

Araştırma Makalesi/Research Article (Original Paper)

Konik Hüzmeli Poliasetal (POM) Pülverizatör Memelerinde Damla Kinematığı

Bahadır SAYINCI^{1*}, Ruçhan ÇÖMLEK², Mustafa ÇOMAKLI²

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

²Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, 25240 Erzurum, Türkiye

*sorumlu yazar e-posta: bsayinci@mersin.edu.tr; Tel.: +90 324 361 00 01; Fax: +90 324 361 00 08

Öz: Bu çalışmanın amacı, konik hüzmeli meme plakalarında orifis çapı, girdap plaketi ve püskürtme basıncı değişkenlerinin damla kinematığını tanımlayan pülverizasyon karakteristiklerine olan etkisini belirlemektir. Denemelerde poliasetal malzemeden üretilmiş 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm ve 2.4 mm orifis çaplı meme plakaları ile mavi (2-slot), kahverengi (3-slot), sarı (2-slot) ve paslanmaz çelik (2-slot) girdap plakeleri kullanılmıştır. Tüm uygulamalar 2-12 bar püskürtme basıncı aralığında yapılmıştır. Meme plakası ve girdap plaketi kombinasyonlarda damla hızı 3.63-22.13 m/s aralığında değişmiş ve püskürtme basıncı arttıkça damla hızının da arttığı belirlenmiştir. Püskürtme basıncındaki artış damlanın kinetik enerjisini değiştirmemiştir. Ancak meme orifis çapı arttıkça damlanın sahip olduğu kinetik enerji azalmıştır. Püskürtme basıncı arttıkça damlanın terminal hızı azalırken, orifis çapındaki artış terminal hızın artmasını sağlamıştır. Püskürtme basıncı 2 bar olduğunda damlanın orifisten itibaren havada serbest kaldığı mesafe artmıştır. Meme orifis gruplarında püskürtme basıncı 2 bar olduğunda ortalama sürüklenme %8.5-%13.5 aralığında değişirken, 12 bar basınçta artarak ortalamar %15.3-%19.9 aralığında değişmiştir. Konik hüzmeli memelerde damla kinematığını tanımlayan değişkenler arasında korelasyon analizi yapılmış ve istatistiksel açıdan önemli bulunan değişkenler arasındaki ilişkiler eşitliklerle gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Damla hızı, Damla kinetik enerjisi, Püskürtme, Sürüklenme potansiyeli, Terminal hız

Droplet Kinematic in Hollow Cone Polyacetal (POM) Sprayer Nozzles

Abstract: This study is aimed to determine the effect of orifice diameter, swirl plate and spray pressure variables on the spray characteristics which define the droplet kinematics of hollow cone nozzle plates. In the trials, the nozzle plates with 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm and 2.4 mm orifice diameter made of polyacetal material and blue (2-slot), brown (3-slot), yellow (2-slot) and stainless steel (2-slot) swirl plates were used. All applications were made in the spray pressure range of 2-12 bar. In the combinations with the nozzle plate and the swirl plate, the droplet velocity varied in the range of 3.63-22.13 m/s and the droplet velocity increased as the spray pressure increased. The increase in spray pressure had no any effect on variation of the kinetic energy of the drop. However, as the diameter of the nozzle orifice increased, the kinetic energy of the droplet decreased. As the spray pressure increased, the terminal velocity of the droplet decreased. But, increasing the orifice diameter of nozzle plates resulted in an increase in terminal velocity of drop. When the spray pressure is 2 bar, the distance from which the droplet is released in the air from the orifice has increased. The average drift in the nozzle orifice groups ranged from 8.5% to 13.5% when the pressure was 2 bar, while the average increase in the pressure of 12 bar ranged from 15.3% to 19.9%. Correlation analysis was performed between the variables that define the droplet kinematic in hollow cone nozzles and the relations between the statistically significant variables were shown with equations.

Keywords: Droplet velocity, Droplet kinetic energy, Spraying, Drift potential, Terminal velocity

Giriş

Pülverizasyonda damlanın oluşumu üzerinde yerçekimi ve hava direnci olmak üzere iki önemli etki bulunmaktadır. Bu etkiler damlanın havadaki hareketini ve hızını önemli ölçüde azaltmaktadır. Damlanın ilk hızı hava direnciyle birlikte azalarak parçalanmasına neden olurken yerçekimi etkisiyle düşmeye başlamaktadır. Pülverizasyon sırasında basınç, kinetik veya pnömatik etki ile orifisi terk eden sıvı şeridi, kazandığı enerjiyle parçalanmakta ve sonuçta damla oluşumu gerçekleşmektedir. Bu esnada oluşan damlaların hızı 10 m/s'ye ulaşabilmektedir (Almekinders ve ark. 1993). Sıvının yüzey gerilimi, viskozitesi ve atalet direncine bağlı fiziksel özellikleri damla oluşumu ve damla boyutunda etkili olduğundan sıvı şeridinin kazandığı enerjinin büyüklüğü hidrolik memelerde işletme basıncına, döner diskli memelerde disk hızına ve pnömatik memelerde hava hacmine bağlı olmaktadır (Srivastava ve ark. 1993).

Pülverizatörlerde yaygın olarak kullanılan meme tiplerinden biri konik hüzmeli olup, içi boş hüzmeli desen oluşturmakta ve bir girdap plaketiyle birlikte kullanılmaktadır. Bu tip pülverizatör memeleri ince yapılı damlalar oluşturduğundan damlaların kaplama oranı yüksektir. Yaygın olarak insektisit ve fungusit uygulamalarında tercih edilen bu tip pülverizatör memeleri yüzeysel uygulamalardan daha çok şeritsel uygulamalarda kullanılması tavsiye edilmektedir. Yapısal olarak disk şeklinde meme plakası ve girdap plaketiyle oluşan bu tip memelerde sıvı meme plakasına girmeden önce bir girdap plaketi veya yivli bir gövdeden geçerek dönü hareketi kazanmakta ve orifisten çıkan ince sıvı şeridi, aksel ve teğetsel hız bileşenlerinin etkisiyle içi boş konik hüzmeli şekline almaktadır (Dursun ve ark. 2000). Günümüzde yerli üretimde Cr-Ni alaşımlı paslanmaz çelikten ve poliasetal (POM) malzemeden üretilen memelerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Konik hüzmeli memelerde optimum püskürtme basıncı aralığı Arag[®] (2004) tarafından 3-6 bar olarak bildirilmiştir. Seramikten üretilen memeler çoğunlukla bahçe uygulamalarında kullanılan pülverizatörlerde tercih edilmekte ve optimum püskürtme basıncının 0.7-20.0 bar aralığında (Albuz[®] 2009; Teejet[®] 2014) değiştiği belirtilmektedir.

Konik hüzmeli memelerin ucuz ve kolay tedarik edilmeleri, ince yapılı damlalar üretmesi, yüzey kaplama oranının yüksek olması, montajı için özel bir donanımı gerektirmemesi ve şeritsel uygulama tekniğine elverişli olması kullanıcıların tercih unsurlarını oluşturmaktadır. Gerek yüzeysel gerekse şeritsel uygulamalarda geniş kullanım alanına sahip olan konik hüzmeli memelerin işletme özelliklerinin bilinmesi pülverizatörün kalibrasyonu açısından önem taşımaktadır. Bu araştırmanın amacı konik hüzmeli memelerde orifis çapı, girdap plaketi ve püskürtme basıncının damla hızına, damla kinetik enerjisine, damlanın terminal hızına, damlanın havada serbest kalma mesafesine ve sürüklenme potansiyeline olan etkilerini ortaya koymak ve damla kinematiğiyle ilgili başvuru kaynağı niteliğinde veri seti oluşturmaktır.

Materyal ve Yöntem

Denemelerde poliasetal (POM) malzemeden üretilmiş beş farklı orifis çapında (Ø1.0 mm, Ø1.2 mm, Ø1.6 mm, Ø2.0 mm ve Ø2.4 mm) konik hüzmeli meme plakaları kullanılmıştır. Her bir meme plakasında renk, slot sayısı veya malzeme özellikleri farklı 4 çeşit girdap plaketi (mavi, 2-slot, POM; kahverengi, 3-slot, POM; sarı, 2-slot, POM; paslanmaz çelik, 2-slot) kullanılmıştır. Pülverizatör memeleri için süzgeçler, akış karakteristiğini değiştirdiğinden (Sayıncı ve Kara 2015; Sayıncı 2014; Sayıncı 2015; Sayıncı 2016) hacimsel debi ölçümleri süzgeç kullanılmadan yapılmıştır.

Konik hüzmeli memelerde püskürtme uygulamaları için 200 litre depo (polietilen, PE) kapasiteli konvansiyonel bir pülverizatör (TP 200 Piton, Taral[®], İstanbul, TR) kullanılmıştır (Şekil 1a). Denemeler için yerden yüksekliği 160 cm olan bir bum kolu imal edilmiş ve basınç hattına 50 cm aralıklarla 5 adet meme gövdesi monte edilmiştir. Pülverizatör işletme basıncı ile meme püskürtme basıncı arasında farklılık olabileceğinden (Sayıncı ve Kara 2015) akışkanın basıncı memeye yakın bir noktaya monte edilen dijital bir manometreden (Ref D2, %0.1, 0-400 bar, SİKA GmbH & Co. KG) kontrol edilmiştir. İşletme basıncı kademesiz ayarlanabilir tip basınç regülatörü (maksimum 40 bar, 90 L/dk, RG-7 Model) kullanılarak ayarlanmıştır. İşletme basıncı 0-25 bar göstergeli gliserin dolgululu bir manometreden (Pakkens[®] Model, TR) kontrol edilmiştir. Pülverizatörün pompası piston-membranlı tip (TAR30, 2 pistonlu, %67 verim, Taral[®], TR) olup 40 kg/cm²'lik anma basıncında 40 L/dk anma debisine ulaşmaktadır. Deneme süresince pülverizatör pompası, anma gücü 2.2 kW (1405 d/dk) olan bir elektrik motoruyla (AGM 100L 4a type, Gamak, TR) çalıştırılmıştır. Motor devri bir kayış-kasnak tertibatıyla 1/2.8 oranında düşürülmüştür (Şekil 1b). Pompa milinin devri optik bir takometreye (Testo 465, KGaA) 500 d/dk olarak ölçülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 1. (a) Pülverizatör ve (b) Elektrik motoru ve kayış-kasnak mekanizması.

Hacimsel debi ölçümleri 3.0 bar (300 kPa) püskürtme basıncında yapılmış olup ölçümler dijital göstergeli sensörlü tip bir debi ölçer (Sprayer Calibrator, SpotOn®, Model: SC-1, IL, ölçüm hassasiyeti: $\pm\%2.5$; ölçüm aralığı: 0.08-3.79 L/dk) kullanılarak belirlenmiştir. Meme plakası ve girdap plaketi kombinasyonlarına ait ortalama debi değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Aynı kombinasyonlar için damla çapı ve akış katsayısı ortalamaları Sayıncı ve Çomaklı (2017) tarafından yürütülen araştırmadan alınmıştır. Konik hüzmeli memelerin pülverizasyon karakteristiğini ortaya koymak için farklı tablo değerlerini içeren literatür kaynakları incelenmiş ve aynı çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 1. Konik hüzmeli memelerde hacimsel debi, damla çapı, akış katsayısı ve pülverizasyon karakteristiği (Sayıncı ve Çomaklı 2017)

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketleri	Hacimsel debi (q) (L/dk@3bar)	Damla çapı ($D_{V0.50}$) ($\mu\text{m}@3\text{bar}$)	Akış katsayısı (C_D)	*Pülverizasyon karakteristiği (@3bar)			
					Kruger ve ark. (2013) Arag® (2017)	Hypro® (2014)	Spandl (2010) Hipkins ve Grisso (2014)	Wolf (2017)
1.0	Mavi (2-slot)	0.41	123.3	0.346	VF	F	VF	VF
	K.rengi (3-slot)	0.48	130.3	0.415	VF	F	VF	VF
	Sarı (2-slot)	0.50	131.9	0.424	VF	F	VF	VF
	P. çelik (2-slot)	0.53	135.1	0.459	VF	F	VF	VF
1.2	Mavi (2-slot)	0.50	132.1	0.294	VF	F	VF	VF
	K.rengi (3-slot)	0.61	141.0	0.362	F	F	VF	VF
	Sarı (2-slot)	0.62	142.2	0.371	F	F	VF	VF
	P. çelik (2-slot)	0.71	148.4	0.421	F	F	F	VF
1.6	Mavi (2-slot)	0.67	145.4	0.221	F	F	F	VF
	K.rengi (3-slot)	0.87	158.8	0.289	F	F	F	F
	Sarı (2-slot)	0.91	161.2	0.302	F	F	F	F
	P. çelik (2-slot)	0.95	164.1	0.329	F	F	F	F
2.0	Mavi (2-slot)	0.83	156.3	0.177	F	F	F	F
	K.rengi (3-slot)	1.13	173.5	0.244	F	F	F	F
	Sarı (2-slot)	1.17	175.4	0.250	F	F	F	F
	P. çelik (2-slot)	1.25	179.3	0.274	M	F	F	F
2.4	Mavi (2-slot)	0.95	163.7	0.142	F	F	F	F
	K.rengi (3-slot)	1.42	186.8	0.214	M	F	F	F
	Sarı (2-slot)	1.47	188.8	0.219	M	F	F	F
	P. çelik (2-slot)	1.53	191.5	0.229	M	F	F	F

*: VF (very fine): çok ince yapılı; F (fine): ince yapılı; M (medium): orta yapılı (Pülverizasyon yapısı, farklı literatürlerde belirtilen referans aralıkları kullanılarak belirlenmiştir).

Damla Kinematiki

Maksimum damla hızı (V_{max})

Damlanın orifis çıkışında kazandığı ilk hız değeri olup maksimum hız olarak anılmaktadır. Damlanın maksimum hızı Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Al Heidary ve ark. 2014).

$$V_{mak} = C_D \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho_L}} \quad (1)$$

V_{max} : maksimum damla hızı (m/s)

C_D : akış katsayısı

ΔP : basınç (Pa)

ρ_L : akışkanın yoğunluğu (999.1 kg/m³, 15 °C akışkan sıcaklığı)

Damlanın kinetik enerjisi (E_k)

Damlanın orifis çıkışında kazandığı kinetik enerji, damla çapına ve maksimum damla hızına bağlı olarak Eşitlik (2)’den yararlanılarak hesaplanmıştır (Al Heidary ve ark. 2014).

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \left(\rho_d \cdot \frac{\pi}{6} \cdot D_{V0.50}^3 \right) \cdot V_{mak}^2 \cdot 10^6 \quad (2)$$

E_k : damlanın kinetik enerjisi (μj)

ρ_d : damlanın yoğunluğu (999.1 kg/m³, 15 °C akışkan sıcaklığı)
 $D_{v0.50}$: damlanın hacimsel medyan çapı (m)

Damlanın terminal hızı (V_t)

Damlaya etki eden yerçekimi kuvveti ile havanın kaldırma kuvvetinin birbirini dengeledikleri anda durağan hava koşullarında damlanın ivmesiz olarak ulaştığı hız terminal hız olarak adlandırılmaktadır. Damlanın terminal hızı Eşitlik (3) kullanılarak belirlenmiştir (Al Heidary ve ark. 2014).

$$V_t = \frac{\rho_d \cdot g \cdot D_{v0.50}^2}{18 \cdot \eta_a} \quad (3)$$

V_t : damlanın terminal hızı (m/s)
 g : yerçekimi ivmesi (9.81 m/s²)
 η_a : havanın dinamik viskozitesi (1.825×10⁻⁵ kg/m·s, 20 °C hava sıcaklığı)

Damlanın durma mesafesi (D_s)

Durgun havada damlanın serbest kaldığı mesafe, durma mesafesi olarak tanımlanmıştır. Nuyttens ve ark. (2007) tarafından yürütülen bir çalışmada Bache ve Johnstone (1992) tarafından bildirildiğine göre damlanın durma mesafesi Eşitlik (4) kullanılarak belirlenmiştir.

$$D_s = \frac{V_{mak} \cdot D_{v0.50}^2 \cdot \rho_d}{18 \cdot v_a \cdot \rho_a} \quad (4)$$

D_s : damlanın durma mesafesi (m)
 v_a : havanın kinematik viskozitesi (1.516×10⁻⁵ m²/s, 20 °C hava sıcaklığı)
 ρ_a : havanın yoğunluğu (1.204 kg/m³, 20 °C hava sıcaklığı)

Damlanın sürüklenme potansiyeli (S)

Damlanın sürüklenme potansiyeli damla çapına bağlı olarak Al Heidary ve ark. (2014) tarafından Eşitlik (5) kullanılarak tahminlenmiştir.

$$S = 31.505 \cdot e^{(-0.006 \cdot D_{v0.50})} \quad (5)$$

S : sürüklenme potansiyeli (%)

İstatistik analiz

Maksimum damla hızı, damlanın kinetik enerjisi, damlanın terminal hızı, orifisi terk eden damlanın havada durma mesafesi ve sürüklenme potansiyeli konik hüzmeli memelerin damla kinematiği değişkenlerini oluşturmuştur. Meme plakası orifis çapı, girdap plaketi tipi ve püskürtme basıncının damla kinematiği değişkenlerine etkisi varyans analiziyle (ANOVA) test edilmiştir. Önemli bulunan ortalamalar arasındaki farklar %95 önem düzeyinde Tukey çoklu karşılaştırma testiyle belirlenmiştir. Ayrıca bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında korelasyon analizi yapılmış ve önemli bulunan değişkenler arasındaki ilişki eğri tahminleme metoduyla açıklanmıştır. İstatistik analizler SPSS 20.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Bulgular

Damlanın maksimum hızı, kinetik enerjisi ve terminal hızı

Orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm ve 1.6 mm olan meme plakalarında en yüksek damla hızı, kinetik enerji ve terminal hız paslanmaz çelik girdapta, en düşük mavi girdap plaketine bulunmuştur (Çizelge 2, 3 ve 4). Orifis çapı 2.0 mm olduğunda düşük basınçlarda (2 bar ve 4 bar) girdap plakentinin etkisi azalmaya başlamış ve düşük debi veren mavi girdapta damla hızı, kinetik enerji ve terminal hız ortalaması anlamlı seviyede düşük bulunmuştur. En büyük orifis çaplı (2.4 mm) memede kahverengi, sarı ve paslanmaz çelik girdap plaketerinin damla hızını, kinetik enerjisi ve terminal hızı etkilemediği ve mavi girdaptan daha yüksek ortalamaya sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2. Orifis çıkışında maksimum damla hızı (V_{max} , m/s) (ort±SS)

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketteri	Püskürtme basıncı				
		2 bar	4 bar	6 bar	8 bar	12 bar
Ø1.0	Mavi (2-slot)	7.09±0.12 c	9.94±0.18 c	11.93±0.18 c	13.76±0.18 c	16.39±0.18 c
	K.rengi (3-slot)	8.32±0.46 b	11.81±0.76 b	14.40±0.92 b	16.65±1.07 b	20.17±1.08 b
	Sarı (2-slot)	8.66±0.35 b	12.19±0.61 ab	14.61±0.63 ab	16.82±0.77 b	20.39±1.07 b
	P. çelik (2-slot)	9.30±0.23 a	13.12±0.46 a	15.71±0.54 a	18.47±0.58 a	22.13±0.63 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	42.57(0.000)**	29.94 (0.000)	32.58 (0.000)	36.54 (0.000)	42.50 (0.000)
Ø1.2	Mavi (2-slot)	6.13±0.08 c	8.38±0.07 c	10.11±0.17 c	11.59±0.08 c	14.04±0.07 c
	K.rengi (3-slot)	7.40±0.45 b	10.29±0.55 b	12.59±0.64 b	14.30±0.91 b	17.46±1.02 b
	Sarı (2-slot)	7.58±0.17 b	10.44±0.41 b	12.92±0.49 b	14.75±0.43 b	17.93±0.50 b
	P. çelik (2-slot)	8.67±0.35 a	11.83±0.70 a	14.63±0.77 a	16.63±0.79 a	20.29±1.08 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	60.45 (0.000)	41.49 (0.000)	54.64 (0.000)	52.32 (0.000)	53.78 (0.000)
Ø1.6	Mavi (2-slot)	4.58±0.15 c	6.37±0.19 c	7.58±0.27 c	8.69±0.36 c	10.49±0.49 c
	K.rengi (3-slot)	5.92±0.31 b	8.28±0.39 b	9.95±0.45 b	11.53±0.56 b	13.79±0.77 b
	Sarı (2-slot)	6.22±0.29 ab	8.61±0.43 ab	10.35±0.54 b	12.14±0.65 ab	14.41±0.70 b
	P. çelik (2-slot)	6.57±0.24 a	9.09±0.40 a	11.28±0.48 a	12.97±0.59 a	16.90±1.58 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	58.69 (0.000)	53.46 (0.000)	62.11 (0.000)	56.37 (0.000)	36.76 (0.000)
Ø2.0	Mavi (2-slot)	3.63±0.12 b	5.07±0.25 b	6.07±0.21 c	6.99±0.27 c	8.54±0.38 c
	K.rengi (3-slot)	4.94±0.19 a	6.91±0.26 a	8.46±0.30 b	9.76±0.38 b	11.83±0.48 b
	Sarı (2-slot)	5.13±0.35 a	7.15±0.48 a	8.56±0.47 b	9.97±0.75 b	12.11±1.04 b
	P. çelik (2-slot)	5.40±0.37 a	7.68±0.67 a	9.49±0.66 a	11.13±0.89 a	13.68±0.89 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	40.23 (0.000)	31.76 (0.000)	53.89 (0.000)	39.20 (0.000)	41.66 (0.000)
Ø2.4	Mavi (2-slot)	2.88±0.08 b	4.04±0.12 b	4.89±0.15 b	5.65±0.22 b	6.85±0.21 b
	K.rengi (3-slot)	4.25±0.32 a	6.00±0.47 a	7.48±0.61 a	8.68±0.67 a	10.44±0.77 a
	Sarı (2-slot)	4.37±0.32 a	6.21±0.43 a	7.71±0.59 a	8.81±0.53 a	10.54±0.42 a
	P. çelik (2-slot)	4.59±0.52 a	6.67±0.50 a	7.81±0.35 a	8.98±0.59 a	11.29±0.49 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	25.16 (0.000)	39.72 (0.000)	45.19 (0.000)	44.87 (0.000)	75.30 (0.000)

*: Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre her bir nozul orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır. **: $p < 0.01$ çok önemli.

Çizelge 3. Damlanın orifis çıkışında kazandığı kinetik enerji (E_k , µj) (ort±SS)

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketteri	Püskürtme basıncı				
		2 bar	4 bar	6 bar	8 bar	12 bar
Ø1.0	Mavi (2-slot, C23)	0.037±0.002 c	0.036±0.002 c	0.034±0.002 c	0.034±0.001 c	0.031±0.001 c
	K.rengi (3-slot)	0.061±0.010 b	0.061±0.012 b	0.060±0.012 b	0.061±0.011 b	0.059±0.009 b
	Sarı (2-slot)	0.068±0.008 b	0.067±0.010 b	0.063±0.008 b	0.062±0.009 b	0.061±0.010 b
	P. çelik (2-slot)	0.084±0.006 a	0.084±0.009 a	0.078±0.008 a	0.082±0.008 a	0.077±0.006 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	37.22 (0.000)**	24.74 (0.000)	24.52 (0.000)	30.62 (0.000)	32.86 (0.000)
Ø1.2	Mavi (2-slot, C23)	0.035±0.002 c	0.032±0.001 c	0.030±0.001 c	0.030±0.001 c	0.028±0.000 c
	K.rengi (3-slot)	0.062±0.011 b	0.058±0.009 b	0.058±0.009 b	0.056±0.011 b	0.055±0.009 b
	Sarı (2-slot)	0.066±0.005 b	0.061±0.007 b	0.063±0.007 b	0.060±0.005 b	0.059±0.005 b
	P. çelik (2-slot)	0.097±0.010 a	0.087±0.013 a	0.091±0.014 a	0.086±0.011 a	0.087±0.015 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	52.93 (0.000)	33.20 (0.000)	39.25 (0.000)	41.43 (0.000)	32.82 (0.000)
Ø1.6	Mavi (2-slot, C23)	0.026±0.002 c	0.025±0.002 c	0.022±0.002 c	0.022±0.003 c	0.021±0.003 c
	K.rengi (3-slot)	0.056±0.009 b	0.054±0.008 b	0.051±0.007 b	0.051±0.007 b	0.048±0.008 b
	Sarı (2-slot)	0.064±0.009 ab	0.061±0.009 ab	0.057±0.009 b	0.060±0.010 ab	0.055±0.008 b
	P. çelik (2-slot)	0.076±0.008 a	0.071±0.009 a	0.074±0.010 a	0.073±0.010 a	0.089±0.023 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	42.66 (0.000)	34.39 (0.000)	42.38 (0.000)	38.10 (0.000)	24.22 (0.000)
Ø2.0	Mavi (2-slot, C23)	0.020±0.002 b	0.019±0.003 b	0.018±0.002 c	0.018±0.002 c	0.018±0.002 c
	K.rengi (3-slot)	0.050±0.005 a	0.049±0.006 a	0.049±0.005 b	0.049±0.006 b	0.047±0.006 b
	Sarı (2-slot)	0.057±0.011 a	0.055±0.011 a	0.051±0.008 b	0.052±0.012 b	0.051±0.012 b
	P. çelik (2-slot)	0.066±0.014 a	0.067±0.018 a	0.069±0.016 a	0.072±0.017 a	0.074±0.014 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	21.74 (0.000)	16.91 (0.000)	25.41 (0.000)	21.34 (0.000)	28.06 (0.000)
Ø2.4	Mavi (2-slot, C23)	0.014±0.001 b	0.014±0.001 b	0.014±0.001 b	0.014±0.002 b	0.013±0.001 b
	K.rengi (3-slot)	0.047±0.011 a	0.047±0.011 a	0.049±0.012 a	0.050±0.011 a	0.047±0.010 a
	Sarı (2-slot)	0.051±0.012 a	0.052±0.012 a	0.054±0.013 a	0.052±0.010 a	0.048±0.006 a
	P. çelik (2-slot)	0.060±0.020 a	0.064±0.015 a	0.055±0.008 a	0.055±0.011 a	0.059±0.008 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	12.53 (0.000)	19.03 (0.000)	21.52 (0.000)	21.50 (0.000)	41.64 (0.000)

*: Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre her bir nozul orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır. **: $p < 0.01$ çok önemli.

Çizelge 4. Damlanın terminal hızı (V_t , m/s) (ort±SS)

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketteri	Püskürtme basıncı				
		2 bar	4 bar	6 bar	8 bar	12 bar
Ø1.0	Mavi (2-slot, C23)	0.60±0.01 c	0.38±0.01 c	0.28±0.00 c	0.23±0.00 c	0.18±0.00 c
	K.rengi (3-slot)	0.67±0.03 b	0.42±0.02 b	0.32±0.01 b	0.27±0.01 b	0.20±0.01 b
	Sarı (2-slot)	0.69±0.02 b	0.43±0.01 b	0.32±0.01 b	0.27±0.01 b	0.20±0.01 b
	P. çelik (2-slot)	0.72±0.01 a	0.45±0.01 a	0.34±0.01 a	0.28±0.01 a	0.21±0.00 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	44.42 (0.000)**	30.67 (0.000)	33.75 (0.000)	38.28 (0.000)	44.40 (0.000)
	Ø1.2	Mavi (2-slot, C23)	0.70±0.01 c	0.43±0.00 c	0.32±0.00 c	0.27±0.00 c
K.rengi (3-slot)		0.79±0.03 b	0.49±0.02 b	0.37±0.01 b	0.31±0.01 b	0.23±0.01 b
Sarı (2-slot)		0.80±0.01 b	0.50±0.01 b	0.38±0.01 b	0.31±0.01 b	0.24±0.00 b
P. çelik (2-slot)		0.88±0.02 a	0.54±0.02 a	0.41±0.02 a	0.34±0.01 a	0.26±0.01 a
<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)		62.85 (0.000)	44.09 (0.000)	58.79 (0.000)	55.77 (0.000)	55.31 (0.000)
Ø1.6		Mavi (2-slot, C23)	0.84±0.02 c	0.52±0.01 c	0.39±0.01 c	0.32±0.01 c
	K.rengi (3-slot)	1.00±0.04 b	0.62±0.02 b	0.47±0.01 b	0.39±0.01 b	0.29±0.01 b
	Sarı (2-slot)	1.03±0.03 ab	0.64±0.02 ab	0.48±0.02 b	0.40±0.01 ab	0.30±0.01 b
	P. çelik (2-slot)	1.07±0.03 a	0.66±0.02 a	0.51±0.02 a	0.42±0.01 a	0.33±0.02 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	62.14 (0.000)	58.20 (0.000)	64.73 (0.000)	60.32 (0.000)	39.80 (0.000)
	Ø2.0	Mavi (2-slot, C23)	0.97±0.02 b	0.61±0.02 b	0.45±0.01 c	0.37±0.01 c
K.rengi (3-slot)		1.19±0.03 a	0.74±0.02 a	0.57±0.01 b	0.47±0.01 b	0.36±0.01 b
Sarı (2-slot)		1.22±0.06 a	0.76±0.03 a	0.57±0.02 b	0.47±0.02 b	0.36±0.02 b
P. çelik (2-slot)		1.26±0.06 a	0.80±0.05 a	0.61±0.03 a	0.51±0.03 a	0.39±0.02 a
<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)		44.72 (0.000)	35.41 (0.000)	60.31 (0.000)	43.45 (0.000)	44.60 (0.000)
Ø2.4		Mavi (2-slot, C23)	1.06±0.02 b	0.66±0.01 b	0.50±0.01 b	0.41±0.01 b
	K.rengi (3-slot)	1.37±0.07 a	0.86±0.05 a	0.67±0.04 a	0.55±0.03 a	0.42±0.02 a
	Sarı (2-slot)	1.40±0.07 a	0.88±0.04 a	0.68±0.04 a	0.56±0.02 a	0.42±0.01 a
	P. çelik (2-slot)	1.44±0.11 a	0.93±0.05 a	0.69±0.02 a	0.56±0.03 a	0.44±0.01 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	28.49 (0.000)	45.45 (0.000)	50.67 (0.000)	50.68 (0.000)	84.85 (0.000)

*: Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre her bir nozul orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır. **: $p < 0.01$ çok önemli.

Damlanın durma mesafesi ve sürüklenme potansiyeli

Orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm ve 1.6 mm olan meme plakalarında damlanın ortalama durma mesafesi en yüksek paslanmaz çelik girdapta, en düşük mavi girdap plaketine bulunmuştur (Çizelge 5). Sürüklenme potansiyeli açısından aynı meme plakalarında en düşük sürüklenme paslanmaz çelik girdapta, en yüksek mavi girdap plaketine elde edilmiştir (Çizelge 6). Orifis çapı 2.0 mm olduğunda düşük basınçta (2 bar ve 4 bar) girdap plakentinin etkisi azalmış ve düşük debi veren mavi girdapta damla durma mesafesi önemli seviyede düşük, sürüklenme ise yüksek bulunmuştur. En büyük orifis çaplı (2.4 mm) memede kahverengi, sarı ve paslanmaz çelik girdap plaketterinin damlanın durağan havada durma mesafesini ve sürüklenme potansiyelini etkilemediği belirlenmiştir.

Konik hüzmeli memelerde damla kinematığını tanımlayan değişkenler arasındaki korelasyon analizi sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. Korelasyon analizi sonuçlarına göre basınçtaki (P) değişim, damlanın orifis çıkışında kazandığı kinetik enerjiyi (E_k) etkilememiştir. Akış katsayısı (C_D), maksimum damla hızı (V_{max}) ve damlanın serbest kalma uzaklığı (D_s) değişkenleri damlanın kinetik enerjisini (E_k) pozitif yönde etkilerken, orifis çapındaki değişim kinetik enerjiyi negatif yönde etkilemiştir. Püskürtme basıncı (P) arttığında damla çapı ($D_{v0.50}$), damlanın terminal hızı (V_t) ve damlanın serbest kalma uzaklığı (D_s) azalmıştır. Meme debisi (q) damlanın orifis çıkış hızında (V_{max}) etkili olmamıştır. Orifis çapı ($\varnothing d$), damla çapı ($D_{v0.50}$), damlanın terminal hızı (V_t) ve damlanın havada serbest kaldığı mesafe arttıkça (D_s) damlanın sürüklenme potansiyeli (S) azalmıştır.

Çizelge 5. Damlanın havada durma mesafesi (D_s , m) (ort±SS)

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketteri	Püskürtme basıncı				
		2 bar	4 bar	6 bar	8 bar	12 bar
Ø1.0	Mavi (2-slot, C23)	0.43±0.01 c	0.38±0.01 c	0.34±0.01 c	0.33±0.01 c	0.29±0.01 c
	K.rengi (3-slot)	0.56±0.05 b	0.51±0.05 b	0.47±0.05 b	0.45±0.05 b	0.41±0.04 b
	Sarı (2-slot)	0.60±0.04 b	0.53±0.05 ab	0.48±0.03 b	0.46±0.04 b	0.42±0.04 b
	P. çelik (2-slot)	0.68±0.03 a	0.60±0.04 a	0.54±0.03 a	0.53±0.03 a	0.48±0.02 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	40.93 (0.000)**	27.53 (0.000)	30.30 (0.000)	33.95 (0.000)	38.23 (0.000)
Ø1.2	Mavi (2-slot, C23)	0.43±0.01 c	0.36±0.01 c	0.33±0.01 c	0.31±0.00 c	0.29±0.00 c
	K.rengi (3-slot)	0.59±0.06 b	0.51±0.05 b	0.48±0.04 b	0.44±0.05 b	0.41±0.04 b
	Sarı (2-slot)	0.62±0.02 b	0.52±0.03 b	0.50±0.03 b	0.47±0.02 b	0.43±0.02 b
	P. çelik (2-slot)	0.77±0.05 a	0.65±0.06 a	0.61±0.05 a	0.57±0.05 a	0.53±0.05 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	55.82 (0.000)	36.66 (0.000)	47.68 (0.000)	46.90 (0.000)	47.47 (0.000)
Ø1.6	Mavi (2-slot, C23)	0.39±0.02 c	0.34±0.02 c	0.30±0.02 c	0.28±0.02 c	0.26±0.02 c
	K.rengi (3-slot)	0.60±0.05 b	0.52±0.04 b	0.47±0.04 b	0.45±0.04 b	0.41±0.04 b
	Sarı (2-slot)	0.65±0.05 ab	0.56±0.05 ab	0.51±0.04 b	0.50±0.05 b	0.44±0.04 b
	P. çelik (2-slot)	0.71±0.04 a	0.61±0.04 a	0.58±0.04 a	0.55±0.04 a	0.58±0.09 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	52.12 (0.000)	46.91 (0.000)	54.92 (0.000)	48.96 (0.000)	30.87 (0.000)
Ø2.0	Mavi (2-slot, C23)	0.36±0.02 b	0.31±0.03 b	0.28±0.02 c	0.27±0.02 c	0.25±0.02 c
	K.rengi (3-slot)	0.60±0.04 a	0.52±0.03 a	0.49±0.03 b	0.46±0.03 b	0.43±0.03 b
	Sarı (2-slot)	0.64±0.07 a	0.55±0.06 a	0.50±0.05 b	0.48±0.06 b	0.44±0.06 b
	P. çelik (2-slot)	0.69±0.08 a	0.62±0.09 a	0.59±0.07 a	0.58±0.08 a	0.54±0.06 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	32.49 (0.000)	25.31 (0.000)	42.40 (0.000)	31.10 (0.000)	36.41 (0.000)
Ø2.4	Mavi (2-slot, C23)	0.31±0.01 b	0.27±0.01 b	0.25±0.01 b	0.24±0.02 b	0.22±0.01 b
	K.rengi (3-slot)	0.59±0.07 a	0.53±0.07 a	0.51±0.07 a	0.49±0.06 a	0.44±0.05 a
	Sarı (2-slot)	0.62±0.08 a	0.56±0.07 a	0.53±0.07 a	0.50±0.05 a	0.45±0.03 a
	P. çelik (2-slot)	0.67±0.13 a	0.63±0.08 a	0.54±0.04 a	0.52±0.06 a	0.50±0.04 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	19.69 (0.000)	31.00 (0.000)	35.10 (0.000)	35.09 (0.000)	61.94 (0.000)

*: Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre her bir nozul orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır. **: $p < 0.01$ çok önemli.

Çizelge 6. Sürüklenme potansiyeli (S , %) (ort±SS)

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketteri	Püskürtme basıncı				
		2 bar	4 bar	6 bar	8 bar	12 bar
Ø1.0	Mavi (2-slot, C23)	13.5±0.1 a	16.1±0.1 a	17.6±0.1 a	18.5±0.1 a	19.9±0.0 a
	K.rengi (3-slot)	12.9±0.2 b	15.5±0.2 b	16.9±0.2 b	17.9±0.2 b	19.3±0.2 b
	Sarı (2-slot)	12.7±0.2 b	15.3±0.2 bc	16.9±0.2 bc	17.9±0.1 b	19.3±0.2 b
	P. çelik (2-slot)	12.4±0.1 c	15.1±0.1 c	16.6±0.1 c	17.6±0.1 c	19.0±0.1 c
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	42.94 (0.000)**	33.72 (0.000)	35.37 (0.000)	38.67 (0.000)	43.70 (0.000)
Ø1.2	Mavi (2-slot, C23)	12.6±0.1 a	15.4±0.0 a	16.9±0.1 a	17.9±0.0 a	19.3±0.0 a
	K.rengi (3-slot)	11.9±0.3 b	14.6±0.2 b	16.1±0.2 b	17.2±0.2 b	18.6±0.2 b
	Sarı (2-slot)	11.8±0.1 b	14.6±0.1 b	16.0±0.1 b	17.1±0.1 b	18.5±0.1 b
	P. çelik (2-slot)	11.3±0.2 c	14.1±0.2 c	15.6±0.2 c	16.7±0.2 c	18.1±0.2 c
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	58.84 (0.000)	46.09 (0.000)	58.82 (0.000)	52.69 (0.000)	57.67 (0.000)
Ø1.6	Mavi (2-slot, C23)	11.5±0.1 a	14.3±0.1 a	15.9±0.1 a	16.9±0.1 a	18.4±0.2 a
	K.rengi (3-slot)	10.6±0.2 b	13.3±0.2 b	14.9±0.2 b	15.9±0.2 b	17.5±0.2 b
	Sarı (2-slot)	10.4±0.2 bc	13.1±0.2 bc	14.7±0.2 bc	15.7±0.2 bc	17.3±0.2 b
	P. çelik (2-slot)	10.2±0.1 c	12.9±0.2 c	14.4±0.2 c	15.5±0.2 c	16.7±0.3 c
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	64.06 (0.000)	64.70 (0.000)	65.13 (0.000)	71.10 (0.000)	45.20 (0.000)
Ø2.0	Mavi (2-slot, C23)	10.7±0.1 a	13.4±0.2 a	15.1±0.2 a	16.1±0.2 a	17.5±0.2 a
	K.rengi (3-slot)	9.5±0.2 b	12.2±0.2 b	13.8±0.1 b	14.9±0.2 b	16.4±0.2 b
	Sarı (2-slot)	9.4±0.3 b	12.1±0.2 b	13.8±0.2 b	14.8±0.3 b	16.3±0.3 b
	P. çelik (2-slot)	9.2±0.2 b	11.9±0.3 b	13.4±0.3 c	14.4±0.3 c	15.9±0.3 c
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	52.16 (0.000)	44.53 (0.000)	62.66 (0.000)	52.25 (0.000)	46.91 (0.000)
Ø2.4	Mavi (2-slot, C23)	10.2±0.1 a	12.9±0.1 a	14.5±0.1 a	15.6±0.1 a	17.0±0.1 a
	K.rengi (3-slot)	8.8±0.3 b	11.4±0.3 b	12.9±0.3 b	14.0±0.3 b	15.5±0.3 b
	Sarı (2-slot)	8.6±0.3 b	11.3±0.3 b	12.8±0.3 b	13.9±0.2 b	15.5±0.1 b
	P. çelik (2-slot)	8.5±0.4 b	11.0±0.3 b	12.7±0.2 b	13.8±0.3 b	15.3±0.2 b
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	36.69 (0.000)	53.71 (0.000)	70.88 (0.000)	63.86 (0.000)	96.51 (0.000)

*: Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre her bir nozul orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır. **: $p < 0.01$ çok önemli.

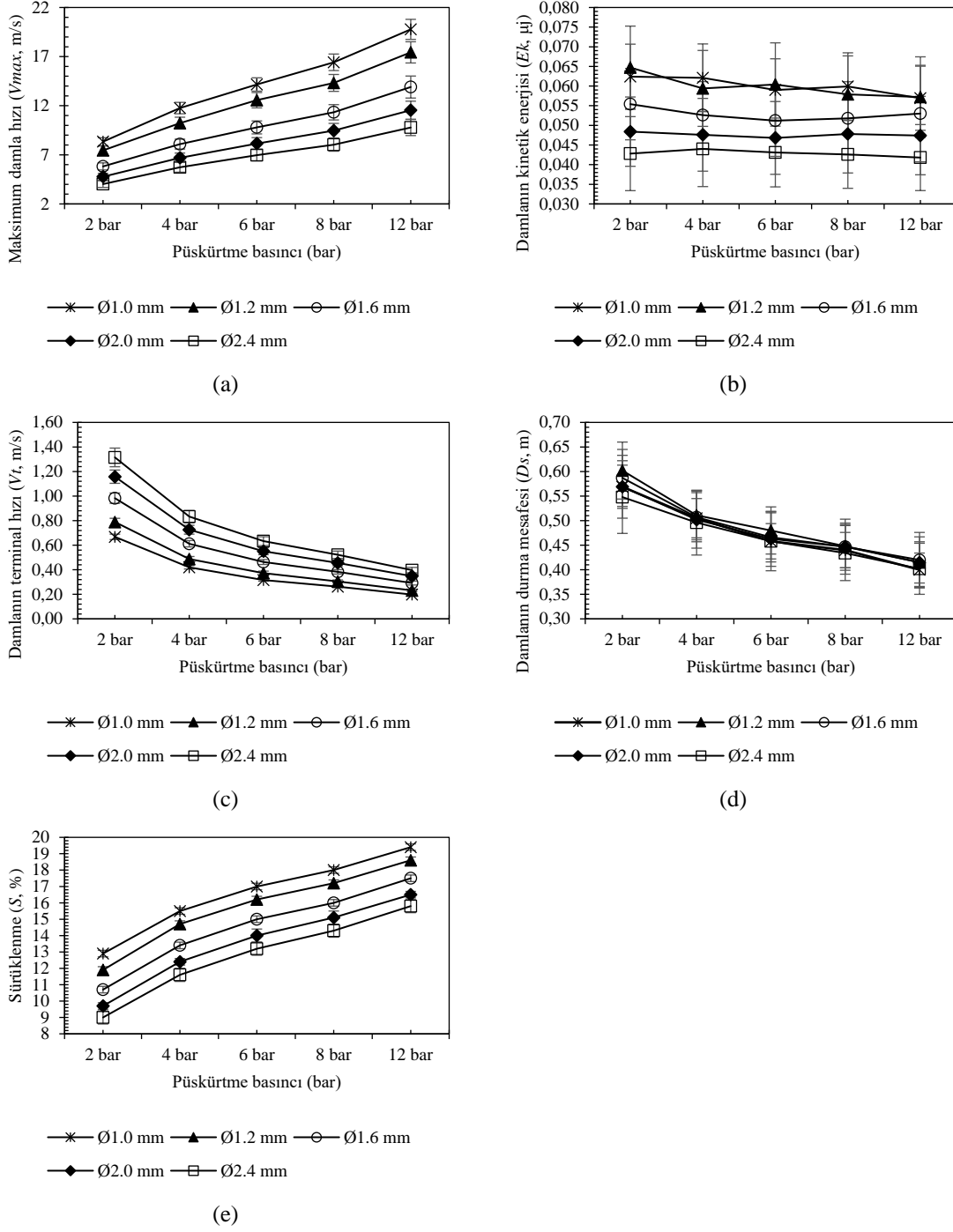
Çizelge 7. Damla kinematikiğini tanımlayan değişkenler ve korelasyon analizi

	\varnothing_d	P	q	C_D	V_{max}	$D_{V0.50}$	V_t	D_s	E_k	S
\varnothing_d	1.000	0.000	0.717	-0.864	-0.614	0.483	0.462	-0.034	-0.312	-0.494
		1.000	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.445 ^{ns}	0.000**	0.000**
P	0.000	1.000	0.551	-0.031	0.667	-0.785	-0.749	-0.418	-0.051	0.804
			0.000**	0.495 ^{ns}	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.252 ^{ns}	0.000**
q	0.717	0.551	1.000	-0.491	0.012	-0.060	-0.082	0.027	0.045	0.039
	0.000**	0.000**		0.000**	0.788 ^{ns}	0.180 ^{ns}	0.066 ^{ns}	0.551 ^{ns}	0.312 ^{ns}	0.390 ^{ns}
C_D	-0.864	-0.031	-0.491	1.000	0.688	-0.306	-0.292	0.448	0.715	0.314
	0.000**	0.495 ^{ns}	0.000**		0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
V_{max}	-0.614	0.667	0.012	0.688	1.000	-0.774	-0.732	0.008	0.471	0.798
	0.000**	0.000**	0.788 ^{ns}	0.000**		0.000**	0.000**	0.860 ^{ns}	0.000**	0.000**
$D_{V0.50}$	0.483	-0.785	-0.060	-0.306	-0.774	1.000	0.990**	0.544**	0.081	-0.993**
	0.000**	0.000**	0.180 ^{ns}	0.000**	0.000**		0.000**	0.000**	0.071 ^{ns}	0.000**
V_t	0.462	-0.749	-0.082	-0.292	-0.732	0.990	1.000	0.534	0.076	-0.968
	0.000**	0.000**	0.066 ^{ns}	0.000**	0.000**	0.000**		0.000**	0.088 ^{ns}	0.000**
D_s	-0.034	-0.418	0.027	0.448	0.008	0.544	0.534	1.000	0.866	-0.545
	0.445 ^{ns}	0.000**	0.551 ^{ns}	0.000**	0.860 ^{ns}	0.000**	0.000**		0.000**	0.000**
E_k	-0.312	-0.051	0.045	0.715	0.471	0.081	0.076	0.866	1.000	-0.084
	0.000**	0.252 ^{ns}	0.312 ^{ns}	0.000**	0.000**	0.071 ^{ns}	0.088 ^{ns}	0.000**		0.060 ^{ns}
S	-0.494	0.804	0.039	0.314	0.798	-0.993	-0.968	-0.545	-0.084	1.000
	0.000**	0.000**	0.390 ^{ns}	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.060 ^{ns}	

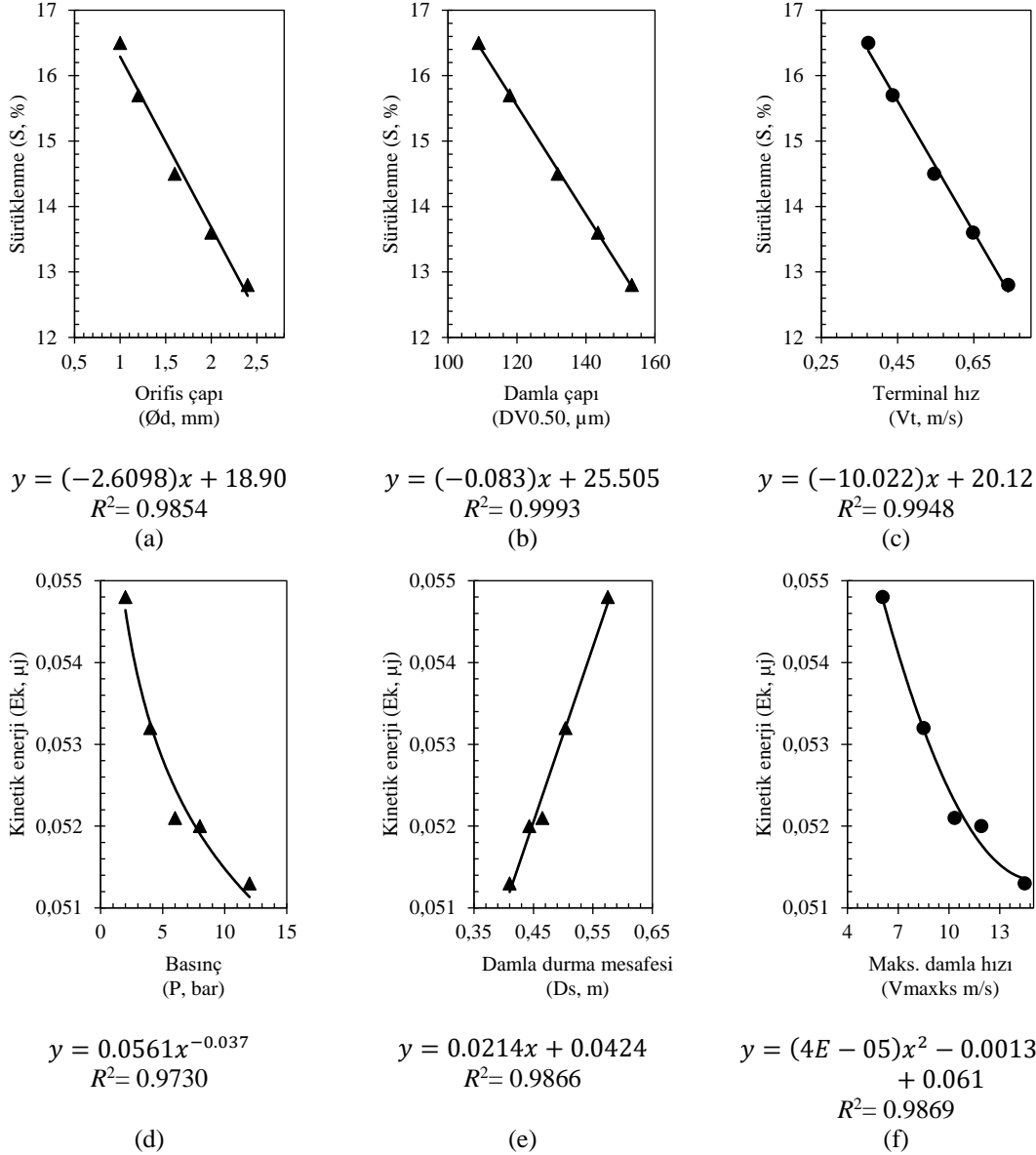
\varnothing_d : orifis çapı; P : püskürtme basıncı; q : nozul debisi; C_D : akış katsayısı; V_{max} : maksimum damla hızı; $D_{V0.50}$: damla çapı; V_t : damlanın terminal hızı; D_s : durağan koşullarda damlanın serbest havada durma uzaklığı; E_k : damlanın kinetik enerjisi; S : damlanın sürüklenme potansiyeli; **: $p < 0.01$ çok önemli; ^{ns}: önemsiz.

Şekil 2'ye göre püskürtme basıncı arttıkça damlanın orifis çıkışındaki hızı artarken, terminal hızı ve durma mesafesi azalmıştır. Orifis çapı azaldıkça daha yüksek damla hızı elde edilmiş, ancak terminal hızı düşmüştür. Basıncı arttıkça damlanın kazandığı kinetik enerji hafif azalma eğilimi göstermiş olup en yüksek enerji küçük orifisli memelerde bulunmuştur. Ancak sürüklenme potansiyeli açısından küçük orifisli memelerde sürüklenmenin arttığı belirlenmiştir.

Şekil 3a, 3b ve 3c'ye göre damla sürüklenme potansiyelinin meme orifis çapı, damla çapı ve terminal hız değişkenleriyle negatif yönde lineer olarak değiştirdiği görülmektedir. Püskürtme basıncındaki artış damlanın kinetik enerjisini oldukça sınırlı bir değer aralığında olsa bile anlamlı şekilde azalttığı saptanmıştır (Şekil 3d). Damlanın kinetik enerjisi arttığında havada serbest kalma mesafesinin de arttığı belirlenmiştir (Şekil 3e). Damlanın sahip olduğu kinetik enerjinin değişiminde orifis çıkışındaki damla hızının negatif yönde etkili olduğu görülmüştür (Şekil 3f).



Şekil 2. Damla kinematığı (a) Orifis çıkışında maksimum damla hızı (V_{max} , m/s) (b) Damlanın kinetik enerjisi (E_k , uJ) (c) Damlanın terminal hızı (V_t , m/s) (d) Damlanın durma mesafesi (D_s , m) (e) Sürüklenme potansiyeli (S , %).



Şekil 3. Damla kinematığını oluşturan değişkenler arasındaki ilişki.

Tartışma ve Sonuç

Damla çapı ve orifis çıkışındaki damla hızı arttıkça damlanın sahip olduğu kinetik enerji artmaktadır. Farklı bir meme tipiyle karşılaştırma yapıldığında Serim ve Özdemir (2012), standart yelpaze hüzmeli memede (ST) orifis ölçüsüne (01, 015, 02, 03 ve 04) bağlı olarak 3 bar sabit basınçta hacimsel medyan çapının ($D_{v0.50}$) 154.0-186.2 μm aralığında değiştiğini saptamıştır. Aynı şekilde Nuyttens ve ark. (2007) tarafından yapılan damla çapı ölçümlerinde 3 bar basınçta standart yelpaze hüzmeli bir memede (APE 11002) 208.3 μm , geniş spektrumlu standart tip bir memede (AXI 11002) 207.0 μm olarak ölçülmüştür. Ayrıca Sayıncı (2016) damlanın sahip kinetik enerjisinin yelpaze hüzmeli memelerde 0.5-1.2 μJ aralığında değiştiğini saptamıştır. Literatür bulgularıyla karşılaştırıldığında konik hüzmeli memelerle üretilen damla çaplarının ve sahip olduğu kinetik enerjinin standart yelpaze hüzmeli memelerden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Damlanın terminal hızı üretilen damlaların çapına bağlı olarak pozitif yönde değişmektedir. Terminal hız, damlanın havada dengeye ulaştığı bir hız değeri olup bu aşamada ivmesiz olarak hareketine devam etmektedir. Terminal hızın düşük olması damlanın kazandığı ivmenin hızlı bir şekilde azaldığını ve rüzgar vb. etkiler nedeniyle damlanın yörüngede kalma direncinin düşük olduğunu göstermektedir. Standart yelpaze hüzmeli bir memede terminal hızın 1.2-1.4 m/s aralığında değiştiği belirlenmiştir (Sayıncı 2016). Konik hüzmeli meme plakalarında belirtilen terminal hız aralığına 2 bar basınçta 2.0 mm ve 2.4 mm orifis çaplı memelerle ulaşılmıştır.

Orifisi terk eden damlanın havada serbest kalma mesafesinin artması sürüklenmeye karşı oluşturduğu direncin

büyüklüğü açısından önem taşımaktadır. Bu mesafe damlanın orifis çıkış hızının büyüklüğüne bağlı olarak değiştiği gibi damla çapının karesiyle önemli derecede artmaktadır. Sayınacı (2016), standart yelpaze hüzmeli memelerde damlanın durma mesafesinin en düşük 1.9 m ve düşük sürüklenme potansiyelli yelpaze hüzmeli memelerde 5.3 m olarak belirlemiştir. Bu çalışmada kullanılan konik hüzmeli memelerde bu mesafe en yüksek 0.77 m olarak belirlenmiştir. Damla durma mesafesi uygulama esnasında püskürtme yüksekliği açısından dikkate alınması gereken önemli bir pülverizasyon karakteristiğidir. Konik hüzmeli memelerde püskürtme açısının dar olması, püskürtme uygulamalarının daha yüksek mesafeden yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Damla taşınma mesafesi açısından değerlendirildiğinde püskürtme yüksekliği arttırıldığında beraberinde sürüklenme potansiyelinin de artacağı düşünülmektedir.

Pülverizasyonda sürüklenme potansiyelinin yüksek olması damlanın hedef alınan bölgeye taşınmaması anlamına gelmektedir. Bu durum pestisitlerin hedef dışındaki organizmalara bulaşmasına neden olmakta ve insan sağlığını ve ekolojik dengeyi tehdit etmektedir (Gazioğlu Şensoy ve ark. 2017). Sürüklenmede etkili en önemli parametre damla çapı olup yüksek püskürtme basıncında çap küçülerek sürüklenmenin artmasına yol açmaktadır. Pülverizatör memelerinde sürüklenme üzerine yapılmış pek çok araştırma bulunmaktadır. Bode ve ark. (1983) tarafından yürütülen araştırmada 8002 nominal ölçülü standart bir memede 255 kPa basınçta sürüklenmenin %19 olduğu saptanmıştır. Krishnan ve ark. (1998) XR8004 orifis ölçülü memeye rüzgar yönüne zıt doğrultuda yapılan püskürtmede sürüklenme potansiyelinin 310.5 kPa basınçta %11.6 düzeyinde oluştuğunu belirlemişlerdir. Almekinders ve ark. (1993) elektrostatik yüklemeli ve hava akımlı uygulamalarda hava hızının 11 m/s olması durumunda hedef alanda etken maddenin tutunma miktarı ve damla penetrasyonunun arttığını, rüzgar hızının 4.7 m/s olması durumunda elektrostatik olarak yüklenmiş 92 µm çaplı damlalarda sürüklenmenin azaldığını bildirmişlerdir. Piché ve ark. (2000) tarafından yardımcı hava akımı olmadan yapılan uygulamalarda sürüklenme potansiyelinin %5.5, yardımcı hava akımıyla %0.6 olduğu belirtilmiştir. Sidahmed ve ark. (2004) tarafından yürütülen bir araştırmada rüzgarlı şartlarda büyük orifisli memelerde (8003) sürüklenme potansiyelinin (%15), küçük (8001) olanlara (%50) göre daha düşük olduğu saptanmıştır.

Sayınacı (2016), standart yelpaze hüzmeli memede damlanın orifis çıkış hızı ve kinetik enerjisi arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu belirlemiştir. Ayrıca kinetik enerji ve damlanın serbest kalma uzaklığı arasındaki ilişki, farklı meme tipleri için üssel fonksiyonlarla ifade edilmiştir. Damlanın terminal hızı arttıkça sürüklenme potansiyelinin de azaldığı belirlenmiştir. Standart yelpaze hüzmeli memede önemli bulunan korelasyonların dışında damlanın orifis çıkış hızı ile damla çapı arasında manidar bir ilişkinin olmadığı saptanmıştır. Ancak yürütülen bu çalışmada konik hüzmeli meme plakalarında damla çıkış hızı ve damla çapı arasındaki korelasyon yelpaze hüzmeli memelerin aksine istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Bu çalışmada konik hüzmeli memelerde püskürtmeyi tanımlayan diğer değişkenler arasındaki ilişki literatür bulgularıyla doğrulanmıştır.

Kaynaklar

- Al Heidary M, Douzals JP, Sinfort C, Vallet A (2014). Influence of nozzle type, nozzle arrangement and side wind speed on spray drift as measured in a wind tunnel. *AgEng* 2014, Jul 2014, Zurich, Switzerland.
- Albuz® (2009). Disc&Core Ceramic Hollow-Cone Nozzle Catalogue. <http://albuz-spray.com> (Erişim tarihi: 15 Aralık, 2009).
- Almekinders H, Ozkan HE, Reichard DL, Carpenter TG, Brazee RD (1993). Deposition efficiency of air-assisted, charged sprays in a wind tunnel. *T. ASAE* 36 (2): 321-325.
- Arag® (2004). Nozzle Holder, Caps and Nozzle Tips Catalogue. www.aragnet.it. (Erişim tarihi: 15 Aralık, 2004)
- Arag® (2017). Nozzle Holder, Caps and Nozzle Tips Catalogue (Revision). www.aragnet.com. (Erişim tarihi: 15 Aralık, 2017)
- Bache DH, Johnstone DR (1992). *Microclimate and spray dispersion*. West Sussex, UK: Ellis Harwood.
- Bode LE, Butler BJ, Pearson SL, Bouse LF (1983). Characteristics of the micromax rotary atomizer. *T. ASAE* 24 (4): 999-1004.
- Dursun E, Karahan Y, Çilingir İ (2000). Türkiye’de üretilen konik hüzmeli bazı meme plakalarında delik çapı ve düzgünlüğünün belirlenmesi. *Tarım Bil. Derg.* 6 (3): 135-140.
- Hipkins P, Grisso RB (2014). *Droplet Chart / Selection Guide*. Virginia Cooperative Extension, Virginia State University, Publication, 442-031.
- Hypro® (2014). *Hypro Nozzle Catalogue*. <http://www.hypro-eu.com>. (Erişim tarihi: 15 Aralık, 2014)
- Krishnan P, Williams TH, Kemble LJ (1988). Technical Note: Spray pattern displacement measurement technique for agricultural nozzles using spray table. *T. ASAE* 31 (2): 386-389.
- Kruger GR, Klein RN, Ogg CL (2013). *Spray Drift of Pesticides*. Nebreska Extension. <http://extensionpublications.unl.edu/assets/html/g1773/build/g1773.htm>.
- Nuyttens D, Baetens K, Schampheleire M De, Sonck B (2007). Effect of nozzle type, size, and pressure on spray droplet characteristics. *Biosyst. Eng.* 97 (3): 333-345.
- Piché M, Panneton, B, Thériault, R 2000. Field evaluation of air-assisted boom spraying on broccoli and potato. *T. ASAE* 43 (4): 793-799.

- Sayınacı B, Çomaklı M (2017). Poliasetal (POM) Meme Plakalarında Püskürtme Açısına Etki Eden Faktörler ve Pülverizasyon Karakteristikleri. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, s.78.
- Sayınacı B, Kara M (2015). The effects of strainer types on flow characteristics of anti-drift (AD) and multi-range (LU) flat-fan nozzles. *Tarım Bil. Derg. (J. Agr. Sci.)* 21 (4): 558-571.
- Sayınacı B (2014). Effect of filter types and sizes on flow characteristics of standard flat-fan nozzles. *Tarım Mak. Bil. Derg.* 10 (2): 129-138.
- Sayınacı B (2015). Effect of strainer type, spray pressure, and orifice size on the discharge coefficient of standard flat-fan nozzles. *Turkish J. Agr. Forestry* 39: 692-704.
- Sayınacı B (2016). The influence of strainer types on the flow and droplet velocity characteristics of ceramic flat-fan nozzles. *Turkish J. Agr. Forestry* 40: 25-37.
- Serim AT, Özdemir YG (2012). Herbisit uygulamalarında kullanılan pülverizatör memelerinin damla büyüklük dağılımlarının belirlenmesi. *Tar. Bil. Arş. Derg.* 5 (2): 172-175.
- Sidahmed MM, Awadalla HH, Haidar MA (2004). Symmetrical multi-foil shields for reducing spray drift. *Biosyst. Eng.* 88 (3): 305-312.
- Spandl (2010). Comparing Drift Reduction Technology. Winfield Solutions, Shoreview, Minnesota.
<https://www.extension.umn.edu/agriculture/ag-professionals/cpm/2010>.
- Srivastava AK, Goering CE, Rohrbach RG (1993). Engineering Principles of Agricultural Machines. In: P.D. Hansen (Ed.), Chemical Application. Chapter 7, ASAE, Niles Road, St. Joseph, Michigan 49085, pp.265-324.
- Gazioglu Şensoy Rİ, Ersayar L, Doğan A (2017). Van ilinde satılmakta olan yaş ve kuru üzümler ile salamura asma yapraklarında pestisit kalıntı miktarlarının belirlenmesi. *YYÜ Tar. Bil. Derg. (YYU J. Agr. Sci.)* 27 (3): 436-446.
- Teejet® (2014). Catalogue 51A-M, Disc-Core Type Cone Spray Tips. www.teejet.com.
- Wolf (2017). Educating Applicators About Droplet Size. Wolf Consulting & Research LLC,
<https://tpsalliance.org/pdf/topics/Wolf-2-TPSA-2012.pdf> (Erişim tarihi: 15 Kasım, 2017).