

Üzüm Bağlarında İHA Kullanımı: Uçuş Parametrelerinin Pestisit Dağılımına Etkileri

Use of UAVs in Vineyards: Effects of Flight Parameters on Pesticide Distribution

Hasan Berk Özyurt ^{1,*} İlker Hüseyin Çelen ¹ Mehmet Efnan Koyunlu ¹

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): H.B. Özyurt, e-mail (e-posta): berkozyurt@nku.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 25.09.2024
Düzeltilme tarihi : 20.12.2024
Kabul tarihi : 26.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Damla
Pestisit
İnsansız hava aracı
Üzüm bağı
Dron

Atıf için:

Özyurt, H.B., Çelen, İ.H., Koyunlu, M.E. (2025).
"Üzüm Bağlarında İHA Kullanımı: Uçuş
Parametrelerinin Pestisit Dağılımına
Etkileri", *Journal of Agricultural
Machinery Science*, 21(1): 1-17.

ÖZET

Konvensiyonel tarımsal mekanizasyon araçları ile pestisit uygulamalarının zor, zaman ve maddi maliyeti yüksek veya imkânsız olduğu arazilerde bu uygulamaları zirai insansız hava araçları ile yapmak mümkündür. Ancak bu teknolojinin beraberinde getirdiği zorluklardan en önemlisi, zirai insansız hava araçları ile yapılan uygulamalarda konvensiyonel uygulamalara göre düşük püskürtme normu, yüksekte uçuş, pervanelerin yarattığı aşağı yönlü hava akımının damlalardaki sürüklenme etkisiyle beraber ilaç dağılım düzgünlüğünün azalmasıdır. Bu düzgünlük de hedef yüzey üzerinde yeteri kadar pestisit birikiminin olmamasına ve pestisit etkinliğinin düşmesine yol açmaktadır. Üzüm bağlarında da damla dağılım düzgünlüğünün yüksek olması için, omcaların alt yapraklarında da damla birikiminin düzgün olması gerekmektedir. Bu çalışmada da, üzüm bağlarında yüksek damla düzgünlüğü için en uygun uçuş parametrelerinin belirlenmesi için farklı uçuş yönü ve farklı damlacık boyutları ile uçuş yapılarak, üzüm bağlarında asmalar üzerindeki damla dağılım düzgünlüğünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemeler Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü'ne ait Papazkarası şaraplık üzüm parsellerinde yürütülmüştür. DJI marka T40 model, 40 litre tank kapasitesine sahip, üzerinde disk memeler bulunan zirai insansız hava aracı ile üç farklı damlacık boyutuyla (100,300,500 µm) ve iki farklı ilerleme yönüyle (sıraya paralel, sıraya dik) üç tekerrürlü olarak 3 m yükseklik ve 3.5 m/s hız ve 0.4 L/ha püskürtme normu ile uçuşlar yapılmıştır. Damla dağılımını ölçmek amacıyla bir omca üzerine üst, orta ve alt yapraklara üçer tekerrürlü olarak suya duyarlı kağıtlar asılmıştır. Uçuşlardan sonra suya duyarlı kağıtlar toplanıp hava ve nem geçirmez kaplara konulmuş, daha sonra tarayıcı yardımı ile bilgisayar ortamına aktararak DepositScan yazılımında damla analizi yapılmıştır. Ortalama damla çapları, kaplama yüzdesi, damla yoğunluğu değerleri ölçülerek en yüksek damla dağılım düzgünlüğünün hangi uçuş parametrelerinde elde edildiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ortalama damla çapları büyüdükçe, damla yoğunluğu azalmıştır. Benzer şekilde alt yapraklardaki birikim de azalış göstermiştir. Sıraya paralel uçuş yönünde 100 ve 300 µm damla çapında kaplama yüzdesi, sıraya dik uçuş yönüne göre daha yüksek ölçülmüştür. En yüksek damla dağılımı 100 µm damla çapında ve sıraya paralel ilerleme yönünde yapılan uygulamada elde edilmiştir. Bu durum insansız hava aracının yarattığı aşağı yönlü hava akımıyla, hafif damlacıkların alt yapraklara ve yatay yönde daha iyi dağılabileceği ile açıklanabilir.

Article Info

Received date : 25.09.2024
Revised date : 20.12.2024
Accepted date : 26.12.2024

Keywords:

Droplet
Pesticide
Unmanned aerial vehicle
Vineyard
Drone

How to Cite:

Özyurt, H.B., Çelen, İ.H., Koyunlu, M.E. (2025).
"Üzüm Bağlarında İHA Kullanımı: Uçuş
Parametrelerinin Pestisit Dağılımına
Etkileri", *Journal of Agricultural
Machinery Science*, 21(1): 1-17.

ABSTRACT

In areas where pesticide applications with conventional agricultural mechanization tools are difficult, time and financial costly or impossible, it is possible to make these applications with agricultural unmanned aerial vehicles. However, the most important of the difficulties brought along by this technology is the decrease in the uniformity of pesticide distribution due to the low spray norm, high flight, and the drag effect of the downward air flow created by the propellers on the drops in applications made with agricultural unmanned aerial vehicles compared to conventional applications. This unevenness leads to insufficient pesticide accumulation on the target surface and decrease in pesticide efficacy. In vineyards, in order for the uniformity of drop distribution to be high, the accumulation of drops should be uniform on the lower leaves of the vertebrae. In order to carry out these controls with agricultural unmanned aerial vehicles, it is essential to determine the most suitable flight and application parameters with the aim of good distribution uniformity. In order to have a high uniformity of droplet distribution in vineyards, the droplet accumulation on the lower leaves of the vertebrae should also be uniform. In this study, in order to determine the most suitable flight parameters for high droplet uniformity in vineyards, it was aimed to determine the droplet distribution uniformity on the shoulder blades in vineyards by flying with different flight direction and different droplet sizes. The experiments were carried out in Papazkarası wine grape plots of Tekirdağ Viticulture Research Institute. Flights were made with 3 different droplet sizes (100,300,500 microns) with 3 different droplet sizes (100,300,500 microns) and 2 different progress directions (parallel to the row, perpendicular to the row) with 3 m height and 3.5 m / s speed and 4 L / da spray norm in 3 replicates with an agricultural unmanned aerial vehicle with a DJI brand T40 model, 40 liter tank capacity and

disc nozzles on it. In order to measure the droplet distribution, water-sensitive papers were hung on the upper, middle and lower leaves of a shoulder in triplicate. After the flights, the water-sensitive papers were collected and placed in airtight and moisture-proof containers, then transferred to the computer environment with the help of a scanner and analyzed with DepositScan software. Average droplet diameters, coverage percentage and droplet density values were measured and the flight parameters with the highest droplet distribution uniformity were determined. According to the results obtained, as the average droplet diameter increased, droplet density decreased. Similarly, the accumulation on the lower leaves also decreased. The percentage of coverage at 100 and 300 micron droplet diameter in the flight direction parallel to the row was higher than in the flight direction perpendicular to the row. The highest droplet distribution was obtained in the treatment with a droplet diameter of 100 microns and in the direction parallel to the row. This can be explained by the fact that with the downward air flow created by the unmanned aerial vehicle, light droplets can be better distributed on the lower leaves and in the horizontal direction.

1. GİRİŞ

Ilıman kuşak bitkisi olan asma (*vitis cinifera L.*), dünya üzerinde 30 ve 40° kuzey ve güney enlemleri arasında yetişmektedir (Deliorman vd., 2011). Dünya’da 2023 yılı itibariyle 28 milyon ton sofralık (Foreign Agricultural Service (FAS),2023), 23,7 milyon ton şaraplık üzüm üretimi gerçekleşmiştir (International Organisation of Wine and Vine, 2024). Türkiye’de de 2023 yılı itibariyle üzüm üretimi 3.4 milyon tondur. Bu rakamlarla Türkiye dünya üzüm üretiminde 5. sıradadır. Ülkemizde üzüm sofralık, şaraplık-şıralık, kurutmalık olarak yetiştirilmekle beraber Ege, Marmara, Akdeniz ve İç Anadolu’da üzüm üretimi yaygın şekilde yapılmaktadır (Statagri, 2023). Her tarımsal üretimde olduğu gibi üzümde de hastalıklar ve zararlı otlarla mücadele yapılmaktadır. Üzüm bağlarında başlıca hastalıklar Bağ küllemesi (*Erysiphe/uncinula necator*) ve Bağ Mildiyözü (*Plasmopara viticola*); başlıca zararlılar Salkım güvesi (*Lobesia botrana*), Bağ Piralisi (*Sparganothis pilleriana*) ve Unlu Bittir (*Planococcus citri*). Bağ arazilerinde en çok mücadele edilen yabancı otlar da Domuz pıtrağı (*Xanthium strumarium L.*), Kırmızı köklü tilki kuyruğu (*Amaranthus retroflexus L.*), Köpek (it) üzümü (*Solanum nigrum*) ve Sirkendir (*Chenopodium album L.*) (Anonim, 2021).

Üzüm bağlarında hastalıklar, zararlılar ve yabancı otlarla mücadele amacıyla yapılan pestisit uygulamalarında geleneksel olarak sırt atomizörleri, yardımcı hava akımlı bahçe tipi pülverizatörler kullanılmaktadır. 2023 yılı verilerine göre Türkiye’de 139 bin adet atomizör, 410 bin adet kuyruk milinden hareketli pülverizatör bulunmaktadır (Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2023). Bu pülverizatörler telli terbiye sistemi ile dikilmiş bağ alanlarında verimli olarak çalışabilmektedir. Düzensiz aralıklarla dikilmiş, yamaca dikilmiş veya traktörün ve pülverizatörlerin giremeyeceği kadar dar sıra aralıklarında dikim yapılmış bahçelerde bu tip pülverizatörlerle uygulama mümkün olmamaktadır.

Son yıllarda geleneksel pülverizatörlere alternatif olarak, üzerinde ilaç tankı, pompa ve püskürtme memeleri monte edilmiş insansız hava araçları (İHA) ile de pestisit uygulamaları yapılmaya başlanmıştır. Türkiye’de de ithal ve yerli üretim olan birçok insansız hava aracı tarımda kullanılmaktadır. Bu amaçla geliştirilen İHA’larla engebeli, düzensiz ve sık dikilmiş bağlarda pestisit uygulamalarının yapılması mümkündür. Ancak İHA’lar ile pestisit uygulamalarının etkinliği konusunda engeller bulunmaktadır (Önler vd., 2023). Geleneksel uygulamalara göre düşük uygulama hacmi kullanımı sebebiyle, hedef yüzeyde düşük pestisit birikimi, alt yapraklarda üst yapraklara göre daha düşük birikim ve havadan ilaçlama yapıldığı için damla sürüklenmesi, İHA’lar ile pestisit uygulamalarında çözülmesi gereken problemler olarak karşımıza çıkmaktadır (Özyurt ve Çelen, 2022).

Bağ alanlarında İHA’lar ile yapılan pestisit uygulamaları konusunda en iyi damla dağılımı için uygun İHA parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Biglia vd. (2023), pestisit kayıplarını önlemek için sadece asmalara püskürtme yapacak şekilde iki farklı püskürtme memesinin etkinliğini karşılaştırmışlar, ancak sonuçta meme açılarının pestisit kayıplarını engellemede bir etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır. Yine Biglia vd. (2022), bağlarda insansız hava araçları ile pestisit uygulamaların etkinliğini belirlemek için iki farklı ilaçlama modu, iki farklı ilerleme hızı ve iki farklı püskürtme memesi ile denemeler yapmış, şerit şeklinde uygulamada en iyi damla birikimi elde edilse de, yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörü ile en iyi kaplama ve dağılım gözlemişlerdir. Sassu vd. (2024) da yaptıkları çalışmada bağ ilaçlamaları için en iyi İHA parametrelerinin 2 m yükseklik, 1,5 m/s ilerleme hızı ve sıra arasından uçuşlarda elde edildiğini belirtmişlerdir. Wang vd. (2021), 3 farklı tipteki insansız hava aracı ve 2 farklı tipteki püskürtme memelerini yapay bir üzüm bağında yaptıkları

denemelerde düşük sürüklenme ve pestisit dağılımı yönünden karşılaştırdıklarında, başarı ve verimlilik sıralamasında göre 6 rotorlu İHA, 8 rotorlu İHA ve helikopter tipi İHA olarak sıralamışlardır. Morales-Rodriguez (2022), bağ arazilerinde geleneksel ilaçlama ve İHA ilaçlamasını ekonomik, verimlilik ve etkinlik yönünden karşılaştırmış, İHA'lar daha hızlı ve verimli olsa da, ilk yatırım maliyeti ve pestisit uygulama etkinliği bakımından dezavantajlı oldukları için geleneksel ilaçlamanın hala popüler olduğunu ifade etmişlerdir.

Yüksek boylu bitkilerde pestisit etkinliğinin önündeki en büyük engellerden biri penetrasyon, diğer bir deyişle damlaların bitkinin alt ve iç yapraklarına ulaşabilme miktarıdır. Bu çalışmada da üzüm bağlarında insansız hava araçları ile pestisit uygulamalarında farklı uçuş yönü ve damlacık boyutu ile en iyi damla dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. İnsansız Hava Aracı (İHA)

Püskürtme denemelerinde DJI marka Agras T40 model, pestisit ve gübreleme uygulamaları için tasarlanmış insansız hava aracı kullanılmıştır (Şekil 1). Kullanılan İHA, sınırları önceden belirlenmiş arazide belirlenen yükseklik, püskürtme normu, uçuş hızı, iş genişliği ve damla çapı ile otonom bir şekilde uygulama yapıp kalkış noktasına gelebilmektedir. Bu modelin en önemli özelliği, üzerinde hidrolik püskürtme memelerinin aksine, santrifüj meme bulunmasıdır. Bu sayede damlacık boyutu 50-500 µm çapları arasında ayarlanabilmektedir. Santrifüj memelerin, hidrolik memelere kıyasla düşük hacimli (ULV) uygulamalarda daha etkili olduğu bilinmektedir (Gong ve ark, 2019; He, 2018). İnsansız Hava Aracı ile ilgili teknik özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. İnsansız Hava Aracının Teknik Özellikleri (Anonim,2024)

Özellikler	Değerler
Toplam Boş Ağırlık	38 kg
Ölçüler (mm)	2800 × 3150 × 780 mm (kollar ve pervaneler açık) 1125 × 750 × 850 mm (kollar kapalı)
Maksimum Güç Tüketimi (W)	6400
Maksimum Uçuş Süresi (dakika)	18
Bitki Üzeri En Düşük Uçuş Yüksekliği (m)	0,5
Meme Tipi ve Sayısı	Döner diskli meme 2 adet
Meme debisi (l min ⁻¹)	6
Tank Kapasitesi (litre)	40
Maksimum Teorik İş Genişliği (m)	11/2,5 metrede
Maksimum Uçuş Hızı (m s ⁻¹)	12

Deneme arazisi sınırlarının önceden belirlenmesi ve bağ sıralarının üç boyutlu biçimde görüntülenmesi amacıyla, püskürtme denemelerinden önce DJI marka Mavic 3 Pro model, üzerinde multispektral kamera bulunan İHA ile deneme parsellerinde uçuş yapılmıştır. Arazinin 3 boyutlu modeli çıkartılıp, portala yüklenerek, püskürtme denemelerinin yapılacağı İHA için uçuş koşulları hazırlanmıştır.



Şekil 1. DJI Agras T40 İHA ve DJI Mavic 3 Pro Multispektral

2.2. Deneme Arazisi ve Koşulları

Denemeler 02.08.2024 tarihinde Tekirdağ Süleymanpaşa'da bulunan Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü'nde (Şekil 2/a) Papazkarası çeşidi şaraplık üzüm parsellerinde gerçekleştirilmiştir (40° 58'15.0''K, 27° 28'23'' D). Toplam parsel alanı 700 m² olarak ölçülmüştür. Denemelerin yapıldığı tarihte Papazkarası asmaları BBCH 73-75 (Şekil 2/b) evresindedir (Lorenz vd., 1995). Bu dönemde asmaların taç yoğunluğu yüksek seviyede olduğu için, alt yapraklara damlacık ulaşmasının en zor olduğu koşullarda denemelerin daha doğru olacağı düşünülmüştür. Deneme yapılan arazide iki sıra arası 2.2 m ve omçaların yüksekliği en yüksek 1.8 m olarak ölçülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 2. Deneme alanı ve papazkarası asmaları

Püskürtme denemelerinde rüzgâr hızı, bağıl nem ve hava sıcaklığı değerleri Testo 605-H1 termohidrometre (Testo SE & Co. KGaA, 2023) ve Lutron AM 4202 anemometre (Lutron Instruments, 2023) ile ölçülmüştür. Ortalama hava sıcaklığı 29,7 °C, bağıl nem %57,3, 2 metre yükseklikte rüzgâr hızı ise 2,4 m/s olarak belirlenmiştir.

2.3. Deneme Planı

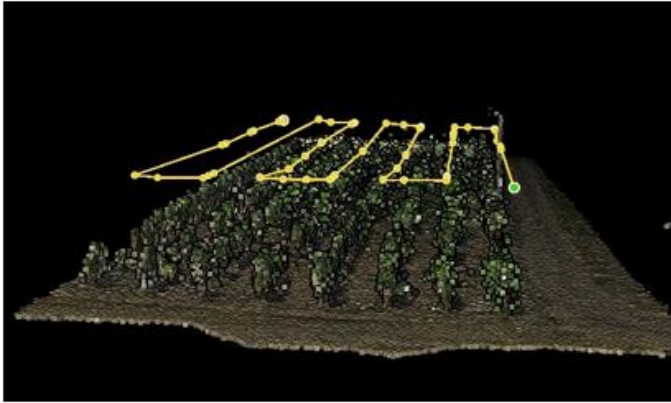
Asma sıralarına paralel ve sıralara dik olarak iki farklı uçuş yönü ile 100, 300 ve 500 µm olmak üzere üç farklı ortalama damla çapı değerleri ile toplam altı farklı uçuş yapılmıştır. Tüm denemelerde uçuş hızı

3,5 m/s, püskürtme normu ise 0.4 L/ha ve uçuş yüksekliği omca tacı üzerinden 3 m olarak sabit tutulmuştur (Çizelge 2). Tüm denemelerde püskürtme sıvısı olarak çeşme suyu kullanılmıştır.

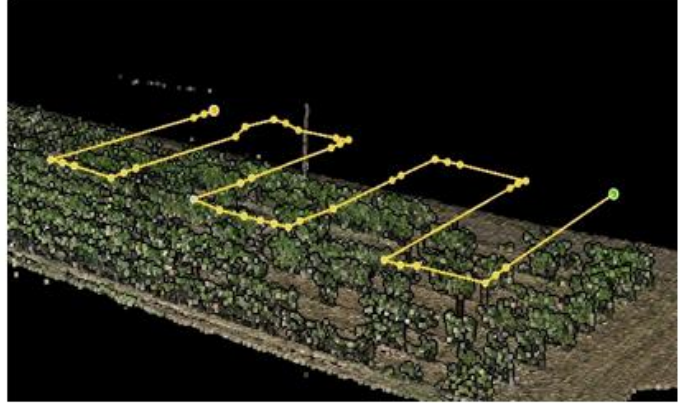
Çizelge 2. Deneme Planı

Deneme No	Uçuş Yönü	Damlacık Boyutu (μm) $Dv_{0.5}$	Uçuş Hızı (m/s)	Uygulama Hacmi (L/ha)	Uçuş Yüksekliği (m)
1	Sıraya paralel	100	3,5	0.4	3
2	Sıraya paralel	300	3,5	4	3
3	Sıraya paralel	500	3,5	4	3
4	Sıraya dik	100	3,5	4	3
5	Sıraya dik	300	3,5	4	3
6	Sıraya dik	500	3,5	4	3

Deneme planlamasında, 50 m uzunlukta toplam 8 asma sırası belirlenip, DJI Mavic 3 Multispektral İHA ile uçuş rotaları bu sınırlar içerisinde oluşturulmuştur (Şekil 3/a ve b). Üst üste binme veya dönüşlerde yaşanabilecek damla dağılım düzensizliğini engellemek için Agras T40, belirlenen arazi sınırlarından 5 m önceden püskürtmeye başlamış ve 5 m sonra püskürtmeyi durdurmuştur (Özyurt ve Çelen, 2023).



(a)



(b)

Şekil 3. Uçuş Rotaları

2.4. Damlacık Tespiti ve Analizleri

Damla analizleri için, uçuş rotasında rastgele şekilde 3 adet asma bitkisi seçilmiştir. Asmalar üst, orta ve alt yaprak olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Her bölgeye farklı yapraklara üçer adet suya duyarlı kâğıtlar ataçlarla tutturulmuştur. Bu şekilde her uçuşta toplam 27 adet suya duyarlı kâğıt kullanılmıştır (Şekil 4).

Her uçuştan sonra, üzerlerinde damla biriken ve kuruyan suya duyarlı kâğıtlar toplanarak, kapalı kaplara konulmuştur. Ardından bir sonraki uçuş için yeni suya duyarlı kâğıtları tekrar yapraklara yerleştirilmiştir. Tüm denemeler bittikten sonra suya duyarlı kâğıtlar tarayıcı ile 600 dpi çözünürlükte taranarak bilgisayar ortamına aktarılmış, DepositScan yazılımı ile damla analizleri yürütülmüştür (Zhu vd., 2011). Görüntü işleme tekniğinin hızlı, efektif ve kolay olduğu bilinmektedir (Beyaz vd., 2017). Damla analizlerinde hacimsel orta çap, kaplama oranı, damla yoğunluğu ve efektif uygulama hacmi değerleri

hesaplanmıştır. Daha sonra her denemede hesaplanan damla parametreleri için standart sapma değerleri ve varyasyon katsayıları hesaplanarak, damla dağılım düzgünlüğü incelenmiştir.



Şekil 4. Suya duyarlı kağıtların asma üzerindeki yerleşimi

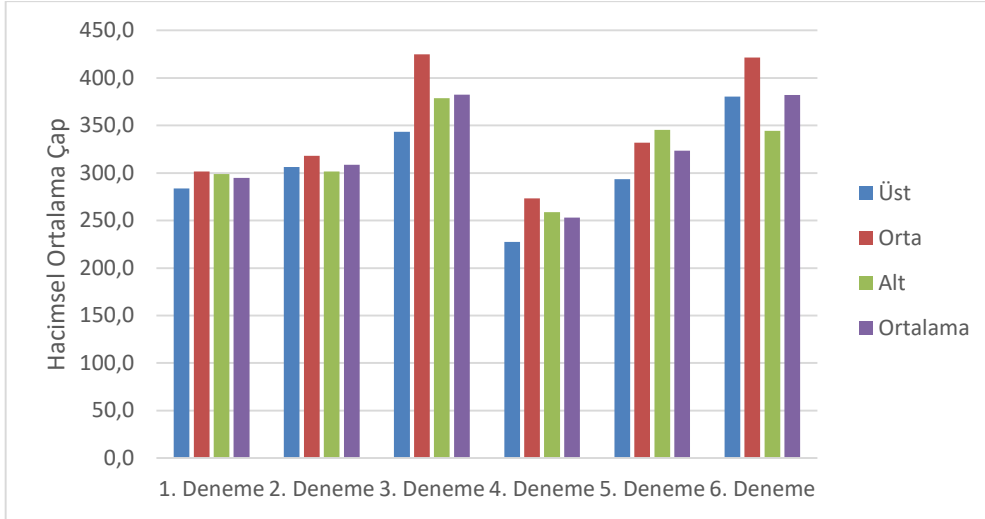
2.5. Veri Analizleri

Elde edilen sonuçların normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla veriler Shapiro Wilk testine göre değerlendirilmiştir. Testler sonucunda veriler normal dağılım göstermediği için Mann-Whitney U testleri yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

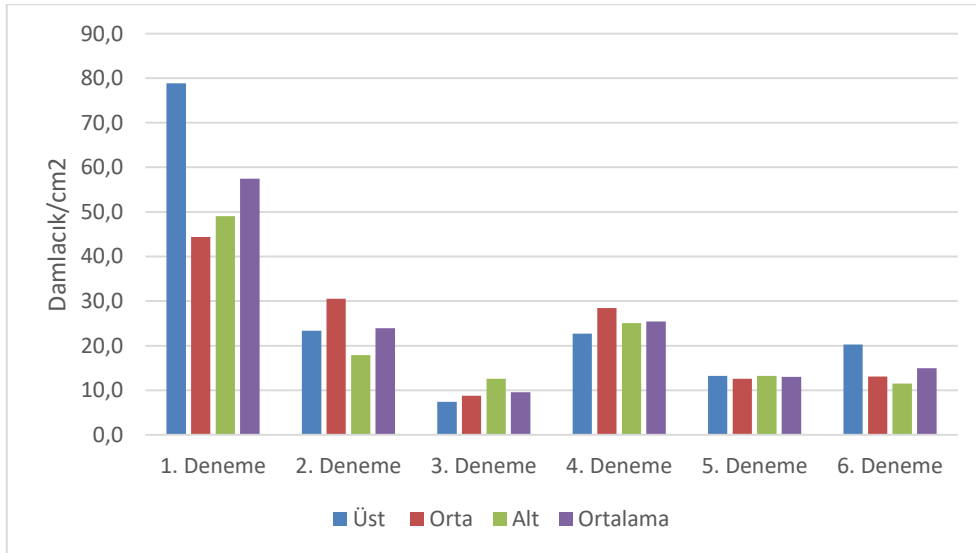
Tüm deneme uçuşlarından ve damla analizlerinden sonra elde edilen değerler grafikler halinde gösterilmiş ve parametre değişkenleri buna göre değerlendirilmiştir.

DepositScan programında hacimsel orta çaplar belirli bir düzeltme katsayısı ile hesaplanmaktadır. Tüm denemelere ait hacimsel orta çap değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Denemelerde, her uçuştan önce damla çapları Agras T40'ın kontrol kumandası üzerinden deneme planına göre ayarlanmıştır. 100 µm ile yapılan 1. ve 4. denemeler hariç diğer denemelerde hedeflenen ortalama damla çaplarının elde edildiği, Çizelge 3'te de görüleceği üzere düşük varyasyon katsayıları elde edildiği, buna göre damla çaplarının homojen bir dağılım gösterdiği ifade edilebilir.



Şekil 5. Hacimsel orta çap

Şekil 6'da cm^2 deki damlacık yoğunluğu grafiklerden incelendiğinde 1. denemede cm^2 de ortalama 58 damla ile en yüksek damla yoğunluğu elde edilmiştir. En düşük damla yoğunluğu ise ortalama 10 damla/ cm^2 ile 3. denemede ölçülmüştür. Damla çapının artmasıyla beraber alt yapraklarda damla birikimi azalmıştır. Damla çapı büyüdükçe damlalar ağırlaşmakta, bu da damlaların yatay yönlü hareketini zorlaştırmaktadır. Daha küçük damlalar, hem İHA'nın ilerleme hızı hem de pervanelerin yarattığı aşağı yönlü akımla yatay olarak hareket edebilmekte, böylece bağ sıralarına doğru ilerleyen damlaların yatay yönlü hareket edip alt yapraklarda da damla birikimi elde edilmektedir (Wang vd., 2022). Damlacık yoğunluğunun İHA tarafından üretilen damla çaplarına göre değişimi istatistiki olarak incelendiğinde, hem sıraya dik hem sıraya paralel uçuşlarda 100-300 μm ve 100-500 μm arasında anlamlı olarak bulunmuştur (Şekil 9). Uçuş yönüne göre incelendiğinde ise sadece 100 μm ile yapılan uygulamalarda iki rota arasındaki fark anlamlı elde edilmiştir (Şekil 10).

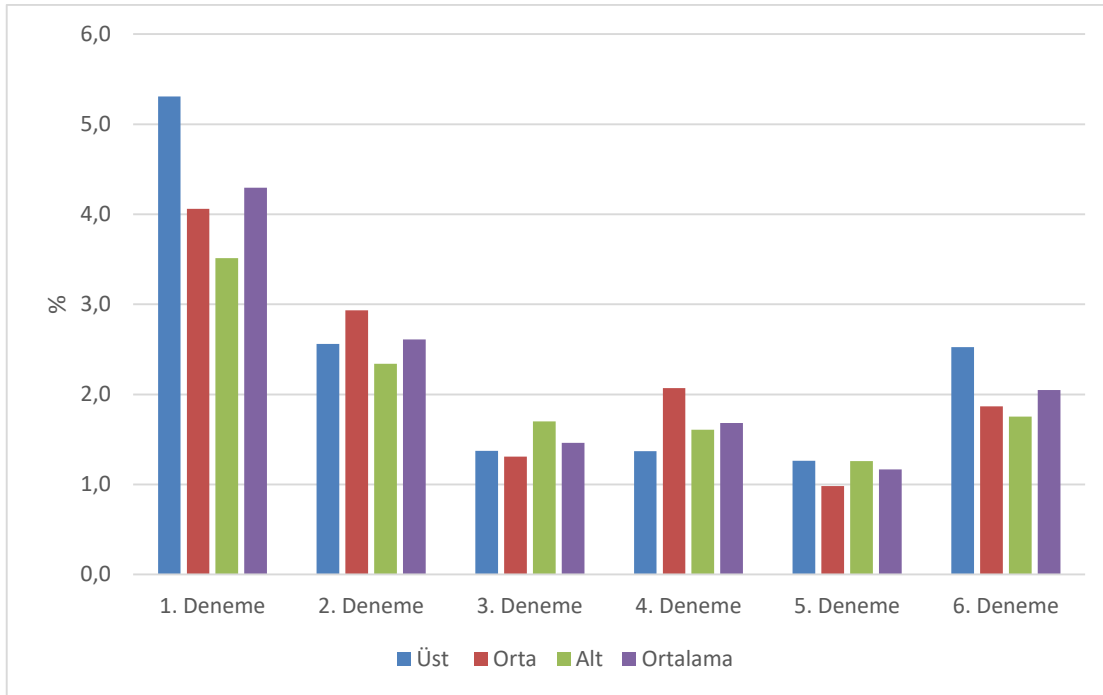


Şekil 6. Damlacık Yoğunluğu

Suya duyarlı kağıt yüzeylerinin alan olarak yüzde kaçının sıvıyla kaplandığını ifade edilen kaplama yüzdesi değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir. En çok yüzey kaplama 1. denemede (%4,2); en düşük

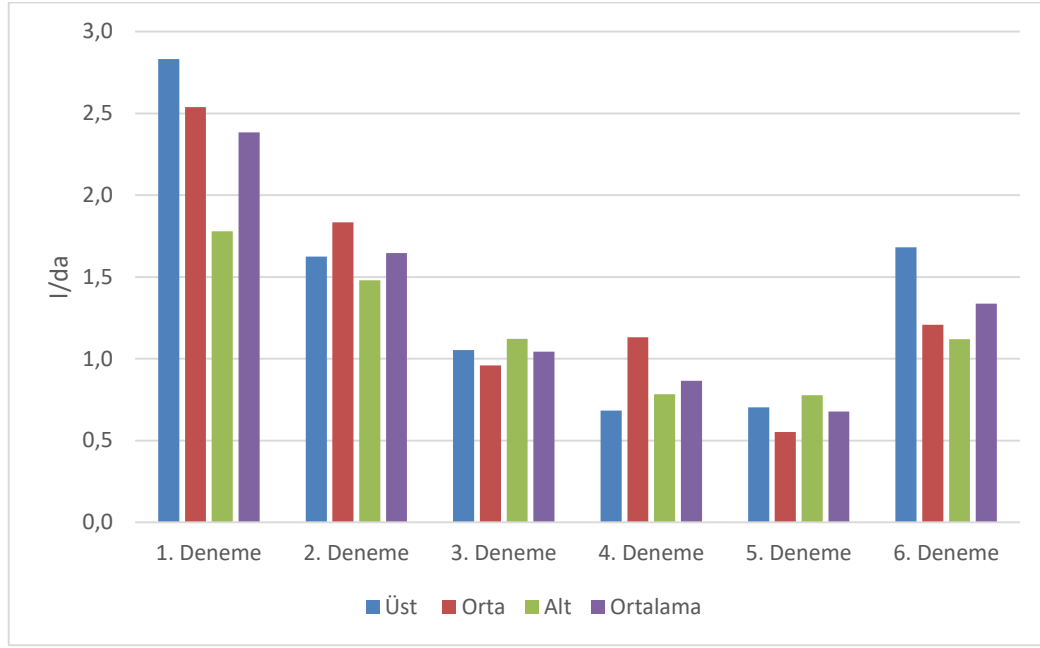
yüzey kaplama oranı 5. denemede (%1,1) ölçülmüştür. Bu grafik damlacık yoğunluğu grafiği ile pozitif korelasyon göstermektedir; çünkü yüksek damlacık yoğunluğu aynı zamanda yüksek kaplama oranına da sebep vermektedir. Yapılan istatistik analizde de damlacık yoğunluğu ve kaplama oranı arasındaki ilişki önemli bulunmuştur. Yine de en yüksek kaplama oranı bile konvensiyonel uygulamalara göre (%60-70) oldukça düşük kalmaktadır (Mahmood vd., 2004; Sedlar vd., 2013). Ancak İHA'larla yapılan diğer çalışmalarda %2 (Meng vd., 2020), %4,5 (Chen vd., 2022) gibi değerler de bulunmaktadır.

Sıraya paralel uçuşlarda, damlacık boyutunun artması ile özellikle alt yapraklarda damla birikiminin azaldığı gözlenmiştir. Bunun sebebi yine damlacık yoğunluğu grafiklerinde açıklandığı gibi, ağırlaşan tanelerin yatay yönde hareketinin azalması olarak ifade edilebilir. Sıraya dik olan uçuşlarda ise en yüksek kaplama yüzdesi 6. denemede (%2,1) elde edilmiştir. Sıraya dik uçuşta, asmaların üzerinden geçerken İHA'dan çıkan tüm damlacıklar aşağı yönde ilerlediği için alt yapraklarda birikim artmıştır. Sıraya paralel uçuşlarda ise, sıra aralarına denk gelen uçuş rotalarında düşey yönlü hareket eden damlalar bahçe zeminine ilerlemiştir. Kplama yüzdellerinde denemeler arasındaki ilişkiler istatistiki olarak incelendiğinde, sıraya paralel uçuşla yapılan denemelerde farklı damla çapları arasında ilişkiler anlamlı bulunmuştur. Farklı uçuş rotalarında ise sadece 100 µm ile yapılan uçuşlarda sıraya dik ve sıraya paralel uçuşlarda elde edilen sonuçlar arasındaki ilişki anlamlı bulunmuştur (Şekil 9 ve Şekil 10).



Şekil 7. Kaplama Yüzdesi

Bu durumu Şekil 8'deki efektif norm grafikleri de desteklemektedir. Efektif norm, püskürtme uygulamasında elde edilen gerçek norm olarak ifade edilmektedir. İHA'nın uçuş planlamasında hedeflenen teorik püskürtme normu 4 L/da idi. Ancak grafikte görüldüğü gibi bu değere en çok yaklaşan deneme 2,7 L/da ile 1. deneme olmuştur. Sıraya paralel uçuşlarda, hafif damlaların üretilen hava akımları ile yatay yönde hareketinin sağlanmasıyla, bahçe zeminine doğru sürüklenme azalmıştır. Yine de tüm grafiklerde elde edilen efektif norm değerlerinin teorik norm değerlerinden bu denli düşük olması sadece zemine doğru sürüklenmeye bağlanamaz. Ağustos ayında yaklaşık 30 °C sıcaklıkta yapılan püskürtme denemelerinde buharlaşma etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır.

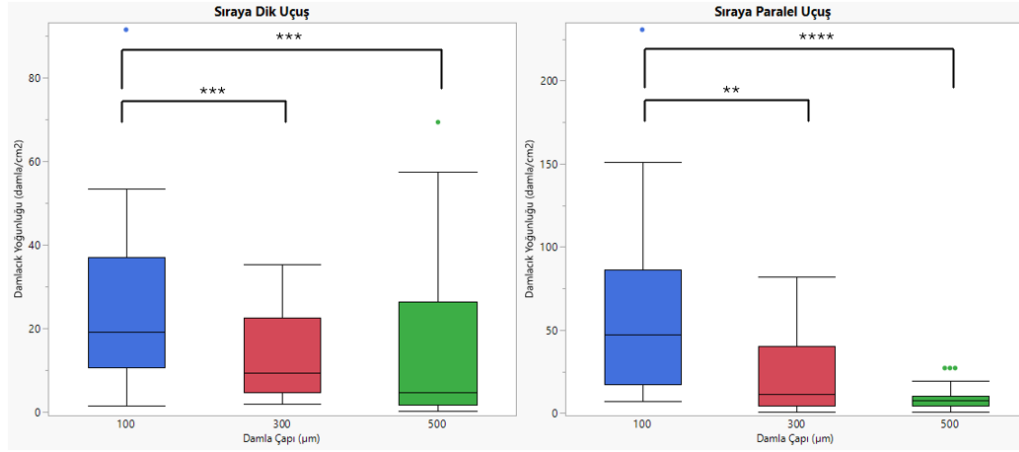


Şekil 8. Efektif Norm

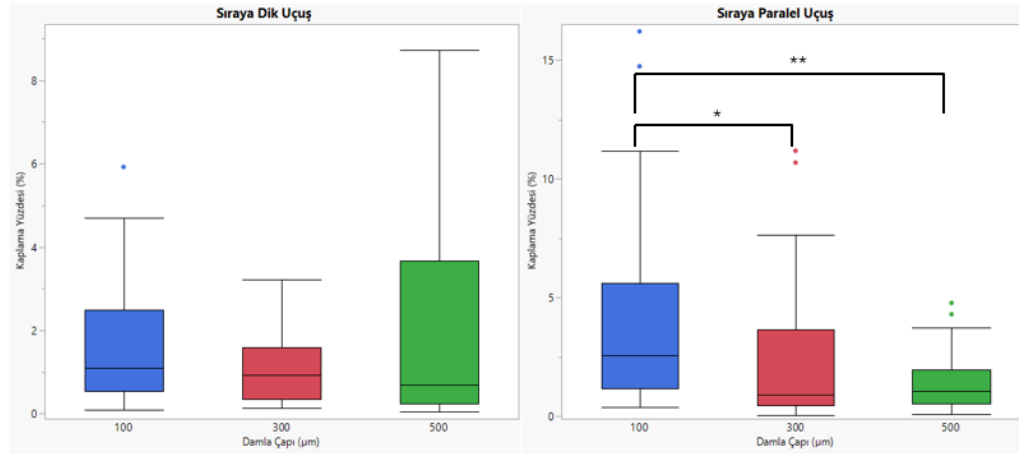
Pestisit uygulamalarında iyi bir damla dağılımı da uygulama verimliliği için önemli bir faktördür. Çizelge 3'te 4 farklı damlacık parametresi için hesaplanan farklı yaprak bölgeleri arasındaki standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Hacimsel orta çap değerlerinde en yüksek varyasyon katsayısı değeri %8,7'dir. Kullanılan İHA'nın ürettiği damlacıkların düzgün dağılım gösterdiği söylenebilir. Damla sayısı/cm² değerlerinde ise sıraya paralel uçuşlarda daha yüksek varyasyon katsayısı, dolayısıyla daha heterojen bir damla dağılımı elde edildiği gözlenmiştir. Bu da damlaların üst, orta ve alt yapraklar arasında sıraya dik uçuşlara göre daha düzensiz dağıldığını göstermektedir. Diğer parametrelere bakıldığında tüm denemelerde damla dağılımının düzgün olduğu sonucuna varılabilir.

Çizelge 3. Damla Dağılım Düzgünlüğü

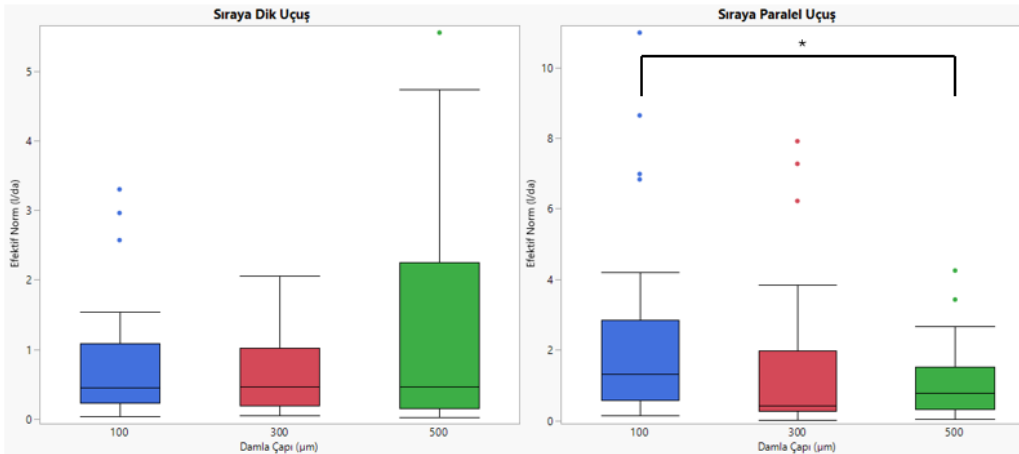
Uçuş Yönü	Damla Çapı	Hacimsel Orta- Çap ($Dv_{0,5}$)		Damla sayısı/cm ²		Kaplama oranı (%)		Efektif uygulama hacmi (L/da)	
		Ortalama	CV (%)	Ortalama	CV (%)	Ortalama	CV (%)	Ortalama	CV (%)
Sıraya Paralel	100	294,8±7,8	2,6	57,4±15,3	26,6	4,3±0,8	17,5	2,4±0,44	18,6
Sıraya Paralel	300	308,7±6,9	2,2	23,9±5,2	21,6	2,6±0,2	9,4	1,6±0,14	8,9
Sıraya Paralel	500	382,4±33,4	8,7	9,6±2,2	22,9	1,5±0,2	11,7	1±0,06	6,4
Sıraya Dik	100	253,3±19,1	7,5	25,4±2,4	9,3	1,7±0,3	17,3	0,9±0,19	22,3
Sıraya Dik	300	323,6±21,9	6,8	13,0±0,3	2,4	1,2±0,1	11,3	0,7±0,1	13,8
Sıraya Dik	500	382,1±31,5	8,2	14,9±3,8	25,4	2,0±0,3	16,6	1,3±0,2	18,5



a. Damlacık Yoğunluğu



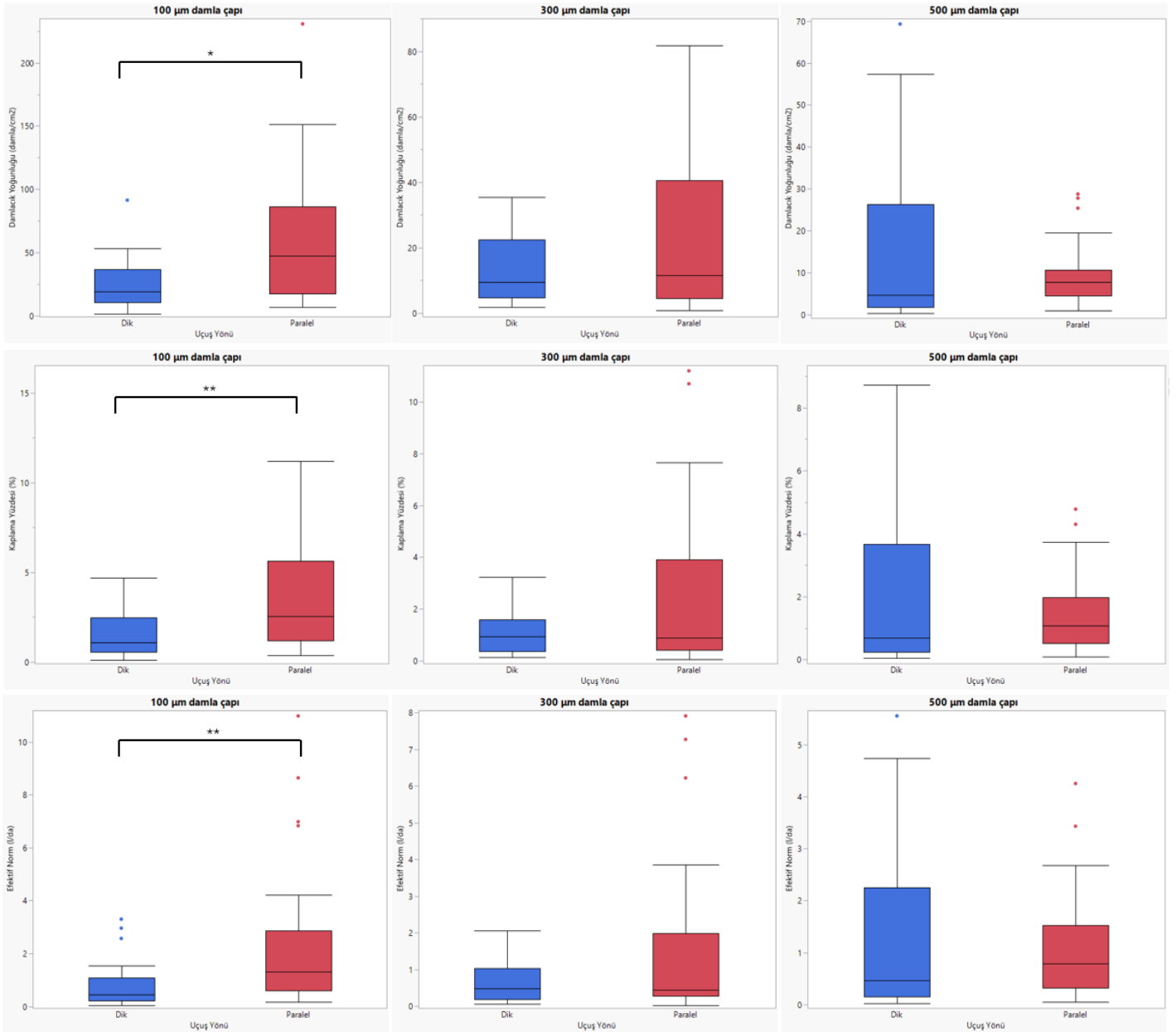
b. Kaplama Yüzdesi



c. Efektif Norm

Şekil 9. Damlacık yoğunluğu, kaplama yüzdesi ve efektif norm değerlerinin damla çaplarına göre değişimi

Not: Grafikteki yıldızlar, Mann-Whitney U testi kullanılarak belirlenen uygulamalar arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir. Yıldız sayısı p değerlerine göre değişmektedir (*: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$; ****: $p \leq 0.0001$).



Şekil 10. Damlacık yoğunluğu, kaplama yüzdesi ve efektif norm değerlerinin uçuş yönüne göre değişimi

Not: Grafikteki yıldızlar, Mann-Whitney U testi kullanılarak belirlenen uygulamalar arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir. Yıldız sayısı p değerlerine göre değişmektedir (*: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$; ****: $p \leq 0.0001$).

4. SONUÇ

Pestisit uygulamaları için özel tasarlanan İHA'ların farklı bitki, pestisit ve çalışma koşullarında performanslarını değerlendirmek amacıyla bilim insanları, bu teknoloji ortaya çıktığından beri çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmada da, üzüm bağlarında zirai insansız hava araçları ile yapılacak pestisit uygulamalarında en etkili püskürtmenin hangi uçuş yönü ve damlacık boyutu ile elde edilebileceği araştırılmıştır. Sıraya paralel ve dik uçuş yönü ve 100, 300 ve 500 µm damla çapları ile toplam 6 uçuş yapılarak, asmalara yerleştirilen suya duyarlı kağıtlar ile damla analizleri yürütülmüş;

hacimsel orta çap, damla yoğunluğu, yüzey kaplama oranı ve efektif norm değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sıraya paralel yapılan uçuşlarda, İHA'nın ilerleme hızından ve pervanelerin aşağı yönlü yarattığı hava akımından kaynaklı düşük boyutlu, dolayısıyla daha hafif damlaların yatay yönlü hareketleri ile asmaların alt yapraklarına kadar ulaşabildiği gözlenmiştir. Sıraya dik uçuşlarda ise, aşağı yönlü hareket eden büyük çaplı damlaların alt yapraklara daha iyi ulaşabildiği gözlenmiştir. En yüksek damla yoğunluğu 58 damlacık /cm², en iyi yüzey kaplama yüzdesi %4.2 ve 100 µm damlacık boyutu ile sıraya paralel uçuşta elde edilmiştir.

Çalışmada püskürtme sıvısı olarak su kullanılarak sadece damla analizleri ile, potansiyel pestisit uygulamalarında yol gösterici olması açısından öneriler belirtilmiştir. Gelecek çalışmalarda belirlenen parametrelerde pestisitlerle yapılacak uygulamalarda, biyolojik etkinlik de hesaplanarak literatüre eklenmelidir.

KAYNAKLAR

- Anonim. (2024). *DJI Agras T40 specifications*. DJI. <https://www.dji.com/global/t40/specs>
- Anonim. (2021). *Bağ hastalıkları ve mücadele yöntemleri*. Bayer Crop Science. <https://www.cropscience.bayer.com.tr/turkiye/tarim-haberleri/bag-hastaliklari-mucadele.html>
- Beyaz, A., Dağtekin, M., Çilingir, I., & Gerdan, D. (2017). Evaluation of droplet size spectra for agricultural pesticide applications using water sensitive paper and image analysis techniques. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12A), 102–108.
- Biglia, A., Comba, L., Alcatrão, L. E., Sopegno, A., Messina, C., Mozzanini, E., Bloise, N., Guglieri, G., & Grella, M. (2023). Comparison between 60° and 30° hollow cone nozzles for targeted UAV-spray applications in vineyards. In *Precision agriculture'23* (pp. 67–73). Wageningen Academic Publishers.
- Biglia, A., Grella, M., Bloise, N., Comba, L., Mozzanini, E., Sopegno, A., Pittarello, M., Dicembrini, E., Alcatrão, L. E., 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, 157292.
- Chen, P., Ouyang, F., Zhang, Y., & Lan, Y. (2022). Preliminary evaluation of spraying quality of multi-unmanned aerial vehicle (UAV) close formation spraying. *Agriculture*, 12(8), 1149.
- Deliorman, O. D., Ergun, F., & Orhan, N. (2011). Anadolu medeniyetlerinde asma (*Vitis vinifera* L.). *Tarih Araştırmaları Dergisi*, 30(50), 69–80.
- Foreign Agricultural Service. (2023). *Coffee: World markets and trade*. U.S. Department of Agriculture. <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0575100>
- Gong, J., Fan, W., & Peng, J. (2019). Application analysis of hydraulic nozzle and rotary atomization sprayer on plant protection UAV. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 2(1).
- He, X. (2018). Rapid development of unmanned aerial vehicles (UAV) for plant protection and application technology in China. *Outlooks on Pest Management*, 29(4), 162–167.

- International Organisation of Vine and Wine. (2024, April). *State of the world vine and wine sector in 2023*.
https://www.oiv.int/sites/default/files/202404/OIV_STATE_OF_THE_WORLD_VINE_AND_WINE_SECTOR_IN_2023.pdf
- Lorenz, D. H., Eichhorn, K. W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U., & Weber, E. (1995). Growth stages of the grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 100–103.
- Mahmood, H. S., Iqbal, M., Hussain, K. A., & Hamid, T. (2004). Improved surface coverage with environmentally effective university boom sprayer. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 41(3/4), 152.
- Meng, Y., Su, J., Song, J., Chen, W. H., & Lan, Y. (2020). Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105282.
- Morales-Rodríguez, P. A., Cano Cano, E., Villena, J., & López-Perales, J. A. (2022). A comparison between conventional sprayers and new UAV sprayers: A study case of vineyards and olives in Extremadura (Spain). *Agronomy*, 12, 1307. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061307>
- Önler, E., Özyurt, H. B., Şener, M., Arat, S., Eker, B., & Çelen, İ. H. (2023). Spray characterization of an unmanned aerial vehicle for agricultural spraying. *The Philippine Agricultural Scientist*, 106(1), 39–46.
- Özyurt, H. B., & Çelen, İ. H. (2022). İnsansız hava araçları ile yapılan pestisit uygulamalarında farklı meme tiplerinin damla dağılımına etkisinin incelenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(3), 157–172.
- Özyurt, H. B., & Çelen, İ. H. (2023, September). Effect of different flight parameters on spraying efficacy in pesticide applications with unmanned aerial vehicle in sunflower. In *AGRIBALKAN 2023 V. Balkan Agricultural Congress* (p. 231).
- Sassu, A., Psiroukis, V., Bettucci, F., Ghiani, L., Fountas, S., & Gambella, F. (2024). Unmanned aerial system plant protection products spraying performance evaluation on a vineyard. *Precision Agriculture*, 25(4), 2082–2112. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10155-8>
- Sayıncı, B. (2020). Pülverizatör memelerinde pülverizasyon karakteristiklerinin görüntü işleme yöntemiyle belirlenmesi. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 1(1), 44–62.
- Sedlar, A. D., Bugarin, R. M., Nuyttens, D., Turan, J. J., Zoranovic, M. S., Ponjican, O. O., & Janic, T. V. (2013). Quality and efficiency of apple orchard protection affected by sprayer type and application rate. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(4), 935–944.
- StatAgri. (2023). Üzüm istatistikleri. <https://www.statagri.com/uzum-istatistikleri/>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2023). *Tarımsal alet ve makine sayıları*. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>
- Wang, C., Liu, Y., Zhang, Z., Han, L., Li, Y., Zhang, H., Yangfan, L., Zhang, H., Wongsuk, S., Li, Y., Wu, X., & He, X. (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(6), 2449–2466.

Wang, C., Herbst, A., Zeng, A., Wongsuk, S., Qiao, B., Qi, P., ... & He, X. (2021). Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard. *Science of the Total Environment*, 777, 146181.

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.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Although unmanned aerial vehicles have been used in defence industry, communication, health, combating natural disasters, entertainment, remote sensing for many years, their use in agriculture is developing and diversifying day by day. In areas where pesticide applications with conventional agricultural mechanisation tools are difficult, time and financial costs are high or impossible, it is possible to carry out these applications with agricultural unmanned aerial vehicles. Electric or fossil fuelled agricultural unmanned aerial vehicles with a pesticide tank, pump and spray nozzles have become widespread in the world and in Turkey. The most important of the difficulties brought about by this widespread use of agricultural unmanned aerial vehicles is the decrease in the uniformity of pesticide distribution due to the low spray rate, flight altitude, and the droplet drift due to the downward air flow created by the propellers on the droplets. This uniniformity leads to insufficient pesticide deposition on the target surface and a decrease in pesticide efficacy. Table and wine grapes are produced in vineyards in almost every region of Turkey, and chemical control of many harmful organisms is carried out in these vineyards for high quality and yield. In order to carry out these controls with agricultural unmanned aerial vehicles, it is essential to determine the most suitable flight and application parameters with the aim of good distribution uniformity. In order to have a high uniformity of droplet distribution in vineyards, the droplet accumulation on the lower leaves of the vine should also be uniform. In this study, in order to determine the most suitable flight parameters for high droplet uniformity in vineyards, it was aimed to determine the droplet distribution uniformity on the vines in vineyards by flying with different flight direction and different droplet sizes.

Methodology

The experiments were carried out in Papazkarası wine grape plots of Tekirdağ Viticulture Research Institute. Flights were made with 3 different droplet sizes (100,300,500 μm) and 2 different flight directions (parallel to the row, perpendicular to the row) with 3 m height and 3.5 m / s speed and 4 L / da spray norm in 3 replicates with an agricultural unmanned aerial vehicle with a DJI brand T40 model, 40 litre tank capacity and centrifugal nozzles on it. In order to measure the droplet distribution, water-sensitive papers were hung on the upper, middle and lower leaves of a shoulder in triplicate. After the flights, the water-sensitive papers were collected and placed in airtight and moisture-proof containers, then transferred to the computer environment with the help of a scanner and analysed with DepositScan software. Average droplet diameters, coverage percentage and droplet density values were measured and the flight parameters with the highest droplet distribution uniformity were determined.

Results and Conclusions

According to the results obtained, as the average droplet diameter increased, droplet density decreased. Similarly, the accumulation on the lower leaves also decreased. The percentage of coverage at 100 and 300 micron droplet diameter in the flight direction parallel to the row was higher than in the flight direction perpendicular to the row. The highest droplet distribution was obtained in the treatment with a droplet diameter of 100 microns and in the direction parallel to the row. This can be explained by the fact that with the downward air flow created by the unmanned aerial vehicle, light droplets can be better distributed on the lower leaves and in the horizontal direction.

YAZARLARIN BİYOGRAFİSİ



Hasan Berk ÖZYURT

08.06.1994 yılında Tekirdağ'da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Tekirdağ'ın Muratlı ilçesinde tamamladı. 2017 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2021 yılında yüksek lisans eğitimini bitirdikten sonra aynı yıl doktora eğitimine başladı. 2020 yılından beri Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımda Makine Sistemleri Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Tarım makineleri, bitki koruma makine ve teknolojileri ve insansız hava araçlarının tarımda ve ilaçlamada kullanımı alanlarında çalışmalar yürütmektedir.

İletişim

berkozyurt@nku.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0003-0775-1723>



Prof. Dr. İlker Hüseyin ÇELEN

08.03.1971 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Hatay İskenderun ilçesinde tamamladı. 1992 yılında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünden Ziraat Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı Bölümde 1995 yılında Yüksek Lisans Eğitimini tamamladı. 1994 yılında Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve aynı Bölümde 1999 yılında Doktora eğitimini bitirdi. 2000 yılında Yardımcı Doçent olarak Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümüne atandı. 2011 de Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümüne Doçent olarak atandı ve aynı Bölümde 2018 yılında Profesör oldu. Tarım Makinaları ve özellikle Bitki Koruma Makinaları ve otomasyonu konusunda çalışmalar yapan araştırmacı konusunda birçok kongrede bildiri sunmuş, yurt içi ve yurt dışı birçok makalesi yayınlamıştır. Birçok projede görev alarak 3 adet patent sahibi olmuştur. Ayrıca yayınladığı 2 kitap ve bölüm yazarlıkları vardır.

İletişim

icelen@nku.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0003-1652-379X>



Mehmet Efnan KOYUNLU

06.01.1999 yılında Edirne'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tekirdağ'ın Çorlu ilçesinde tamamladı. 2023 yılında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümünden Biyosistem Mühendisliği olarak mezun oldu. Aynı bölümde 2023 yılında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Tarım makineleri, otonom araçlar, insansız hava araçları ile bitki koruma uygulamaları alanında çalışmalar yürütmektedir.

İletişim

efnankynl@gmail.com

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0009-0009-9531-9308>