



Pülverizatör Memelerinde Pülverizasyon Karakteristiklerinin Görüntü İşleme Yöntemiyle Belirlenmesi

Bahadır SAYINCI^{1a*}

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Mersin Üniversitesi, 33340, Yenişehir-Mersin-TÜRKİYE

(*) Corresponding author. bsayinci@mersin.edu.tr; Tel: +90-324-3610001; Fax: +90-324-3610008

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; suya duyarlı kağıt (WSP) örneklerinde görüntü işleme tekniğine dayalı olarak yapılan leke analizi için sistematik bir analiz prosedürü geliştirmek, püskürtme denemelerinde damla karakteristiklerini istatistiksel yöntemlere dayalı olarak belirlemek, püskürtmede görüntü işlemeyle dayalı olarak yapılan analizlerin yazılım altyapısına temel teşkil edecek yöntem stratejileri ortaya koymaktır. Püskürtme denemeleri 80 l ha⁻¹ uygulama hacminde bir simülatörle yapılmış ve örnekleme yüzeyi olarak WSP kullanılmıştır. Denemeler 9 kez tekrarlanmış ve görüntü işleme tekniğiyle leke analizi yapılmıştır. Pülverizasyon karakteristikleri tanımlayıcı istatistik yöntemlerine dayalı olarak makro bir yazılım geliştirilerek hesaplanmıştır. Hesaplamalar 20 çap sınıfı oluşturularak yapılmıştır. Araştırmada ortalama damla çapı (D_{10} , D_{20} , D_{30} ve D_{32}), 100, 150, 200 ve 250 μm 'den küçük çaplı damlaların hacimsel dağılımı (V_{100} , V_{150} , V_{200} ve V_{250}), hacimsel çaplar ($D_{V0.10}$, $D_{V0.25}$, $D_{V0.50}$, $D_{V0.75}$ ve $D_{V0.90}$), damla spektrumu yayılım faktörü (RSF), damla homojenlik katsayısı (r) ve damla tekdüzelik oranı (H) belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre tekerrürler arasında damla çaplarının değişkenliği, damla spektrumunun yayılımı, kümülatif dağılım eğrileri ve damla homojenliğini tanımlayan faktörler arasında büyük bir uyumun olduğu gözlemlenmiştir. Korelasyon analizi sonucuna göre D_{32} ve $D_{V0.50}$ çapları arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmuştur. Damla çapı arttıkça RSF değeri azalmıştır. r ve H değerleri arasındaki korelasyon istatistiksel açıdan çok önemli bulunmuş ve aralarında negatif yönlü bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Alınış tarihi: 12.03.2020

Kabul tarihi: 14.04.2020

Online basım: 23.04.2020

Anahtar Kelimeler :

- Damlacık çapı,
- Damla analizi,
- Suya duyarlı kağıt,
- Sauter ortalama çapı,
- Hacimsel çap,
- Püskürtme

Alıntı için: Sayıncı B (2020). Pülverizatör memelerinde pülverizasyon karakteristiklerinin görüntü işleme yöntemiyle belirlenmesi. Turkish Journal of Agricultural Engineering Research (TURKAGER), 1(1): 44-62.

Determination of Spray Characteristics in Sprayer Nozzles Using Image Processing Method

ABSTRACT

The aim of this study was to develop a systematic analysis procedure for spot analysis based on image processing technique in water sensitive paper (WSP) samples, to determine droplet characteristics based on statistical methods in spraying experiments, to establish method strategies that will be the basis for the software infrastructure of analysis based on spraying. Spray experiments were done with a simulator of 80 l ha⁻¹ application volume and WSP was used as sampling surface. The trials were repeated 9 times and the spot analysis on WSP was done with image processing technique. Spray characteristics were calculated by developing a macro software based on descriptive statistical methods. Calculations were made by creating 20 diameter classes. The mean droplet diameter (D_{10} , D_{20} , D_{30} and D_{32}), volumetric distribution of droplets with diameters less than 100, 150, 200 and 250 μm (V_{100} , V_{150} , V_{200} and V_{250}), volumetric diameters ($D_{V0.10}$, $D_{V0.25}$, $D_{V0.50}$, $D_{V0.75}$ and $D_{V0.90}$), droplet spectrum span factor (RSF), drop uniformity coefficient (r) and drop uniformity ratio (H). According to the results of the research, it was observed that there was a great agreement between the repetition of the droplet diameters, the spread of the drop spectrum, the cumulative distribution curves and the factors that define the drop homogeneity. According to the results of the correlation analysis, a positive correlation was found between D_{32} and $D_{V0.50}$ diameters. The RSF value decreased as the droplet diameter increased. Correlation between r and H values was found statistically very important and it was determined that there was a negative relationship between them.

RESEARCH ARTICLE

Received: 12.03.2020

Accepted: 14.04.2020

Available online: 23.04.2020

Keywords :

- Droplet diameter,
- Drop analysis,
- Water sensitive paper,
- Sauter mean diameter,
- Volume diameter,
- Spray

To cite: Sayıncı B (2020). Determination of Spray Characteristics in Sprayer Nozzles Using Image Processing Method. Turkish Journal of Agricultural Engineering Research (TURKAGER), 1(1): 44-62.

GİRİŞ

Sıvı akışkanın hidrolik basınç etkisi altında damlalar halinde parçalanmasıyla pülverizasyon gerçekleşmektedir (Sayıncı *et al.*, 2019a). Damlaların pnömatik bir etkiyle veya yardımcı hava akımının etkisiyle daha küçük boyutlarda parçalanması olayına atomizasyon adı verilmektedir (Yeşildal *et al.*, 2013). Hidrolik basınç ünitesi veya basınçlı bir hava tankıyla püskürtmeyi gerçekleştiren sistemler tarımsal ve endüstriyel üretim başta olmak üzere gıda, iklimlendirme, otomotiv ve farmakoloji alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Püskürtme sistemlerinde üretilen damlacıkların pülverizasyon karakteristikleri nozul veya püskürtme memesi olarak adlandırılan püskürtücülerin tasarım özelliklerine ve seçilen işletme parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Bir püskürtme memesinin damla spektrumunu etkileyen en önemli tasarım özellikleri meme orifis geometrisi, orifis alanı, meme gövde yapısı ve püskürtme açısı için meme üzerinde çıkış orifisine ait şekilsel formlardır (Sayıncı, 2016a).

Konik hüzmeli akış için dairesel bir geometriye sahip bir meme plakası, yelpaze hüzmeli akışta elipsoidal geometriye sahip bir orifis ve saptırmalı tip memelerde

eğrisel formda bir çarpma yüzeyi bulunmaktadır (Sayıncı, 2016b). Sabit basınç koşullarında orifis alanı arttıkça meme debisi arttığından pülverizasyon karakteristiği değişmekte (Sayıncı *et al.*, 2019b) ve daha büyük çaplı damlacıklar üretilmektedir (Srivastava *et al.*, 1993). Meme gövdesinin girişine yerleştirilen ikincil bir meme plakası akışkanın gövdeye daha düşük bir basınçla girmesini sağladığından sürüklenme potansiyeli düşük kaba yapılı damlacıkların oluşması sağlanmaktadır (Sayıncı and Kara, 2015). Meme gövdesinin standart gövdeye göre daha uzun olması akışkanın kanal içinde havayla birlikte karışmasını ve içinde hava balonları bulunan damlacıkların oluşmasını sağlamaktadır (Sayıncı and Bastaban, 2011a). Günümüzde kullanım alanı oldukça geniş olan püskürtme memeleri ihtiyaca göre belirli hüzme açılarında püskürtme yapacak şekilde üretilmektedirler (Toprak, *et al.*, 2019). Dar hüzme açılı püskürtme memelerinin damlacık çapı, geniş hüzme açılı aynı tip memelere göre daha büyük olmaktadır (Srivastava *et al.*, 1993).

Pülverizasyonda damla spektrumuna etkili en önemli işletme parametresi püskürtme basıncıdır (Nuyttens *et al.*, 2007). Pülverizasyonda damlacık çapının püskürtme basıncının küp köküyle ters orantılı olarak değiştiği belirtilmektedir (Srivastava *et al.*, 1993). Püskürtme basıncı arttıkça daha ince yapılı damlalar üretilmektedir. Pnömatik esasa göre çalışan hava destekli pnömatik memelerde veya yardımcı hava akımıyla çalışan fan tertibatlı hidrolik memelerde damlacık çapı hava debisinden büyük ölçüde etkilenmekte ve büyük hava debilerinde çok ince yapılı damlacıklar oluşabilmektedir (Sayıncı and Bastaban, 2011b).

Püskürtme uygulamalarında damlanın transfer edildiği hedef bölgede en büyük temas yüzeyi alanının oluşması beklenmektedir. Temas yüzeyi alanının artması için akışkanın en küçük damlacıklarla oluşması gerekmektedir. Teknik açıdan değerlendirildiğinde çok ince yapılı bir pülverizasyon basınç artışıyla, akış debisinin azaltılmasıyla, püskürtme açısının büyütülmesiyle, meme orifis çapının küçülmesiyle, meme tipinin değiştirilmesiyle veya aynı özelliklere sahip birden fazla memenin kullanılmasıyla mümkün olabilmektedir (Bete®, 2019; PES, 2019).

Damlacık çapı ölçümünde kullanılan lazerli ölçüm sistemlerinde ışın demetinden geçen damlanın küresel çapı çevrimiçi ölçülebilmektedir (Tuck *et al.*, 1997; Nuyttens *et al.*, 2006; Miller *et al.*, 2008; Fritz *et al.*, 2014; Al Heidary *et al.*, 2014). Bu tür enstrümantal ölçümlerin yanı sıra sadece damlacık boyutu değil, aynı zamanda hedef yüzeyde birim alana ulaşan damla sayısını ve kaplama oranını belirlemek için çeşitli örnekleme yüzeyleri kullanılmaktadır. Bu amaçla en yaygın kullanılan örnekleme yüzeylerinden biri suya duyarlı kağıtlar (WSP) olup püskürtme performansını belirlemede oldukça yararlı ve önemli bir işlevi bulunmaktadır (Fox *et al.*, 2003; Cunha *et al.*, 2013; Nascimento *et al.*, 2013; Cerruto *et al.*, 2016; Józef-Lipiński and Lipiński, 2020). Yüzeyi ince bir film tabakası şeklinde bir pH belirteci (kimyasal indikatör) olan bromfenol mavisıyla (C₁₉H₁₀Br₄O₅S) kaplı olan WSP'lerin yüzeyi normal şartlarda sarı renklidir (Minaei *et al.*, 2018). Üzerine damla düştüğünde temas bölgesinde mavi renkte bir leke oluşmaktadır. Lekeler WSP yüzeyinde belirli bir yayılma oranıyla iz bıraktığından çeşitli görüntü işleme teknikleri kullanılarak boyut ve alan analizleri yapılmakta ve damla karakteristikleriyle ilgili ölçümler gerçekleştirilmektedir (Sayıncı *et al.*, 2012).

Kontrollü şartlarda WSP örnekleriyle yürütülen çalışmalarda damla örnekleme için doğrusal hareketli püskürtme sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Hassen and Sidik (2018) tarafından yürütülen araştırmada püskürtme testleri rüzgar

tünelinde doğrusal hareketli püskürtme sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Özlüoymak and Bolat (2020) yüzey kaplama oranı ve damla sıklığını belirlemek amacıyla geliştirdikleri yazılım için damla örneklerini hızı ayarlanabilir bantlı bir mekanizma kullanarak almışlardır. Benzer şekilde Ilıca and Boz (2018) tarafından geliştirilen meme-yükseklik kontrol sistemi için laboratuvar denemeleri bantlı bir götürücü kullanılarak yürütülmüştür. Song *et al.* (2019) araştırmalarında geliştirilen damlacık tutunması test ekipmanı için püskürtme uygulamaları doğrusal hareketli bir püskürtme sistemiyle gerçekleştirilmiştir. Nuyttens *et al.* (2006) damla karakteristiklerini ölçmek için otomatik-3 (XYZ) eksenli taşıyıcılı bir sistem kullanmışlardır. Womac *et al.* (2001) tarafından yapılan araştırma, arazi koşullarında yürütülmüş ve WSP örnekleri bu genişliği boyunca örnekleme direklerine yerleştirilerek farklı traktör hızlarında damla örnekleri alınmıştır. Wolf and Daggupati (2009) tarla koşullarında yürüttükleri denemelerinde damla örnekleri için özel olarak tasarlanmış 7.3 metre uzunluğunda bir püskürtme sisteminden faydalanmışlardır.

Püskürtmeye ait tek bir karakteristik çap değeri, pülverizasyonun yapısını ve damla spektrumunu yeterince açıklayamamaktadır. Bu nedenle pülverizasyon veya atomizasyon sonucu üretilen damlalar, farklı karakteristik çap değerleriyle tanımlanmaktadır. Nitekim hacimsel çapları benzer olan püskürtme uygulamalarının sayısal ya da yüzeysel çapları birbirlerinden farklı olabilmektedir. Bunun sonucu olarak hacimsel çapı benzer olan püskürtme uygulamaları birbirlerinden farklı damla spektrumuna sahip olabilmektedirler.

Bu çalışmanın amacı;

- Püskürtme uygulamalarında yapılan damla örnekleme çalışmalarına metodolojik açıdan standart bir yaklaşım getirmek,
- WSP örneklerinde görüntü işleme tekniğine dayalı olarak yapılan leke analizi için sistematik bir analiz prosedürü geliştirmek,
- Püskürtme denemelerinde damla karakteristiklerini istatistiksel yöntemlere dayalı olarak belirlemek,
- Püskürtmede görüntü işlemeye dayalı olarak yapılan analizlerin yazılım altyapısına temel teşkil edecek yöntem stratejileri ortaya koymaktır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Damla Örnekleme Yöntemi

Damla örnekleme için 26×76 mm ölçülerinde suya duyarlı kağıt (WSP, Novartis, Syngenta Crop Protection, Basel, CH) kullanılmıştır. WSP örnekleri 40 cm yüksekliğindeki metal direklere bir klips ile tutturulmuştur. Püskürtme uygulamalarının yapıldığı örnekleme alanında 10 adet direk kullanılmış ve 5×2 (sıra×sütun) matris düzeninde 120×50 cm (sıra üzeri×sütun arası) aralıklarla yerleştirilmiştir. Püskürtme uygulamalarının her biri için 10 adet WSP kullanılmıştır.

Püskürtme Simülatörü

Püskürtme uygulamalarında Sayıncı *et al.* (2019a, 2019b) tarafından geliştirilen 12 metre uzunluğunda otomatik hız kontrollü-doğrusal hareketli bir püskürtme simülatörü kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Püskürtme simülatörü
Figure 1. Spray simulator

Simülatörün hareket aksamında 8 adet 58 mm çaplı V-kesitli rulmanlı teker bulunmaktadır. Tekerler, ana profile monte edilmiş indüksiyonlu millerin (Ø20 mm) üzerinde hareket etmektedir. Simülatörün hareketi 1000 Watt'lık servo motorla (Delta ASDA-B2, Tayvan, TW) sağlanmıştır. Motor mili hareketini kayış-kasnak mekanizmasına (transmisyon oranı: 1/2.5) ileterek tahrik tekerine bağlı milin dönmesini sağlamaktadır. Tahrik tekerlekleri, endüstriyel tip kauçuk dolgulu olup ana profil üzerinde hareket etmektedir. Hareketli mekanizmanın ilerleme hızı servo motor sürücüsüne bağlı bir bilgisayardan kontrol edilmektedir. Simülatörde 2.2 metre uzunluğunda tek tarafa açılır - püskürtme kolu (bum) kullanılmıştır. Püskürtme uygulamalarında 5 adet meme kullanılmış ve bum kolu üzerinde 50 cm aralıklarla yerleştirilen membranlı tip meme gövdelerine monte edilmiştir. Püskürtme yüksekliği bum kolunun bağlantı yeri değiştirilerek ayarlanmaktadır. Püskürtme uygulamaları için 600 litrelik bir tarla pülverizatörü (TP600 Piton Taral®, TR) kullanılmıştır. Pülverizatör pompası (TAR30, piston-membranlı, çift pistonlu, 40 kg cm⁻² anma basıncı, 30 l dk⁻¹ anma debisi, %67 verim, Taral®, TR) redüktörlü elektrik motoruyla (MSD 90L2, 2780 rpm, Gamak, TR) 600 dk⁻¹ hızda çalıştırılmıştır.

Püskürtme uygulamaları

Damla örnekleme çalışmaları kapalı bir tesiste kontrollü şartlarda yürütülmüştür. Püskürtme denemelerinde girdap plaketsel konik hüzmeli meme plakaları (orifis çapı Ø1.0 mm, POM) kullanılmıştır. Uygulamalar 300 kPa işletme basıncında gerçekleştirilmiştir. Meme debisi 0.41 l dk⁻¹ olup uygulamalar 80 l ha⁻¹ hacimde yapılmıştır. Püskürtme yüksekliği 65 cm olarak ayarlanmıştır. Simülatörün ilerleme hızı eşitlik 1 kullanılarak belirlenmiştir. Püskürtme uygulamaları için denemeler 9 kez tekrarlanmıştır.

$$V = q / (0,006 \cdot B \cdot N) \quad (1)$$

V : ilerleme hızı (m s⁻¹)

q : meme debisi (l dk⁻¹)

B : iki meme arası mesafe (m)

N : uygulama hacmi (l ha⁻¹)

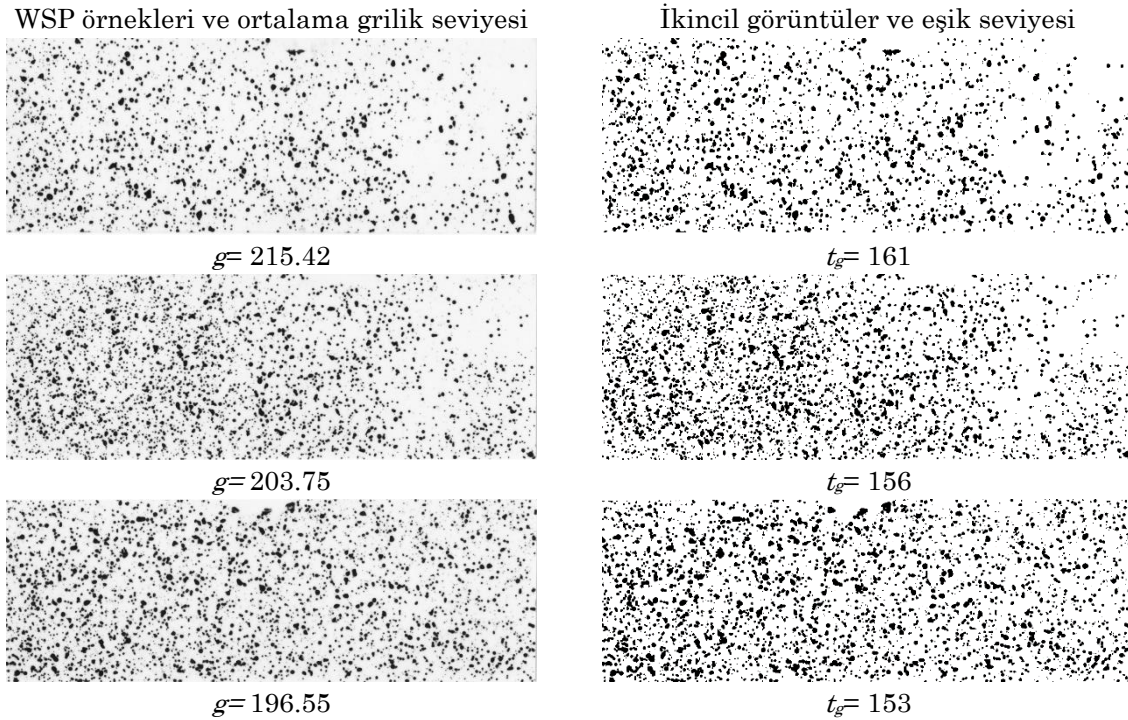
WSP Örneklerinin Taranması

Püskürtmeden sonra WSP'ler kontrollü laboratuvar koşullarında (15 °C sıcaklık ve %25 bağıl nem) 5-20 dakika aralığında kuruması için bekletilmiştir. Kuruyan WSP örnekleri konularına göre fotoğraf kılıflarına konularak sınıflandırılmıştır. WSP yüzeyindeki lekeleri görüntü işleme yöntemiyle analiz etmek için bir tarayıcıda (HP Scanjet 4850, USA) 600 dpi çözünürlükte taranmış ve 8 bit ($2^8=256$) derinliğinde gri tonlamalı (0-255 aralığında) resim dosyası (*.tif) olarak bilgisayara kaydedilmiştir.

Görüntü İşleme Operasyonu

Görüntü işlemede ImageJ 1.38x yazılımı (Wayne Rasband, National Institutes of Health, US) kullanılmıştır. Leke analizinden önce her bir WSP görüntüsünün ortalama grilik seviyesi (g) belirlenmiş ve eşitlik (2)'ye göre eşik seviyesi (t_g) hesaplanmıştır (Sanchez-Hermosilla and Medina, 2004). Eşik uygulamasından sonra ikincil (binary) görüntüler elde edilmiş (Şekil 2) ve yazılım aracılığıyla lekelerin yüzeyi kaplama oranı (%), eşdeğer çap (μm) ve şekil özellikleri (dairesellik) otomatik olarak hesaplanmıştır.

$$t_g = 0.38g + 78.75 \quad (R^2 = 0.91) \quad (2)$$



Şekil 2. Örnek WSP görüntüleri, ortalama grilik seviyeleri ve uygulanan eşik seviyesi
Figure 2. Sample WSP images, mean gray levels and threshold level

Kalibrasyon

Görüntü işleme yazılımında piksel birimiyle ölçülen değişkenleri metrik ölçü birimi cinsinden hesaplamak için leke boyut analizinden önce kalibrasyon yapılmıştır. Bu işlem yazılımın “set scale” modülü üzerinden gerçekleştirilmiştir. WSP örnekleri 600 dpi çözünürlükte tarandığından bir pikselin eşdeğer ölçüsü $42.3 \mu\text{m}$ ($[25.4/600] \times 1000$) olarak alınmış ve modül üzerinden veri girişi yapılmıştır.

Leke Eleme Prosedürü

Püskürtme uygulamalarında WSP örnekleri kullanılarak hedef yüzeyde damla sıklığı ve hacimsel birikim miktarını doğru tahminlemek için yüzey kaplama oranının %30'un altında olması gerektiği bildirilmiştir (Zhu *et al.*, 2011). Bu gerekçeyle yüzey kaplama oranı %30'dan fazla olan WSP örnekleri öncelikli olarak analiz dışı bırakılmıştır.

Damlalar atmosfer ortamından belirli bir hacimde hedefe transfer edilirken, yüzeye düşen damlalar görüntüleme sistemlerinde iki boyutlu olarak analiz edilmektedir. Bu durumda püskürtmeyle birlikte belirli bir hacimde WSP yüzeyine transfer olan damlacıklar üst üste bindirme yaparak ya da yan yana bitişik düzende iz bırakarak leke alanının büyümesine neden olmaktadır (Sayinci *et al.*, 2012). WSP yüzeyinde gerçek damlaya ait olmadığı varsayılan lekelerin elimine edilmesi gerekmektedir. Bu eliminasyonda lekelerin çoğunlukla şekil özellikleri belirleyici olabilmektedir (Sayinci *et al.*, 2012; Huang and Thompson, 2011). Bu çalışmada lekelerin eliminasyonu için Minov (2015) ve Sæbø and Wighus (2015) tarafından bildirilen dairesellik (R) eşitliği $R = [(4 \cdot \pi \cdot alan) / çevre^2]$ kullanılmış ve 0.8'den küçük olan lekeler analizden çıkarılmıştır. Herhangi bir objenin şekil analizi için R katsayısının 0-1 aralığında değiştiği ve tam dairesellik durumunda 1 olduğu belirtilmiştir.

Leke Yayılma Faktörü

WSP yüzeyine ulaşan damlalar temas ettiği bölgede belirli bir yayılma oranıyla koyu mavi görümlü bir leke bırakmaktadır. Bu çalışmada gerçek damla çapı (D_d , μm) ve leke çapı (D_s , μm) arasındaki ilişki üretici tarafından bildirilen tablo değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Üstel bir fonksiyonla açıklanan bu ilişki eşitlik 3'te verilmiş olup çeşitli araştırmacılar (Fox *et al.*, 2001; Hassen and Sidik, 2018) tarafından kullanılmıştır.

$$D_d = 1,033 \cdot D_s^{0,879} \quad (3)$$

Frekans Analizi

Örnek bir püskürtmeye ait damlaların pülverizasyon karakteristiklerini belirlemek için MS Excel programında yazılım geliştirilmiş ve tablolama esasına dayalı olarak frekans analizi yapılmıştır. Yazılımda damla çapı değerleri sınıflara ayrılmış ve her sınıf aralığına giren damlalar sayılarak frekanslar belirlenmiştir. Yazılımın temel yapısı Yıldız ve Bircan (1994) tarafından bildirilen istatistiksel esaslara göre oluşturulmuştur. Bu amaçla altta belirtilen adımlar takip edilmiş ve sınıf sayısı, sınıf aralığı, sınıf limitleri, nispi ve kümülatif olmak üzere sayısal ve hacimsel dağılımlar hesaplanmıştır.

- Frekans analizi için en düşük sınıf sayısı (SS) eşitlik (4)'de verilen Gauss eşitliğine göre belirlenebilmektedir. Damla sayısına (n) bağlı olarak sınıf sayısı, Srivastava *et al.* (1993) tarafından bildirilen çalışmaya göre 20 olarak seçilmiştir.

$$SS = 1 + 3.32 \cdot \log n \quad (4)$$

- Damla çapı değişim genişliği (DG), en büyük (D_{maks}) ve en küçük (D_{min}) damla çapı değerlerine göre eşitlik (5) kullanılarak belirlenmiştir.

$$DG = D_{maks} - D_{min} \quad (5)$$

- Her bir sınıfın çap limitlerine (alt limit) eklenen sınıf aralığını (SA) hesaplamak için eşitlik (6) kullanılmıştır.

$$SA = DG/SS \quad (6)$$

- Hesaplamalarda ölçü hassasiyeti değeri 1 olduğundan minimum çap (D_{min}) değerinden 1 çıkarılmış ve bu değer I. sınıfın alt limitini (AL) oluşturmuştur. Diğer alt limitlerin hesaplanmasında ise her sınıfın çap limitlerine sınıf aralığı (SA) eklenmiş ve sınıf sayısı (SS) kadar işleme devam edilmiştir.
- I. çap sınıfına giren üst limiti ($ÜL$) belirlemek için II. sınıf alt limit (AL) değerinden 1 çıkarılmış ve sınıf sayısı (SS) kadar işleme devam edilmiştir.
- Her bir çap sınıfında hesaplanan alt ve üst limit değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ilgili sınıfın ortalama çapı (D_{ort}) belirlenmiştir.
- Her bir sınıfta hesaplanan alt ve üst limit çap değerleri arasına giren damlaların frekansı (N , damla sayısı) belirlenmiştir.
- Her çap sınıfının nispi ve eklemeli sayısal dağılım oranı (%) için ilgili sınıfın damla frekansları (N) kullanılmıştır. Nispi ve eklemeli hacimsel dağılımı belirlemek için ($D^3 \cdot N$) eşitliğiyle hesaplanan değerler kullanılmıştır.

Pülverizasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi

a. Ortalama damla çaplarının hesaplanması ve damla homojenlik oranı

Ortalama damla çapları eşitlik 7 kullanılarak belirlenmiştir. Bu eşitliğe göre D_{10} (aritmetik ortalama çap, μm), D_{20} (yüzeysel ortalama çap, μm), D_{30} (hacimsel ortalama çap, μm) ve D_{32} (sauter çapı, μm) hesaplanmıştır (Srivastava *et al.*, 1993).

$$\bar{D}_{pq} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot D_i^p}{\sum_{i=1}^n N_i \cdot D_i^q} \right]^{1/(p-q)} \quad (7)$$

D_i : i nci sınıfta bulunan ortalama damla çapı, μm

N_i : i nci sınıfta bulunan damla sayısı, adet

i : damla çap değerine ait sınıf numarası

n : damla çaplarına ait toplam sınıf sayısı

p, q : 0, 1, 2, 3, $p > q$ (ortalama damla çaplarını ifade eden sayı değerleridir)

D_{10} - Aritmetik ortalama çap: Püskürtme örneğindeki tüm damlacık çaplarının aritmetik ortalamasıdır (Bete®, 2019; SNP, 2019). Aritmetik ortalama çap değerinin buharlaşmayla (evaporasyon) ilgili değerlendirmelerde kullanıldığı belirtilmektedir (Schick, 2008).

D_{20} - Yüzeysel ortalama çap: Püskürtme örneğindeki damla sayısı ile çarpıldığında tüm damlacıkların yüzey alanlarının toplamına eşit olan çap değeridir (PNR, 2019). Yüzeysel ortalama çap değerinin absorpsiyon alanında dikkate alındığı belirtilmiştir (Schick, 2008).

D_{30} - Hacimsel ortalama çap: Toplam damlacık sayısı ile çarpıldığında pülverizasyon sonucu üretilen damlaların toplam hacmine eşit olan damlacık çapı

olarak tanımlanmıştır (Bete®, 2019; PNR, 2019). Hidroloji alanında hacim kontrolünün gerekli olduğu uygulamalarda kullanıldığı belirtilmiştir (Schick, 2008).

D_{32} - Sauter ortalama çap: Pülverizasyonu en iyi karakterize eden ortalama çap olduğu belirtilmektedir. Ortalama çap için hacim/yüzeysel oranının püskürtmenin tamamında aynı olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle ısı ve kütle transferi alanında, buharlaşma süresinin tahmininde ve püskürtme etkinliğinin karşılaştırılmasında sauter ortalama çap değerinin referans alındığı belirtilmiştir (Annamalai and Ruri, 2006; Bete®, 2019; SNP, 2019).

H - Damla homojenlik (tekdüzelik) oranı: Damlaların homojenliğini yüzde (%) olarak ifade etmektedir. Bu oran (H , %) aritmetik, yüzeysel ve hacimsel ortalama çap değerlerine bağlı olarak eşitlik 8 kullanılarak hesaplanmaktadır. H değeri %100 olduğunda damla spektrumunda yer alan damlaların aynı çapta olduğu anlaşılmaktadır (Çilingir ve Dursun, 2010).

$$H = 100 \cdot \left(\sum_{i=1}^n N_i \cdot D_i^2 \right)^2 / \left[\left(\sum_{i=1}^n N_i \cdot D_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n N_i \cdot D_i^3 \right) \right] \quad (8)$$

b. Hacimsel ve sayısal ortanca (medyan) çapın hesaplanması ve damla homojenlik katsayısı

Frekans tablosu üzerinden belirlenen eklemeli sayısal dağılım ve eklemeli hacimsel dağılım verileri kullanılarak damla dağılımının %50'sine karşılık gelen sayısal ortanca (medyan) çap ($D_{N0.50}$) ve hacimsel ortanca (medyan) çap ($D_{V0.50}$) değerleri hesaplanmıştır (Srivastava *et al.*, 1993). Hesaplama interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Pülverizasyon yapısının homojenliği Eşitlik 9'da verilen damla homojenlik katsayısıyla (r) hesaplanmıştır (Cooper *et al.*, 1998).

$$r = D_{V0.50} / D_{N0.50} \quad (9)$$

r : homojenlik katsayısı (birimsiz)

$D_{V0.50}$: hacimsel ortanca çap, μm

$D_{N0.50}$: sayısal ortanca çap, μm

r - Damla homojenlik katsayısı: Homojenlik katsayısı daima 1'den büyüktür. r değerinin 1'e yaklaşması damla homojenliğinin iyileştiği anlamına gelmektedir. Bu katsayı $r < 1.4$ olduğunda damla çaplarının tekdüze olduğu kabul edilmektedir (Çilingir ve Dursun, 2010).

$D_{V0.50}$ - Hacimsel ortanca (medyan) çap: Püskürtmede uygulanan toplam sıvı hacmini ikiye ayıran ve kendisinden daha küçük olan damlaların hacmi ile daha büyük olan damlaların hacminin birbirine eşit olduğu çap değeridir. Diğer bir ifadeyle, $D_{V0.50}$ çapı toplam sıvı hacminin yarısının kendisinden daha küçük, diğer yarısının ise kendisinden daha büyük çaplara sahip damlacıklardan oluşmaktadır (Bete®, 2019; PES, 2019; Bari *et al.*, 2019). Sıvı pestisit uygulamalarında damlacık çapı $D_{V0.50}$ ile karakterize edilmektedir (ASABE Standard, 2009).

$D_{N0.50}$ - Sayısal ortanca (medyan) çap: Damlaları sayısal olarak iki eşit kısma ayıran çap değeri olup püskürtme verimliliğinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Bari *et al.*, 2019). $D_{N0.50}$ çapı, hacimsel ortanca çapa ($D_{V0.50}$) yaklaştıkça damlacık çapları daha homojen olmaktadır. $D_{N0.50}$ ve $D_{V0.50}$ çapları arasındaki fark büyüdükçe damlaların sürüklenme potansiyeli açısından değerlendirilmesi gerekmektedir.

c. Damla spektrumu yayılım faktörü

Damla spektrumunun yayılımı eşitlik 10'da verilen RSF ile hesaplanmıştır (Nuyttens *et al.*, 2007). $D_{V0.90}$ ve $D_{V0.10}$ çap değerleri, eklemeli hacimsel dağılımda sırasıyla %90 ve %10'a karşılık gelen çap değerlerini ifade etmektedir.

$$RSF = D_{V0.90} - D_{V0.10} / D_{V0.50} \quad (10)$$

RSF : damla spektrumu yayılım faktörü (birimsiz)

$D_{V0.10}$: hacimsel dağılımda %10'a karşılık gelen çap değeri, μm

$D_{V0.90}$: hacimsel dağılımda %90'a karşılık gelen çap değeri, μm

RSF - Damla spektrumu yayılım faktörü: Damla spektrumunun yayılımını ifade eden bir faktördür. Püskürtülen akışkan hacminde damlacık büyüklükleri arasındaki farklılık, damla spektrumunun dağılım genişliğini etkilemektedir. Bu faktörün büyük olması damla spektrumunun daha geniş olduğunu ve damlacık çaplarının daha büyük bir aralıkta değişkenlik gösterdiği anlamına gelmektedir. Bunun aksine yayılım faktörünün küçük olması damla spektrumunun daha dar bir aralıkta değiştiğini ve birbirine yakın çaplarda damlacıkların oluştuğu anlamına gelmektedir (PES, 2019; Bari *et al.*, 2019).

$D_{V0.10}$ - Hacimsel çap: Toplam damla hacminin %10'unun kendisinden küçük veya kendisine eşit olan hacimsel çap değeridir. Damlacıkların gaz akışı ile birlikte taşınabilirliğine karar vermede referans alınan çap değeri olduğu belirtilmektedir (Bete®, 2019). Ayrıca $D_{V0.10}$ çapı, toplam püskürtme hacminin %10'luk diliminde sürüklenme potansiyeli yüksek olan ince yapıli damlacıkların çapını göstermektedir (PES, 2019; Bari *et al.*, 2019).

$D_{V0.90}$ - Hacimsel çap: Toplam damla hacminin %90'ının kendisinden küçük veya kendisine eşit olan veya %10'u kendisinden büyük olan hacimsel çap değeridir. $D_{V0.90}$ çapının buharlaşma ve soğutma işlemlerinde kritik bir öneme sahip olduğu belirtilmektedir. Ayrıca $D_{V0.90}$ çapı yüksek olduğunda tüm yüzeyin yeterince kaplanması için gerekli damla sayısına ulaşamamaktadır. Tüm yüzeyde yeterince kaplama sağlayarak gereksinim duyulan minimum damlacık sayısı için uygulama hacminin artırılması gerekmektedir (Bete®, 2019; PES, 2019; Bari *et al.*, 2019).

d. Damla homojenliği için diğer kriterler

Püskürtme uygulamalarında damla spektrumunun homojenliği için sayısal ve hacimsel dağılımda damla çapı kategorilerine göre eklemeli (kümülatif) olarak oluşturulan eğrilerin birbirlerine göre uyumu ve yakınlığı dikkate alınmaktadır. Ayrıca hacimsel ortanca çap ($D_{V0.50}$) ile sauter ortalama çap (D_{32}) değerlerinin birbirine yakın olması damlacık çapları arasındaki benzerliğin bir göstergesi olabilmektedir (Yağcıoğlu, 1993, Zeren ve Bayat, 1995).

e. 100 μm , 150 μm , 200 μm ve 250 μm 'den küçük çaplı damlaların hacimsel oranı (%) Püskürtme uygulamalarının sürüklenme potansiyelini değerlendirmek için damlacık çapı 100, 150, 200 ve 250 μm 'den küçük çaplı damlaların toplam hacimdeki oranları belirleyici olabilmektedir. Bu nedenle frekans analizinde kategorize edilen damla çaplarının hacimsel kümülatif dağılımı çıkarılmış ve sürüklenmeye duyarlı damlalar yüzde (%) olarak belirlenmiştir.

Damla Çapı Kategorisinin Belirlenmesi

Damla çapı kategorisi ASABE S572.1 standardına göre sekiz kategoride sınıflandırılmıştır (ASABE Standard, 2009). Çap kategorileri renklerine göre sırasıyla mor, kırmızı, turuncu, sarı, mavi, yeşil, beyaz ve siyah olmak üzere standartlaştırılmıştır. Birçok araştırmacının pülverizasyon karakteristiğini tanımlamak için farklı referans aralıklarını kullandıkları saptanmış ve bunlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Damla çapı kategorileri (ASABE S572.1 standardına göre sınıflandırma) ve referans aralıklar

Table 1. Droplet size categories (classification according to ASABE S572.1 standard) and reference intervals

Pülverizasyon karakteristiği	$D_{v0.50}$ (μm) çap aralığı								Damla çapı renk kategorisi
	Hypro® (2018); Lechler® (2018)	Albuz® (2016)	Hipkins and Grisso (2014)	Hypropumps (2006)	Spandl (2010)	Wolf (2017)	Kruger <i>et al.</i> (2013); Arag® (2017)	Matthews <i>et al.</i> (2014)	
Aşırı ince (XF)*	60 <	-	60 <	-	50 <	-	~ 50	50 <	mor
Çok ince (VF)	61-105	159 <	60-145	100 <	51-145	150 <	136 <	51-100	kırmızı
İnce (F)	106-235	159-231	145-225	100-175	145-225	151-250	136-177	101-200	turuncu
Orta (M)	236-340	232-326	226-325	175-250	226-325	251-350	177-218	201-300	sarı
Kaba (C)	341-403	327-386	326-400	250-375	326-400	351-450	218-349	> 300	mavi
Çok kaba (VC)	404-502	387-484	401-500	375-450	401-500	451-550	349-428	-	yeşil
Aşırı kaba (XC)	503-665	485-553	501-650	> 450	501-660	> 551	428-622	-	beyaz
Çok aşırı kaba (UC)	> 665	> 553	> 650	-	> 661	-	> 622	-	siyah

*: XF: extremely fine; VF: very fine; F: fine; M: medium; C: coarse; VC: very coarse; XC: extremely coarse; UC: ultra coarse

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Püskürtme uygulamalarına ait WSP örneklerinin yüzey kaplama oranı Çizelge 2'de gösterilmiştir. Kaplama oranı %30'un üzerinde olan 5 adet WSP örneği çizelgede gösterilmiş ve bunlar analize dahil edilmemiştir. Leke analizi yapılan kartların yüzey kaplama oranı %11.07-%29.64 aralığında değişmiştir.

Çizelge 2. Yüzey kaplama oranı (%)**Table 2.** Spray coverage rate (%)

WSP no.	Tekrarlı (T) uygulamalara ait WSP örneklerinin yüzey kaplama oranı (%)								
	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T	8T	9T
1	22.54	23.66	21.78	27.62	23.47	29.52	28.14	11.07	27.99
2	28.80	19.58	21.45	13.57	23.96	24.77	13.01	24.53	26.75
3	28.91	24.38	19.12	25.87	26.06	20.10	30.58*	17.87	23.32
4	30.81*	17.80	22.86	31.72*	21.47	18.67	29.42	15.46	18.91
5	32.25*	17.41	27.51	26.81	21.76	26.18	23.01	27.58	20.75
6	27.01	17.47	22.21	23.93	24.06	24.12	22.35	29.48	27.31
7	19.64	20.57	24.18	29.64	25.33	25.03	27.95	18.88	16.13
8	21.07	19.65	25.77	23.50	25.30	26.74	15.20	22.83	28.54
9	25.45	22.77	25.21	19.48	22.26	19.41	21.52	20.89	26.88
10	27.03	19.68	22.44	24.83	20.74	26.83	20.92	22.22	30.78*
Ort. ±SS	26.35±4.17	20.30±2.54	23.25±2.44	24.70±5.18	23.44±1.82	24.14±3.61	23.21±5.93	21.08±5.54	24.74±4.74

*: Analize dahil edilmeyen WSP örnekleri

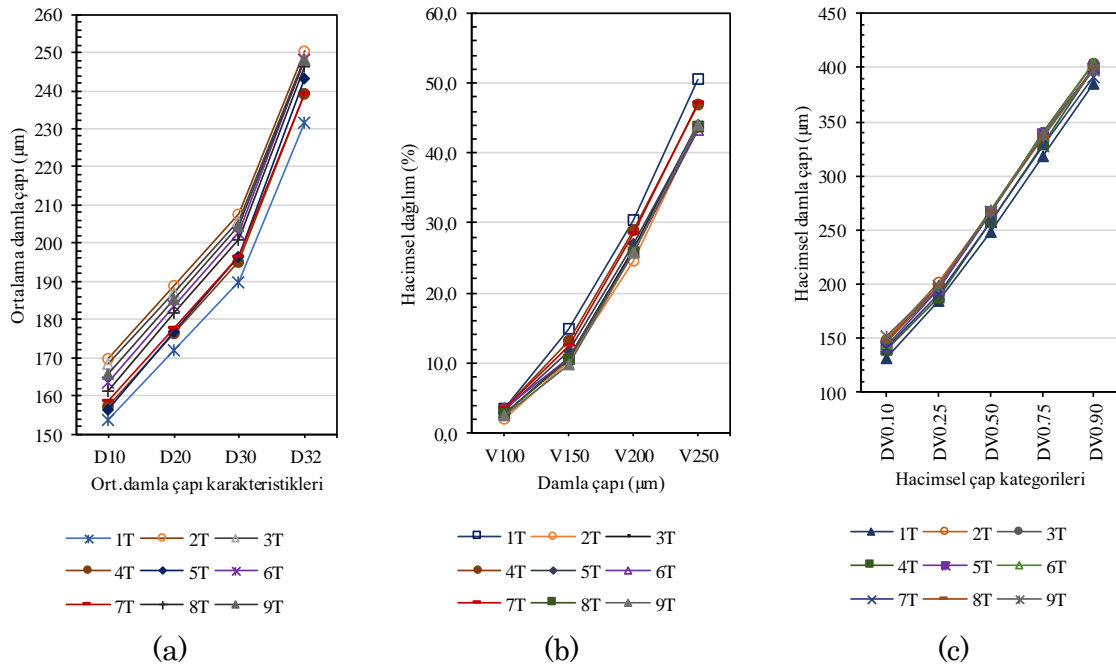
Örnekleme yüzeylerinde analiz edilen leke sayısı ve ölçülen minimum ve maksimum damlacık çapı değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Çalışmada analiz edilen damlaların çapı 38-662 µm aralığında değişmiş ve her tekrarlı denemede yaklaşık 20.000 adet lekenin analizi yapılmıştır.

Çizelge 3. Analiz edilen damlacıkların çap değişim aralığı (µm) ve leke sayısı**Table 3.** Diameter variation ranges of analyzed droplets and number of spots

Uygulamalar	D_{min} (µm)	D_{maks} (µm)	Leke sayısı (adet)*
1T	37.6	590.5	21 973
2T	37.6	587.3	19 067
3T	37.7	613.6	19 400
4T	37.7	635.7	18 818
5T	37.7	565.0	21 015
6T	37.7	662.0	19 388
7T	37.7	610.0	18 429
8T	37.7	572.0	19 147
9T	37.7	566.3	16 854
Toplam	-	-	174 091

*: tekrarlı çalışmaların her birinde 10 adet WSP yüzeyinde analiz edilen leke sayısı (eliminasyondan sonra)

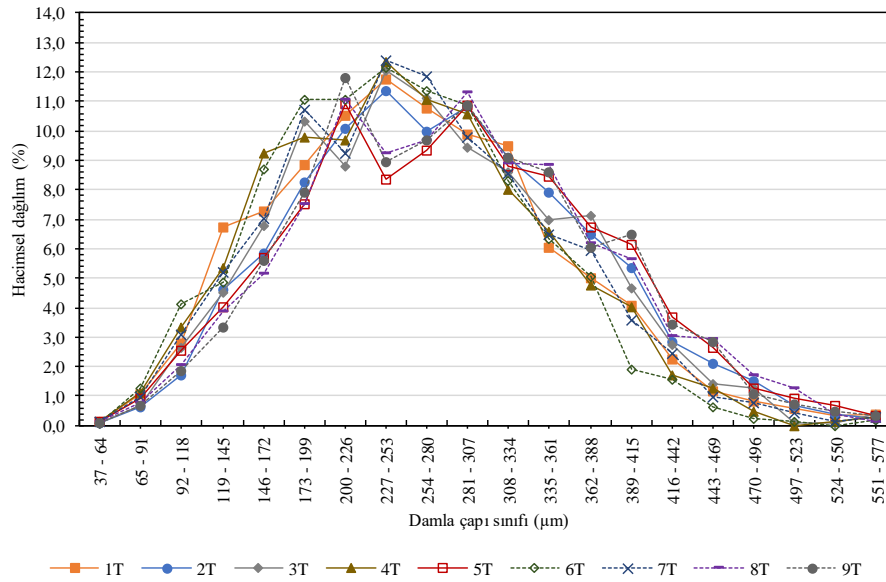
Ortalama damla çaplarının değişimi Şekil 2a'da gösterilmiş olup, küçükten büyüğe doğru D_{10} , D_{20} , D_{30} ve D_{32} olarak sıralanmıştır. Tekrarlı yürütülen denemelerde elde edilen çap değerleri birbirine yakın ve uyumlu bulunmuştur. Şekil 2b, sürüklenme riski yüksek olan damlaların hacimsel dağılım oranını göstermektedir. Tekrarlı denemelerin tümünde ince yapılı damlalar birbirine yakın oranlarda ölçülmüştür. Tekrarlı denemelerde hacimsel çap değerlerinin değişimi Şekil 3c'de gösterilmiştir. Buna göre damlaların hacimsel medyan çapı ($D_{V0.50}$) 249-267 µm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 3. Damla çapı karakteristikleri (a) Ortalama damla çapları (b) 100, 150, 200 ve 250 µm'den küçük çaplı damlaları hacimsel dağılımı (%) (c) Hacimsel çaplar ($D_{V0.10}$, $D_{V0.25}$, $D_{V0.50}$, $D_{V0.75}$, $D_{V0.90}$)

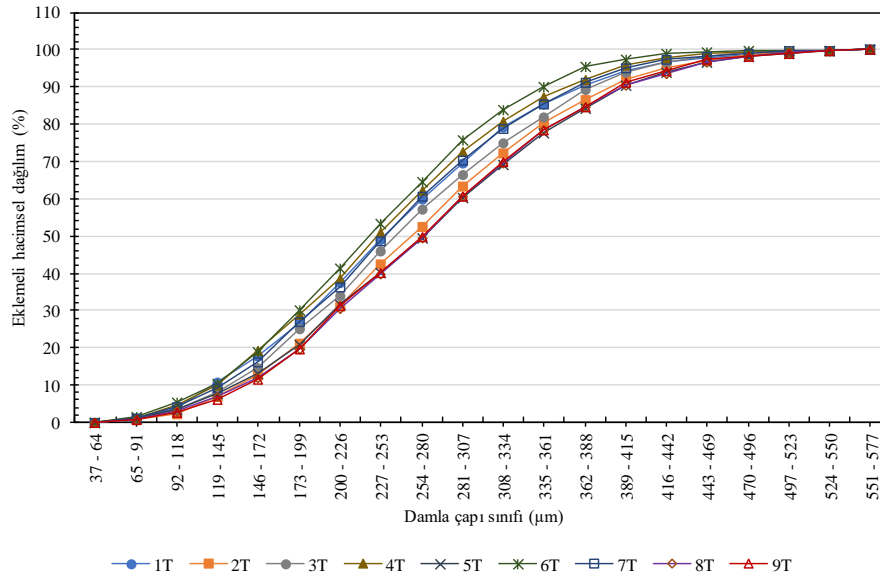
Figure 3. Droplet size characteristics (a) Mean droplet diameters (b) Volumetric distribution of droplets smaller than 100, 150, 200 and 250 µm in diameter (%) (c) Volume diameters ($D_{V0.10}$, $D_{V0.25}$, $D_{V0.50}$, $D_{V0.75}$, $D_{V0.90}$)

Şekil 4 ve Şekil 5’de gösterilen hacimsel dağılım eğrileri incelendiğinde tekrarlı denemeler arasında belirgin bir uyumun olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4. Damla çapı gruplarının hacimsel dağılımı (%)

Figure 4. Volumetric distribution of drop diameter groups (%)



Şekil 5. Damla çapı gruplarının eklemeli hacimsel dağılımı (%)

Figure 5. Cumulative volumetric distribution of drop diameter groups (%)

Damla homojenliği hakkındaki yaklaşımlar Çizelge 4'te verilmiştir. D_{32} çapı ile $D_{V0.50}$ çaplarının sayısal olarak birbirine yakın bulunmamıştır. RSF değerlerinin 1'e yakın olması damla spektrumunun normal dağıldığını göstermektedir. Damla homojenlik katsayısının (r) 1.4'ten daha büyük olması damla spektrumundaki damlaların homojen olmadığı anlamına gelmektedir. Ortalama %83.2 oranına sahip damla tekdüzeliği (H) incelendiğinde spektrumdaki damla boyut dağılımının homojen olmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4. D_{32} ve $D_{V0.50}$ çapları ve damla homojenliği değerleri

Table 4. D_{32} and $D_{V0.50}$ diameters and drop uniformity values

Tekrarlı denemeler	D_{32} (µm)	$D_{V0.50}$ (µm)	RSF	r	H (%)
1T	231.7	248.8	1.016	2.01	83.0
2T	250.5	267.5	0.951	1.91	84.2
3T	248.5	264.5	0.971	1.92	83.9
4T	239.4	257.8	1.009	2.05	82.6
5T	243.3	267.3	0.960	2.15	82.1
6T	248.3	267.6	0.961	2.10	82.8
7T	239.4	256.7	0.976	2.02	83.2
8T	246.4	267.2	0.940	2.05	83.1
9T	248.1	266.9	0.925	1.93	83.8
Ort.±SS	244.0±6.1	262.7±6.7	0.967±0.030	2.02±0.08	83.2±0.7

Çizelge 5'de gösterilen korelasyon analizi sonuçlarına göre D_{32} ile $D_{V0.50}$ çapları arasında pozitif yönlü bir ilişki saptanmıştır. Her iki çap değeri arttıkça RSF değeri azalma yönünde değişim göstermiştir. r ve H değerleri arasındaki korelasyon istatistiksel açıdan çok önemli bulunmuş ve aralarında negatif yönlü bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5. Bazı damla çapı ve damla tekdüzeliğini tanımlayan değişkenler arasındaki ilişki (Pearson korelasyon katsayısı ve önem testi sonuçları)

Table 5. Correlation between some droplet size characteristics and variables defining drop uniformity (Pearson correlation coefficient and significant test results)

	<i>D_{V0.50}</i>	<i>RSF</i>	<i>r</i>	<i>H</i>
<i>D₃₂</i>	0.932 (0.000)**	-0.813 (0.008)**	-0.302 (0.429) ^{ns}	0.491 (0.180) ^{ns}
<i>D_{V0.50}</i>		-0.854 (0.003)**	0.007 (0.986) ^{ns}	0.188 (0.628) ^{ns}
<i>RSF</i>			0.189 (0.627) ^{ns}	-0.370 (0.317) ^{ns}
<i>r</i>				-0.957 (0.000)**

** : çok önemli; ^{ns} : önemsiz

Püskürtme denemeleri 80 l ha⁻¹ uygulama hacminde gerçekleştirildiğinde bazı WSP örneklerinde yüzey kaplama oranı %30 sınırının üzerinde çıkmıştır. Bu limit değeri aşıldığında damla boyut verilerinin potansiyel olarak hatalı olabileceği belirtildiğinden (Zhu *et al.*, 2011) yüzey kaplama oranı yüksek olan WSP görüntüleri analize dahil edilmemiştir.

WSP yüzeylerinde 50 µm'den daha küçük çaplı damlaların analiz edilemediği bildirilmiştir (Coates, 1996). Ancak bu durumun görüntü işleme sürecinde görüntüleme tekniği ve kullanılan yazılıma bağlı olarak değişebileceği tahmin edilmektedir. Nitekim bu çalışmada en küçük 38 µm çapındaki damlalar analiz edilmiştir. ISO 5682-1 (ISO 5682-1 Standard, 1996) standardına göre damla örnekleme çalışmalarında göre en az 2000 adet damlanın analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada manidar sayıda damlanın analiz edilmesi sağlanmıştır.

Tekrarlı denemelerde ortalamaya ait standart sapmanın düşük olması kontrol edilemeyen faktörlerin deneme verilerine olan etkisinin düşük olduğu anlamına gelmektedir. Analiz ve ölçme yönteminden kaynaklanan standart kabullerin belirsizliği çoğu zaman hata varyasyonunun artmasına neden olmaktadır. Ortalama damla çapları ve ince yapılı damlaların hacimsel dağılımları incelendiğinde tekrarlı denemeler arasında büyük bir uyumun olduğu dikkat çekmektedir. Toplam hacimde 100 µm'den küçük çaplı damlaların hacimsel oranı %2.0-%3.5 aralığındadır. Püskürtülen toplam hacimde damlacıkların bir kısmının hedefe ulaşmadan buharlaştığı veya WSP yüzeyindeki bazı küçük çaplı damlaların görüntü işleme tekniğinden dolayı ölçülemediği tahmin edilmektedir.

Pülverizatör memelerinde damla çapı kategorisi için hacimsel medyan çapı referans alınmaktadır (ASABE Standard, 2009). ASABE standardı ve pülverizasyon kategorisiyle ilgili literatür incelemesine göre bu çalışmada kullanılan meme tipiyle 300 kPa işletme basıncında orta yapılı damlaların üretildiği belirlenmiştir (Spandl, 2010; Hipkins and Grisso, 2014; Matthews *et al.*, 2014; Albuz[®], 2016; Wolf, 2017; Hypro[®], 2018; Lechler[®], 2018).

Damla spektrumunda *RSF* değerinin 1'den büyük olması damla boyut dağılımının normalden daha basık oluştuğunu göstermektedir. Dağılım her iki uca yayılarak genişlemiştir. *RSF* değerinin 1'den küçük olması dağılımın normale göre daha sivri oluştuğu ve damla boyutunun homojen bir yapıda olduğu anlamına gelmektedir.

Damla karakteristikleri arasındaki korelasyonların varlığı damla spektrumunu oluşturan pülverizasyon yapısının daha kolay anlaşılmasını sağlamaktadır.

SONUÇ

Bu araştırmada yapılan püskürtme denemeleri detaylı bir şekilde açıklanmış, leke analizi için takip edilen görüntü işleme basamakları belirtilmiş ve istatistiksel yöntemlere dayalı olarak pülverizasyon karakteristikleri hesaplanmıştır. Bu kapsamda damla örnekleme için yapılan denemelerin tümü kontrollü şartlarda yürütülmüştür. Görüntü işleme operasyonları sistematik bir sıralamayla yapılmış ve analizler operatör kararından bağımsız şekilde standart bir yaklaşımla sürdürülmüştür. Pülverizasyon karakteristikleri istatistik esaslara dayanılarak yapılmıştır. Araştırmada kullanılan yöntemlerin içerikleri detaylı şekilde verilerek yazılım altyapısı için gerekli detaylar ayrıntılı olarak verilmiştir. Araştırmadan elde edilen verilere göre tekrarlı çalışmalar arasında tutarlı sonuçlar elde edilmiş ve bazı değişkenler arasında önemli korelasyonlar bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda araştırmanın kapsamının genişletilmesi, ince, orta ve kaba yapıli damlalar içeren örnekleme çalışmalarının yapılması ve leke eliminasyon yöntemleriyle ilgili farklı yaklaşımların incelenmesi gerektiği kanaatine varılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar olarak makalenin planlanması, yürütülmesi ve yazılması konusunda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

YAZAR KATKISI

Yazar olarak makalenin planlanması, yürütülmesi ve yazımı tarafımca yapılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında yürütülmüştür.

KAYNAKLAR

- Al Heidary M, Douzals JP, Sinfort C and Vallet A (2014). Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. *Crop Protection*, 63: 120-130. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.006>.
- Albuz® (2016). Spray nozzles, *Albuz Catalogue* 2016. <http://albuz-spray.com> (01 April 2018).
- Annamalai K and Puri IK (2006). Combustion science and engineering. *CRC Press*, ISBN 9780849320712, p. 1184.
- ASABE Standard (2009). Spray nozzle classification by droplet spectra. *ANSI/ASAE S572.1*, MAR2009, p. 3.
- Arag® (2017). Nozzle holder, caps and nozzle tips catalogue (Revision). <http://www.aragnet.com> (01 December 2017).
- Bari F, Ahmad MM, Sherwani A and Wani AA (2019). Determining the influence of nozzle on droplet spectrum and pesticide deposition in cabbage against *Pieris brassicae* (Linn.). *J. Entomol. Zool. Stud.*, 7 (1): 270-277.

- Bete® (2019). Droplet size. *BETE Deutschland GmbH*, <https://www.bete-nozzles.com/services/nozzle-basics/droplet-size.html> (10 December 2019)
- Cerruto E, Failla S, Lomgo D and Manetto G (2016). Simulation of water sensitive papers for spray analysis. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 18 (4): 22-29.
- Çilingir İ ve Dursun E (2010). Bitki koruma makinaları. *Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi*, Publication Number: 151, ISBN: 978975-482-867-2, Ankara-Türkiye, s. 248.
- Coates W (1996). Spraying technologies for cotton: Deposition and Efficacy. *Applied Engineering in Agriculture*, 12 (3): 287-296.
- Cooper JF, Jones KA and Moawad G (1998). Low volume spraying on cotton: a comparison between spray distribution using charged and uncharged droplets applied by two spinning disc sprayers. *Crop Protection*, 17 (9): 711-715.
- Cunha JPAR, Farnese AC and Olivet JJ (2013). Computer programs for analysis of droplets sprayed on water sensitive papers. *Planta Daninha*, 31 (3): 715-720. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582013000300023>.
- Fox RD, Derksen RC, Cooper JA, Krause CR and Ozkan HE (2003). Visual and image system measurement of spray deposits using water-sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture*, 19 (5): 549-552. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.15315>.
- Fox RD, Salyani M, Cooper JA and Brazee RD (2001). Spot size comparisons on oil-and water-sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture*, 17 (2): 131-136. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.5454>.
- Fritz BK, Hoffmann WC, Bagley WE, Kruger GR, Czaczuk Z and Henry RS (2014). Measuring droplet size of agricultural spray nozzles-measurement distance and airspeed effects. *Atomization Spray*, 24 (9): 747-760. <http://dx.doi.org/10.1615/AtomizSpr.2014008424>.
- Hassen NS and Sidik NAC (2018). Wind tunnel measurements on the effect of sprayer speed on the droplet size spectra. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 43 (1): 104-111.
- Hipkins P and Grisso RB (2014). Droplet chart / selection guide. Virginia Cooperative Extension, *Virginia State University*, Publication, 442-031.
- Hoffmann WC and Hewitt AJ (2005). Technical note: Comparison of three imaging systems for water-sensitive papers. *Applied Engineering in Agriculture*, 21 (6): 961-964. <https://doi.org/10.13031/2013.20026>.
- Huang Y and Thompson SJ (2011). Characterization of spray deposition and drift from a low drift nozzle for aerial application at different application altitudes. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 4 (4): 28-33.
- Hypro® (2018). Hypro nozzle catalogue. <http://www.hypro-eu.com> (01 April 2018).
- Hypropumps (2006). Spray tip catalog. <http://www.hypropumps.com> (01 December 2017).
- Ilica A and Boz AF (2018). Design of a nozzle-height control system using a permanent magnet tubular linear synchronous motor. *Journal of Agricultural Sciences*, 24: 374-385. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.456662>.
- ISO 5682-1 Standard (1996). Equipment for crop protection - Spraying equipment - Part 1: Test methods for sprayer nozzles. In *International Organization for Standardization; ISO: Geneva, Switzerland, 1996. 17 p.*
- Kruger GR, Klein RN and Ogg CL (2013). Spray drift of pesticides. *Nebreska Extension*. <http://extensionpublications.unl.edu/assets/html/g1773/build/g1773.htm>. (01 December 2017).
- Lechler® (2018). Agricultural spray nozzles, 2018 US Catalog. <http://www.lechler.de> (01 April 2018).
- Lipiński AJ and Lipiński S (2020). Binarizing water sensitive papers - how to assess the coverage area properly? *Crop Protection*, 127: 104949. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104949>.
- Matthews G, Bateman R and Miller P (2014). Pesticide Application Methods, 4th ed.; *John Wiley & Sons: New York, NY, USA*, p. 536.
- Miller PCH, Tuck CR, Murphy S and da Costa Ferreira M (2008). Measurements of the droplet velocities in sprays produced by different designs of agricultural spray nozzle. *ILASS*, Sep. 8-10, 2008, Como Lake, Italy, *Paper ID ILASS08-00*, p. 8.
- Minaei S, Jafari M and Safaie N (2018). Design and development of a rose plant disease-detection and site-specific spraying system based on a combination of infrared and visible images. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20: 23-36.
- Minov SV (2015). *Integration of imaging techniques for the quantitative characterization of pesticide sprays*. PhD Thesis. Ghent University, Belgium & University of Burgundy, France, p. 247.

- Nascimento AB, de Oliveira GM, Fonseca ICD, Saab OJGA and Canteri MG (2013). Determination of the samples required of water-sensitive paper in experiments related spray technology. *Semina: Ciências Agrárias*, 34 (6): 2687-2696.
- Nuyttens D, Baetens K, De Schampheleire M and Sonck B (2007). Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. *Biosystems Engineering*, 97: 333-345.
- Nuyttens D, Baetens K, De Schampheleire M and Sonck B (2006). PDPA laser based characterisation of agricultural sprays. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript PM 06 024. Vol. VIII. December, 2006.*
- Özluoymak ÖB and Bolat A (2020). Development and assessment of a novel imaging software for optimizing the spray parameters on water-sensitive papers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168: 105104. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105104>.
- PES (2019). Understanding droplet size. <https://pesticidestewardship.org/pesticide-drift/understanding-droplet-size/> (01 December 2019)
- PNR (2019). Spray technology. <http://www.pnr.eu/wp-content/uploads/2017/05/Spray-Technology.pdf> (01 December 2019)
- Sæbø O and Wighus R (2009). Droplet sizes from deluge nozzles. *SP Fire Research AS, SPFR Report A15 107453: 1*, p. 38.
- Sanchez-Hermosilla J and Medina R (2004). Adaptive threshold for droplet spot analysis using water-sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture*, 20 (2): 547-551.
- Sayinci B (2016a). Poliasetal (POM) meme plakalarının orifis geometrisinde üretim kusurlarının eliptik fourier tanımlayıcılarıyla tespiti. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30 (1): 57-73.
- Sayinci B (2016b). Detection of shape manufacturing defects of flat fan-pattern nozzle orifices using elliptic fourier descriptors. *Tarım Bilim Dergisi - Journal of Agricultural Science*, 22 (3): 317-330. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001390.
- Sayinci B and Bastaban S (2011a). *Patates ilaçlamasında farklı tip püskürtme memelerinin damla taşınma etkinlikleri*. Iğdır University, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1 (1): 81-90.
- Sayinci B and Bastaban S (2011b). Spray distribution uniformity of different types of nozzles and its spray deposition in potato plant. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (2): 352-362. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.480>.
- Sayinci B, Bastaban S and Sánchez-Hermosilla J (2012). Determination of optimal spot roundness variation interval for droplet size analysis on water sensitive papers. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14 (2): 285-298.
- Sayinci B, Çömlek R, Demir B and Çomaklı M (2019b). Effect of swirl plates on volumetric discharge rate and spray characteristics of hollow cone nozzles. *Alinteri Journal of Agricultural Sciences*, 34 (2): 103-110. <https://doi.org/10.28955/alinterizbd.664729>.
- Sayinci B, Demir B and Açık N (2019a). Pülverizatör memelerinde damla sıklığı ve pülverizasyon karakteristiklerinin tahminlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29 (3): 458-465. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.573698>.
- Sayinci B and Kara M (2015). The effects of strainer types on flow characteristics of anti-drift (AD) and multi-range (LU) flat-fan nozzles. *Journal of Agricultural Sciences*, 21 (4): 558-571. <https://doi.org/10.15832/tbd.29680>.
- Schick RJ (2008). Spray technology reference guide: Understanding drop size. Bulletin No. 459C, *Spraying System Co.*, US, p. 36. https://www.spray.com/literature_pdfs/B459C_Understanding_Drop_Size.pdf (01 December 2019)
- SNP (2019). Measuring droplet size. <https://www.spray-nozzle.co.uk/resources/engineering-resources/droplet-size-measurements> (01 December 2019)
- Song L, Liu X, Liu X and Zhang H (2019). *Simulation and experimental study of static porosity droplets deposition test ring*. International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation, IWAMA 2019, Advanced Manufacturing and Automation IX: 89-97. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2341-0_12.
- Spandl (2010). Comparing drift reduction technology. *Winfield Solutions, Shoreview, Minnesota*. <https://www.extension.umn.edu/agriculture/agpro-fessionals/cpm/2010>.
- Srivastava AK, Goering CE and Rohrbach RG (1993). Engineering Principles of Agricultural Machines. *ASAE Textbook Number 6*, ISBN 0-929355-33-4, p. 601.
- Toprak N, Sayinci B, Demir B, Köylü F and Çetin N (2019). *Determination of spray angle in sprayer nozzles using computer vision technique*. 2nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology (CISSET), 10-12 October 2019, Mersin-Turkey, pp. 25-29.

- Tuck CR, Ellis MCB and Miller PCH (1997). Techniques for measurement of droplet size and velocity distributions in agricultural sprays. *Crop Protection*, 16 (7): 619-628. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(97\)00053-7](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(97)00053-7).
- Wolf (2017). Educating applicators about droplet size. *Wolf Consulting & Research LLC*, <https://tpsalliance.org/pdf/topics/Wolf-2-TPSA-2012.pdf> (01 December 2017).
- Wolf RE and Daggupati NP (2009). Nozzle type effect on soybean canopy penetration. *Applied Engineering in Agriculture*, 25 (1): 23-30. <https://doi.org/10.13031/2013.25426>.
- Womac AR, Etheridge R, Seibert A, Hogan D and Ray S (2001). Sprayer speed and venturi-nozzle effects on broadcast application uniformity. *Transactions of the ASAE*, 44 (6): 1437-1444.
- Yağcıoğlu A (1993). Bitki Koruma Makinaları. *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi*, Yayın No: 508, Bornova, İzmir-Turkey, s. 338.
- Yeşildal F, Yakut K, Karabey A and Kabakuş A (2013). Hava destekli nozulda sprey karakteristiklerinin belirlenmesi. ULIBTK'13 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 9-12 Eylül, Samsun.
- Yıldız N and Bircan H (1994). Araştırma ve Deneme Metotları (II. Baskı). *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi*, Yayın No: 305, Erzurum-Turkey, s. 260.
- Zeren Y and Bayat A (1995). Tarımsal Savaş Mekanizasyonu. *Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi*, Yayın No: 108, Adana-Türkiye, s. 351.
- Zhu H, Salyani M, and Fox RD (2011). A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76: 38-43.