



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



İNSANSIZ HAVA ARACI İLE YABANCI OT İLACI UYGULAMASINDAKİ OPTİMUM ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Burak ERDURAN

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2022

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**İNSANSIZ HAVA ARACI İLE YABANCI OT İLACI
UYGULAMASINDAKİ OPTİMUM ÇALIŞMA
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Burak ERDURAN

Danışman: Prof. Dr. Arif Behiç TEKİN

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2022

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İnsansız Hava Aracı İle Yabancı Ot İlacı Uygulamasındaki Optimum Çalışma Parametrelerinin Belirlenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

02 / 11 / 2022

Burak ERDURAN

ÖZET**İNSANSIZ HAVA ARACI İLE YABANCI OT İLACI
UYGULAMASINDAKİ OPTİMUM ÇALIŞMA
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

ERDURAN, Burak

Yüksek Lisans Tezi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim
Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Arif Behiç TEKİN

Kasım 2022, 61 sayfa

Tarımsal üretimde kullanılmakta olan geleneksel yöntemlerin yerine akıllı tarım teknolojilerinin kullanılması artan bir eğilim göstermektedir. Bu teknolojilerin arasında, sivil kullanımına izin verilmesi ile birlikte yer alan insansız hava araçları (İHA)'dır. İHA'ların tarımda kullanımı uzaktan algılama tekniği ile veri toplama ve girdi uygulama olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılabilir. Geleneksel tarımda pestisitlerin uygulanması kendi yürür veya traktöre bağlı pülverizatörler aracılığıyla karadan, uçak veya helikopter ile havadan yapılabilmektedir. Akıllı tarımda ise pestisitlerin uygulanmasında diğer yöntemlere göre çeşitli üstünlükleri bulunduğu öngörülen İHA kullanılmaktadır. Ancak etkili mücadele için doğru kullanım parametreleri ve biyolojik etkinliği sorgulanmaktadır. Bu amaçla farklı çalışma parametreleri (uçuş hızı, uçuş yüksekliği, damla çapı) denenerek, suya duyarlı kağıtlar yardımıyla kaplama oranı dikkate alınarak optimum değerler belirlenmiştir. Bu optimum değerlerle mısır bitkisinde yaygın olarak kullanılan herbisitler 180 da alanda uygulanmıştır. Ayrıca söz konusu herbisitler tarla pülverizatörü ile de aynı arazide 85 da alana uygulanıp sonrasında her iki uygulamanın biyolojik etkinlikleri aynı arazide hiçbir uygulama yapılmayan 10 da araziye göre değerlendirilmiştir. Ölçülen değerlere uygulanan istatistiki analizler, İHA ile ilaçlamanın biyolojik etkinliğini %90,98, aynı arazide kullanılan tarla pülverizatörünün etkinliğini ise %94,33 olarak ortaya koymuştur. Çalışma, herbisitlerin uygulanmasında İHA'nın da doğru uçuş parametreleri ile başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Tarımsal İlaçlama, İlaçlama Performansı, Herbisit Uygulaması, Akıllı Tarım.



ABSTRACT**DETERMINATION OF OPTIMAL WORKING PARAMETERS
WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES IN WEED
MANAGEMENT**

ERDURAN, Burak

MSc in Department of Agricultural Engineering and Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Arif Behic TEKIN

November 2022, 61 pages

The use of smart agriculture technologies instead of traditional methods used in agricultural production shows an increasing trend. Among these technologies is unmanned aerial vehicles (UAV), which is allowed to be used by civilians. The use of UAVs in agriculture can be classified under two headings as data collection and input application with remote sensing technique. Application of pesticides in traditional agriculture can be done from the ground by self-propelled or tractor-mounted sprayers, or from the air by plane or helicopter. In smart agriculture, on the other hand, UAV, which is predicted to have various advantages over other methods, is used in the application of pesticides. However, correct usage parameters and biological effect are questioned for successful management. For this purpose, different operating parameters (flight speed, flight height, drop diameter) were tried and optimum values were determined by considering the coating rate with the help of water sensitive papers. With these optimum values, herbicides, which are widely used in maize, were applied in 180 da area. In addition, the aforementioned herbicides were applied to an area of 85 da on the same land with a field sprayer, and then the biological effect of both applications were evaluated according to the field in 10 decare where no application (untreated control) was made in the same field. Statistical analyzes applied to the measured values revealed that the biological effect of the pesticides with the UAV was 90.98%, and the effect of the field sprayer used in the same field as 94.33%. The study reveal that the UAV can be used successfully with the right flight parameters in the application of herbicides.

Keywords: Agricultural Spraying, Spraying Performance, Herbicide Application, Smart Agriculture.

ÖNSÖZ

Dünyada tarımsal üretimde geleneksel yöntemlerin yanı sıra yeni teknolojilerin kullanılması, tarımsal faaliyetlerin takibinin kolaylaştırılarak düzenlenmesi ve akılcı olan teknolojilerin uygulamaya aktarılması hızlı bir şekilde devam etmektedir. Bu teknolojilerden birisi de İnsanız Hava Araçları'dır. Özellikle geçtiğimiz 10 yılda farklı alan ve amaçlarda kullanımları bir hayli artan bu araçların tarımda kullanımında da gözle görülür bir artış söz konusudur. Bu artış araçların doğru kullanımındaki artış ile doğru orantılı değildir. Günümüzde hemen hemen Türkiye'nin her bölgesinde makine müteahhitliği veya bireysel bir şekilde kullanılan İHA'lar, genelde pestisit ve gübre uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu uygulamalar çoğu durumda deneme yanılma yoluyla kullanım deneyimi kazandığı bir duruma doğru gitmektedir. Uygulayıcıların birçoğunun ciddi olumsuz sonuçlar doğurabilecek yanlışları mevcuttur. Yürütmüş olduğumuz bu çalışma analiz sonuçları paylaşılan parametre denemeleri gerekse biyolojik etkinlik sonuçları paylaşılan İHA ile herbisit uygulamaları olsun uygulayıcılara ve araştırmacılara İHA ile bitki koruma ve bitki besleme ürünlerinin uygulama işlemleri hakkında fikir sahibi olmak isteyenlere ışık tutacaktır.

İZMİR

02/11/2022

Burak ERDURAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇKAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	7
3. GEREÇ VE YÖNTEM	14
3.1. Gereç	14
3.1.1. Deneme arazisi	14
3.1.2. Denemede kullanılan preparatlar	14
3.1.3. İHA'nın pülverizasyon karakteristiğinin tespiti	16
3.1.4. Görüntü Analiz Programları	17
3.1.5. İklimsel veriler	18
3.1.6. İlaçlama suyunun pH'sı	19
3.1.7. Fotoğraf çekimi ve suya duyarlı kağıtların görüntüleri	20
3.1.8. Uygulamalarda kullanılan tarla pülverizatörü	21
3.1.9. Uygulamalarda kullanılan insansız hava aracı	21
3.2. Yöntem	23
3.2.1. Uçuş ve pülverizasyon parametrelerinin belirlenmesi	23
3.2.2. Herbisit Uygulama Denemeleri	36
4. BULGULAR	42
4.1. Parametre denemeleri	42
4.2. Herbisit uygulamaları sonrasında elde edilen bulgular	46

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

5. SONUÇ	52
KAYNAKLAR DİZİNİ	55
TEŞEKKÜR.....	60
ÖZGEÇMİŞ	61



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1.1. Yamaha Rmax tek rotorlu ilaçlama insansız hava aracı.	2
3.1. Parametrelerin belirlenmesinde kullanılan suya duyarlı kağıt.	17
3.2. Unit marka Ut-363 BT model mini anemometre.	18
3.3. Oakton marka multiparameter tester 35 model pH metre.	19
3.4. Tamron marka Af Sp XR Di II LD Aspherical model objektif takılı Canon marka EOS400d model fotoğraf makinesinin görüntüleri.	20
3.5. Olympus marka SZ61 model stereo mikroskobun görüntüleri.	20
3.6. PARLAYAN marka AMAZON model x kollu tarla tipi pülverizatör görüntüsü.	21
3.7. XAG marka XP2020 model insansız hava aracı.	22
3.8. İHA kalkış pisti ve kalkışa hazır İHA.	25
3.9 a) RTK Tripodunun yerleştirilmiş görüntüsü.	26
3.9 b) RTK Anteninin yakından görünüşü.	26
3.10. Her bir parselin başına, ortasına ve sonuna yerleştirilen düzeneklerin temsili üstten görünüşü.	27
3.11. Parsellere yerleştirilen suya duyarlı kağıt düzeneği	28
3.12. Suya duyarlı kağıtların araziye yerleştirilmesi.	28
3.13. UTHSCSA Image Tool programının ‘Open Image’ komutunun ekran görüntüsü.	31
3.14. UTHSCSA Image Tool programının ‘Open Image’ komutunda açılan suya duyarlı kağıdın ilk görüntüsü.	31
3.15. UTHSCSA Image Tool programının ‘Color to Grayscale komutu ile suya duyarlı kağıtların gri tonlamalı halinin ekran görüntüsü.	32
3.16. Image Tool programının Threshold-Manuel komutu ile suya duyarlı kağıtların eşik değerinin ayarlama ekran görüntüsü.	33
3.17. UTHSCSA Image Tool programının Count Black and White Pixels komutu ile suya duyarlı kağıtların kaplama alanları ekran görüntüsü.	34
3.18. UTHSCSA Image Tool programının Object Analysis-Analyze komutu ile suya duyarlı kağıtlarda tespit edilen damlaların ekran görüntüsü	35
3.19. UTHSCSA Image Tool programının Object Analysis-Analyze komutu ile suya duyarlı kağıtlarda tespit edilen damlaların Feret Diameter, Roudness, Area değerlerinin ekran görüntüsü.	35
3.20. İHA kalkış pisti görüntüsü.	37
3.21. Denemelerin yürütüldüğü arazi haritası.	39
3.22. Herbisit uygulamalarından 20 gün sonra yapılan gözlem.	40
3.23. Yabancı otların yoğunluklarını belirlemede kullanılan çerçeve görüntüleri.	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
1.1. İHA ile tarla pülverizatörünün kıyaslanması.	4
1.2. Etkili bir pestisit uygulaması için birim hedef yüzeyine tutunması gereken damla sayıları.....	5
3.1. Anhuı 40 SC herbisitine ait teknik bilgiler.	15
3.2. Arrat herbisitine ait teknik bilgiler.	16
3.3. Unit marka Ut-363 BT model mini anemometreye ait teknik özellikler.....	19
3.4. XAG marka XP2020 model insansız hava aracına ait teknik özellikler.....	22
3.5. Yayınlanmış çalışmalardan alınan farklı İHA türleri için optimum işletme parametreleri.	24
3.6. Performans test parametreleri.....	25
3.7. İHA ile ilaçlama parametreleri belirleme uygulamalarında kullanılan deneme karakterleri.	29
3.8. Herbisit uygulamalarında kullanılan deneme karakterleri.	37
4.1. Parametre deneme uygulamaları.	42
4.2. Suyu duyarlı kağıtların yüzde (%) kaplama oranları ve ortalamaları.....	43
4.3. Suyu duyarlı kağıtların yüzde (%) kaplama oranları ve ortalamaları grafiğı.	44
4.4. Suyu duyarlı kağıtlarda damlaların hacimsel ortalama çap değeri.	45
4.5. Suyu duyarlı kağıtlarda bulunan damla sayıları.	46
4.6. Deneme alanında yoğun olarak görülen yabancı ot türleri.	46
4.7. Deneme arazisine ait meteorolojik iklim verileri.	47
4.8. Mısıı Bitkisine Özel Fitotoksite Değerlendirmeleri.....	48
4.9. Uygulamaların biyolojik etkinlik yüzde (%) etki değeri.	49
4.10. Denemede elde edilen ham verilere uygulanarak hesaplanmış transformasyon değeri.....	50
4.11. Varyans analiz sonuçları.	51
4.12. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları.....	51
5.1. İHA'nın ve tarla pülverizatörünün biyolojik etkinlik performansı ve analiz sonuçları.....	52
5.2. Uygulamaların tekerrürlere göre biyolojik etki düzeyi (%).	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$Dv_{0,5}$	Hacimsel ortalama çap (μm)
n_i	çap grubuna giren damla sayısı (adet)
d_i	çap grubu orta değeri (μm)
n	toplam damla sayısı (adet)
%	Yüzde
m	Metre
m^2	Metrekare
cm	Santimetre
cm^2	Santimetrekare
g	Gram
Ort	Ortalama
<u>Kısaltmalar</u>	
İHA	İnsansız Hava Aracı
EPPO	Avrupa Ve Akdeniz Bitki Koruma Örgütü
AB	Avrupa Birlięi
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
SDK	Suya Duyarlı Kağıt



1. GİRİŞ

Mısır (*Zea mays* L.) buğdaygiller familyasına (Poaceae) ait bir sıcak iklim tahılıdır. Gerek insan besin maddesi ya da hayvan yemi olarak, gerekse sanayide birçok ürünün hammaddesi olarak kullanılan mısır bitkisi, üretimi yapılan hububatlar içerisinde ilk sıralarda yer almaktadır (Pala, 2020). Dünyada 2019/2020 yılı verilerine göre 168 milyon ton mısır ithalatı ve 166 milyon ton mısır ihracatı gerçekleşmiştir. Dünya mısır ithalatında AB ülkeleri ve Asya ülkeleri, mısır ihracatında ise ABD, Güney Amerika ülkeleri ve Ukrayna söz sahibidir. Dünyada 2019 yılında 1,1 milyar ton mısır üretimi yapılmış olup %26'lık pay ile ABD ihracatta ilk sırada yer almaktadır. Türkiye mısır ekim alanları 2015 yılında 6,9 milyon da iken 2019 yılında 6,4 milyon dekar, üretim ise 2015 yılında 6,4 milyon ton iken 2019 yılında 6 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Aynı dönemde dekara ortalama verim ise 930 kg'dan 940 kg'a çıkmıştır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Mısır üretimi 2020 yılında 6,5 milyon ton ile toplam tahıl üretiminin kendi başına %9,37'sini oluşturmaktadır. (TÜİK, 2020).

Mısır üretiminde en önemli problemlerden biri yabancı otlardır. Yabancı otlarla mücadele yapılmadan mısır bitkisinde iyi bir verim almak mümkün değildir. Bu nedenle ekiliş alanlarının tamamına yakınında yabancı ot mücadelesi yapılmaktadır. Yabancı otların neden olduğu zararlardan en önemlisi, kültür bitkisi ile su, ışık, mineral besin maddeleri ve yer bakımından rekabetleridir. Özellikle erken dönemlerde zarar daha fazladır. Zira yabancı otlar kısa zamanda gelişmekte ve verimi etkilemektedir (Başaran ve ark., 2020). Oerke ve Dehne 'ye göre (2004) mısır üretiminde yabancı otlardan kaynaklanan zarar %37 civarındadır. Ülkemizde ve dünyada mısır bitkisinde bu denli önemli olan yabancı otların kimyasal mücadelesi çok uzun yıllardır tarla pülverizatörleri ile yapılmaktadır.

İnsan nüfusu tarih boyunca devamlı artmaktadır. Giderek artış gösteren bu nüfus, insanların hayatını sürdürebilmeleri için, sürekli olarak gıdaya talebi

artırmaktadır. Bunun sonucunda geçmişten günümüze kadar yetiştiriciliği yapılan tarım ürünlerine daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Buna bağlı olarak tarımsal üretim yapılan alanların sürdürülebilirliği ve bu alanlarda yapılan uygulamaların doğru, akılcı ve ekonomik olması ayrıca çevre ve insan sağlığı açısından en az zararda olması önem kazanmıştır. Dünyada tarımsal üretimde geleneksel yöntemlerin yanı sıra yeni teknolojilerin kullanılması, tarımsal faaliyetlerin takibinin kolaylaştırılarak düzenlenmesi ve akılcı olan teknolojilerin uygulamaya aktarılması hızlı bir şekilde devam etmektedir (Ercan ve ark., 2019).

İnsansız hava aracı (İHA) ile bitki koruma ürünlerinin uygulanması yaklaşık 20 yıllık bir geçmişe sahiptir ve ilk araç Yamaha şirketinden ilaçlama amacıyla insansız bir helikopterin geliştirilmesi isteği ile geliştirilmiştir. İlk zamanlarda Japonya'daki çeltik üreticilerine son yıllarda ise farklı ürünlerin yanı sıra uluslararası düzeyde kullanıma da sunulmuştur (Anonymous, 2022). Ülkemizde ise İHA'ların 2010 yılında sivil kullanıma açılmasıyla birlikte uzaktan algılama kapsamında görüntü alma amaçlı kullanımı artmış bununla birlikte tarımsal arazilerin ilaçlanmasında İHA'nın kullanımı ile ilgili talep son birkaç yıldır tartışılır duruma gelmiştir. Son zamanlarda ilaçlama İHA'larının kullanımı giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. Tarla pülverizatörüyle İHA ilaçlamasının kıyaslanması ve mısır bitkisinde yaygın olarak kullanılan herbisit preparatlarının kullanılarak teknik ve biyolojik etkinliklerinin ortaya koyulması bu konuda aydınlatıcı bir öneme sahip olacaktır.



Şekil 1.1. Yamaha Rmax tek rotorlu ilaçlama insansız hava aracı (Anonymous, 2022).

İHA'ların tarımsal üretimde kullanımı akıllı tarımda kullanılacak verilerin alt yapısını oluşturacak uzaktan algılama ve bitki izleme tekniklerine dayalı bitkilerde hastalık ve zararlı tespiti, su stresi tespiti, verim/olgunluk tahmini, yabancı ot flora tespiti, su kaynakları kontrolü amacıyla yapılan pasif uygulamalardır. Bir diğer kullanım alanı ise tarım kimyasallarının uygulanması, zararlı hayvanların uzaklaştırılması ve çiftlik hayvanları kontrolü gibi çalışmaları kapsayan aktif uygulamalardır. İHA'lar Yamaha şirketinden ilaçlama amacıyla insansız bir helikopterin (Şekil 1.1) geliştirilmesi isteği ile 1980'lerde Japonya'nın öncülüğünde tarımsal girdi uygulanma amaçlı kullanılmaya başlanmıştır (Türkseven ve ark., 2016).

Günümüzde en sık kullanılan ilaçlama yöntemi püskürtme yolu ile yapılan ilaçlamadır. Püskürtme işlemi kara veya hava araçlarıyla gerçekleştirilebilir. Kara araçları ile pestisitlerin uygulanmasında ilaçlama işlemi için gerekli ekipman bir işçi tarafından taşınıp arazi boyunca gezilerek işlem tamamlanabilir ya da bu ekipmanın taşınması için mümkünse traktör gibi bir kara taşıtı da kullanılabilir. Bu yöntemin dezavantajları, uygulama esnasında işçinin/sürücünün bu kimyasal maddeleri soluması durumunda sağlık problemleri yaşaması ve arazi içinde dolaşırken ürünlerin ezilerek zarar görme ihtimallerinin bulunmasıdır. Yapılan gözlemler elde edilen verimin, ürünlerin ezilmesinden kaynaklı, %10 oranında azalabildiğini göstermektedir (Koçak, 2006).

Hava yoluyla ilaçlama yönteminde ise sprej donanımı tek motorlu uçak veya helikopter gibi bir hava aracına entegre edilir. İlaçlama süresinde kara yolu ile uygulanan yöntemle kıyasla %63 oranında zamandan tasarruf edilebilir. Ayrıca pestisit arazinin tümüne daha homojen dağıtılabilir. Tüm bu avantajlarının yanında bu yöntemin pahalı ve zor erişilebilen bir yöntem olduğu gerçeği göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer yandan, yüksek irtifada havadan yapılan bu ilaçlama yönteminde pestisit damlalarının arazi dışına savrulması (sürüklenerek) çevreyi kirliletme ve halk sağlığı üzerinde olumsuz etki yaratma olasılığı da bulunmaktadır. Bu nedenle 2000'li yıllarda sadece 103 adet civarında bulunan tarım uçaklarının birçoğu havadan ilaçlamanın yasaklanmasıyla kullanılamamaktadır (Ay and Ince, 2015).

İnsansız hava araçları, havadan ilaçlamada önceden kullanılan uçak ve helikopterlerle kıyaslandığında, daha alçak irtifalardan ilaçlama olanağını kullanıcılara sunmaktadır. Bunun yanı sıra üzerinde bulunan gelişmiş sensörleri sayesinde bitki kanopisine olan uzaklığını sürekli aynı tutmak üzere yükselip alçalarak hedefe istenilen/belirlenen yükseklikte ilaçlama yapılabilmektedir. İHA ile ilaçlama diğer havadan ilaçlama yöntemlerine göre daha ekonomiktir ayrıca otonom uçuş özelliği sayesinde insan kaynaklı pilotaj hatalarını da minimuma indirmektedir (Çizelge 1.1).

Tarihsel geçmişi her ne kadar yirmi yıla yaklaşıp da insansız hava araçlarının tarımsal girdilerin uygulanmasında kullanımı son 5 yılda hızla önem kazanmaktadır. Günümüzde dünya genelinde çoğu Asya-Pasifik kökenli 350-400 adet firmanın bu tip araçları imal ettiği ve her birinin ortalama 5'er adet farklı modeli bulunmaktadır. Üreticiler tarafından özellikle tarımsal ürünlerin ilaçlamasında sağladığı faydalar nedeniyle son yıllarda yaygınlaşarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ise son birkaç yıldır toplumsal farkındalık ve talep artmıştır. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'nın öncülüğünde İHA'ların bu amaca yönelik kullanımı üzerine yasal zemin hazırlanmaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Bununla birlikte yapılan literatür araştırmasında ilgili araçların performans ölçütleri üzerine sınırlı sayıda çalışmanın yapıldığı görülmektedir.

Çizelge 1.1. İHA ile tarla pülverizatörünün kıyaslanması.

	Tarla tipi pülverizatör	İnsansız hava aracı
Traktör	Gerekli	-
Su lojistiği	Gerekli	-
Su kullanımı	40-60 L/da	1-2 L/da
İlaçlama süresi	6-9 min/da	1 min/da
Yakıt tipi	Dizel	Elektrik
Yakıt sarfiyatı	0,6-1,0 L/da	0,02 L/da (jeneratör)
İlaçlama sırasında ürün kaybı	%5-15	-
Hastalık/Zararlı yayılımı	Vektör etkisi	-
Toprak nemi	Neme bağımlı	Nemden bağımsız

İnsan sağlığı	Pülverize edilen damlalarla fiziksel temas/soluma riski	-
Sürücü kaynaklı hatalar	%5-10	Otonom
İlaç tasarruf potansiyeli	-	Geleneksel uygulamaya göre %20-30
Sürüklenme	Makine teknik özellikleri ve çalışma koşullarına bağlı olarak sürüklenmeye duyarlı	Araç aerodinamik yapısı, damla oluşturma yöntemi ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişken
Kullanım	Tarla başı ve sonunda makine kollarının açılması/toplanması	-

Pestisit uygulamasında kullanılan teknolojinin başarı ölçütleri arasında “önerilen dozda uygulanan pestisit ya da pestisit-su karışımının hedefe ulaşması (minimum sürüklenme)” ve mücadele etmenine bağlı olarak “yeterli kaplama oranının (cm²'deki damla sayısı)” sağlanması en önemlilerindendir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. Etkili bir pestisit uygulaması için birim hedef yüzeyine tutunması gereken damla sayıları (Matthews, G. A. 1988; Gajtkowski, A. 1985).

Pestisit uygulaması		Damla sayısı (adet / cm²)	Damla çapı (µm)
Herbisit	Çıkış öncesi	20-40	250-400
	Kök sistemini etkileyen tip	50	
	Çıkış sonrası, kontak etkili	50-70	
Fungusit	Kontak etkili	50-70	150-250
	Sistemik etkili	20-30	
İnsektisit	Kontak etkili	50	200-300
	Sistemik etkili	20-30	

İnsansız hava araçlarının aerodinamik yapısının anılan başarı ölçütleri üzerine olumlu/olumsuz etkisi vardır. Bu etkiler İHA ile pestisit uygulamalarını tarla pülverizatörü ile pestisit uygulamalarından ayırmaktadır.

Bu çalışma ile, söz konusu başarı ölçütleri dikkate alınarak insansız hava aracı ile uygulamanın optimum çalışma parametrelerinin belirlenmesi sonrasında belirlenen bu optimum çalışma parametreleri, mısır bitkisinde yaygın olarak kullanılan herbisitlerle, arazi koşullarında test edilmiştir. Bu doğrulama testlerinin, akıldaki İHA ile uygulanan yüksek pestisit/su konsantrasyonu (tarla pülverizatörü ile uygulamaya göre kıyaslandığında 20-40 kat daha yüksek) hakkındaki soruya da yanıt bulması hedeflenmiştir. Arazi testlerinde belirlenen optimum işletme parametreleri dikkate alınarak, mısır bitkisinde yaygın olarak kullanılan herbisitlerin İHA ile uygulanması halinde tarla pülverizatörüne göre etki ve başarı durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Shilin ve ark. (2007) pestisit uygulaması amacıyla kullanılan dört farklı tipte insansız hava aracının performansını değerlendirmek üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda, araçlarla uygulanan pestisit hem iş genişliği hem de aracın ilerleme doğrultusunda yüzey kaplamasının yeterli olmadığını göstermiştir. İHA ile pestisit uygulamaları esnasında zamanın %50'sini yer hizmetlerinin, %10'unu hazırlık çalışmalarının, %10'unu ise rota planlamasının aldığını operasyon süresinin ise sadece %30 oranında bir zaman aldığını belirtmişlerdir. Benzer miktarda pestisit püskürtme hacmi ve aynı çalışma parametreleri koşulu altında, damlacığın hacim medyan çapının (VMD), kapsama yoğunluğu ile negatif korelasyon gösterdiğini belirtmiş ve pestisit uygulamasında kullanılan İHA'ların performanslarının hala iyileştirilmesi gerektiği sonucunu ortaya koymuşlardır.

Costa ve ark. (2012) tarım uygulamalarında insansız hava araçları ve kablosuz sensör ağlarının (WSN) kullanımıyla ilgili yürüttükleri çalışmanın sonucunda İHA'ların bitkisel üretimde pestisitleri uygulamak için kullanılabilir olduğunu söylemişlerdir. Pestisit uygulama sürecinin, üretim alanına yerleştirilen kablosuz sensör ağından (WSN) elde edilen geri bildirim aracılığıyla kontrol edilebileceğini savunmuşlardır. Ayrıca, İHA ile WSN arasındaki iletişim mesajlarının sayısının etkisini değerlendirmişler ve sonucunda, sensörlerden gelen geri bildirim bilgilerine dayalı olarak rotanın ayarlanmasının pestisit israfını en aza indirebileceğini göstermişlerdir.

Zhang ve ark. (2012) yürüttükleri çalışmada WPH642 model İHA ile çeltikte 1, 2, 3 ve 4 m uçuş yüksekliklerinde ve 1,5 m/s, 2,0 m/s ve 2,5 m/s uçuş hızlarını test etmişlerdir. Optimum uçuş yüksekliğini 2 m ve optimum uçuş hızını da 1,5 m/s olarak bulmuşlardır.

Qin ve ark. (2014) Çin Tarım Bakanlığına bağlı Nanjing Tarımsal Mekanizasyon Araştırma Enstitüsü'nde bir çalışma yürütmüşlerdir. Geç ekim ikinci ürün mısır bitkisinde farklı uygulama yükseklikleri (5, 7, ve 9 m) ve iş genişliklerini araştırmışlardır. Sonuç olarak 3 m/s uçuş hızında 7 m uçuş yüksekliği ve 7 m iş genişliği parametrelerinin optimum olduğu kanısını varmışlardır.

Faiçal ve ark. (2014) tarımsal alanlarda pestisit ve gübrelerin uygulanmasının ürün verimi açısından büyük öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır. İHA'ların kullanımının, pestisit püskürtme uygulamalarındaki hızları ve etkinlikleri nedeniyle giderek yaygınlaştığına değinmişlerdir. Bununla birlikte, pestisitlerin sürüklenmesi ya da uygulamaların üst üste binmesi gibi bazı faktörlerin verimi azaltabileceğini, hatta hasara neden olabileceğini söyleyerek, bu etkileri ortadan kaldırabilmek için bir algoritma geliştirmişlerdir. İHA yerdeki kablosuz sensör ağından verileri alır ve bu bilgiler ile belirli rotalarda rüzgarın şiddeti ve yönüne göre pestisit ve gübre uygulaması yaptığını ve yapılan araştırma sonucunda kablosuz sensör ağından 10 saniye aralıkla gönderilen bilgilerin 30 saniye aralıkla gönderilen bilgilere göre % 14 ve hiçbir bilgi göndermeden yapılan ilaçlamaya göre ise % 27 oranında ilaç kullanımını azalttığı bilgisini ortaya koymuşlardır.

Ay ve İnce (2015) tarımsal üretimde verimi arttırmak için hastalık zararlı ve yabancı otlarla mücadele edilmesinde çoğunlukla püskürtme yoluyla pestisit uygulaması yapıldığını söylemişlerdir. Tarla pülverizatörü kullanılarak yapılan uygulamalarda ürünün traktörden ve ekipmandan dolayı çok zarar gördüğünü, havadan yapılan uçak veya helikopterde ise hedef dışı alanlara da pestisitlerin istenmeden ulaştığını vurgulayarak arazide rahatlıkla uçabilecek ve pestisit uygulaması yapabilecek İHA için bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem, İHA'yı kontrol eden bir otopilot, İHA'yı takip etmek için yer kontrol istasyonu ve püskürtme mekanizmasından oluşmaktadır. Geliştirilen sistem ile herhangi bir arazide ilaçlama yapılmadan önce İHA'nın menzili, havada kalma süresi ve ne kadar dolum yapacağı önceden belirlenebilmektedir.

Zhang ve ark. (2015), İHA ile ilaçlamada sürüklenme üzerine Çin Tarım Bakanlığına bağlı Nanjing Tarımsal Mekanizasyon Araştırma Enstitüsü'nde bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada uçuş hızı 3 m/s olarak sabit tutulmuş ve püskürtmeye dik gelecek şekilde 1 m/s, 2 m/s ve 3 m/s hızlarında uçuş doğrultusuna dik olarak yan taraftan rüzgar uygulanmıştır. Bu parametreler uçuş yükseklikleri 5 m, 6 m ve 7 m'de denenmiştir. Sonuç olarak, sürüklenme olayında bu yan rüzgarların uçuş yüksekliğinde daha fazla etkili olduğunu ve püskürtme alanından rüzgar yönüne doğru, rüzgar şiddetine göre, 1-3, 8-10 metreye kadar tampon bölgesi koyulması gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

Giles ve ark. (2015) California Üniversitesi'nde "Oakville Field Station" üretim alanındaki bağ arazisinde, aslında Asya'da çeltik için üretilen benzinle çalışan Yamaha marka Rmax model İHA ile yürüttükleri çalışmanın sonucunda 1,4 - 3,9 L/da ilaç normunda saatte 20-45 da bağ arazisi ilaçlama kabiliyetinin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Zhou ve He (2016), ABD'nin Florida eyaletinde yürüttükleri bir çalışmada, beş çay bitkisine suya duyarlı kağıtları yerleştirerek farklı püskürtme denemeleri gerçekleştirmişlerdir. 0,3, 0,5 ve 0,7 m/s'lik uçuş hızlarında yürütülen denemeler neticesinde uçuş hızı arttıkça kağıtlardaki kaplama alanı yüzdesinin ve damlacık yoğunluğunun azaldığını damlacık dağılım homojenliğinin ise arttığı sonucuna varmışlardır.

Qin ve ark. (2016) çeltikte yürüttükleri bir çalışmada ise HyB-15L tek-rotor İHA için optimum uçuş parametrelerini 5 m/s hızında optimum uçuş yüksekliğinin 1,5 metre olduğu sonucuna varmışlardır.

Qin ve ark. (2016) çeltikte yürüttükleri bir diğer çalışmada ise P-20 dört-rotor İHA için 1-3 arasındaki uçuş yüksekliklerini ve 2-6 m/s aralığındaki uçuş hızlarını denemişlerdir. Çalışma sonucunda söz konusu İHA için 2 metre uçuş yüksekliğinin ve 3,7 m/s uçuş hızının optimum parametreler olduğu sonucuna varmışlardır.

Zhang ve ark. (2016) turunçgil arazisinde yürüttükleri çalışmada 3W-LWS-Q60S dört-rotor İHA kullanarak 0,5 m, 1,0 m ve 1,5 m uçuş yüksekliklerini 1m/s uçuş hızında test etmişlerdir. Sonuç olarak en iyi damlacık dağılımını 1 metre yükseklik parametresinde olduğunu ortaya koymuşlardır.

Bozdoğan ve ark. (2016), İHA'ların pestisit ve gübre uygulamasının yanı sıra zararlı tayini, yayılımı, rekolte tahmini vb. konularda da üreticilere yardımcı olduğunu ve sadece düz, engelsiz ve küçük parçalı arazilerde değil aynı zamanda eğimli ve engelli arazilerde de kullanım kolaylığı bulunduğunu vurgulamışlardır.

Zhang ve ark. (2017) yürüttükleri başka bir çalışmada bir rüzgar tünelinin farklı kısımlarında damlacık boyutunun, damla hızının, püskürtme açısının, akış hızının, püskürtme yüksekliğinin, rüzgar hızının ve bitkinin farklı fenolojik dönemlerinin püskürtme esnasında bitkide kalan pestisit miktarına etkilerini tespit etmek istemişlerdir. Sonuç olarak püskürtme esnasında bitkide kalan sıvıya damlacık boyutu, püskürtme yüksekliği, rüzgar hızı ve bitkinin farklı fenolojik dönemleri etkili bulunmuştur. Püskürme açısı, akış hızı ve bitki tipinin püskürtme dağılımı üzerine etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır.

Zheng ve ark. (2017) mısır bitkisinin farklı fenolojik dönemlerinde İHA'nın farklı çalışma parametrelerinin bitkide kalan damlacık birikimi üzerine modelleme çalışması yürütmüşlerdir. Çalışma neticesinde yaptıkları modellemeler %20'lik hata payının içinde ve %90 doğrulukla çalıştığını bununda farklı fenolojik dönemdeki mısır bitkisi için uygun İHA uygulama parametresi seçiminde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Wang ve ark. (2017) benzinle çalışan tek rotorlu bir İHA kullanarak farklı çalışma yükseklik ve hızlarından rüzgarın sürüklenme üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda ise güvenli bir pestisit uygulaması için ortalama 31,5°C sıcaklık, ortalama %34,1 bağıl nem şartlarında en az 15 metrelik bir tampon bölge bırakılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Chen ve ark. (2017) TXA-16 model altı-rotor bir İHA ile turunçgilde İHA ile pestisit uygulama parametre çalışmaları yürütmüşlerdir. Çalışmalarda 1,5 m, 2,0 m ve 2,5 m uçuş yükseklikleri ve 2, 4, 6 m/s uçuş hızları denenmiştir. Çalışma sonucunda dakikada 1 L meme debisi ile 2,5 m uçuş yüksekliğinin ve 4 m/s uçuş hızının optimum olduğu kanısına varmışlardır.

Lian ve ark. (2019) İHA ile yapılan bir pestisit uygulamasının, düşük çalışma yüksekliği, daha az sürüklenme, düşük maliyet ve yüksek kullanım esnekliği vb. avantajları sayesinde tarımsal havacılık uygulamalarında hızlı gelişmeler yaşandığına değinmişlerdir. Son zamanlarda düşük irtifa ve düşük hacimli uygulama için İHA tabanlı püskürtme sistemlerinin ve uygulama teknolojilerinin geliştirilmesi önemli bir ilerleme kaydettiğini ve farklı ürünlere ilaçlama yapabilmek için çeşitli İHA türlerinin kullanıldığını vurgulamışlardır.

Qin ve ark. (2018) buğdayda yürüttükleri bir diğer çalışmada ise N-3 model İHA ile farklı uçuş yüksekliklerinde buğdayda fungusit kullanarak bitki yüzeyinde optimum damlacık tutunumu için bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma sonucunda 5 metre uçuş yüksekliğinde 4 m/s uçuş hızında buğdayın alt yapraklarında önemli damlacık tutunmaları olduğunu ve uygulamanın homojen olduğunu vurgulamışlardır.

Worldt ve ark. (2018) yürüttükleri bir çalışmada 8 rotorlu MG-1 ve 6 rotorlu V6A İHA'larını 2, 3, 4 metre uçuş yüksekliklerinde ve 1, 3, 5, 7 m/s uçuş hızlarında denemişlerdir. Çalışma sonucunda MG-1 için 2 metre yüksekliği ve 3 m/s uçuş hızını optimum bulurken, V6A için 3 metre yüksekliği ve 7 m/s hızı optimum parametre olarak ortaya koymuşlardır.

Wen ve ark. (2018) "Değişken Püskürtme Sisteminin Tasarımı ve İnsansız Hava Araçları ile Zararlı Kontrolü" hususunda yürüttükleri çalışma sonucunda, hacim ile hedef arasındaki sapmanın % 2,16 içinde sabit olduğunu göstermişlerdir. Farklı püskürtme gereksinimleri altında değişken püskürtme işlemi elde edildiğini vurgulamışlar ve değişken püskürtme sisteminin dış mekân

testleri, değişken püskürtme sisteminin, reçete haritasında belirlenen reçete değerine göre akışı hızlı bir şekilde ayarlayabildiğini göstermişlerdir.

Liao ve ark. (2019) 3 farklı İHA ile pamukta defoliant uygulanabilirliği ve uygulama parametreleri üzerine çalışmışlardır. İki yıl süren arazi çalışmaları sonrasında pamukta defoliant uygulamasının İHA ile mümkün olduğunu hatta lojistik anlamda geleneksel uygulamaya göre daha avantajlı olduğunu söylemişlerdir. Bunun yanında 1,5 uçuş yüksekliğinde kullandıkları üç araç için optimum uçuş hızlarını da YR-GSF06, 3,12 m/s, TAX, 2,51 m/s ve YR-AU 3,76 m/s şeklinde sıralamışlardır.

Peña ve ark. (2015) yabancı otların yok edilmesi için uygulanan herbisit miktarını optimize edebilmek için arazinin doğru ve anlık yabancı ot haritalarına ihtiyaç duyulduğunu söylemişlerdir. Bu durumda yabancı otların sayısını ve miktarını tespit edebilmek için İHA'lar kullanılabildiğini ve bu alanda spektral, mekansal ve zamansal çözünürlük kavramlarının son derece önemli olduğunu vurgulamışlardır. Ayçiçeęi ekili arazide yürüttükleri çalışmada görünür ve yakın kızılötesi kameralarla elde edilen görüntüler ve nesne tabanlı görüntü analizi tekniği ile yabancı otlar belirlenmiştir. Her iki kamerada da en yüksek doğruluğun (%91) ekimden 50 gün sonra 40 m yükseklikten yapılan görüntülemeye elde edildiği gözlemlenmiştir.

Uz (2019) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, altı rotorlu otonom uçuş sağlayabilen bir hexacopter oluşturmuş olup, oluşturulan mekanizma doğrultusunda tasarlanan otomatik pestisit uygulaması veya sulama sistemi adaptasyonu gerçekleştirmiştir. Oluşturulan bu bütünleşik sistem doğrultusunda, oluşturulan altı rotorlu uçuş gerçekleştirebilen hexacopterin gerçekleştirdiği test uçuşlarına ait veriler elde etmiştir. Bu Hexacopter, ArduPilot programı ile bütünleşik çalışan Hexatar üzerinde GPS, altimetre, barometre gibi sensörlere de sahip olduğundan dolayı bu sensörlerden alınan tüm verileri (konum, yükseklik, gidiş yönü) ArduPilot programı üzerinde takip edilebilmektedir.

Hunter ve ark. (2020) farklı meme tiplerinin ve bazı parametrelerin kaplama oranına etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda "air-induction flat-spray (hava indüksiyonlu yelpaze tip)" ve "turbo air-induction flat-spray (turbo hava indüksiyonlu yelpaze tip)" tip memelerin 3 m/s'lik uçuş hızında gerekli kaplamayı sağladığı sonucuna varmışlardır.

Li ve ark. (2021), badem yetiştiriciliğinde yeni bir pestisit uygulama yöntemi olarak insansız hava aracının kullanım potansiyelinin değerlendirilmesiyle ilgili yürüttükleri çalışmada suya duyarlı kağıtlarla kaplama oranı, filtre kağıtları ile insektisit miktarı ve üç kanopi yüksekliğinde bütün kabuklu bademlerdeki kalıntılar analiz etmiş, hava ve zemin yöntemlerinin farklı uygulama hacimlerindeki performansı incelemiştir. Chlorantraniliprole aktif maddesine sahip insektisit tüm birleştirilmiş kanopi katmanlarında kabuğu çıkarılmış bademlerdeki genel kalıntı seviyeleri ile 4,68 L/da ilaç normunda İHA ile uygulama yapılan bademlerdeki kalıntı seviyelerinin benzer olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

Çalışmada, mısır bitkisinde çıkış sonrası (4-8 yaprak) herbisit uygulamasında kullanılan araçlarla birlikte test koşullarını belirlemeye ve ilgili verileri toplamaya yönelik cihazlar kullanılmıştır. Testlerin gerçekleştirildiği koşullar, kullanılan tüketim malzemeleri ve cihazlar aşağıda verilmektedir.

3.1.1. Deneme arazisi

Deneme, Manisa İli Şehzadeler İlçesi Harmandalı Mahallesiinde buğday hasadı yapılmış, dekara 50 kg 15-15-15 taban gübresi kullanılmış, ikinci ürün Dekalp firmasının DKC6664 isimli mısır çeşidi ekili ve geçmiş yıllarda yabancı ot problemi olduğu bilinen 275 da tarım arazisinde yürütülmüştür.

3.1.2. Denemede kullanılan preparatlar

- a) Nicosulfuron etken maddesine sahip herbisit** [Nicosulfuron 40 g/L SC (süspansiyon konsantre)]

T.C Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından ülkemizde 01.10.2014 tarihinde ruhsat almış 9845 ruhsat numaralı, “ASTRANOVA” firmasına ait Nicosulfuron etken maddesine sahip Anhuı 40 SC isimli herbisit kullanılmıştır. Herbisite ait teknik bilgiler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Anhuı 40 SC herbisitine ait teknik bilgiler.

Bitki Adı	Yabancı ot Adı	Uygulama Dozu ve Dönemi	Son Uygulama ile Hasat Arasındaki Süre
MISIR	Benekli darıcan (<i>Echinochloa colonum</i>) Darıcan (<i>Echinochloa crus-galli</i>) Çatalotu (<i>Digitaria sanguinalis</i>) Yeşil kirpi darı (<i>Setaria viridis</i>) Kırmızı köklü tilkikuyruğu (<i>Amaranthus retroflexus</i>) Köpek üzümü (<i>Solanum nigrum</i>) Domuz pıtrağı (<i>Xanthium strumarium</i>) Semizotu (<i>Portulaca oleracea</i>)	125 mL/da Mısır 4-8 yapraklı iken, yabancı otlar kardeşlenme öncesi veya kardeşlenme içinde oldukları erken dönemde (2-6 yaprak)	30 gün
	Kanyaş (<i>Sorghum halapense</i>)	125 mL/da İlacı bünyeye alacak yeterli çıkışlar olduktan sonra (10-30 cm boyda)	30 gün

**b) Dicamba+Tritosulfuron etken maddesine sahip herbisit [%50
Dicamba + %25 Tritosulfuron WG (suda dağılılabilen granül)]**

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından ülkemizde 01.08.2003 tarihinde ruhsat almış 4438 ruhsat numaralı, “BASF” firmasına ait Dicamba + Tritosulfuron etken maddelerine sahip Arrat isimli herbisit kullanılmıştır. Herbisite ait teknik bilgiler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Arrat herbisitine ait teknik bilgiler.

Bitki Adı	Zararlı Organizma	Uygulama Dozu ve Dönemi	Son Uygulama ile Hasat Arasındaki Süre
MISIR	Kırmızı köklü tilkikuyruğu (<i>Amaranthus retroflexus</i>) Köpek üzümü (<i>Solanum nigrum</i>) Domuz pıtrağı (<i>Xanthium strumarium</i>) Semizotu (<i>Portulaca oleracea</i>) Sirken (<i>Chenopodium album</i>) Horoz İbiği (<i>Amaranthus albus</i>) İmam Pamuğu (<i>Abutilon theophrasti</i>) Şeytan elması (<i>Datura stramonium</i>) Demir Diken (<i>Tribulus terrestris</i>)	25 g/da yabancı otlar kardeşlenme öncesi veya kardeşlenme içinde oldukları erken dönemde (2-6 yaprak)	35 gün

3.1.3. İHA'nın pülverizasyon karakteristiğinin tespiti

Damla çapı ve kaplama oranının belirlenmesinde yüzeyine su bazlı sıvı geldiğinde sıvı temas alanınca mavi rengi alan Sygenta firması tarafından üretilen 26*76 mm boyutlarındaki suya duyarlı kağıtlar kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Parametrelerin belirlenmesinde kullanılan suya duyarlı kağıt.

3.1.4. Görüntü Analiz Programları

3.1.4.1. Snapcard mobil telefon uygulaması

Parametre denemelerinde arazi koşullarında hızlı sonuç vermesi açısından The University of Western Australia and the Department of Agriculture and Food (Australia) tarafından geliştirilen “SnapCard” mobil telefon uygulaması kullanılmıştır (Nansen et al., 2015).

3.1.4.2. UTHSCSA Image Tool programı

Parametre denemelerinde kullanılan suya duyarlı kağıtların üzerinde oluşan damla sayılarının, hacimsel ortalama çaplarının ve kaplama oranlarının belirlenmesi amacıyla “UTHSCSA Image Tool version 3.0” bilgisayar programı kullanılmıştır.

3.1.5. İklimsel veriler

Denemeler sırasında sıcaklık ve rüzgar hızı gibi meteorolojik veriler Unit marka Ut-363 BT model mini anemometre ile ölçülerek kaydedilmiştir (Şekil 3.2). Cihaz ile ilgili teknik özellikler aşağıdaki Çizelge 3.3'te verilmektedir. Diğer yandan biyolojik etkinliği değerlendirirken etkisi olabilecek iklimsel değişimlere ait veriler <https://tr.freemeteo.com/> uzantılı web sayfasından alınmıştır.



Şekil 3.2. Unit marka Ut-363 BT model mini anemometre.

Çizelge 3.3. Unit marka Ut-363 BT model mini anemometreye ait teknik özellikler.

İşlevler	Menzil	Çözüm	Doğruluk
Rüzgar hızı	0 ~ 30 m / s	0,1 m / s	$\pm\% 5 \text{ rdg} + 0.5$
Sıcaklık	-10 ~ 50 °C	0,1 °C	$\pm 2 \text{ °C}$
	14 ~ 122 °F	0,2 °F	$\pm 4 \text{ °F}$
Rüzgar ölçeği	Seviye 0 ~ 12	1	± 1
Örnekleme oranı			0,5s
Pil			4.5V
Anlık tüketim	Çalışma	MA	$\leq 25\text{mA}$
	Kapat	UA	$\leq 10\text{uA}$
Çalışma alanı	Sıcaklık		0 ~ 40 °C
	Nem		$\leq\% 80$ bağıl nem

3.1.6. İlaçlama suyunun pH'su

Uygulamalarda kullanılan ilaçlama suyunun pH'ı 0,00-14,00 pH değerleri arasında 0,01 doğrulukta ölçüm yapabilen Oakton marka multiparameter tester 35 model cihazla ölçülmüştür (Şekil 3.3).

**Şekil 3.3.** Oakton marka multiparameter tester 35 model pH metre.

3.1.7. Fotoğraf çekimi ve suya duyarlı kağıtların görüntüleri

Suya duyarlı kağıtların fotoğraflarının çekiminde Tamron marka Af Sp XR Di II LD Aspherical model objektif takılı Canon marka EOS400d model fotoğraf makinesi kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Tamron marka Af Sp XR Di II LD Aspherical model objektif takılı Canon marka EOS400d model fotoğraf makinesinin görüntüleri.

Suya duyarlı kağıtların görüntülerinin analiz programına aktarımında Olympus marka SZ61 model stereo mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 3.5)



Şekil 3.5. Olympus marka SZ61 model stereo mikroskobun görüntüleri.

3.1.8. Uygulamalarda kullanılan tarla pülverizatörü

Tarla pülverizatörü ile insansız hava aracının kıyaslanmasına yönelik verilerin elde edilmesi için yürütülen testlerde 1000 L tank kapasitesine sahip 15 m iş genişliği olan 1,2 mm çapında konik hüzmeli nozül bulunan PARLAYAN marka AMAZON model x kollu tarla tipi ekipman kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. PARLAYAN marka AMAZON model x kollu tarla tipi pülverizatör görüntüsü.

3.1.9. Uygulamalarda kullanılan insansız hava aracı

Çalışmada XAG marka XP2020 model (Şekil 3.7), 4 rotorlu hareketli kanatlı, ilaçlama sistemine sahip, insansız hava aracı kullanılmıştır. Araç ile ilgili teknik özellikler aşağıdaki Çizelge 3.4’te verilmektedir.



Şekil 3.7. XAG marka XP2020 model insansız hava aracı.

Çizelge 3.4. XAG marka XP2020 model insansız hava aracına ait teknik özellikler.

Genel Ölçüler	
Uzunluk	2195 mm
Genişlik	2210 mm
Yükseklik	552 mm
Tank kapasitesi	20 L
Uçuş parametreleri	
Kontrol sistemi	Otonom/manuel uçuş modu
Kumanda	Akıllı cihaz/joystick
Yüklü ağırlığı	46,62 kg
Güç kaynağı	Lityum Polimer akıllı batarya (42 V)
İşletim Sistemi	Android 4
Kablosuz bağlantı	Entegre WiFi
Sim kart girişi	Var
Uçuş hızı	12 m/s (max)
Uçuş irtifası	4000 m (max)
Uçuş süresi	17 min
Çalışabildiği rüzgar hızı	10 m/s (max)
Düzeltilme Servisleri	RF sinyali, konumlama uyduları ve 4G sinyali
İlaçlama sistemi	
Tipi	Döner diskli
Nozül sayısı	4
Damla çapı	90 – 550 µm (çalışma gereksinimlerine bağlı olarak ayarlanabilir)
İş genişliği	4,5 - 7 m
Diğer Özellikler	
İş başarısı	17,7 ha/h (çalışma koşullarına bağlı olarak değişebilir)
Güvenlik sistemi	Otomatik engel tanıma ve kaçınma sistemi
Düzeltilme sinyali iletim yolu	Radyo
Düzeltilme sinyal tipi	CORS-TR ve RTK
Sinyal hassasiyeti (bildirilen)	± 10 cm (CORS-TR ve RTK)

3.2.Yöntem

3.2.1. Uçuş ve pülverizasyon parametrelerinin belirlenmesi

Parametre denemeleri 24.07.2021 tarihinde sabah saat 06:30'da Manisa'nın Şehzadeler ilçesine bağlı Harmandalı mahallesinde kurulmuştur. Bu deneme alanı SHGM'nin talimatlarına uygun olarak, uçuşa yasak bölgeler dışında kalmasına dikkat edilerek seçilmiştir.

Arazide mania kontrolü yapıldıktan sonra İHA'nın iniş ve kalkışı için en uygun alan belirlenmiştir. İHA'nın uçuşu için engel teşkil etmeyen bir noktaya İHA kalkış pisti kurulmuş ve gerekli kontrolleri tamamlandıktan sonra İHA piste yerleştirilmiştir.

Parametre denemeleri için, parsellerin boyutlarının belirlenmesinde EPPO ilaçlama standartlarının dikkate alınması hedeflenmiştir ancak EPPO ilaçlama standartlarında belirtilen parsel genişlik ve uzunluklarının parametre denemeleri için yeterli olmadığı İHA ile gerçekleştirilen ön test uçuşu sonucunda gözlemlenmiştir. Deneme karakterlerinde bulunan İHA hızları ve yükseklikleri de göz önünde bulundurularak her bir parselin genişliği 7 m, uzunluğu 20 m olmak üzere parsellerin büyüklüğü 140 m² olacak şekilde belirlenmiştir. Parseller arasında ise en az 5'er m emniyet şeridi bırakılmıştır.

Çizelge 3.5'te önceki çalışmalara ait veriler özetlemektedir. Çalışmalarda farklı aerodinamik yapıya sahip İHA'ların tarla ve bahçe bitkilerine pestisit uygulamasında kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar, insansız hava araçlarının performansını belirlemede, ölçüt olarak çalışma yüksekliği ve hızını dikkate almıştır. Bu bilgiler ışığında optimum çalışma parametrelerinin belirlenmesinde yükseklik ve hız değişken olarak ele alınmıştır. Damla çapı da kaplama oranına doğrudan etkili olduğu için değişken olarak eklenmiştir.

Çizelge 3.5. Yayınlanmış çalışmalardan alınan farklı İHA türleri için optimum işletme parametreleri.

İHA Tipi Ve Modeli	Ürün	Depo Hacmi (L)	Uçuş Yüksekliği (Yükseklik denemeleri / m)	Optimum Uçuş Yüksekliği (yükseklik/m)	Test edilen uçuş hızı (m.s ⁻¹)	Optimum Uçuş Hızı (Hız /m.s ⁻¹)	İlaçlama Genişliği (Genişlik /m)	CV(%)	Araştırmacılar
WPH642 helikopter	Çeltik	8	1,2,3,4	2	1,5 2 2,5	1,5	-	-	Zhang et al.
N-3 helikopter	Mısır	20	5, 7, 9	7	3	-	7.0	25	Qin et al.
Rmax tek-rotor İHA	Bağ	26	3-4	-	5,56	-	4,8-7,2	-	Giles and Billing
HyB-15L tek-rotorlu İHA	Çeltik	15	0,8 1,5	1,5	3, 5	5	-	23	Qin et al.
P-20 dört-rotorlu İHA	Çeltik	6	1-3	2	2-6	3,7	-	-	Qin et al.
3W-LWS-Q60S dört-rotorlu İHA	Turunçgil	6	0,5 1,0 1,5	1	1	-	-	13,4-34,4	Zhang et al.
TXA-16 altı-rotorlu İHA	Turunçgil	16	1,5 2,0 2,5	2,5	2,4,6	4	-	-	Chen et al.
N-3 helikopter	Buğday	25	3,5 5	5	4	-	-	33,1	Qin et al.
MG-1 sekiz-rotorlu İHA	-	10	2, 3, 4	2	1,3,5, 7	3	5-7	<25	Woldt et al.
V6A altı-rotorlu İHA	-	5	2, 3, 4	3	1,3,5, 7	7	5-7	<25	Woldt et al.
Jifei P20 dört-rotorlu İHA	Pamuk	6, 8, 10	1,5 2	2	1-8	-	1,5-3	50,3-178,1	Lou et al.

Parametre denemelerinin yürütüldüğü mısır bitkisi tarla bitkileri içinde yer alması nedeniyle literatürde tarla bitkileri üzerine yapılan çalışmalarda bildirilen optimum çalışma parametreleri göz önünde bulundurularak hız ve yükseklik değerleri ile İHA'nın katalog verileri dikkate alınarak, iklim koşulları da göz önünde bulundurularak belirlenen damla çapları ve denemelere ait belirlenen diğer test değişkenleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Performans test parametreleri.

Parametre	1	2	3
Uçuş Yüksekliği (m)	1,5	2	2,5
Uçuş hızı (m.s ⁻¹)	4	5	6
Damla çapı (µm) *	90	300	550

*Optimum damla çapları, başarılı bir mücadele için gerekli olan kaplama oranına göre belirlenmiştir.

İHA ile pestisit uygulaması için yüksek önem düzeyine sahip olan Real Time Kinematic anteni (Şekil 3.9a.) 20°'lik açısı boyunca etrafı açık olacak şekilde uygun bir noktaya tripodun ayakları sabitlenerek kurulmuştur (Şekil 3.9b.). Bu sayede gerçek zamanlı konum bilgileri cm hassasiyet düzeyinde elde edilmiştir. Sonrasında diğer mobil GPS ile denemenin geçkeleşeceği alanın sınırlarında uçuş yapılarak araziye oluşturan geometrik şeklin kırılma noktalarının koordinatları (köşe) kayıt altına alınarak arazinin dijital sınırları oluşturulmuştur.



Şekil 3.8. İHA kalkış pisti ve kalkışa hazır İHA.

Arazinin dijital sınırları oluşturulduktan sonra uçuş öncesi rotor, pervane ve kanat sistemlerinde bir sıkıntı olup olmadığı tekrar kontrol edilmiştir (Şekil 3.8). 40 g/L Nicosulfuron aktif maddesi içeren SC (süspansiyon konsantre)

formülasyonuna sahip ANHUI 40 SC ve litrede %50 Dicamba + %25 Tritosulfuron aktif maddelerini içeren WG (suda dağılılabilen granül) formülasyonuna sahip ARRAT herbisitleri etiketlerindeki önerilen dozlar dikkate alınarak uygulama yapılacak alana ait ilaç karışım miktarı hesaplanmıştır. İHA'nın deposunda kendi karıştırıcısı bulunmadığı için hesaplanan miktar herbisit ayrı bir kapta su ile homojen olacak şekilde karıştırılıp depoya doldurulmuştur.



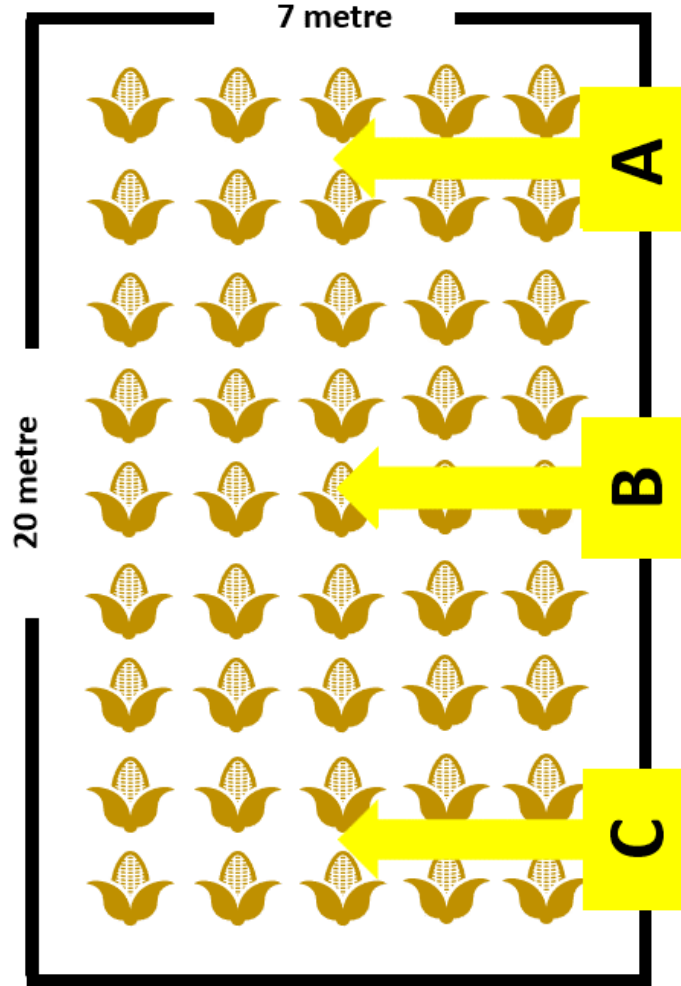
Şekil 3.9 a) RTK Anteninin yakından görünüşü.



Şekil 3.9 b) RTK Tripodunun yerleştirilmiş görüntüsü.

Denemeler sırasında sıcaklık ve rüzgâr hızının takip edilebilmesi amacıyla mini anemometre ile ölçümler yapılmıştır.

İHA'nın kurulumu tamamen tamamlandıktan sonra parametre denemelerinde kullanılan suya duyarlı kağıtlar 25,4 x 38 mm ölçülerinde kesilmiştir. Bu kağıtlar, plastik malzemeden üretilmiş olan tutacaklar üzerine tutturulmuş (Şekil 3.11) ve parsellere deneme desenine uygun olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.12). Deneme deseni uyarınca tutacaklar, ilerleme yönüne dik olarak ilerleme doğrultusu merkez olmak kaydıyla (Şekil 3.10) her bir parselin başına, ortasına ve sonuna yerleştirilmiştir.



*Mısırlar temsili olarak konumlandırılmıştır. Gerçekte bir parseldeki mısır sayısını ve ekim aralığını göstermemektedir.

Şekil 3.10. Her bir parselin başına, ortasına ve sonuna yerleştirilen düzeneklerin temsili üstten görünüşü.



Şekil 3.11. Parsellere yerleştirilen suya duyarlı kağıt düzeneği.



Şekil 3.12. Suya duyarlı kağıtların araziye yerleştirilmesi.

Parametre denemeleri herbisit su karışımı ve suya duyarlı kağıtlar kullanılarak 3 farklı uçuş hızı, 3 farklı uçuş yüksekliği ve 3 farklı damla çapında üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. İHA ile ilaçlama parametreleri belirleme uygulamalarında kullanılan deneme karakterleri.

Uygulama	Uygulama Değişkenleri
1	H1
2	H2
3	H3
4	Hopt. + Y1
5	Hopt. + Y2
6	Hopt. + Y3
7	Hopt. + Yopt. + DÇ1
8	Hopt. + Yopt. + DÇ2
9	Hopt. + Yopt. + DÇ3

Çizelge 3.5’te verilen önceki çalışmalar ve kullanılacak olan pestisitlerin herbisit olması da göz önünde bulundurularak uygulama normu dekara 1,7 L/da herbisit + su düşecek şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 3.7’de verilen deneme parametrelerine uygun olarak öncelikle H1, H2 ve H3 hızlarında testler yürütülmüştür. Testlerin sonrasında, suya duyarlı kağıtlar “SnapCard” isimli mobil uygulamadan faydalanılarak kaplama oranları belirlenmiştir.

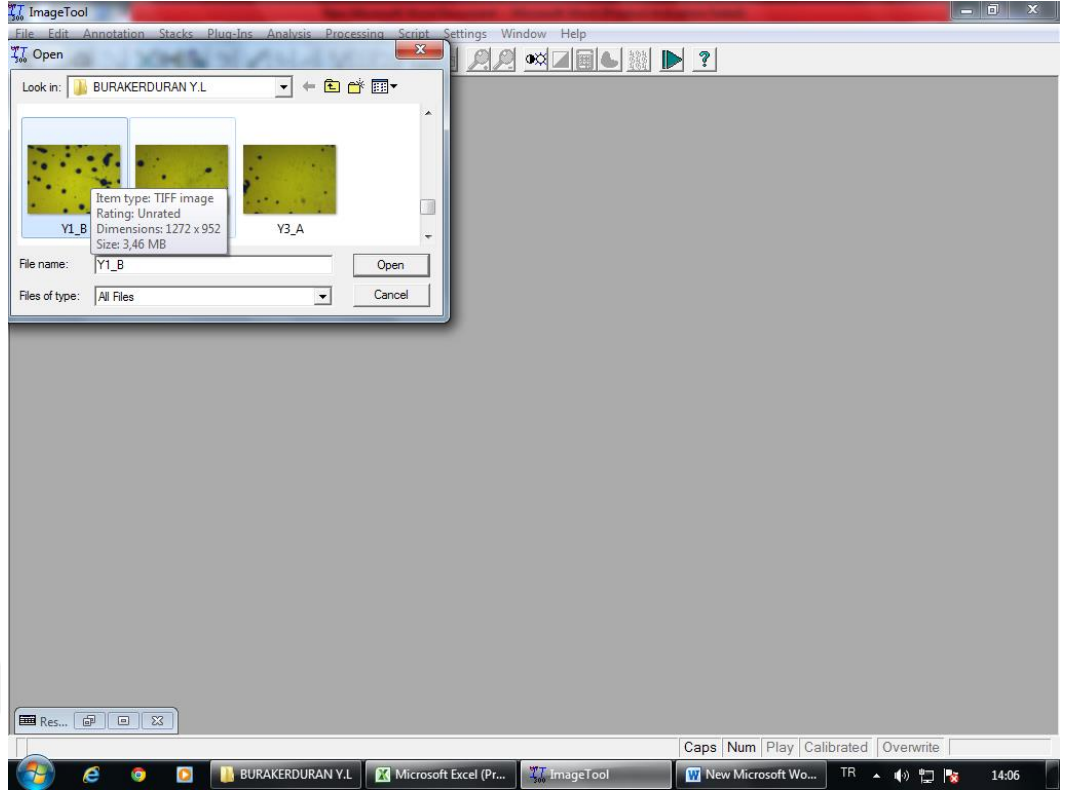
Snapcard isimli mobil uygulama kullanılarak belirlenen kaplama oranları dikkate alınarak optimum hız belirlenmiş ve 4, 5 ve 6 numaralı uygulamalarda bu belirlenen optimum hız değeri dikkate alınarak Y1, Y2 ve Y3 olmak üzere üç farklı yükseklikte İHA ile uygulamalar sürdürülmüştür.

Sonrasında gerçekleştirilen 7, 8 ve 9 numaralı uygulamalarda ise önceki uygulamalarda belirlenen optimum yükseklik ve hızda DÇ1, DÇ2 ve DÇ3 olmak üzere üç farklı damla çapında uygulamalar yapılmıştır. Tüm uygulamalara ait suya duyarlı kağıtlarda Snapcard mobil uygulaması ile analiz edilerek kaplama oranları belirlenmiştir. Denemelere ait suya duyarlı kağıtların her biri laboratuvarında dijital stereo mikroskobunda taranmak ve bilgisayar ortamında daha iyi değerlendirilmek üzere ayrı ayrı kağıt zarflara yerleştirilmiştir.

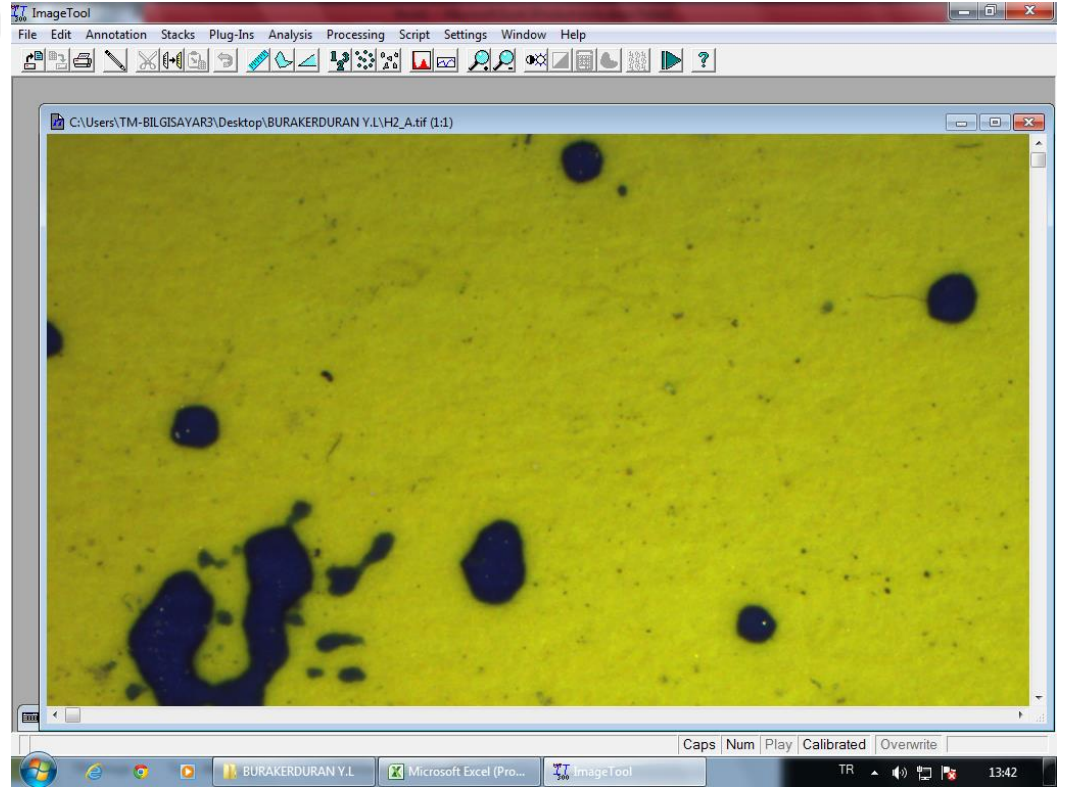
Bu uygulamaların sonuçlarına bağlı olarak (1-9 numaralı uygulamalar) sonucunda insansız hava aracının denenen parametrelere göre optimum hız, yükseklik ve damla çapı belirlenmiştir.

Laboratuvar çalışmalarında, arazi denemelerinde kullanılan ve zarflara konulan suya duyarlı kağıtların, resimleri stereo mikroskobunda büyütülerek taranmıştır. Elde edilen görüntülerdeki leke izleri UTHSCSA Image Tool isimli görüntü işleme programında işlenerek bu damlaların sayıları, çapları ve kapladıkları alan aşağıda verildiği biçimde belirlenmiştir.

Öncelikle suya duyarlı kağıtlar UTHSCSA Image Tool programına aktarılacağından kalibrasyon için her bir kağıdın 2 cm x 2,1 cm'lik kısmı programa aktarılacak üzere yeniden ayarlanmıştır. Görüntü kalibrasyonu yapıldıktan sonra programın “File” sekmesinden Open Image komutu (Şekil 3.13) ile Şekil 3.14'teki görüntü elde edilmiştir.

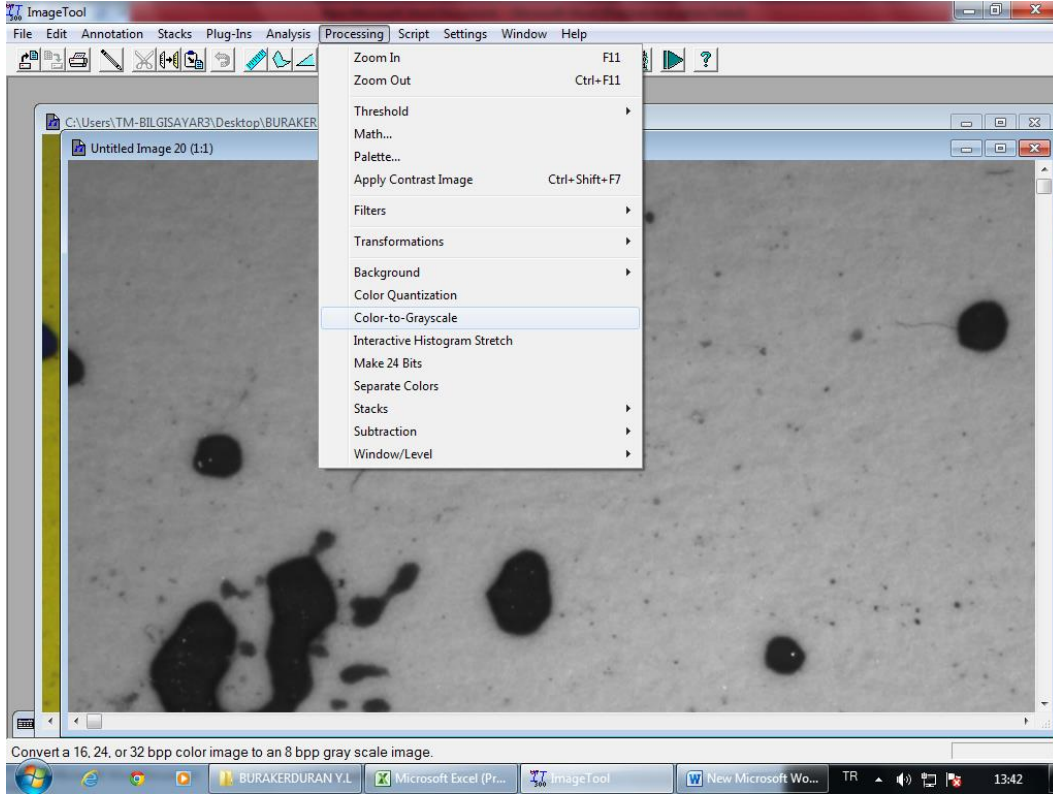


Şekil 3.13. UTHSCSA Image Tool programının 'Open Image' komutunun ekran görüntüsü.



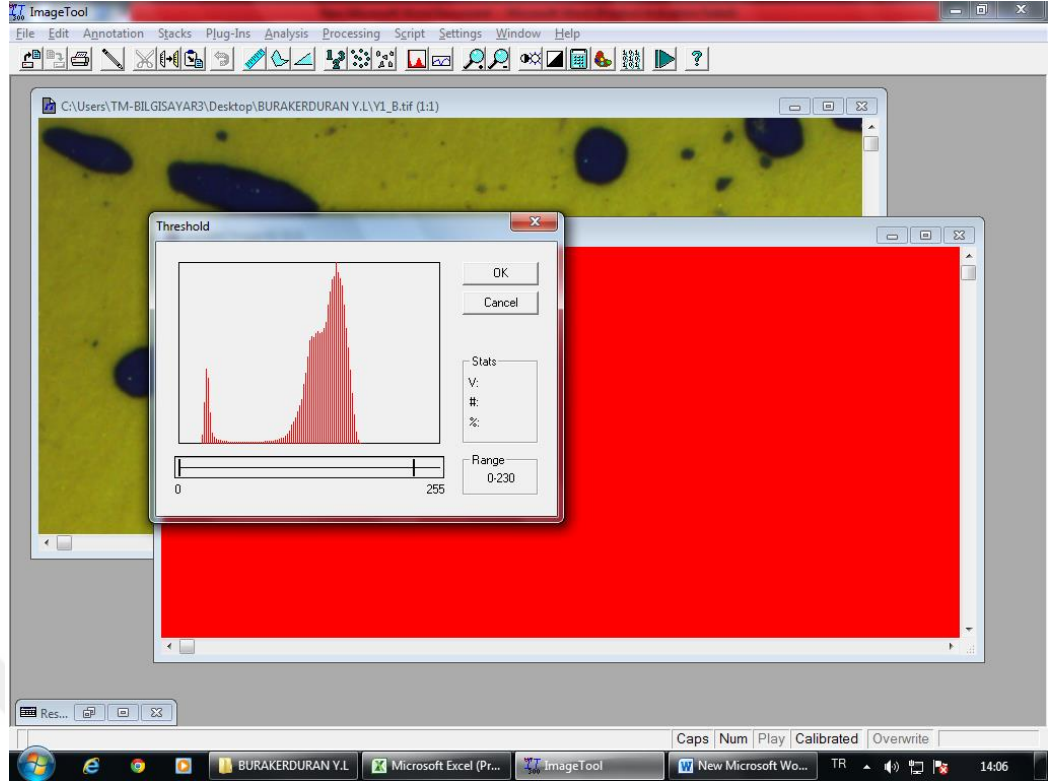
Şekil 3.14. UTHSCSA Image Tool programının 'Open Image' komutunda açılan suya duyarlı kağıdın ilk görüntüsü.

Sonrasında ise “Processing” sekmesinden Color to Grayscale komutu yardımıyla görüntü gri tonlamalı haline dönüştürülmüştür (Şekil 3.15).



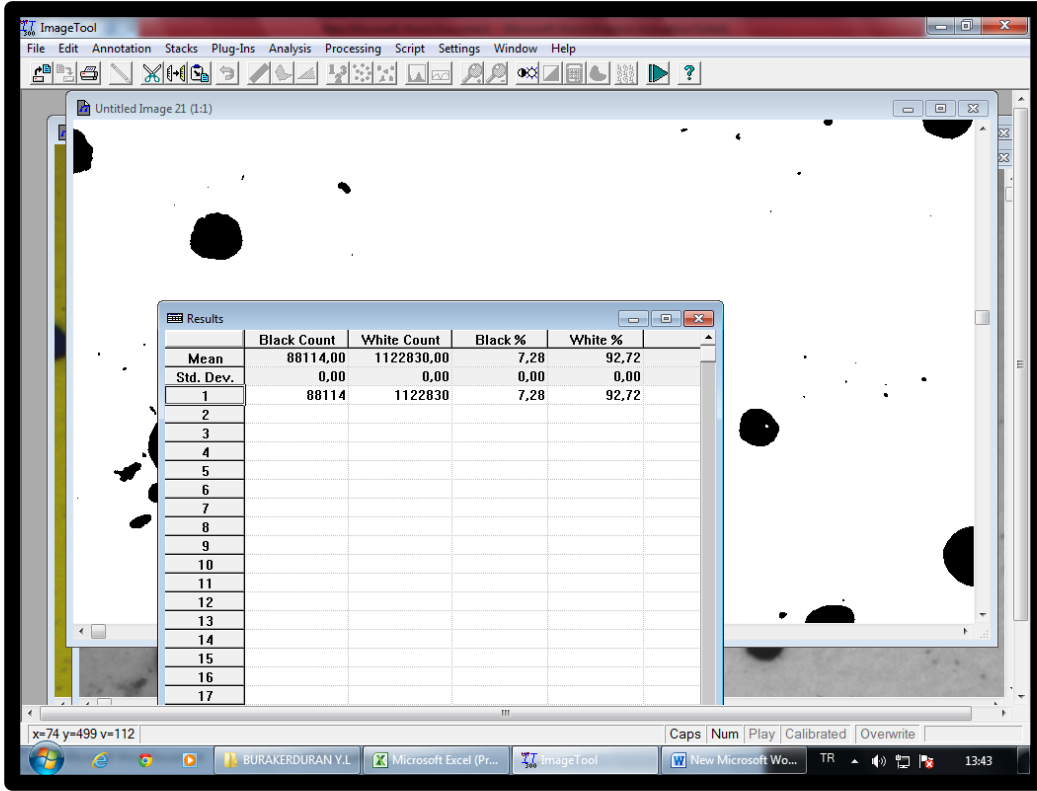
Şekil 3.15. UTHSCSA Image Tool programının ‘Color to Grayscale komutu ile suya duyarlı kağıtların gri tonlamalı halinin ekran görüntüsü.

Daha sonrasında ise damlaları ortaya çıkarmak maksadıyla “Processing” sekmesinden eşik değeri 60 olacak biçimde Threshold-Manuel komutu ile belirlenmiştir (Şekil 3.16).



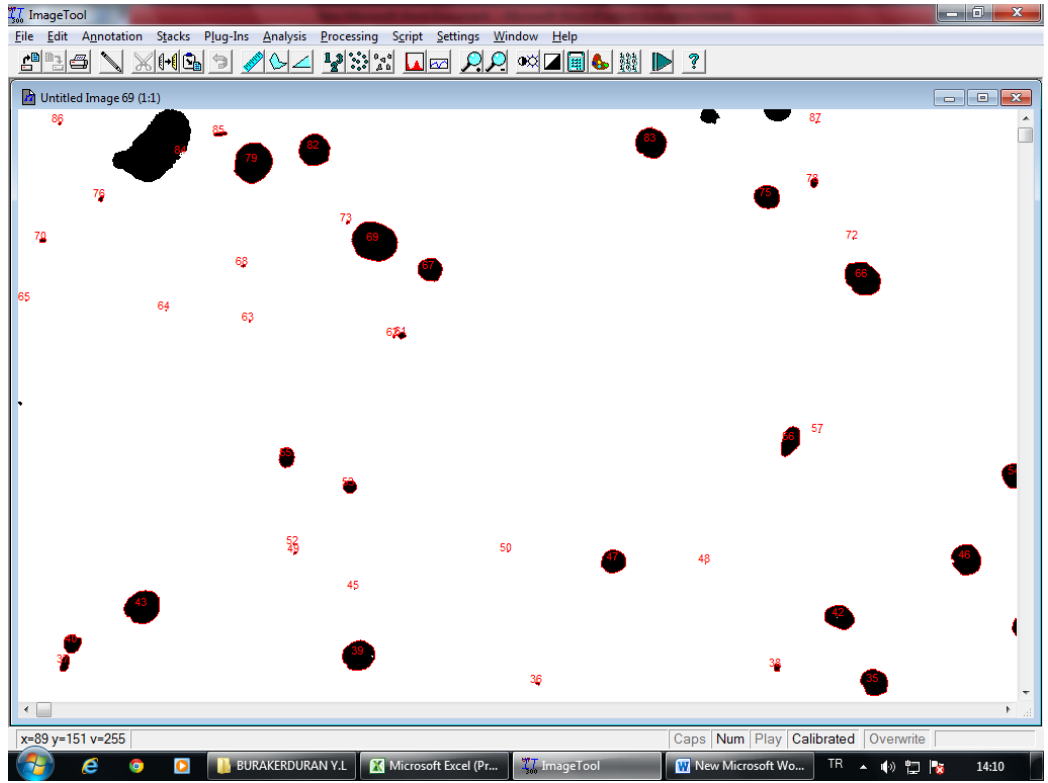
Şekil 3.16. Image Tool programının Threshold-Manuel komutu ile suya duyarlı kağıtların eşik değerinin ayarlama ekran görüntüsü.

Tüm bu işlemler vasıtasıyla sarı olan suya duyarlı kağıt beyaza, kağıt üzerine gelen ve kağıtta mavi renkte tepkime yapan damlalar ise siyaha dönüştürülmüştür. Sonrasında siyah lekelerin kağıtta kapladıkları alan yani kaplama oranları “Analysis” sekmesinden “Count Black and White Pixels” komutu seçilerek belirlenmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. UTHSCSA Image Tool programının Count Black and White Pixels komutu ile suya duyarlı kağıtların kaplama alanları ekran görüntüsü.

Kaplama oranı bulma işlemleri tüm suya duyarlı kağıtlar için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Sonrasında ise kağıtlarda bulunan damlaları ve bu damlalara ait “Feret Diameter (Feret Çapı), Roundness (Yuvarlaklık), Area (Alan)” gibi değerlerini belirlemek maksadıyla “Analysis” sekmesinden “Object Analysis-Analyze” komutu kullanılmıştır (Şekil 3.18). Sonrasında tüm değerler tek bir ekranda görüntülenmiştir (Şekil 3.19)



Şekil 3.18. UTHSCSA Image Tool programının Object Analysis-Analyze komutu ile suya duyarlı kağıtlarda tespit edilen damlaların ekran görüntüsü

	Object	Area	Roundness	Feret Diameter	Std. Dev.
Mean		3872.08	1.31	27.18	0.44
Std. Dev.		19512.97	1.39	64.82	3.21
96	#96	129.02	0.93	12.82	0.00
97	#97	18627.49	0.51	154.00	0.00
98	#98	129.02	0.93	12.82	0.00
99	#99	32.26	6.28	6.41	0.00
100	#100	64.51	0.79	9.06	0.00
101	#101	96.77	0.88	11.10	0.00
102	#102	16.13	0.79	4.53	0.00
103	#103	193.53	0.76	15.70	0.00
104	#104	1225.70	1.11	39.50	0.00
105	#105	3870.65	0.47	70.20	0.00
106	#106	4322.22	0.87	74.18	0.00
107	#107	40.38	1.93	7.05	0.00
108	#108	3983.54	0.98	71.22	0.00
109	#109	96.77	0.75	11.10	0.00
110	#110	64.51	0.79	9.06	0.00
111	#111	596.72	0.73	27.56	0.00
112	#112	96.77	0.75	11.10	0.00
113	#113	322.55	0.76	20.27	0.00
114	#114	40.38	1.93	7.05	0.00
115	#115	80.64	1.14	10.13	0.00
116	#116	499.96	0.77	25.23	0.00
117	#117	16.13	0.79	4.53	0.00
118	#118	1128.94	0.88	37.91	0.00
119	#119	64.51	0.79	9.06	0.00
120	#120	129.02	0.67	12.82	0.00
121	#121	129.02	0.67	12.82	0.00
122	#122	580.60	0.89	27.19	0.00
123	#123	806.38	0.64	32.04	0.00
124	#124	64962.35	0.87	287.60	0.00
125	#125	16.13	0.79	4.53	0.00

Şekil 3.19. UTHSCSA Image Tool programının Object Analysis-Analyze komutu ile suya duyarlı kağıtlarda tespit edilen damlaların Feret Diameter (Feret Çapı), Roundness (Yuvarlaklık), Area (Alan) değerlerinin ekran görüntüsü.

Damla sayıları ve çapları kullanılarak, aşağıdaki eşitlik yardımıyla, püskürtülen damlaların toplam hacmini iki eşit hacme ayıran çap değeri bulunmuştur. Bu değer hacimsel ortalama çap (d_v) değeridir. Böylece bilgisayar ortamında ölçülerek ve hesaplanarak bulunan birim alana düşen damla sayısı, kağıt üzerindeki kaplama oranı ve düşen damlaların hacimsel ortalama çap değerleri değerlendirilmiştir (Fox et al., 2003).

$$D_{V0,5} = \sqrt[3]{\frac{\sum d_i^3 . n_i}{n}} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

$D_{V0,5}$ = Hacimsel ortalama çap (μm)

n_i = (i) çap grubuna giren damla sayısı (adet)

d_i = (i) çap grubu orta değeri (μm)

n = toplam damla sayısı (adet)

3.2.2 Herbisit Uygulama Denemeleri

Herbisit uygulama denemeleri 27.07.2021 tarihinde sabah saat 06:30 saatlerinde Manisa'nın Şehzadeler ilçesine bağlı Harmandalı mahallesinde parametre denemelerinin yürütüldüğü arazide kurulmuştur. Denemenin kurulduğu arazinin deniz seviyesinden yüksekliği ise yaklaşık 65 m'dir. Bu deneme alanı SHGM'nin talimatlarına uygun olarak, uçuşa yasak bölgeler dışında kalmasına dikkat edilerek seçilmiştir.

Arazide geniş kapsamlı mania kontrolü yapıldıktan sonra İHA'nın iniş ve kalkışı için uygun alan belirlenmiş ve İHA'nın uçuşu için engel teşkil etmeyen bir noktaya İHA kalkış pisti kurulmuş ve gerekli kontrolleri tamamlandıktan sonra İHA piste yerleştirilmiştir (Şekil 3.20). Arazinin uygun bir noktasına parametre denemeleri metodunda açıklandığı şekilde RTK baz istasyonu kurulmuştur.



Şekil 3.20. İHA kalkış pisti görüntüsü.

Herbisit uygulama denemeleri için parametre denemelerinde olduğu gibi parsellerin boyutlarının belirlenmesinde EPPO ve T.C. Tarım ve Orman ve Bakanlığı Standart İlaç Deneme Metodları ilaçlama standartlarının dikkate alınması hedeflenmiştir ancak EPPO ve T.C. Tarım ve Orman ve Bakanlığı Standart İlaç Deneme Metodları ilaçlama standartlarında belirtilen parsel genişlik ve uzunluklarının parametre denemeleri için yeterli olmadığı İHA ile yapılan ön test uçuşu sonucunda gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda her bir parselin büyüklüğü 140 m² (7m X 20m) olacak şekilde ayarlanmıştır. Parseller arasında ise en az 5'er m emniyet şeridi bırakılmıştır. Ayrıca parametre deneme karakterlerinde bulunan İHA hızı, yüksekliği ve gerçek çiftçi koşulları da göz önünde bulundurularak tesadüf blokları deneme desenine göre herbisit denemeleri kurulmuştur.

Çizelge 3.8. Herbisit uygulamalarında kullanılan deneme karakterleri.

Uyg.	Uygulama Değişkenleri	Uygulama Şekli
1	(Nicosulfon 40 g/L SC) + (%50 Dicamba + %25 Tritosulfuron WG)	İHA ile uygulama
2	(Nicosulfon 40 g/L SC) + (%50 Dicamba + %25 Tritosulfuron WG)	Tarla Pülverizatörü ile uygulama
3	NEGATİF KONTROL	Herhangi bir uygulama yapılmamıştır.

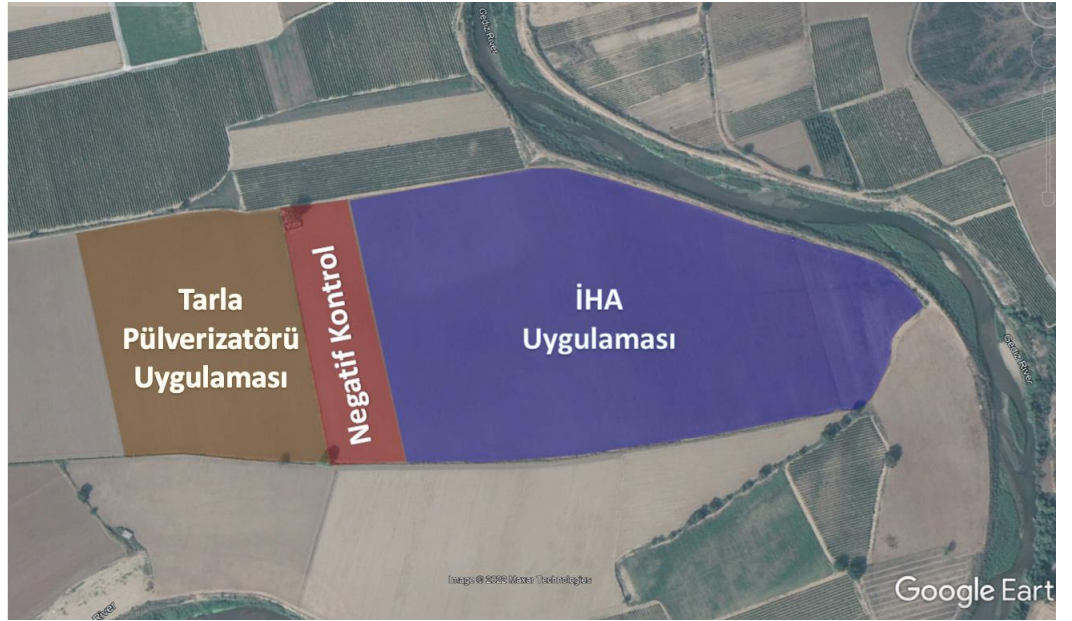
Tespit edilen optimum parametreler doğrultusunda ilaçlama denemeleri 3 uygulama (1 İHA Uygulaması, 1 Geleneksel Uygulama ve 1 Kontrol) ve 7 tekerrürlü olmak üzere Çizelge 3.8’de verildiği şekilde yürütülmüştür.

Denemenin 1 numaralı karakterinin uygulamasında, 40 g/L Nicosulfuron aktif maddesi içeren SC (süspansiyon konsantre) formülasyonuna sahip ANHUI 40 SC ve litrede %50 Dicamba + %25 Tritosulfuron aktif maddelerini içeren WG (suda dağılabilen granül) formülasyonuna sahip ARRAT herbisitleri etiketlerindeki önerilen dozlar dikkate alınarak ilaçlanacak alana göre kullanılacak miktar hesaplanmıştır. İHA’nın deposunda kendi karıştırıcısı bulunmadığı için hesaplanan miktar herbisit ayrı bir kapta su ile homojen olacak şekilde karıştırılıp depoya doldurulmuştur. Kullanılan suyun pH’sı ölçülerek kaydedilmiştir. Daha sonra bu karışım İHA’nın ilaçlama deposuna dikkatlice aktarılmıştır. Bu karakterin uygulanmasında toplamda 180 da alan, 1,7 L/da ilaçlı su düşecek şekilde yabancı otların ortalama 2-6 yaprak olduğu dönemde ilaçlanmıştır. Bu uygulamalar 180 da arazinin tamamı ilaçlanana kadar aynı sırayla tekrar etmiştir. Parametre denemelerinde 1,5 m olarak bulunan İHA’nın yükseklik değeri çevre, iklim ve çiftçi koşulları da dikkate alınarak ilaçlama sırasında 1,5-1,7 m aralığında değiştirilmiştir. Uçuş hızı ise yine parametre denemelerinde tespit edildiği gibi 6 m/s hızında sabit tutulmuştur. İHA parametrelerine bağlı olarak bir depo herbisit + su karışımı ile ortalama 11.76 da alan ilaçlanmıştır. 180 da alan için toplamda 16 sorti yapılmıştır.

Denemenin ikinci uygulamasında ise tarla pülverizatörü kulla 85 da alan ilaçlanmıştır. Tarla pülverizatörü ile yapılan bu ilaçlamada SC (süspansiyon konsantre) formülasyonuna sahip litrede 40 g/L Nicosulfuron aktif maddesi içeren sahip ANHUI 40 SC ve WG (suda dağılabilen granül) formülasyonuna sahip %50 Dicamba + %25 Tritosulfuron aktif maddelerini içeren ARRAT herbisitleri etiketlerindeki önerilen dozlarında kullanılmıştır. Öncelikle ilaçlama makinesinin deposu yarıya kadar temiz su ile doldurulmuştur. Kullanılan suyun pH’sı ölçülerek kaydedilmiştir. Daha sonra 40 L/da ilaçlama normunu sağlayacak şekilde 1000 litrelik ilaçlama hacmi için gerekli herbisit miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan miktardaki herbisitler yarıya kadar doldurulmuş olan ilaçlama

deposuna konulmadan önce ayrı bir kapta ön karıştırma işlemine tabi tutulduktan sonra ilaçlama aletinin deposuna ilave edilmiştir. Bu işlem sırasında tarla pülverizatörünün karıştırıcısı aktif halde tutulmuş ve deponun kalan kısmı su ile doldurulmuştur. Bir depo (1000 L) ilaçlı karışım ile ortalama 25 da alan yabancı otların ortalama 2-6 yaprak olduğu dönemde ilaçlanmıştır.

Denemenin üçüncü uygulaması için 10 da büyüklüğünde belirlenmiştir. 1 ve 2 numaralı uygulamaların yapıldığı alanların arasında herbisit uygulamasının yapılmadığı, dolayısıyla biyolojik etkinlik değerlendirmesinde her iki yöntemle yapılan uygulamanın etkisinin belirlenmesinde kullanılan “negatif kontrol” alanı bırakılmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Denemelerin yürütüldüğü arazi haritası.

Herbisit uygulamaları yapılan alanlarda uygulamalardan 5 (beş) gün sonra 01.08.2021 tarihinde fitotoksite açısından değerlendirmeler yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler T.C Tarım ve Orman Bakanlığı Yabancı Ot Standart İlaç Deneme Metotları “Fitotoksisite Rehberi” dikkate alınarak yapılmıştır.

Yapılan uygulamalardan 20 gün sonra 16.08.2021 tarihinde uygulamaların biyolojik etkinliğini belirlemek amacıyla gözlemler yapılmıştır (Şekil 3.22). Bu amaç ile her bir uygulamanın yapıldığı alanda $\frac{1}{4}$ m²'lik çerçeve (Şekil 3.23) beş sefer atılmak suretiyle yabancı otların yoğunluğu belirlenip kayıt altına alınmıştır (Mennan et al., 2006).



Şekil 3.22. Herbisit uygulamalarından 20 gün sonra yapılan gözlem.



Şekil 3.23. Yabancı otların yoğunluklarını belirlemede kullanılan çerçeve görüntüleri.

Elde edilen yabancı ot yoğunluk verilerine 2 numaralı eşitlikte verilen Abbott formülü (Abbott, 1925) uygulanarak karakterlerin etki yüzdeleri hesaplanmıştır.

$$\% Etki = \frac{\text{Kontroldeki Y.Ot Sayısı} - \text{İlaçlanan Alandaki Y.Ot Sayısı}}{\text{Kontroldeki Y.Ot Sayısı}} \times 100 \quad (2)$$

Abbott formülü uygulanarak elde edilen yüzde (%) etki değerleri belirlenip bu veriler normalize edilmek amacı ile önce karekök transformasyonuna tabi tutulup daha sonra Arcsinüs transformasyonu uygulanarak veriler elde edilmiştir. Elde edilen taransforme edilmiş verilere SPSS istatistiki paket programında karakterler arasındaki istatistiki farklar Duncan ($P=0,05$) çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir (Serim, 2022).

4. BULGULAR

Manisa İli Şehzadeler İlçesi Harmandalı Mahallesiinde mısır üretimi yapılan bir arazide çiftçi koşullarında yürütülen çalışmada, parametre denemelerinde kullanılan suya duyarlı kağıtları üzerinde yapılan analizler ve herbisit uygulama denemelerinde elde edilen fitotoksite gözlemleri, yabancı ot yoğunluğuna herbisitlerin İHA ve Tarla Pülverizatörü ile uygulama etkileri bu bölümde verilmektedir.

4.1. Parametre denemeleri

Parametre denemeleri herbisit + su karışımı ve suya duyarlı kağıtlar 3 farklı uçuş hızı, 3 farklı uçuş yüksekliği ve 3 farklı damla çapında (1,7 L/da uygulama normunda) üçer tekerrürlü olarak yürütülmüştür (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Parametre deneme uygulamaları.

Uygulama	Uygulama Değişkenleri	Uygulama Şekli
1	H1	İHA ile uygulama
2	H2	
3	H3	
4	Hopt. + Y1	
5	Hopt. + Y2	
6	Hopt. + Y3	
7	Hopt. + Yopt. + DÇ1	
8	Hopt. + Yopt. + DÇ2	
9	Hopt. + Yopt. + DÇ3	

İlk olarak parametre denemelerine 1., 2. ve 3. uygulamalarla başlanmıştır. Test alanında bu üç uygulama sonrasında suya duyarlı kağıtlardaki kaplama oranları SnapCard isimli mobil uygulama yardımı ile analiz edilmiş ve en iyi kaplama oranı dikkate alınarak optimum hız 6 m/s olarak belirlenmiştir.

Belirlenen optimum hız ile uygulanan 4., 5. ve 6. uygulamalar neticesinde suya duyarlı kağıtlardaki kaplama oranları SnapCard isimli mobil telefon uygulaması yardımı ile analiz edilmiş ve en iyi kaplama oranı dikkate alınarak yükseklik 1,5 m olarak belirlenmiştir.

Sonrasında belirlenen optimum hız ve yükseklikte uygulanan 7., 8. ve 9. uygulamalar neticesinde suya duyarlı kağıtlardaki kaplama oranları SnapCard isimli mobil telefon uygulaması yardımı ile analiz edilmiş ve en iyi kaplama oranı dikkate alınarak optimum damla çapı 115 µm olarak belirlenmiştir.

Stereo mikroskobunda taranmak ve bilgisayar ortamında daha iyi değerlendirilmek üzere zarflara yerleştirilen suya duyarlı kağıtlarda bulunan leke izleri UTHSCSA Image Tool isimli görüntü işleme programında işlenmesi sonucunda kapladıkları alan ve ortalamaları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Suya duyarlı kağıtların yüzde (%) kaplama oranları ve ortalamaları.

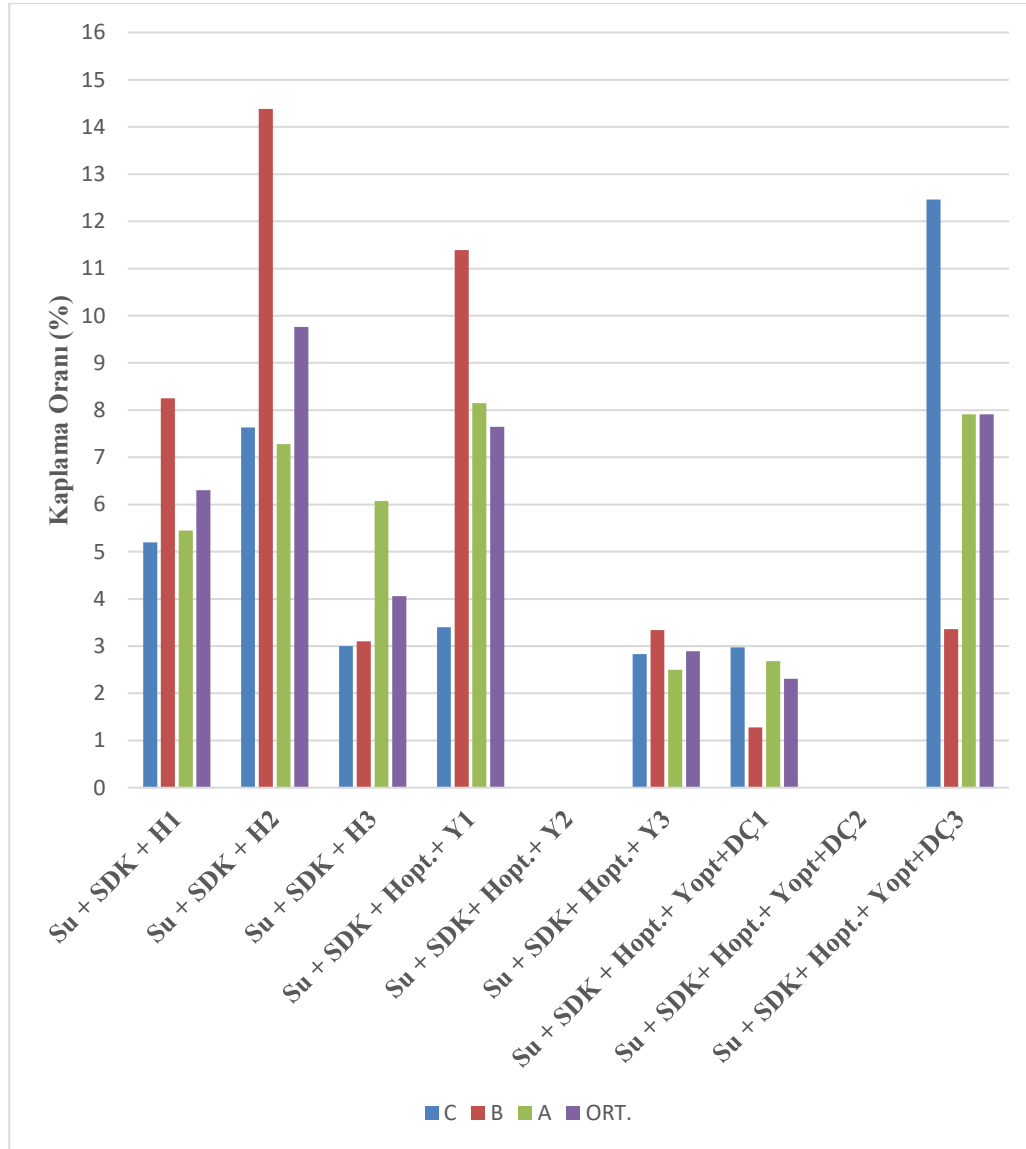
UYGULAMA	A	B	C	ORTALAMA
H1	5,45	8,25	5,2	6,3
H2	7,28	14,38	7,63	9,76
H3	6,07	3,1	3	4,06
Hopt. + Y1	8,15	11,39	3,4	7,65
Hopt. + Y2	*			
Hopt. + Y3	2,5	3,34	2,83	2,89
Hopt. + Yopt. + DÇ1	2,68	1,28	2,97	2,31
Hopt. + Yopt. + DÇ2	*			
Hopt. + Yopt. + DÇ3	7,91	3,36	12,46	7,91

*Bu parametrelerde kullanılan hız, yükseklik ve damla çapı değerleri “Su + Suya duyarlı kağıt + H2” değerleri ile aynıdır.

Çizelge 4.2 incelendiğinde kaplama oranları arasında %9,76 kaplama ile H2 uygulamasının olduğu görülmektedir. Sıralama olarak H2’yi, %7,91 kaplama ile Hopt. + Yopt. + DÇ3 ve sonrasında %7,65 kaplama oranı ile Hopt. + Y1 uygulamaları takip etmektedir. Her bir parametre uygulamasına ait A, B ve C

konumlarının tamamına bakıldığında en büyük kaplama oranının %14,8 ile H2-B, en küçük kaplama oranının ise %1,28 ile Hopt. + Yopt. + DÇ1-B olduğu görülmektedir. Bu uygulamalar sonucunda elde edilen yüzde kaplama oranlarının grafiği Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Suya duyarlı kağıtların yüzde (%) kaplama oranları ve ortalamaları grafiği.



Her bir parametre uygulamasında elde edilen A, B ve C konumundaki suya duyarlı kağıtlar üzerindeki damla lekelerinden hesaplanan Vmd10, Vmd50, Vmd90 ve span değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Suya duyarlı kağıtlarda damlaların hacimsel ortalama çap değerleri.

UYGULAMA	A				B				C			
	Vmd 10	Vmd 50	Vmd 90	Span	Vmd 10	Vmd 50	Vmd 90	Span	Vmd 10	Vmd 50	Vmd 90	Span
H1	104	158	193	0,56	112	208	256	0,69	104	176	198	0,53
H2	115	203	318	1,00	135	242	284	0,62	255	355	395	0,39
H3	129	204	240	0,54	87	177	218	0,74	104	215	265	0,75
Hopt. + Y1	107	195	281	0,89	132	180	260	0,71	100	192	240	0,73
Hopt. + Y2	*											
Hopt. + Y3	68	93	114	0,49	120	186	242	0,66	114	104	178	0,62
Hopt. + Yopt. + DÇ1	49	82	105	0,68	36	78	96	0,77	58	92	128	0,76
Hopt. + Yopt. + DÇ2	*											
Hopt. + Yopt. + DÇ3	72	172	274	1,17	20	43	49	0,67	126	297	466	1,14

*Bu parametrelerde kullanılan hız, yükseklik ve damla çapı değerleri “Su + Suya duyarlı kağıt + H2” değerleri ile aynıdır.

Çizelge 4.4 incelendiğinde en düşük span değerinin 0,62 değeriyle H2 uygulamasının C, en büyük span değerinin ise Hopt. + Yopt. + DÇ3 uygulamasının A konumundaki suya duyarlı kağıdı olduğu görülmektedir. Vmd50 değerlerine bakıldığında en büyük değer 297 ile Hopt. + Yopt. + DÇ3 uygulamasının C, en düşük değer Hopt. + Yopt. + DÇ3 uygulamasının B konumundaki suya duyarlı kağıt olmuştur.

Her bir parametre uygulamasında elde edilen A, B ve C konumundaki suya duyarlı kağıtlar üzerindeki damla lekelerinden hesaplanan santimetrekaredeki damla sayıları Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Suyu duyarlı kağıtlarda bulunan damla sayıları.

UYGULAMA	A adet/cm ²	B adet/cm ²	C adet/cm ²	Ortalama
H1	14,8	35,7	61,7	37,4
H2	39,5	25,5	16,4	27,1
H3	13,3	12,6	16,4	14,1
Hopt. + Y1	61,2	17,4	65,5	48,0
Hopt. + Y2	*			
Hopt. + Y3	44,0	41,9	33,8	39,9
Hopt. + Yopt. + DÇ1	21,7	32,9	27,6	27,4
Hopt. + Yopt. + DÇ2	*			
Hopt. + Yopt. + DÇ3	30,2	15,7	44,5	30,1

*Bu parametrelerde kullanılan hız, yükseklik ve damla çapı değerleri “Su + Suyu duyarlı kağıt + H2” değerleri ile aynıdır.

Çizelge 4.5’te ortalama değerlere bakıldığında santimetrekarede en fazla 48,0 damla ile Hopt. + Y1, en az 14,1 H3 uygulaması yer aldığı görülmektedir.

4.2. Herbisit uygulamaları sonrasında elde edilen bulgular

Herbisit uygulamalarını gerçekleştirmek üzere yapılan parselizasyon sonrasında alanlarda yapılan gözlemlerde mısır da zararlı olabilecek dikkate değer belli bir yoğunluğun üzerindeki yabancı otlar değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan gözlemlerde 3 adet yabancı ot türünün yoğun olduğu saptanmıştır. Saptanan bu türlere ait bilimsel, Türkçe isimler ve familyaları çizelge 4.6’da görülmektedir.

Çizelge 4.6. Deneme alanında yoğun olarak görülen yabancı ot türleri.

Bilimsel İsim	Türkçe İsim	Familya
<i>Sorghum halepense</i>	Kanyaş	Poaceae
<i>Portulaca oleracea</i>	Semizotu	Portulacaceae
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Darıcan	Poaceae

Çizelge 4.6’da da görüldüğü gibi deneme alanında yoğun olarak *Sorghum halepense*, *Portulaca oleracea*, *Echinochloa crus-galli* türleri görülmüştür.

Bununla birlikte herbisit uygulamaları esnasında Oakton marka multiparameter tester 35 model aletle kullanılan ilaçlama suyunun pH 7,86 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca uygulamanın ve gözlemlerin yapıldığı tarihleri de içeren araziye ait iklim verileri de Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Deneme arazisine ait meteorolojik iklim verileri.

Tarih	Günlük minimum sıcaklık	Günlük maksimum sıcaklık	Sabit şiddetteki rüzgarın azami hızı	Rüzgarın azami şiddeti	Günlük toplam yağış miktarı
27.07.2021	24°C	38°C	34 km/h	52 km/h	0mm
28.07.2021	27°C	38°C	34 km/h	54 km/h	0mm
29.07.2021	27°C	40°C	37 km/h	55 km/h	0mm
30.07.2021	27°C	40°C	39 km/h	52 km/h	0mm
31.07.2021	27°C	41°C	32 km/h	46 km/h	0mm
1.08.2021	24°C	40°C	35 km/h	46 km/h	0mm
2.08.2021	27°C	41°C	37 km/h	58 km/h	0mm
3.08.2021	24°C	41°C	45 km/h	58 km/h	0mm
4.08.2021	23°C	41°C	37 km/h	50 km/h	0mm
5.08.2021	26°C	40°C	37 km/h	54 km/h	0mm
6.08.2021	23°C	40°C	35 km/h	50 km/h	0mm
7.08.2021	25°C	34°C	45 km/h	59 km/h	0mm
8.08.2021	23°C	35°C	41 km/h	58 km/h	0mm
9.08.2021	23°C	36°C	42 km/h	55 km/h	0mm
10.08.2021	26°C	37°C	39 km/h	54 km/h	0mm
11.08.2021	25°C	37°C	34 km/h	N/A	0mm
12.08.2021	27°C	36°C	46 km/h	63 km/h	0mm
13.08.2021	24°C	36°C	39 km/h	59 km/h	0mm
14.08.2021	23°C	35°C	48 km/h	61 km/h	0mm
15.08.2021	22°C	35°C	39 km/h	52 km/h	0mm
16.08.2021	23°C	34°C	34 km/h	42 km/h	0mm
17.08.2021	17°C	35°C	28 km/h	37 km/h	0mm
18.08.2021	16°C	36°C	34 km/h	41 km/h	0mm
19.08.2021	24°C	36°C	42 km/h	55 km/h	0mm
20.08.2021	24°C	34°C	39 km/h	58 km/h	0mm
21.08.2021	23°C	34°C	37 km/h	50 km/h	0mm
22.08.2021	23°C	34°C	37 km/h	52 km/h	0mm
23.08.2021	24°C	35°C	39 km/h	50 km/h	0mm
24.08.2021	23°C	34°C	32 km/h	48 km/h	0mm
25.08.2021	19°C	34°C	26 km/h	37 km/h	0mm
26.08.2021	18°C	36°C	26 km/h	37 km/h	0mm
27.08.2021	19°C	37°C	24 km/h	35 km/h	0mm
28.08.2021	19°C	37°C	24 km/h	39 km/h	0mm
29.08.2021	18°C	34°C	24 km/h	34 km/h	0mm
30.08.2021	19°C	35°C	24 km/h	35 km/h	0mm
31.08.2021	19°C	34°C	35 km/h	46 km/h	0mm

İHA ve tarla pülverizatörü uygulama alanlarında uygulamaların 5. günü olan 01.08.2021 tarihinde ve sonrasında fitotoksite açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirmelerde T.C Tarım ve Orman Bakanlığı Yabancı Ot Standart İlaç Deneme Metotları “YABANCI OT DENEMELERİNDE KULLANILAN FİTOTOKSİSİTE REHBERİ” dikkate alınmıştır (Çizelge 4.8).

Tüm parsellerle beraber İHA ile uygulama yapılan parseller ve tarla pülverizatörü ile uygulama yapılan parseller karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve uygulama yapılan alanlarda yabancı otların büyümesinde ve gelişmesinde gerilik tespit edilmiştir.

Çizelge 4.8. Mısır Bitkisine Özel Fitotoksite Değerlendirmeleri (T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, 2009).

Çimlenmede gecikme	Uygulama yapılmadan bitkilerin çimlenme dönemi tamamlanmıştır.
Seyrelme	Bitkilerde seyrelme gözlenmemiştir.
Gecikme	Farklı gelişme dönemlerine ulaşmadaki gecikmeler yaşanmamıştır.
Gerileme	Tepe püskülü çıkaran bitki sayısında azalma gözlenmemiştir.
Renk bozuklukları	Bitkilerin renkleri fenolojik dönemlerine göre olağan seyretmiştir.
Ölü doku oluşumu	Bitkilerde ölü dokulara rastlanmamıştır.
Şekil bozuklukları	Bitkilerin şekilleri fenolojik dönemlerine göre olağan seyretmiştir.
Verime etki	Verim bölge şartlarında olması gerektiği ortalamadır.

Uygulamalarda kullanılan herbisitler çıkış sonrası olması sebebiyle ikinci gözlem, uygulamaların 20. gününde 16.08.2021 tarihinde etkinliği belirlemek amacıyla her parselde yabancı otların yoğunlukları belirlenmiştir. Bu yoğunluk verileri kullanılarak Abbott formülü yardımıyla hesaplanan % etki değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Uygulamaların biyolojik etkinlik yüzde (%) etki değerleri.

TEKERRÜR	Çerçeve /Ort.	İHA Uygulamasındaki Toplam Y.Ot	Tarla Pülverizatörü Uygulamasındaki Toplam Y.Ot
I.TEKERRÜR	1.Çerçeve	89,7	93,1
	2.Çerçeve	94,1	97,1
	3.Çerçeve	87,5	87,5
	4.Çerçeve	97,1	94,3
	5.Çerçeve	83,3	95,8
	Ort.	90,3	93,6
II.TEKERRÜR	1.Çerçeve	96,4	100,0
	2.Çerçeve	88,9	92,6
	3.Çerçeve	96,8	96,8
	4.Çerçeve	88,2	91,2
	5.Çerçeve	89,7	93,1
	Ort.	92,0	94,7
III.TEKERRÜR	1.Çerçeve	93,8	93,8
	2.Çerçeve	88,9	96,3
	3.Çerçeve	77,8	92,6
	4.Çerçeve	96,4	100,0
	5.Çerçeve	93,3	93,3
	Ort.	90,0	95,2
IV.TEKERRÜR	1.Çerçeve	94,1	94,1
	2.Çerçeve	89,3	89,3
	3.Çerçeve	92,0	100,0
	4.Çerçeve	84,4	96,9
	5.Çerçeve	92,6	92,6
	Ort.	90,5	94,6
V.TEKERRÜR	1.Çerçeve	89,3	92,9
	2.Çerçeve	93,1	93,1
	3.Çerçeve	90,6	90,6
	4.Çerçeve	93,1	100,0
	5.Çerçeve	88,9	88,9
	Ort.	91,0	93,1
VI.TEKERRÜR	1.Çerçeve	95,8	100,0
	2.Çerçeve	92,9	96,4
	3.Çerçeve	95,7	95,7
	4.Çerçeve	82,8	89,7
	5.Çerçeve	92,3	100,0
	Ort.	91,9	96,3
VII.TEKERRÜR	1.Çerçeve	92,0	96,0
	2.Çerçeve	90,5	90,5
	3.Çerçeve	82,1	89,3
	4.Çerçeve	95,0	100,0
	5.Çerçeve	93,9	90,9
	Ort.	90,7	93,3

İlgili metod kısmında da açıklandığı üzere Çizelge 4.9'da verilen yüzde etki değerlerini direkt istatistik analize tabi tutmak bize güvenilir istatistiki sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle metod kısmında açıklanan yönetime uygun

olarak Çizelge 4.9'daki ham verilerin normalize edilmek amacıyla karekök transformasyonuna ve sonrasında Arcsinüs transformasyonu uygulanan veriler Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Denemede elde edilen ham verilere uygulanarak hesaplanmış transformasyon değerleri.

Uygulama	Tekerrür	Karekök Transformasyonu	Arcsinüs Transformasyonu
İHA ile UYGULAMA	I.	0,30	0,30
	II.	0,28	0,29
	III.	0,31	0,32
	IV.	0,31	0,31
	V.	0,30	0,30
	VI.	0,29	0,30
	VII.	0,31	0,31
GELENEKSEL UYGULAMA	I.	0,25	0,25
	II.	0,23	0,23
	III.	0,22	0,22
	IV.	0,23	0,24
	V.	0,26	0,27
	VI.	0,20	0,20
	VII.	0,27	0,27
KONTROL	I.	1,00	1,57
	II.	1,00	1,57
	III.	1,00	1,57
	IV.	1,00	1,57
	V.	1,00	1,57
	VI.	1,00	1,57
	VII.	1,00	1,57

Deneme alanından elde edilen ham verilere uygun transformasyon metodları uygulandıktan sonra istatistiki analizler yapılmıştır. Transforme edilmiş verileri SPSS 16.0 paket programında varyans analizine tabi tutularak Duncan Çoklu karşılaştırma Testi uygulanmıştır (Winer, 1971; Mennan ve ark., 2006). Bu bulgular ışığında yapılan istatistiki analiz sonuçları Çizelge 4.111 ve Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Varyans analiz sonuçları.

ANOVA					
	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık Değeri
Gruplararası	7,885	2	3,943	1,569E4	,000
Gruplarıçi	,005	18	,000		
Toplam	7,890	20			

Çizelge 4.12. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları.

KARAKTERLER	Birim Sayıları	Subset for alpha = 0.05		
		A	B	C
Geleneksel	7	,2394		
İHA	7		,3049	
Kontrol	7			1,5708
Anlamlılık Değeri		1,000	1,000	1,000

5. SONUÇ

Pülverizatörlerle yapılan herhangi bir pestisit uygulamasının başarılı kabul edilmesi için, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Yabancı Ot Standart İlaç Deneme Metotlarına göre %90'ın üzerinde biyolojik etkiye ulaşması gerekmektedir. Elde edilen verilerin analiz sonuçları bu doğrultuda değerlendirilmiştir. Bu verilerin sonuçları Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. İHA'nın ve tarla pülverizatörünün biyolojik etkinlik performansı ve analiz sonuçları.

	Yabancı Ot Yoğunluğu (adet/m ²)	Biyolojik Etkinlik Sonuçları (% Etki)*	İstatistik Analiz Sonuçları**
İHA	10,16	90,98	B
Tarla Pülverizatörü	6,4	94,32	A
Kontrol	112,8	-	C

*Abbott formülüne göre hesaplanmıştır

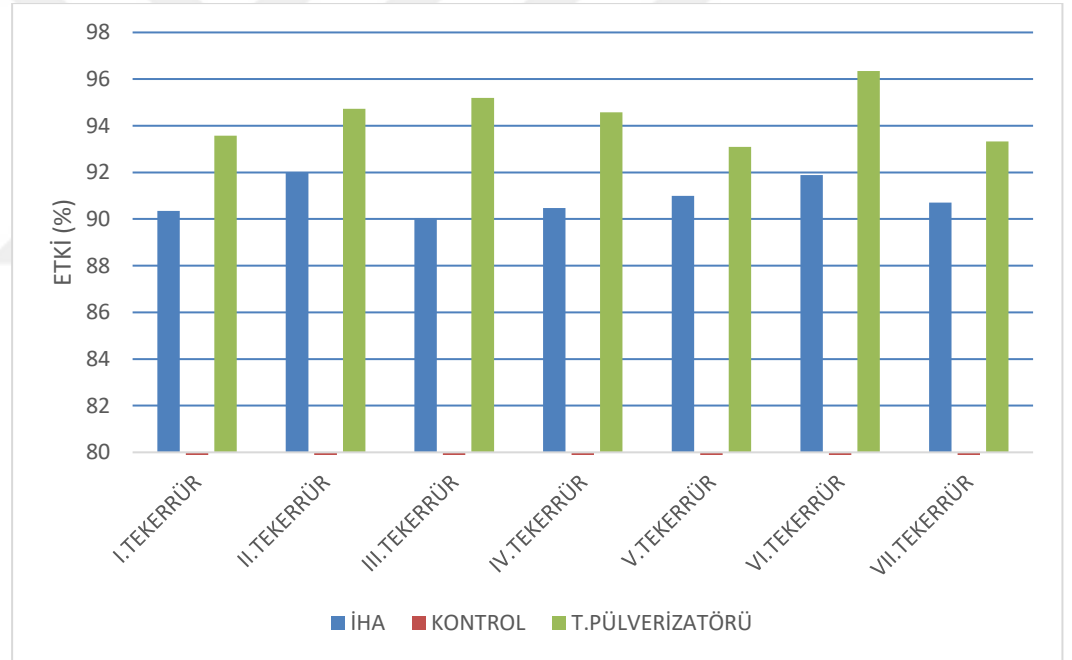
**Farklı harfler farklı ist grupları ifade eder duncan p=0,05 e göre

Bu sonuçlara göre kontrol parsellerinde ortalama yabancı ot yoğunluğunun 112,8 adet/m² olduğu tespit edilmiştir. İHA ile herbisit uygulaması yapılan parsellerinde ortalama 10,16 adet/m² yoğunluğunda yabancı ot olduğu, tarla pülverizatörü ile yapılan uygulama parsellerinde ise bu yoğunluğun 6,4 adet/m² olduğu tespit edilmiştir.

Tüm parsellerdeki yabancı ot yoğunluğu verileriyle Abbott formülü kullanılarak uygulamaların biyolojik etki düzeyleri hesaplanmıştır. Kontrole kıyasla, İHA ile herbisit uygulanan parsellerdeki biyolojik etki düzeyi %90,98 bulunurken, tarla pülverizatörü ile herbisit uygulanan parsellerdeki biyolojik etki düzeyi ise %94,32 olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda yapılan İHA ve Tarla Pülverizatörü ile herbisit uygulamalarının ikisi de T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Yabancı Ot Standart İlaç Deneme Metotlarına göre yeterli düzeyde etki göstermiştir. Herbisit uygulamaları sonucunda elde edilen ham verilere uygulanan transformasyonun sonuçları istatistiki olarak değerlendirildiğinde her iki araç istatistiki olarak farklı gruplarda yer almıştır. Bu durum Çizelge 5.2'deki

uygulamaların biyolojik etkinlik yüzdelerinin tüm deneme alanına dağılımında da görülmektedir. Bununla beraber parametre denemelerinde İHA uygulaması ile ulaşılan kaplama oranı %9,76 iken tarla pülverizatörleri ile yapılan uygulamalarda bu değerin genelde %80'nin üzerinde olduğu bilinmektedir. Kapsama oranları arasındaki bu büyük farka rağmen her iki araçla ulaşılan biyolojik etki düzeylerinin benzer olduğu görülmüştür. Tarla pülverizatörü ile yapılan uygulamalarda istenen kaplama oranları ile ilgili bilginin güncellenmesi gerektiğine inanılmaktadır. Diğer yandan tarla pülverizatörü ile yapılan uygulamalarda yapraklara düşen aktif maddenin tamamının bazı nedenlerle (damlaların yapraklara tutunamaması vb.) yabancı otların bünyesine yeterince alınamadığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.2. Uygulamaların tekerrürlere göre biyolojik etki düzeyi (%).



Parametre çalışmaları sonucunda optimum hız 6 m/s, optimum yükseklik 1,5 m, optimum damla çapı ise 115 µm olarak belirlenmiştir. Bulunan bu değerler çalışmanın yapıldığı iklim koşulları ve çevre faktörleri için optimum sonuçlardır. Diğer yandan farklı iklim koşulları ve çevre faktörlerine bağlı olarak bu değerler göz önünde bulundurularak, İHA pilotu tarafından uçuş parametreleri belirlenmek durumundadır. Ayrıca bu değerler farklı aerodinamik yapıya ve/veya sprey teknolojisine sahip İHA'ların kullanılması durumunda değişebileceği açıktır. Bu

parametrelerin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için söz konusu araçların öncelikle sivil havacılık genel müdürlüğü tarafından verilen yetki belgesine ve ilgili konularda mesleki yeterliliğe sahip ziraat mühendisleri tarafından kullanılması yapılacak uygulamanın güvenliği ve başarısı açısından önem taşımaktadır. Elde edilen bilgiler ışığında İHA ile pestisit uygulamasının teknik ve ekonomik olarak sürdürülebilir olması için bu uygulamaların alanında uzman ve yetkilendirilmiş kurumlar tarafından makine müteahhitliği şeklinde yürütülmesinin doğru olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma İnsansız Hava Aracı ile pestisit uygulamalarında başarılı olabileceğini göstermektedir. Diğer yandan bilgi ve deneyim eksikliği olan bu konuda yeni çalışmalar yapılarak bilgi birikimi ve deneyimin artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abbott, W.S.**,1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-267.
- Anonymous**, 2022, <http://www.newatlas.com/uav-crop-dusting/27974/> Erişim tarihi: 30.11.2016
- Ay, F., Ince, G.**, 2015, Application of Pesticide Using Unmanned Aerial Vehicle. 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). Malatya: IEEE.
- Başaran, B., Yalçın, K. A. Y. A., Kadioğlu, İ., Kılıç, D., Altıntaş, A., Erhan, Ö. Z. E. R., & Gökalp, S.**, 2020, Tokat İli Mısır Ekim Alanlarında Sorun Olan Domuz Pıtrağı (*Xanthium strumarium* L.)'nın Ekonomik Zarar Eşiğinin Belirlenmesi. *Türkiye Herboloji Dergisi*, 23(2), 145-153.
- Bozdoğan, A. M., Bozdoğan, N. Y., Öztekin, M. E., & Keiynci, S.**, 2016, Hassas Tarımda İnsansız Hava Aracı Kullanımı. *Honor Committee*, 686.
- Chen S D, Lan Y B, Zhou Z Y, Liao J, Zhu Q Y.**, 2017, Effects of spraying parameters of small protection UAV on droplets deposition distribution in citrus canopy. *Journal of South China Agricultural University*; 38(5): 97–102. (in Chinese
- Costa, F. G., Ueyama, J., Braun, T., Pessin, G., Osório, F. S., & Vargas, P. A.**, 2012, The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor network in agricultural applications. In *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 5045-5048). IEEE.
- Ercan, Şule, et al.**, 2019, "Tarım 4.0 ve Türkiye'de uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi." *Tarım ekonomisi dergisi* 25.2: 259-265.
- Façal, B. S., Costa, F. G., Pessin, G., Ueyama, J., Freitas, H., Colombo, A., ... & Braun, T.**, 2014, The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor networks for spraying pesticides. *Journal of Systems Architecture*, 60(4), 393-404.
- Fox, R.D., Derksen, R.C., Cooper, J.A., Krause, C.R. and Ozkan, H.E.**, 2003, Visual and image system measurement of spray deposits using watersensitive paper, applied engineering in agriculture. American Society and Agricultural Engineers (ASAE), 19(5): 549-552.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Giles D, Billing R.**, 2015, Deployment and performance of a UAV for crop spraying. *Chem Eng Trans*, 44: 307–312.
- Hunter J E, Gannon T W, Richardson R J, Yelverton F, Leon R G. ,** 2020, Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide applications using an unmanned aerial sprayer. *Weed Technol*; 34(2): 235–240.
- Koçak, E.**, 2006, Süne Mücadelesinde Zamanlamanın Önemi. *Türktarım*, 168, 42-45.
- Li, X., Giles, D. K., Niederholzer, F. J., Andaloro, J. T., Lang, E. B., & Watson, L. J.**, 2021, Evaluation of an unmanned aerial vehicle as a new method of pesticide application for almond crop protection. *Pest Management Science*, 77(1), 527-537.
- Lian, Q., Tan, F., Fu, X., Zhang, P., Liu, X., & Zhang, W.**, 2019, Design of precision variable-rate spray system for unmanned aerial vehicle using automatic control method. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(2), 29-35.
- Liao, J., Zang, Y., Luo, X., Zhou, Z., Lan, Y., Zang, Y., ... & Hewitt, A. J.**, 2019, Optimization of variables for maximizing efficacy and efficiency in aerial spray application to cotton using unmanned aerial systems. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(2), 10-17.
- Lou Z X, Xin F, Han X Q, Lan Y B, Duan T Z, 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. doi: 10.3390/agronomy8090187.
- Mennan H., Ngouajob M., Isık D., Kaya E.**, 2006, Effects of alternative management systems on weed populations in hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Crop Protection* 25: 835–841 Winer .
- Nansen, C., Ferguson, J. C., Moore, J., Groves, L., Emery, R., Garel, N., & Hewitt, A.**, 2015, Optimizing pesticide spray coverage using a novel web and smartphone tool, SnapCard. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 1075-1085.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Oerke, E.C., Dehne, H.W.**, 2004, Safeguarding protection-losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Protection*, 23, 275-285 .
- Pala, F ., 2020**, Transgenik Olmayan Mısırdaki (Zea mays L.) Yabancı Ot Müccesinde Yaygın Olarak Kullanılan Herbisitlerin Karşılaştırılması . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (18) , 312-318 . DOI: 10.31590/ejosat.670524.
- Peña, J. M., Torres-Sánchez, J., Serrano-Pérez, A., De Castro, A. I., & López-Granados, F.**, 2015, Quantifying efficacy and limits of unmanned aerial vehicle (UAV) technology for weed seedling detection as affected by sensor resolution. *Sensors*, 15(3), 5609-5626.
- Qin W C, Qiu B J, Xue X Y, Chen C, Xu Z F, Zhou Q Q. , 2016**, Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. *Crop Protection*; 85: 79–88.
- Qin W C, Xue X Y, Zhang S C, Gu W, Chen C. , 2016**, Optimization and test of spraying parameters for P20 multi-rotor electric unmanned aerial vehicle based on response surface method. *Journal of Jiangsu University*; 37(5): 548–555. (in Chinese).
- Qin W C, Xue X Y, Zhou L X, Zhang S C, Sun Z, Kong W, et al. , 2014**, Effects of spraying parameters of unmanned aerial vehicle on droplets deposition distribution of maize canopies. *Transactions of the CSAE*; 30(5): 50–56. (in Chinese).
- Qin, W., Xue, X., Zhang, S., Gu, W., & Wang, B.**, 2018, Droplet deposition and efficiency of fungicides sprayed with small UAV against wheat powdery mildew. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(2), 27-32.
- Serim, A. T.**, 2022, Response Of Imidazolinone-Resistant Sunflower To Various Drift Rates Of Glyphosate, Glufosinate And Indaziflam. *Romanian Agricultural Research*, 39.
- Shilin, W., Jianli, S., Xiongkui, H., Le, S., Xiaonan, W., Changling, W., ... & Yun, L.**, 2017, Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(4), 22-31.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü.

Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, 2009, Yabancı Ot Standart İlaç Deneme Metotları. 166 s.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı , “İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİNİN ZİRAİ MÜCADELE KAPSAMINDA BİTKİ KORUMA ÜRÜNÜ UYGULAMALARINDA KULLANILMASINA İLİŞKİN YÖNERGE ”,http://www.https://www.tarimorman.gov.tr/Konu/2118/Insansiz_Hava_Araci_IHA_Zira_i_Mucadele_Kullanım (Erişim tarihi: 5 Aralık 2021)

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020, “Mısır Bülteni”, ErişimAdresi:<https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/M%C4%B0LL%C4%B0%20TARIM/%C3%9Cr%C3%BCn%20Masalar%C4%B1%20Eyl%C3%BCl%20Ay%C4%B1%20B%C3%BCltenleri/M%C4%B1s%C4%B1r%20Eyl%C3%BCl%20B%C3%BClteni.pdf>. (Erişim Tarihi: 01.03.2020),

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2020, “Bitkisel Üretim İstatistikleri”,<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2020-33737> (Erişim tarihi: 1 Mart 2020)

Türkseven, S., Kızmaz, M. Z., Tekin, A. B., Urkan, E., & Serim, A. T., 2016, Tarımda dijital dönüşüm; insansız hava araçları kullanımı. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 12(4), 267-271.

Uz, U., 2019, Hexacopter yapısında bir insansız hava aracı ile elektronik ilaçlama/sulama sisteminin oluşturulması (Master's thesis, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Wang X N, He X K, Wang C L, Wang Z C, Li L L, Wang S L, et al., 2017, Spray drift characteristics of fuel powered single-rotor UAV for plant protection. Transactions of the CSAE; 33(1): 117–123. (in Chinese).

Wen, S., Zhang, Q., Deng, J., Lan, Y., Yin, X., & Shan, J., 2018, Design and experiment of a variable spray system for unmanned aerial vehicles based on PID and PWM control. Applied Sciences, 8(12), 2482.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Winer BJ.**, 1971, Statistical principles and experimental desing. 2nd Edition. McGraw - Hill Book Co. NY:397-401.
- Woldt W, Martin D, Lahteef M, Kruger G, Wright R, McMechan J, et al.**, 2018, Field evaluation of commercially available small unmanned aircraft crop spray systems. ASABE Annual International Meeting, Michigan, USA; pp.1–15.
- Zhang H C, Zheng J Q, Zhou H P, Dorr, G J. ,** 2017, Droplet deposition distribution and off-target drift during pesticide spraying operation. Transactions of the CSAM; 48(8): 114–122. (in Chinese).
- Zhang J, He X K, Song J L, Zeng A J, Liu Y J, Li X F. ,** 2012, Influence of spraying parameters of unmanned aircraft on droplets deposition. Transactions of the CSAM; 43(12): 94–96. (in Chinese).
- Zhang P, Deng L, Lyu Q, He S L, Yi S L, Liu Y D, et al. ,** 2016, Effects of citrus tree-shape and spraying height of small unmanned aerial vehicle on droplet distribution. Int J Agric & Biol Eng; 9(4): 45–52.
- Zhang S, Xue X S, Qin W, Sun Z, Ding S, Zhou L. ,** 2015, Simulation and experimental verification of aerial spraying drift on N-3 unmanned spraying helicopter. Trans CSAE; 31(3): 87–93. (in Chinese).
- 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. Int J Agric & Biol Eng; 10(3): 57.
- Zhou L P, He Y.**, 2016, Simulation and optimization of multi spray factors in UAV. 2016 ASABE Annual International Meeting, Florida, USA.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince danışmanlığımı yapan, engin bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, yardımlarını çalışmam boyunca esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Arif Behiç TEKİN'e, çalışmamın her aşamasında görüş, katkı ve değerli tecrübeleri ile çalışmamı şekillendiren Arş. Gör. Dr. Süleyman Gürdal TÜRKSEVEN'e, arazi ve uygulamalarda yardımlarını esirgemeyen Sn. AgroFly Ailesine ve emeği geçen tüm yakınlarıma şükranlarımı sunmak benim için tarifsiz bir mutluluktur. Bana olan inancını bir gün bile kaybetmeden en zor zamanlarımda bana güç veren sevgili eşim Ayça ERDURAN'a, tüm hayatım boyunca benden maddi, manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen başta annem Aslı ERDURAN ve babam Ömer ERDURAN olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyor, kıymetli aile büyüğüm lisans ve yüksek lisans öğrenimim için beni teşvik eden ve her daim destekçim olan Sn. Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR'ı saygı ve rahmetle anıyorum.

02 / 11 / 2022

Burak ERDURAN

ÖZGEÇMİŞ

Burak ERDURAN, ilkokul, ortaöğretim ve lisenin ilk üç yılını Konya’da, son yılını Nevşehir’de tamamladıktan sonra 2015 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü’nü kazanmıştır. Lisans öğrenim hayatını başarı ile tamamladıktan sonra 2019 yılında üniversiteden mezun olmuştur. 2021 Mart ayında kariyer hayatına Agrobest Grup Tarım İlaçları Tohumculuk İmalat İthalat İhracat San. ve Tic. A.Ş. çatısı altında Teknik Ziraat Mühendisi olarak başlayan ve bir süre ülke içinde pestisitlerin ruhsatlandırma çalışmalarını yürütmüştür. Bugün aynı firmada Uluslararası Teknik Sorumlusu ünvanı halen Agrobest’teki görevine devam etmektedir.