilde belirlenen üç rotada püskürtme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. ZİHA’nın uygulama hacmi; sıra üzeri 4 metre ve ağaç boyu ortalama 3 metre olan birinci bahçede 63.5, 85.7 ve 100.0 lha⁻¹’dır. Sıra üzeri diğerine göre daha kısa olan (1.5 m) ikinci bahçede ise, uygulama hacimleri 45.0, 65.0 ve 75.0 lha⁻¹ olarak belirlenmiştir. Uçuş yüksekliği ilk bahçede 3.5 metre iken ikinci bahçede 2.5 metredir. Uygulamalarda suya duyarlı kartlar (WSP), seçilen 3 tane ağacın üst, orta ve alt bölgelerine yerleştirilerek her tekrar sonrası toplanarak sınıflandırılmıştır. İlk deneme bahçesinden toplanan örnekler üzerine yapılan istatistiksel analizler sonucunda damlacık boyutlarının (µm) basınçla ters orantılı olduğu ortaya çıkarılmıştır. En yüksek DV50 (137,9 µm) değeri 1.2 bar basınçta bulunurken, en düşük değer (98,5 µm) 4,0 bar’da elde edilmiş. Test edilen tüm basınçlardan damlacık boyutu 200 µm’den küçük bulunmuştur (%77,2–91,9). 75 µm ve 100 µm boyundaki damlalardan küçük olanların oranı ise sırası ile %13,2 ila %30,1 ve %27,0 ila %51,2 aralığında bulunmuştur. Bu nedenle, denemelerde kullanılan yelpaze huzmeli SX11001VS (Teejet) memelerinin püskürtme kalitesi, ASABE S572.3’e göre 'iyi' (F) ve 'çok iyi' (VF) olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Farklı rotalarda gerçekleştirilen uçuş rotalarında ise bitkinin üst kısmından alınan örneklerin yüzey kaplama ve biriktirme oranları arasında çok önemli farklılıklar tespit edilmiştir (p<0.001). Fakat bitkinin

ortasında ve altındaki karşılaştırmalar önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). İkinci deneme bahçesinden alınan örneklerin istatistiksel karşılaştırmalarında ise, uygulama hacminin, ağacın üst, orta ve alt kısımlarındaki yüzey kaplama oranlarına etkisi önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Uygulama hacmi 40 lha^{-1} dan 75 lha^{-1} 'ya çıkarıldığında tüm yüzey kaplama oranları ortalama %1,9'dan %5'e çıkmıştır. Damla yoğunluğu ise ortalama $18,3 \text{ damlacm}^{-2}$ 'den $42,1 \text{ damlacm}^{-2}$ 'ye yükselmiştir. Uçuş şeklinin yüzey kaplama ve damla yoğunluğu üzerine olan karşılaştırmalarında ise sadece ağacın alt tarafındaki örneklemeler arasında önemli farklılıklar bulunmuştur ($p<0.05$). Uygulama hacminin her iki denemede de yüzey kaplama ve damla yoğunluğu üzerine önemli oranda etki ettiği tespit edilmiştir. Daha fazla damlanın bitki kanopisi içerisine girebilmesi için, uygulama hacminin yeterli ayarlanması önemli olduğunu vurgulanmıştır (Changling et al., 2022).

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen çalışmada bir ZİHA farklı rotor dönüş hızlarında (0, 1000, 2000 ve 3000 RPM) ve ilaçlama nozullarının pervanesinin altında farklı uzaklıklara yerleştirilmesi (20, 30, 40 ve 50 cm) ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Denemelerde pervanesinin ürettiği aşağı yönlü hava akımının memelerin püskürtme karakteristikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmış ve TR-80-005c konik huzmeli meme kullanılmıştır. Bu memenin ortalama damla çapı (DV_{50}) $100 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiş ve debisi 1.25 lmin^{-1} olarak ölçülmüştür. Denemeler 2 bar basınçta gerçekleştirilmiştir. Deneme sonuçlarına göre, meme tarafından üretilen damlaların ilk püskürtme hızı 5 ms^{-1} iken, bu hız pervanesinin ürettiği aşağı yönlü hava akımı ile 12 ms^{-1} 'ye kadar çıkmıştır. Püskürtme memesi, aşağı yönlü hava akımının etkili bölgesinde iken memenin püskürtme açısının 5 derece küçüldüğü gözlemlenmiştir. Aşağı yönlü akımın damla biriktirme oranını (μlc^{-2}) %150 artırabileceği ve damlacık birikimini daha homojen hale getirebileceği belirlenmiştir. Meme ile pervane arasındaki mesafe arttıkça, memenin ıslatma yönünün meme konumundan aşağı yönlü akış tarafına doğru saptığı gözlemlenmiştir (Qing et al., 2017)

Pamuk bahçesinde 4 rotorlu (quadcopter) bir ZİHA ile püskürtme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Denemelerde bitki yüksekliği ve uygulama hacminin, pamuğun alt ve üst kanopisinde damla birikimi (μlc^{-2}) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Denemelerde ZİHA'nın püskürtme hacmi $18,0 \text{ lha}^{-1}$, $22,5 \text{ lha}^{-1}$ ve $30,0 \text{ lha}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Test alanlarındaki ortalama pamuk yükseklikleri sırasıyla 0,5 m, 0,7 m ve 1,1 m'dir. Uygulamalarda kullanılan ZİHA 4 adet döner diskli memeye sahiptir.

Denemelerde memeler sabit 5700 RPM’de çalıştırılmış ve bu devirde 200 µm damla boyutuna sahip olduğu tespit edilmiştir. ZİHA pamuk bahçesinde bitki kanopisinin 2 metre üstünden uçurulmuştur. Örnekleme için kullanılan suya duyarlı kartlar (WSP), yerden 30 cm yukarda ve kanopinin üst kısmında olmak üzere iki konuma yerleştirilmiştir. Analizler sonucunda pamuğun üst ve alt kanopisinin ilaçlama hacmi değişiminden önemli oranda etkilendiği ortaya çıkarılmıştır. 30 lha⁻¹ ilaç normunda, yüzey kaplama, damla yoğunluğu ve damla birikimi diğer uygulama hacminden daha yüksek bulunmuştur. Ortalama damla birikimi 0.5 metrede 0.32 µlcm⁻², 0.7 metrede 0.38 µlcm⁻² ve 1.1 metrede 0.14 µlcm⁻² olarak bulunmuştur. Ortalama damla birikimi ise 0.5 metrede 4.61 damlacm⁻², 0.7 metrede 5.99 damlacm⁻² ve 1.1 metrede 4.13 damlacm⁻² olarak saptanmıştır. Bitkinin üst tarafındaki damla birikimi 0.7 metredeki uygulamalarda diğerlerine göre yüksek bulunmuştur. Alt kanopideki damla birikiminde 0.7 ve 0.5 metre yükseklikler 1.1 metreye göre daha yüksek bulunmuştur. Fakat uygulama hacmi arttıkça, 1.1 metreden yapılan püskürtmelerdeki dağılımın iyileştiği ve üst kanopideki damla birikiminin alt kanopiye göre önemli oranda yüksek çıktığı belirlenmiştir (Chen et al., 2022).

Dört rotorlu (quadcopter) bir ZİHA ile, rüzgâr hızı ve ortalama damla çapının (DV_{0.5}) (100, 150 ve 200 µm) sürüklenme üzerindeki etkisini incelemek amacı ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Denemelerde ZİHA’da döner diskli memeler kullanılmış ve denemede incelenecek damla çapları 13400, 8100, 5700 RPM’de elde edilmiştir. Denemeler sabit yerden 4 metre yükseklikten, 5 ms⁻¹ hızda, 12 lha⁻¹ uygulama hacminde gerçekleştirilmiştir. Her memenin debisi 0.54 lmin⁻¹ olarak ölçülmüştür. Denemelerde hem hava sürüklenmesini hem de yer sürüklenmesini ölçmek için sıvı (florasan iz maddeli) toplayıcı plakalar kullanılmıştır. Yer sürüklenmesini ölçmek için, püskürtme genişliğinin (3m) bittiği noktadan rüzgâr yönüne doğru 4 m aralıklarla 7 adet (2, 4, 8, 12, 20, 30 ve 50 m) çift sıra örnek toplama plakaları yerleştirilmiştir. Hava sürüklenmesini ölçmek için ise püskürtme genişliğinden itibaren 2 metre ve 12 metre aralıklarla 5 metre uzunluğunda monofilamentler ile kaplı platformlar kurulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, döner diskli memenin dönüş sayısı arttıkça damla çapının (DV₅₀) önemli düzeyde küçüldüğü ortaya çıkarılmıştır (R² = 0.99, Sig = 0.000). ZİHA’nın iş genişliği altına yerleştirilen platformlarda birikmenin 0,00 µlcm⁻² ile 0,14 µlcm⁻² arasında olduğu bulunmuştur. Rüzgâra karşı biriktirme ise 0,00 µlcm⁻² ile 0,035 µlcm⁻² arasında değişmiştir. Rüzgâr yönündeki biriktirmeler, rüzgâr hızı arttıkça ve damla çapı küçüldükçe artmıştır.

Tarlada rüzgâr olmadığında bile ZİHA'nın oluşturduğu hava akımından kaynaklı sürüklenmenin olduğu tespit edilmiştir. En yüksek sürüklenme %53 ile 3.81 ms^{-1} rüzgâr ve 150 µl damla çapında elde edilmiştir. Toplam sürüklenen damlaların %90'ı 3,6–23,9 metre arasında yer almıştır. Sürüklenen damlacıkların yüksekliği 4 metreyi geçmemiş; 2 metre ve 12 metre uzaklıktan alınan hava sürüklenme örneklerine göre mesafe arttıkça rüzgâr yönünde sürüklenme azalmıştır. Sürüklenen büyük damlalar yer çekimi etkisi ile yere düşerken daha küçük damlalar havada asılı kalarak uzak mesafelere gidebileceği belirtilmiştir (Wang et al., 2020).

Buğday bahçesinde ZİHA, el pülverizatörü ve tarla pülverizatörü ile püskürtme uygulamaları gerçekleştirilerek, verimleri karşılaştırılmıştır. Altı rotora sahip ZİHA, bitki kanopisinden 1 metre yükseklikte, ortalama 3.6 ms^{-1} hızda, 1.24 lmin^{-1} debiye sahip iki adet döner diskli meme ile ortalama 10 lha^{-1} uygulama hacminde püskürtmeler gerçekleştirmiştir. Tarla pülverizatörü bitki kanopisinden 0.5 metre yükseklikte, ortalama 1.7 ms^{-1} hızda, 4 bar basınçta, 18.2 ldk^{-1} debili memeler ile ortalama 300 lha^{-1} uygulama hacminde denemeler gerçekleştirmiştir. Sırt pülverizatörü ise kanopiden 0.5 metre yükseklikten, ortalama 0.8 ms^{-1} hızla, 4 bar basınçta, 1.6 lmin^{-1} debili konik huzmeli meme ile ortalama 300 lha^{-1} uygulama hacminde denemeler gerçekleştirilmiştir. Denemelerde örnekleme materyali olarak suya duyarlı kartlar(WSP) ve filtre kâğıdı kullanılmıştır. Ayrıca denemelerde kullanılan makinaların zararlılar üzerindeki etkinliğini karşılaştırmak için Buğday Yaprak Biti (*Diuraphis Noxia*) üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ZİHA'nın diğer püskürtücülere göre daha az yer kayıpları (yapraktan kayan veya hedefe ulaşmayan toprağa gelen taneler) oluşturduğu ortaya çıkarılmıştır. Tarla pülverizatörünün ilaç dağılım tekdüzeliği daha yüksek çıkmıştır. Bahçe pülverizatöründe CV değeri %38 ile en düşük bulunmuştur. Püskürtücülerin bitki kanopisinin üst tarafındaki damla birikimi 0.57 ile 1.02 µl cm^{-2} arasında değişmiştir. ZİHA diğer püskürtücülere göre %41,7-78,9 daha yüksek yaprak üstü birikimine sahip olmuştur. Bitkilerin üst kısmından alt kısmına doğru sprej birikimi azalmıştır. Ayrıca yaprak alan endeksi artması da sprej birikimini azaltmıştır. ZİHA ile püskürtmelerde damla birikimi 28.2 µl cm^{-2} ile en düşük değerde tespit edilmiştir. Püskürtücülerin sprej biriktirme özellikleri birbirinden farklı olmasına rağmen, ilaç püskürtme denemelerinin 7. gününde incelenen sonuçlara göre her bir püskürtücünün buğday yaprak biti zararlısına karşı etkinliği %70'in üzerinde bulunmuştur. ZİHA püskürtücüsünün uygulamadan sonraki 1. gündeki kontrol etkinliği, diğer

püskürtücülerden önemli ölçüde daha düşük ve tarla pülverizatörünün yalnızca %50,5'ine eşit olduğu saptanmıştır. Ancak zamanla kontrol etkinliği artmıştır. Bunun nedeninin, yaprak bitlerinin hareketi ve aktif bileşenlerin sistemik etkisi ile buğday yaprak bitlerinin aktif bileşenlere maruz kalma şansını artırması olarak açıklanmıştır. Uygulamadan sonraki 3. günde, kontrol etkinliği %60,9'a yükselmiş ve uygulamadan sonraki 7. günde, kontrol etkinliği %70,9'a kadar ulaşmıştır. İHA'nın ilaçlama verimi düşük olmasına karşın, tarla pülverizatörünün çalışma zorluğu ve sırt pülverizatörünün düşük çalışma verimliliği karşısında, karmaşık ve engebeli pirinç, buğday tarlalarında kabul edilebilir sonuçlar verebileceği ortaya çıkarılmıştır. Denemelerde kullanılan püskürtücüler verim olarak incelendiğinde, ZİHA'nın veriminin 4.11 hah⁻¹ olduğu, bahçe pülverizatörünün 1.7 katı ve sırt pülverizatörünün 20 katı olarak bulunmuştur (Wang et al., 2019).

Elektrostatik yüklemeli ilaçlama memelerine sahip bir ZİHA geliştirilmiştir. Hangi tür ilaçlama memesinin elektrostatik yükle yükleneceğini bulmak için daha öncesinde yelpaze huzmeli ve içi boş konik huzmeli memeler üzerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonucunda, yelpaze huzmeli memelerin İHA ile ilaçlamalar için daha uygun olduğu bulunmuştur. Standart yelpaze huzmeli memelere yerleştirilen elektrostatik yüklemeli araçlar ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Denemeler 1.5 metre yükseklikten suya duyarlı kartlar yerleştirilmiş platformlar üzerine 3 bar basınçta püskürtme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonucunda kullanılan ZİHA'nın iş genişliğinin 2.5 metre olduğu tespit edilmiştir. Elektrostatik sistem ve elektrostatik sistem olmadan yapılan saha denemelerinde, elektrostatik yüklü damlaların bitkinin kanopisinin üst tarafında 16 damlacm⁻² ile diğerine göre %13.6 daha iyi biriktirme yaptığı, kanopinin orta kısmında ise 28 damlacm⁻² ile %32.6 daha iyi biriktiği ortaya çıkarılmıştır. Elektrostatik sisteme sahip ilaçlama memelerinde, diğerlerine göre daha az ilaç sürüklenmesi olduğu tespit edilmiştir (Zhang et al., 2017).

Zirai İnsansız Hava Araçlarının (ZİHA) damla birikimini etkileyen işletme parametreleri üzerine yapılan bir derleme çalışmasında; uçuş yüksekliği, uçuş hızı, pompa basıncı, hava sıcaklığı ve nem, rüzgâr, arazi yapısı ve meme tiplerinin damla birikimi üzerine etkileri tartışılmıştır. Literatürler karşılaştırıldığında; aynı yükseklikte yapılan püskürtme uygulamalarında, uçuş hızı arttıkça damla dağılım homojenliği artarken, damla biriktirmenin azaldığı vurgulanmıştır. Yapılan çalışmalarda en iyi damla biriktirme için ilerleme hızının 1.5 ile 3 ms⁻¹ arasında olduğu belirtilmiştir. ZİHA'nın uçuş yüksekliğinin bitki çeşidine göre değiştiği, pamuk bahçesinde en

yüksek biriktirmenin 2 metre yükseklikte gerçekleştiği, ananas için ise, 2.5 metre yükseklikte ideal damla birikimi elde edildiği ifade edilmiştir. Çok yüksek ve çok alçak yüksekliklerin ZİHA'nın damla birikimi için elverişsiz bulunduğu, farklı ZİHA ve püskürtme sistemlerinde en ideal püskürtme yüksekliğinin 1.0 metre ile 2.5 metre arasında olduğu vurgulanmıştır. Pamuk fidelerindeki yaprak bitlerini kontrol etmek için ZİHA ilaçlaması için kullanılacak en iyi parametrelerin 1,5 metre uçuş yüksekliği ve 22,5 lha⁻¹ püskürtme hacmi olduğu öne sürülmüştür. Deneysel sonuçlar, düşük rüzgâr hızı ve irtifada damla birikiminin ideal seviyede olduğu belirtilmiştir. ZİHA ile püskürtme uygulamalarında, pompa basıncının damlacık boyutunu doğrudan etkilediği, büyük boyutlu damlaların sürüklenmeyi azaltıp damla birikimini (μcm^{-2}) artırdığı ifade edilmiştir. 150 μm boyundan küçük damlaların daha fazla sürüklenmeye maruz kaldığı, damla boyutunun artması ile damla birikimi (μcm^{-2}) arasında negatif bir ilişkinin olduğu belirtilmiştir. Bunun nedeninin, ince taneli damlalar ile kaba damlaların birikiminin benzer olmasına karşın, damla yoğunluğunda birim başına düşen kaba yapılı damla adedinin düşük olması olarak açıklanmıştır. Deneysel sonuçların; basınç değerlerinin 2 ila 5 bar arasında ayarlandığında, ortalama damla çapı değerinin (Dv_{50}) 124,46 ila 85,95 μm arasında değiştiğini, 4 veya 5 bar basınçlarda ise damla boyutu dağılımının daha düzgün olduğu açıklanmıştır. Daha az damla sürüklenmesi ve daha iyi damla penetrasyonu elde etmek için, farklı mahsul kanopilerine göre uygun bir basınç seviyesinin seçilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Hava koşullarının ilaçlama verimi üzerinde önemli etkileri olduğu belirtilmiş, gece ilaçlamanın gündüz ilaçlamaya göre daha verimli olduğu ifade edilmiştir. ZİHA ile püskürtme uygulamalarında, pestisitlerin suya oranının ve hava şartlarına göre uygun uçuş parametrelerinin belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır (Hu et al., 2022).

İki farklı Guava bahçesinde, yaprak biti zararlısı üzerindeki etkinliğini belirlemek için, ZİHA ve Sırt Pülverizatörü ile püskürtme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. İlk bahçede püskürtme uygulamaları pestisit kullanılarak gerçekleştirilirken, ikinci bahçedeki uygulamalarda biopestisit kullanılmıştır. Ayrıca uygulamalarda ilaçlama kalitesini (yüzey kaplama oranı (%), damla yoğunluğunu (damlacm^{-2}), damla boyutunu (μl), damla tekdüzeliğini (%CV)) belirlemek için, ağaçların farklı konumlarına yerleştirilen yağa duyarlı kartlar (OSP) kullanılmıştır. İlaçlama makinalarının zararlı üzerindeki etkisini belirlemek için, belirlenen noktalardan uygulama öncesi, uygulamadan 1 gün sonra, 2 gün sonra ve 7 gün sonra zararlı sayımı gerçekleştirilmiştir. Denemelerde ZİHA, bitki kanopisinin 2 metre

üstünden 3 ms⁻¹ hızla uçurularak püskürtme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Püskürtmede 4 adet çok düşük hacimli meme kullanılmıştır. İlaçlama kalitesi parametreleri incelendiğinde, ağaçların üst tarafındaki kaplama oranının (%10.67) diğer bölgedeki (orta, alt, merkez) kaplama oranlarından (Ort. %5) önemli derecede yüksek çıkmıştır (p < 0.05). Damla yoğunluğunda üst ve orta bölge (25 damlacm⁻²) ile alt ve merkez bölgesi (damlacm⁻²) birbirinden farklılık göstermiştir. Damla boyutu, üst bölgeden alt bölgeye doğru küçülmüştür. Bütün bölgelerdeki damla tekdüzeliği arasında bir fark bulunamamıştır. Makinaların yaprak biti üzerindeki etkisi incelendiğinde, uygulamadan 1 gün sonra numunelerdeki yaprak biti popülasyonunda ZİHA (16.60 damlacm⁻²) ve sırt pülverizatörü (12.70 damlacm⁻²) arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. 2. gün sayımlarında ZİHA uygulamalarındaki zararlı sayısı (8.5 damlacm⁻²), sırt pülverizatörüne göre (4 damlacm⁻²) yüksek çıkmıştır. 7.gün sayımlarında ise iki makine arasında fark bulunmamıştır (Verma et al., 2021).

Dört rotorlu bir ZİHA pervanelerinin ürettiği aşağı yönlü hava akımının, püskürtülen ilaç üzerindeki etkisini incelemek için simülasyonlar ve saha testleri yapılmıştır. Simülasyonlar, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılarak yapılmıştır. Simülasyonlarda farklı hızlar (1, 2 ve 3 ms⁻¹) ve farklı yükseklikler (1m, 1.5 m ve 2 m'den yüksek) test edilmiştir. Saha testleri ise anemometre stantları ve yapay bitkiler üzerinde gerçekleşmiştir. Stantlara x, y, z, yönünde ve yapay bitkilerin belirli bölgelerine z yönünde anemometreler yerleştirilerek 1.5 m üzerlerinden 5 farklı hızda (1, 2, 3, 4 ve 5 ms⁻¹) püskürtme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda ilerleme hızı arttıkça aşağı yönlü pervane rüzgâr akımının kapsama alanının bozulduğu görülmüştür. Bunun nedeninin, yüksek hızlarda ilerleme yönündeki hava direncinin aşağı yönlü akımı etkilemesi olarak açıklanmıştır. Rotorun altında aynı yüksekliklerde hız küçüldükçe ve aynı hızlarda ise yükseklik azaldıkça aşağı yönlü rüzgârın değerinin arttığı belirlenmiştir. Püskürtülen bitkinin kanopi yoğunluğu büyük olduğunda, uçuş hızının düşürülmesi ve İHA ile mahsul kanopisinin tepesi arasındaki mesafenin en aza indirilmesinin düşünülebileceği ifade edilmiştir. İHA ile kanopi arasındaki mesafe çok büyükse, uzun mesafeli akış sürecinde aşağı yönlü hava akışı ile dış hava arasındaki sürtünme, hava akışında kaçış girdabına yol açacağı, kaçış girdabı damlacıklarının hedef olmayan alanlara taşınabileceği belirtilmiştir. Bunun için kanopi ile İHA arasındaki mesafenin 2 m'yi geçmemesi, 1 m'den düşük olmaması önerilmiştir (Zhu et al., 2022).

4 rotorlu bir ZİHA ile farklı uygulama hacimleri (7.5, 15.0, 22.5 ve 30 l/ha) ve

farklı damla çaplarında (150, 200 ve 300 µm) buğday bitkisi üzerinde püskürtme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Püskürtme uygulamaları 2 m yükseklikten ve 3 ms⁻¹ hızda, döner diskli bir meme kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Damla örneklerini toplamak için 10 cm boyundaki dikey platformlara yerleştirilen kromokote kağıtları kullanılmıştır. Denemelerde farklı uygulamaların, damla yüzey kaplama oranı (%) ve damla yoğunluğu (damlacm⁻²) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Damlacık birikiminin tek düzelikliğini göstermek için varyasyon katsayısı (CV) kullanılmıştır. İstatistik karşılaştırmalar incelendiğinde, 7.5 lha⁻¹ uygulama hacminde damla yüzey kaplama oranı damla çapı arttıkça artmıştır. Ancak bu artış istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır (p=0.061). Diğer uygulama hacimlerinde (15.0, 22.5 ve 30 lha⁻¹) ise, damlacık çapı arttıkça yüzey kaplama oranı azalmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde ise, uygulama hacmi arttıkça yüzey kaplama oranı çok önemli derecede artmıştır. Damla yoğunluğa ait karşılaştırmalar incelendiğinde, tüm uygulama hacimlerinde damla çapı büyüdükçe damla yoğunluğu çok önemli derecede azalmıştır. Uygulama hacmi arttığında 150 µm çapındaki damlaların yoğunluğu önemli derecede artmıştır. 200 µm çapındaki damlalar da hacmin artmasıyla artmış fakat 22.5 ve 30 lha⁻¹ arasında önemli bir fark bulunamamıştır. Ancak 7.5 ve 15.0 lha⁻¹ uygulama hacminde damla yoğunlukları benzerlik göstermiştir (ortalama 4.45 damlacm⁻²). Aynı şekilde 22.5 ve 30 lha⁻¹ hacimleri arasında da damla yoğunlukları benzerlik göstermiştir (ort. 8.7 damlacm⁻²). Damla dağılım düzgünlüğü incelendiğinde ise en düşük CV (%20.2) 15 l/ha uygulama hacminde ve 150 µm damla çapındaki denemelerden elde edilirken, en yüksek CV (%73.3) 30 lha⁻¹ uygulama hacmi ve 300 µm çapındaki damla denemelerinden elde edilmiştir. Analizlerde yüzey kaplama oranı ve damla yoğunluğunun, damla dağılım düzgünlüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Dağılım düzgünlüğünü etkileyen faktörlerin denemelerdeki rüzgâr hızı ve yönü, kullanılan meme, İHA pervanesinin aşağı yönlü oluşturduğu hava ve uygulama parametrelerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Shan et al., 2022).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye’de tarımsal alanların ilaçlanmasında kullanılan Zirai İnsansız Hava Araçlarının (ZİHA) depo hacmi yaygın olarak 10 litre ile 30 litre arasında farklılık göstermektedir (Alkan ve Özgünaltay 2022, Villi ve Yakar 2022). ZİHA’ların depo hacimlerinin az olması, ilaçlamanın uygulanma şeklini belirlemektedir. ZİHA’larda genel olarak düşük hacimli püskürtme uygulamaları (LV) yapılmaktadır (Özyurt ve Çelen 2022). Düşük hacimli uygulamalar birim alana püskürtülen ilacı daha az su kullanılarak atılmasını sağlamaktadır. Birim alana düşen ilaç miktarı diğer püskürtme uygulamaları ile aynı olmasına karşın, hedefe ulaşan damlalardaki ilaç yoğunluğunun fazla olduğu damlalar, ince yapılı damlalar olmaktadır. Düşük hacimli pestisit uygulamalarında kullanılan ilaçlama memeleri ince yapılı damlalar (50-100 µm) üretmektedir (Sayıncı vd. 2020). Bu durum, düşük hacimli uygulamaların daha hassas ve dikkatli bir şekilde yapılmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, 5 litre depo kapasiteli, meme aralıkları ayarlanabilen ve 2.4 bar sabit basınç üreten pompaya sahip bir ZİHA geliştirilmiş ve işletme özellikleri, örnekleme direkleri ve brokoli ekili bir arazi üzerinde test edilmiştir.

3.1. Materyal

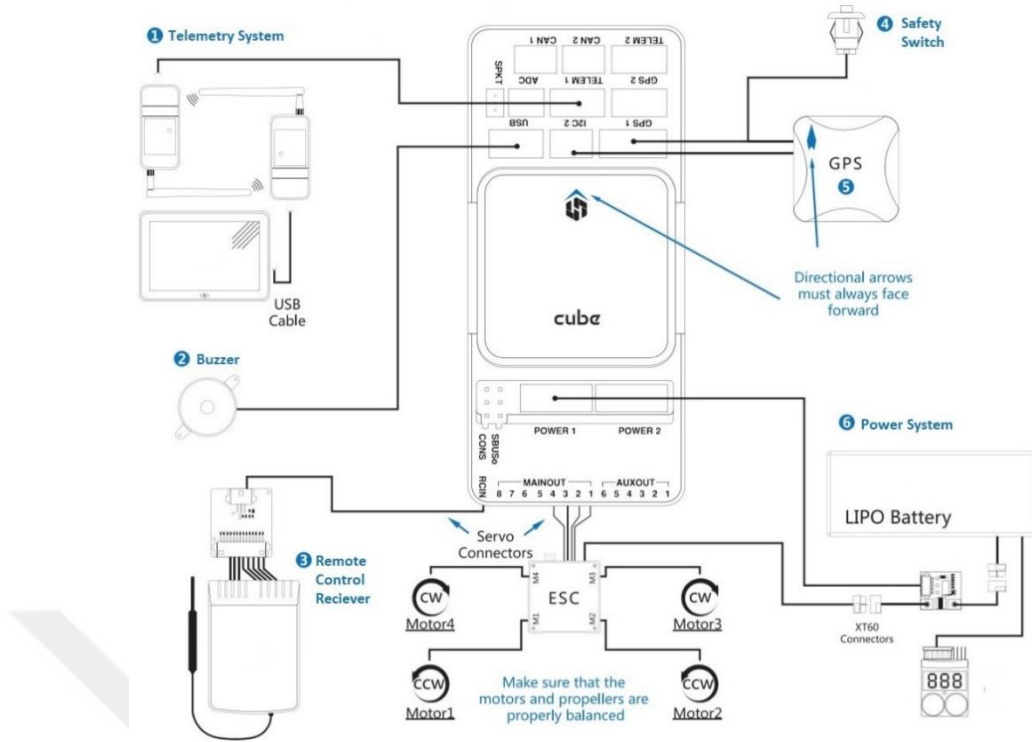
3.1.1. Zirai İnsansız Hava Aracı Elektronik Bileşenleri

Tez denemelerinde kullanılmak üzere dört rotorlu (quadcopter) bir ZİHA tasarlanmış, geliştirilmiş ve test edilmiştir. ZİHA’nın parçaları SolidWorks paket programı kullanılarak 3D olarak modellenmiştir. Modellenen ZİHA’nın iskeleti oluşturulduktan sonra gereksinim duyulan elektronik, mekanik ve hidrolik parçaların montajı iskelet üzerinde belirlenen yerlerine montajlanarak kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir. ZİHA’nın CAD modeli Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Zırai İnsansız Hava Aracı CAD Modeli

ZİHA'da bulunan dört motor, Elektronik Hız Kontrolörleri (ESC) tarafından sürülmektedir. Kumandadan alınan verileri ZİHA'ya iletmek ve ZİHA'nın hareketini sağlamak için bir uçuş kontrolörü (FB) kullanılmıştır. Uçuş kontrolörü içerisinde Atalet Ölçü Birimleri (IMU) olan ivme ölçer, barometre ve jiroskop bulunmaktadır. Bu birimler ZİHA'nın istenilen rotada ilerlemesini sağlayan sensörlerdir (Zhou et al., 2020). Konumlandırma için elektronik pusula ve Coğrafi Bilgi Sistemi (GPS) modülleri ZİHA'nın üzerine monte edilmiştir. Uzaktan kumanda için alıcı-verici modülleri ve ZİHA'nın anlık yükseklik, hız ve konum gibi verilerinin uçuş sırasında yer istasyonuna iletilmesi için telemetri modülü kullanılmıştır. Bütün bu sistemlere güç vermesi için hafif yapıya ve yüksek akıma değerine sahip olan Lityum Polimer (Li-Po) piller kullanılmıştır. Ayrıca, ZİHA'nın kalibrasyonu ve uçuş sırasındaki uyarıları sesli olarak ileten Buzzer, GPS'i kilitleyerek ZİHA'nın sistem dışı uçuşa geçmesini engelleyen güvenlik butonu ve Li-Po pil voltajı belirtilen değerin altına düştüğünde uyarı Voltaj Ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. Zırai İnsansız Hava Aracı Bileşenlerinin Blok Diyagramı

3.1.1.1. Uçuş Kontrolörü (FB)

Uçuş kontrol kartları; kumanda (RC) ve sensörlerden gelen bilgileri motorlara göndererek İHA'nın istenilen yönde hareket etmesini sağlayan devre elemanlarıdır. Uçuş kontrol kartları İHA'ların beyni olarak tanımlanmaktadır (Sevici vd., 2023). Tasarlanan İHA'da Pixhawk Cube Black uçuş kartı kullanılmıştır. Uçuş kartının sistem şeması ve portları Şekil 3.3'de, uçuş kartı özellikleri ise Tablo 1.1'de verilmiştir.

ZİHA'lar birçok farklı uçuş kartı ile çalışmaktadır. Doğru kartın seçilmesi, aracın fiziksel kısıtlamalarına, istenen özelliklere ve çalışmak istenilen uygulama alanlarına bağlı olarak değişmektedir. Prototip ZİHA'nın uçuş kartı seçiminde aşağıdaki faktörler dikkate alınmıştır:

Sensör Yeterliliği: ZİHA'ların ve operatörlerin güvenliğini sağlama ve püskürtme uygulamaların verimli olabilmesi için uçuş kontrol kartında bulunan sensörler önemli bir etkidir. Uçuş kartındaki sensörlerin çokluğu uçuşun güvenliği açısından önemlidir. Çünkü ZİHA'lar yönünü belirlerken kart içine entegre IMU (Atalet Ölçü Birimleri) sistemlerini kullanırlar. ZİHA'da kullanılan Pixhawk Cube Black uçuş kartı; 3 adet manyetometre, 3 adet jiroskop, 3 adet akselerometre ve 2 adet

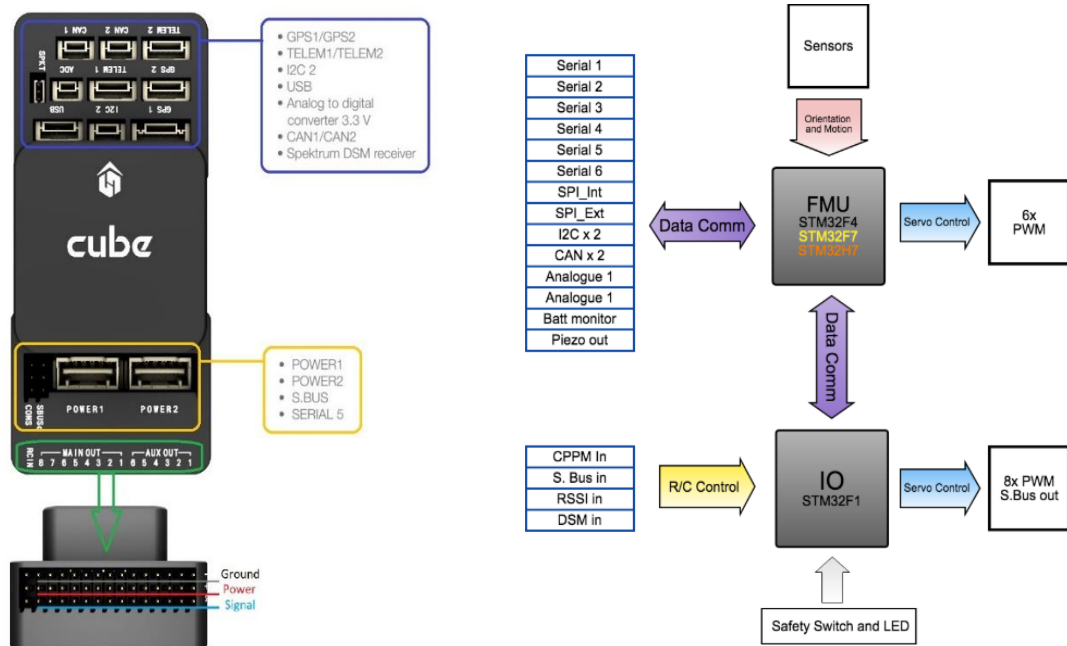
barometre bulundurmaktadır.

Servo/Motor Çıkış Sayısı: Servo çıkış sayısı, ZİHA'nın kaç adet motorla uçurulacağını ve harici servo motorlarının kullanımına etki etmektedir. Tasarlanan ZİHA 4 adet motor ve bir adet pompa motoru olmak üzere 5 adet servo çıkışına gereksinim duymaktadır. Uçuş kartında 8 adet çıkış bulunmaktadır.

Harici Veri Yolları: Telemetry, yardımcı bilgisayarlar, GPS'ler, hava hızı sensörleri, LED kontrolörleri vb. gibi birçok cihazın uçuş kartına bağlanmasına izin veren iletişim protokollerinin çeşitliliği ZİHA'da kullanılacak sensörlerin kısıtlamasını ortadan kaldırmaktadır. Kullanılan uçuş kartında UART, I2C, CAN gibi seri iletişim protokolleri bulunmaktadır. Bu veri yolları, ZİHA'nın daha güvenli uçuşuna yardımcı olacak farklı iletişim protokolüne sahip sensörlerin uçuş kartı ile iletişim kurmasını sağlamaktadır.

Analog Giriş/Çıkış Sayısı: Alıcı sinyal gücü (RSSI) veya pil voltajı/akımı veya diğer analog sensörlerin girişi gibi özellikler için analog Giriş/Çıkışların bulunması ZİHA'nın uçuş sırasında güvenliğinin artırılması açısından önemlidir. Kullanılan uçuş kartında 6 adet analog çıkış bulunmaktadır.

Diğer: Yerleşik OSD (Ekran Üstü Gösterim), entegre pil izleme sensörleri, yüksek titreşim uygulamalarına yönelik IMU'lar için dahili mekanik titreşim yalıtıcıları, IMU ısıtıcıları, boyut ve maliyet, uçuş kartlarının seçiminde dikkat edilmesi gereken diğer kriterleri oluşturmaktadır.



Şekil 3.3. Uçuş kartının sistem şeması ve portları

Tablo 3.1. Uçuş kartı teknik özellikleri

Marka/Model	Pixhawk/Cube Black 2.1
İşlemci	STM32F427 V3
RC Sinyali	PPM/SBUS/DSM
Giriş Voltajı/Akımı	4.1-5.7 V/2.5 A
Sensörler	Barometre, Akselerometre, Jiroskop, Magnetometre
Çalışma Sıcaklığı	-10° C / +55°C

3.1.1.2. Fırçasız Motor

İnsansız Hava Aracında Şekil 3.4’de verilen fırçasız motor kullanılmıştır (T-Motor U-7 V2.0 420 KV). Motora ait teknik özellikler Tablo 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Fırçasız Motor

Tablo 3.3. Fırçasız motor özellikleri teknik özellikleri

Marka/Model	T-Motor/U7 V2.0 420KV
Maksimum Sürekli Akım	40 A
Maksimum Sürekli Güç	1180 W
Güç Kaynağı Tipi	Lityum-Polimer (Li-Po)
Çalışma Gerilimi	3S/8S
Çalışma Sıcaklığı	-10° C / +55°C
Motor Ölçüleri/Şaft Çapı	Φ60.7×39.5mm / 6mm

3.1.1.3. Elektronik Hız Kontrol Ünitesi (ESC)

İnsansız Hava Aracında ESC olarak T-Motor T80A 400Hz kullanılmıştır (Şekil 3.5). ESC’ye ait teknik özellikler ise, Tablo 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Elektronik Hız Kontrol Ünitesi

Tablo 3.5. Elektronik Hız Kontrol Ünitesi teknik özellikleri

Marka/Model	T-Motor/T80A 400Hz
Çıkış Akımı	Sürekli Akım 80A/Patlama Akım 100A(10sn)
Giriş Voltajı	1180 W
Güç Kaynağı Tipi	Lityum-Polimer (Li-Po) / NiCd-NiMH
Çalışma Gerilimi	3S/6S
Çalışma Sıcaklığı	-10° C / +55°C
Ölçüler	70x31x17.5 62gr

3.1.1.4. Batarya

İnsansız Hava Aracında batarya olarak Profuse Lityum-Polimer batarya kullanılmıştır (Şekil 3.6). Li-Po bataryaya ait teknik özellikler Tablo 3.6’de gösterilmiştir.



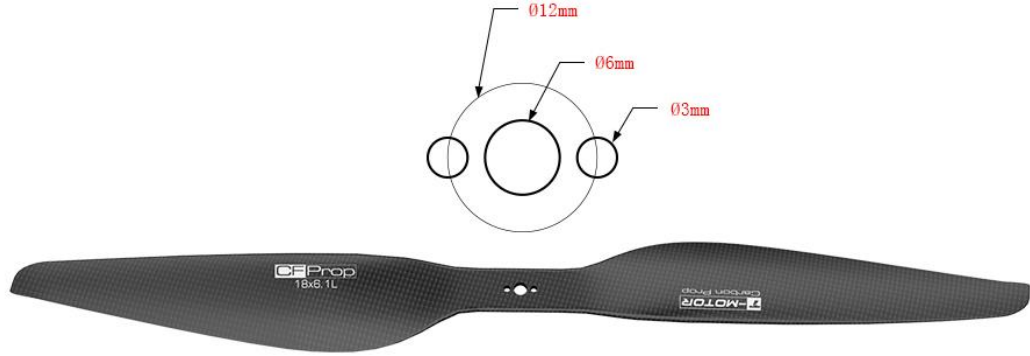
Şekil 3.6. Lityum polimer batarya

Tablo 3.7. Lityum polimer batarya teknik özellikleri

Marka	Profüse
Tipi	Lityum-Polimer
Hücre Sayısı	6S
Kapasite / C değeri	16000 mAh / 35
Voltaj	22000V
Ağırlık	1863 gr
Ölçüler	178x76x70mm
Bağlantı Soketi Tipi	XT90

3.1.1.5. Pervaneler

İnsansız Hava Aracında pervane olarak T-Motor marka karbon fiber pervane kullanılmıştır (Şekil 3.7). Pervaneye ait teknik özellikler Tablo 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Pervane

Tablo 3.9. Pervane özellikleri

Marka	T-Motor
Tip	Polish
Uzunluk ve Hatve	18x6.1
Malzeme	Karbonfiber+Epoksi
Çalışma Sıcaklığı	-40/+65 C
Depolama sıcaklığı	-10/+50 C <%85 Nem
Ağırlık	~32 gr
Optimum Devir	3000-6000 RPM
Maksimum Yük	8.2 kg

3.1.1.6. Güç Dağıtım Ünitesi (PDB)

İnsansız Hava Aracında kullanılan sistemlere bataryadan gelen gücün dağıtımını

yapmak için Tarot marka güç dağıtım ünitesi kullanılmıştır (Şekil 3.8). Üniteye ait teknik özellikler Tablo 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Güç dağıtım ünitesi

Tablo 3.11. Güç dağıtım ünitesi teknik özellikleri

Marka	Tarot
Model	TL2910
Malzeme	ABS
Kablo Tipi	14 AWG
Bölme Sayısı	6
Ağırlık	~8gr
Ölçüler	60x50x8.5

3.1.1.7. Güç Modülü (PM)

İnsansız Hava Aracının bataryasından gelen 22 V'luk güç ve 16 A'lik akımı uçuş kartının çalışma değerleri olan 5V ve 3A'e indirmek için, Tablo 3.12'de özellikleri belirtilen APM marka güç modülü kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Güç modülü (PM)

Tablo 3.13. Güç modülü teknik özellikleri

Marka	APM
Model	Power Modül
Maksimum Giriş Voltajı	30V

Maksimum Giriş Akımı	60A
Maksimum Çıkış Voltajı	5.3
Maksimum Çıkış Akımı	3A
Bağlantı Konektörü	XT60

3.1.1.8. Telemetry Modülü

Denemeler sırasında, İnsansız Hava Aracı verilerinin anlık olarak operatöre ve yer istasyonuna gönderilmesi için araçta APM marka telemetry modülü kullanılmıştır (Şekil 3.10). Telemetriye ait özellikler, Tablo 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Telemetry Modülü

Tablo 3.15. Telemetry modülü teknik özellikleri

Marka	APM
Model	3DR
Frekans	433 Mhz
Hava Veri Hızı	Max: 250 kbps
Ağırlık (Hava modülü)	19.5 gr
Ölçüler (Hava modülü)	51x30x11

3.1.1.9. Uzaktan Kumanda

İnsansız Hava Aracının yönlendirilmesinde RadioLink marka bir uzaktan kumanda kullanılmıştır (Şekil 3.11). Kumanda teknik özellikleri Tablo 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.11. Uzaktan kumanda

Tablo 3.17. Uzaktan kumanda teknik özellikleri

Marka	Radiolink
Model	AT9
Kanal Sayısı	9
Çalışma Voltajı	8.6-15 V
Kontrol Mesafesi	Yerden 600 m- Havadan 1000 m
Tepki Süresi	3 ms
Frekans	2.4 Ghz (12400-2485 Mhz)
Ağırlık (Hava modülü)	880 gr
Ölçüler (Hava modülü)	183x193x100

3.1.1.10. GPS Modülü

İHA'nın istenen koordinatları takip edebilmesi için bir adet Here marka GPS modülü kullanılmıştır (Şekil 3.12). GPS'e ait teknik özellikler Tablo 3.18'da gösterilmiştir.



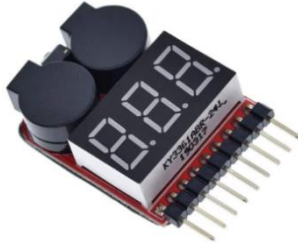
Şekil.3.12. GPS

Tablo 3.19. GPS teknik özellikleri

Marka	HERE
Model	1/GNSS/GPS
Uyumlu Uçuş Kartı	Pixhawk 2.1
Çalışma Voltajı	3.3-5 V
Konumlandırma Doğruluğu	3D FIX: 2,5 m / RTK: 0,025 m
İletişim Protokolü	CAN
Navigasyon Güncelleme Hızı	Max 8 Hz
Bildirimler	RGB Led
Ağırlık (Hava modülü)	48.8 gr
Ölçüler (Hava modülü)	76x76x16.6
Güvenlik Düğmesi	Var

3.1.1.11. Batarya Voltaj Test Cihazı

İHA’da kullanılan batarya voltaj değerlerinin takibi için bir adet voltaj test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.13). Kullanılan cihazın şekil ve teknik özellikleri Tablo 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Voltaj test cihazı

Tablo 3.20. Voltaj test cihazı teknik özellikleri

Uyumlu Batarya Tipleri	1-8s Li-Po, Li-İon, Li-Mn, Li-Fe
Voltaj Algılama Hassasiyeti	$\pm 0.01V$
Birim Voltaj Görüntüleme Aralığı	0.5 – 4.5 V
Toplam Voltaj Görüntüleme Aralığı	0.5 – 36 V
Çalışma Voltajı	3.3-5 V
Alarm Değer Aralığı	2.7 – 3.8 V
Bildirimler	Sesli Bildirim
Ağırlık (Hava modülü)	9 gr
Ölçüler (Hava modülü)	40x25x11

3.1.1.12. Kumanda Alıcısı

İHA ile kumandanın haberleşmesi için RadioLink marka kumanda alıcısı kullanılmıştır (Şekil 3.14). Alıcıya ait teknik özellikler Tablo 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.14. Radyo alıcı

Tablo 3.22. Radyo alıcısı teknik özellikleri

Marka	Radiolink
Model	R12DS
Kanal Sayısı	12
Çalışma Voltajı	4.8-6 V
Çalışma Akımı	40-180 mA
Kontrol Mesafesi	Yerden 1100 m- Havadan 4000 m
Tepki Süresi	3 ms
Frekans	2.4 Ghz
Sinyaller	SBUS-PPM
Ağırlık (Hava modülü)	6 gr
Ölçüler (Hava modülü)	30x15x7

3.1.2. Ziraî İnsansız Hava Aracı İlaçlama Ünitesi Bileşenleri

Denemelerde kullanılmak üzere geliştirilen İHA'nın üzerine püskürtme ünitesi bileşenleri monte edilerek İHA'nın püskürtme yapabilmesi sağlanmıştır. İHA'da kullanılan püskürtme ünitesi bileşenleri ve bileşenlere ait teknik özellikler aşağıda sıralanmıştır.

3.1.2.1. İlaç Deposu

İnsansız Hava Aracında sıvı ilacın konulabilmesi için 5 litre kapasiteli bir depo kullanılmıştır (Şekil 3.15). Depoya ait teknik özellikler ise Tablo 3.23'te verilmiştir.



Şekil 3.15. İlaç deposu

Tablo 3.24. İlaç deposu özellikleri

Model	SX-N5L
Malzeme	HDPE
Depo Kapasitesi	5 L
Akış Hacmi	4 lmin ⁻¹
Ağırlık (Hava modülü)	400 gr
Ölçüler (Hava modülü)	368x200x186

3.1.2.2. İlaçlama Pompası

İHA'nın deposunda bulunan ilacın basınçlandırılması için 2.4 sabit basınçta çalışan diyaframlı bir pompa kullanılmıştır (Şekil 3.16). Pompanın teknik özellikleri Tablo 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.16. İlaç deposu

Tablo 3.26. İlaç deposu özellikleri

Model	12V-80W
Tipi	Diyaframlı
Çalışma Voltajı	12
Çalışma Akımı	5A
Giriş Basıncı	0.2 Mpa
Anma Basıncı	0.8 Mpa
Akış Hacmi	4 lmin ⁻¹
Ağırlık (Hava modülü)	400 gr
Ölçüler (Hava modülü)	138x97x62

3.1.2.3. Pompa ESC Modülü

Pompanın kumanda ve uçuş kartı ile haberleşmesi ve bataryadan gelen voltajın, pompanın çalışma voltajına dönüştürülmesi için, batarya ile pompa arasında bir Buck ESC modülü kullanılmıştır. ESC modülü Şekil 3.17’de ve teknik özellikleri ise Tablo 3.27’de gösterilmiştir.



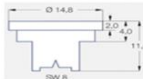
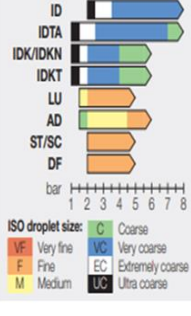
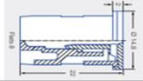
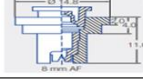
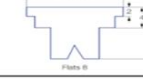
Şekil 3.17. Pompa ESC modülü

Tablo 3.28. Pompa ESC modülü teknik özellikleri

Marka	EFT
Tipi	Buck
Çalışma Voltajı	15-60 V
Çalışma Akımı	6A
Çıkış Voltajı	12V
Maksimum Güç	75W
Ağırlık (Hava modülü)	72 gr
Ölçüler (Hava modülü)	47x34x22

3.1.2.4. Hidrolik Memeler

İHA'lar ile yapılan bitki koruma mücadelelerinde en çok tercih edilen ilaçlama memelerinden birisi yelpaze huzmeli memelerdir (Rahman et al., 2021). Yelpaze huzmeli memelerin hacimsel damla dağılımının iyi olması, yükseklik değişimine karşı toleranslarının yüksek olması tercih sebeplerinin başında gelmektedir. İHA ile yapılan püskürtme uygulamaları incelendiğinde, farklı damla çapı üreten yelpaze huzmeli memelerin karşılaştırması üzerine çalışmaların çok az olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, çalışmada sabit basınç ve sabit hızda birbirine yakın uygulama hacmi veren ve farklı boyutlarda damla üretebilen 4 adet yelpaze huzmeli meme seçilmiştir (Lechler, 2023) (Şekil 3.18).

Meme Tipi	Meme Şekli	Meme Ölçüleri	Meme Malzemesi	Meme Kodlarına Göre Damla Boyutları
LU 120-01 S			Stainless Steel	
IDK 120-01			POM(Pliksimetilen)	
AD 90-01 C			Ceramic	
ST 110-01			POM(Pliksimetilen)	

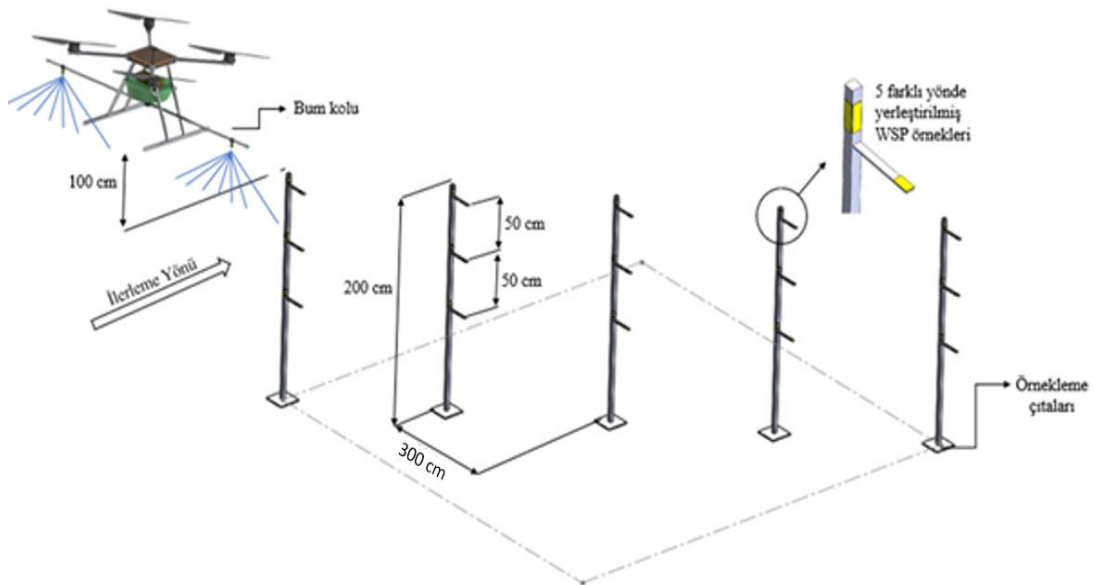
Şekil 3.18. Denemelerde kullanılan meme tipleri ve özellikleri

3.1.3. Zirai İnsansız Hava Aracı ile Arazi Denemeleri

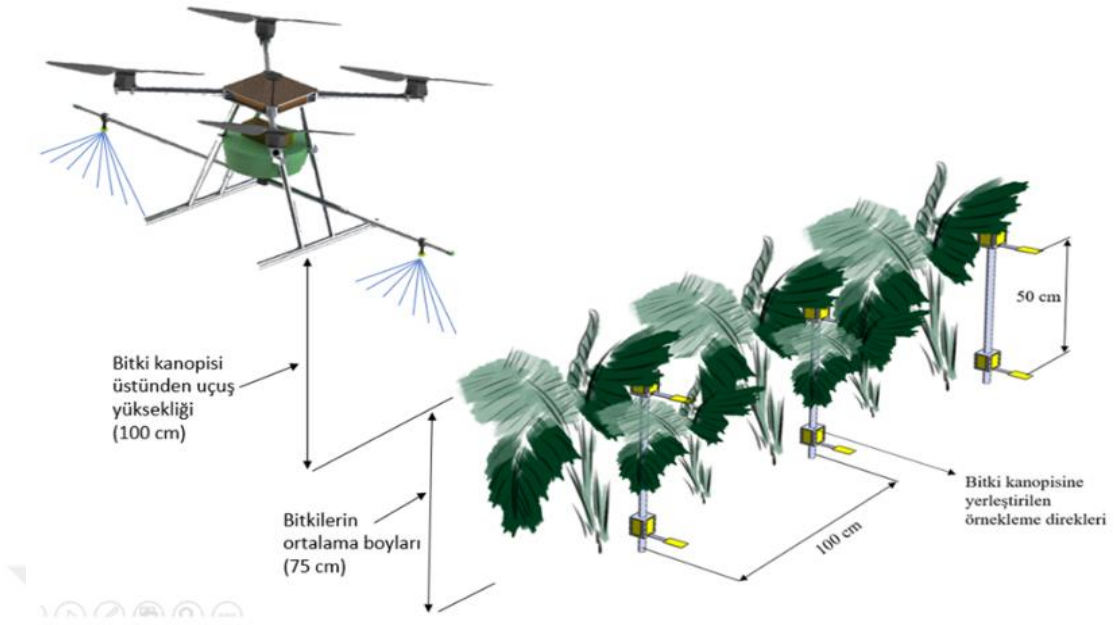
3.1.3.1. Deneme Alanı

Denemeler iki farklı arazide gerçekleştirilmiştir. İlk denemeler Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Ziraat Fakültesinde örnekleme direkleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.19). İkinci denemeler ise, Samsun ili Bafra ilçesinde brokoli ekili bir bahçede gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.20).

Her iki denemede de örnekleme direkleri kullanılmıştır. Hazırlanan örnekleme direkleri denemelerden önce alana yerleştirilerek direklerin belirlenen konumlarına suya duyarlı kartlar tutturulmuştur.



Şekil 3.19. Örnekleme direkleri deneme planı



Şekil 3.20. Brokoli bahçesi deneme planı

3.1.3.2. Suya Duyarlı Kartlar

Hedefe taşınan ilaç damlalarının yüzeyi kaplama oranı, damla çapı ve damla yoğunluğunu belirlemek için her biri ikiye katlanmış 26x76 mm ölçülerinde suya duyarlı kartlar (Novartis, Syngenta Crop Protection, Basel, CH) kullanılmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Suya duyarlı kağıtlar(WSP)

Pülverizasyon sonucu oluşan damlaların boyutunu ölçmek, damla spektrumu, hedef yüzeye taşınan damla sayısı ve damlaların kapladığı alanı belirlemek amacıyla suya duyarlı kartlar kullanılmaktadır. Yüzeyi sarı renkli olan kartların üzerine sıvı damlası düştüğünde temas yüzeyi mavi renge dönüşmektedir (Syngenta, 2002). Suya duyarlı kartlarda 50 µm'den daha küçük çaplı damlaların buharlaşma nedeniyle hedefe taşınmadığından kayıt edilemediği bildirilmiştir (Coates, 1996). Üretici firma (Syngenta, 2002), kart yüzeyinde ölçülen leke çaplarına karşılık gelen gerçek damla çapı değerlerini bildirmiştir (Tablo 3.16).

Tablo 3.29. WSP damlacık çapı belirleme değerleri

Leke çapı (µm)	Yayılma katsayısı *	Gerçek damla çapı (µm)
100	1,7	59
200	1,8	109
300	1,9	155
400	2,0	200
500	2,1	243
600	2,1	285

*: Değerler 20°C sıcaklık ve %40 bağıl nem ortamında belirlenmiştir.

Kart üzerinde damlaların temas alanına bağlı olarak belirli bir yayılma oranı esas alınmış ve gerçek damla çapını belirlemek için ölçülen leke çapları yayılma katsayısına bölünmüştür. Franz (1993), leke çapı ile gerçek damla çapı arasındaki ilişkiden yola çıkarak damla boyut analizinde aşağıda verilen regresyon eşitliğini kullanmıştır.

$$D_g = 1,033 \cdot D_s^{0,879} \quad (3.1.)$$

D_g : Gerçek damla çapı, µm

D_s : Leke çapı, µm

3.1.3.3. Tarayıcı

Suya duyarlı kartlarda damla boyutu, damla yoğunluğu ve yüzey kaplama oranlarını belirlemek üzere kart görüntülerinin bilgisayar ortamına resim dosyası olarak taşınmasında HP Officejet Pro X476dw MFP model tarayıcı (Hewlett-Packard

Development Company, L.P.) kullanılmış (Şekil 3.22.) ve teknik özellikleri Tablo 3.17’de verilmiştir.

Tablo 3.30. Tarayıcı teknik özellikleri

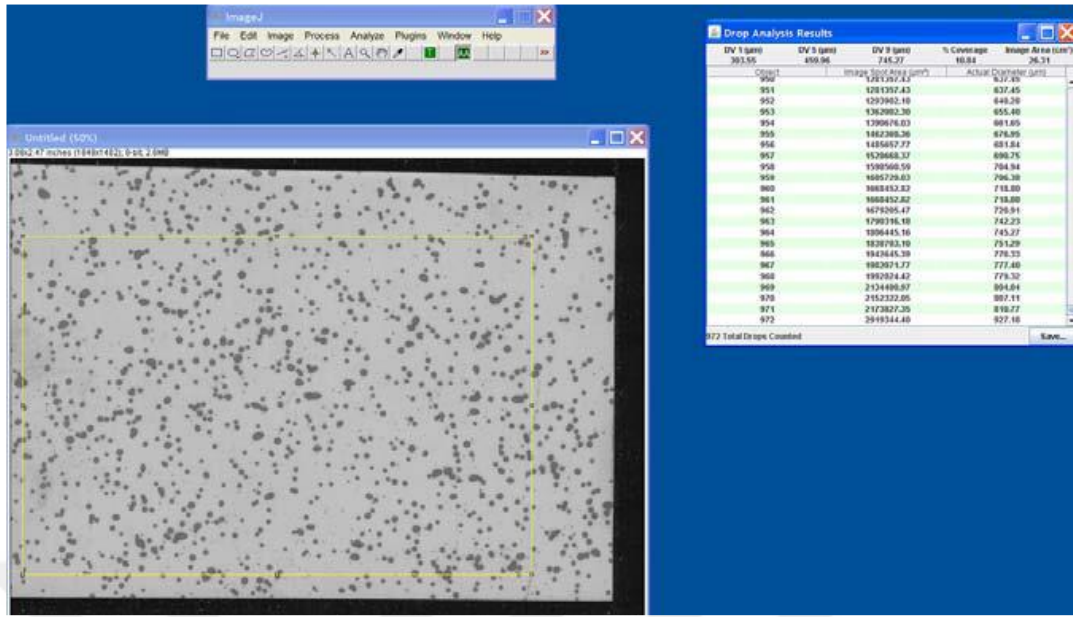
Özellik	Açıklama
Optik çözünürlük	4800x9600 dpi
Seçilebilir çözünürlük	%100 ölçeklemede iyileştirilmiş dpi
Arabirim	USB 2.0 Hi-speed
Boyut	505x520x400 mm
Ağırlık	4,66 kg
AC hattı voltajı	100-240 V – 50/60 Hz



Şekil 3.22. Tarayıcı

3.1.3.4. Görüntü İşleme Programı

Tarayıcı kullanılarak 600 dpi çözünürlükte gray formatta resim dosyası olarak bilgisayar ortamına taşınan suya duyarlı kart görüntülerinde damla boyutu, damla yoğunluğu ve yüzey kaplama oranlarını belirlemek için UTHSCSA Image Tool 3.0 (The University of Texas Health Science, TX) görüntü işleme programı kullanılmıştır (Sanchez-Hermosilla and Medina 2004) (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Görüntü işleme programı

3.1.3.5. Hava İstasyonu

Denemeler sırasında hava durumu, farklı yüksekliklerdeki rüzgâr hızları, ZİHA'da bulunan GPS modülünün otonom uçuş sırasında bağlanması gereken görünür uydu sayıları ve uçuşa yasaklı bölgeler gibi, uçuşu etkileyen diğer çevresel faktörlerin uygunluğunun kontrol edilmesi için UAV Forecast 2.1 uygulaması kullanılmıştır.



Şekil 3.24. UAV Forecast 2.1 arayüzü

3.2. Yöntem

3.2.1. Fırçasız Motor ve Pervanenin Belirlenmesi

Fırçasız motorlar yüksek performansları ve bakım gerektirmediğinden dolayı İHA'larda sıklıkla tercih edilen bir motor tipidir (Alaca vd., 2022). Motor seçimi yapılırken ilk olarak belirlenmesi gereken parametre, motorların toplamda kaç kg bir ağırlığı kaldırması gerektiğinin bilinmesidir. Eğer itiş gücü, İHA'nın ağırlığına eşit olursa İHA havalanamamakta ya da sadece olduğu yerde durmaktadır. İHA'nın havalanabilmesi için yerçekimini yenebilmesi ve bunun üstüne hala itiş kuvveti uygulayabiliyor olması gerekmektedir. Bu toplam itiş gücü değerini belirlemek için ise motorların tam gazda verebildiği itiş gücü temel alınmaktadır. İHA tasarlanırken, kullanılacak tüm bileşenlerin ağırlıkları titizlikle hesaplanmış ve bu ağırlığı kaldırabilecek bir motor seçimi yapılmaya çalışılmıştır. Motorların kaldırma kuvveti üretebilmesi için pervane ile birlikte çalışması gerekmektedir. Bunun içinde üretici kataloglarında önerilen özellikte bir pervane kullanılması gerekliliği bulunmaktadır.

İHA'nın toplam ağırlığı belirlendikten sonra motor seçimine etki eden diğer faktörler ise, motorun verimi (gW^{-1}), motorun maliyeti (TL) ve İHA'nın toplam havada kalma süresi (dk) olmaktadır. Bu faktörler göz önüne alınarak bir motor seçimi yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada ZİHA'nın toplam ağırlığı 8.647 gr olarak hesaplanmıştır. ZİHA'nın güvenli şekilde uçabilmesi için bu ağırlığın 1.5 katı ağırlığı kaldırması gerekmektedir (ASELSAN, 2022). Motorun maliyeti ve tekrarlı arazi denemelerin yaklaşık yapılma süresi hesaplanarak T-Motor (U7 420 KW) marka bir fırçasız motor seçilmiştir. Motorun test değerleri incelendiğinde T-Motor 18x6.1 özellikteki pervanenin istenilen kaldırma kuvveti için uygun olduğu tespit edilmiştir. Test verileri aynı zamanda motor ve pervane ikilisinin kaç voltta ne kadar kaldırma kuvveti ürettiğini göstermektedir. Bu değer batarya seçimini de etkilemektedir. Motorun test verileri Şekil 3.25.'te gösterilmiştir.

Item No.	Volts (V)	Prop	Throttle	Amps (A)	Watts (W)	Thrust (g)	RPM	Efficiency (g/W)	Operating temperature(°C)
U7 KV420	22.2	T-MOTOR 15*5CF	50%	6.1	138	1160	4500	8.41	45
			65%	11.7	260	1870	5700	7.19	
			75%	15.3	345	2260	6300	6.55	
			85%	20.8	452	2690	6850	5.95	
			100%	24.7	527	3030	7250	5.75	
		T-MOTOR 16*5.4CF	50%	7.3	163	1350	4550	8.28	47
			65%	13.6	300	2130	5500	7.10	
			75%	18.6	405	2630	6000	6.49	
			85%	24.2	520	3050	6550	5.87	
			100%	28.7	611	3360	6900	5.50	
		T-MOTOR 17*5.8CF	50%	8.4	191	1560	4250	8.17	50
			65%	15.6	344	2360	5250	6.86	
			75%	21.4	464	3010	5800	6.49	
			85%	27.8	591	3570	6200	6.04	
			100%	33.1	690	3880	6500	5.62	
		T-MOTOR 18*6.1CF	50%	10	223	1790	4050	8.03	52
			65%	18.6	403	2710	5000	6.72	
			75%	25	535	3200	5400	5.98	
			85%	32.7	687	3890	5700	5.66	
			100%	37.8	778	4170	6050	5.36	
Notes:The test condition of temperature is motor surface temperature in 100% throttle while the motor run 10 min.									

Şekil 3.25. Fırçasız motor üretici verileri

3.2.2. ZİHA’da Kullanılacak Pervanenin Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile İtke Kuvveti Hesabı

Test verilerinde İHA için önerilen pervaneler Solid Works Flow Simulation programı ile bilgisayar ortamında simüle edilerek ne kadar itke kuvveti ürettiği doğrulanmıştır (Şekil 3.26, 3.27, 3.28 ve 3.29). Pervaneler CAD programı ile çizilerek FEM programı ile analize tabi tutulmuştur. Analizlerde kaldırma kuvveti hesabı için Eşitlik 3.2. kullanılmıştır (Takumi et al, 2009).

$$F = P_d A \quad (3.2.)$$

$$= \frac{1}{2} \rho V^2 A$$

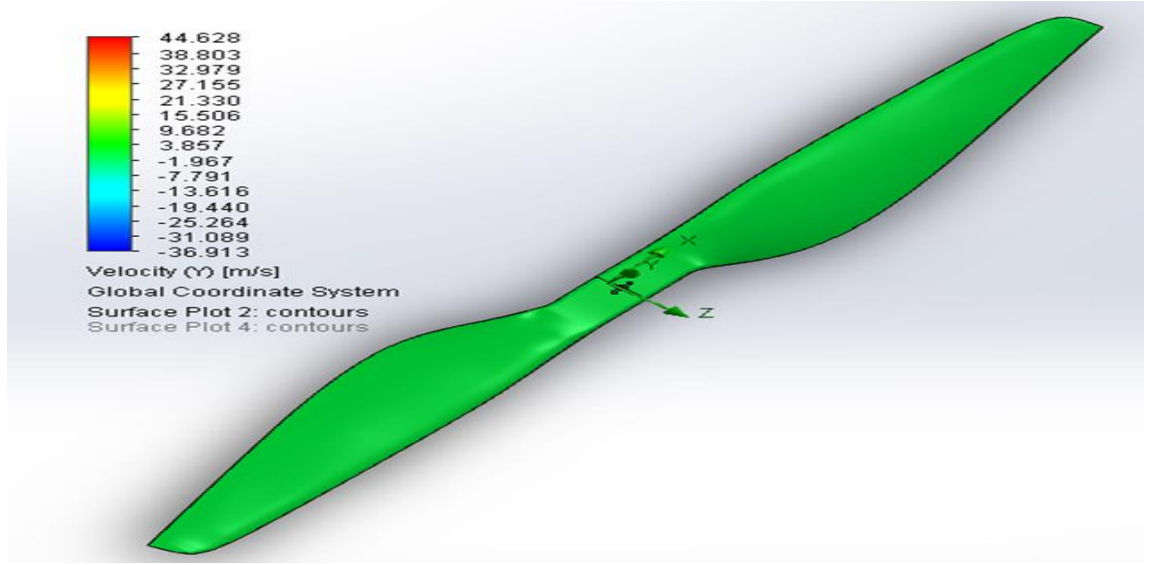
F = İtke kuvveti (N)

P_d = Dinamik basınç (pa)

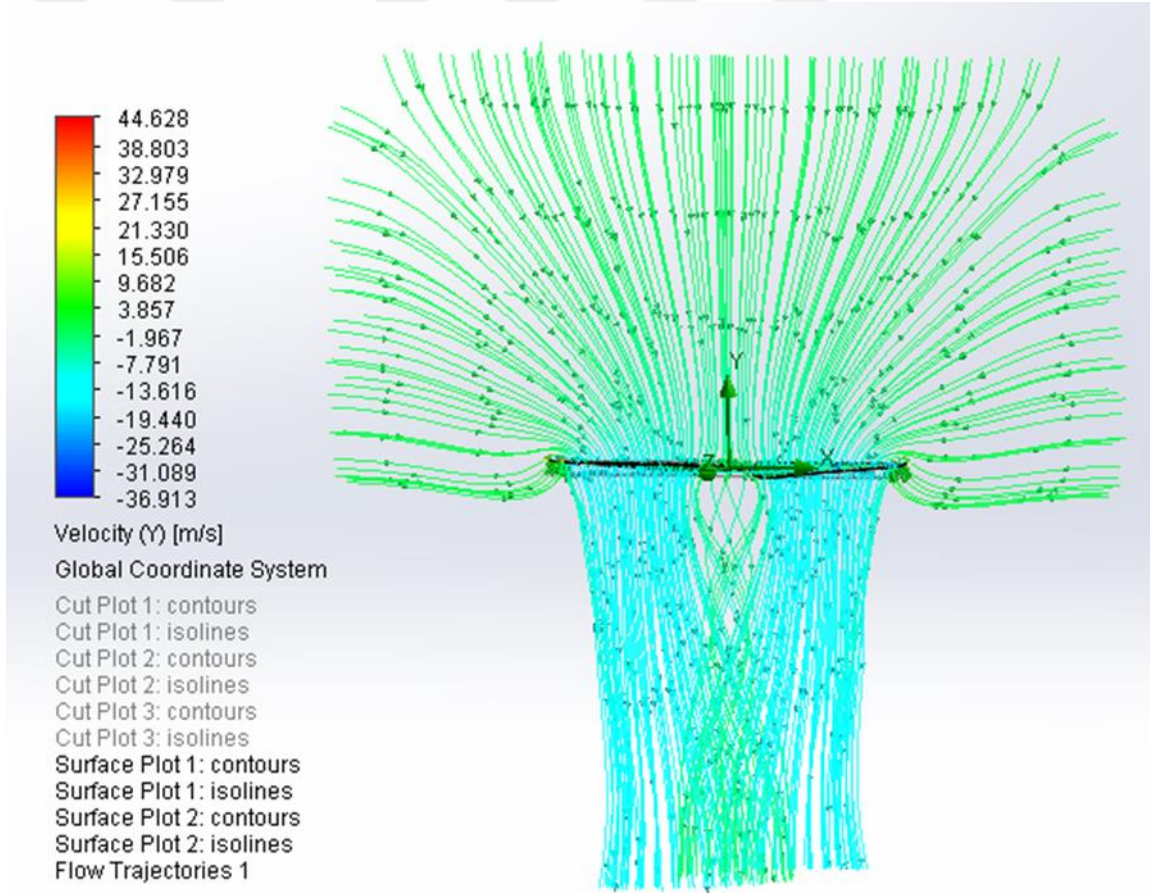
A = Pervane yüzey alanı (m²)

P = Hava yoğunluğu (kgm⁻³)

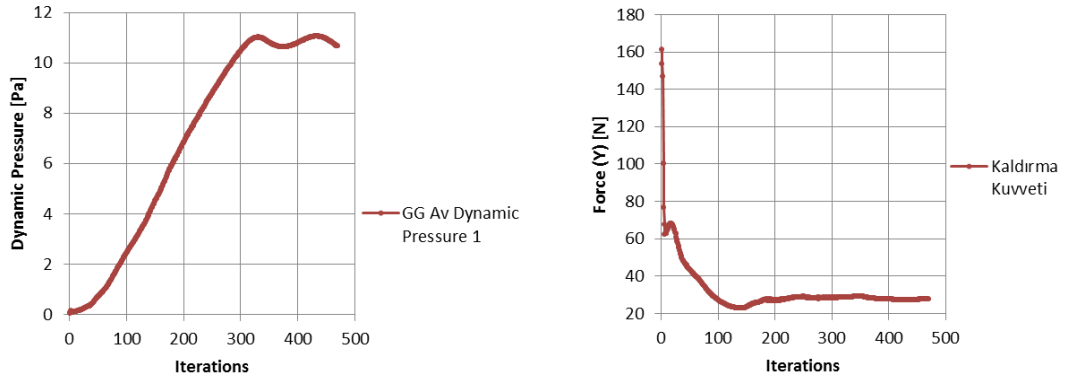
V = Rüzgar hızı (ms⁻¹)



Şekil 3.26. Pervane yüzeyinde oluşan basınç kuvveti FEM analizi



Şekil 3.27. Pervanenin ürettiği hava akımının hızının FEM analizi



Şekil 3.28. Tek Pervanenin FEM analizi ile kaldırma kuvveti hesabı

GG Av Dynamic Pressure 1	10.6456 Pa	40%	0.099329 Pa	10.9328 Pa
GG Av Mach Number 1	0.00686821	Achieved (IT = 423)	9.00303e-005	0.00702944
GG Av Shear Stress (Y) 1	-0.669947 Pa	11%	0.0608019 Pa	-0.872627 Pa
GG Av Shear Stress 1	9.30292 Pa	12%	0.352855 Pa	10.25 Pa
GG Av Turbulence Length 1	0.0173998 m	06%	0.000257052 m	0.0187353 m
GG Av Velocity (Y) 1	-1.41666 m/s	50%	0.012643 m/s	-1.43275 m/s
GG Force (X) 1	0.000989912 N	Achieved (IT = 455)	0.00096381 N	0.000290625 N
Kaldırma Kuvveti	27.7274 N	Achieved (IT = 190)	3.67515 N	27.3904 N
Sürtünme Kuvveti	0.000819681 N	Achieved (IT = 448)	0.00546264 N	0.00120769 N

Şekil 3.29. Tek Pervanenin FEM analizi ile kaldırma kuvveti hesabı 2

3.2.3. Batarya Seçimi ve İHA'nın Havada Kalma Süresinin Belirlenmesi

Li-Po (Lityum-polimer) piller yüksek akım ve yüksek kapasite ihtiyacını en yüksek verimde ve en hafif şekilde karşılayan enerji kaynaklarıdır. Pil kapasitesi artırılarak uçuş süresi arttırılabilmektedir. Ancak pil kapasitesiyle ağırlığı da doğru orantılı olarak artacağı için kapasite ve ağırlığın optimum noktasının bulunması gerekmektedir. Batarya özellikleri belirlenirken, ZİHA'da kullanılacak motor ve pervane ikilisinin test verileri incelenerek istenilen kaldırma kuvvetinin hangi değerlerde elde edildiği incelenerek bu özellikte bir bataryanın kullanılması gerekmektedir. Batarya seçimini etkileyen 3 farklı batarya özelliği bulunmaktadır:

3.2.3.1. Gerilim Değeri (V)

Denemeleri gerçekleştirilecek olan İHA tasarlanırken, motor ve pervanenin test verileri incelenmiş ve en uygun volt değeri 22,2 V olarak belirlenmiştir (Li-Po piller 3.7 volt gerilime sahip hücrelerin paralel olarak bağlanmasından oluşmakta ve her bir hücre "S" ile, 22,2 V'luk bir batarya ise 6S olarak adlandırılmaktadır).

3.2.3.2. Akım Değeri (A)

Seçilecek bataryanın gerilimi belirlendikten sonra İHA'nın ne kadar süre havada

kalması gerektiğinin belirlenmesi ve bu değer için, motor-pervane test verilerinde elde edilen ve %60-75 gaz keleşbeğı açıklığında İHA'nın çekeceğı akım miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Denemelerde İHA'nın maksimum 3.5 metre yükseklikten uğabilmesinde bu yüksekliğe ulaşabilmesi için kumanda gaz keleşbeğı açıklığı %60-75 arasında olmaktadır. Test verilerinde belirlenen akım değeri, İHA'nın bir saatte tükettiğı ortalama akım miktarını göstermektedir. Prototipte kullanılacak 4 motor için bu değeri toplam 100 Amper olarak motor üretici katalogundan hesaplanmıştır (Şekil 3.23). İHA'da kullanılacak diğeri elektronik parçaların bir saatte kullandığı akım da toplam 8,5 A olarak hesaplanmıştır (Pompa:6A, Uçuş Kartı:2.5A). İHA'nın saatlik toplam olarak bataryadan çektiğı akım miktarı ortalama 108.5 A olarak belirlenmiştir.

Li-Po bataryalarda akım miktarı arttıkça, bataryanın ağırlığı da artmaktadır. Motor-pervane ikilisinin kaldırabileceğı maksimum yük sınırını aşmamak için 16000 mAh'lık bir 6S li-Po batarya tercih edilmiştir. İHA'nın saatlik olarak tükettiğı 108.5 A'lık akım ile yüklü İHA (ort. 8 kg) ortalama 8,7 Dakika havada kalabileceğı hesaplanmıştır.

3.2.3.3. Maksimum Anlık Akım Değeri (C)

Li-Po bataryalardaki C değeri pilin akımı ile çarpıldığında Li-Po'nun anlık olarak vereceğı akım değeri ortaya çıkmaktadır. Prototipte kullanılan Li-Po'nun C değeri 35'tir. Bu değeri pilin akımı olan 16A ile çarpıldığında prototipin anlık akımı 560 A olarak bulunmaktadır. Bu değerin İHA'nın gaz keleşbeğinin %100 konumda iken çektiğı akım ve diğeri elektronik bileşenlerin çektiğı akımlar toplamından fazla olması gerekmektedir. Bu sayede ani hızlanmalar ve manevralar anında pilden çekilecek akımın yükselmesi ile pil ısınmadan çalışmakta ve daha uzun süre performansı düşmeden kullanılabilir.

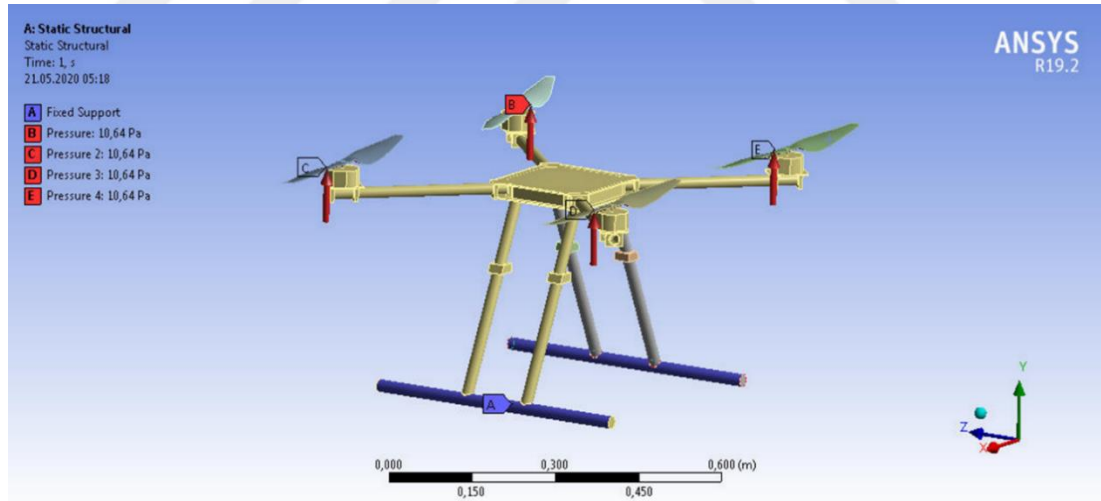
3.2.4. ZİHA İskeleti ve Seçilen Parçaların İskelete Montajı

ZİHA iskeletinin yapımında 18x0.2 karbon fiber borular ve 20x20x0.2 karbon fiber levhalar kullanılmıştır. Parçalar CAD programında çizilmiş ve Şekil 3.30'daki gibi bağlantı elemanları ile montajlanmıştır.



Şekil 3.30. ZIHA montajı

Montajlama sırasında prototipin CAD modeli, pervanelerin maksimum kaldırma kuvvetinde stabil bir şekilde kalması ve pervane kollarına gelen yüke dayanıklı olması için FEM analizlerine tabi tutulmuştur (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. ZIHA iskeletinin FEM analizi için kuvvet yükleme noktaları

Analizler sonucunda maksimum gerilme ve deformasyonun olduğu bölgeler belirlenerek, bu bölgelerdeki bağlantı elemanları güçlendirilmiştir (Şekil 3.32 ve Şekil 3.33).

A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1
 22.05.2020 08:17

0,4299 Max
 0,37616
 0,32243
 0,29556
 0,26869
 0,24182
 0,21495
 0,18808
 0,16121
 0,13434
 0,10748
 0,080607
 0,053738
 0,026869
2,0581e-16 Min

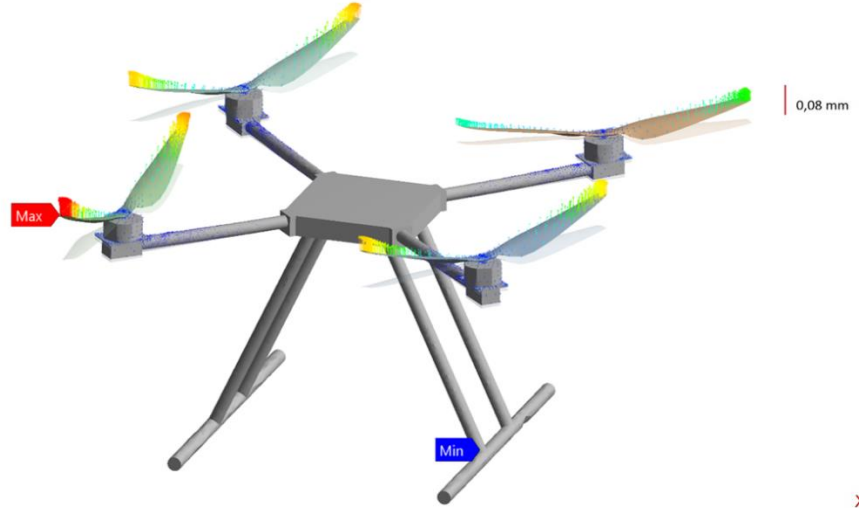


0,00 150,00 300,00 450,00 600,00 (mm)

Şekil 3.32. ZIHA iskeletinin stres noktalarının belirlenmesi

A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 22.05.2020 08:20

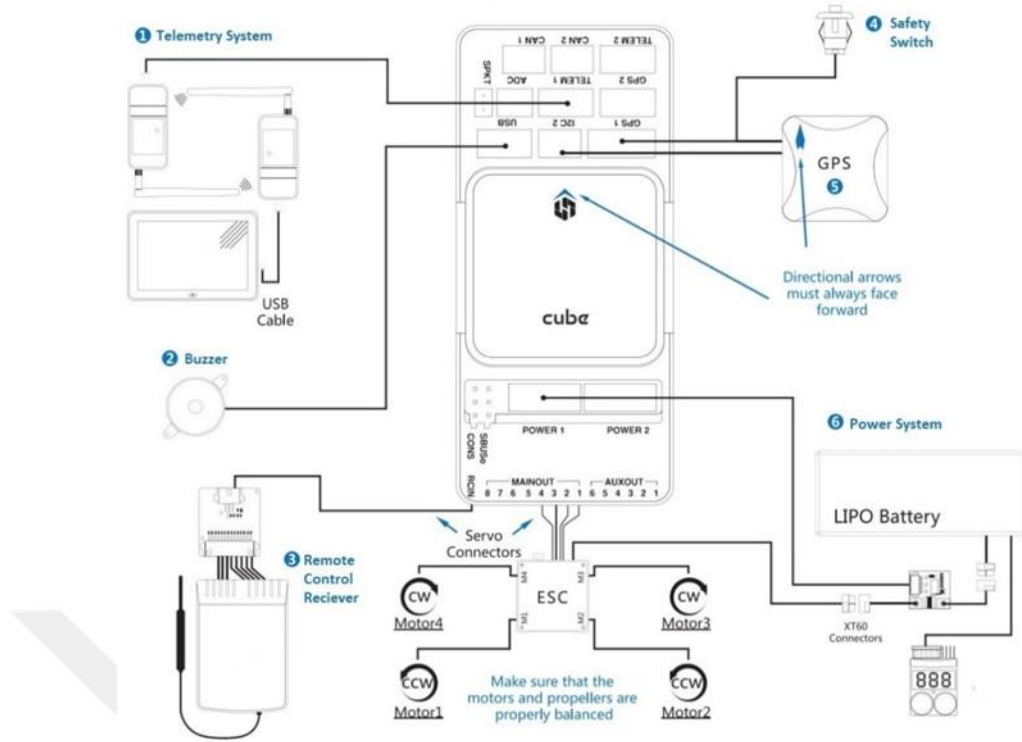
0,090532 Max
 0,083568
 0,076604
 0,06964
 0,062676
 0,055712
 0,048748
 0,041784
 0,03482
 0,027856
 0,020892
 0,013928
 0,006964
0 Min



0,00 150,00 300,00 450,00 600,00 (mm)

Şekil 3.33. ZIHA iskeletinin deformasyon noktalarının belirlenmesi

ZIHA iskeletinin montajı tamamlandıktan sonra, elektronik parçalar ZIHA üzerindeki yerlerine monte edilmiştir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. ZİHA elektronik aksam montajı

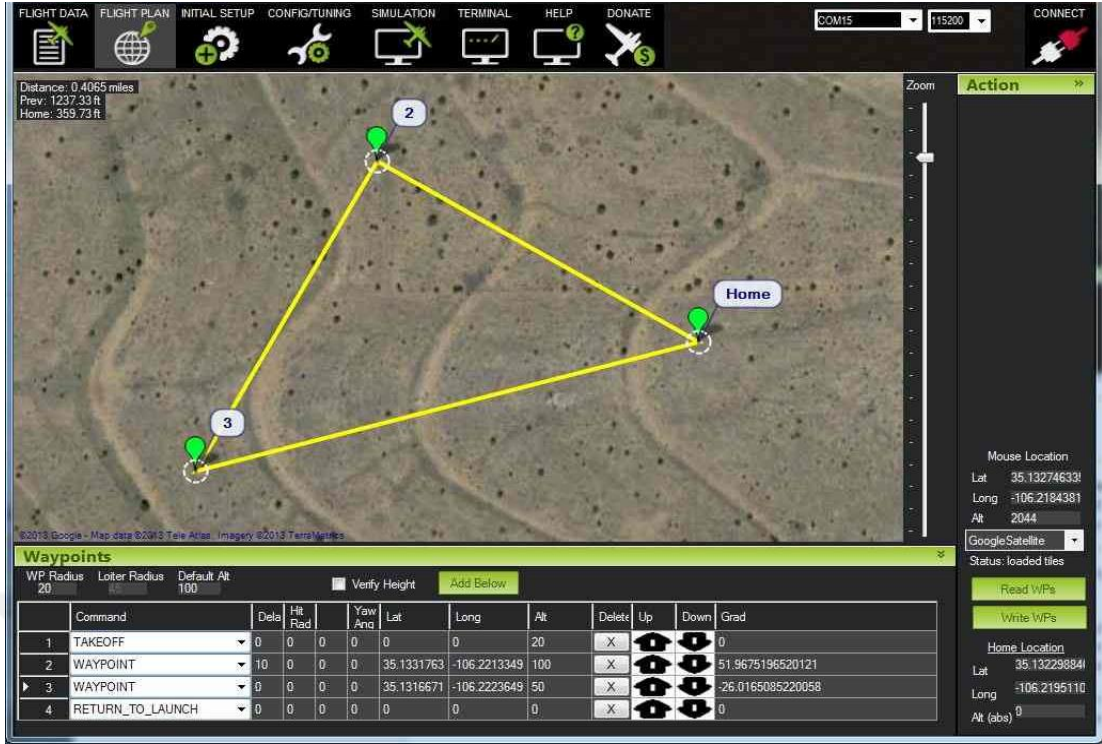
3.2.5. ZİHA Kalibrasyonları ve Uçuş Rotası Belirleme

ZİHA'nın iskeleti ve elektronik parçaların montajı tamamlandıktan sonra, ZİHA'nın uçuş kontrol kartına uçuş yazılımı yüklenerek kalibrasyonlarına başlanmıştır.

3.2.5.1. Yer İstasyonu

Yer istasyonları, insansız hava araçlarının istenilen parametrelerle otonom veya farklı modlarla kontrol edilmesini sağlayan programlardır. Aracın üzerinde bulunan uçuş kontrol kartından gelen hız, yükseklik, eğim vb. verileri bir ara yüz ile kullanıcıya sunmaktadır. Aynı zamanda uçuş sırasında İHA'nın sistem verilerini depolayarak uçuşun daha istikrarlı hale gelmesine yardımcı olacak verilerin depolanmasını sağlamaktadır. Bu sayede uçuş sırasındaki bir aksaklık uçuş sonrası kayıtlar incelenerek düzeltilebilmektedir (ArduPlot-1, 2023).

İmalatı gerçekleştirilecek olan ZİHA'nın otonom olarak uçuşması, uçuş sırasındaki konum, hız, yükseklik gibi verilerin aktarılması ve uçuş sırasında çıkacak hataların kontrolünün yapılması için, açık kaynaklı Mission Planner programı kullanılmıştır. (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Uçuş yazılımı otonom rota oluşturma ara yüzü

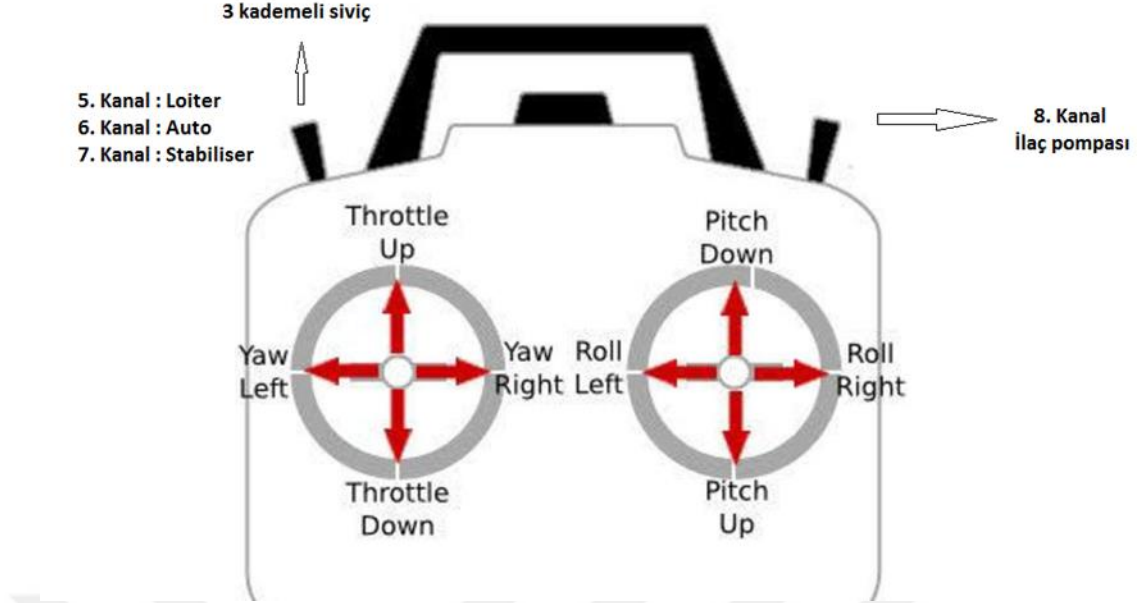
3.2.5.2. ZİHA Donanımlarının Yapılandırılması

a) Temel Hedef

ZİHA donanımlarının yapılandırılması yer istasyonları aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. İstasyonun temel amacı, ZİHA'nın kontrolünün otonom olarak veya manuel olarak yapılması için, ZİHA üzerinde bulunan uçuş kartı aracılığı ile elektronik donanımlar arasında iletişimi sağlayarak, bu birimlerin birbirleri ile uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlayan kalibrasyonların gerçekleştirilmesidir.

b) Girişler

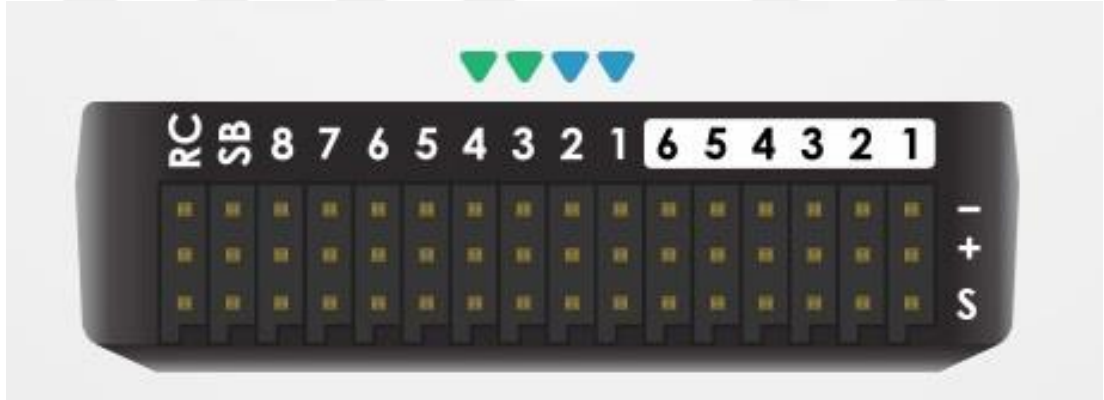
Kontrol girişleri, radyo kontrolörü veya telemetri ile uçuş kartı iletişime geçilerek istenen durum kontrolleri yani ZİHA'nın çalıştırılması, havaya kaldırılması, kendi ekseninde dönmesi, sağa sola öne arkaya gitmesi (Roll/Pitch/Yaw/Throttle) sağlanmıştır. Otonom uçuş için 3 adet uçuş modu (loiter, auto ve stabiliser) kumandanın 5, 6 ve 7. kanallarına tanımlanmıştır (Şekil 3.36). Ayrıca kumandanın 8. kanalına ZİHA'nın pompasına ait ESC tanımlanmıştır. Bu sayede ilaçlama yapılmak istendiğinde 8. kanalda bulunan buton kullanılarak ilaçlama işlemi başlatılabilmiş ve bitirilebilmiştir.



Şekil 3.36. Kumanda üzerindeki kanallar ve görevleri

c) Çıkışlar

Aracı kontrol etmek amacıyla; kumandadan verilen sinyallerin hangi çıkışlara ait olduğu belirlenmiş ve çıkışlardaki fonksiyonların doğru olduğu kontrol edilmiştir.



Şekil 3.37. Uçuş kartı çıkış soketleri

d) Sensörler

ZİHA'nın durum, konum, güç sistemi izleme ve araç hızı gibi verileri, sensörler ile sağlanmaktadır. ZİHA'da bulunan uçuş kartında 3 adet ivmeölçer, 2 adet barometre ve 3 adet jiroskop yerleşik olarak bulunmaktadır. Bu sensörlerin, donanım kurulumu adımı sırasında tek sefere mahsus olmak üzere kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir. Uçuş kartının kalibrasyonlarının ZİHA'ya monte edildikten sonra yapılması önerilmektedir. Ancak aracın boyutu ve şekli bunu zorlaştırdığı için, kart monte

edilmeden önce kalibre edilmiştir.

Yer istasyonuna bağlanan uçuş kartı kalibrasyon moduna getirilmiştir. Daha sonra sıra ile düz, sağ taraf, sol taraf, burun aşağıda, burun yukarıda ve sırt üstü şekilde konumlandırılmıştır. Her konumda yaklaşık 5 sn hareketsiz beklenerek diğer konuma geçilerek kalibrasyon tamamlanmıştır. Fakat uçuş kartı kalibrasyonu yapıldığı yeri sıfır noktası kabul ettiği için, ZİHA'ya montajında daha yüksek bir konumda yer alacağından dolayı, kalibrasyondan sonra yer istasyonu kullanılarak tekrardan sadece yükseklik kalibrasyonu yapılarak, ZİHA'daki montaj konumu sıfır noktası olarak belirlenmiştir.

e) Çerçeve Tipi Yapılandırması ve Motor-ESC Bağlantıları

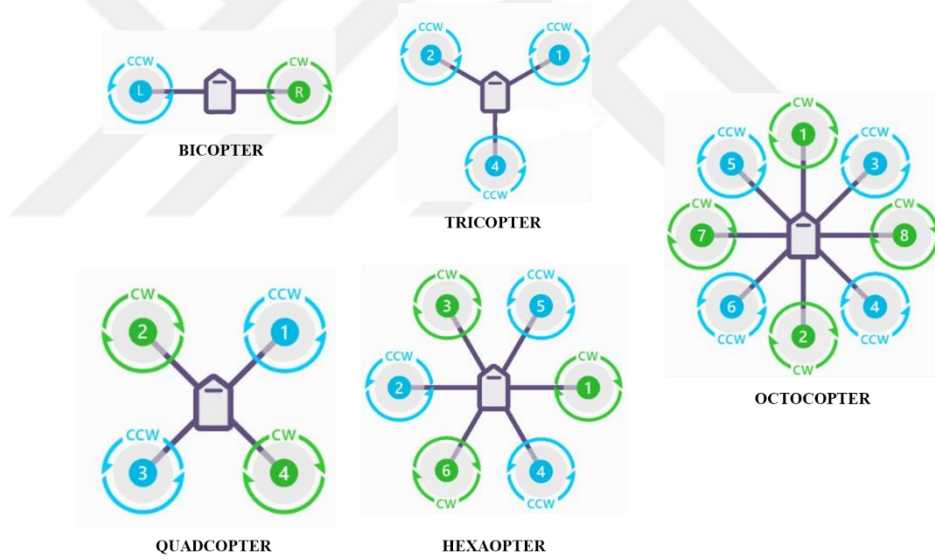
ZİHA'ların tasarımında birçok farklı çerçeve tasarımı kullanılmaktadır. Aracın kullanım yeri, büyüklüğü, ağırlığı, maliyeti, stabilizasyon yeteneği, görünüş vb. nedenlere göre iskelet tasarımı farklılık göstermektedir (Şekil 3.38). ZİHA tasarımı çerçevenin düzenine ve motor / pervane sayısına göre belirlenmektedir. En yaygın kullanılan çerçeve tipleri 4 motorlu (quadcopter), 6 motorlu (hexacopter) ve 8 motorlu (oktocopter) olanlardır. ZİHA'da çerçeve tipi olarak; diğerlerine göre ekonomik olması, istenilen kaldırma kuvvetini üretebiliyor olması ve basit bir yapıya sahip olması nedeni ile 4 motorlu(quadcopter) tipi çerçeve kullanılmıştır.

Pervanelerin dönme eksenleri sabit ve birbirine paraleldir. Ayrıca pervane kanatları sabit-hatvelidir. Pervanelerin sadece açisal hızları değiştirilerek istenen itki değerleri elde edilmektedir. Pervane çiftleri (1,3) ve (2,4) birbirlerine ters yönlerde döndürülmektedir (Şekil 3.38). Pervane hızları değiştirilerek ZİHA'nın yüksekliği ve yanal hareketleri istenen değerlere getirilebilmektedir. Dört pervanenin birden hızlarını arttırmak veya azaltmak düşey ekseninde hareket (irtifa kazanma veya kaybetme) sağlamaktadır. 2 ve 4 numaralı pervanelerin hızlarının ters orantılı olarak değiştirilmesi dönme hareketine, 1 ve 3 numaralı pervanelerin hızlarının ters orantılı olarak değiştirilmesi ise yunuslama hareketine (ön veya arkaya gitme), sebep olmaktadır (Önkol M. 2010).

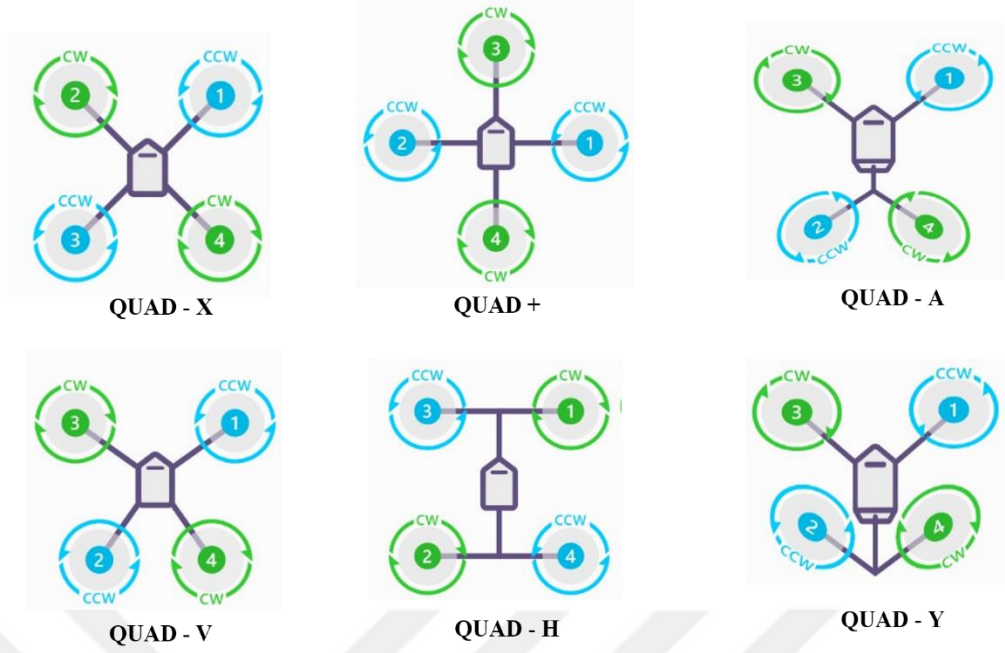
Quadcopterler de kendi aralarında motorların çerçeveye bağlanma şekli olarak farklılık göstermektedir (Şekil 3.39). Bu bağlantı şekilleri arasında açılı motor bağlantıları hariç verim açısından bir fark bulunmamaktadır. Sadece motorların dönme yönleri ve motorların uçuş kartına bağlanma şekli, farklı bağlantı şekillerini oluşturmaktadır. ZİHA tasarımında Quad-X tipi bağlantı şekli kullanılmıştır (Şekil 3.40 ve 3.41).



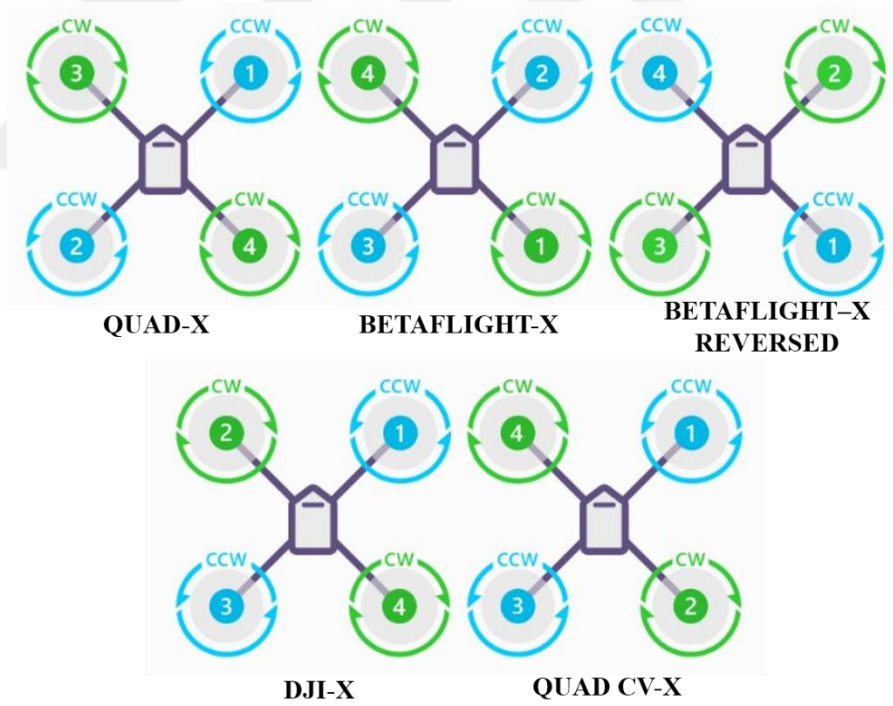
Şekil 3.38. Pervane dönüş yönleri



Şekil 3.39. Farklı tiplerdeki ZİHA motor-pervane yapılandırmaları



Şekil 3.40. Farklı tipte quadcopter yapılandırmaları



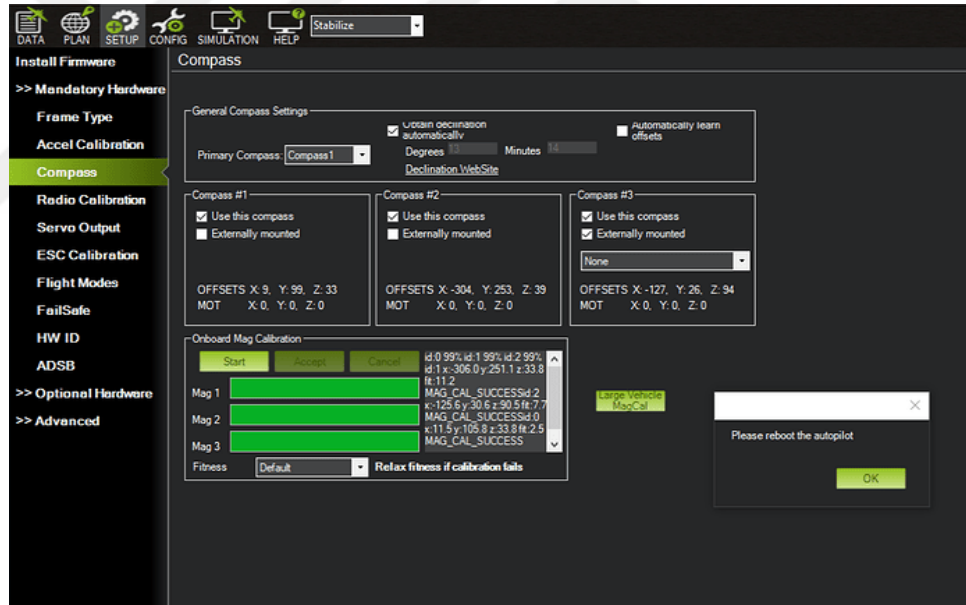
Şekil 3.41. Farklı tipte quad – x yapılandırmaları

f) Pusula Kalibrasyonları

ZİHA pusulaları, metal veya manyetik alan üreten herhangi bir nesnenin (bilgisayar, cep telefonu, metal masa, güç kaynakları vb.) yakınında bulunduğu

durumlarda pusula manyetik alandan etkilenecek şekilde bozulmaktadır. Bu nedenle ZİHA pusulalarının her uygulama öncesi kalibre edilmesi gerekmektedir. Prototip ZİHA’da 3 adet pusula bulunmaktadır. Bunlardan 2 adedi uçuş kartına entegre 1 adedi ise GPS sisteminin harici pusulasıdır. Prototipi oluşturulan ZİHA’nın pusula kalibrasyonu aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir (ArduPlot-2, 2023).

- Uçuş kartı yer istasyonundan pusula kalibrasyon kısmı açılarak uçuş kartı pusulaları ile iletişim kurulmuştur. ZİHA’da bulunan 3 farklı pusulanın iletişim ekranında görüldüğünden emin olunduktan sonra pusula kalibrasyon işlemine başlanmıştır.
- ZİHA 6 yönde (ön, arka, sol, sağ, üst ve alt) sırayla birkaç saniye boyunca yere bakacak şekilde döndürülmüştür. Uçuş kartına pusulaların kalibrasyonunun tamamlandığına dair uyarı ("Lütfen otopilotu yeniden başlatın") gelinceye kadar bu işleme devam edilerek pusulaların kalibrasyonu tamamlanmıştır (Şekil 3.42).



Şekil 3.42. Uçuş kartı pusula kalibrasyon ara yüzü

g) ESC Kalibrasyonları

ESC kalibrasyonları motorların aynı anda dönmeye başlaması ve aynı devirde (RPM)’de dönmeleri için önemli bir kalibrasyon parametresidir. ZİHA’nın ESC kalibrasyon adımları aşağıda sıralanmıştır (ArduPlot-3, 2023):

- Kumanda açılarak ve gaz kolu (throttle) maksimum konuma getirilmiştir.
- Li-Po pil bağlanarak yer istasyonunun kırmızı, mavi ve sarı ledleri döngüsel bir düzende yanıp sönene kadar beklenmiştir.

- Verici gaz kelebeği çubuğu hala yüksekten pilin bağlantısını kesilerek yeniden bağlanmıştır.
- GPS üzerinde bulunan güvenlik anahtarı üzerindeki ledler sabit kırmızı yanıncaya kadar düğmeye basılarak uçuş kartı* ESC kalibrasyon moduna geçirilmiştir.
- ESC'lerin müzik tonu, kullandığımız Li-po pilin hücre sayısı kadar bip sesi çıkarması beklenmiş (ZİHA'da 6 hücreli li-po kullanılmıştır) ve ardından maksimum gazın yakalandığını belirten ek iki bip sesinin çıkması beklenmiştir.
- Belirtilen bip seslerinden sonra vericinin gaz kolu minimum konumuna kadar çekilmiştir.
- ESC'lerin daha sonra minimum gazın yakalandığını ve kalibrasyonun tamamlandığını belirten uzun bir ses çıkarması beklenmiştir.
- Kalibrasyonun başarılı olduğunu gösteren uzun ses duyulunca, gaz kelebeğini biraz yükseltip ardından tekrar indirerek motorların döndüğü test edilmiştir.
- ESC kalibrasyon modundan çıkmak için gaz minimuma indirilip ve pil bağlantısı kesilerek kalibrasyon tamamlanmıştır.

h) Arıza Güvenlikleri

ZİHA'nın kontrolünün kaybedilmesi durumunda aracın kurtarılmasını kolaylaştırmak ve kontrolsüz bir şekilde farklı yönlere gitmesini önlemek için bir dizi arıza güvenliği mekanizması ayarlamaları yapılmıştır. Ayarlanan arıza güvenliği konuları aşağıda listelenmiştir

Radyo ve GPS Arıza Koruması: ZİHA'nın kumanda ile bağlantısının kesilmesi veya GPS ile bağlantısının kesilmesi durumunda ZİHA konum koordinatlarını depolayarak kalktığı yere geri dönmesi sağlanmıştır (RTL).

Pil Arıza Koruması: ZİHA'nın pil seviyesi 3.7 voltun altına düştüğü durumlarda hem ZİHA'nın uçuşunu tehlikeye atmamak hem de pilin ısınmasını önlemek için kalktığı yere geri dönmesi için ayarlanmıştır.

Titreşim Güvenliği: ZİHA'nın dönen parçalarının oluşturduğu titreşimin 30 birimin üzeri çıkması durumlarda ZİHA'nın kalktığı konuma geri dönmesi için ayarlanmıştır.

Ölü Motor Kalkış Önleme: ZİHA kullanılan motorlardan birinin herhangi bir arıza nedeni ile dönmemesi veya yavaş dönmesi gibi durumlarda ZİHA'nın uçuşu önlenerek, kalkışta kırıma uğramasının önüne geçilmiştir.

3.2.5.3. Uçuş Kalibrasyonları

Uçuş sırasında meydana gelen ani sapmalar, dönmeler ve yükselmelerin olması ZİHA'nın mekanik (motor, pervane,) ve elektronik parçalarında (GPS, pusula vb.) veya güç sistemlerinde (batarya) bir sorun olduğunun göstergesidir. ZİHA'nın güvenli ve istikrarlı olarak uçuşması için bu hataların kaynaklarının belirlenmesi ve düzeltilmesi gerekmektedir. Bunun için uçuş sonrası ZİHA'nın uçuş günlükleri (LOG ve TLOG) incelenmiştir. Uçuş günlüklerindeki değerlerin, uçuş kontrol kartı yazılımının sunduğu dokümanlardaki aralıklara göre olup olmadığı kontrol edilerek uygun hale getirilmiştir (ArduPlot-4, 2023).

a) Mekanik Arızalar

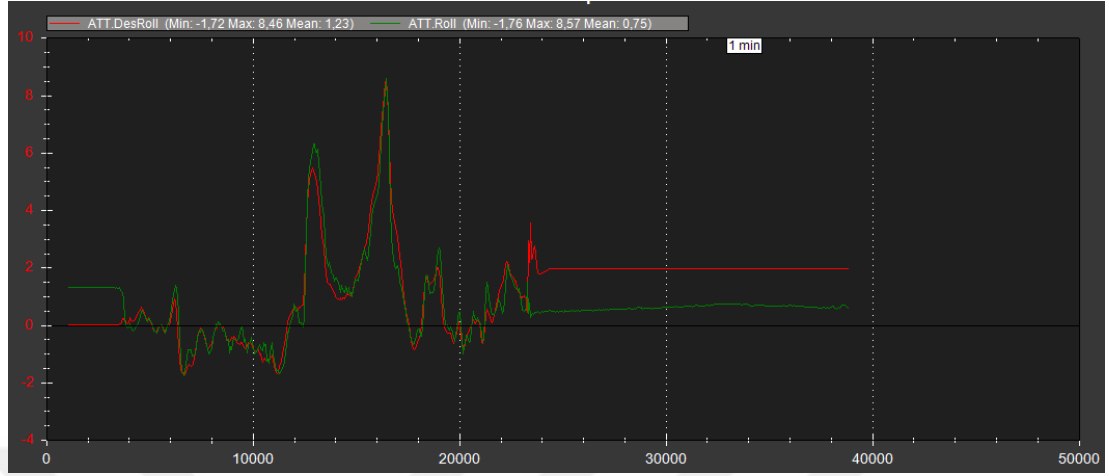
Yaygın mekanik arızalar arasında motor veya ESC arızası, pervanenin kırılması veya çıkması vb. sorunlar yer almaktadır. Bunlar, uçuş günlüklerinde, istenen dönüş ve eğim ile aracın gerçek dönüş ve eğimi arasında ani bir sapma olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.43). Şekilde Roll IN olarak gösterilen İHA'nın dönmek istediği yön ve Roll olarak gösterilen gittiği yönün grafiğin sonuna doğru farklılık oluşturduğu görülmektedir. Bu gibi durumlarda İHA'nın mekanik sistemlerinin istenilen şekilde çalışıp çalışmadığının kontrol edilerek düzeltilmesi gerekmektedir.

Şekil 3.43.'de mekanik arızası olan bir İHA'nın uçuş günlüğü gösterilmiştir. Grafikte Roll (kendi ekseninde dönme) parametresinin uçuşun sonuna doğru yükselip alçalarak doğrusallıktan saptığı görülmektedir. Bu tip sapmalar ZİHA'da kırma neden olabilmektedir.



Şekil 3.43. Mekanik arızalı bir İHA'ya ait uçuş günlüğü

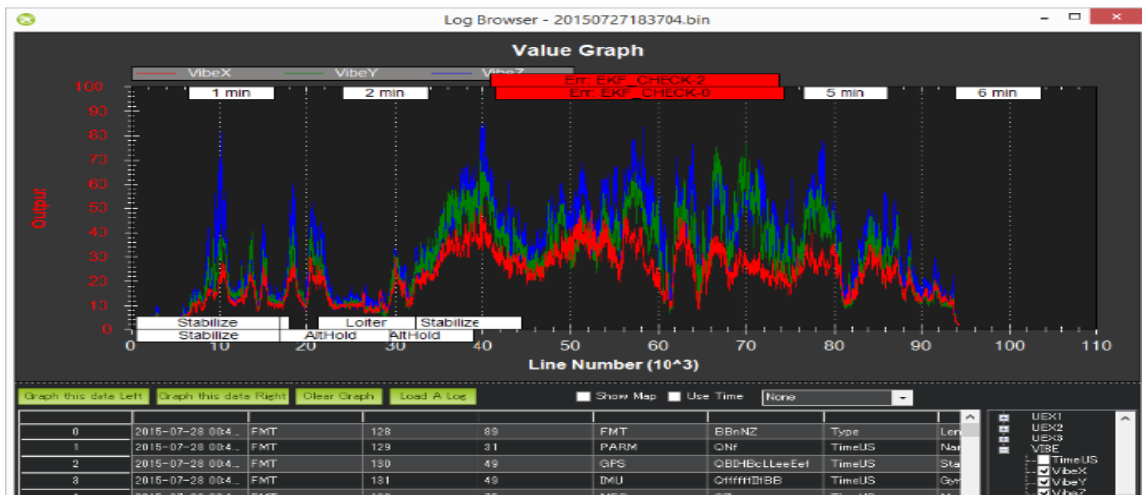
Şekil 3.44.'de ise prototip ZİHA'nın uçuş testlerinde alınan uçuş günlükleri gösterilmektedir. Şekil 3.44.'den Roll ve DesRoll parametrelerinin paralel şekilde hareket ettiği görülmektedir.



Şekil 3.44. Prototip ZİHA'nın mekanik arıza kontrolü için uçuş günlüğü

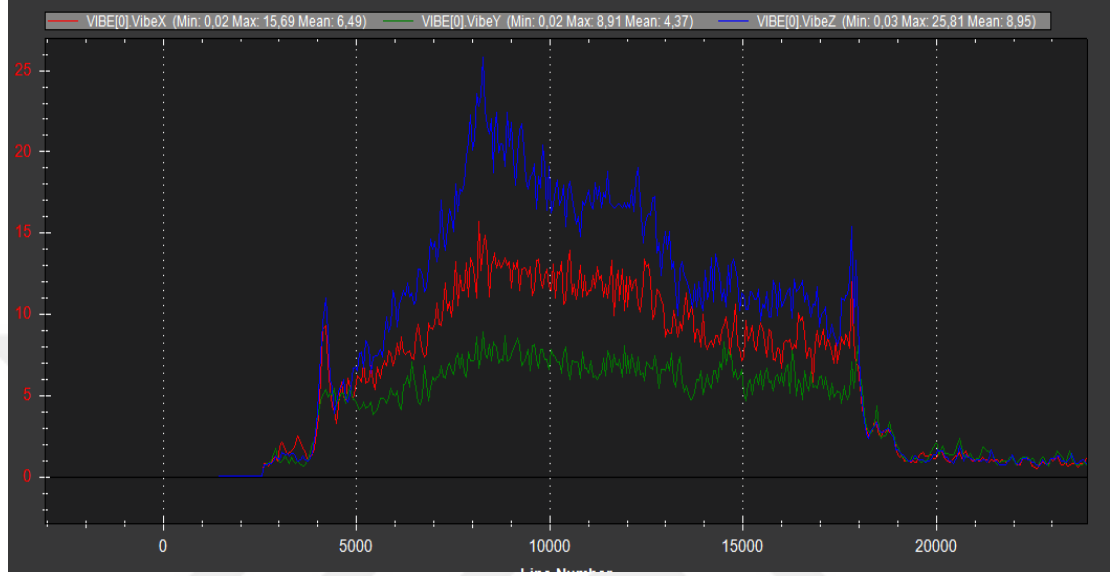
b) Titreşimler

Yüksek titreşimler, İHA'nın ivmeölçer tabanlı yükseklik ve yatay konum tahminlerinin gerçeklikten uzaklaşmasına neden olabilmekte ve bu da irtifa tutma (araç gökyüzüne fırlayabilir) veya Loiter, AltitudeHold, Auto vb. modlarda konum kontrolünde sorunlara yol açmaktadır. 30 birimin altındaki titreşim seviyeleri normalde kabul edilebilmektedir. 30 birimin üzerindeki düzeylerde sorunlar yaşanabilmekte ve 60 birimin üzerindeki düzeylerde irtifada tutunamayarak kırım gerçekleşmektedir (ArduPlot-5). Şekil 3.45'de titreşimi yüksek bir ZİHA'dan alınan titreşim grafiği görülmektedir.



Şekil 3.45. Titreşim arızasına sahip bir İHA uçuş günlüğü

Prototip ZİHA'nın titreşimleri uçuş günlüklerindeki VIBE mesajının VibeX, VibeY ve VibeZ değerlerinin grafiği çizilerek görüntülenmiş ve stabil bir uçuş için gerekli sınırlar arasında olup olmadığı kontrol edilmiştir (Şekil 3.46). Titreşimin Uçuş kartını etkileyerek uçuş kartına entegre IMU sistemlerini bozmaması için, uçuş kartının altına titreşim sönümleyici yerleştirilmiştir.



Şekil 3.46. Prototip ZİHA'nın titreşim ölçümü için uçuş günlüğü

c) Pusula Hataları

Uçuş kartı yakınındaki güç dağıtım panosu, motorlar, akü, ESC'ler ve diğer elektrikli cihazlardan kaynaklanan parazit, pusula yönünü saptırabilmekte ve bu durumda daire çizmeye veya İHA'nın tamamen yanlış yönde uçmasına neden olabilmektedir. Uçuş günlüklerinin 'mag field' kısmından, parazit miktarını hızlı bir şekilde görüntülenerek ZİHA'nın pusula hataları kontrol edilmiştir.

Aşağıdaki grafik, gaz kelebeği kaldırıldığında yalnızca %10 ile %20'lik manyetik alan dalgalanmalarıyla kabul edilebilir miktarda manyetik girişim göstermektedir. %30'un altında sıçramalar kabul edilebilmektedir. %30 ~ %60 arası gri bölge olup, burada sorun olmadığı belirtilmiştir (ArduPlot-6, 2023). %60'ın üzerinde sıçramalar uçuşu engelleyen sıçramalar olarak görülmektedir (Şekil 3.47).



Şekil 3.47. ZİHA pusula hataları

Şekil 3.47’deki grafiğin başlangıcında kısa bir ani sıçrayış görülmektedir. Ancak bu sıçrayış, gaz keleşği kaldırılmadan önce meydana gelmiş ve muhtemelen kullanıcının başka bir elektrikli cihaz taşımaması veya telefonunun çalması gibi bir durumdan kaynaklanmış olabilmektedir.

d) GPS Hataları

Otonom modlarda (Loiter, RTL, Auto, vb.) GPS’ten kaynaklanan konum hataları, aracın aniden yanlış yerde olduğunu düşünmesine neden olabilmekte ve algılanan hatayı düzeltmek için agresif uçuşa yol açabilmektedir. Bu aksaklıkla hem tlog’larda hem de dataflash log’ların da görünen uydu sayısında azalma ve hdop’ta artış olarak ortaya çıkmaktadır.

Dataflash günlüğünün GPS mesajının “HDop” ve “NSats” değerlerinin grafiği incelendiğinde, 1,5’un altındaki Hdop değerleri çok iyi, 2,0’ın üzerindeki değerler GPS konumlarının iyi olmadığını göstermektedir. Uydu sayısının 12’nin altına düşmesi de istenmeyen bir durumdur. Bu iki değerdeki önemli bir değişiklik genellikle GPS konumu değişikliğine eşlik etmektedir. Şekil 3.48’de GPS hatası mevcut bir İHA’nın uçuş günlükleri gösterilmiştir. Uydu sayısının çoğunlukla 10 adet altında olduğu görülmektedir.



Şekil 3.48. GPS hatasına sahip bir İHA'ya ait uçuş günlüğü

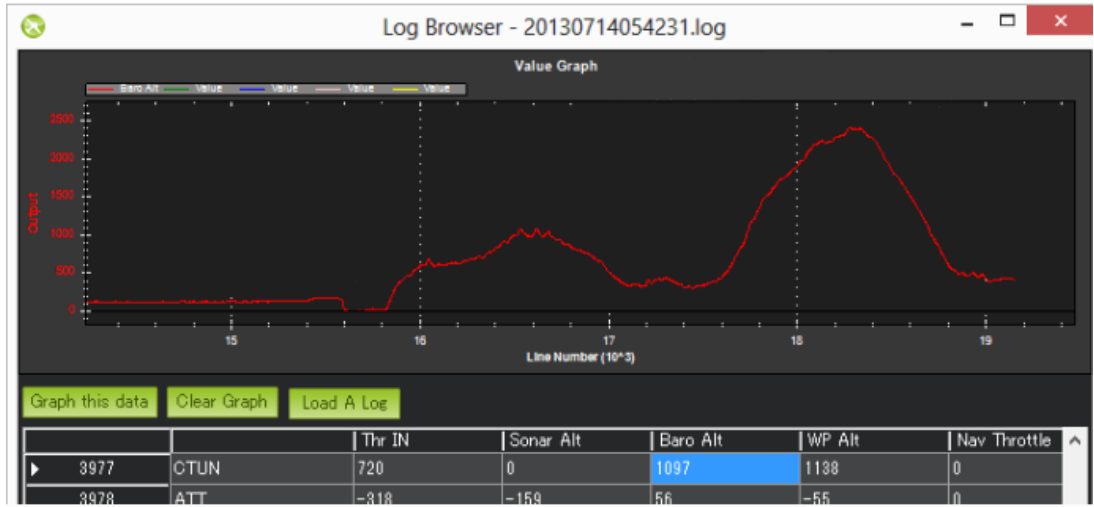
Şekil 3.49.'da ise ZİHA prototipinin deneme uçuşlarında belirtilen rotayı takip ederken bağlandığı uydu sayısını göstermektedir. ZİHA uçuşlarda en az 15 adet uyduya bağlı olarak uçuşunu gerçekleştirmiştir. Bu durum ZİHA'nın verilen rotadan minimum şekilde sapması ve istenen rotada ilaçlama yapması anlamına gelmektedir.



Şekil 3.49. Prototip ZİHA'nın GPS uçuş günlükleri

e) Güç Sorunları

Güç Modülünde (PM)'de ara sıra elektrik sorunları meydana gelmektedir. Normalde araç havadayken aniden sona eren kayıtlardan tanınabilmektedirler (örn. barometre irtifası hâlâ aracın irtifasının sıfırın çok üzerinde olduğunu bildiriyor) (Şekil 3.50).



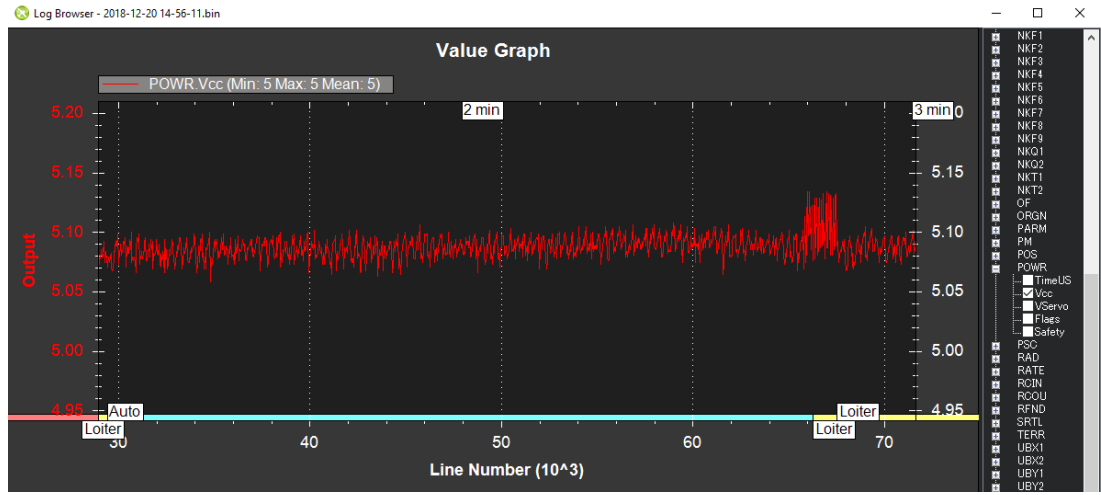
Şekil 3.50. Güç sorunu olan bir İHA'ya ait uçuş günlüğü

Kart voltajındaki değişiklikler, aynı zamanda bir güç sorununun işareti de olabilmektedir. 0,10 ile 0,15 volt arasındaki değişimler normal kabul edilmektedir. Bunun ötesinde, güç kaynağını uçuş kartı (FB) ile paylaşan diğer cihazların, güç kaynağında kesintiye yol açabilecek dalgalanmalara neden olduğunun bir işareti olabilmektedir (Şekil 3.51).



Şekil 3.51. İHA güç sorunları

Aşağıda 0,1 volttan düşük dalgalanmalarla çok kararlı bir voltaj grafiği görülmektedir (Şekil 3.52).



Şekil 3.52. İHA voltaj sorunları 2

3.2.5.4. Otonom Uçuş ve Uçuş Rotası Belirleme

İmalatı, montajı ve uçuş kalibrasyonları tamamlanan ZİHA ile yapılan denemelerin sonuçlarının doğruluğunu artırmak, gerçekleştirilecek olan denemelerde operatör hatalarının önüne geçmek için ZİHA'nın otonom olarak istenen koordinatlarda denemeleri gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu nedenle, denemelerde ZİHA otonom modda (auto) çalıştırılarak istenen hız ve yükseklikte denemeler gerçekleştirilmiştir. Bunun içinde ZİHA'nın otonom mod uçuş ayarlarının ve uçuş rotasının ayarlanması gerekmektedir.

3.2.6. İlaçlama Deneme Parametreleri

3.2.6.1. Meme Debilerinin Hesaplanması

Denemelerde her bir memenin debisi, hacmi bilinen bir kaba 2.4 basınçta, 1 dakika boyunca püskürtülmesiyle ölçülmüştür. Bu ölçümler her bir meme için üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve ortalamaları alınarak meme debileri belirlenmiştir.

Tablo 3.31. Kullanılacak memelerin ortalama debisi

Meme Tipi	Basınç (bar)	Debi (lmin ⁻¹)
IDK 120-01	2,4	0,353
LU 120-01	2.4	0,300
TCSI 110-01	2,4	0,348
AD 90-01-C	2,4	0,330

3.2.6.2. ZİHA'nın ilerleme hızı ve uygulama hacminin belirlenmesi

ZİHA uygulamalarında ideal ilerleme hızının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların sonuçlarına göre, en düşük ilerleme hızının 1.5 ms^{-1} 'nin altına, en yüksek ilerleme hızının ise 5 ms^{-1} üzerine çıkılmaması önerilmiştir (Zheng et al, 2017; Hu et al, 2022). ZİHA'nın bum kolunda bulunan 2 adet memenin 2.4 bar basınçta ürettiği toplam debi miktarına ve ZİHA'lar için en uygun uçuş parametrelerinin araştırıldığı çalışmalar ışığında, denemelerde kullanılacak memeler için ilerleme hızı 2.75 ms^{-1} olarak belirlenmiştir. Belirlenen hız ve kullanılan memelerin debilerine göre ZİHA'nın uygulayabileceği en düşük uygulama hacmi ortalama 40 lha^{-1} olarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3.2). Denemeler, hesaplanan bu uygulama hacminde gerçekleştirilmiştir. ZİHA ile gerçekleştirilen püskürtme uygulamaları üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, denemelerde kullanılan uygulama hacimlerinin 7.5 lha^{-1} ile 100 lha^{-1} arasında değiştiği görülmektedir (Changfeng et al., 2021; Zhang et al., 2022; Pengchao et al., 2022). Bu değişiklikler, kullanılan ZİHA'nın özelliklerine (maksimum-minimum hız, meme adedi, pompa basıncı vb.) ve püskürtme parametrelerine (ilerleme hızı, uçuş yüksekliği, meme çeşidi, zararlı türü vb.) göre değişiklik göstermektedir. ZİHA'ların verimli olabilmesi için düşük uygulama hacimlerinde püskürtme gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Wang et al., 2019). Fakat çok düşük uygulama hacmi yüksek ilerleme hızı veya yüksek uçuş yükseklikleri gerektirmektedir. Bu iki parametrenin de sürüklenmeyi artırdığı bilindiği için en ideal ilaçlama hacmi, kullanılan ZİHA'nın özellikleri ve püskürtme parametrelerine göre belirlenmektedir. Protoip ZİHA'ya ait teknik özellikler Şekil 3.53'te gösterilmiştir.

Denemelerde 4 farklı yelpaze huzmeli meme kullanılmış ve deneme boyunca uygulama hacmi her bir tekerrür için ortalama 40 lha^{-1} olarak alınmıştır. ZİHA'nın püskürtme parametreleri Eşitlik 3.2. ile hesaplanmıştır (Sağlan ve Tobi, 2014) (Tablo 3.32).

$$Q = \frac{B.V.N}{600} \quad (3.1)$$

V: İlerleme hızı (kmh^{-1})

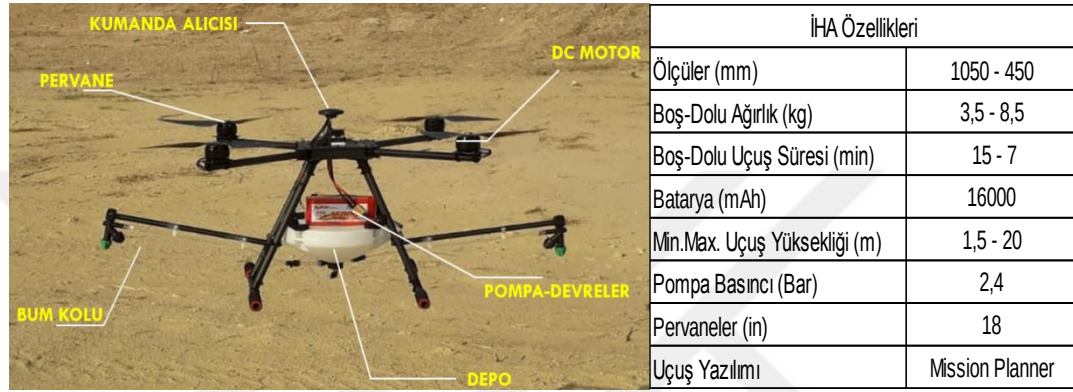
Q: Toplam meme debisi (lmin^{-1})

B: İş genişliği (m)

N: Uygulama hacmi (lha^{-1})

Tablo 3.33. Meme tiplerin deneme sırasındaki uygulama parametreleri

Meme Tipi	Basınç (bar)	Ort. Debi (lmin ⁻¹)	Uygulama Hacmi (lha ⁻¹)	İlerleme Hızı (kmh ⁻¹)
IDK 120-01	2,4	0,706	40	10
LU 120-01	2,4	0,700	40	10
TCSI 110-01	2,4	0,696	40	10
AD 90-01-C	2,4	0,660	40	10



Şekil 3.53. Denemelerde kullanılacak zirai insansız hava aracı ve özellikleri

3.2.6.3. ZİHA'nın püskürtme yüksekliğinin belirlenmesi

ZİHA'nın ideal püskürtme yüksekliğini ortaya çıkarmak amacı ile yapılan çalışmalarda, püskürtme yüksekliklerinin bitki kanopisi üstünden 1 m ve 4 m arasında değiştiği görülmektedir (Hu et al., 2022; Pengchao et al., 2020; Wang et al., 2019). Bazı çalışmalar püskürtme yüksekliğinin hedef bitki kanopisi üzerinden minimum 1 m maksimum 2 m aralığında olması gerektiğini önermiştir (Yaozong et al., 2022). Denemelerde kullanılacak uygulama parametrelerine (uygulama hacmi, toplam debi, meme çeşidi, memeler arası mesafe, meme adedi, ilerleme hızı) ve incelenen çalışmalara göre ideal ilaçlama yüksekliğinin, püskürtme yapılacak bitki kanopisinin ve kullanılacak örnekleme direklerinin 1 m üstü olarak belirlenmiştir. (Püskürtmede kullanılacak örnekleme direklerinin boyu 2 m ve bitkilerin boyu ise ortalama 75 cm'dir. Buna göre, püskürtme işlemi 1 m yukarıdan gerçekleştirilmiştir. Diğer bir ifadeyle örnekleme direkleri için yerden 3 m, bitki içinse yerden 1.75 m yükseklikten püskürtme gerçekleştirilmiştir.

3.2.6.4. Damla Örnekleme Yöntemi

Denemelerde örnekleme yöntemi olarak örnekleme direkleri üzerine yerleştirilen 26×76 mm ölçülerinde suya duyarlı kartlar (WSP, Novartis, Syngenta Crop Protection, Basel, CH) kullanılacaktır. Örnekleme direkleri ve WSP'ler, ilaçlama memelerinin damla karakterizasyonu ve ilaçlama performansının ölçülmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. (Fiaz et al, 2023; Mat et al, 2018; Wang et al, 2019; Changfeng et al, 2021)

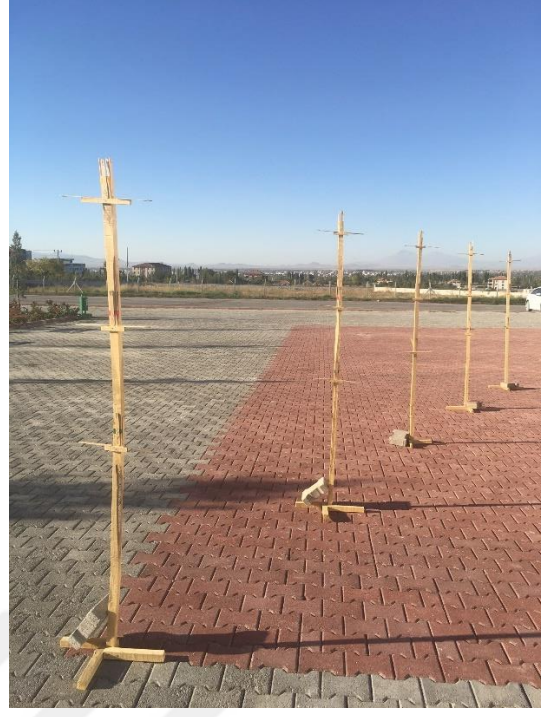
3.2.6.5. İklim Verileri

Örnekleme direkleri ile denemelerin gerçekleştirildiği alanda ortalama hava sıcaklığı 15°, ortalama rüzgâr hızı 4.9 kmh⁻¹ ve ortalama bağıl nem %75 olarak ölçülmüştür. Brokoli denemelerinin gerçekleştirildiği alanda ise, ortalama hava sıcaklığı 19°, rüzgâr hızı 4 kmh⁻¹ ve bağıl nem %68 olarak ölçülmüştür.

3.2.7. Deneme Uygulamaları

3.2.7.1. Örnekleme Direkleri

Damla örnekleme için püskürtme uygulamaları örnekleme alanına yerleştirilen 5 adet direk üzerine yerleştirilen WSP'ler ile gerçekleştirilmiştir. WSP örnekleri 200 cm boyunda (3x3cm) ebatında kesilen ahşap çiteler üzerinde yukarıdan aşağı doğru 50 cm aralıklarla; arka, ön, sağ, sol ve yatay konumda olmak üzere beş farklı yönde klipslerle tutturulmuştur. Her bir çitede 15 adet olmak üzere, bir tekerrürde toplam 75 adet WSP kullanılmıştır (Şekil 3.54, 3.55 ve 3.56). Denemelerin her biri üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. ZİHA ile direklerin 1 m üzerinden püskürtme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonunda WSP'ler toplanıp sınıflandırılarak kilitli poşetlere konulmuştur (Changfeng et al., 2021).



Şekil 3.54. Örnekleme direkleri



Şekil 3.55. ZİHA'nın uçuşa hazırlanması



Şekil 3.56. ZİHA'nın örnekleme direkleri üzerinden uygulama gerçekleştirmesi

3.2.7.2. Brokoli Bahçesi Denemeleri

Püskürtmelerde 9 adet örnekleme direğinin alt ve üst kısmına 50 cm aralıklar ile yatay ve dikey (sağ, sol, ön ve arka) olmak üzere 5 farklı konumda WSP'ler yerleştirilmiştir (Şekil 3.57). Bu direkler 100 cm araklıklar ile brokoli bahçesine sabitlenmiştir (Şekil 3.57). Daha sonra ZİHA ile bitki kanopisinin 1 m üzerinden ZİHA ile püskürtme uygulaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.59). Uygulama yapılacak alandaki brokolilerin ortalama boyları 75 cm'dir. Uygulamalar 3'er tekerrürlü olarak

gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonunda WSP'ler toplanarak sınıflandırılıp, bilgisayara aktarılmak üzere hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.60).



Şekil 3.57. Brokoli bitkisinin kanopisine yerleştirilecek olan örnekleme direklerinin hazırlanması



Şekil 3.58. Örnekleme direklerinin bitki kanopisine yerleştirilmesi



Şekil 3.59. ZİHA ile brokoli bahçesinde uygulamaların gerçekleştirilmesi



Şekil 3.60. Uygulama sonrası WSP'lerin toplanması ve sınıflandırılması

Not: Yapılan bütün uygulamalarda damlacıkların sürüklenmesi ihmal edilmiştir. ZİHA'nın ilaç sürüklenmesi üzerine çalışmalar, sürüklenme önleyici olduğu düşünüldüğü bir ZİHA modifikasyonu (pervane çeperli ve elektrostatik memeye sahip) ile ve farklı bir deneme setiyle gerçekleştirilmiştir.

3.2.8. Deneme Verilerinin Sayısallaştırılması

3.2.8.1. Örneklerinin Taranması

Püskürtmeden sonra WSP'ler kuruması için 15-20 dakika bekletilmiştir. Kuruyan örnekler, konularına göre zarflara konularak sınıflandırılmıştır. WSP yüzeyindeki lekeler görüntü işleme yöntemiyle analiz edilmek üzere bir tarayıcıya aktarılarak (HP Officejet Pro X476dw MFP) 600 dpi çözünürlükte ve 8 bit (28=256) derinliğinde gri tonlamalı (0-255 aralığında) resim dosyası (*.tif) olarak bilgisayara kaydedilmiştir (Changfeng et al, 2021).

3.2.8.2. Görüntü İşleme

Bilgisayarda taranan WSP'ler leke analizinden önce imageJ yazılımı kullanılarak ortalama grilik seviyesi (g) belirlenecektir. Daha sonra Eşitlik 3.3'e göre ortalama eşik seviyesi (tg) hesaplanacaktır. (Sanchez and Medina, 2004). Eşik uygulamasından sonra hesaplanan değere göre ikincil görüntüler elde edilecektir. Elde edilen ikincil görüntüler depositscan yazılımı ile lekelerin damla yoğunluğu (adet/cm² yüzeyi kaplama oranı (%)) ve Dv_{0.5} çap değerleri(μm), Eşitlik 3.4 yardımıyla hesaplanacaktır (Sayıncı, 2020; Martinez et al., 2020).

$$Tg = 0.38g + 78.75 \quad (3.3.)$$

Püskürtme uygulamalarında WSP'ler üzerindeki damla yoğunluğu oranının doğru olarak tahmin edilebilmesi için yüzey kaplama oranının %30'un altında olması gerekmektedir (Zhu et al., 2011). Bu nedenle, yüzey kaplama oranı %30'un üstünde olan damlalar analiz dışı bırakılmıştır.

Uygulamada damlalar belirli bir hacimde hedefe taşınırken, görüntü işleme yazılımlarında iki boyutlu olarak analiz edilmektedir. Kart yüzeyine taşınan damlalar üst üste binerek veya yan yana bitişik olarak düzensiz bir şekilde leke alanının büyümesine neden olmaktadır. Gerçek damlaya ait olmayan bu lekelerin elenmesi gerekmektedir. Çalışmada, düzensiz lekelerin elenmesi için dairesellik (R) eşitliği kullanılmıştır (Eşitlik 4.4). Bu eşitlik ile bulunan değerlerden 0.8'den küçük olanlar elenmiştir. R değeri 0-1 aralığında değer almakta ve tam dairesellik durumunda değer

1 olmaktadır (Sayinci et al., 2012).

$$R = [(4 \cdot \pi \cdot \text{alan}) / \text{çevre}^2] \quad (3.4.)$$

3.2.8.3. Değişken Belirleme

WSP yüzeylerindeki kaplama oranı, yüzde (%) halinde göstermiştir. WSP yüzeylerindeki leke sayısı (adet) WSP yüzey alanına (cm²) oranlanarak damla yoğunluğu (adetcm⁻²) hesaplanmıştır. Damla ~~ların~~ dağılımındaki farklılıklar damla yüzey kaplama oranına göre değerlendirilmiştir. WSP yüzeylerinde oluşan damla lekelerinin boyutları esas alınarak püskürtülen damlaların Dv_{0.5} çap değerleri hesaplanmıştır (Lou et al 2018).

3.2.9. İstatistik Analiz

Değişkenlerin karşılaştırılması varyans analiziyle (ANOVA) belirlenmiş ve istatistiksel analizler SPSS program (sürüm 20) kullanılarak yapılmıştır. Önemli bulunan faktörlerin ortalamaları arasındaki farklar %95 seviyesinde çoklu karşılaştırma testleriyle (Duncan, Tukey veya Tamhane's T2) belirlenmiştir (Çelik ve Bayhan, 2020).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Örneklem Direkleri Bulguları

4.1.1. Damla Çapının Tahminlenmesi ve Damla Sayısı

Birim alana taşınan damla sayısına (adetcm^{-2}) göre tüm memelerdeki damla çapı ortalamaları Tablo 1’de verilmiştir. Meme tiplerine göre 240 kPa (2.4 bar) sabit işletme basıncında ortalama damla çapı 262-340 μm aralığında tespit edilmiştir. Sabit 40 lha^{-1} uygulama hacminde tüm meme tipleri için birim alana taşınan damla sayısı 50-41 adetcm^{-2} aralığında değişmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Damla sayısı (adetcm^{-2} , Ort $\pm$ SS), damla çapı tahminleri (μm , Ort $\pm$ SS)

	Meme Tipi ¹			
	AD 90-01 C	IDK 100-01	LU 120-01 S	ST 01-110
	Ort. $\pm$ SS	Ort. $\pm$ SS	Ort. $\pm$ SS	Ort. $\pm$ SS
Damla Sayısı (adetcm^{-2})	41* $\pm$ 38	45 $\pm$ 48	60 $\pm$ 45	50 $\pm$ 37
Damla çapı (μm)	340 $\pm$ 115	309 $\pm$ 103	262 $\pm$ 62	277 $\pm$ 106

¹LU: Yüksek etki alanlı yelpaze huzmeli; IDK: Hava emişli yelpaze huzmeli ST: Standart yelpaze huzmeli; AD: Düşük sürüklenme potansiyelli yelpaze huzmeli.

*Ortalamalar yatay konumdaki kartlar üzerinden alınan veriler ile oluşturulmuştur.

4.1.2. Yüzey Kaplama Oranı (%)

Tablo 4.2’de verilen varyans analiz sonuçlarına göre; ZİHA ile yapılan denemelerde, meme tipi ve püskürtme yüksekliği, yüzey kaplama oranını çok önemli düzeyde etkilemiştir. Memeler arası mesafenin yüzey kaplamaya olan etkisi önemsiz bulunmuştur. İkili interaksiyonlara göre, memeler arası mesafe veya püskürtme yüksekliği, yüzey kaplama oranını meme tipine göre çok önemli düzeyde değiştirmiştir. Memeler arası mesafe ve püskürtme yüksekliğinin interaksiyonları önemsiz bulunmuştur. Meme tipi, memeler arası mesafe ve püskürtme yüksekliğinin birlikte etkileşimi ise yüzey kaplama oranını önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$).

Tablo 4.2. Yüzey kaplama oranı varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları***	SD	KO	F	Sigma (p)
Meme Tipi(MT)	3	17,62	4,46	0,004**
Memeler Arası Mesafe (MAM)	1	11,63	2,94	0,087 ^{ns}
Püskürtme Yüksekliği (PY)	2	26,03	6,59	0,002**
MT × MAM	3	143,32	36,29	0,000**
MT × PY	6	66,82	16,92	0,000**
MAM × PY	2	2,36	0,60	0,550 ^{ns}
MT × MAM × PY	6	27,69	7,01	0,000**
Hata	336	3,95		
Genel	360			

*Önemli (p<0.05); ** Çok önemli (p<0.01); ns: Önemsiz

***Karşılaştırmalar yatay konumdaki kartlar üzerinden alınan ortalamalar ile yapılmıştır.

4.1.2.1. Meme Tipinin Yüzey Kaplama Oranına (%) Etkisi

ZİHA ile gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek yüzey kaplama ortalaması LU ve AD tip memelerde bulunmuştur. 120° püskürtme açısına sahip LU tip meme ile 90° püskürtme açısına sahip AD tip memelerin benzer yüzey kaplama oranlarına sahip olması dikkat çekmiştir. Bu benzerliğin memeler arası mesafe değişkeni ile farklılaştığı gözlemlenmiştir. En düşük yüzey kaplama oranına ise IDK tip meme sahip olmuştur. ST tip memenin ortalamasının ise, diğer memeler ile istatistiksel olarak aynı grupta olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Meme tipinin yüzey kaplama üzerine etkisi

Meme Tipi ¹			
AD 90-01 C	IDK 100-01	LU 120-01 S	ST 01-110
Ort.** ± SS	Ort. ± SS	Ort. ± SS	Ort. ± SS
3,96 ^{a*} ± 3,41	2,93 ^b ± 2,19	3,96 ^a ± 3,13	3,39 ^{ab} ± 2,28

¹LU: Yüksek etki alanlı yelpaze huzmeli; IDK: Hava emişli yelpaze huzmeli ST: Standart yelpaze huzmeli; AD: Düşük sürüklenme potansiyelli yelpaze huzmeli.

*Aynı satırda farklı küçük harfler ile gösterilen ortalamalar ile aynı sütunda farklı büyük harfler ile gösterilen ortalamalar (p<0,05) önem düzeyinde farklıdır.

**Karşılaştırmalar yatay konumdaki kartlar üzerinden alınan ortalamalar ile yapılmıştır.

4.1.2.2. Memeler Arası Mesafenin Yüzey Kaplama Oranına (%) Etkisi

AD, IDK ve LU tipi memelerde memeler arası mesafenin, ortalama yüzey kaplama oranına etkisi önemli bulunurken (p<0.05), ST tipi memede önemli bir fark bulunamamıştır. Memeler arası mesafeye göre, AD tipi memede, ZİHA'nın bum kolu üzerindeki memelerin arası 100 cm'den 120 cm'ye çıkarıldığında, yüzey kaplama

oranı önemli düzeyde artmıştır. IDK ve LU tipi memede ise mesafe 100 cm'den 120 cm'ye çıkarıldığında yüzey kaplama oranı önemli düzeyde azalmıştır.

Tablo 4.4. Memeler arası mesafeye göre yüzey kaplama oranı (%) etkisi (Ort±SS)

Meme Tipi ¹	Memeler Arası Mesafe (cm)	
	100	120
	Ort.** ± SS.	Ort. ± SS.
AD 90-01 C	2,29 ^{Cb*} ± 1,13	5,62 ^{Aa} ± 4,08
IDK 100-01	3,86 ^{Ba} ± 2,61	1,99 ^{Cb} ± 1,08
LU 120-01 S	5,38 ^{Aa} ± 3,14	2,53 ^{BCb} ± 2,43
ST 01-110	3,14 ^{BCa} ± 2,18	3,63 ^{Ba} ± 2,37

¹LU: yüksek etki alanlı yelpaze huzmeli; IDK: hava emişli yelpaze huzmeli ST: standart yelpaze huzmeli; AD: düşük sürüklenme potansiyelli yelpaze huzmeli.

*Aynı satırda farklı küçük harfler ile gösterilen ortalamalar ile aynı sütunda farklı büyük harfler ile gösterilen ortalamalar (p<0,05) önem düzeyinde farklıdır.

**Karşılaştırmalar yatay konumdaki kartlar üzerinden alınan ortalamalar ile yapılmıştır.

100 cm meme mesafesinde ST tipi memenin yüzey kaplama ortalaması AD ve IDK ile benzer bulunurken, LU tipi meme diğerlerinden önemli düzeyde farklı ve yüksek bulunmuştur (p<0,05). 120 cm meme mesafesinde ise LU tipi memenin yüzey kaplama ortalaması ile IDK ve ST tipi memelerin ortalamaları arasında fark bulunamazken, AD diğerlerinden önemli düzeyde farklı ve yüksek bulunmuştur. Burada AD tipi memenin memeler arası mesafesi azaldıkça yüzey kaplama oranının diğerlerine göre farklı düzeyde artması dikkat çekmektedir.

4.1.2.3. Püskürtme Yüksekliğinin Yüzey Kaplama Oranına (%) Etkisi

ZİHA'nın püskürtme yüksekliği arttıkça LU tipi memelerde yüzey kaplama oranı önemli düzeyde azalırken, ST tipi memenin kaplama oranı önemli düzeyde artmıştır. AD ve IDK tipi memelerin yüzey kaplama oranlarında ise yükseklik değişiminde istatistik açıdan fark bulunamamıştır. En yüksek yüzey kaplama oranı, 100 cm püskürtme yüksekliği ile LU tipi memede elde edilmiştir. ST tipi memenin yüzey kaplama oranı 100 cm ve 150 cm yüksekliklerde benzer iken 200 cm püskürtme yüksekliğinde artarak istatistik açıdan diğer yüksekliklerden önemli düzeyde farklı bulunmuştur (p<0.05). (Tablo 4.5)

Tablo 4.5. Püskürtme yüksekliğinin yüzey kaplama oranına (%) etkisi (Ort±SS)

Meme Tipi ¹	Püskürtme Yüksekliği (cm)								
	100			150			200		
	Ort.	±	SS	Ort.	±	SS	Ort.	±	SS
AD 90-01 C	3,11 ^{Bb*}	±	1,88	5,10 ^{Aa}	±	3,13	3,65 ^{ABb}	±	4,50
IDK 100-01	3,51 ^{Ba}	±	2,58	3,06 ^{Ba}	±	2,46	2,21 ^{Ba}	±	1,09
LU 120-01 S	6,40 ^{Aa}	±	2,88	3,00 ^{Bb}	±	3,16	2,47 ^{Bb}	±	1,55
ST 01-110	2,80 ^{Bb}	±	2,56	2,79 ^{Bb}	±	1,76	4,57 ^{Aa}	±	2,03

1LU: Yüksek etki alanlı yelpaze huzmeli; IDK: Hava emişli yelpaze huzmeli ST: Standart yelpaze huzmeli; AD: Düşük sürüklenme potansiyelli yelpaze huzmeli.

*Aynı satırda farklı küçük harfler ile gösterilen ortalamalar ile aynı sütunda farklı büyük harfler ile gösterilen ortalamalar (p<0,05) önem düzeyinde farklıdır.

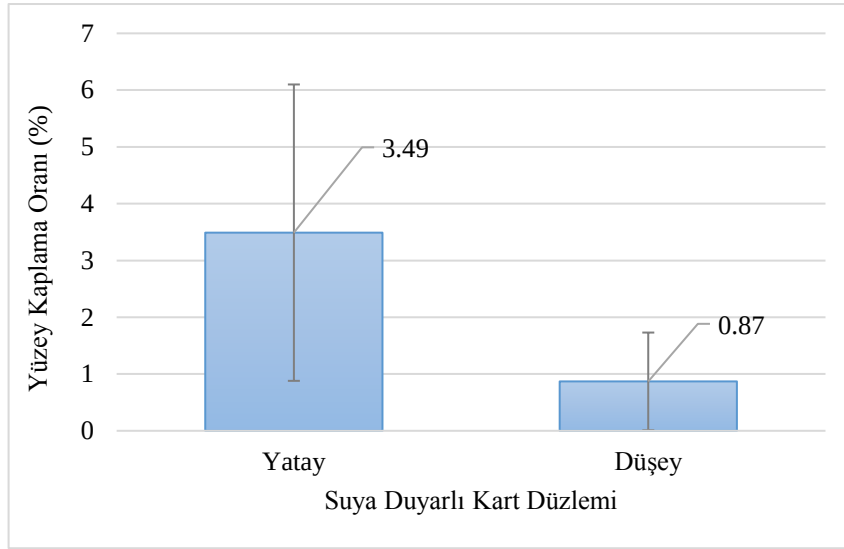
**Karşılaştırmalar yatay konumdaki kartlar üzerinden alınan ortalamalar ile yapılmıştır.

100 cm uçuş yüksekliğinde en yüksek yüzey kaplama oranı diğer memelerden önemli düzeyde farklı olan LU tipi memede bulunurken (p<0.05), diğer meme tipleri arasında istatistiksel açıdan fark bulunamamıştır. 150 cm yükseklikte ise en yüksek yüzey kaplama oranı AD tipi memede elde edilirken, diğer memelerin yüzey kaplama oranları arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. 200 cm püskürtme yüksekliğinde en yüksek yüzey kaplama oranı ST tipi memede tespit edilmiştir.

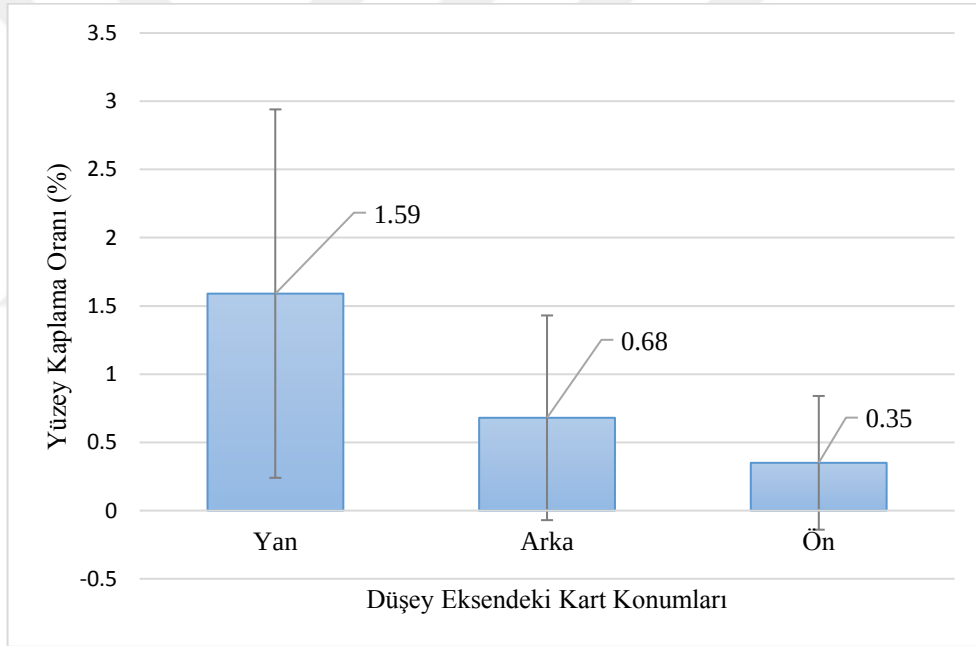
4.1.2.4. Suya Duyarlı Kart Konumunun Yüzey Kaplamaya Etkisi

Suya duyarlı kartlar örnekleme direklerine yatay, yan, ön ve arka olarak 4 farklı konumda yerleştirilmiştir. Yatay kartlar yere paralel olarak yerleştirilirken yan, ön ve arka kartlar yere dik olacak şekilde örnekleme direkleri üzerine yerleştirilmiştir. Farklı konumda yerleştirilen suya duyarlı kartlardan yatay olanlar hedef yüzeydeki yaprakları temsil ederken; ön, arka ve yan konumda bulunan suya duyarlı kartlar ise hedef bitkinin gövde kısmını temsil etmektedir. Yüksek bir biyolojik etkinlik için yaprak yüzeyi ile birlikte gövdenin de yüzey kaplama oranının yüksek olması gerekmektedir.

ZİHA ile yapılan uygulamalarda, en yüksek yüzey kaplama oranı beklendiği gibi yatay konumda olan kartlarda tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Daha sonra büyüktan küçüğe doğru yüzey kaplama oranları sırayla; arka, yan ve ön konuma yerleştirilen kartlarda tespit edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Yatay ve düşey konumdaki suya duyarlı kartların yüzey kaplama oranları (Ort±SS)



Şekil 4.2. Düşey eksendeki suya duyarlı kartların yüzey kaplama oranları (Ort±SS)

Fakat LU ve ST tip memelerde ön ve yan konumlar arasındaki yüzey kaplama oranları istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Kart konumlarının meme tipine göre yüzey kaplama oranlarına ait ortalamalar Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Kart konumlarının yüzey kaplama oranı (%) etkisi (Ort±SS)

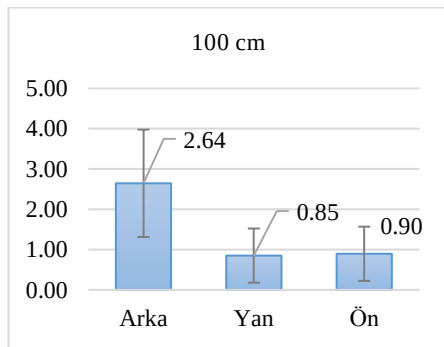
Meme Tipi ¹	Kart Konumu							
	Yatay		Arka		Yan		Ön	
	Ort.	± SS	Ort.	± SS	Ort.	± SS	Ort.	± SS
AD 90-01 C	3,69 ^{ABa*}	± 2,66	1,65 ^{Ab}	± 1,28	0,80 ^{Ac}	± 0,89	0,31 ^{ABc}	± 0,49
IDK 100-01	2,93 ^{Aa}	± 2,19	1,76 ^{Ab}	± 1,87	0,79 ^{Ac}	± 0,97	0,15 ^{Ac}	± 0,18
LU 120-01 S	3,96 ^{Aa}	± 3,13	1,66 ^{ABb}	± 1,20	0,61 ^{ABc}	± 0,57	0,51 ^{Bc}	± 0,65
ST 01-110	3,39 ^{ABa}	± 2,28	1,29 ^{Ab}	± 0,80	0,50 ^{Bc}	± 0,38	0,44 ^{Bc}	± 0,47

*Aynı satırda farklı küçük harfler ile gösterilen ortalamalar ile aynı sütunda farklı büyük harfler ile gösterilen ortalamalar (p<0,05) önem düzeyinde farklıdır.

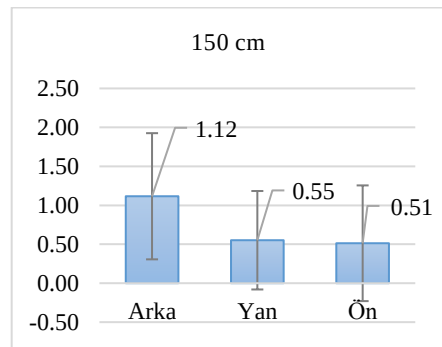
1LU: Yüksek etki alanlı yelpaze huzmeli; IDK: Hava emişli yelpaze huzmeli ST: Standart yelpaze huzmeli; AD: Düşük sürüklenme potansiyelli yelpaze huzmeli.

Varyans analizi sonuçlarına göre yatay, arka ve yan konumdaki suya duyarlı kartların yüzey kaplama oranı ortalamalarında, meme tiplerine göre önemli düzeyde bir farklılık bulunamamıştır. Fakat ön konumda bulunan kartlarda IDK tipi meme, diğer meme tiplerine göre önemli düzeyde farklı ve yüzey kaplama oranı diğerlerine göre düşüktür. LU ve ST tipi memeler ise diğer meme tiplerinden önemli düzeyde yüksek bulunmuştur.

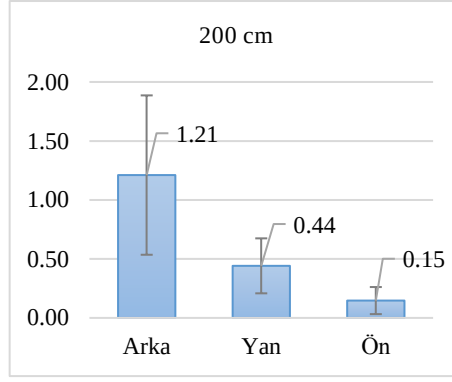
Bütün varyasyon kaynaklarında en yüksek yüzey kaplama oranı ortalaması, 100 cm püskürtme yüksekliğinde yatay konumdaki LU tipi memede bulunmuştur (Tablo 4.5). LU tipi memenin yüzey kaplama ortalamaları; 150 cm püskürtme yüksekliğinin arka konumu hariç diğer konumlarda, püskürtme yüksekliği arttıkça azalmıştır. 150 cm püskürtme yüksekliğinin arka konumunda bulunan kart ortalamalarında doğrusal olmayan bir düşüş yaşanmıştır. 150 ve 100 cm püskürtme yüksekliğinde, ZİHA'nın ilerleme yönünde dik olarak yerleştirilen ve ön konumda bulunan kartların ortalamaları, LU tipi memede diğer memelere göre önemli düzeyde farklı ve yüksek bulunmuştur (p<0.05). (Şekil 4.3)



(a)



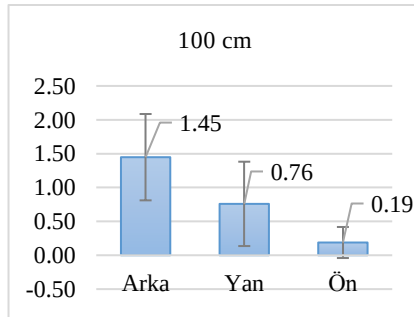
(b)



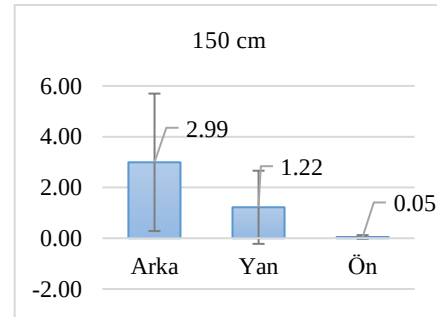
(c)

Şekil 4.3. LU tipi memenin farklı yüksekliklerde, düşey konumdaki kartlar üzerindeki yüzey kaplama ortalamaları

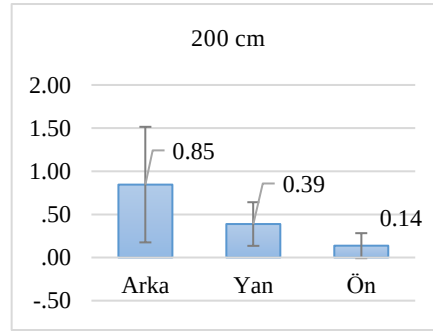
150 cm püskürtme yüksekliğinde en yüksek yüzey kaplama oranı IDK tipi memede bulunmuştur (Şekil 4.4). IDK tipi memenin; 100 cm püskürtme yüksekliği, 100 cm memeler arası mesafe ve 150 cm püskürtme yüksekliği, 100 cm memeler arası mesafede, LU tipi memeden sonra en yüksek ikinci yüzey kaplama oranına sahiptir. Ayrıca IDK tipi meme, ön konum hariç bütün suya duyarlı kart konumlarında diğer memeler ile çoğunda benzer yüzey kaplama oranlarına sahip olmuştur. IDK tipi memelerin sabit basınç ve uygulama hacminde diğer memelerin ürettiği damlalardan daha kaba damlalar ürettiği göz önüne alındığında, zirai insansız hava araçları pervanesinin ürettiği aşağı yönlü hava akımının, ilaç damlalarının parçalanmasına etki etmiş olabileceği söylenebilir. Bu durum, kaba damlalar üreten memelerin hava akımının etkisiyle parçalanarak yüzey kaplama oranını artırma eğilimi gösterdiğini ortaya çıkarmış olabilir.



(a)



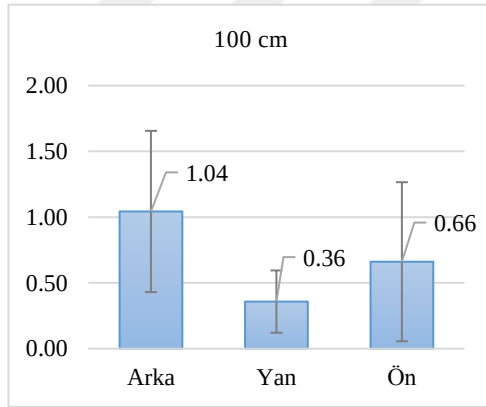
(b)



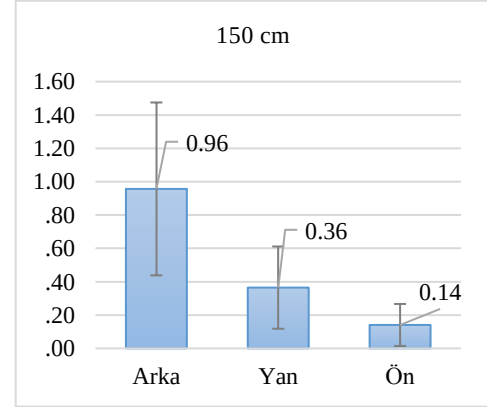
(c)

Şekil 4.4. IDK tipi memenin farklı yüksekliklerde, düşey konumdaki kartlar üzerindeki yüzey kaplama ortalamaları

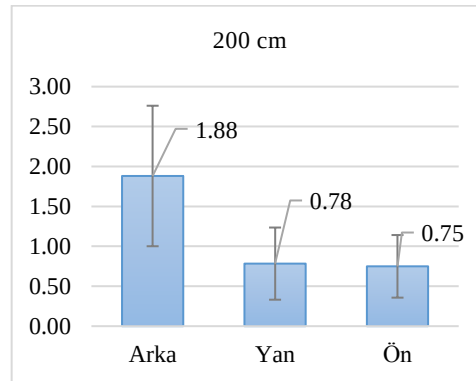
ST tipi meme 200 cm yükseklikte ve yatay konumda, diğer meme tiplerinden önemli düzeyde farklı ve yüksek bir yüzey kaplama oranına sahip olmuştur ($p < 0,05$). Ayrıca yatay konumdaki 120 cm meme aralığında, AD meme tipi ile beraber diğerlerinden önemli düzeyde farklı ve yüksek bir ortalamaya sahip iken, ön konumda diğer meme tiplerinden önemli düzeyde düşük bir ortalama oluşturmuştur. AD tipi meme ise, yatay konumdaki 150 cm püskürtme yüksekliğinde, en yüksek yüzey kaplama oranına sahip meme tipi olmuştur (Şekil 4.5).



(a)

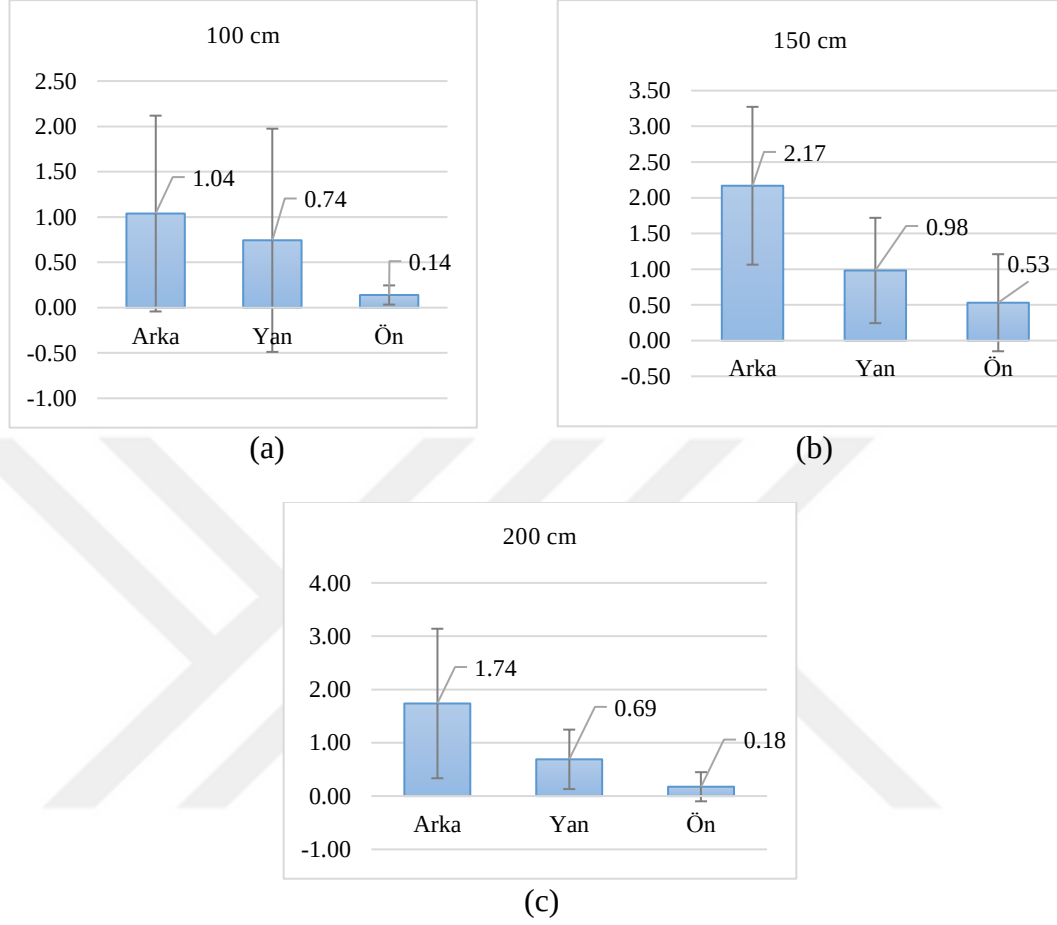


(b)



(c)

Şekil 4.5. ST tipi memenin farklı yüksekliklerde, düşey konumdaki kartlar üzerindeki yüzey kaplama ortalamaları



Şekil 4.6. AD tipi memenin farklı yüksekliklerde, düşey konumdaki kartlar üzerindeki yüzey kaplama ortalamaları

4.2. Brokoli Bitkisi Bulguları

4.2.1. Yüzey Kaplama Oranı

Varyans analizi sonuçlarına göre, kaplama oranını çok önemli düzeyde ($p < 0.01$) etkileyen kaynağın, meme tipi olduğu belirlenmiştir. Meme tipinden sonra yüzey kaplamaya en fazla etki eden kaynak, memeler arası mesafe ve bitki kanopisindeki kartların intereksiyonu olmuştur. Fakat bu etki istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Diğer varyasyon kaynakları da yüzey kaplama oranına önemli düzeyde etki etmemiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Yüzey kaplama oranı varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları*	SD	KO	F	Sigma (p)
Meme Tipi (MT)	3	32,114	15,028	0,000
Memeler Arası Mesafe (MAM)	1	0,133	0,062	0,804
Bitki Kanopisi (BK)	1	4,344	2,033	0,156
MT × MAM	3	0,641	0,300	0,825
MT × BK	3	0,250	0,117	0,950
MAM × BK	1	7,367	3,447	0,066
MT×MAM × BK	3	1,459	0,683	0,564
Hata	128	2.137		
Genel	144			

*Karşılaştırmalar yaprak yüzeyini temsil eden yatay konumdaki kartlar üzerinden alınan ortalamalar ile yapılmıştır.

4.2.1.1. Meme Tipinin Yüzey Kaplama Oranına (%) Etkisi

Meme tiplerinin yüzey kaplama oranı üzerindeki etkileri incelendiğinde, AD ile IDK tipi meme ve LU ile ST tipi memelerin yüzey kaplamaya etkisi, aynı düzeyde bulunmuştur. AD ve IDK tipi memenin yüzey kaplamaya etkisi, LU ve ST tipi memelere göre önemli düzeyde düşük bulunmuştur. Püskürtme memelerinin ortalamalarına ait istatistik karşılaştırması Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Meme tipinin yüzey kaplama üzerine etkisi

Meme Tipi ¹			
AD 90-01 C	IDK 100-01	LU 120-01 S	ST 01-110
Ort.	Ort.	Ort.	Ort.
,77 ^b	1,21 ^b	2,41 ^a	2,75 ^a

¹LU: yüksek etki alanlı yelpaze huzmeli; IDK: hava emişli yelpaze huzmeli ST: standart yelpaze huzmeli; AD: düşük sürüklenme potansiyelli yelpaze huzmeli.

*Aynı satırda farklı küçük harfler ile gösterilen ortalamalar ile aynı sütunda farklı büyük harfler ile gösterilen ortalamalar (p<0,05) önem düzeyinde farklıdır.

**Karşılaştırmalar yatay konumdaki kartlar üzerinden alınan ortalamalar ile yapılmıştır.

4.2.1.2. Memeler Arası Mesafenin Yüzey Kaplama Oranına (%) Etkisi

Tablo 3 incelendiğinde, memeler arası mesafe arttıkça, ST tipi meme hariç diğer memelerin yüzey kaplama ortalamalarında azalma olduğu görülecektir. Fakat istatistiksel olarak incelendiğinde, bütün memelerin 100 cm ve 120 cm meme arası mesafedeki kendi içindeki ortalamaları arasında önemli düzeyde bir fark bulunamamıştır. (Tablo 4.9.)

Farklı tipteki memelerin aynı mesafedeki yüzey kaplama oranları karşılaştırıldığında (Tablo 3) 100 cm memeler arası mesafede en yüksek yüzey kaplama ST tipi memede bulunurken en düşük yüzey kaplama oranı ise AD tipi

memede bulunmuştur. 120 cm memeler arası mesafede de 100 cm ile aynı istatistiksel farklar elde edilmiştir.

Tablo 4.9. Memeler arası mesafeye göre yüzey kaplama oranı (%) etkisi (Ort±SS)

Meme Tipi ¹	Memeler Arası Mesafe (cm)					
	100			120		
	Ort. ± SS			Ort. ± SS		
AD 90-01 C	0,88 ^{Aa}	±	0.93	0,67 ^{Aa}	±	1.01
IDK 100-01	1,29 ^{ABa}	±	0.95	1,14 ^{ABa}	±	0.84
LU 120-01 S	2,52 ^{Ba}	±	1.95	2,31 ^{BCa}	±	1.65
ST 01-110	2,58 ^{BCa}	±	1.82	2,92 ^{Ca}	±	1.94

ıLU: yüksek etki alanlı yelpaze huzmeli; IDK: hava emişli yelpaze huzmeli ST: standart yelpaze huzmeli; AD: düşük sürüklenme potansiyelli yelpaze huzmeli.

*Aynı satırda farklı küçük harfler ile gösterilen ortalamalar ile aynı sütunda farklı büyük harfler ile gösterilen ortalamalar (p<0,05) önem düzeyinde farklıdır.

**Karşılaştırmalar yatay konumdaki kartlar üzerinden alınan ortalamalar ile yapılmıştır.

4.2.1.3. Bitki Kanopisi İçerisindeki Yüzey Kaplama Oranı

Bitki kanopisine bitkilerin kök bölgelerine yerleştirilen (alt) ve kök bölgesinden 50 cm yukarıya yerleştirilen (üst) suya duyarlı kartlar incelendiğinde, AD tipi meme hariç, üst bölgelere yerleştirilen kartların alt bölgelere yerleştirilen kartlara göre ZİHA ilaçlamalarında daha fazla yüzey kaplama ortalamasına sahip olduğu görülmektedir (Tablo 4.10). Fakat alt ve üst bölgelerde bulunan kartlardaki yüzey kaplama oranları arasında istatistiksel açıdan bir fark bulunamamıştır. Ortalamaların istatistik karşılaştırmaları Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Meme tiplerinin bitki kanopisi içerisindeki yüzey kaplama oranı(%) etkisi (Ort±SS)

Meme Tipi ¹	Bitki Kanopisi					
	Üst			Alt		
	Ort.	±	SS	Ort.	±	SS
AD 90-01 C	0,60 ^{Ca}	±	0,99	0,72 ^{Ba}	±	0,42
IDK 100-01	1,45 ^{BCa}	±	0,99	0,97 ^{Ba}	±	0,73
LU 120-01 S	2,60 ^{ABa}	±	2,10	2,22 ^{Aa}	±	1,44
ST 01-110	2,96 ^{Aa}	±	2,11	2,54 ^{Aa}	±	1,61

ıLU: yüksek etki alanlı yelpaze huzmeli; IDK: hava emişli yelpaze huzmeli ST: standart yelpaze huzmeli; AD: düşük sürüklenme potansiyelli yelpaze huzmeli.

*Aynı satırda farklı küçük harfler ile gösterilen ortalamalar ile aynı sütunda farklı büyük harfler ile gösterilen ortalamalar (p<0,05) önem düzeyinde farklıdır.

**Karşılaştırmalar yatay konumdaki kartlar üzerinden alınan ortalamalar ile yapılmıştır.

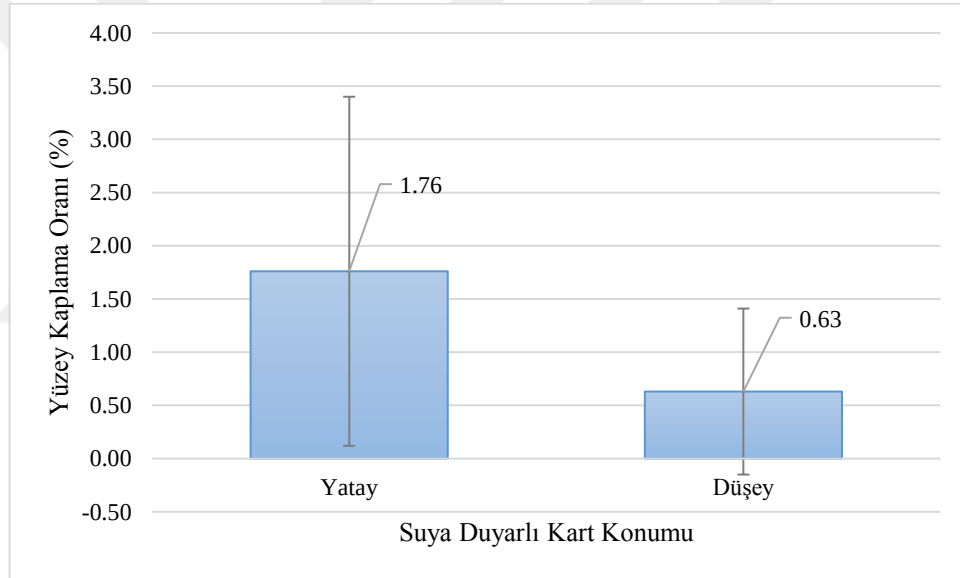
Meme tiplerinin bitki kanopisi içerisinde alt ve üst konumda bulunan suya duyarlı kartlardaki yüzey kaplama oranları ayrı ayrı incelendiğinde, üst konumda bulunan suya duyarlı kartlardaki en yüksek yüzey kaplama oranı LU ve ST tipi memelerde bulunmuştur. AD tipi memenin ortalaması ise önemli düzeyde (p<0.05).

düşük bulunmuştur

4.2.1.4. Suya Duyarlı Kart Konumunun Yüzey Kaplamaya Etkisi

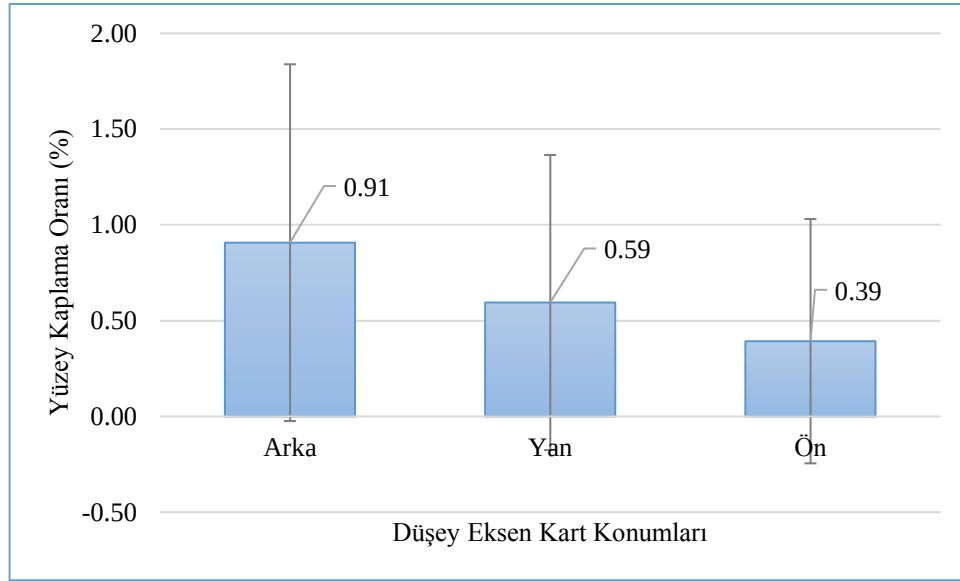
Suya duyarlı kartlar örnekleme direklerine yatay, yan, ön ve arka olarak 4 farklı konumda yerleştirilmiştir. Yatay kartlar yere paralel olarak; yan, ön ve arka kartlar ise yere dik (düşey) olacak şekilde örnekleme direkleri üzerine yerleştirilmiştir. Farklı konumda yerleştirilen suya duyarlı kartlardan yatay olanlar, hedef yüzeydeki yaprakları temsil ederken ön, arka ve yan konumda bulunan suya duyarlı kartlar ise hedef bitkinin gövde kısmını temsil etmektedir. Yüksek bir biyolojik etkinlik için yaprak yüzeyi ile birlikte gövdenin de yüzey kapla oranının yüksek olması gerekmektedir.

Varyans analizi sonuçlarına göre, en yüksek yüzey kaplama oranı yatay konumda olan kartlarda tespit edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Yatay ve düşey konumdaki suya duyarlı kartların yüzey kaplama oranları (Ort±SS)

Daha sonra büyükten küçüğe doğru yüzey kaplama oranları sırayla arka, yan ve ön konuma yerleştirilen kartlarda tespit edilmiştir. Ortalamalara ait karşılaştırmalar Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Düşey konumdaki suya duyarlı kartların yüzey kaplama oranları (Ort±SS)

AD tipli memede arka konumda bulunan kart ortalamaları yatay konumdaki kartlar ile istatistiksel açıdan benzer yüzey kaplama oranına sahip olurken, yan konumdaki kartlar ise ön yüzeydeki kart ortalaması ile benzer bulunmuştur. IDK ve ST tipi memelerde, arka ve yan konumdaki kart ortalamaları istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. LU tipi memede ise arka, yan ve ön konumdaki memeler arasında önemli düzeyde bir fark bulunmamıştır. (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Meme tiplerinin kart konumlarına göre yüzey kaplama oranı etkisi

Meme Tipi ¹	Kart Konumu							
	Yatay		Arka		Yan		Ön	
	Ort.	± SS	Ort.	± SS	Ort.	± SS	Ort.	± SS
AD 90-01 C	0,66 ^{Aa}	± 0,75	0,48 ^{Aab}	± 0,73	0,16 ^{Abc}	± 0,18	0,10 ^{Ac}	± 0,18
IDK 100-01	1,21 ^{Aa}	± 0,89	0,55 ^{Ab}	± 0,40	0,35 ^{Abc}	± 0,28	0,18 ^{Ac}	± 0,24
LU 120-01 S	2,41 ^{Ba}	± 1,78	1,27 ^{Bb}	± 0,89	1,01 ^{Bb}	± 0,92	1,07 ^{Bb}	± 0,93
ST 01- 110	2,75 ^{Ba}	± 1,86	1,34 ^{Bb}	± 1,18	0,86 ^{Bbc}	± 0,98	0,22 ^{Ac}	± 0,29

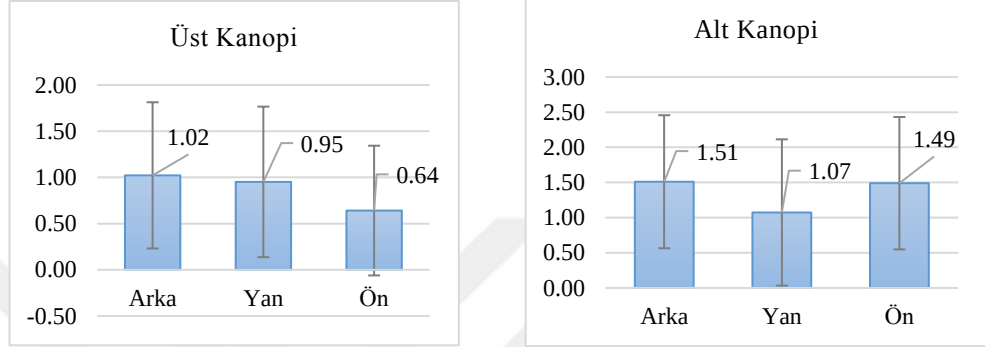
*Aynı satırda farklı küçük harfler ile gösterilen ortalamalar ile aynı sütunda farklı büyük harfler ile gösterilen ortalamalar ($p < 0,05$) önem düzeyinde farklıdır.

¹LU: yüksek etki alanlı yelpaze huzmeli; IDK: hava emişli yelpaze huzmeli ST: standart yelpaze huzmeli; AD: düşük sürüklenme potansiyelli yelpaze huzmeli.

Yatay ve arka konumdaki suya duyarlı kartlar karşılaştırıldığında, en yüksek yüzey kaplama ortalaması LU ve ST tipi memelerde bulunmuştur. AD ve IDK arasında önemli düzeyde bir fark olmayıp, LU ve ST tipi memelerden daha düşük bir yüzey kaplama ortalamasına sahip olmuşlardır. Yan konumdaki yüzey kaplama oranları ortalamaları arasında en düşük kaplama oranı AD ve IDK tipi memelerde bulunurken, LU ve ST tipi memeler diğerlerine göre yüksek düzeyde yüzey kaplama oranına sahip

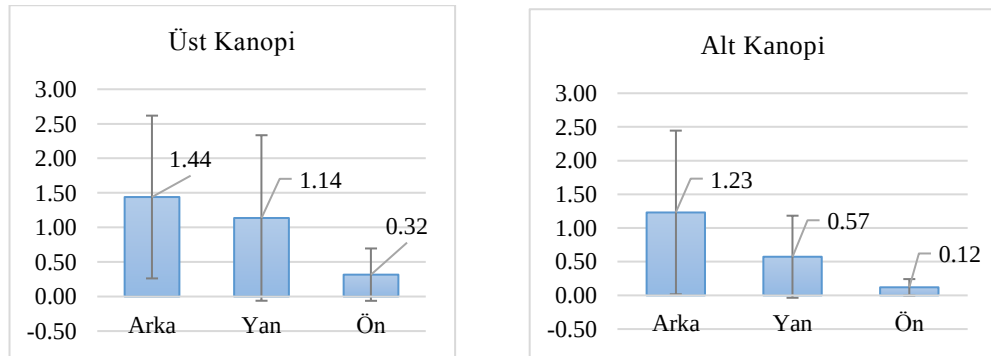
olmuştur. Ön konumdaki kartlar incelendiğinde ise, LU tipi memenin diğer memelerden çok önemli düzeyde farklı ve yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yatay konumdaki en yüksek yüzey kaplama oranı, bitki kanopisinin üst kısmında bulunan suya duyarlı kart ortalamasında, LU ve ST tipi memelerde bulunmuştur. Yatay konumdaki en düşük yüzey kaplama ortalaması ise, AD tipli memede ve üst bitki kanopisinde elde edilmiştir.



Şekil 4.9. LU tipi memenin farklı kanopi yüksekliklerinde, düşey konumdaki kartlar üzerindeki yüzey kaplama ortalamaları

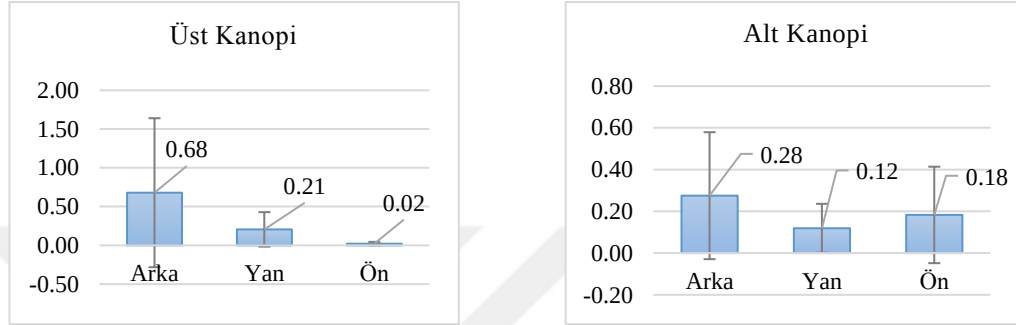
Arka konumdaki en yüksek yüzey kaplama oranı, bitki kanopisinin üstünde bulunan ST tipi memede; alt kanopide ise, ST ve LU tipi memelerde tespit edilmiştir. Yan konumdaki en yüksek yüzey kaplama ortalamaları ise, bitki kanopisinin alt tarafında bulunan kartlarda LU tipi memeden elde edilmiştir. En düşük yüzey kaplama ise, AD tipi memede bulunmuştur. Ön konumdaki en yüksek yüzey kaplama ise LU tipi memede, bitki kanopisinin alt tarafında bulunan suya duyarlı kartlarda ortaya çıkmıştır. En düşük ortalama ise, %0.02 ile yine AD tipi memede bulunmuştur.



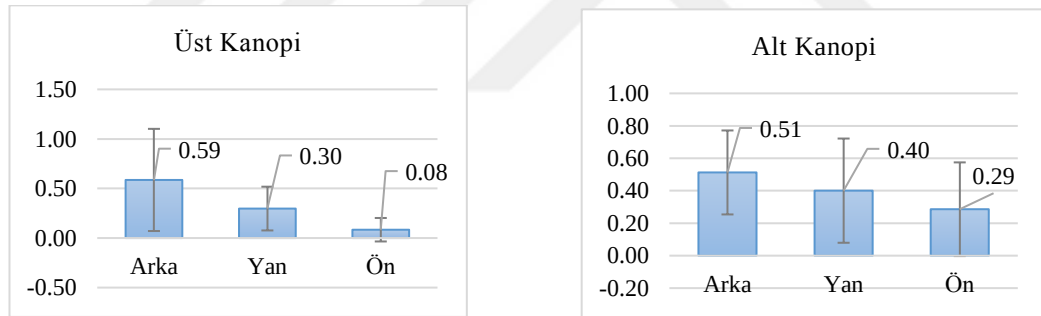
Şekil 4.10. ST tipi memenin farklı kanopi yüksekliklerinde, düşey konumdaki kartlar üzerindeki yüzey kaplama ortalamaları

AD tipi memenin bitki kanopisinin üst tarafında bulunan yatay konumdaki suya duyarlı kartlardaki yüzey kaplama ortalamaları farklı şekilde düşük çıkmıştır. Bunun

nedeninin örnekleme direklerinin yerleştirilmesi sırasında veya ZİHA ile püskürtme sırasında yatay konumdaki kartların bitki yaprakları tarafından tamamen kapatılmış olma durumundan kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca AD tipi memenin, bitki kanopisinin altında bulunan suya duyarlı kartlarda; ön, arka ve yan konumlar arasında ve LU tipi memede bitki kanopisinin üstünde bulunan bütün yüzeylerdeki kartların ortalamaları arasında önemli düzeyde bir fark bulunamamıştır. (Şekil 4.11. Şekil 4.12.)



Şekil 4.11. AD tipi memenin farklı kanopi yüksekliklerinde, düşey konumdaki kartlar üzerindeki yüzey kaplama ortalamaları



Şekil 4.12. IDK tipi memenin farklı kanopi yüksekliklerinde, düşey konumdaki kartlar üzerindeki yüzey kaplama ortalamaları

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. Zirai İnsansız Hava Aracı Prototipi

Bu araştırmada, 5 litre depo kapasitesine sahip, memeler arası mesafesi ayarlanabilen ve 2.4 bar sabit basınçta bir pompa ile çalışan Zirai İnsansız Hava Aracı (ZİHA) prototipi imal edilmiştir. İmal edilen ZİHA ile farklı tip hidrolik memeler ile arazi denemeleri gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonucunda prototip ZİHA ile ilgili aşağıda sıralanan sonuçlara ulaşılmıştır:

ZİHA'nın tasarımı aşamasındaki havada kalma sürelerine ait hesaplamalarda, ZİHA'nın tam yükte yaklaşık 8 dakika havada kalacağı teorik olarak hesaplanmıştır. Fakat denemeler sırasında bu sürenin 5 dakika kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun temel nedeni olarak, ZİHA'da kullanılan ESC'lerin, güç kaynağı olarak kullanılan Li-Po pillerin voltajının 3.5 volt değerinin altına düştüğünde pillerin aşırı ısınıp şişmesini önlemek için motorlara giden enerjiyi kesmesinden kaynaklandığı şeklinde tespit edilmiştir. Bu nedenle Li-Po pillere takılan bir volt metre ile pilin voltajı ölçülmüş ve pil voltajı 3.7 voltta iken uyarı vermesiyle denemeler yeni bir pil takılarak gerçekleştirilmiştir. Eğer Li-Po pilin 3.5 voltun altına düşmesine rağmen, ZİHA'nın uçurulması durumunda pilin ömrünün kısaldığı ve arıza verdiği tespit edilmiştir.

Püskürtme denemelerinde uçuşlar GPS yardımı ile otonom olarak belirlenen rotalarda gerçekleştirilmiştir. Fakat GPS ile yapılan uçuşlarda kullanılan rotaların oluşturulacağı haritaların hiç birisi güncel uydu haritaları değildir. Kullanılan uçuş kartının yer istasyonunda güncel uydu haritaları bulunmamaktadır. Bu nedenle, ZİHA uçuşlarını eski haritaya göre gerçekleştirmekte, arazide yeni yapılan kazı-dolgu vb. yüksekliklerin algılanamamasına neden olmaktadır. Bu durum, özellikle eğimli arazilerin ZİHA ile ilaçlanmasında istenilen ilaçlama parametrelerinde gerçekleştirilememesine yol açabilmektedir. Sadece GPS ile uçan ZİHA'larda belirlenen rotadan 2 ile 30 cm arası bir sapma olmaktadır. Bu durum hedef bitkiden sapma durumunu ortaya çıkarabilmektedir. Özellikle şeritsel ilaçlamalarda, hedef dışı püskürtme uygulamalarına neden olabilmekte, ayrıca GPS'lerin havanın kapalı olması durumunda da uçuş güvenliğini riske atmaktadır. Bu nedenle kullanılacak ZİHA'ların kesinlikle GPS ile beraber yer istasyonuna bağlı konum verilerinin hassasiyetini artıran RTK (Gerçek Zamanlı Konumlandırma) sisteminin olması gerekmektedir. RTK ile kullanılan GPS'ler maksimum 2 cm sapma ile çalışmakta ve alandaki yükseklik farklarını da rahatlıkla algılayabilmektedirler. Böylece hem verimli bir

ilaçlama yapılmış olmakta hem de ZİHA'nın kırırma uğramasının önüne geçilmiş olmaktadır.

ZİHA'larda bulunan pusulalar uçuşun yönünü belirlemek için önemli olmaktadır. GPS yardımı ile otonom olarak uçan bir ZİHA verilen rotada düz bir şekilde gidebilmekte; eğer pusulalarda herhangi bir hata varsa, ZİHA verilen rotada uçmaya devam edebilmekte fakat pusuladaki hata miktarı kadar eğimli veya yan şekilde uçmaktadır. Bu durum ilaçlamanın verimini önemli düzeyde değiştirebilmektedir. Pusula hataları sadece uçuşu etkilemekle kalmamakta, aynı zamanda ZİHA'nın rotadan sapmasına veya ani yükselip alçalmalarına ve kırırma yol açabilmektedir. ZİHA'nın uçuş kartında ve GPS'inde bulunan pusulalar elektro manyetik alanlardan çok çabuk etkilenebilmektedir. Örneğin ZİHA'ya yakın bir cep telefonu pusulasını rahatlıkla bozabilmektedir. Veya ZİHA'nın uçuş kartına entegre pusulaların ZİHA'nın enerji kaynağı olan Li-Po pile veya diğer elektronik aksamalara yakın olması da pusulayı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle ZİHA'da bulunan pusulaların manyetik alanlardan etkilenmeyecek şekilde yerleştirilmesi ve her uçuştan önce kesinlikle pusulaların kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Eğer uçuş kartı elektronik devrelere ve pile çok yakın ise uçuş kartında bulunan pusulalar elektro manyetik alanlardan etkilenecektir. Bu durumda GPS'te kullanılan pusulanın yön belirleyici olarak uçuş kartından ayarlanması gerekmektedir.

Prototip ZİHA'nın ilaçlama sisteminde 2.4 bar sabit basınçta bir ilaçlama pompası kullanılmıştır. Bu pompa, yelpaze huzmeli memelerde meme tipinin pülverizasyon karakteristiklerini ortaya çıkararak normal şekilde püskürtme yapılmasını sağlamıştır. Fakat konik huzmeli memelerde istenilen pülverizasyonu üretememiştir. Bu durumu ortadan kaldırmak için daha geniş mesh aralıklarına sahip filtreler kullanılmıştır. Çünkü filtrelerin kullanılması hidrolik memelerde bir miktar uygulama debisini düşürdüğü bilinmektedir (Sayıncı, 2014). Filtre değişiminin sonucunda da konik huzmeli memelerde istenilen pülverizasyon elde edilememiştir. Bu nedenden dolayı denemelerde kullanılması planlanan konik huzmeli memeler deneme planından çıkarılmıştır. ZİHA'larda hernekekar yelpaze huzmeli ve döner diskli memeler kullanılsa da, konik huzmeli memelerin kullanılması için seçilecek ilaç pompasının özelliklerinin bu meme tiplerini çalıştıracak şekilde olmasına dikkat edilmelidir.

ZİHA'larda bulunan ilaçlama sistemlerinin, farklı püskürtme açısında pülverizasyon yapan memelerin kullanımı için memeler arası mesafenin ayarlanabilir

şekilde bir tasarıma sahip olması, püskürtme uygulamalarının etkinliğini artırabilir. Çünkü dar açılı bir meme kullanılırken, meme örtme payını ayarlamak için ya memelerin birbirlerine yaklaştırılması ya da püskürtme yüksekliğinin artırılması gerekmektedir. Eğer memeler arası mesafesi ayarlanmayan bir ZİHA'da dar huzme açılı bir meme kullanılacaksa, ZİHA'nın püskürtme yüksekliğinin artırılması gerekmektedir. ZİHA'nın yüksekliği arttığında hem ilaç sürüklenmesinin artacak hem de bu denemenin sonuçlarına göre pülverizasyon kalitesi düşecektir.

ZİHA'lar hem tarla bitkilerinde hem de bahçe bitkilerinde zararlılar, hastalıklar ve yabancı otlar için kullanılmaktadır. ZİHA'ların esnek yapıları zararlılar ile mücadelede farklı tekniklerin kullanılmasına olanak sağlayabilir. Örneğin traktörle zaman, yakıt ve emek kaybına yol açacak olan püskürtme desenli uygulamalar, ZİHA'lar ile rahatlıkla uygulanabilir. Veya zararlının konumuna göre uygun ilaçlama memelerinin aynı uygulama içinde kullanılması, ZİHA ile yapılan uygulamalarda verimi artırıcı yöntemler olabilir.

5.2. Yüzey Kaplama Oranı

Püskürtme uygulamalarında; hedef yüzeyin yüzey kaplama oranlarını, damla yoğunluğunu ve damla boyutlarını belirlemek için çeşitli niteliksel ve niceliksel yöntemler kullanılmaktadır (Sayıncı ve Bastaban, 2009). Bu yöntemler arasında suya duyarlı kâğıtlar (WSP) farklı parametrelerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Foque and Nuytens, 2011, malnersic et al., 2016, Guler et al., 2006, Salyani et al., 2013). Örnekleme uygulamalarında suya duyarlı kartlar (WSP'ler) yer düzlemine paralel (yatay) olarak veya dik (yan, ön, arka) bir şekilde yerleştirilmektedir. Püskürtme işlemlerinin ardından damlaların oluşturduğu lekelerin kaplama oranları belirlenmektedir. Bu çalışmada, uzun boylu bitkileri temsil eden (Ayçiçek, mısır vb.) 2 metre uzunluğunda 3 farklı yükseklikteki (100,150 ve 200 cm) bölünmüş örnekleme direkleri ve brokoli bitki kanopisinin içerisine yerleştirilen 50 cm uzunluğundaki örnekleme direkleri kullanılmıştır. ZİHA, ilk denemede örnekleme direklerinin 100 cm üstünden (yerden 300 cm yükseklikten), ikinci denemede ise brokoli bitkilerinin 100 cm üstünden (yerden 175 cm yükseklik) püskürtme işlemleri gerçekleştirilmiştir. İki denemenin sonuçları karşılaştırıldığında; örnekleme direkleri ile gerçekleştirilen ilk denemede kullanılan 4 farklı tip meme, hem farklı yüksekliklerde (100,150 ve 200 cm) hem de farklı meme aralıklarında (100 ve 120 cm) birbirlerinden farklı özellik göstermişlerdir. Örneğin 100 cm memeler arası mesafe ve 100 cm püskürtme yüksekliğinde en iyi yüzey kaplama oranı LU tipi memede

bulunurken, 120 cm meme aralığı ve 150 cm püskürtme yüksekliğinde AD tipi memenin yüzey kaplama oranı en yüksek bulunmuştur. 100 cm memeler arası mesafe ve 200 cm yükseklikte ise, ST tipi meme diğerlerine göre en yüksek yüzey kaplama oranını vermiştir. IDK tipi meme ise, 100 cm meme aralığında ve 100 ve 150 cm püskürtme yüksekliklerinde beklenenden çok daha yüksek bir yüzey kaplama oranına sahip olmuştur. Fakat brokoli bahçesinde yapılan denemeler incelendiğinde ST tipi memenin bütün varyasyon kaynaklarında en yüksek yüzey kaplama oranını verdiği, daha sonra LU tipinin yüksek bir yüzey kaplama oranına sahip olduğu görülmektedir. ST ve LU'dan sonra en yüksek yüzey kaplama oranı IDK tipi memede bulunurken, AD tipi meme diğer memelerin hepsinden daha düşük bir yüzey kaplama oranına sahip olmuştur. Yani örnekleme direkleri ile gerçekleşen denemelerde her bir yükseklik ve memeler arası mesafe için farklı tip meme öne çıkarken, brokoli bahçesinde gerçekleşen denemelerde belirli bir meme tipi bütün varyasyon kaynakları için öne çıkmıştır.

Sabit basınç, sabit ilerleme hızı, sabit uygulama hacmi ile benzer koşullarda gerçekleşen bu iki denemenin birbirinden farklı sonuç vermesinin en büyük nedeninin püskürtme yüksekliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü örnekleme direkleri ile gerçekleştirilen denemeler yerden 300 cm yükseklikten yapılırken, brokoli bahçesinde gerçekleşen denemeler yerden 175 cm yükseklikten gerçekleştirilmiştir. Benzer şartlarda yapılan iki farklı denemenin farklı sonuçlar vermesi ZİHA ile gerçekleştirilecek denemelerin çok dikkatli yapılması gerektiğinin bir göstergesi niteliğindedir.

Özellikle püskürtme yüksekliğinin fazla olduğu uygulamalarda meme karakteristiklerinin değiştiği görülmektedir. Örneğin IDK tipi memenin kaba damlalar ürettiği bilinmektedir (Lechler, 2018). Fakat örnekleme direkleri ile yapılan denemelerde IDK tipi memenin istatistiksel karşılaştırmalara göre diğer memelerin ürettiği damlalar ile arasında önemli düzeyde bir fark bulunamamıştır. Bu durum, ZİHA'nın pervanesinin ürettiği aşağı yönlü rüzgârın büyük çaplı damlaları parçalama özelliğinin olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca pervanesinin ürettiği bu rüzgârın özellikle yüksekte yapılan püskürtme uygulamalarında, meme karakteristiklerini önemli düzeyde değiştirdiği düşünülmektedir. Brokoli bahçesinde gerçekleşen denemelerde ise, meme tiplerinin karakteristik özelliklerinin değişmediği tespit edilmiştir.

5.2.1. Meme Tipi ve Püskürtme Yüksekliğinin Yüzey Kaplama Oranına Etkisi

5.2.1.1. Örnekleme Direkleri ile Gerçekleşen Denemenin Sonuçları

Örnekleme direkleri ile gerçekleşen denemelerde suya duyarlı kartlar (WSP); 200 cm boyundaki örnekleme direkleri üzerine yukarıdan aşağı doğru 50 cm aralıklarla (200, 150 ve 100 cm) yatay, ön, arka ve yan olarak 4 farklı şekilde yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu kartlardan yatay olanı yaprak yüzeyini temsil ederken, diğerleri bitkinin gövdesine ulaşan damlaların özelliklerini ortaya koymak için değerlendirilmiştir. Yan ile ifade edilen konum, direklerin gövdesinin sağ ve sol tarafına yerleştirilen kâğıtların ortalamasını temsil etmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde, memeler arası mesafe ve ilaçlama yüksekliğinin, önemli düzeyde yüzey kaplama oranını değiştirdiği görülmektedir. Memelerin 100 cm yükseklikteki performansları incelendiğinde, en yüksek yüzey kaplama oranına sahip memenin LU tipi meme olduğu gözlemlenmiştir. Fakat bu oran 100 cm memeler arası mesafede gerçekleşmiştir. Memeler arası mesafe 120 cm'ye çıktığında LU tipi memenin yüzey kaplama oranı oldukça düşmüştür. 100 cm ilaçlama yüksekliğinde ikinci en yüksek ortalama sahip meme tipi, 120 cm meme aralığında LU tipi ve 100 cm meme aralığında IDK tipi meme olmuştur. İki meme arasında istatistik karşılaştırmalarda fark bulunamamıştır. Birbirinden farklı özelliğe sahip karakteristik özelliğe sahip iki memenin aynı yükseklikte ve farklı memeler arası mesafede benzer yüzey kaplama oranı oluşturması dikkat çekmektedir (Sayıncı, 2020). Bu durum, memeler arası mesafenin ve kullanılacak meme tipinin ilaçlama performansını etkilediğinin bir göstergesi olabileceği söylenebilir.

ST ve AD tipi memeler 100 cm yükseklikte diğer meme tiplerine benzer şekilde düşük bir yüzey kaplama oranına sahip olmuştur. Fakat iki meme tipi de en düşük yüzey kaplama oranını 100 cm memeler arası mesafede vermiştir. 120 cm memeler arası mesafede 100 cm'ye göre oldukça yüksek bir yüzey kaplama oranına sahip olmuşlardır. 90 derece püskürtme açısına sahip AD tipi meme ve 110 derece püskürtme açısına sahip ST tipi memenin 120 cm meme aralığında benzer ve 100 cm meme aralığına göre yüksek yüzey kaplama oranı vermesi, ZİHA'lar ile yapılacak ilaçlamalarda, hava akımının memelerin püskürtme karakteristiğini değiştirdiğinin bir göstergesidir (Qing et al., 2017).

100 cm ilaçlama yüksekliğinden farklı olarak, 150 cm püskürtme yüksekliğinde AD tipi meme 120 cm meme aralığında en yüksek yüzey kaplama oranına sahip meme

tipi olarak bulunmuştur. 100 cm ve 200 cm yükseklikte AD tipi meme aynı performansı göstermemiştir. Bu durumun nedeninin, 90 derece püskürtme açısına sahip olan AD tipi memenin bindirme oranı olduğu düşünülmektedir. Dar açılı püskürtme açısına sahip memelerin tek düze bir püskürtme dağılımı yapması için ilaçlama yüksekliğinin artırılması gerektiği veya memeler arası mesafenin kısaltılması gerektiği bilinmektedir. Dar açılı AD tipi memenin de 150 cm yükseklikte yüksek yüzey kaplama oranı vermesinin ideal bir bindirme oranı ile püskürtmeyi bu yükseklikte gerçekleştirdiği düşünülmektedir. Bu durum AD tipi memenin 150 cm yükseklikten püskürtme uygulamalarında tercih edilebilme durumuna yardımcı olabilir.

200 cm püskürtme yüksekliğinde ise en yüksek yüzey kaplama oranı ST tipi memede bulunmuştur. En düşük yüzey kaplama ise IDK tipi memede bulunmuştur. ST tipi memeden sonra yüzey kaplama oranı benzer özellik gösteren 120 cm meme aralığında püskürtülen AD ve 100 cm meme aralığında püskürtülen LU tipi meme gelmektedir. IDK ve LU tipi memelerde, püskürtme yüksekliği arttıkça yüzey kaplama oranları düşerken, ST tipi memenin 100 cm meme aralığında yapılan uygulamalarda yükseklik azaldıkça yüzey kaplama oranı artmıştır. ST tipi memenin 120 cm meme aralığında ise bütün yüksekliklerde yüzey kaplama oranı sabit kalmıştır. Bu durumun sonucunda ST tipi memenin uzun boylu bitkilerin ilaçlamasında kullanımında, bitkinin bütün yüksekliklerdeki yaprak yüzeylerine damlaların ulaşabilme özelliğinin olduğu söylenebilir. Diğer memeler farklı yüksekliklerde maksimum yüzey kaplama oranı sağlayarak, hedef bitkinin belli bölümlerindeki zararlılara ulaşabilirken, ST tipi meme hedef bitki yüksekliği boyunca bütün yaprak yüzeylerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca LU tipi meme her ne kadar maksimum yüzey kaplamayı 100 cm püskürtme yüksekliği ve 100 cm meme aralığında verse de en düşük yüzey kaplamayı verdiği 200 cm yükseklik ST tipi meme ile benzer özelliktedir. Bu nedenlerden dolayı ST tipi meme ve LU tipi memenin uzun boylu bitkilerde kullanımının yüksek biyolojik aktivite için uygun olacağı söylenebilir.

5.2.1.2. Brokoli Bahçesi Denemesi Sonuçları

Gövde yapısı ve boyutsal özellikler bakımından farklı tasarım özelliklerine sahip hidrolik memelerde, farklı yüzey kaplama ortalamaları elde edilmiştir. Bu farklılığın temel nedeni, memelerin farklı pülverizasyon karakteristiklerine sahip olması şeklinde açıklanabilir (Sayıncı, 2020).

Brokoli bahçesinde yapılan denemelerde kullanılan memelerin hepsinde,

memeler arası mesafenin değişmesi, örnekleme direklerinde gerçekleştirilen denemenin aksine yüzey kaplama oranlarını önemli düzeyde etkilememiştir. Bu duruma; püskürtme yüksekliğinin örnekleme direklerinde yapılan denemeden daha düşük olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Püskürtme yüksekliği arttıkça, memeden püskürtülen sıvının ZİHA-pervanesinin ürettiği aşağı yönlü rüzgâra daha çok maruz kaldığı ve bu maruziyetin meme karakteristiğini bozduğu düşünülmektedir. Ayrıca yükseklik arttıkça, püskürtülen sıvının çevresel faktörlere olan hassasiyeti de artmaktadır (Bolat ve Bayat, 2019).

Denemelerde çoğunlukla ince yapılı damlalar üreten LU ve ST tipi memelerin yüzey kaplama oranları benzer ve diğer meme tiplerine göre yüksek bulunmuştur. Varyasyon kaynaklarının karşılaştırmasında farklı yönlerde yerleştirilen kartlar üzerindeki istatistiksel karşılaştırmalar hariç, diğer varyasyon kaynaklarında ST ve LU tipi memelerin yüzey kaplama oranlarının benzer olduğu ortaya çıkmıştır. LU tipi memenin 120 derece püskürtme açısına sahip olması ve ST tipi memenin 110 derece püskürtme açısına sahip olmasının bir fark oluşturmadığı istatistiksel karşılaştırmalar sonucu ortaya konmuştur. Bu iki memenin sahip olduğu farklı püskürtme açılarının bir fark oluşturmamasının nedeninin, ZİHA’larda memelerin pervane altına yerleştirilmiş olması ve bu nedenle pervanenin aşağı yönlü rüzgârından etkileniyor olması olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda pervanenin ürettiği aşağı yönlü hava akımının meme açılarını 5 dereceye kadar düşürdüğü belirlenmiştir (Qing et al., 2017). Bu etki püskürtme açısı büyük olanlarda daha fazla iken, püskürtme açısı küçüldükçe etkisi de az olmaktadır.

Meme tipleri arasında çok kaba damlalar üreten 120 derece püskürtme açısına sahip hava emişli IDK tipi memenin yüzey kaplama oranı ortalamaları bütün karşılaştırmalarda LU ve ST tipi memelerden düşük bulunmuştur. Hava emişli memelerde işletme basıncının 1-6 bar arasında olması önerilmektedir (Lechler, 2017; Dursun et al., 2005). Bu tip memeler sürüklenmeyi önlemek ve püskürtmenin hedef dışına taşınmasını önlemek amacı ile kullanılmaktadır ve kaba damlalar üretmektedir (Dhakad et al., 2023). ZİHA gibi düşük hacimli uygulama yapan ilaçlama makinalarında IDK tipi memenin yüzey kaplama oranı düşmektedir. Bu nedenle düşük hacimli uygulamalarda tercih edilen bir meme tipi değildir. Fakat IDK tipi memenin basınç arttıkça yüzey kaplama oranının arttığı bildirilmektedir (Açık, 2018). IDK tipi memenin ZİHA’larda kullanılabilmesi için, yüksek basınçla püskürtülmesi gerekmektedir. Bu sayede, damla çapları küçültülerek yüzey kaplama oranı

artırılmaktadır. Basınç artırıldığında düşük hacimli ilaçlama yapan ZİHA'nın hızının da artırılması gerekmektedir. Eğer basınç artırılıp hız sabit kalırsa, düşük kapasitelere sahip depoların (10-50 litre) çok sık doldurulmasına gereksinim duyulacaktır. Bu durum ZİHA'nın tercih edilme sebeplerinden birisi olan (8) zamandan tasarrufu ortadan kaldıracaktır. Eğer basınçla beraber hız artırılırsa, bu defa hızı yüksek olan ZİHA'nın kırım tehlikesi veya mekanik ve elektronik aksamalarda aşırı ısınma ortaya çıkacaktır. Ayrıca yüksek hızdan kaynaklı ilaç sürüklenmesi de artacaktır (Wolf, 2004). Bu nedenlerden dolayı, IDK tipi memenin tarla uygulamalarında ZİHA ile püskürtme uygulamalarında düşük hacimli uygulamalar ile tercih edilebilirliğinin daha fazla araştırılması gerekmektedir. AD tipi memelerin ise, diğer memelerden daha düşük bir yüzey kaplama oranına sahip olduğu bulunmuştur.

5.2.2. Kart Konumlarına Göre Yüzey Kaplama Oranı

ZİHA ile yapılan denemelerde, bitkinin gövdesine giden damlaları araştıran çalışmalar henüz yapılmamıştır. Bu denemede suya duyarlı kartlar, yaprakları temsil edecek şekilde yatay ve gövdeyi temsil edecek şekilde ise dikey konumda yerleştirilmiştir. Dikey konumdaki kartlar örnekleme çıtalarının önüne, arkasına, sağ ve sol taraflarına yerleştirilerek püskürtülen damlaların gövde bölgesine nüfuzu incelenmiştir. Sağ ve sol tarafa yerleştirilen kartlara gelen damlaların yüzey kaplama oranı ortalamaları alınarak yan konum olarak isimlendirilmiştir.

Yapılan denemelerde yatay ve dikey düzlemlerde püskürtme transferinde önemli farklılıklar gözlenmiştir. Düşey düzleme ulaşan damlaların püskürtme kapsama oranları, yatay düzleme ulaşan damlalara göre oldukça düşük bulunmuştur. Böyle bir durum, püskürtülen damlaların bitkilerin dikey kök boğazlarına ve gövdelerine yeterince ulaşamadığını açıkça ortaya koymuştur.

5.2.2.1. Örnekleme Direkleri ile Gerçekleşen Denemenin Sonuçları

Denemelerde yüzey kaplama oranı bütün varyasyon kaynaklarında büyükten küçüğe doğru; yatay konum, arka konum, yan konum ve ön konum olarak bulunmuştur. Bitkilerin gövde bölgesine taşınan damla oranının yaprak yüzeylerinden çok az olması, gövde bölgesindeki biyolojik aktivitenin daha az olmasına yol açabilmektedir. Bu durum, özellikle hedef bitkinin gövdesinde konumlanan zararlılar ile mücadelenin yeterince etkili olmamasına neden olabilir. Özellikle kalın gövdeli bitkilerdeki (mısır, ayçiçeği) zararlılar ile mücadele, mücadele verimini olumsuz yönde etkileyebilir.

Sonuçlar incelendiğinde ZİHA'nın ilerleme yönüne yerleştirilen arka

konumdaki kartların kaplama oranının diğer dikey konumda yerleştirilenlere göre yüksek çıkmasının nedeninin, ZİHA'nın ilerlerken ilerleme yönünün tersine oluşturduğu hava akımının olduğu düşünülmektedir (Liu et al., 2023). LU tipi memede püskürtme yüksekliği arttıkça gövde üzerindeki yüzey kaplama oranı azalırken, ST tipi memede yükseklik arttıkça gövde üzerindeki yüzey kaplama oranı artmıştır. IDK ve AD tipi memelerde ise en yüksek yüzey kaplama oranı 150 cm yükseklikte elde edilmiştir. Bu durumda sabit 300 cm püskürtme yüksekliğinde ST tipi meme hedef yüzeylerin alt kısımlarında daha yüksek yüzey kaplama oranı sağlarken, LU tipi meme hedef yüzeylerin üst kısmında daha yüksek yüzey kaplama oranına sahip olmuştur. IDK ve AD tipi memeler ise hedef yüzeyin orta kısmında daha yüksek bir yüzey kaplama oranı sağlamıştır.

Bu durum göz önüne alındığında özellikle mısır, ayçiçeği, şeker kamışı gibi uzun boylu bitkilerde zararlıların bitki üzerindeki konumuna göre meme tipinin seçilebileceğini göstermektedir. Eğer zararlı konumu bilinmiyorsa veya zararlı bitkinin tüm yüzeylerine yayılmış ise, uygulama hacmi yarıya indirilerek ZİHA ile farklı meme tiplerinde 2 kere aynı yüzeylere uygulama gerçekleştirilebilir. Örneğin 60 lha⁻¹ uygulama hacmindeki kimyasalın 30 litresi LU tipi meme ile kalan 30 litresi de ST tipi meme ile uygulanabilir. Böyle bir uygulama ile hedef yüzeylerin tüm yüksekliklerinde etkili bir yüzey kaplama oranı elde edileceği düşünülmektedir.

5.2.2.2. Brokoli Bahçesi Deneme Sonuçları

Brokoli bahçesinde gerçekleşen denemelerde bitki kanopisi içine yerleştirilen 50 cm uzunluğundaki örnekleme direkleri kullanılmıştır

Brokoli bahçesinde gerçekleşen denemede yatay konumda yerleştirilen suya duyarlı kartlar dikey olarak farklı konumda yerleştirilen kart örneklerinden çok daha fazla bir yüzey kaplama oranına sahip bulunmuştur. LU tipi meme örnekleme direklerinde ortaya çıkan yüzey kaplamaya benzer bir özellik ortaya koyarak bitkinin kök ve gövde bölgesinde daha fazla bir yüzey kaplama oranı elde etmiştir. ST tipi memede bitki kanopisinin üst bölgesinde yüksek bir yüzey kaplama ortalaması elde edilmiştir. Fakat hem ST hem de LU tipi memenin farklı bitki kanopisi yüksekliklerindeki ortalamaları istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır. Bu durumda ST ve LU tipi memelerin bitki kanopisi içerisinde yüksek yüzey kaplama oranı elde ettiği söylenebilir. IDK ve AD tipi memeler diğer memelerden düşük bir yüzey kaplama oranına sahip olurken, iki meme kendi aralarında benzer yüzey kaplama özelliği göstermişlerdir.

Denemelerde dikkat çeken bir gözlem olarak LU tipi memenin bitki kanopisinin altında ve ön konumda yerleştirilen suya duyarlı kartlar üzerinde diğer memelerden çok yüksek oranda bir yüzey kaplama elde etmiş olmasıdır. Bu durum LU tipi memenin bitki kanopisi içerisinde, bitkinin kök ve gövdesi üzerinde yer alan zararlılar ile mücadelede etkili bir meme tipi olduğunun bir göstergesi olabilir.

Deneme bir bütün olarak ele alındığında, bitkinin kök ve gövde bölgesini temsil eden dikey konuma farklı yönde yerleştirilen suya duyarlı kartların yüzey kaplama oranlarının bütün denemelerde oldukça düşük çıktığı söylenebilir. Bu durum kök ve gövde üzerindeki zararlılar ile mücadelenin etkisini azaltmaktadır. Hedef bitkilerin kök ve gövdesi üzerindeki biyolojik etkinliği artırmak için ZİHA ile uygulamalarda uygulama hacmi yarıya indirilerek farklı ilaçlama desenleri geliştirilebilir. Bu ilaçlama desenleri bitkinin kök ve gövdesi üzerindeki zararlılar ile mücadelenin etkinliğini artırabilir. Örneğin 40 lha⁻¹'lik uygulama hacminde yapılan bir denemede uygulama hacmi yarıya indirilip, 20 litrelik bir hacimle ilk olarak hedef bitki yüzeyi ilaçlanabilir. Daha sonra geriye kalan 20 litre ile daha önce ilaçlama yapılan yönün tam tersi istikamette tekrar ilaçlama yapılabilir. Veya daha iyi bir etkinlik için uygulama hacmi 4'e bölünerek tarlaya 4 farklı yönden uygulama yapılabilir. Bu sayede bitkilerin kök ve gövdesindeki biyolojik etkinlik artırılmış olur. Bu şekilde bir uygulama, traktör ile yapılan uygulamalarda ekonomik olmayabilir ve zamandan tasarrufun önüne geçer. Fakat ZİHA ile yapılan uygulamalarda rahatlıkla farklı püskürtme desenleri uygulanabilir.

5.2.3. Birim Alana Düşen Damla Sayıları, Damla Çapları ve Damla Birikimi

Püskürtme karakteristiklerine göre hidrolik meme tiplerinin farklı çaplarda damlalar ürettiği ve buna bağlı olarak hedef yüzeye püskürtülen damla sayılarının meme tiplerine göre değişiklik gösterdiği bilinmektedir (Sağlam vd., 2014). Pestisit uygulamalarında küçük çaplı damlaların biyolojik etkinliği arttırdığı ve özellikle 100 µm'den küçük çaplı damlaların insektisit ve fungusit uygulamalarında yüksek etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Matthews et al., 2014). Kimyasalların püskürtme yöntemiyle uygulandığı bitki koruma makinalarında damlaların hedefe taşınabilmesi, hedef yüzeyde tutunabilmesi, damlanın bitki kanopisine penetrasyonu, hedef yüzeyi kaplayabilmesi ve sürüklenme potansiyeli damla boyutuna bağlı olarak değişmektedir (Hofman ve Wilson, 2011; Hypro, 2018). Bu nedenle uygulamaların çok büyük ya da çok küçük ölçülü damlalarla yapılması mücadelenin başarısını sınırlandırabilmektedir

(Malnersic et al., 2016). Büyük çaplı damlaların enerjisi ve buna bağlı terminal hızı yüksek olduğundan (Sayıncı, 2015) sürüklenme sorunu minimize edilirken (Bode et al., 1983), hedef yüzeyde tutunamama ve yüzeyde düşük kaplama sorunları oluşabilmektedir (Wang et al., 1995). Küçük çaplı damlaların enerjisi düşük olduğundan havada asılı kalabilmekte ve yüksek sıcaklıkta yapılan uygulamalarda buharlaşabilmekte (Bayat ve Bozdoğan, 2005) veya rüzgâr nedeniyle hedef dışına sürüklenebilmektedir (Bode et al., 1983). Bu gerekçelerden dolayı pestisit uygulamalarında pülverizasyonun optimum ölçülerde oluşması, sürüklenme nedeniyle oluşan çevre kirliliğini önleme ve mücadelenin başarısını artırma açısından önem taşımaktadır. Zararlı etmenlerle mücadelede biyolojik etkinliğin yeterli düzeyde olabilmesi için birim alana ulaşan en düşük damla sayısının sistemik etkili pestisitler için 20 adet cm^{-2} , kontak etkili olanlar için en düşük 50 adet cm^{-2} olması gerekmektedir (Krishnan et al., 1993).

5.2.3.1. Örnekleme Direkleri ile Gerçekleşen Denemenin Sonuçları

LU tipi memenin düşük yüksekliklerde yüksek yüzey kaplama oranı vermesi ve ST tipi memenin yükseklik arttıkça yüzey kaplama oranının artmasına paralel olarak; LU tipi memenin birim alandaki damla sayıları da 100 cm yükseklikte en yüksek damla sayısı ortalamasını vermiştir. ST tipi meme de 200 cm yükseklikte IDK tipi meme ile beraber en yüksek damla sayısına sahip olmuştur. Birim alandaki damla sayıları incelendiğinde AD tipi memenin 150 cm yükseklik hariç kontak etkili kimyasallar için önerilen aralığın altında kalmıştır. LU tipi meme 100 cm püskürtme yüksekliği hariç diğer yüksekliklerde önerilen aralığın altında kalmıştır. ST tipi meme 200 cm püskürtme yüksekliği hariç diğerlerinde önerilen aralığın altında kalmıştır. IDK tipi meme ise, 100 cm ve 150 cm püskürtmede önerilen damla aralığında damla sayısı üretmiştir.

Örnekleme direkleri ile yapılan denemelerde ilaçlama yüksekliği ile damla sayıları arasında bir ilişki bulunamamıştır. Özellikle IDK tipi meme gibi kaba damlalar üreten memenin damla sayısının diğer ince yapılı damlalar üreten meme tiplerinden birim alanda daha az damla üretmesi beklenir. Fakat denemelerde özellikle 100 cm püskürtme yüksekliğinde LU hariç diğer memelerden, 150 cm püskürtme yüksekliğinde ise bütün memelerden daha yüksek bir damla sayısına sahip olması, ZİHA pervanesinin ürettiği aşağı yönlü hava akımının, kaba damlalar üzerinde önemli bir parçalama etkisine sahip olabileceğidir. Bu durum IDK tipi meme gibi kaba damlar üreten ve bitki kanopisi içerisinde damla penetrasyonu fazla olan damlaların düşük

hacimli ilaçlama yapan ZİHA’larda kullanılabilirliğinin bir göstergesi olabilir.

Denemelerde meme tiplerinin farklı yüksekliklerdeki damla çapları ortalamaları incelendiğinde, AD tipi memenin 100 cm püskürtme yüksekliği ve IDK tipi memenin 200 cm püskürtme yüksekliğindeki ortalama damla çapları hariç diğer bütün varyasyonlarda bütün tip memelerin damla çapları benzer bulunmuştur. Bu durumda tespit edilen en önemli husus, farklı pülverizasyon karakteristiklerine sahip olan memelerin damla çaplarının, örnekleme direkleri denemesinde standart bir damla çapı ortalaması elde edilmesi olmuştur. Yukarıda bahsedildiği gibi bu durumda pervanenin ürettiği aşağı yönlü hava akımının etkili olduğu söylenebilir.

Örnekleme direkleri ile gerçekleşen denemelerdeki meme tiplerinin farklı yüksekliklerdeki damla birikimleri de damla çapı ortalamasında olduğu gibi, AD tipi memenin 100 cm püskürtme yüksekliği ve IDK tipi memenin 200 cm püskürtme yüksekliğindeki birikimleri hariç bütün memeler benzer birikim ortaya koymuştur.

5.2.3.2. Brokoli Bahçesi Deneme Sonuçları

Brokoli bahçesi denemesinde AD hariç diğer meme türlerinde beklendiği gibi alt kanopideki birim alandaki damla sayısı üst tarafa göre düşük çıkmıştır. AD ve IDK tipi memelerde yüzey kaplama oranları diğer iki memeye göre farklı düzeyde düşük bulunmuştur. AD ve IDK memelerinin ortalama damla çapları ise diğer iki memeye göre yüksek çıkmıştır. Damla birikimlerinde ise, AD en düşük birikime sahip meme iken IDK ve LU benzer ve AD’den yüksek bir birikime sahiptir. ST ise en yüksek damla birikimine sahip meme olmuştur.

Bu sonuçlar ışığında yerden yaklaşık 175 cm yükseklikte yapılacak bir ZİHA uygulamasında ve ortalama 75 cm bitki boyuna sahip brokoli benzeri bitkilerde ST tipi memenin damla çapı, damla birikimi ve birim alandaki damla sayısı bakımından en ideal meme tipi olduğu görülmektedir.

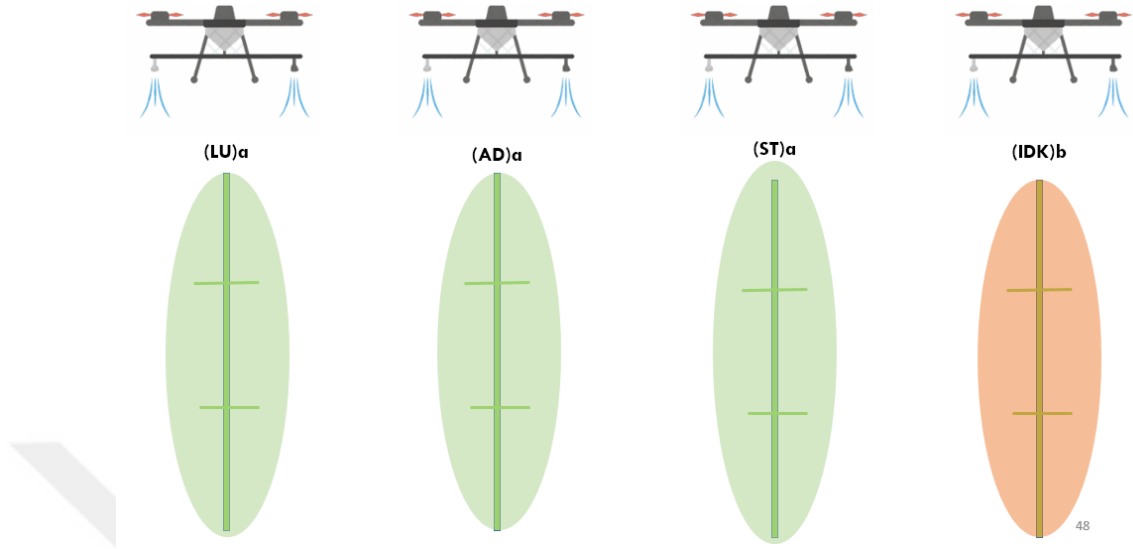
Bütün denemeler karşılaştırıldığında temel olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Memeler arası mesafelerin, hem örnekleme direkleri denemesinde hem de brokoli bahçesi denemelerinde, yüzey kaplama üzerindeki etkisi önemsiz bulunmuştur.

- Brokoli bahçesinde en verimli yüzey kaplam oranına sahip memelerin ST ve LU tipi memeler olduğu ortaya çıkarılmıştır.

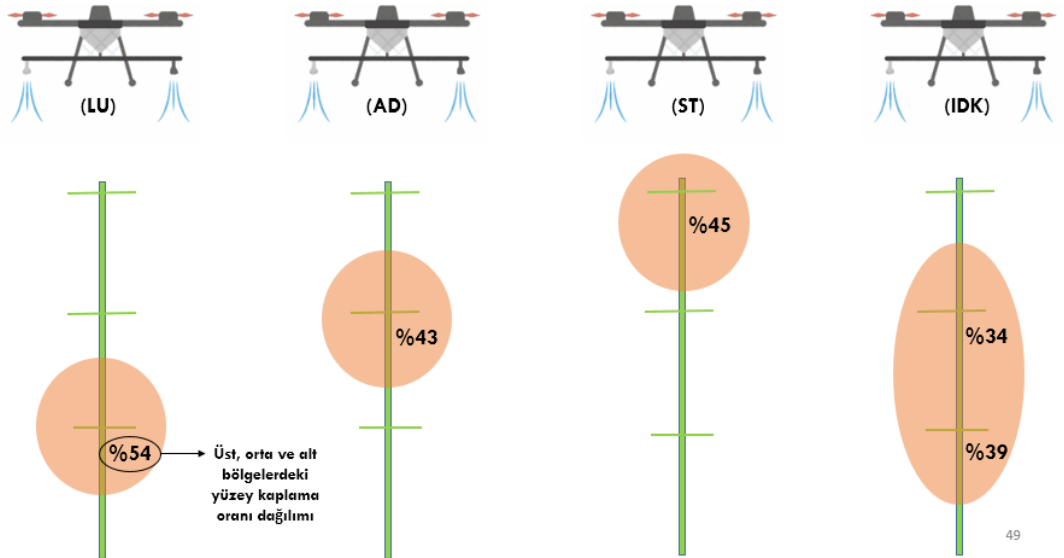
- Örnekleme direkleri ile yapılan denemelerde, püskürtme yüksekliği varyasyon kaynaklarından çıkartıldığında, LU, AD ve ST tipi memelerin yüzey kaplama oranları

arasında istatistiksel bir fark olmayıp IDK tipi memeye göre daha yüksek bir yüzey kaplama elde edilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Meme tiplerine göre yüzey kaplama oranı karşılaştırması

- Püskürtme yüksekliği varyasyon kaynaklarına eklendiğinde ise, LU tipi meme alt bölgede, AD tipi meme orta bölgede ve ST tipi meme ise üst bölgede etkili olmuştur. IDK tipi meme ise diğer memelerden düşük bir yüzey kaplama ile kök ve orta bölgede etkili bir yüzey kaplamaya sahip olmuştur (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Memelerin püskürtme yüksekliğine göre yüzey kaplama oranı karşılaştırması

6. KAYNAKLAR

- Açık, N. (2018). "Püskürtme Memelerinin Düşük Hacimde Yüzey Kaplama Ve Damla Dağılım Düzgünlüğü Açısından Karşılaştırılması". Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi.
- Alaca, Ö., Selbaş, R., & Türkkalesi, M. (2022). "Fırçasız Motor Sürücülerin Enerji Verimliliği". *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik Ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 1-9.
- Alkan, B., Ertuğrul, Ö.G. (2022). "Tarımsal İnsansız Hava Araçları ile Pestisit Uygulamaları". *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(2), 232-238.
- Alkan, B., Özgünaltay Ertuğrul, G. (2022). "Tarımsal İnsansız Hava Araçları ile Pestisit Uygulamaları". *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(2), 232-238.
- ArduPlot-1. "First Flight with Copter". <https://ardupilot.org/copter/docs/flying-arducopter>. Erişim Tarihi 15.05.2023.
- ArduPlot-2. "Compass Calibration". <https://ardupilot.org/copter/docs/common-compass-calibration-in-mission-planner>. Erişim Tarihi 15.05.2023.
- ArduPlot-3. "Electronic Speed Controller (ESC) Calibration". <https://ardupilot.org/copter/docs/esc-calibration.html#electronic-speed-controller-esc-calibration>. Erişim Tarihi 15.05.2023.
- ArduPlot-4. "Diagnosing some common problems using Logs". <https://ardupilot.org/copter/docs/common-diagnosing-problems-using-logs>. Erişim Tarihi 15.05.2023.
- ArduPlot-5. "Compass Setup" <https://ardupilot.org/copter/docs/common-compass-setup-advanced.html#common-compass-setup-advanced>. Erişim Tarihi 15.05.2023
- ArduPlot-6. "Measuring Vibration". <https://ardupilot.org/dev/docs/common-measuring-vibration>. Erişim Tarihi 15.05.2023
- ASABE (2009). Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. Standard 572.1 *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, St. Joseph, MI.
- ASELSAN (2022). <https://www.aselsan.com/tr/blog/detay/330/doner-kanatli-ihha-sistemlerinde-itki-sistemi-ile-ucus-performansi-iliskisinin-irdelenmesi>. Erişim Tarihi: 05.07.2023.
- Aydoğan, Ö., Topakçı, M. (2022). "İHA ve Uydu Görüntüleri ile Uzaktan Algılama Vejetasyon İndeks Uygulamaları". 34. *Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi Özet ve Bildiri Kitabı*. Editör: Sayıncı, B. Bilecik: TARMEK.
- Ayyıldız, M. (2022). "Türkiye’de Kimyasal Pestisit Kullanımının Ekonomi ve Çevre Yönüyle Değerlendirmesi". *Çorum Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(2), 267-274.
- Bayat, A. and Bozdoğan, N. Y. (2005). "An air-assisted spinning disc nozzle and its performance on spray deposition and reduction of drift potential". *Crop Protection*, 24: 651-960.
- Biglia, A., Grella, M., Bloise, N., Comba, L., Mozzanini, E., Sopegno, A., Pittarello, M., Dicembrini, E., Eloí Alcatrão, L., Guglieri, G., Balsari, P., Ricauda Aimonino, D., Gay, P. (2022). "UAV-spray application in vineyards: Flight modes and spray system adjustment effects on canopy deposit, coverage, and off-target losses". *Science of The Total Environment*, 845.
- Birişik, N., Özdem, A., Karahan, A., Sezgen, M., Ertürk, S., Alkan, M., Bayram, Y. (2018). Teoriden pratiğe kimyasal mücadele. Ankara: Matsa Basımevi.

- Blume, H.P. (2016). Scheffer/Schachtschabel Soil Science (1. Basım). Berlin: Springer Yayınları.
- Bode, L. E., Butler, B. J., Pearson, S. L. Bouse, L. F. (1983). "Characteristics of the micromax rotary atomizer". *Transactions of the ASAE*, 24(4): 999-1004.
- Bolat, A., & Bayat, A. (2019). "Tarımsal ilaçlamada kullanılan bazı memelerin farklı püskürtme yüksekliği ve basınç düzeylerinde oluşturduğu püskürtme dağılımının belirlenmesi". *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(3), 373-380.
- Celik, Y., Bayhan, Y. (2020). "A Research on Investigation of the Application Possibilities of Direct Drill Machine with Liquid Fertilizer Assembly for Grain Planting Stubble". *International Journal of Innovation Engineering and Science Research*, 4(6), 1-10.
- Chang, K., Chen, S. Wang, M., Xue, X., & Lan, Y. (2023). "Numerical simulation and verification of rotor downwash flow field of plant protection UAV at different rotor speeds". *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-19.
- Changfeng, S., Guobin, W., Haihong, W., Yingjie, Xie., Huizheng, Wang., Shilong, Wang., Shengde, Chen., Yubin, Lan. (2021). "Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV". *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(1), 74-81.
- Changling, W., Yang, L., Zhenhua, Z., Leng, H., Yangfan, Li., Hao, Zhang., Supakorn, Wongsuk., Yuanyuan, Li., Xuemin, Wu., Xiongkui, He. (2022). "Spray performance evaluation of a six-rotor unmanned aerial vehicle sprayer for pesticide application using an orchard operation mode in apple orchards". *Pest Management Science*, 78, 2449-2466.
- Chen, P., Lan, Y., Douzals, J. P., Ouyang, F., Wang, J. (2020). "Droplet distribution of Unmanned Aerial Vehicle under several spray volumes and canopy heights in the cotton canopy". *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 1 (1), 74-79.
- Chen, P., Ouyang F., Wang G., Qi, H., Xu, W., Yang, W., Zhang, Y., Lan, Y. (2021). "Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters". *Industrial Crops and Products*, 163.
- Chen, P., Lan, Y., Huang, X., Qi, H., Wang, G., Wang, J., Wang, L., Xiao, H. (2020). "Droplet Deposition and Control of Planthoppers of Different Nozzles in Two-Stage Rice with a Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle". *Agronomy*, 10, 303.
- Coates, W. (1996). "Spraying technologies for cotton: Deposition and Efficacy". *Applied Engineering in Agriculture*, 12 (3), 287-296.
- Çakmak, H. B. İ., Dolar, B. Ç. F. S., Karaca, O. G. G., Karaca, İ., & Özdem, C. K. A. (2020). "Bitki Koruma Uygulamalarında Mevcut Durum, Gelişmeler Ve Gelecek Türkiye". *Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-2*, 11.
- Çakmak, S.S., Yaviç, A. (2022). "Diyarbakır'da Sürdürülebilir Tarım Uygulamalarının Projeksiyonu". *Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 7 (Özel Sayı), 1197-1212.
- Dhakad, S., Salunkhe, R. C., Dabhi, K. L., & Gupta, P. (2023). "Agricultural drone spraying efficiency enhancement via pattern-based effective swath width determination". *Computers and Electronics in Agriculture*, 172(1), 1-10.
- Dursun E., Çilingir, D. ve Erman, A. 2005. "Tarımsal savaşım ve mekanizasyonunda yeni yaklaşımlar". *Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi*, 3-7 Ocak, 232.
- Ercan, Ş., Öztep, R., Güler, D., Saner, G. (2019). "Tarım 4.0 ve Türkiye'de Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi". *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 25(2), 259-265.
- Erduran, B., Tekin, A.B. (2022). "İnsansız Hava Aracı'nın Herbisit Uygulamasında Kullanılabilirliği ve Optimum Çalışma Parametrelerinin Belirlenmesi". *34. Ulusal*

- Ferguson, J.C., Gaussoin, R.E., Eastin, J.A., Sousek M.D., Kruger G.R. (2016). "Comparison of an ultra-low volume (ULV) sprayer against a conventional sprayer, for foliar fertiliser and fungicide applications in turfgrass". 1, 54-59.
- Fiaz, A., Baijing, Q., Xiaoya, D., Jing, M., Xin, H., Shibbir, A., Farman, A. C. (2023). "Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application, Vehicle Systems in Agriculture". *Agriculture Journal*, 11(1), 2-26.
- Foqué, D. and Nuytens, D. (2011). "Effect of air support and spray angle on coarse droplet sprays in ivy pot plants". *Transactions of the ASABE* 54(2): 409-416
- Fukase, E., Martin, W. (2020). "Economic growth, convergence, and world food demand and supply". *World Development*, 132, 1-12.
- Guler, H., Zhu, H., Ozkan, H. E., Derksen, R. C., Yu, Y., and Krause, C. R. (2006). "Spray characteristics and wind tunnel evaluation of drift reduction potential with air induction and conventional flat fan nozzle". In *2006 ASAE Annual Meeting*, 1.
- Gupta, C. P., Duc, T. X. (1996). "Deposition studies of a hand-held air-assisted electrostatic sprayer". *Transactions of the ASAE*, 39, 1633-1639.
- Himel, C. M., (1969). "The optimum size for insecticide spray droplets". *Journal of Economic Entomology*, 62 (4), 919-924.
- Hofman, V. and Wilson, J. (2011). Choosing Drift-Reducing Nozzles. <http://nsfafane.ca/wp-content/uploads/2011/06/CHOOSINGDRIFTREDUCINGNOZZLES.pdf>
- Hou, C. J., Tang, Y., Luo, S. M., Lin, J. T., He, Y., Zhuang, J. J. (2019). "Optimization of control parameters of droplet density in citrus trees using UAVs and the Taguchi method". *Int J Agric & Biol Eng*, 12(4): 1-9.
- Hu, H., Kaizu, Y., Huang, J., Furuhashi, K., Zhang, H., Li, M., Imou, K. (2022). "Research on Methods Decreasing Pesticide Waste Based on Plant Protection Unmanned Aerial Vehicle a Review". *Frontiers in Plant Science*, 13 (1), 1-11.
- Hypro®, (2018). Hypro Nozzle Catalogue. <http://www.hypro-eu.com>. Erişim tarihi : 08.04.2023
- Kadıoğlu, İ. (2012). "Türkiye Tarımında Bitki Koruma ve Bazı Güncel Yaklaşımların Değerlendirilmesi". *Ziraat Mühendisliği*, 359, 18-25.
- Krishnan, P., Gal, I., Kemble, L. J. and Gottfried S. L., (1993). "Effect of sprayer bounce and wind condition on spray pattern displacement of TJ60-8004 fan nozzles". *Transactions of the ASAE*, 36 (4): 997-1000.
- LECHLER "Field test with vertical target surfaces".<https://www.lechler.com/de-en/products/product-range/agriculture/nozzles-for-broadcast-spraying/idta/test-results-idta>. Erişim tarihi: 09.03.2023
- Lechler GmbH. "Product Highlights" <https://www.lechler.com/de-en/products/product-highlights>. Erişim tarihi: 09.03.2023.
- Lechler® (2018). Agricultural spray nozzles, 2018 US Catalog. <http://www.lechler.de> Erişim tarihi: 01.04.2023.
- Lee, C.G., Yu, S.H., Rhee, Y.J. (2023). "Effects of Unmanned Aerial Spray System Flight Altitude and Collector Height on Spray Deposition Measured Using a Food Dye Tracer". *Agriculture*, 96(13), 2-12.

- Liu, Z., Fan, G., Ye, S., Zhang, Z., Wu, H., Long, B., Li, H., Cheng, H., Wu, L., Li, J.(2023) "Flight Parameter Wind Vortex Characteristic Control Model of a Four-Multirotor Unmanned Aerial Vehicle Operating in Pesticide Spraying of Rice". *Agriculture*, 13, 892.
- Lou, Z., Xin, F., Han, X., Lan, Y., Duan, T., Fu, W. (2018). "Effect of Unmanned Aerial Vehicle Flight Height on Droplet Distribution, Drift and Control of Cotton Aphids and Spider Mites". *Agronomy*, 8(9), 187-192.
- Malnersic, A., Dular, M., Širok, B., Oberti, R., & Hočevan, M. (2016). "Close-range air-assisted precision spot-spraying for robotic applications: Aerodynamics and spray coverage analysis". *Biosystems Engineering*, 146, 216-226.
- Martinez, G. J., Agüera, P., Agüera, J. (2020). "Spray and economics assessment of a UAV-based ultra-low-volume application in olive and citrus orchards". *Agric*, 21, 226-243.
- Mat, A. S., Yahya, A., Mazlan, N., Ahmad, H.M.S. (2018). "Evaluation of the Spraying Dispersion and Uniformity Using Drone in Rice Field Application". *Michigan Society of Association Executives Conference*. Editor: Selengor, D.E. Malaysian: MSAE.
- Matthews, G., Bateman, R., Miller, P. (2014). "Pesticide Application Methods". *Forth Edition, Wiley Blackwell*, 536 .
- Nadeem, M., Diallo, C., Nguyen-Quang, T., Venkatadri, U., Havard, P. (2019). "Optimizing a Bi-Objective Mathematical Model for Minimizing Spraying Time and Drift Proportion". *Agri Engineering*, 1(3), 418-433.
- Önkol, M. (2010). "Dönerkanat Tipinde Bir İnsansız Hava Aracının Tasarımı, Modellenmesi Ve Kontrolü". Yüksek Lisans Tezi. TOBB Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi.
- Özyurt, H. B., Çelen, İ. H. (2021) "İnsansız Hava Araçları ile Yapılan Pestisit Uygulamalarında Farklı Meme Tiplerinin Damla Dağılımına Etkisinin İncelenmesi". *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(3), 157-172.
- Pengchao, C., Fan, O., Guobin, W., Haixia, Q., Weicheng, X., Weiguang, Y., Yali, Z., Yubin Lan. (2021). "Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters". *Industrial Crops and Products*, 163, 1-10.
- Pengchao, C., Yubin, L., Jean, P. D., Fan, O., Juan, W., Weicheng, X. (2020). " Droplet distribution of Unmanned Aerial Vehicle under several spray volumes and canopy heights in the cotton canopy". *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 3(4), 73-79.
- Qi, P., Zhang, L., Wang, Z., Han, H., Müller, J., Li, T., Wang, C., Huang, Z., He, M., Liu, Y., He, X. (2023). " Effect of Operational Parameters of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) on Droplet Deposition in Trellised Pear Orchard". *Drones*, 7 (1), 57-69.
- Qing, T., Zhang, R., Chen, L., Xu M., Yi, T., Zhang, B. (2017). "Droplets movement and deposition of an eight-rotor agricultural UAV in downwash flow field". *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(3), 47-56.
- Rahman, F. M., Fan, S., Zhang, Yan., Chen, L. (2021). "A Comparative Study on Application of Unmanned Aerial Vehicle Systems in Agriculture". *Agriculture*, 11(1), 22.
- Sağlam, R., Kılıç, T., İbrahim, T. (2014). "Tarım Uçaklarıyla Yapılan Süne Mücadelesinde İlaç Damla Dağılımının Ve Uygulama Etkinliğinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma". *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 14(3), 47-53.
- Sağlan, R. ve Tobi, İ. (2014). "Şanlıurfa İlinde Süne İlaçlamaları İçin Kullanılan Tarla Pülverizatörlerinde Hata Oranlarının Belirlenmesi". *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 18(3), 32 - 40.

- Salyani, M., Zhu, H., Sweeb, R. D. and Pai, N. (2013). "Assessment of spray distribution with water-sensitive paper". *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 15(2): 101-111.
- Sanchez, H. J., Medina, R. (2004). "Adaptive threshold for droplet spot analysis using water-sensitive paper". *Applied Engineering in Agriculture*, 20 (2), 547-551.
- Sayıncı, B. (2014). "Effect of filter types and sizes on flow characteristics of standard flat fan nozzles". *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* , 10(2): 129-138.
- Sayıncı, B. (2020). "Pülverizatör Memelerinde Pülverizasyon Karakteristiklerinin Görüntü İşleme Yöntemiyle Belirlenmesi." *Türkiye Ziraat Mühendisliği Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 44-62.
- Sayıncı, B. and Bastaban, S. (2009). "İlaç uygulama performansının değerlendirilmesinde kalitatif ve kantitatif analiz yöntemlerinin değerlendirilmesi". *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* 24(2): 133-140.
- Sayıncı, B., Çömlek, R., Boydaş, M.G., Demir. B. (2020). "Döner Diskli Memede Disk Konum Açısı ve İlerleme Hızının Hacimsel Dağılım Düzgünlüğüne Etkisi". *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 1(2), 311-323.
- Sayinci, B., (2015). "The influence of strainer types on the flow and droplet velocity characteristics of ceramic flat-fan nozzles". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40: 25-37.
- Sayinci, B., Bastaban, S., Hermosilla, S. (2012). "Determination of Optimal Spot Roundness Variation Interval for Droplet Size Analysis on Water Sensitive Paper". *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(2), 285-298.
- Sevici, Ö. M., Bilgin, A. A., Serttaş, S. (2023). "Kurye Ve Kargo Amaçlı Dikey İniş Kalkış Yapabilen İnsansız Hava Aracı Tasarımı Ve Üretimi". *Journal Of Scientific Reports-C* 4, 1-13.
- Shan, C. F., Wang G. B., Wang, H. H., Xie, Y. J., Wang, H. Z., Wang, S. L. (2021) "Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV". *Int J Agric & Biol Eng*, 14(1), 74-81.
- Sumner, H. R., Herzog, G. A., Sumner, P. E., Bader, M., Mullinix, B. G. (2000). "Chemical application equipment for improved deposition in cotton". *The Journal of Cotton Science*, 4, 19-27.
- Syngenta (2002). "Water Sensitive Paper For Monitoring Spray Distributions". CH-4002. Basle, Switzerland: Syngenta Crop Protection AG.
- Takumi, I., Riku, F., Shunsuke, M., Takahiro, K., Tatsuya, I., Mitsuji, S. (2023) ." Design And Experimental Verification Of A Hoverable Quadrotor Composed Of Only Clockwise Rotors". *Advanced Robotics*, 37(10), 667-678.
- Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı(TCCŞB). "Yıllar İtibariyle Toplam Tarım Alanı ve Kişi Başına Tarım Alanı". <https://cevresehgostergeler.csb.gov.tr/kisi-basina-tarim-alani-i-85832>, Son erişim tarihi: 09 Mart 2023
- Verma, A., M, Singh., R,P, Parmar., K,S, Bhullar. (2022)." Feasibility Study On Hexacopter UAV Based Sprayer For Application Of Environment-Friendly Biopesticide İn Guava Orchard". *J. Environ Bio.*, 43, 97-104
- Villi, O., Yakar, M. (2022). "İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri". *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 73-100.
- Wang, G., Han, Y., Li, X., Andaloro, J., Chen, P., Hoffmann, W, C., Han, X., Chen, S., Lan, Y. (2020). "Field Evaluation Of Spray Drift And Environmental İmpact Using An Agricultural Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Sprayer". *Science of The Total Environment*, 737.

- Wang, L., Zhang, N., Slocombe, J. W., Thierstein, G. E. and Kuhlman, D. K. (1995). "Experimental analysis of spray distribution pattern uniformity for agricultural nozzles". *Applied Engineering in Agriculture*, 11(1): 51-55.
- Wolf, R. E. (2004). Comparing downwind spray droplet deposits of four flat-fan nozzle types measured in a wind tunnel and analyzed using DropletScan Software. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(2): 173-177.
- Yıldırım, E. (2012). Tarımsal Zararlılarla Mücadele Yöntemleri ve İlaçlar. *Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 219; 330.
- Zhang, H., Qi, L., Wan J., Musiu, E., Zhou J., Lu Z., Wang, P. (2022). "Numerical simulation of downwash airflow distribution inside tree canopies of an apple orchard from a multirotor unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer". *Computers and Electronics in Agriculture*, 195.
- Zhang, Y L., Lian, Q., Zhang, W. (2017). "Design and test of a six-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) electrostatic spraying system for crop protection". *Int J Agric & Biol Eng*, 10(6): 68–76.
- Zheng, Y.J., Yang, S.H., Zhao, C.J., Chen, L.P., Lan, Y.B., Tan, Y. (2017). "Modelling operation parameters of UAV on spray effects at different growth stages of corns" *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10 (3), 57-66.
- Zhou, S., Zhao, P., Jin, Ji. "Cascaded gps/imu integrated positioning system based on vehicle kinematics model" . *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 1, 1134–1139.
- Zhu, H., Salyani, M., Fox, R. D. (2011). "A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution". *Computers and Electronics in Agriculture*, 76(1), 38-43.
- Zhu, Y., Guo, Q., Tang, Y., Zhu, X., He, Y., Huang, H., Luo, S. "CFD simulation and measurement of the downwash airflow of a quadrotor plant protection UAV during operation". *Computers and Electronics in Agriculture*, 201.

ÖZ GEÇMİŞ

Ruçhan ÇÖMLEK, 1990 tarihinde Mersin’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Konya’da tamamladı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına kayıt yaptırdı. Yüksek Lisans öğrenimini 20.06.2017 tarihinde tamamladı. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı YÖK 100/2000 programı ile “Sürdürülebilir Etkin Tarım Alanı”nda doktora programına başladı. 2021 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı’na yatay geçiş yaptı. Halen Ondokuz Mayıs Üniversitesinde Öncelikli Alanlar Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Ruçhan ÇÖMLEK orta derecede İngilizce bilmektedir.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-2240-4343

Yayınlar:

1. Demir, B., Sayıncı, B., etin, N., Yaman, M., & ömlek, R. (2019). Shape discrimination of almond cultivars by Elliptic Fourier Descriptors. *Erwerbs-Obstbau*, 61(3), 245-256.
2. Sayıncı, B., ömlek, R., Boydaş, M. G., Kara, M., & Demir, B. (2017). Konik huzmeli memelerde kullanılan girdap plakotlerinin huzme açısı ve püskürtme paternine etkisi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 34(Ek Sayı), 1-9.
3. Sayıncı, B., Demir, B., ömlek, R., & Boydaş, G. (2019). Comparison of spray transfer and penetration of different hydraulic nozzles at low application volume. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 34(1), 67-75.
4. ömlek, R., & Yıldız, T. (2023). Farklı Dal apı ve Dal Açısına Sahip Yomra eşidi Fındık Ocaklarında Dal Fındık Verimi ve Mekanik Hasat Etkinliği. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 9(3), 379-386.
5. ömlek, R., & Sayıncı, B. (2023). Mekanik Püskürtme Paternatörü Tasarımı, Prototip İmalatı ve Pülverizatör Memelerinde Akış Testleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 38(3), 597-618.

6. Sayıncı, B., Çömlek, R., Demir, B., & Çomaklı, M. (2019). Effect of swirl plates on volumetric discharge rate and spray characteristics of hollow cone nozzles. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 34(2), 103-110.
7. Sayıncı, B., Çömlek, R., & Çomaklı, M. (2019). Droplet kinematic in hollow cone polyacetal (POM) sprayer nozzles. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Journal of Agricultural Sciences*, 29(1), 94-105.
8. Sayıncı, B., & Çömlek, R., (2015). İlaç tutunma analizleri için pestisitlerin yerine kullanılan sentetik renk maddelerinin geri kazanımı. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 11(3), 221-229.
9. Sayıncı, B., Çömlek, R., & Çomaklı, M. (2019). Konik huzmeli poliasetal (pom) pülverizatör memelerinde damla kinematiği. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 29(1), 94-105.
10. Sayıncı, B., Çömlek, R., Boydaş, M., & Demir, B. (2020). Döner Diskli Memede Disk Konum Açısı ve İlerleme Hızının Hacimsel Dağılım Düzgünlüğüne Etkisi. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 1(2), 311-323.
11. Sayıncı, B., Comlek, R., Çomaklı, M., & Demir, B. (2020). Operational Image Processing Approach for Spray Coverage Measurements in Pesticide Application. *Alinteri Journal Of Agriculture Sciences*, 35(2).
12. Sayıncı, B., Comaklı, M., & Comlek, R. (2021). Factors Affecting Spray Angle Of Hollow Cone Nozzles Used In Pesticide Applications. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30.
13. Demir, B., Sayıncı, B., Çetin, N., Yaman, M., & Çömlek, R. (2019). Unterscheidung der Fruchtform von verschiedenen Mandelsorten mit Hilfe von elliptischen Fourier-Deskriptoren. *Erwerbs-Obstbau*, 61, 245-256.

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1. TÜBİTAK BİDEB 2211-C Yurt İçi Öncelikli Alanlar Doktora Burs Programı (2018-2021).
2. YÖK 100/2000 Sürdürülebilir Etkin Tarım Doktora Burs Programı (2017-2021).