



**POLİASETAL (POM) MEME PLAKALARINDA
PÜSKÜRTME AÇISINA ETKİ EDEN
FAKTÖRLER VE PÜLVERİZASYON
KARAKTERİSTİKLERİ**

Mustafa ÇOMAKLI

**Yüksek Lisans Tezi
Tarım Makineleri Anabilim Dalı
Doç. Dr. Bahadır SAYINCI**

2017

Her hakkı saklıdır

**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİASETAL (POM) MEME PLAKALARINDA PÜSKÜRTME
AÇISINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE PÜLVERİZASYON
KARAKTERİSTİKLERİ**

Mustafa ÇOMAKLI

TARIM MAKİNELERİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



TEZ ONAY FORMU

**POLİASETAL (POM) MEME PLAKALARINDA PÜSKÜRTME AÇISINA
ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE PÜLVERİZASYON KARAKTERİSTİKLERİ**

Doç. Dr. Bahadır SAYINCI danışmanlığında, **Mustafa ÇOMAKLI** tarafından hazırlanan bu çalışma 21/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarım Makineleri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Yücel ERKMEN

İmza

Üye : Doç. Dr. Bahadır SAYINCI

İmza :

Üye : Prof. Dr. Ahmet KÜRKLÜ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 21/12/2017 tarih ve 50/28 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİASETAL (POM) MEME PLAKALARINDA PÜSKÜRTME AÇISINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE PÜLVERİZASYON KARAKTERİSTİKLERİ

Mustafa ÇOMAKLI

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makineleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bahadır SAYINCI

Bu çalışmanın amacı; konik hüzmeli meme plakalarında orifis çapı, girdap plaketi ve püskürtme basıncı değişkenlerinin püskürtme açısı, akış katsayısı ve pülverizasyon karakteristiklerine olan etkisini belirlemektir. Denemelerde 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 plaketi kullanılmıştır. Tüm uygulamalar 2, 4, 6, 8 ve 12 bar püskürtme basıncında yapılmıştır. Aynı basınçta en yüksek debi paslanmaz çelikle, en düşük mavi girdap plaketiyle elde edilmiştir. Püskürtme açısı değişiminde meme orifis çapı, girdap plaketi ve püskürtme basıncının etkisi istatistiksel açıdan çok önemli bulunmuştur. Sabit basınçta ve aynı orifiste düşük debi sağlayan meme plakalarında püskürtme açısının arttığı, yüksek debide ise azaldığı saptanmıştır. En yüksek püskürtme açısı mavi girdap plaketine, en düşük paslanmaz çelikte ölçülmüştür. Eğri tahminleme metoduna göre meme orifis çapı ve girdap plaketi kombinasyonlarında püskürtme açısı ve basınç arasında yüksek R^2 'li polinomial fonksiyonlar elde edilmiştir. Standart 3 bar basınç seviyesinde orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm ve 2.4 mm olan meme plakalarında nominal püskürtme açısı sırasıyla 49°-60°, 60°-72°, 74°-85°, 80°-97° ve 89°-101° aralığında değişmiştir. Meme orifis gruplarında püskürtme açısı belirli bir basınç seviyesinin üzerinde stabil bir aralıkta değişmiştir. Orifis çapı 1.0 mm olan meme plakasında püskürtme açısının sabit kaldığı en düşük basınç değeri 6 bar; 1.2 mm ve 1.6 mm orifis çaplı meme plakalarında 4 bar ve 2.0 mm ve 2.4 mm orifis çaplı meme plakalarında 2 bar olarak belirlenmiştir. Orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm ve 2.4 mm olan meme plakalarında ortalama akış katsayısı sırasıyla 0.411, 0.362, 0.285, 0.236 ve 0.201 olarak saptanmıştır. Bu durum meme orifis çapı arttıkça akış katsayısının, buna bağlı olarak meme orifis çıkışında damla hızının azalmasına neden olmuştur. Meme plakası ve girdap plaketi kombinasyonlarda damla hızı 3.63-22.13 m s⁻¹ aralığında değişmiş ve püskürtme basıncı arttıkça damla hızının da arttığı görülmüştür. Konik hüzmeli memelerde 2-12 bar basınç aralığında damla çapının 76.3-219.0 µm aralığında değiştiği ve çoğunlukla çok ince ve kısmen ince ve orta yapılı damlaların üretildiği 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, meme 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 ortalamalar %15.3-%19.9 aralığında değişmiştir. Konik hüzmeli memelerde püskürtme karakteristiklerini tanımlayan değişkenler arasında korelasyon analizi yapılmış ve önemli bulunan değişkenler arasındaki ilişki eşitliklerle gösterilmiştir.

2017, 78 sayfa

Anahtar Kelimeler: Akış katsayısı, damla çapı, damlanın kinetik enerji, sürüklenme, terminal hız

ABSTRACT

MS Thesis

SPRAY CHARACTERISTICS AND FACTORS AFFECTING SPRAY ANGLE OF POLYACETAL (POM) NOZZLE DISCS

Mustafa ÇOMAKLI

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bahadır SAYINCI

The aim of this study was to determine the effect on spray characteristics, discharge coefficient and spray angle of the orifice diameter, cores and spray pressure variables in hollow cone disc-core type spray nozzles. In the trials, nozzle discs of 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm and 2.4 mm orifice diameters; cores with blue colored (2-slot), brown colored (3-slot), yellow colored (2-slot) and stainless steel (2-slot) were used. In the application, spray pressures were 2, 4, 6, 8 and 12 bars. The highest flow rate at equal pressure was obtained with blue core, while the lowest flow rate was provided with stainless steel. The spray angle was significantly affected by orifice diameter, core and spray pressure variables. While the spray angle of the nozzles with low flow rate increased at constant pressure and the same orifice diameter, the spray angle decreased with high flow rate. The highest spray angle was determined with blue core and, the spray angle of the stainless steel core was found to be the lowest. According to the curve estimation method, the polynomial functions with high R^2 between spray angle and pressure in the combination of nozzle orifices and core groups were obtained. At constant spray pressure of 3 bars, the nominal spray angles of the nozzle discs with 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm and 2.4 mm orifice diameters varied between 49°-60°, 60°-72°, 74°-85°, 80°-97° and 89°-101°, respectively. The spray angle varied in a steady range above a certain spray pressure. The lowest spray pressure, spray angle of which varied in a steady range was 6 bars for the nozzle disc of 1.0 mm diameter, 4 bars for the nozzle discs of 1.2 mm and 1.6 mm diameters, and 2 bars for the nozzle discs of 2.0 mm and 2.4 mm diameters. The mean discharge coefficient was determined as 0.411, 0.362, 0.285, 0.236 and 0.201 for the nozzle discs of 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm and 2.4 mm diameters, respectively. This result showed that the nozzle orifice diameter increased, and caused that the droplet velocity at the orifice exit decreased. The droplet velocity varied between 3.63-22.13 m s⁻¹ in the combination of nozzle orifice and core groups, and as the spray pressure increased, droplet velocity increased. The droplet diameter of the hollow cone spray nozzles in the range of 2-12 bars spray pressures was ranged between 76.3-219.0 µm, and produced mostly very fine droplets and relatively fine and medium droplets. Increasing the spray pressure was not found efficient on kinetic energy of droplet at orifice exit of nozzle. But, as the nozzle orifice diameter increased the kinetic energy of droplet decreased. While the terminal velocity of droplet decreased as the spray pressure increased, increasing the nozzle orifice diameter caused the terminal velocity of droplet increased. In the spray pressure of 2 bars, stopping distance of droplet increased. The drift potential mean was found in the range of %8.5-%13.5 for spray pressure of 2 bars, and %15.3-%19.9 for spray pressure of 12 bars. In reference to the results of the correlation analysis between the variables describing the spray characteristics in hollow cone spray nozzles, the relation between variables which was significant was shown with regression equations.

2017, 78 pages

Keywords: Discharge coefficient, droplet diameter, kinetic energy of droplet, drift, terminal velocity

TEŞEKKÜR

Eğitimim boyunca her türlü maddi desteği sağlayan, manevi desteklerini de her zaman yanımda hissettiğim kıymetli aileme ve yüksek lisansa başladığım günden beri tecrübelerini benimle paylaşıp sürekli gelişmemi sağlayan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Bahadır SAYINCI'ya teőekkürü borç bilirim.

Mustafa ÇOMAKLI

Aralık, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. Püskürtme memeleri ve girdap plaketi.....	13
3.1.2. Hidrolik basınç ünitesi.....	14
3.1.3. Debi ölçer.....	15
3.1.4. Görüntüleme laboratuvarı.....	15
3.1.4.a. Püskürtme kolu (bum).....	16
3.1.4.b. Görüntüleme ekipmanları.....	16
3.1.5. Görüntü işleme ve istatistik paket programları.....	18
3.2. Yöntem.....	18
3.2.1. Deneme yeri.....	18
3.2.2. Denemeyi oluşturan faktörler ve değişkenler.....	18
3.2.3. Meme debisinin belirlenmesi.....	19
3.2.4. Püskürtme açısının belirlenmesi.....	20
3.2.5. Akış katsayısının (C_D) belirlenmesi.....	22
3.2.6. Pülverizasyon karakteristiklerinin belirlenmesi.....	22
3.2.6.a. Maksimum damla hızı (V_{max}).....	23
3.2.6.b. Damla çapı ($D_{V0.50}$).....	23
3.2.6.c. Damlanın kinetik enerjisi (E_k).....	24
3.2.6.d. Damlanın terminal hızı (V_t).....	25
3.2.6.e. Damlanın durma mesafesi (D_s).....	25

3.2.6.f. Damlanın sürüklenme potansiyeli (S)	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	27
4.1. Meme Debisi	27
4.2. Girdap Plaketinin Debi Değişimine Etkisi	29
4.3. Püskürtme Açısına Etki Eden Faktörler	30
4.4. Akış Katsayısına Etki Eden Faktörler	35
4.5. Pülverizasyon Karakteristiklerine Etki Eden Faktörler	36
4.5.1. Maksimum damla hızı (V_{max})	38
4.5.2. Damla çapı ($D_{V0.50}$)	40
4.5.3. Damlanın orifis çıkışındaki kinetik enerjisi (E_k)	44
4.5.4. Damlanın terminal hızı (V_t)	46
4.5.5. Damlanın durma mesafesi (D_s)	48
4.5.6. Damlanın sürüklenme potansiyeli (S)	50
4.5.6. Püskürtmeyi tanımlayan değişkenler arasında korelasyon analizi	52
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	55
5.1. Girdap Plaketlerinin Meme Debisine Etkisi	55
5.2. Püskürtme Açısına Etki Eden Faktörler	55
5.3. Akış Katsayısı.....	57
5.4. Pülverizasyon Karakteristikleri	58
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Hidrolik basınç ünitesi (a) tarla pülverizatörü (b) pompanın elektrik motoruyla çalıştırılması.....	14
Şekil 3.2. Debi ölçer	15
Şekil 3.3. Pülverizasyonla ilgili testlerde kullanılan görüntüleme ekipmanları ve püskürtme kolu (a) Görüntüleme ekipmanları ve püskürtme kolu (b) Bazı detay görünümler.....	17
Şekil 3.4. Meme orifis çıkışında püskürtme açısının değişimi.....	20
Şekil 4.1. Debi (q , lt dk ⁻¹) ve basıncın karekökü (P , bar) arasındaki doğrusal ilişkinin girdap plaketlerine göre değişimi (a) orifis çapı: 1.0 mm, (b) orifis çapı: 1.2 mm, (c) orifis çapı: 1.6 mm, (d) orifis çapı: 2.0 mm, (e) orifis çapı: 2.4 mm	28
Şekil 4.2. Püskürtme açısına (α°) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre püskürtme açısının basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre püskürtme açısının meme orifis çapına göre değişimi ($ort \pm 2 \cdot SH$)	32
Şekil 4.3. Akış katsayısının meme orifis çaplarına göre değişimi ($ort \pm SS$) (ortalamalar 2·standart hata değeriyle gösterilmiştir)	36
Şekil 4.4. Orifis çıkışında damla hızına (V_{max} , m s ⁻¹) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre damla hızının basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre damla hızının meme orifis çapına göre değişimi ($ort \pm 2 \cdot SH$)	39
Şekil 4.5. Damla çapına ($D_{V0.50}$, μm) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre damla çapının basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre damla çapının meme orifis çapına göre değişimi ($ort \pm 2 \cdot SH$)	41
Şekil 4.6. Damlanın kinetik enerjisine (E_k , uJ) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre damlanın kinetik enerjisinin basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre damlanın kinetik enerjisinin meme orifis çapına göre değişimi ($ort \pm 2 \cdot SH$).....	45

Şekil 4.7. Damlanın terminal hızına (V_t , m s ⁻¹) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre damlanın terminal hızının basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre damlanın terminal hızının meme orifis çapına göre değişimi ($\text{ort} \pm 2 \cdot \text{SH}$)	47
Şekil 4.8. Damlanın durma mesafesine (D_s , m) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre damlanın durma mesafesinin basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre damlanın durma mesafesinin meme orifis çapına göre değişimi ($\text{ort} \pm 2 \cdot \text{SH}$)	49
Şekil 4.9. Sürüklenme potansiyeline (S , %) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre sürüklenme potansiyelinin basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre sürüklenme potansiyelinin meme orifis çapına göre değişimi ($\text{ort} \pm 2 \cdot \text{SH}$).....	51
Şekil 4.10. Bağımlı değişken olarak püskürtme açısı, sürüklenme ve damla kinetik enerjisinin bazı bağımsız değişkenlerle olan ilişkisi.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Denemelerde kullanılan meme plakaları ve girdap plaketi 13
Çizelge 3.2.	Pülverizasyonda damla çapı ($D_{V0.50}$, μm) kategorisi (ASABE S572.1 standardına göre sınıflandırma)..... 24
Çizelge 4.1.	Meme plakalarında meme debisinin girdap plaketi ve işletme basıncına göre değişimi ($\text{ort}\pm\text{SS}$, $n=5$) 27
Çizelge 4.2.	Meme plakalarında kullanılan girdap plaketi debisine (q , lt dk^{-1}) etkisi ($\text{ort}\pm\text{SS}$) 29
Çizelge 4.3.	Meme plakalarında püskürtme açısına etki eden faktörlerin varyans analizi sonuçları 30
Çizelge 4.4.	Meme plakalarında püskürtme basıncı ve girdap plaketi püskürtme açısına (α°) etkisi ($\text{ort}\pm\text{SS}$) 31
Çizelge 4.5.	Püskürtme basıncı ve püskürtme açısı arasındaki polinomial ilişki (y : püskürtme açısı, $^\circ$; x : püskürtme basıncı, bar)..... 33
Çizelge 4.6.	Meme plakalarında 3 bar basınçta tahminlenen nominal püskürtme açısı (α°) ve püskürtme açısının stabil kaldığı en düşük püskürtme basıncı (bar)..... 34
Çizelge 4.7.	Meme plakalarında kullanılan girdap plaketi akış katsayısına (C_D) etkisi ($\text{ort}\pm\text{SS}$)..... 35
Çizelge 4.8.	Pülverizasyon karakteristiklerine etki eden değişkenlerin varyans analizi sonuçları 37
Çizelge 4.9.	Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının orifis çıkışındaki damla hızına (V_{max} , m s^{-1}) etkisi ($\text{ort}\pm\text{SS}$) 38
Çizelge 4.10.	Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının damla çapına ($D_{V0.50}$, μm) etkisi ($\text{Ort}\pm\text{SS}$) 40
Çizelge 4.11.	Damla çapı ($D_{V0.50}$, μm) ve püskürtme basıncı (P , bar) değişkenleri arasında regresyon analizi sonuçları ve elde edilen üssel fonksiyonlar 42

Çizelge 4.12.	Meme orifis çapı ve girdap plaketi kombinasyonlarında belirlenen damla çapının ($D_{V0.50}$, μm) püskürtme basıncına göre değişimi	43
Çizelge 4.13.	Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının damlanın orifis çıkışında kazandığı kinetik enerjiye (E_k , μj) etkisi ($\text{ort}\pm\text{SS}$).....	44
Çizelge 4.14.	Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının damlanın terminal hızına (V_t , m s^{-1}) etkisi ($\text{ort}\pm\text{SS}$).....	46
Çizelge 4.15.	Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının damlanın havada durma mesafesine (D_s , m) etkisi ($\text{ort}\pm\text{SS}$).....	48
Çizelge 4.16.	Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının sürüklenme potansiyeline (S , %) etkisi ($\text{ort}\pm\text{SS}$).....	50
Çizelge 4.17.	Püskürtme karakteristiğini tanımlayan değişkenler ve korelasyon analizi	53

1. GİRİŞ

Kültür bitkilerine zarar veren etmenlerin kimyasal mücadelesinde kullanılan pestisitler püskürtme yoluyla hedefe taşınmaktadır. Pestisit uygulamalarında etken maddenin hedefe homojen bir şekilde taşınması, hedef yüzeyde tutunması, ilaç dağılımındaki varyasyonun ve sürüklenme düzeyinin minimize edilmesi ve önerilen dozda maksimum biyolojik etkinliğin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla kullanılan pülverizatörlerin tasarım özellikleri ve işletme parametreleri tarımsal mücadelenin başarısını etkilemektedir.

Pülverizasyonda damla oluşumu, damlanın hedefe taşınması ve etken maddenin yüzeyde tutunmasını etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Pestisit uygulamalarında pülverizasyonu sağlayan meme tipi, orifis ölçüsü, püskürtme açısı, konum açısı, püskürtme yüksekliği ve meme arası mesafeye bağlı yapısal özellikler; yardımcı hava akımlı ünitelerde hava hızı, hava debisi ve hava yönüyle ilgili mühendislik parametreleri; uygulama hacmi, ilerleme hızı ve püskürtme basıncına bağlı işletme parametreleri; pestisit uygulama zamanında hava sıcaklığı, hava nemi, rüzgar hızı ve rüzgar yönüne bağlı meteorolojik etmenler; yaprak ilaçlamasında bitki boyu, yaprak yüzey özelliği ve yaprak alan indeksine bağlı bitkisel özellikler ve püskürtülen sıvının viskozitesi, yoğunluğu, sıcaklığı ve yüzey gerilimine bağlı fiziksel özellikler pestisit uygulama performansını etkileyen faktörlerdir (Hoffmann and Salyani 1996; Panneton *et al.* 2000; Zhu *et al.* 2002; Bayat and Bozdoğan 2005). Bu faktörlerin birbirleri arasındaki etkileşimin güçlü olması pestisit uygulama işini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle pestisit uygulama tekniğinin çok geniş bir yelpazede incelenmesi gerekmektedir.

Pülverizasyon sonucu oluşan damlaların belirli bir yörüngede hedefe taşınma enerjilerinin zayıf olması ve sürüklenme nedeniyle hedef dışına taşınması pestisit kayıplarını arttırdığından uygulama etkinliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda yetiştirme dönemi boyunca daha fazla ilaçlamaya gereksinim duyularak bilinçsizce aşırı dozda pestisit tüketilmektedir. Bu durumda üretim maliyeti artmakta, bitkide fitotoksitite riski oluşmakta, çevre, toprak ve yeraltı su kaynaklarında kirlilik

sorunu oluşmakta, zararlılar direnç geliştirmekte, çoğu etkisiz zararlı ana zararlı konumuna geçmekte, doğayla barışık etmenlerin yok edilmesiyle denge bozulmakta, tarım ürünlerinde pestisit kalıntısı oluşmakta, tarım ürünlerinin ihracatını sınırlandırmakta ve insan sağlığını tehdit etmektedir (Coates 1996; Coates and Palumbo 1997; Yıldırım 2000; Sidahmed *et al.* 2004).

Pülverizatörlerde karışımın damlalar halinde hedefe taşınması, damlanın yüzeyde tutunması, damlanın penetrasyonu, yüzeyi kaplayabilmesi ve sürüklenme direnci öncelikle damla çapına bağlıdır (Bode *et al.* 1983; Nuyttens *et al.* 2007). Pülverizasyonda çok büyük ya da çok küçük ölçülü damlaların oluşması uygulamanın başarısını sınırlandırabilmektedir. Büyük çaplı damlalarla yapılan uygulamalarda sürüklenme sorunu minimize edilebilmekte (Bode *et al.* 1983) ancak hedef yüzeyde tutunma ve örtme sorunu olabilmektedir (Smith *et al.* 2000). Küçük çaplı damlalarla yapılan uygulamalarda damla taşınma enerjisi düşük olduğundan havada asılı kalabilmekte, hedefe ulaşmadan buharlaşabilmekte (Bayat and Bozdoğan 2005) veya rüzgar nedeniyle hedef dışına taşınabilmektedir (Bode *et al.* 1983). Bu nedenlerden ötürü ilaç uygulamalarında pülverizasyonun optimum ölçülerde oluşması, sürüklenme nedeniyle oluşan çevre kirliliği ve pestisit uygulama etkinliği açısından önem taşımaktadır.

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 memeyi terk eden sıvı şeridi, kazandığı enerjiyle parçalanmakta ve sonuçta damla oluşumu gerçekteşmektedir. Bu esnada oluşan damlaların hızı 10 m s^{-1} 'ye ulaşabilmektedir (Almekinders *et al.* 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 *et al.* 1993).

Tarımsal ilaç uygulamalarında pestisitlerin sürüklenme etkisiyle hedefin dışına taşınması konunun temelde ticari, çevresel ve uygulayıcıya olan olumsuz etkileri yönünden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. İlaçlama anında sürüklenme, “airborne drift” olarak anılan hava kaynaklı sürüklenme ve “sedimentasyon drift” olarak anılan çökelme sürüklenmesi olmak üzere iki yolla gerçekleşmektedir. Buharlaşmayla oluşan sürüklenme, uygulama sırasında meteorolojik etmenlere bağlı olarak pülverizasyon sonucu oluşan küçük çaplı damlaların hedefe ulaşmadan buharlaşması ve atmosfere karışmasıyla gerçekleşmektedir. Damlacık sürüklenmesi ise rüzgar hızına ve yönüne bağlı olarak damlaların hedefin dışında toprak yüzeyine taşınmasıyla oluşmaktadır (Miller 2003). Pülverizasyon sonucu 100 µm’den daha küçük çaplarda oluşan damlalar gerçek anlamda sisleme gibi yoğun konsantrasyonda olmadıkça gözle görülebilmesi zor olan sürüklenmeye elverişli damlalardır. Bu nedenle rüzgar nedeniyle oluşan hava türbülanslarından kolayca etkilenebilen küçük çaplı damlalar havada asılı kalabilmekte veya rüzgarla birlikte hedef dışına kolayca sürüklenmektedir.

Pülverizatörlerde yaygın olarak standart yelpaze hüzmeli memeler kullanılmaktadır. İnce yapılı damlalar üreten bu tip standart memelerin yabancı ot mücadelesinde kullanılması tavsiye edilirken, zararlı ve hastalık etmenlerine karşı da kullanılabilir (Zhu *et al.* 2004). Püskürtme açısı 65°-130° arasında değişmekte olup yaygın olarak 80°, 110° ve 120° açılı memeler kullanılmaktadır. Bum kolu üzerinde çoğunlukla 50 cm aralıklarla yerleştirilen standart memelerde püskürtme açısı 80°’den büyük olanlar yüzeysel uygulamalar için elverişli olurken, püskürtme açısı dar olanların şeritsel uygulamalarda kullanılması tavsiye edilmektedir. Yüzeysel uygulamalarda dar hüzmeye açılı memelerin uzun boylu bitkilerde damla penetrasyonunu arttırmak amacıyla kullanıldığı bildirilmiştir (Matthews *et al.* 1994; Matthews 2004). Buna karşı, meme hüzmeye açısı daraldıkça bindirme azaldığından daha yüksekten püskürtme yapılması gerekmektedir. Ayrıca yüksekten yapılan ilaçlama, damlaların sıcaklık etkisiyle buharlaşmasına, rüzgar ve türbülanslı hava akımı etkileriyle sürüklenmenin ve pestisit kayıplarının artmasına neden olabilmektedir (Dursun vd 2000). Hidrolik memelerde orifis geometrisine göre hüzmeye açısı arttığında sabit basınçta orifisten çıkan sıvı filmi inceleyerek parçalanma direnci azalmakta ve ince yapılı damlalar oluşmaktadır. Bu tip memelerde yükseklik arttıkça ilaç

damlalarının hedefe taşınma enerjisi azaldığından buharlaşma ve sürüklenme nedeniyle pestisit kayıpları artmaktadır. Hüzme açısı geniş olan hidrolik memelerde sürüklenmeyi azaltmak için püskürtme mesafesinin azaltılması gerekmektedir. Bu gerekçeler doğrultusunda meme seçiminde daha çok geniş hüzme açılı memelerin kullanımına yönelik genel bir eğilim bulunmaktadır (Matthews 2004). Püskürtme açısı 80° olan memelerle püskürtme yüksekliğinin 60-90 cm aralığında ve 110° olan memelerle 50-70 cm (Hardi® 2010; Albuz® 2013; Teejet® 2014; Hypro® 2017; Arag® 2017) aralığında ayarlanması tavsiye edilmiştir. Üretici firmalara göre optimum işletme basıncı 2.0-4.0 bar (Albuz® 2013; Teejet® 2014; Hypro® 2017) aralığında; 1.5-5.0 bar (Hardi® 2010) aralığında ve 1.5-7.0 bar (Arag® 2017) aralığında bildirilmiştir.

Konvansiyonel pestisit uygulamalarında etkili bir ilaçlama için püskürtme basıncının düşürülmesi önerilmiştir (Matthews 2004). Yürütülen bir araştırmada XR8004 ölçülü standart yelpaze hüzmeli memede püskürtme basıncı arttıkça hacimsel dağılım düzgünlüğünün bozulduğu belirlenmiştir. Püskürtme basıncı 104.0, 207.0, 311.0 ve 380.0 kPa işletme basınçlarında en uygun püskürtme yüksekliği sırasıyla 48, 38, 38 ve 36 cm olarak belirlenmiştir (Krishnan *et al.* 1988). 6505, 8001 ve 8003 nominal ölçülü standart memelerde ise dağılım düzgünlüğü püskürtme basıncıyla birlikte artmış, %CV sadece düşük basınçlarda (207 kPa'dan küçük) %10'un üzerinde bulunmuştur (Azimi *et al.* 1985). Benzer şekilde orifis ölçüleri farklı olan hava emişli memelerde hacimsel dağılım düzgünlüğünün basınç artışıyla birlikte iyileştiği saptanmıştır (Womac *et al.* 2001). TJ60-8004 ölçülü çift akışlı memede ise varyasyon katsayısı (CV) 139, 209, 313 ve 382 kPa basınçlarda sırasıyla %11.5, %12.9, %10.0 ve %9.6 olarak bulunmuştur (Krishnan *et al.* 1993). XR11004 ölçülü memede ise 138, 276 ve 414 kPa püskürtme basınçlarında belirlenen CV ortalamalarının anlamlı olmadığı belirlenmiştir (Wang *et al.* 1995).

Pülverizatörlerde yaygın olarak kullanılan bir diğer meme tipi disk şeklinde konik hüzmeli meme plakaları olup, içi boş hüzme şeklinde desen oluşturmakta ve bir girdap plaketiyle birlikte kullanılmaktadır. Bu tip memeler ince yapılı damlalar oluşturduğundan damlaların kaplama oranı yüksek olmaktadır. İnsektisit ve fungusit uygulamalarında tercih edilen bu tip memeler yüzeysel ilaçlamadan daha çok şeritsel uygulamalarda da

kullanılması tavsiye edilmektedir. Yapısal olarak meme plakası ve girdap plaketenin oluşan bu tip memelerde sıvı meme plakasına girmeden önce bir girdap plaketi veya yivli bir gövdeden geçerek dönü hareketi kazanmakta ve meme plakası deliğinden çıkan ince sıvı şeridi, eksenel ve teğetsel hız bileşenlerinin etkisiyle içi boş konik hüzmeye şeklini almaktadır (Dursun vd 2000). Günümüzde yerli üretimde Cr-Ni alaşımlı paslanmaz çelikten ve poliasetal malzemeden üretilen memelerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Konik hüzmeli memelerde optimum püskürtme basıncı aralığı Arag® (2004) tarafından 3-6 bar olarak bildirilmiştir. Seramikten üretilen meme plakaları çoğunlukla bahçe uygulamalarında kullanılan pülverizatörlerde tercih edilmekte ve optimum püskürtme basıncının 0.7-20 bar aralığında (Albuz®, 2009; Teejet®, 2014) değiştiği belirtilmiştir.

Konik hüzmeli memelerin ucuz ve kolay tedarik edilmeleri, ince yapılı damlalar üretmesi, yüzey kaplama oranının yüksek olması, montajı için özel bir donanımı gerektirmemesi, şeritsel uygulama tekniğine elverişli olması ve yüksek basınçlarda kullanım avantajının olması kullanıcının tercih unsurlarını oluşturmaktadır. Günümüzde standart tip yelpaze hüzmeli meme tipleri için meme gövde rengi, meme debisi, nominal basınç ve püskürtme açısı değişkenleri standartlaştırılmıştır. Ancak konik hüzmeli memelerde orifis çapı dışında meme debisi ve püskürtme açısıyla ilgili geliştirilmiş bir standart bulunmamakta ve gerek çiftçi düzeyinde gerekse bilimsel araştırmalar kapsamında başvuru niteliğinde kullanmak üzere referans değerlere rastlanmamıştır. Tarla, bağ ve bahçe uygulamalarında olmak üzere geniş kullanım alanına sahip olan konik hüzmeli memelerin işletme özelliklerinin bilinmesi pülverizatörün kalibrasyonu açısından önem taşımaktadır. Püskürtme açısı, pülverizatörün bum yüksekliğini tayin etmede başvuru ilk ve tek püskürtme karakteristiğidir. Bunun yanı sıra şeritsel pestisit uygulamalarında püskürtme açısının bilinmesi memenin şeritsel hat üzerinde doğru konumlandırılması ve meme sayısının tespit edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu konudaki araştırmalar incelendiğinde konik hüzmeli memelerde püskürtme açısıyla ilgili bir bilgiye rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı; konik hüzmeli memelerde orifis çapı, girdap plaketi ve basıncın püskürtme açısına olan etkisini incelemek, püskürtme özellikleriyle

ilgili başvuru niteliğinde veri seti oluşturmak ve pülverizasyon karakteristiklerini ortaya koymaktır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Azimi *et al.* (1985)'un araştırmalarında yüzeysel ilaçlama yapan bazı hidrolik memelerde bağlantı açısı, püskürtme yüksekliği, işletme basıncı ve meme kapasitesinin hacimsel dağılım düzgünlüğüne etkileri incelenmiştir. Hacimsel dağılım düzgünlüğünü belirlemede 3 cm aralıklı 80 kanallı galvanizli saçtan imal edilmiş paternatör kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre hacimsel dağılım düzgünlüğünün püskürtme yüksekliği ve işletme basıncındaki artışla iyileştiği saptanmıştır. Sabit püskürtme yüksekliğinde (51 cm) meme konum açısının 0°'den 30°'ye arttırılması hacimsel dağılım düzgünlüğünü iyileştirmiştir. Ayrıca meme orifis ölçüsü arttığında hacimsel dağılım düzgünlüğünün arttığı belirlenmiştir. Yelpaze hüzmeli memeler için 207 kPa işletme basıncının altında yapılan denemelerde 51 cm sabit meme aralığında hacimsel dağılım düzgünlüğü %10'dan daha büyük bulunmuştur. Buna göre meme aralığının 51 cm'den daha düşük olması durumunda püskürtme yüksekliği ve basınçtaki olası iniş-çıkışlara karşı daha az duyarlılık göstererek hacimsel dağılımın daha düzgün olabileceği sonucuna varılmıştır.

Krishnan *et al.* (1988)'un araştırmalarında işletme basıncına (104-207-311-380 kPa) bağlı olarak XR8004 ölçülü yelpaze hüzmeli memede (Spraying System Co.) sürüklenme potansiyeli ve hacimsel dağılım düzgünlüğü incelenmiştir. Sürüklenme düzeyi aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmıştır.

$$SPD (\%) = \frac{\sum_{n=1}^N (Vnw(n) + Vw(n))}{\sum_{n=1}^N Vnw(n)} 100$$

SPD : sürüklenme düzeyi, %

N : püskürtme genişliği boyunca örnek (toplama silindiri) sayısı

Vnw(n): rüzgarsız koşulda püskürtme genişliği boyunca n.'inci örneğin hacmi

Vw(n) : rüzgarlı koşulda püskürtme genişliği boyunca n.'inci örneğin hacmi

Sürüklenme ölçümleri için rüzgar ortamı simüle edilmiş ve bu amaçla aksiyal fanlar kullanılmıştır. Rüzgar yönü, ilerleme yönüne zıt (V_{ort} : 2.68 m s^{-1}) ve bum eksenine paralel doğrultuda (V_{ort} : 2.23 m s^{-1}) seçilmiştir. Deneme için püskürtme hattına 51 cm aralıklarla üç adet meme monte edilmiş ve ilaçlama genişliği boyunca paternatörün 102 cm genişliğinden ölçümler alınmıştır. Püskürtme yüksekliği her işletme basıncı için değiştirilmiştir. Bunu önceden tayin etmek için farklı basınçlarda hacimsel olarak en düzgün dağılımı sağlayan mesafeler belirlenmiştir. Buna göre 104, 207, 311 ve 380 kPa işletme basınçlarında ilaçlama yükseklikleri sırasıyla 48, 38, 38 ve 36 cm olarak belirlenmiştir. Buna göre işletme basıncı arttıkça hacimsel dağılım düzgünlüğü bozulmuş ve ilaçlama yüksekliğinin azaltılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Rüzgarın ilerleme yönüne zıt olması durumunda hacimsel dağılım düzgünlüğü basınç artışıyla birlikte bozulurken (%10.1-%21.1), sürüklenme düzeyi en düşük (%11.6) 311 kPa işletme basıncında bulunmuştur. Rüzgar yönünün bum eksenine paralel doğrultuda olması durumunda hacimsel dağılım düzgünlüğü basınç artışıyla birlikte artmış (%11-%6), sürüklenme düzeyi ise azalmıştır (%12.9-%9.1). Rüzgarın her iki yönde olması durumunda hacimsel dağılım düzgünlüğü basınç artışıyla birlikte bozulmuş (%11.9-%20.7), sürüklenme düzeyi en düşük (%11.2) 207 kPa işletme basıncında bulunmuştur (Krishnan *et al.* 1988).

Wang *et al.* (1995), laboratuvar ortamında simüle edilen düzenekte Teejet XR11004 (Spraying Systems Co., Wheaton, III.) ölçülü standart yarıklı tip yelpaze hüzmeli memede işletme basıncı (138 kPa, 276 kPa, 414 kPa), püskürtme yüksekliği (30.5 cm, 38.1 cm, 45.7 cm) ve meme malzemesinin (pirinç, sertleştirilmiş paslanmaz çelik, seramik, polimer, paslanmaz çelik) hacimsel dağılım düzgünlüğüne etkilerini araştırmışlardır. Denemelerde püskürtme hattına üç adet meme (meme arası mesafe: 51 cm) bağlanmış ve örnekleme için bumun altına üç farklı yükseklikte şerit tipi toplayıcıların yer aldığı hareketli bir deney düzeneği yerleştirilmiştir. Püskürtme sıvısı olarak “Rhodamine WT” adıyla anılan fluoresans renk maddesi (100 ppm konsantrasyonda) kullanılarak toplanan örneklerin analizi fluorometrik esaslara göre yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre işletme basıncının hacimsel dağılım düzgünlüğüne etkisi istatistiksel olarak önemsiz olurken, püskürtme yüksekliğinin etkisi

çok önemli bulunmuş ve en düşük varyasyon 38.1 cm yükseklikte sağlanmıştır. Meme malzemesi olarak metal olmayan memelerde varyasyonun daha düşük olduğu saptanmıştır. Varyasyon katsayısı küçükten büyüğe doğru sırasıyla %9.6 (seramik), %10 (polimer), %11.6 (sertleştirilmiş paslanmaz çelik), %11.9 (paslanmaz çelik) ve %11.9 (pirinç) olarak bulunmuştur.

Dursun vd (2000), araştırmalarında farklı firmalara ait paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş içi boş konik hüzmeli meme plakalarında (orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm, 1.5 mm) delik çapı, meme debisi ve hacimsel dağılım düzgünlüğündeki farklılıkları belirlemişlerdir. Bir tarayıcıyla bilgisayara aktarılan meme plakalarına ait görüntüler boyut analizine tabi tutulmuş ve beş ayrı noktadan çap ölçümü yapılmıştır. Meme debisi 6 ve 8 bar basınçlarda ölçülmüştür. Hacimsel dağılım düzgünlüğünün belirlenmesinde bir paternatör kullanılmış ve 8 bar sabit basınçta ve 50 cm sabit püskürtme yüksekliğinde ölçümler yapılmıştır. Firmalara göre sırasıyla ölçülen çap ve hacimsel dağılım düzgünlüğü (%CV), orifis ölçüsü Ø1 mm olarak bildirilen meme plakalarında 0,904-0,973 mm (%31,9-%44,1) ve 0,989-1,047 mm (%29,4-%45,3) arasında; orifis ölçüsü Ø1,2 mm olarak bildirilen meme plakalarında 1,133-1,169 mm (%33,2-%38,4) ve 1,193-1,238 mm (%25,7-%44,4) arasında; orifis ölçüsü Ø1,5 mm olarak bildirilen meme plakalarında 1,444-1,605 mm (%31,3-%40,4) ve 1,504-1,603 mm (%27,0-%47,0) arasında değişkenlik göstermiştir. 6 ve 8 bar çalışma basınçlarında meme debisi sırasıyla orifis ölçüsü Ø1,0 mm olan meme plakalarında 0,690-0,710 l/min ve 0,804-0,815 l/min; orifis ölçüsü Ø1,2 mm olan meme plakalarında 0,800-0,947 l/min ve 0,921-1,070 l/min; orifis ölçüsü Ø1,5 mm olan meme plakalarında 1,119-1,210 l/min ve 1,361-1,405 l/min olarak ölçülmüştür. Ölçülen çaplar arasındaki varyasyon %0.992-%5.286 arasında değişmiştir. Firmaların bildirdiği delik çapları arasında önemli farklılıkların olduğu belirlenmiş ve plaka deliklerinin yeterli düzgünlükte olmadığı, kenarlarında çapak ve havşaların bulunduğu saptanmıştır. Meme debilerine ilişkin varyasyon katsayısı plaka grupları ve basınca bağlı olarak %1.1-%3.8 arasında değişmiştir.

Sehsah and Kleisinger (2009) çalışmasında pestisitlerin hedef dışı taşınmasına neden olarak bum yüksekliği, rüzgâr hızı ve püskürtme basıncı gösterilmektedir. Bu çalışmada çapraz rüzgarların ilaç taşınmasındaki etkisini araştırarak, rüzgâr hızının püskürtme modeli üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Denemelerde IDKN 120-04, AD 110-03, TT 11003 Turbo Jet ve ATR 208 (Albuz) püskürtme memeleri kullanılmıştır. Çalışmada farklı basınçlarda (3, 4 ve 5 bar) uygulanan sıvı, rüzgar tünelinin sonunda 3 metre genişliğindeki 150 adet toplama silindirinde toplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde IDKN 120-04 numaralı memenin diğerlerine oranla daha az rüzgardan etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca bum yüksekliğinin hacimsel dağılım düzgünlüğü üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır.

Sayınç ve Bastaban (2011), araştırmalarında standart yelpaze hüzmeli, konik hüzmeli, hava emişli ve çift akışlı hidrolik memeler, döner diskli meme ve yardımcı hava akımlı püskürtme başlığı olmak üzere altı farklı pestisit uygulama ekipmanı kullanılmış ve damla taşınma etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Araştırma sonunda hava emişli ve çift akışlı hidrolik memelerde uygulanan sıvı hacminin %80-%99.5 aralığında hedefe taşındığı saptanmıştır. Bu oranlar, standart yelpaze ve konik hüzmeli memelerde %66-%78 aralığında değişirken, döner diskli memede %44-%51, yardımcı hava akımlı püskürtme başlığında %63-%64 aralığında belirlenmiştir. Patates bitkisinde yaprak üstüne taşınan damlalar en yüksek hava emişli (%50) ve çift akışlı (%48) hidrolik memelerle sağlanmıştır. Yardımcı hava akımlı püskürtme başlığında damla taşınma etkinliği (%23), diğer uygulamalara göre daha düşük bulunmuştur. Damlaların yaprak altına taşınma etkinliği en yüksek yardımcı hava akımlı uygulamayla (%14) sağlanmıştır.

Sayınç vd (2013) tarafından yürütülen bir çalışmada konik hüzmeli meme plakalarında girdap plakalarının hacimsel dağılım düzgünlüğünü ve meme debisini değiştirdikleri saptanmıştır. Denemelerde 27 farklı girdap-meme kombinasyonu oluşturulurken her bir meme 1-12 bar işletme basıncı aralığında debi ölçümüne tabi tutulmuştur. Girdap plakalarının memenin püskürtme karakteristiğini değiştirdiği saptanmıştır. Memeler damla boyutu yönünden incelendiğinde aynı işletme koşullarında konik hüzmeli memelerin yelpaze hüzmeli memelere göre daha küçük çaplı damlalar ürettiği tespit

edilmiştir. Orifis çapı küçük olan memelerde dağılım düzgünlüğünün tam anlamıyla gerçekleşebilmesi için gereken işletme basıncının büyük orifis çaplı memelere oranla daha büyük olduğu saptanmıştır.

Minov *et al.* (2014) tarafından yürütülen araştırmada değişik işletme özelliklerine sahip beş farklı hidrolik memenin (Albuz ATR turuncu ve kırmızı, Teejet XR 11001, XR 11004 ve Al 11004) dağılım düzgünlüğünü 3 cm aralıklı ve %5 eğimi olan bir paternatör kullanarak belirlemiştir. Çalışmada püskürtme yüksekliği 15 cm, 30 cm ve 50 cm olarak ayarlanmış ve uygulamalar 4, 6 ve 8 bar basınçta yapılmıştır. Analizler sonucunda bum yüksekliğinin memelerin püskürtme paternini önemli derecede etkilediği saptanmıştır. Ayrıca yerçekiminin etkisiyle püskürtme geometrisinin parabolik olduğu gözlemlenmiştir. Bu ölçümlere ek olarak püskürtme memeleri ayrıca 5 cm, 10 cm, 15 cm ve 20 cm bum yüksekliğinden sabit basınçta uygulanmıştır. Uygulama sonunda sonuçlar karşılaştırıldığında en geniş püskürtme genişliği 15 cm bum yüksekliğinde 65 cm olarak standart yelpaze hüzmeli memeden elde edilmiştir.

Sayınacı ve Kara (2015) tarafından yürütülen araştırmada dört farklı süzgecin (yarıklı süzgeç, çek valfli silindirik süzgeç, yuvarlak ve silindirik) pülverizatör memelerinin bazı işletme karakteristikleri üzerine olan etkileri incelenmiştir. Kullanılan memeler süzgeçli ve süzgeçsiz olarak değişik kombinasyonlarla 5 farklı basınçta (1.5, 3.0, 4.0, 6.0 ve 8.0 bar) test edilmiştir. Süzgeç, meme ve basınç kombinasyonları ile debi arasındaki ilişki üssel regresyon eşitliği (P) olarak verilmiştir. Meme debisi ile basınç arasındaki ilişki ise orifis katsayısıyla (*k*) birlikte verilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında çek valfli silindirik süzgecin akış katsayısının diğer süzgeçlere ve süzgeçsiz kullanıma göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Sabit işletme basıncında püskürtülen meme ve süzgeç kombinasyonları birbirinden farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca çek valfli süzgeçlerin memelerde $\pm\%10$ 'luk olan nominal debiden sapma oranı limitini aştığı belirtilmektedir.

Çelen (2016) hava emişli yelpaze hüzmeli memelerle (AIXR110, 015-02-04-05) sabit konumda paternatörde yapılan ölçümlerde en düşük varyasyon katsayısının (%CV) 70 cm

püskürtme yüksekliğinde elde edildiğini ve varyasyonun %5.1-%7.9 aralığında değiştiğini saptamıştır. Hüzme açısı 110° olan standart yelpaze hüzmeli memede (XR, 04) en uygun püskürtme mesafesinin 40 cm olduğu bildirilmektedir. Hava emişli ve standart yelpaze hüzmeli memelerle farklı ilerleme hızlarında (12.9, 19.3 ve 25.7 km h^{-1}) yürütülen denemelerde yüzey kaplama oranının değişmediği belirlenmiştir.

Višacki *et al.* (2016) tarafından yürütülen çalışmada meme orifis ölçüsü 120-04 olan standart, hava emişli ve çift akışlı yelpaze hüzmeli memelerin farklı püskürtme yüksekliği (40, 50 ve 60 cm) ve işletme basınçlarında (200, 250, 300, 350, 400 ve 450 kPa) hacimsel dağılım (%CV) düzgünlüğü belirlenmiştir. Tüm denemelerde %CV ortalamalarının %10 sınırının altında olduğu ve en düşük %CV'nin hava emişli yelpaze hüzmeli memeyele sağlandığı belirlenmiştir. En yüksek %CV, %8.5-%7.2 aralığında standart memede elde edilmiştir. Püskürtme yüksekliği arttıkça hacimsel dağılımın iyileştiği belirlenirken, hava emişli memede işletme basıncı arttıkça %CV'nin artma eğiliminde olduğu saptanmıştır. Bu nedenle hava emişli memelerde işletme basıncının orta seviyede seçilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Sayınacı (2016a; 2016b), meme orifisinin düzgün olmaması durumunda hacimsel dağılım düzgünlüğünün bozulduğunu ve Eliptik Fourier analiziyle orifisteki hataların tespit edilebileceğini belirtmektedir. Kapalı kontura sahip meme orifisinin şekli matematiksel bir modelle tanımlandığı ve elde edilen katsayıların temel bileşenler analizine tabi tutularak bileşen skorlarının oluşturulduğu ve ortaya çıkarılan bu skorların görselleştirilerek orifis geometrisi farklı olan memelerin saptanabileceği belirtilmiştir.

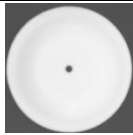



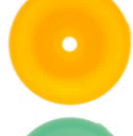

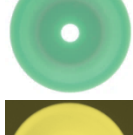


3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Püskürtme memeleri ve girdap plakeleri

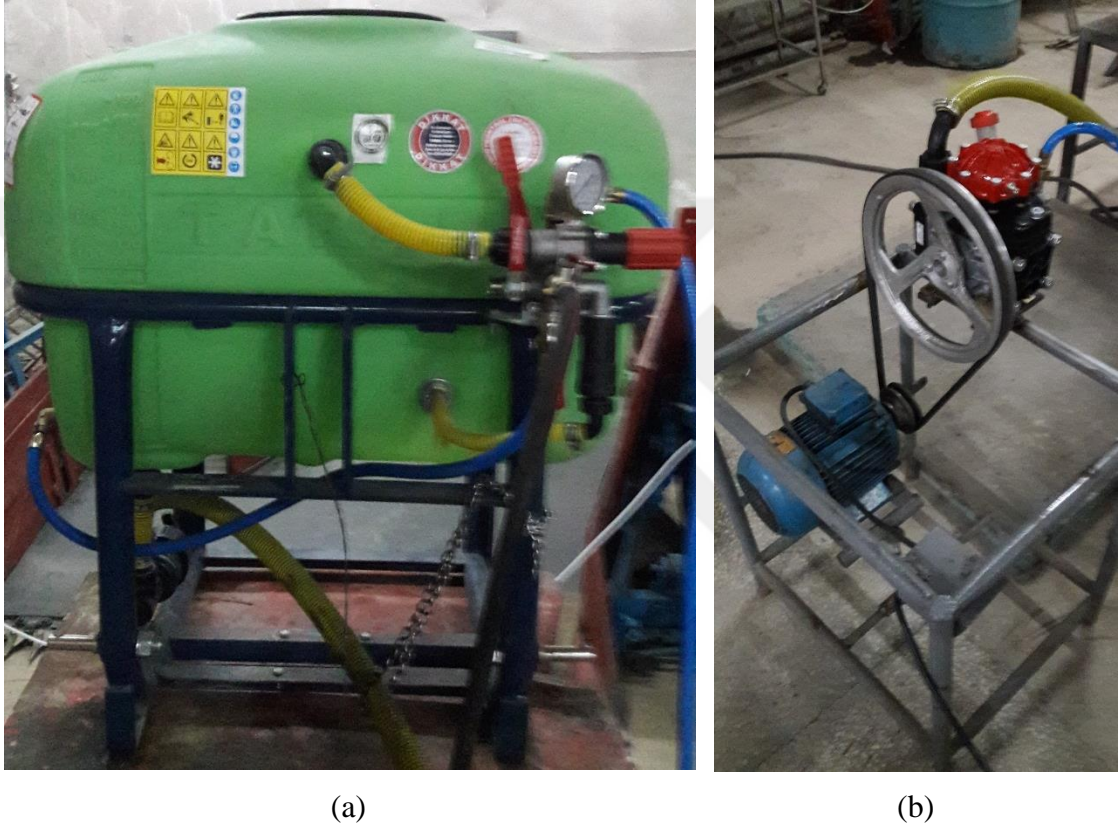
Denemelerde orifis çapları 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm ve 2.4 mm olan poliasetal (POM) malzemeden üretilmiş içi boş konik hüzmeli meme plakaları kullanılmıştır. Her bir orifis grubundan şansa bağlı olarak 5 adet meme plakası seçilmiştir. Denemelerde her bir meme plakasında değişken olarak üretim yeri, girdap sayısı veya malzeme yönüyle farklı özelliklere sahip 4 adet girdap plaketi kullanılmıştır. Ayırt ediciliği sağlamak için her bir girdap plaketi renk kodları ya da malzemeye göre adlandırılmış ve bazı teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan meme plakaları ve girdap plakeleri

Meme plakaları		Girdap plakeleri		
Orifis çapı (Ød)	Meme plakası	Renk kodu/Malzeme (Girdap sayısı, malzeme)	Üretim	Girdap plaketi
1.0 mm		Mavi (2-slot, POM)	İthal (C23)	
1.2 mm		Kahverengi (3-slot, POM)	Yerli	
1.6 mm		Sarı (2-slot, POM)	Yerli	
2.0 mm		Paslanmaz çelik (2 slot, P.çelik)	Yerli	
2.4 mm				

3.1.2. Hidrolik basınç ünitesi

Hidrolik basınç enerjisi 200 litre depo kapasiteli konvansiyonel bir tarla pülverizatörüyle sağlanmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Hidrolik basınç ünitesi (a) tarla pülverizatörü (b) pompanın elektrik motoruyla çalıştırılması

Basma hattının bağlandığı basınç regülatörü (mak. 40 bar, 90 lt dk⁻¹, RG-7 Model) üzerinden işletme basıncını kontrol etmek için maksimum 25 bar göstergeli gliserin dolgulu bir manometreden (Pakkens® Model, TR) yararlanılmıştır. Polietilen depo içindeki akışkanı püskürtme hattına göndermek için pülverizatörün kendi pompası (TAR30 piston-membranlı, çift pistonlu, 40 kg cm⁻² anma basıncı, 30 lt dk⁻¹ anma debisi, %67 verim, Taral®, TR) kullanılmıştır. Ancak uzun süreli çalışmadan dolayı pompa pülverizatör çatısından sökülmüş ve pompa mili elektrik motorundan (2.2 kW, 1405 dk⁻¹, AGM 100L 4a tip, Gamak, TR) hareketini alan kayış-kasnak tahrikli bir mekanizmaya

monte edilmiştir. Optik bir takometre (Testo 465, KGaA) kullanılarak pompa milinin 500 dk^{-1} ile çalıştığı saptanmıştır.

3.1.3. Debi ölçer

Meme debisi, dijital göstergeli sensörlü tip bir debi ölçerle (Sprayer Calibrator, SpotOn®, Model: SC-1, IL, ölçüm hassasiyeti: $\pm\%2.5$; ölçüm aralığı: 0.08-3.79 lt dk^{-1}) belirlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Debi ölçer

3.1.4. Görüntüleme laboratuvarı

Bu çalışmanın amacına yönelik olarak kurulan Şekil 3.3'deki görüntüleme laboratuvarı ray üzerinde doğrusal hareketli araba (slider), aydınlatma ekipmanları, kamera, perde ve püskürtme kolundan oluşmaktadır.

3.1.4.a. Püskürtme kolu (bum)

Pülverizasyonla ilgili akış testlerini gerçekleştirmek için Şekil 3.3a'da gösterilen yeni bir püskürtme kolu imal edilmiş ve püskürtme işlemi zeminden 170 cm yükseklikte yapılmıştır. Meme plakası ve girdap plaketi değişkenlerini oluşturan tüm kombinasyonlar, üzerinde 50 cm aralıklarla yan yana dizili 5 adet membranlı tip meme gövdesinin (Arag SRL 40642W7 Model, IT) bulunduğu püskürtme hattına monte edilmiştir. Püskürtme hattı 280 cm genişliğinde olup hattın bir ucu hidrolik hortumla basınç regülatörüne bağlanmıştır. Püskürtme sırasında hat üzerinde oluşan titreşimi sönmölemek için püskürtme hattı ve basma hattı arasında 15 metre uzunluğunda basınca dayanıklı hidrolik hortum kullanılmıştır. Pülverizatör çatısına bağlı basınç regülatörü ile püskürtme hattı arasındaki enerji kaybı dikkate alınarak akışkanın basıncı, püskürtme memelerine yakın bir noktaya bağlanan dijital göstergeli bir manometreden (Ref D2, %0.1, 0-400 bar, SİKA GmbH&Co. KG) kontrol edilmiştir.

3.1.4.b. Görüntüleme ekipmanları

Pülverizatör memelerinde püskürtme sırasındaki akış görüntülerini almak için Şekil 3.3a ve Şekil 3.3b'de gösterilen dijital SLR kamera (Nikon D300, JP) kullanılmıştır. Görüntüleme işleminde kamera bir tripoda yerleştirilerek sabitlenmiştir. Kamera ile yürütülen çalışmalarda akış görüntülerini netleştirmek için bumun arkasına siyah renkli fon yerleştirilmiştir. Ayrıca akış hüzmesinin aydınlatılması için püskürtme memelerine doğru yönlendirilmiş softbox donanımlı 2 adet paraflaş kullanılmış ve karanlık ortamda yapılan çekimlerle yüksek kontrastlı görüntüler elde edilmiştir.

Püskürtme kolu üzerinde yan yana dizili olan memelerin akış sırasındaki görüntülerini sabit bir uzaklıktan alabilmek için enine düzlemde ray üzerinde doğrusal hareket eden arabalı bir kızak (slider) imal edilmiştir. Ray üzerinde 300 cm uzunluğunda doğrusal yönde hareket eden arabanın kontrolü (sağ-sol hareket) operatör tarafından yapılmıştır. Kameranın bağlandığı tripod arabanın çatısına monte edilerek sabitlenmiş ve ray üzerinde kaydırılarak sırasıyla püskürtme görüntülerinin alınması sağlanmıştır.

3.1.5. Görüntü işleme ve istatistik paket programları

Püskürtme açısı ImageJ v1.38x (Wayne Rasband, National Institutes of Health, US) yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. İstatistik analizler SPSS 20.0 istatistik paket kullanılarak yapılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme yeri

Bu çalışmaya özgü olarak hazırlanan bir görüntüleme laboratuvarında karanlık bir ortam oluşturulmuş ve püskürtmeyle ilgili görüntüler hedef üzerinde yapay aydınlatma yapılarak alınmıştır. Deneme boyunca ortamın ortalama sıcaklığı 20 °C ve bağıl nemi %38 olarak belirlenmiştir.

3.2.2. Denemeyi oluşturan faktörler ve değişkenler

Denemelerde poliasetal (POM) malzemedan üretilmiş 5 farklı orifis çaplı (1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm ve 2.4 mm) içi boş konik hüzmeli meme plakası kullanılmış ve her biri 4 farklı girdap plaketiyle (mavi, kahverengi, sarı ve paslanmaz çelik) denemeye tabi tutulmuştur. Meme plakası + girdap plaketenin oluşun tüm kombinasyonlar 5 farklı püskürtme basıncında çalıştırılmıştır.

Püskürtme memeleriyle ilgili meme debisi, püskürtme açısı ve pülverizasyon karakteristiklerinin (akış katsayısı, orifis çıkışında maksimum damla hızı, damlanın kazandığı kinetik enerji, damlanın terminal hızı, damlanın havada serbest kaldığı durma mesafesi, damla çapı ve sürüklenme potansiyeli) belirlenmesine yönelik yapılan ölçüm, analiz ve hesaplamalar bu çalışmanın değişkenlerini oluşturmuştur.

3.2.3. Meme debisinin belirlenmesi

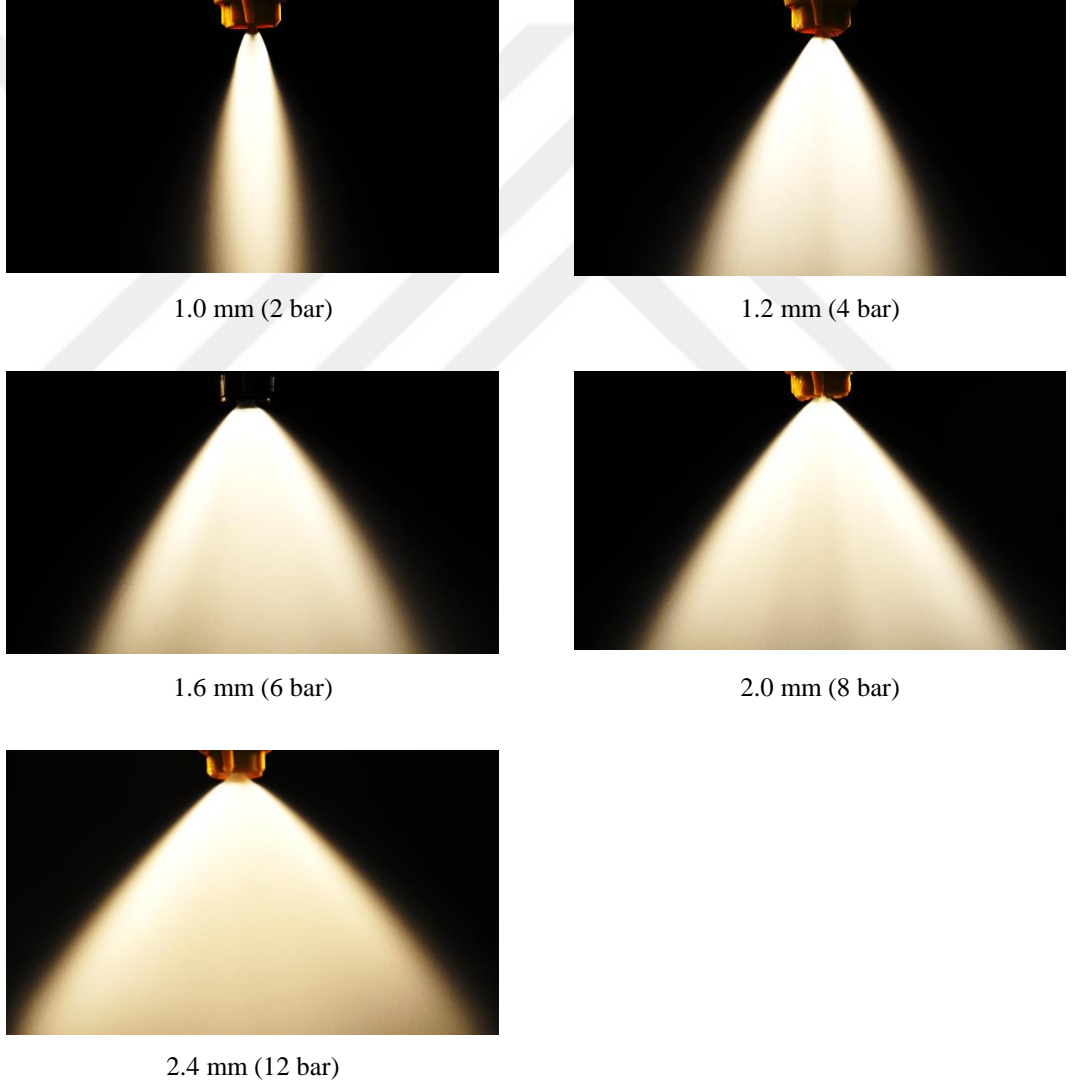
Meme debisi ölçümleri 2 bar, 4 bar, 6 bar, 8 bar ve 12 bar olmak üzere 5 farklı püskürtme basıncında 5 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Sayıncı and Kara (2015), kayıptan dolayı basınç regülatörü üzerinden ölçülen işletme basıncı ile püskürtme memesine yakın bir noktadan ölçülen püskürtme basıncı arasında farklılıkların olduğunu saptamışlardır. Bu nedenle akışkanın basıncı püskürtme memelerine yakın bir noktaya monte edilen dijital bir manometreden kontrol edilerek ayarlanmış ve ölçülen değer püskürtme basıncı olarak anılmıştır. Debi ölçümünde dijital göstergeli bir debi ölçer (Sprayer Calibrator, SpotOn®, Model: SC-1, IL, ölçüm hassasiyeti: $\pm\%2.5$; ölçüm aralığı: 0.08-3.79 lt dk⁻¹) kullanılmıştır. Meme plakalarıyla ilgili yürütülen denemelerin tümünde akış karakteristiklerini etkilememesi için süzgeç kullanılmamıştır. Sayıncı (2014), Sayıncı and Kara (2015), Sayıncı (2015) ve Sayıncı (2016c) tarafından yürütülen araştırmalarda meme süzgeçlerinin debiyi sınırlandıran bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Farklı püskürtme basınçlarında elde edilen ölçüm sonuçları her bir orifis grubu ve girdap plaketi için tablo halinde verilmiştir. Meme plakası + girdap plaketi kombinasyonlarında debinin basıncın kareköküyle olan doğrusal değişimi grafik halinde gösterilmiş ve aralarındaki ilişki [$y = ax + b$] eşitliğiyle verilerek tablo halinde sunulmuştur. Girdap plaketlerinin debiye olan etkisini ortak bir değişkenle test etmek için [$y = ax$] eşitliğinden doğrunun eğimi (a) belirlenmiş ve varyans analizine tabi tutulmuştur. Önemli bulunan ortalamalar arasındaki fark %95 önem düzeyinde Tukey çoklu karşılaştırma testiyle belirlenmiştir.

Sayıncı vd (2013), yerli üretim konik hüzmeli meme plakalarında işletme özellikleriyle ilgili referans nitelikte bir ölçüm standardının olmadığı belirtilmiştir. Yapılan bu tespite yönelik olarak bu çalışmada kullanılan meme orifisleri, farklı girdap plaketi alternatifleriyle kullanılmaları durumunda işletme özelliğini belirten bir gösterim yapılmıştır. Bu gösterimde BCPC'ye göre hazırlanmış olan Hypro® (2014) kataloğu referans alınmış ve “meme tipi/debi (lt dk⁻¹)/basınç (bar)” şeklinde standart bir gösterim yapılmıştır.

3.2.4. Püskürtme açısının belirlenmesi

Karanlık ortamda püskürtme hüzmesine doğru yapay aydınlatma yapılarak meme orifis çıkışında elde edilen yüksek kontrastlı püskürme görüntüleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bu görüntüler üzerinden ImageJ v.1.38x (Wayne Rasband, National Institutes of Health, US) görüntü işleme yazılımının açı modülü kullanılarak meme orifis çıkışında püskürtme açısı belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Meme orifis çıkışında püskürtme açısının değişimi

Püskürtme açısına etki eden faktörlerin belirlenmesinde altta verilen işlem basamakları takip edilmiştir:

- Meme orifis çapı, girdap plaketi ve püskürtme basıncı değişkenlerine bağlı olarak belirlenen püskürtme açısı verileri tam faktöriyel deneme deseninde varyans analizine tabi tutulmuştur. Yapılan değerlendirmede bağımsız değişkenlerin (ana faktör) ve interaksiyon etkilerinin püskürtme açısını değiştirmedeki etkisi kontrol edilmiştir.
- Her bir orifis grubundaki püskürtme açısı ortalamaları hem girdap plaketi hem de püskürtme basıncı değişkenleri için %95 önem düzeyinde ayrı ayrı Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur.
- Püskürtme açısının basınç ve orifis çapına göre değişimi grafik halinde gösterilmiştir.
- Her bir orifis grubunda püskürtme açısı ve püskürtme basıncı arasındaki ilişki, eğri tahminleme (curve estimation) yöntemiyle regresyon analizine tabi tutulmuş ve minimum hatanın (residual) elde edildiği tahmin modeline göre her girdap plaketi için fonksiyonlar elde edilmiştir.
- Meme orifis çapı ve girdap plaketi kombinasyonlarının her birinde sabit 3 bar püskürtme açısında nominal püskürtme açısı belirlenmiştir. Ayrıca sabit püskürtme açısının elde edildiği minimum basınç seviyesi belirlenerek tablo halinde sunulmuştur.

3.2.5. Akış katsayısının (C_D) belirlenmesi

Meme plakası ve girdap plaketine sürtünmenin neden olduğu enerji kaybını ifade eden akış katsayısı eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Srivastava *et al.* 1993; Ballester and Dopazo 1994; Rashid *et al.* 2012; Yu *et al.* 2013; Sayıncı 2016c). Meme orifis gruplarında girdap plakasının akış katsayısına olan etkisini test etmek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Önemli bulunan ortalamalar arasındaki fark %95 önem düzeyinde Tukey testiyle belirlenmiştir.

$$C_D = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\rho_L}{2 \cdot A}\right)} \quad (1)$$

C_D : akış katsayısı

Q : meme debisi ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

ΔP : basınç (Pa)

ρ_L : akışkanın yoğunluğu (999.1 kg m^{-3} , @15 °C akışkan sıcaklığı)

A : orifis alanı (m^2)

3.2.6. Pülverizasyon karakteristiklerinin belirlenmesi

Pülverizasyon karakteristikleri kapsamında maksimum damla hızı, damlanın kinetik enerjisi, damlanın havada serbest kaldığı terminal hızı, orifisi terk eden damlanın havada durma mesafesi, damlanın sürüklenme potansiyeli ve damlanın çapı hesaplanmıştır. Meme orifis çapı, girdap plaketi ve püskürtme basıncı değişkenlerinin pülverizasyon karakteristiklerine etkisini belirlemek için değişkenler tam faktöriyel deneme planında varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Meme orifis grubu ve basınç değişkenlerinin her biri için girdap plaketlenin pülverizasyon karakteristiklerine olan etkisi araştırılmış ve önemli bulunan ortalamalar arasındaki farklar %95 önem düzeyinde Duncan çoklu karşılaştırma testiyle belirlenmiştir. Pülverizasyon karakteristiklerinin püskürtme basıncı ve orifis çapına göre değişimi grafik halinde sunulmuştur.

3.2.6.a. Maksimum damla hızı (V_{max})

Damlanın meme orifis çıkışında kazandığı ilk hız değeri olup maksimum hız olarak anılmaktadır. Maksimum hız değeri eşitlik (2) kullanılarak hesaplanmıştır (Al Heidary *et al.* 2014).

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

- V_{max} : maksimum damla hızı ($m \cdot s^{-1}$)
 C_D : akış katsayısı
 ΔP : basınç (Pa)
 ρ_L : akışkanın yoğunluğu (999.1 kg m^{-3} , $15 \text{ }^\circ\text{C}$)

3.2.6.b. Damla çapı ($D_{V0.50}$)

Farklı püskürtme basıncına sahip meme plakası ve girdap plaketi kombinasyonlarında damla çapı eşitlik (3) kullanılarak tahminlenmiştir (Iqbal *et al.* 2005).

$$D_{V0.50} = 437 \cdot \sqrt[3]{\frac{k}{\Delta P}} \quad (3)$$

- $D_{V0.50}$: damla çapı (μm)
 k : orifis katsayısı ($k = q/\sqrt{\Delta P}$)
 ΔP : basınç (psi)
 q : debi (gal h^{-1})

Pülverizasyonda damla çapları Çizelge 3.2'de gösterildiği gibi ASABE S572.1 standardına göre sekiz kategoride sınıflandırılmaktadır (ASABE 2009). Ayrıca çap

kategorileri renklerine göre sırasıyla mor, kırmızı, turuncu, sarı, mavi, yeşil, beyaz ve siyah olmak üzere standartlaştırılmıştır. Bu standarda göre birçok araştırmacı pülverizasyon kategorilerinde damla çapları için farklı referans aralıklarını kullandıkları saptanmıştır. Bu çalışmada meme orifis gruplarının pülverizasyon karakteristikleri Kruger *et al.* (2013) ve Arag® (2017) kataloğunda belirtilen referans çaplara göre renk kategorisi kullanılmış ve tablo halinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Pülverizasyonda damla çapı ($D_{V0.50}$, μm) kategorisi (ASABE S572.1 standardına göre sınıflandırma)

Pülverizasyon karakteristiği		$D_{V0.50}$ (μm) çap aralığı							Damla çapı renk kategorisi
		Hypro® (2014)	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	60-145	100 <	51-145	150 <	136 <	51-100	kırmızı
İnce	F	106-235	145-225	100-175	145-225	151-250	136-177	101-200	turuncu
Orta	M	236-340	226-325	175-250	226-325	251-350	177-218	201-300	sarı
Kaba	C	341-403	326-400	250-375	326-400	351-450	218-349	> 300	mavi
Çok kaba	VC	404-502	401-500	375-450	401-500	451-550	349-428	-	yeşil
Aşırı kaba	XC	503-665	501-650	> 450	501-660	> 551	428-622	-	beyaz
Çok aşırı kaba	UC	> 665	> 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

3.2.6.c. Damlanın kinetik enerjisi (E_k)

Damlanın orifis çıkışında kazandığı kinetik enerji, damla çapına ve maksimum damla hızına bağlı olarak eşitlik (4)'den yararlanarak hesaplanmıştır (Al Heidary *et al.* 2014).

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \left(\rho_d \cdot \frac{\pi}{6} \cdot D_{V0.50}^3 \right) \cdot V_{mak}^2 \cdot 10^6 \quad (4)$$

- E_k : damlanın kinetik enerjisi (μj)
 ρ_d : damlanın yoğunluğu (999.1 kg m^{-3} , @ $15 \text{ }^\circ\text{C}$ akışkan sıcaklığı)
 $D_{V0.50}$: damla çapı (m)
 V_{max} : maksimum damla hızı (m s^{-1})

3.2.6.d. 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 (5) kullanılarak belirlenmiştir (Al Heidary *et al.* 2014).

$$V_t = \frac{\rho_d \cdot g \cdot D_{v50}^2}{18 \cdot \eta_a} \quad (5)$$

- V_t : damlanın terminal hızı (m s^{-1})
 ρ_d : damlanın yoğunluğu (999.1 kg m^{-3} , @ $15 \text{ }^\circ\text{C}$ akışkan sıcaklığı)
 g : yerçekimi ivmesi (9.81 m s^{-2})
 $D_{V0.50}$: damla çapı (m)
 η_a : havanın dinamik viskozitesi ($1.825 \times 10^{-5} \text{ kg (m}\cdot\text{s)}^{-1}$, @ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ hava sıcaklığı)

3.2.6.e. Damlanın durma mesafesi (D_s)

Durgun havada damlanın serbest kaldığı mesafe, durma mesafesi olarak tanımlanmıştır. Nuyttens *et al.* (2009) tarafından yürütülen bir çalışmada Bache and Johnstone (1992) tarafından bildirildiğine göre damlanın durma mesafesi eşitlik (6) kullanılarak belirlenmiştir.

$$D_s = \frac{V_{max} \cdot D_{V0.50}^2 \cdot \rho_d}{18 \cdot v_a \cdot \rho_a} \quad (6)$$

D_s : damlanın durma mesafesi (m)

V_{max} : maksimum damla hızı (m s⁻¹)

$D_{V0.50}$: damla çapı (m)

ρ_d : damlanın yoğunluğu (999.1 kg m⁻³, @15 °C akışkan sıcaklığı)

v_a : havanın kinematik viskozitesi (1.516×10⁻⁵ m² s⁻¹, @20 °C hava sıcaklığı)

ρ_a : havanın yoğunluğu (1.204 kg m⁻³ @20 °C hava sıcaklığı)

3.2.6.f. Damlanın sürüklenme potansiyeli (S)

Damlanın sürüklenme potansiyeli damla çapına bağlı olarak Al Heidary *et al.* (2014) tarafından eşitlik (7) kullanılarak tahminlenmiştir.

$$S = 31.505 \cdot e^{(-0.006 \cdot D_{V0.50})} \quad (7)$$

S : sürüklenme potansiyeli (%)

$D_{V0.50}$: damla çapı (μm)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

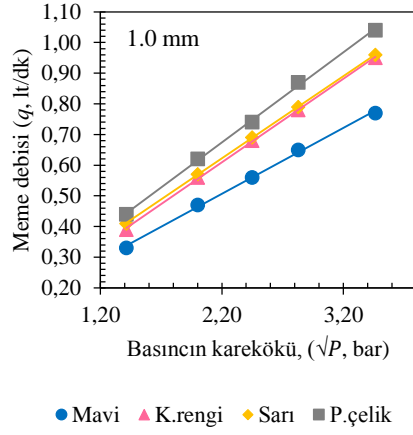
4.1. Meme Debisi

Orifis çapları farklı meme plakası ve farklı girdap plaketi kombinasyonlarında püskürtme basınçlarına göre belirlenmiş meme debisi ortalamaları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Orifis gruplarının tümünde meme debisinin girdap plaketine göre değiştiği gözlemlenmiştir.

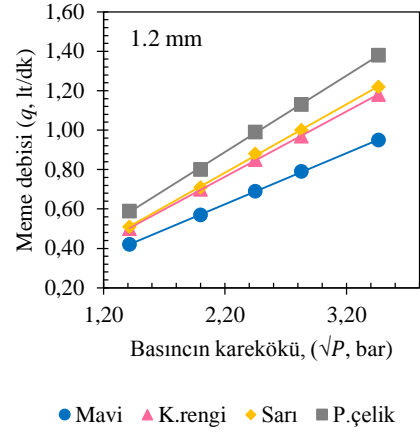
Çizelge 4.1. Meme plakalarında meme debisinin girdap plaketi ve işletme basıncına göre değişimi (ort±SS, n=5)

Orifis çapı (mm)	Basınç (bar)	Girdap plaketleri			
		Mavi (2-slot, C23)	K.rengi (3-slot)	Sarı (2-slot)	P. çelik (2-slot)
1.0	2	0.33±0.01	0.39±0.02	0.41±0.02	0.44±0.01
	4	0.47±0.01	0.56±0.04	0.57±0.03	0.62±0.02
	6	0.56±0.01	0.68±0.04	0.69±0.03	0.74±0.03
	8	0.65±0.01	0.78±0.05	0.79±0.04	0.87±0.03
	12	0.77±0.01	0.95±0.05	0.96±0.05	1.04±0.03
1.2	2	0.42±0.01	0.50±0.03	0.51±0.01	0.59±0.02
	4	0.57±0.00	0.70±0.04	0.71±0.03	0.80±0.05
	6	0.69±0.01	0.85±0.04	0.88±0.03	0.99±0.05
	8	0.79±0.01	0.97±0.06	1.00±0.03	1.13±0.05
	12	0.95±0.00	1.18±0.07	1.22±0.03	1.38±0.07
1.6	2	0.55±0.02	0.71±0.04	0.75±0.03	0.79±0.03
	4	0.77±0.02	1.00±0.05	1.04±0.05	1.10±0.05
	6	0.91±0.03	1.20±0.05	1.25±0.06	1.36±0.06
	8	1.05±0.04	1.39±0.07	1.46±0.08	1.56±0.07
	12	1.26±0.06	1.66±0.09	1.74±0.08	2.04±0.19
2.0	2	0.68±0.02	0.93±0.03	0.97±0.07	1.02±0.07
	4	0.96±0.05	1.30±0.05	1.35±0.09	1.45±0.13
	6	1.14±0.04	1.59±0.06	1.61±0.09	1.79±0.12
	8	1.32±0.05	1.84±0.07	1.88±0.14	2.10±0.17
	12	1.61±0.07	2.23±0.09	2.28±0.20	2.58±0.17
2.4	2	0.78±0.02	1.15±0.09	1.19±0.09	1.24±0.14
	4	1.10±0.03	1.63±0.13	1.69±0.12	1.81±0.14
	6	1.33±0.04	2.03±0.17	2.09±0.16	2.12±0.10
	8	1.53±0.06	2.35±0.18	2.39±0.14	2.44±0.16
	12	1.86±0.06	2.83±0.21	2.86±0.11	3.06±0.13

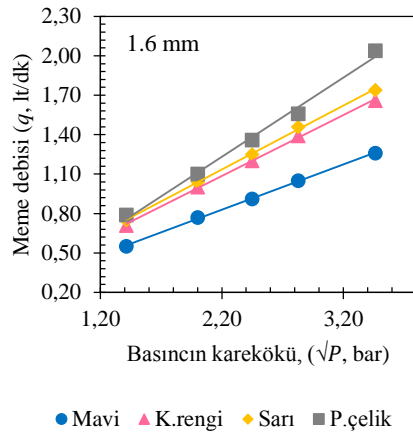
Şekil 4.1 incelendiğinde meme debisinin basıncın kareköküyle doğru orantılı değiştiği anlaşılmaktadır. Ancak püskürtme basıncı değişkenine bağımlı olan meme debisindeki eğimin girdap plaketine göre değiştiği saptanmıştır.



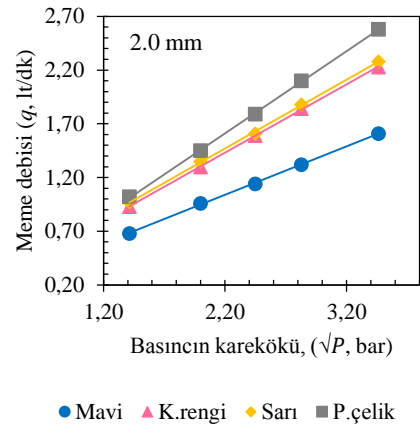
(a)



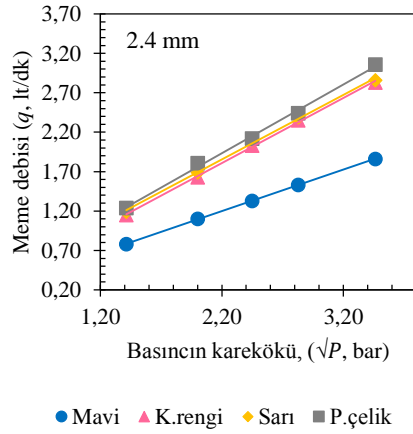
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.1. Debi (q , lt dk⁻¹) ve basıncın karekökü (\sqrt{P} , bar) arasındaki doğrusal ilişkinin girdap plaketerine göre değişimi (a) orifis çapı: 1.0 mm, (b) orifis çapı: 1.2 mm, (c) orifis çapı: 1.6 mm, (d) orifis çapı: 2.0 mm, (e) orifis çapı: 2.4 mm

4.2. Girdap Plaketinin Debi Değişimine Etkisi

Meme debisi ve basınç arasında yüksek R^2 'li doğrusal eşitlikler elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Varyans analizi sonuçlarına göre girdap plaketinin debi değişiminde çok önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir. Aynı meme orifisinde en yüksek debi paslanmaz çelikle, en düşük mavi girdap plaketiyle elde edilmiştir. Girdap sayısı farklı olmasına karşın k.rengi ve sarı plaketer arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Orifis çapı 2.4 mm olan meme plakasında k.rengi, sarı ve paslanmaz çelik girdap plaketerinin etkisi önemsiz bulunmuş ve en düşük debi farklı şekilde yine mavi plakete sağlanmıştır. BCPC'ye göre yapılan kodlama farklı girdap plaketerleriyle çalıştırmada meme plakalarının 3 bar basınçta sağladıkları debiyi göstermektedir.

Çizelge 4.2. Meme plakalarında kullanılan girdap plaketerinin meme debisine (q , lt dk⁻¹) etkisi (ort±SS)

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketi	¹ Doğrusal eşitlikler ($y = ax + b$)	R^2 (Düzeltilmiş)	² Eğim ($y = ax$)	F değeri (p , sigma)	³ BCPC kodu
Ø1.0	Mavi (2-slot, C23)	$y = 0.214x + 0.036$	0.997	0.228±0.003 c*	42.91 (0.000)**	KH/0.41/3
	K.rengi (3-slot)	$y = 0.273x + 0.009$	0.961	0.276±0.016 b		KH/0.48/3
	Sarı (2-slot)	$y = 0.268x + 0.032$	0.973	0.280±0.013 b		KH/0.50/3
	P. çelik (2-slot)	$y = 0.296x + 0.022$	0.988	0.304±0.006 a		KH/0.53/3
Ø1.2	Mavi (2-slot, C23)	$y = 0.262x + 0.045$	0.999	0.279±0.001 c	61.79 (0.000)	KH/0.50/3
	K.rengi (3-slot)	$y = 0.332x + 0.034$	0.961	0.345±0.019 b		KH/0.61/3
	Sarı (2-slot)	$y = 0.344x + 0.027$	0.988	0.354±0.011 b		KH/0.62/3
	P. çelik (2-slot)	$y = 0.386x + 0.039$	0.969	0.401±0.018 a		KH/0.71/3
Ø1.6	Mavi (2-slot, C23)	$y = 0.346x + 0.068$	0.979	0.372±0.014 c	55.46 (0.000)	KH/0.67/3
	K.rengi (3-slot)	$y = 0.464x + 0.065$	0.969	0.489±0.024 b		KH/0.87/3
	Sarı (2-slot)	$y = 0.486x + 0.066$	0.969	0.511±0.024 b		KH/0.91/3
	P. çelik (2-slot)	$y = 0.602x - 0.094$	0.950	0.566±0.033 a		KH/0.95/3
Ø2.0	Mavi (2-slot, C23)	$y = 0.448x + 0.051$	0.980	0.468±0.018 c	65.76 (0.000)	KH/0.83/3
	K.rengi (3-slot)	$y = 0.635x + 0.034$	0.983	0.648±0.024 b		KH/1.13/3
	Sarı (2-slot)	$y = 0.641x + 0.058$	0.938	0.663±0.029 b		KH/1.17/3
	P. çelik (2-slot)	$y = 0.765x - 0.075$	0.949	0.736±0.047 a		KH/1.25/3
Ø2.4	Mavi (2-slot, C23)	$y = 0.526x + 0.040$	0.987	0.541±0.016 b	58.16 (0.000)	KH/0.95/3
	K.rengi (3-slot)	$y = 0.827x - 0.012$	0.939	0.823±0.063 a		KH/1.42/3
	Sarı (2-slot)	$y = 0.821x + 0.046$	0.959	0.839±0.046 a		KH/1.47/3
	P. çelik (2-slot)	$y = 0.869x + 0.022$	0.957	0.877±0.043 a		KH/1.53/3

¹: y : meme debisi (q , lt dk⁻¹); a : doğrunun eğimi; x : basıncın karekökü (\sqrt{P} , bar); b : kesme noktası

²: Girdap plaketerinin meme debisine olan etkisini test etmek için kesim noktası (b) sıfır (0) alınarak [$y = ax$] formunda doğrusal eşitlikler elde edilmiştir. y : meme debisi (q , lt dk⁻¹); a : doğrunun eğimi; x : basıncın karekökü (\sqrt{P} , bar)

³: BCPC meme referansına göre yapılan kodlama 3 bar basınçtaki meme debisini (lt dk⁻¹) göstermektedir. KH: içi boş konik hüzmeli meme plakası (hollow cone) (Hypro®, 2017)

*: Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre her bir meme orifis çap grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır.

** $p < 0.01$ çok önemli

4.3. Püskürtme Açısına Etki Eden Faktörler

Çizelge 4.3'te verilen varyans analizi sonuçlarına göre konik hüzmeli meme plakalarında püskürtme açısının orifis çapı, girdap plaketi ve püskürtme basıncına göre çok önemli düzeyde değiştiği saptanmıştır. İkili interaksyonlarda püskürtme açısının çok önemli düzeyde değiştiği belirlenmiş, ancak “orifis çapı × girdap × basınç” interaksyonunda bu değişim önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.3. Meme plakalarında püskürtme açısına etki eden faktörlerin varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F değeri	p (sigma)
Orifis çapı (O_{ϕ})	4	23464.8	1375.72	0.000**
Girdap plaketi (G_p)	3	5103.9	299.24	0.000**
Püsk. basıncı (P)	4	1874.9	109.92	0.000**
$O_{\phi} \times G_p$	12	67.7	3.97	0.000**
$O_{\phi} \times P$	16	148.1	8.68	0.000**
$G_p \times P$	12	78.6	4.61	0.000**
$O_{\phi} \times G_p \times P$	48	15.3	0.89	0.674^{ns}
Hata	400	17.1		
Genel	499			

** : $p < 0.01$ çok önemli; ^{ns}: önemsiz

Püskürtme açısı ortalamaları ve çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Genel değerlendirmede orifis gruplarının tümünde en yüksek püskürtme açısının en düşük debiyi veren mavi girdap plaketiyle elde edildiği görülmektedir. Düşük basınçlarda orifis çapı arttıkça mavi girdapla sağlanan açılı ortalamaları, kahverengi girdapla benzerlik göstermiştir. Orifis çapına bağlı olarak debi arttıkça ortalamalar arasındaki fark kapanmaya başlamıştır. Ancak farklı orifisli meme plakalarıyla kullanılan mavi girdapta ölçülen açılı ortalamaları 6 bar basınçtan sonra daha yüksek bulunmuştur.

Püskürtme açısı, küçük orifis çaplı memelerde basınçla birlikte önemli derecede artmıştır. Ancak aynı basınçta daha yüksek debi sağlayan girdap plakelerinde veya meme orifis gruplarında basıncın püskürtme açısına olan etkisi giderek azalmaya başlamış ve daha büyük orifis ya da daha büyük debide istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur.

En düşük püskürtme açısı paslanmaz çelik girdap plaketiyle elde edilmiştir. Özellikle yüksek basınç koşullarında 1.2 ve 1.6 mm çaplı meme plakalarıyla birlikte kullanıldığında püskürtme açısı ortalamalarının en düşük seviyeye ulaştığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.4. Meme plakalarında püskürtme basıncı ve girdap plakentinin püskürtme açısına (α°) etkisi (ort \pm SS)

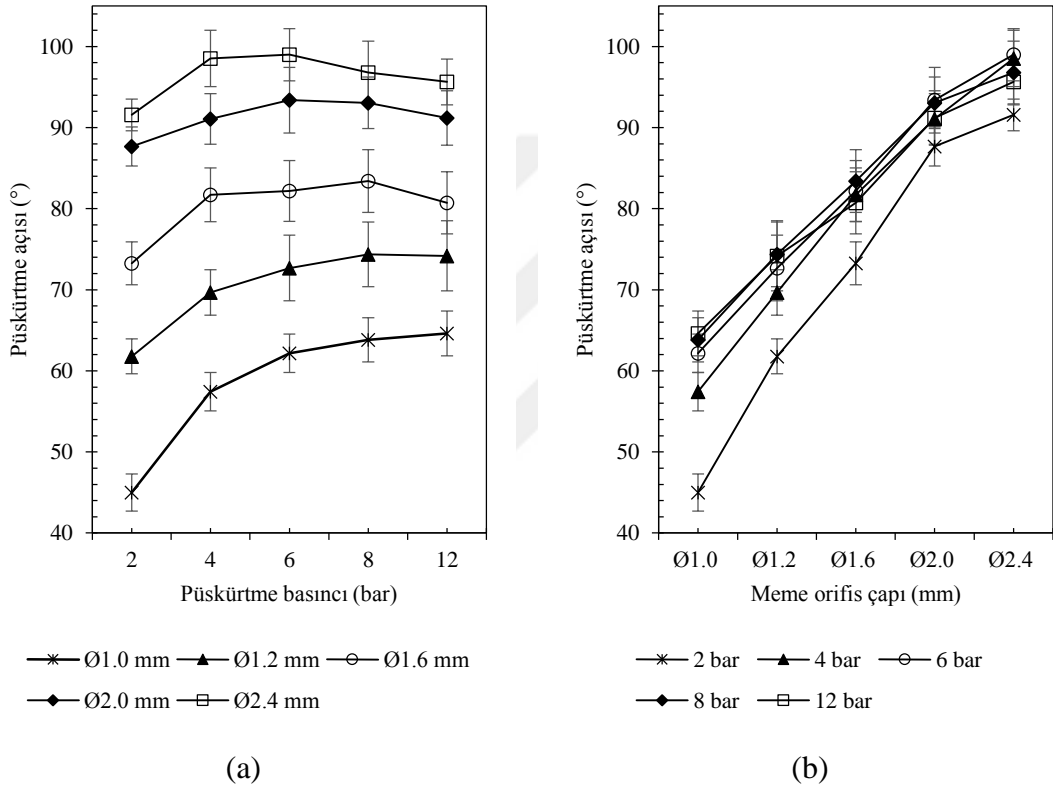
Orifis çapı (mm)	Girdap plaketeri	Püskürtme basıncı					<i>F</i> (<i>p</i> , sig.)
		2 bar	4 bar	6 bar	8 bar	12 bar	
Ø1.0	Mv (2-slt)	52.3 \pm 2.0 aC [§]	65.2 \pm 2.7 aB	69.6 \pm 4.2 aAB	72.5 \pm 4.3 aA	73.1 \pm 5.6 aA	23.19(0.000)**
	Kr (3-slot)	41.7 \pm 3.4 bC	55.1 \pm 3.9 bB	59.6 \pm 3.9 bAB	62.4 \pm 3.8 bA	63.4 \pm 3.6 bA	28.04(0.000)**
	Sr (2-slot)	44.2 \pm 3.3 bC	55.6 \pm 1.6 bB	59.6 \pm 1.6 bA	59.3 \pm 2.5 bA	61.8 \pm 1.3 bA	52.19(0.000)**
	Pç (2-slot)	41.8 \pm 2.0 bC	53.8 \pm 2.1 bB	59.8 \pm 2.3 bA	61.2 \pm 2.7 bA	60.1 \pm 3.1 bA	53.57(0.000)**
	<i>F</i> (<i>p</i> , sig.)	16.52(0.000)**	18.54(0.000)**	11.99(0.000)**	15.19(0.000)**	12.14(0.000)**	
Ø1.2	Mv (2-slt)	66.1 \pm 3.3 aC	76.5 \pm 4.2 aB	85.8 \pm 2.4 aA	87.1 \pm 2.9 aA	88.7 \pm 2.5 aA	45.44(0.000)**
	Kr (3-slot)	64.8 \pm 2.7 aB	72.4 \pm 4.2 aA	73.2 \pm 5.7 bA	73.2 \pm 5.3 bA	72.5 \pm 4.7 bA	3.01(0.043)*
	Sr (2-slot)	58.4 \pm 3.5 bC	64.8 \pm 3.1 bB	67.3 \pm 2.1 cAB	67.5 \pm 3.8 bAB	69.9 \pm 3.9 bcA	8.61(0.000)**
	Pç (2-slot)	57.8 \pm 3.3 bB	64.9 \pm 3.9 bA	64.5 \pm 3.2 cA	69.6 \pm 5.6 bA	65.7 \pm 5.0 cA	4.83(0.007)**
	<i>F</i> (<i>p</i> , sig.)	8.8 (0.001)**	11.06(0.000)**	33.90(0.000)**	18.89 (0.000)	29.53(0.000)**	
Ø1.6	Mv (2-slt)	79.1 \pm 5.7 aB	90.1 \pm 5.6 aA	92.4 \pm 4.8 aA	94.1 \pm 3.1 aA	91.4 \pm 3.0 aA	8.29(0.000)**
	Kr (3-slot)	76.2 \pm 4.1 aB	84.0 \pm 4.7 aA	82.6 \pm 5.9 bA	84.9 \pm 3.3 bA	83.1 \pm 3.1 bA	3.16(0.036)*
	Sr (2-slot)	70.2 \pm 1.9 bB	76.3 \pm 3.1 bA	77.1 \pm 3.8 bA	77.8 \pm 3.9 bcA	78.0 \pm 2.5 cA	5.50(0.004)**
	Pç (2-slot)	67.6 \pm 2.5 bA	76.4 \pm 5.8 bA	76.5 \pm 7.8 bA	76.8 \pm 9.0 cA	70.4 \pm 5.3 dA	2.19(0.107)^{ns}
	<i>F</i> (<i>p</i> , sig.)	9.43 (0.001)**	9.05 (0.001)**	8.06 (0.002)**	10.94 (0.000)**	29.92 (0.000)**	
Ø2.0	Mv (2-slt)	91.5 \pm 2.8 aB	99.2 \pm 3.0 aA	105.1 \pm 6.5 aA	102.9 \pm 4.8 aA	101.4 \pm 3.5 aA	7.16(0.001)**
	Kr (3-slot)	92.2 \pm 3.4 aA	92.8 \pm 4.5 bA	94.7 \pm 4.5 bA	94.1 \pm 2.3 bA	92.7 \pm 2.1 bA	0.44(0.782)^{ns}
	Sr (2-slot)	82.5 \pm 3.2 bA	85.5 \pm 4.8 cA	88.8 \pm 2.4 bcA	88.2 \pm 3.1 cA	86.9 \pm 4.7 cA	2.25(0.101)^{ns}
	Pç (2-slot)	84.6 \pm 4.1 bA	86.8 \pm 5.7 bcA	85.0 \pm 6.0 cA	87.0 \pm 2.2 cA	83.8 \pm 1.9 cA	0.55(0.701)^{ns}
	<i>F</i> (<i>p</i> , sig.)	10.12 (0.01)**	9.22 (0.01)**	14.78 (0.000)**	24.62 (0.000)**	28.26 (0.000)**	
Ø2.4	Mv (2-slt)	94.7 \pm 1.5 aB	105.6 \pm 4.0 aAB	107.9 \pm 4.6 aAB	108.1 \pm 4.6 aA	104.4 \pm 5.8 aA	8.09(0.000)**
	Kr (3-slot)	91.9 \pm 4.5 aA	100.8 \pm 10.9 abA	100.4 \pm 3.0 bA	96.4 \pm 5.7 bA	91.8 \pm 3.4 bA	2.47(0.078)^{ns}
	Sr (2-slot)	91.4 \pm 4.1 aA	96.5 \pm 3.2 bcA	96.8 \pm 3.0 bA	94.4 \pm 2.0 bcA	94.6 \pm 1.8 bA	2.72(0.059)^{ns}
	Pç (2-slot)	88.4 \pm 4.9 aA	91.3 \pm 1.7 cA	90.9 \pm 3.9 cA	88.2 \pm 6.0 cA	91.7 \pm 2.3 bA	0.85(0.513)^{ns}
	<i>F</i> (<i>p</i> , sig.)	2.07 (0.144)^{ns}	4.97 (0.013)*	18.57(0.000)**	14.82(0.000)**	13.28(0.000)**	

ns: önemsiz; *: $p < 0.05$ önemli; $p < 0.01$ çok önemli; ^{ns}: önemsiz

§: Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre aynı sütunda küçük harfle (a-d) ve aynı satırda büyük harfle (A-C) gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır.

Şekil 4.2a, farklı orifis çapına sahip meme plakalarında püskürtme açısının basınca göre değişimini göstermektedir. Meme orifis çapı arttıkça püskürtme açısının da belirgin bir şekilde arttığı açıkça görülmektedir. Genellikle küçük orifisli memelerde açının ortalamalarının basınçla birlikte daha fazla artma eğiliminde olduğu, buna karşın orifis

çapı arttığında belirli bir basınç seviyesinden sonra hafifçe azalarak stabil bir aralıkta değiştiği gözlemlenmektedir. Şekil 4.2b incelendiğinde 2 bar basınçta ölçülen püskürtme açısının tüm meme plakalarında daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Meme orifis çapındaki artış ya da debinin doğrusal olarak artması basıncın püskürtme açısını değiştirmedeki etkisini sınırlandırmıştır.



Şekil 4.2. Püskürtme açısına (α°) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre püskürtme açısının basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre püskürtme açısının meme orifis çapına göre değişimi ($ort \pm 2 \cdot SH$)

Çizelge 4.5'te püskürtme açısının basınç değişkeniyle olan ilişkisi verilmiştir. Eğri tahminleme yöntemiyle her iki değişken arasında yüksek R^2 'li polinomiyal fonksiyonlar bulunmuştur. Bu fonksiyonlar püskürtme açısı ile basınç arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını, belirli bir basınç seviyesinden sonra sınırlı bir aralıkta sinüzoidal olarak değiştiğini göstermektedir. Meme orifis çapı ve girdap plaketine göre belirlenen bu fonksiyonlarla püskürtme açısının basınca bağlı değişimi yüksek bir doğrulukla tahmin edilebilmektedir.

Çizelge 4.5. Püskürtme basıncı ve püskürtme açısı arasındaki polinomiyal ilişki (y : püskürtme açısı, °; x : püskürtme basıncı, bar)

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketi	Fonksiyonlar	R^2
Ø1.0	Mavi (2-slot, C23)	$y = 0.050x^3 - 1.408x^2 + 13.122x + 31.46$	0.996
	K.rengi (3-slot)	$y = 0.055x^3 - 1.502x^2 + 13.801x + 19.83$	0.997
	Sarı (2-slot)	$y = 0.077x^3 - 1.892x^2 + 14.953x + 21.20$	1.000
	P. çelik (2-slot)	$y = 0.044x^3 - 1.314x^2 + 12.729x + 21.19$	1.000
Ø1.2	Mavi (2-slot, C23)	$y = 0.026x^3 - 0.907x^2 + 10.586x + 48.09$	0.991
	K.rengi (3-slot)	$y = 0.050x^3 - 1.234x^2 + 9.502x + 50.49$	0.987
	Sarı (2-slot)	$y = 0.042x^3 - 1.026x^2 + 8.230x + 45.66$	1.000
	P. çelik (2-slot)	$y = -0.021x^3 + 0.237x^2 + 1.216x + 54.60$	0.924
Ø1.6	Mavi (2-slot, C23)	$y = 0.046x^3 - 1.300x^2 + 11.531x + 61.09$	0.987
	K.rengi (3-slot)	$y = 0.052x^3 - 1.356x^2 + 10.776x + 61.50$	0.979
	Sarı (2-slot)	$y = 0.027x^3 - 0.718x^2 + 6.260x + 60.99$	0.998
	P. çelik (2-slot)	$y = 0.057x^3 - 1.562x^2 + 12.385x + 49.15$	0.982
Ø2.0	Mavi (2-slot, C23)	$y = 0.043x^3 - 1.207x^2 + 10.535x + 74.64$	0.966
	K.rengi (3-slot)	$y = -0.012x^3 + 0.185x^2 - 0.515x + 91.98$	0.979
	Sarı (2-slot)	$y = 0.006x^3 - 0.301x^2 + 3.518x + 76.80$	0.981
	P. çelik (2-slot)	$y = -0.127x^3 + 2.621x^2 - 15.084x + 104.86$	1.000
Ø2.4	Mavi (2-slot, C23)	$y = 0.055x^3 - 1.515x^2 + 12.679x + 75.05$	0.994
	K.rengi (3-slot)	$y = 0.123x^3 - 2.980x^2 + 20.496x + 61.66$	0.929
	Sarı (2-slot)	$y = 0.060x^3 - 1.367x^2 + 9.075x + 78.20$	0.960
	P. çelik (2-slot)	$y = 0.072x^3 - 1.454x^2 + 8.430x + 78.28$	0.974

Bu eşitlikler kullanılarak farklı girdap plaketi alternatifleri için her bir orifis grubunda 3 bar basınç seviyesinde nominal püskürtme açısı değerleri tahminlenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir. Buna göre orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm ve 2.4 mm olan meme plakalarında nominal püskürtme açısı sırasıyla 48.7°-59.5°, 59.8°-72.4°, 73.8°-85.2°, 79.8°-96.5° ve 89.4°-100.9° aralığında değişmiştir. Meme orifis gruplarında püskürtme açısı belirli bir basınç seviyesine kadar artma göstermiş ve sonrasında basınç artsa da açı değerleri belirli bir aralıkta stabil olarak değişmiştir. Orifis çapı 1.0 mm olan

meme plakasında 6 bar basınçtan sonra ölçülen açı farklılıkları istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Orifis çapı arttıkça püskürtme açısının sabit kaldığı en düşük püskürtme basıncı değeri azalmıştır. Orifis çapı 1.2 mm ve 1.6 mm olan meme plakalarında püskürtme açısının stabil kaldığı basınç değeri girdap plaketine göre değişmekle birlikte en düşük 4 bar olarak belirlenmiştir. Orifis çapı 2.0 mm ve 2.4 mm olduğunda püskürtme açısının en düşük 2 bar basınçta stabil kaldığı saptanmıştır.

Çizelge 4.6. Meme plakalarında 3 bar basınçta tahminlenen nominal püskürtme açısı (α°) ve püskürtme açısının stabil kaldığı en düşük püskürtme basıncı (bar)

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketi	BCPC kodu	3 bar basınçta püskürtme açısı (α° @3 bar)	Stabil püskürtme açısı (α°) ve en düşük basınç (α° ort \pm SS @basınç)
Ø1.0	Mavi (2-slot, C23)	KM/0.41/3	59.5°@3 bar	71.7 \pm 4.7 @6 bar
	K.rengi (3-slot)	KM/0.48/3	49.2°@3 bar	61.8 \pm 3.9 @6 bar
	Sarı (2-slot)	KM/0.50/3	51.1°@3 bar	60.2 \pm 2.1 @6 bar
	P. çelik (2-slot)	KM/0.53/3	48.7°@3 bar	60.4 \pm 2.6 @6 bar
Ø1.2	Mavi (2-slot, C23)	KM/0.50/3	72.4°@3 bar	87.2 \pm 2.7 @6 bar
	K.rengi (3-slot)	KM/0.61/3	69.2°@3 bar	72.8 \pm 4.6 @4 bar
	Sarı (2-slot)	KM/0.62/3	62.2°@3 bar	68.2 \pm 3.3 @6 bar
	P. çelik (2-slot)	KM/0.71/3	59.8°@3 bar	66.2 \pm 4.6 @4 bar
Ø1.6	Mavi (2-slot, C23)	KM/0.67/3	85.2°@3 bar	92.0 \pm 4.2 @4 bar
	K.rengi (3-slot)	KM/0.87/3	83.0°@3 bar	83.6 \pm 4.1 @4 bar
	Sarı (2-slot)	KM/0.91/3	74.0°@3 bar	77.3 \pm 3.2 @4 bar
	P. çelik (2-slot)	KM/0.95/3	73.8°@3 bar	73.5 \pm 7.1 @2 bar
Ø2.0	Mavi (2-slot, C23)	KM/0.83/3	96.5°@3 bar	102.1 \pm 4.8 @4 bar
	K.rengi (3-slot)	KM/1.13/3	91.8°@3 bar	93.3 \pm 3.4 @2 bar
	Sarı (2-slot)	KM/1.17/3	84.8°@3 bar	86.4 \pm 4.1 @2 bar
	P. çelik (2-slot)	KM/1.25/3	79.8°@3 bar	85.4 \pm 4.2 @2 bar
Ø2.4	Mavi (2-slot, C23)	KM/0.95/3	100.9°@3 bar	106.5 \pm 4.7 @4 bar
	K.rengi (3-slot)	KM/1.42/3	99.7°@3 bar	96.3 \pm 7.0 @2 bar
	Sarı (2-slot)	KM/1.47/3	94.7°@3 bar	94.7 \pm 3.3 @2 bar
	P. çelik (2-slot)	KM/1.53/3	89.4°@3 bar	90.1 \pm 4.0 @2 bar

4.4. Akış Katsayısına Etki Eden Faktörler

Meme orifis gruplarında girdap plaketeri akış katsayısını çok önemli düzeyde değiştirmiştir (Çizelge 4.7). En düşük akış katsayısı mavi girdap plaketine, en yüksek paslanmaz çelik girdapta bulunmuştur. Genel kapsamda kahverengi ve sarı girdap plaketerinin akış katsayısını değiştirmedeği belirlenmiştir.

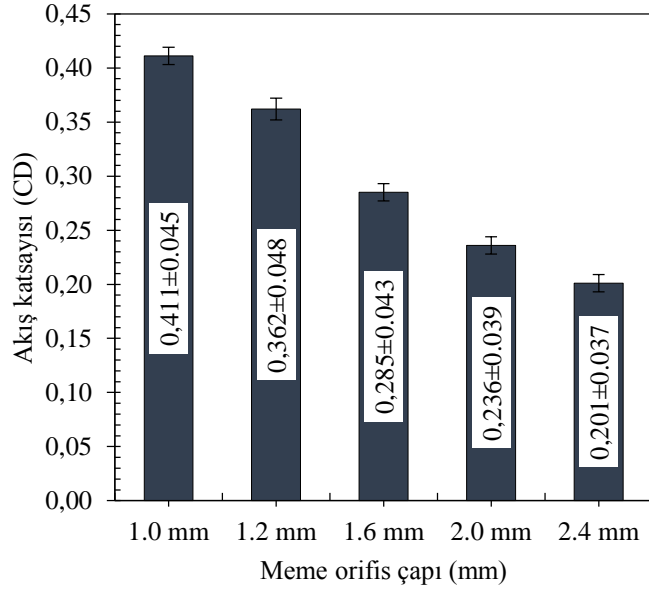
Çizelge 4.7. Meme plakalarında kullanılan girdap plaketerinin akış katsayısına (C_D) etkisi (ort±SS)

Meme plakası orifis çapı (mm)	Girdap plaketi	Akış katsayısı (C_D)	F değeri (p, sigma)
Ø1.0	Mavi (2-slot, C23)	0.346±0.008 c*	193.44
	K.rengi (3-slot)	0.415±0.023 b	(0.000)**
	Sarı (2-slot)	0.424±0.019 b	
	P. çelik (2-slot)	0.459±0.014 a	
Ø1.2	Mavi (2-slot, C23)	0.294±0.008 c	265.99
	K.rengi (3-slot)	0.362±0.020 b	(0.000)
	Sarı (2-slot)	0.371±0.012 b	
	P. çelik (2-slot)	0.421±0.021 a	
Ø1.6	Mavi (2-slot, C23)	0.221±0.009 d	240.30
	K.rengi (3-slot)	0.289±0.014 c	(0.000)
	Sarı (2-slot)	0.302±0.015 b	
	P. çelik (2-slot)	0.329±0.019 a	
Ø2.0	Mavi (2-slot, C23)	0.177±0.007 c	227.33
	K.rengi (3-slot)	0.244±0.009 b	(0.000)
	Sarı (2-slot)	0.250±0.017 b	
	P. çelik (2-slot)	0.274±0.019 a	
Ø2.4	Mavi (2-slot, C23)	0.142±0.004 c	235.63
	K.rengi (3-slot)	0.214±0.015 b	(0.000)
	Sarı (2-slot)	0.219±0.013 b	
	P. çelik (2-slot)	0.229±0.016 a	

*: Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre her bir meme orifis çap grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır.

** : $p < 0.01$ çok önemli

Orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm ve 2.4 mm olan meme plakalarında akış katsayısı sırasıyla ortalama 0.411, 0.362, 0.285, 0.236 ve 0.201 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3). Bu sonuca göre konik hüzmeli meme plakalarında orifis çapı arttıkça akış katsayısı azalmıştır.



Şekil 4.3. Akış katsayısının meme orifis çaplarına göre değişimi (ort±SS) (ortalamalar 2-standart hata değeriyle gösterilmiştir)

4.5. Pülverizasyon Karakteristiklerine Etki Eden Faktörler

Çizelge 4.8’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre orifis çapı ve girdap plaketi değişkenleri pülverizasyon karakteristiklerini çok önemli düzeyde etkilemiştir. Ana faktör olarak basınç değişkeninin etkisi incelendiğinde damlanın kinetik enerjisini değiştirmede etkili olmadığı, ancak diğer pülverizasyon karakteristiklerini çok önemli düzeyde değiştirdiği saptanmıştır. Orifis çapı, girdap plaketi ve basınç değişkenlerinin üçlü interaksyonu ($O_{\zeta} \times G_p \times P$) damlanın sadece terminal hızını değiştirmiştir. Meme orifis çapı ve girdap plaketi kombinasyonlarında ($O_{\zeta} \times G_p$) tüm pülverizasyon karakteristiklerinin değiştiği görülmüştür. Farklı meme orifis gruplarında püskürtme basıncı değiştiğinde ($O_{\zeta} \times P$) damlanın kinetik enerjisinde ve damlanın havada serbest kaldığı durma mesafesinde herhangi bir farklılığa yol açmayacağı belirlenmiştir. Herhangi bir orifiste girdap plaketi ve basınç interaksyonu ($G_p \times P$), damlanın maksimum hızını, terminal hızını ve damla çapını etkilediği bulunmuştur.

Çizelge 4.8. Pülverizasyon karakteristiklerine etki eden değişkenlerin varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	Maksimum damla hızı (V_{max})			Kinetik enerji (E_k)		
		KO	F değeri	p (sig.)	KO	F değeri	p (sig.)
Orifis çapı (O_c)	4	90.28	288.753	0.000**	0.002	24.0	0.000**
Girdap plaketi (G_p)	3	52655.55	168415	0.000**	1.386	16567.1	0.000**
Basınç (P)	4	882.22	2821.708	0.000**	0.006	68.4	0.068^{ns}
$O_c \times G_p$	12	307.21	982.591	0.000**	0.056	669.5	0.000**
$O_c \times P$	16	1027.93	3287.756	0.000**	0.000	2.2	0.945^{ns}
$G_p \times P$	12	1.76	5.614	0.000**	0.000	4.1	0.896^{ns}
$O_c \times G_p \times P$	48	15.75	50.382	0.999^{ns}	0.000	0.5	1.000^{ns}
Hata	400	7.97	25.488		0.000	0.5	
Toplam	499	0.31			0.000		
Varyasyon kaynakları	SD	Terminal hız (V_t)			Damla durma mesafesi (D_s)		
		KO	F değeri	p (sig.)	KO	F değeri	p (sig.)
Orifis çapı (O_c)	4	0.421	681.6	0.000**	0.074	35.0	0.003**
Girdap plaketi (G_p)	3	150.631	243990.7	0.000**	115.006	54307.8	0.000**
Basınç (P)	4	2.244	3634.2	0.000**	0.008	4.0	0.000**
$O_c \times G_p$	12	0.465	752.6	0.000**	1.792	846.4	0.000**
$O_c \times P$	16	7.280	11792.3	0.000**	0.402	190.0	0.937^{ns}
$G_p \times P$	12	0.022	36.2	0.000**	0.018	8.7	0.083^{ns}
$O_c \times G_p \times P$	48	0.102	164.8	0.004**	0.001	0.5	1.000^{ns}
Hata	400	0.019	30.4		0.003	1.6	
Toplam	499	0.001			0.002		
Varyasyon kaynakları	SD	Sürüklenme (S)			Damla çapı ($D_{v0.50}$)		
		KO	F değeri	p (sig.)	KO	F değeri	p (sig.)
Orifis çapı (O_c)	4	37.96	991.038	0.000**	5619.3	891.347	0.000**
Girdap plaketi (G_p)	3	106957.00	2792611	0.000**	8589463.0	1362490	0.000**
Basınç (P)	4	234.00	6109.73	0.000**	32839.0	5209.03	0.000**
$O_c \times G_p$	12	47.96	1252.15	0.000**	6760.4	1072.356	0.000**
$O_c \times P$	16	666.41	17399.75	0.007**	99033.5	15709.04	0.000**
$G_p \times P$	12	0.84	21.856	0.962^{ns}	193.9	30.765	0.000**
$O_c \times G_p \times P$	48	0.08	2.132	1.000^{ns}	338.3	53.665	0.995^{ns}
Hata	400	0.02	0.403		52.8	8.369	
Toplam	499	0.04			6.3		

** : $p < 0.01$ çok önemli; ^{ns} : önemsiz

4.5.1. Maksimum damla hızı (V_{max})

Orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm ve 1.6 mm olan meme plakalarında en yüksek damla hızı paslanmaz çelik girdapta, en düşük mavi girdap plaketinde bulunmuştur (Çizelge 4.9). Meme plakası orifis çapı 2.0 mm olduğunda düşük püskürtme basınçlarında (2 bar ve 4 bar) girdap plaketinin etkisi azalmaya başlamış ve düşük debi veren mavi girdapta damla hızı ortalaması önemli düzeyde düşük bulunmuştur. En büyük orifis çapına sahip 2.4 mm'lik meme plakasında kahverengi, sarı ve paslanmaz çelik girdap plaketlerinin damla hızını etkilemediği ve mavi girdaptan daha yüksek damla hızı ortalamasına sahip olduğu belirlenmiştir.

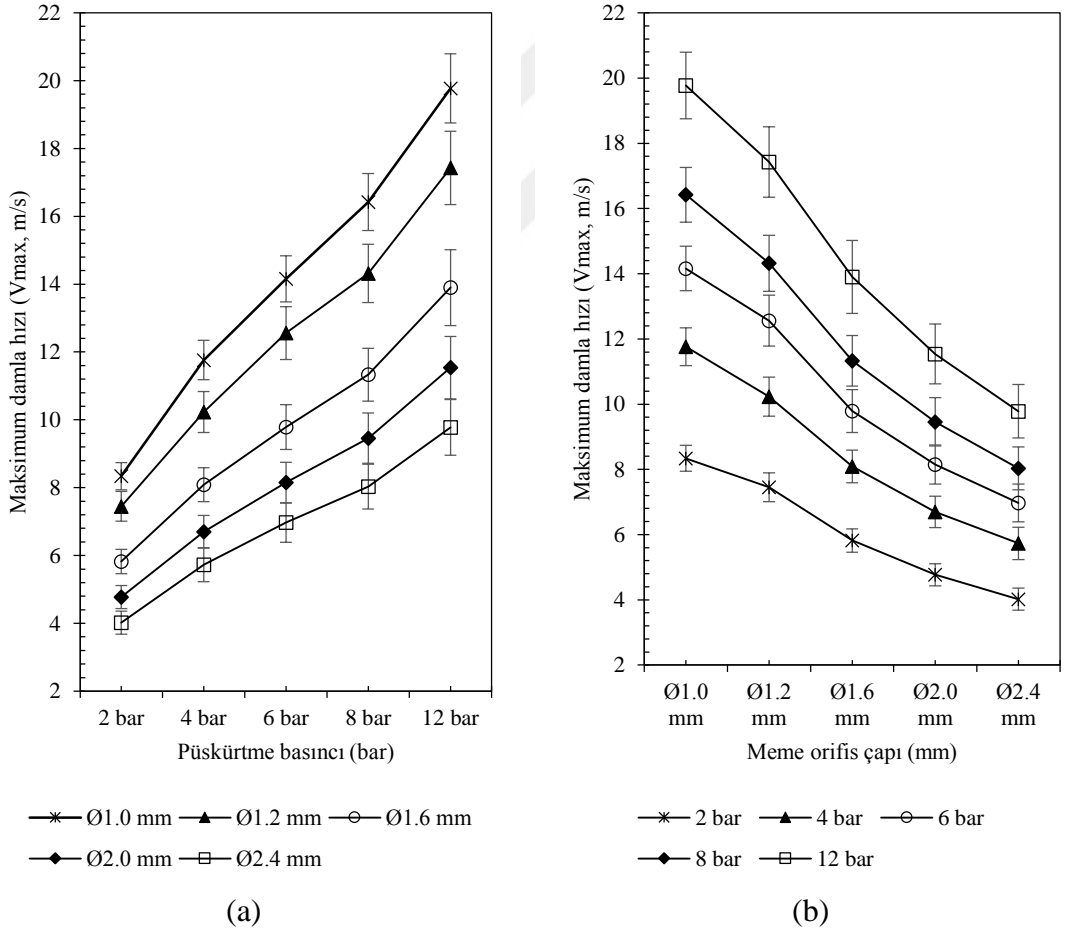
Çizelge 4.9. Meme plakalarında girdap plketi ve işletme basıncının orifis çıkışındaki damla hızına (V_{max} , $m s^{-1}$) etkisi (ort \pm SS)

Meme plakası orifis çapı (mm)	Girdap plaketleri	Püskürtme basıncı				
		2 bar	4 bar	6 bar	8 bar	12 bar
Ø1.0	Mavi (2-slot, C23)	7.09 \pm 0.12 c	9.94 \pm 0.18 c	11.93 \pm 0.18 c	13.76 \pm 0.18 c	16.39 \pm 0.18 c
	K.rengi (3-slot)	8.32 \pm 0.46 b	11.81 \pm 0.76 b	14.40 \pm 0.92 b	16.65 \pm 1.07 b	20.17 \pm 1.08 b
	Sarı (2-slot)	8.66 \pm 0.35 b	12.19 \pm 0.61 ab	14.61 \pm 0.63 ab	16.82 \pm 0.77 b	20.39 \pm 1.07 b
	P. çelik (2-slot)	9.30 \pm 0.23 a	13.12 \pm 0.46 a	15.71 \pm 0.54 a	18.47 \pm 0.58 a	22.13 \pm 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, C23)	6.13 \pm 0.08 c	8.38 \pm 0.07 c	10.11 \pm 0.17 c	11.59 \pm 0.08 c	14.04 \pm 0.07 c
	K.rengi (3-slot)	7.40 \pm 0.45 b	10.29 \pm 0.55 b	12.59 \pm 0.64 b	14.30 \pm 0.91 b	17.46 \pm 1.02 b
	Sarı (2-slot)	7.58 \pm 0.17 b	10.44 \pm 0.41 b	12.92 \pm 0.49 b	14.75 \pm 0.43 b	17.93 \pm 0.50 b
	P. çelik (2-slot)	8.67 \pm 0.35 a	11.83 \pm 0.70 a	14.63 \pm 0.77 a	16.63 \pm 0.79 a	20.29 \pm 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, C23)	4.58 \pm 0.15 c	6.37 \pm 0.19 c	7.58 \pm 0.27 c	8.69 \pm 0.36 c	10.49 \pm 0.49 c
	K.rengi (3-slot)	5.92 \pm 0.31 b	8.28 \pm 0.39 b	9.95 \pm 0.45 b	11.53 \pm 0.56 b	13.79 \pm 0.77 b
	Sarı (2-slot)	6.22 \pm 0.29 ab	8.61 \pm 0.43 ab	10.35 \pm 0.54 b	12.14 \pm 0.65 ab	14.41 \pm 0.70 b
	P. çelik (2-slot)	6.57 \pm 0.24 a	9.09 \pm 0.40 a	11.28 \pm 0.48 a	12.97 \pm 0.59 a	16.90 \pm 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, C23)	3.63 \pm 0.12 b	5.07 \pm 0.25 b	6.07 \pm 0.21 c	6.99 \pm 0.27 c	8.54 \pm 0.38 c
	K.rengi (3-slot)	4.94 \pm 0.19 a	6.91 \pm 0.26 a	8.46 \pm 0.30 b	9.76 \pm 0.38 b	11.83 \pm 0.48 b
	Sarı (2-slot)	5.13 \pm 0.35 a	7.15 \pm 0.48 a	8.56 \pm 0.47 b	9.97 \pm 0.75 b	12.11 \pm 1.04 b
	P. çelik (2-slot)	5.40 \pm 0.37 a	7.68 \pm 0.67 a	9.49 \pm 0.66 a	11.13 \pm 0.89 a	13.68 \pm 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, C23)	2.88 \pm 0.08 b	4.04 \pm 0.12 b	4.89 \pm 0.15 b	5.65 \pm 0.22 b	6.85 \pm 0.21 b
	K.rengi (3-slot)	4.25 \pm 0.32 a	6.00 \pm 0.47 a	7.48 \pm 0.61 a	8.68 \pm 0.67 a	10.44 \pm 0.77 a
	Sarı (2-slot)	4.37 \pm 0.32 a	6.21 \pm 0.43 a	7.71 \pm 0.59 a	8.81 \pm 0.53 a	10.54 \pm 0.42 a
	P. çelik (2-slot)	4.59 \pm 0.52 a	6.67 \pm 0.50 a	7.81 \pm 0.35 a	8.98 \pm 0.59 a	11.29 \pm 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 meme orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır.

** : $p < 0.01$ çok önemli

Püskürtme basıncı arttıkça damlanın orifisi terk etme hızı artmıştır (Şekil 4.4a). Meme orifis gruplarında püskürtme basıncı 2 bar olduğunda damla hızı ortalamaları 2.88-9.30 $m s^{-1}$ aralığında değişirken, 12 bar basınçta artarak ortalamalar 6.85-22.13 $m s^{-1}$ aralığında değişmiştir. Meme gruplarına göre en büyük damla hızı 1.0 mm orifis çaplı meme plakasında (Şekil 4.4b) elde edilmiştir. Meme orifis çapı arttıkça damla hızının azaldığı ve püskürtme basıncıyla orantılı bir şekilde düştüğü görülmüştür. Orifis çapı 1.0 mm olan meme plakasında damla hız ortalaması 7.09-22.13 $m s^{-1}$ olmak üzere geniş bir aralıkta değişmiştir. Orifis çapı 2.4 mm olduğunda ortalamalar azalarak 2.88-11.29 $m s^{-1}$ aralıkta yer almıştır.



Şekil 4.4. Orifis çıkışında damla hızına (V_{max} , $m s^{-1}$) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre damla hızının basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre damla hızının meme orifis çapına göre değişimi (ort±2·SH)

4.5.2. Damla çapı ($D_{v0.50}$)

Orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm ve 1.6 mm olan meme plakalarında en büyük damla çapı paslanmaz çelik girdapta, en düşük mavi girdap plaketinde belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Meme plakası orifis çapı 2.0 mm olduğunda düşük püskürtme basınçlarında (2 bar ve 4 bar) girdap plaketinin etkisi azalmaya başlamış ve düşük debi veren mavi girdapta damla çapı ortalaması önemli düzeyde düşük bulunmuştur. En büyük orifis çapına sahip 2.4 mm'lik meme plakasında kahverengi, sarı ve paslanmaz çelik girdap plaketlerinin damla çapını etkilemediği ve mavi girdaptan daha yüksek damla çapı ortalamasına sahip olduğu belirlenmiştir.

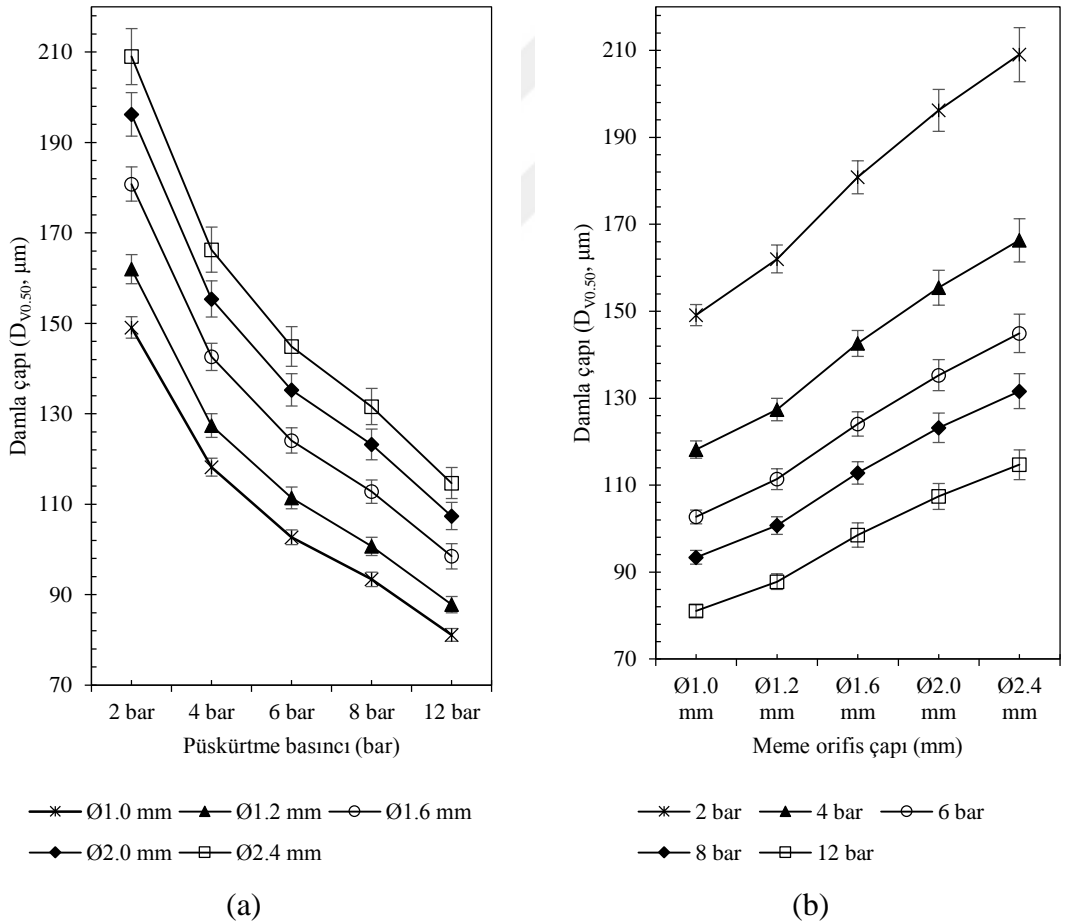
Çizelge 4.10. Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının damla çapına ($D_{v0.50}$, μm) etkisi (Ort \pm SS)

Meme plakası orifis çapı (mm)	Girdap plaketleri	Püskürtme basıncı				
		2 bar	4 bar	6 bar	8 bar	12 bar
Ø1.0	Mavi (2-slot, C23)	141.5 \pm 0.8 c	111.9 \pm 0.7 c	97.1 \pm 0.5 c	88.2 \pm 0.4 c	76.3 \pm 0.3 c
	K.rengi (3-slot)	149.1 \pm 2.8 b	118.5 \pm 2.6 b	103.4 \pm 2.2 b	94.0 \pm 2.0 b	81.8 \pm 1.5 b
	Sarı (2-slot)	151.2 \pm 2.1 b	119.8 \pm 2.0 ab	103.9 \pm 1.5 ab	94.3 \pm 1.5 b	82.1 \pm 1.5 b
	P. çelik (2-slot)	154.8 \pm 1.3 a	122.8 \pm 1.4 a	106.4 \pm 1.2 a	97.3 \pm 1.0 a	84.4 \pm 0.8 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	44.64 (0.000)**	32.16 (0.000)	35.51 (0.000)	39.72 (0.000)	43.12 (0.000)
	Ø1.2	Mavi (2-slot, C23)	152.2 \pm 0.7 c	119.4 \pm 0.3 c	103.8 \pm 0.6 c	94.0 \pm 0.2 c
K.rengi (3-slot)		162.0 \pm 3.3 b	127.8 \pm 2.3 b	111.7 \pm 1.9 b	100.9 \pm 2.2 b	88.0 \pm 1.7 b
Sarı (2-slot)		163.3 \pm 1.2 b	128.5 \pm 1.7 b	112.6 \pm 1.4 b	101.9 \pm 1.0 b	88.8 \pm 0.8 b
P. çelik (2-slot)		170.7 \pm 2.3 a	133.9 \pm 2.6 a	117.4 \pm 2.1 a	106.1 \pm 1.7 a	92.5 \pm 1.6 a
<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)		64.95 (0.000)	47.06 (0.000)	61.54 (0.000)	58.16 (0.000)	61.69 (0.000)
Ø1.6		Mavi (2-slot, C23)	167.2 \pm 1.8 c	132.0 \pm 1.3 c	114.2 \pm 1.3 c	103.5 \pm 1.4 c
	K.rengi (3-slot)	182.1 \pm 3.2 b	144.0 \pm 2.3 b	125.1 \pm 1.9 b	113.7 \pm 1.8 b	98.5 \pm 1.9 b
	Sarı (2-slot)	185.1 \pm 2.9 ab	145.9 \pm 2.4 ab	126.7 \pm 2.2 b	115.7 \pm 2.1 ab	100.0 \pm 1.7 b
	P. çelik (2-slot)	188.6 \pm 2.4 a	148.6 \pm 2.2 a	130.4 \pm 1.9 a	118.3 \pm 1.8 a	105.4 \pm 3.3 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	65.85 (0.000)	62.27 (0.000)	70.24 (0.000)	64.12 (0.000)	43.06 (0.000)
	Ø2.0	Mavi (2-slot, C23)	179.6 \pm 1.9 b	142.0 \pm 2.3 b	123.1 \pm 1.4 c	111.7 \pm 1.4 c
K.rengi (3-slot)		198.9 \pm 2.5 a	157.4 \pm 2.0 a	137.5 \pm 1.7 b	124.8 \pm 1.6 b	108.7 \pm 1.5 b
Sarı (2-slot)		201.4 \pm 4.6 a	159.2 \pm 3.6 a	137.9 \pm 2.5 b	125.7 \pm 3.1 b	109.5 \pm 3.2 b
P. çelik (2-slot)		204.9 \pm 4.5 a	162.9 \pm 4.5 a	142.8 \pm 3.2 a	130.4 \pm 3.4 a	114.1 \pm 2.5 a
<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)		49.14 (0.000)	39.35 (0.000)	67.60 (0.000)	49.55 (0.000)	48.08 (0.000)
Ø2.4		Mavi (2-slot, C23)	187.6 \pm 1.7 b	148.6 \pm 1.5 b	129.3 \pm 1.3 b	117.5 \pm 1.5 b
	K.rengi (3-slot)	213.6 \pm 5.4 a	169.5 \pm 4.5 a	148.9 \pm 4.1 a	135.5 \pm 3.5 a	117.7 \pm 3.0 a
	Sarı (2-slot)	215.7 \pm 5.2 a	171.5 \pm 3.9 a	150.4 \pm 3.8 a	136.2 \pm 2.7 a	118.1 \pm 1.6 a
	P. çelik (2-slot)	219.0 \pm 8.4 a	175.6 \pm 4.3 a	151.1 \pm 2.3 a	137.1 \pm 3.0 a	120.8 \pm 1.8 a
	<i>F</i> değeri (<i>p</i> , sigma)	32.23 (0.000)	51.56 (0.000)	57.83 (0.000)	56.75 (0.000)	90.83 (0.000)

*: Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre her bir meme orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır.

** $p < 0.01$ çok önemli

Püskürtme basıncı arttıkça damla çapı azalmıştır (Şekil 4.5a). Meme orifis gruplarında püskürtme basıncı 2 bar olduğunda damla hızı ortalamaları 141.5-219.0 μm aralığında değişirken, 12 bar basınçta azalarak ortalamalar 76.3-120.8 μm aralığında değişmiştir. Meme gruplarına göre en büyük damla çapı 2.4 mm orifis çaplı meme plakasında (Şekil 4.4b) 2 bar basınçta elde edilmiştir. Meme orifis çapı arttıkça damla çapının arttığı ve püskürtme basıncıyla ters orantılı olarak azaldığı görülmüştür. Orifis çapı 1.0 mm olan meme plakasında damla çapı ortalaması 76.3-154.8 μm aralığında değişmiştir. Orifis çapı 2.4 mm olduğunda ortalamalar artmış ve damla çapının 102.3-219.0 μm aralığında değiştiği belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Damla çapına ($D_{v0.50}$, μm) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre damla çapının basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre damla çapının meme orifis çapına göre değişimi (ort \pm 2·SH)

Çizelge 4.11’de damla çapı ve basınç arasındaki regresyon analizi sonuçları ve her iki değişken arasındaki üssel fonksiyonlar meme orifis çapı ve girdap plaketi kombinasyonlarının her biri için ayrı ayrı verilmiştir. Üssel fonksiyonlar kullanılarak herhangi bir orifis çapı ve girdap plaketine püskürtme basıncı değişkenine göre damla çapı tahmini yapılabilmektedir.

Çizelge 4.11. Damla çapı ($D_{V0.50}$, μm) ve püskürtme basıncı (P , bar) değişkenleri arasında regresyon analizi sonuçları ve elde edilen üssel fonksiyonlar

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketeri	¹ Üssel fonksiyonlar	R^2 (Düzeltilmiş)	HKO	F değeri	p (sigma)
1.0	Mavi (2-slot, C23)	$D_{V0.50} = 179.947 \cdot P^{(-0.344)}$	1.000	7.4E-06	30260.7	0.000**
	K.rengi (3-slot)	$D_{V0.50} = 188.254 \cdot P^{(-0.335)}$	1.000	2.8E-06	75060.5	0.000
	Sarı (2-slot)	$D_{V0.50} = 191.777 \cdot P^{(-0.341)}$	1.000	3.4E-06	64100.2	0.000
	P. çelik (2-slot)	$D_{V0.50} = 195.812 \cdot P^{(-0.338)}$	1.000	1.3E-05	17014.0	0.000
1.2	Mavi (2-slot, C23)	$D_{V0.50} = 193.176 \cdot P^{(-0.346)}$	1.000	3.0E-06	74828.9	0.000
	K.rengi (3-slot)	$D_{V0.50} = 205.129 \cdot P^{(-0.341)}$	1.000	2.9E-06	76421.1	0.000
	Sarı (2-slot)	$D_{V0.50} = 206.358 \cdot P^{(-0.339)}$	1.000	5.7E-06	38054.0	0.000
	P. çelik (2-slot)	$D_{V0.50} = 215.849 \cdot P^{(-0.341)}$	1.000	9.9E-06	22156.5	0.000
1.6	Mavi (2-slot, C23)	$D_{V0.50} = 212.894 \cdot P^{(-0.347)}$	1.000	3.8E-06	59436.6	0.000
	K.rengi (3-slot)	$D_{V0.50} = 231.167 \cdot P^{(-0.342)}$	1.000	4.9E-06	45389.7	0.000
	Sarı (2-slot)	$D_{V0.50} = 234.638 \cdot P^{(-0.342)}$	1.000	1.2E-05	18163.2	0.000
	P. çelik (2-slot)	$D_{V0.50} = 235.016 \cdot P^{(-0.327)}$	0.998	7.8E-05	2576.0	0.000
2.0	Mavi (2-slot, C23)	$D_{V0.50} = 227.631 \cdot P^{(-0.342)}$	1.000	4.2E-06	52470.7	0.000
	K.rengi (3-slot)	$D_{V0.50} = 251.223 \cdot P^{(-0.337)}$	1.000	7.4E-07	290127.4	0.000
	Sarı (2-slot)	$D_{V0.50} = 254.871 \cdot P^{(-0.340)}$	1.000	7.5E-06	29064.3	0.000
	P. çelik (2-slot)	$D_{V0.50} = 256.533 \cdot P^{(-0.326)}$	1.000	3.4E-06	58590.3	0.000
2.4	Mavi (2-slot, C23)	$D_{V0.50} = 237.314 \cdot P^{(-0.338)}$	1.000	9.9E-07	218236.0	0.000
	K.rengi (3-slot)	$D_{V0.50} = 268.783 \cdot P^{(-0.331)}$	1.000	1.1E-05	18819.0	0.000
	Sarı (2-slot)	$D_{V0.50} = 272.771 \cdot P^{(-0.335)}$	1.000	1.9E-05	11150.2	0.000
	P. çelik (2-slot)	$D_{V0.50} = 277.035 \cdot P^{(-0.336)}$	0.999	5.4E-05	3897.2	0.000

¹: $D_{V0.50}$: damla çapı (μm); P : püskürtme basıncı (bar); **: $p < 0.01$ çok önemli

Çizelge 4.12’de meme plakası ve girdap plaketi kombinasyonlarda 2-12 bar basınç aralığında damla çapı kategorileri verilmiştir. Buna göre konik hüzmeli memelerle çoğunlukla çok ince olmak üzere ve kısmen ince ve orta yapılı damlaların üretildiği belirlenmiştir. Orifis çapı 1.6 mm’den büyük olan meme plakalarında üretilen orta yapılı damlalar düşük basınçlarda (2 ve 3 bar) elde edilmiştir.

Çizelge 4.12. Meme orifis çapı ve girdap plaketi kombinasyonlarında belirlenen damla çapının ($D_{v0.50}$, μm) püskürtme basıncına göre değişimi

Orifis çapı (mm)	Girdap plaketi	Püskürtme basıncı (bar)											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.0	Mavi (2-slot, C23)	F ^a	VF ^b	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	K.rengi (3-slot)	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	Sarı (2-slot)	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	P. çelik (2-slot)	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
1.2	Mavi (2-slot, C23)	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	K.rengi (3-slot)	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	Sarı (2-slot)	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	P. çelik (2-slot)	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
1.6	Mavi (2-slot, C23)	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	K.rengi (3-slot)	M ^c	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	Sarı (2-slot)	M	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	P. çelik (2-slot)	M	F	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
2.0	Mavi (2-slot, C23)	M	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	K.rengi (3-slot)	M	F	F	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	Sarı (2-slot)	M	F	F	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	P. çelik (2-slot)	M	M	F	F	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF
2.4	Mavi (2-slot, C23)	M	F	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	K.rengi (3-slot)	M	M	F	F	F	F	VF	VF	VF	VF	VF	VF
	Sarı (2-slot)	M	M	F	F	F	F	F	VF	VF	VF	VF	VF
	P. çelik (2-slot)	C ^d	M	F	F	F	F	F	VF	VF	VF	VF	VF

^a: F (fine) ince yapılı pülverizasyon; ^b: VF (very fine) çok ince yapılı pülverizasyon; ^c: M (medium) orta yapılı pülverizasyon; ^d: C (coarse) kaba yapılı pülverizasyon

4.5.3. Damlanın orifis çıkışındaki kinetik enerjisi (E_k)

Orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm ve 1.6 mm olan meme plakalarında en yüksek damla kinetik enerjisi paslanmaz çelik girdapta, en düşük mavi girdap plaketine bulunmuştur (Çizelge 4.13). Meme plakası orifis çapı 2.0 mm olduğunda düşük püskürtme basınçlarında (2 bar ve 4 bar) girdap plakentinin etkisi azalmaya başlamış ve düşük debi veren mavi girdapta ortalama damla kinetik enerjisi önemli düzeyde düşük bulunmuştur. En büyük orifis çaplı (2.4 mm) meme plakasında kahverengi, sarı ve paslanmaz çelik girdap plaketterinin damlanın kinetik enerjisini etkilemediği ve mavi girdaptan daha büyük kinetik enerjiye sahip olduğu belirlenmiştir.

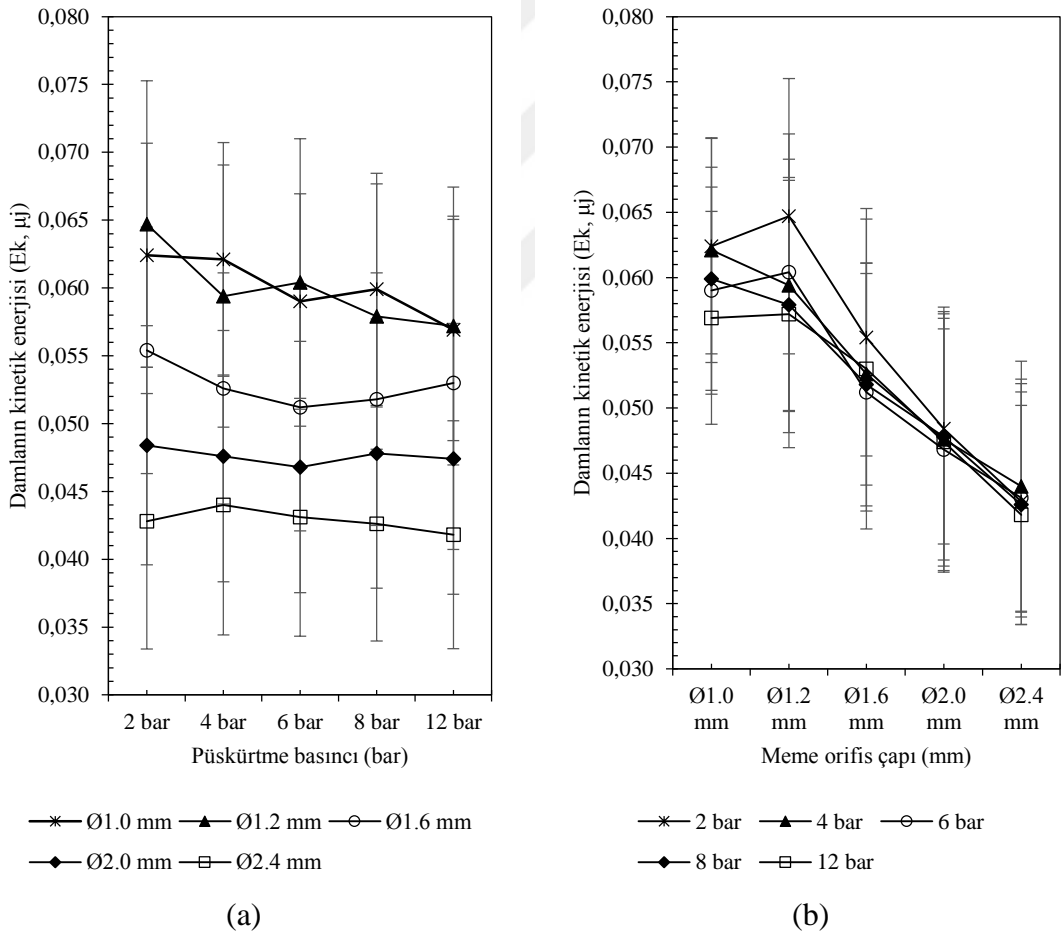
Çizelge 4.13. Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının damlanın orifis çıkışında kazandığı kinetik enerjiye (E_k , μj) etkisi (ort \pm SS)

Meme plakası 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 \pm 0.002 c	0.036 \pm 0.002 c	0.034 \pm 0.002 c	0.034 \pm 0.001 c	0.031 \pm 0.001 c
	K.rengi (3-slot)	0.061 \pm 0.010 b	0.061 \pm 0.012 b	0.060 \pm 0.012 b	0.061 \pm 0.011 b	0.059 \pm 0.009 b
	Sarı (2-slot)	0.068 \pm 0.008 b	0.067 \pm 0.010 b	0.063 \pm 0.008 b	0.062 \pm 0.009 b	0.061 \pm 0.010 b
	P. çelik (2-slot)	0.084 \pm 0.006 a	0.084 \pm 0.009 a	0.078 \pm 0.008 a	0.082 \pm 0.008 a	0.077 \pm 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 \pm 0.002 c	0.032 \pm 0.001 c	0.030 \pm 0.001 c	0.030 \pm 0.001 c
K.rengi (3-slot)		0.062 \pm 0.011 b	0.058 \pm 0.009 b	0.058 \pm 0.009 b	0.056 \pm 0.011 b	0.055 \pm 0.009 b
Sarı (2-slot)		0.066 \pm 0.005 b	0.061 \pm 0.007 b	0.063 \pm 0.007 b	0.060 \pm 0.005 b	0.059 \pm 0.005 b
P. çelik (2-slot)		0.097 \pm 0.010 a	0.087 \pm 0.013 a	0.091 \pm 0.014 a	0.086 \pm 0.011 a	0.087 \pm 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 \pm 0.002 c	0.025 \pm 0.002 c	0.022 \pm 0.002 c	0.022 \pm 0.003 c
	K.rengi (3-slot)	0.056 \pm 0.009 b	0.054 \pm 0.008 b	0.051 \pm 0.007 b	0.051 \pm 0.007 b	0.048 \pm 0.008 b
	Sarı (2-slot)	0.064 \pm 0.009 ab	0.061 \pm 0.009 ab	0.057 \pm 0.009 b	0.060 \pm 0.010 ab	0.055 \pm 0.008 b
	P. çelik (2-slot)	0.076 \pm 0.008 a	0.071 \pm 0.009 a	0.074 \pm 0.010 a	0.073 \pm 0.010 a	0.089 \pm 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 \pm 0.002 b	0.019 \pm 0.003 b	0.018 \pm 0.002 c	0.018 \pm 0.002 c
K.rengi (3-slot)		0.050 \pm 0.005 a	0.049 \pm 0.006 a	0.049 \pm 0.005 b	0.049 \pm 0.006 b	0.047 \pm 0.006 b
Sarı (2-slot)		0.057 \pm 0.011 a	0.055 \pm 0.011 a	0.051 \pm 0.008 b	0.052 \pm 0.012 b	0.051 \pm 0.012 b
P. çelik (2-slot)		0.066 \pm 0.014 a	0.067 \pm 0.018 a	0.069 \pm 0.016 a	0.072 \pm 0.017 a	0.074 \pm 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 \pm 0.001 b	0.014 \pm 0.001 b	0.014 \pm 0.001 b	0.014 \pm 0.002 b
	K.rengi (3-slot)	0.047 \pm 0.011 a	0.047 \pm 0.011 a	0.049 \pm 0.012 a	0.050 \pm 0.011 a	0.047 \pm 0.010 a
	Sarı (2-slot)	0.051 \pm 0.012 a	0.052 \pm 0.012 a	0.054 \pm 0.013 a	0.052 \pm 0.010 a	0.048 \pm 0.006 a
	P. çelik (2-slot)	0.060 \pm 0.020 a	0.064 \pm 0.015 a	0.055 \pm 0.008 a	0.055 \pm 0.011 a	0.059 \pm 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 meme orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır.

** $p < 0.01$ çok önemli

Püskürtme basıncı arttıkça damlanın kinetik enerjisinde önemli bir değişim olmamıştır (Şekil 4.6a). Meme orifis gruplarında püskürtme basıncı 2 bar olduğunda ortalama kinetik enerji 0.014-0.097 μj aralığında değişirken, 12 bar basınçta azalarak ortalamalar 0.013-0.087 aralığında değişmiştir. Meme orifis grupları içerisinde damlanın sahip olduğu en büyük kinetik enerji 1.0 mm ve 1.2 mm orifis çaplı meme plakalarında bulunmuştur (Şekil 4.6b). Meme orifis çapı arttıkça özellikle 1.6 mm'den sonra damla kinetik enerjisi azalmıştır. Orifis çapı 1.0 mm olan meme plakasında ortalama kinetik enerji 0.031-0.084 μj aralığında; orifis çapı 2.4 mm olan memede 0.013-0.064 μj aralığında değişmiştir.



Şekil 4.6. Damlanın kinetik enerjisine (E_k , μj) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre damlanın kinetik enerjisinin basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre damlanın kinetik enerjisinin meme orifis çapına göre değişimi ($\text{ort} \pm 2 \cdot \text{SH}$)

4.5.4. Damlanın terminal hızı (V_t)

Orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm ve 1.6 mm olan meme plakalarında damlanın en yüksek terminal hızı paslanmaz çelik girdapta, en düşük mavi girdap plaketine bulunmuştur (Çizelge 4.14). Meme plakası orifis çapı 2.0 mm olduğunda düşük püskürtme basınçlarında (2 bar ve 4 bar) girdap plakentinin etkisi azalmaya başlamış ve düşük debi veren mavi girdapta ortalama terminal hız önemli düzeyde düşük bulunmuştur. En büyük orifis çaplı (2.4 mm) meme plakasında kahverengi, sarı ve paslanmaz çelik girdap plaketterinin damlanın terminal hızını etkilemediği ve mavi girdaptan daha büyük terminal hıza sahip olduğu belirlenmiştir.

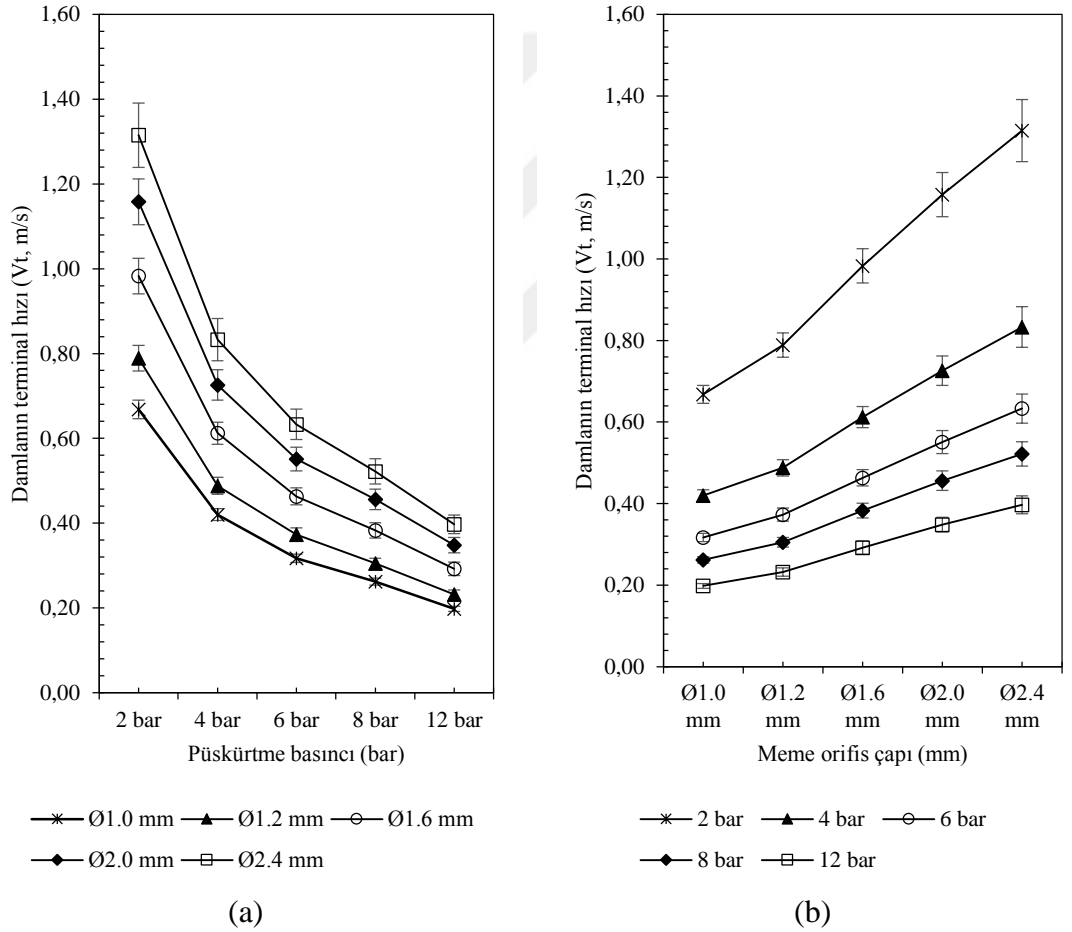
Çizelge 4.14. Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının damlanın terminal hızına (V_t , m s⁻¹) etkisi (ort±SS)

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	0.20±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	0.24±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	0.29±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	0.31±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 meme orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır.

** $p < 0.01$ çok önemli

Püskürtme basıncı arttıkça damlanın terminal hızı azalmıştır (Şekil 4.7a). Meme orifis gruplarında püskürtme basıncı 2 bar olduğunda ortalama kinetik enerji $0.60-1.44 \text{ m s}^{-1}$ aralığında değişirken, 12 bar basınçta azalarak ortalamalar $0.18-0.44 \text{ m s}^{-1}$ aralığında değişmiştir. Meme orifis grupları içerisinde damlanın sahip olduğu en yüksek terminal hız 2 bar basınçta 2.4 mm orifis çaplı meme plakasında bulunmuştur (Şekil 4.7b). Orifis çapı 1.0 mm olan meme plakasında ortalama terminal hız $0.18-0.72 \text{ m s}^{-1}$ aralığında; orifis çapı 2.4 mm olan memede $0.31-1.44 \text{ m s}^{-1}$ aralığında değişmiştir.



Şekil 4.7. Damlanın terminal hızına ($V_t, \text{ m s}^{-1}$) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre damlanın terminal hızının basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre damlanın terminal hızının meme orifis çapına göre değişimi ($\text{ort} \pm 2 \cdot \text{SH}$)

4.5.5. Damlanın durma mesafesi (D_s)

Orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm ve 1.6 mm olan meme plakalarında damlanın durağan hava koşullarında serbest kaldığı en uzak mesafe paslanmaz çelik girdapta, en yakın mavi girdap plaketine bulunmuştur (Çizelge 4.15). Meme plakası orifis çapı 2.0 mm olduğunda düşük püskürtme basınçlarında (2 bar ve 4 bar) girdap plakentinin etkisi azalmış ve düşük debi veren mavi girdapta damla durma mesafesi önemli seviyede düşük bulunmuştur. En büyük orifis çaplı (2.4 mm) meme plakasında kahverengi, sarı ve paslanmaz çelik girdap plaketterinin damlanın durağan havada durma mesafesini etkilemediği belirlenmiştir. Damlanın havada serbest kaldığı en yakın mesafe mavi girdap plaketine belirlenmiştir.

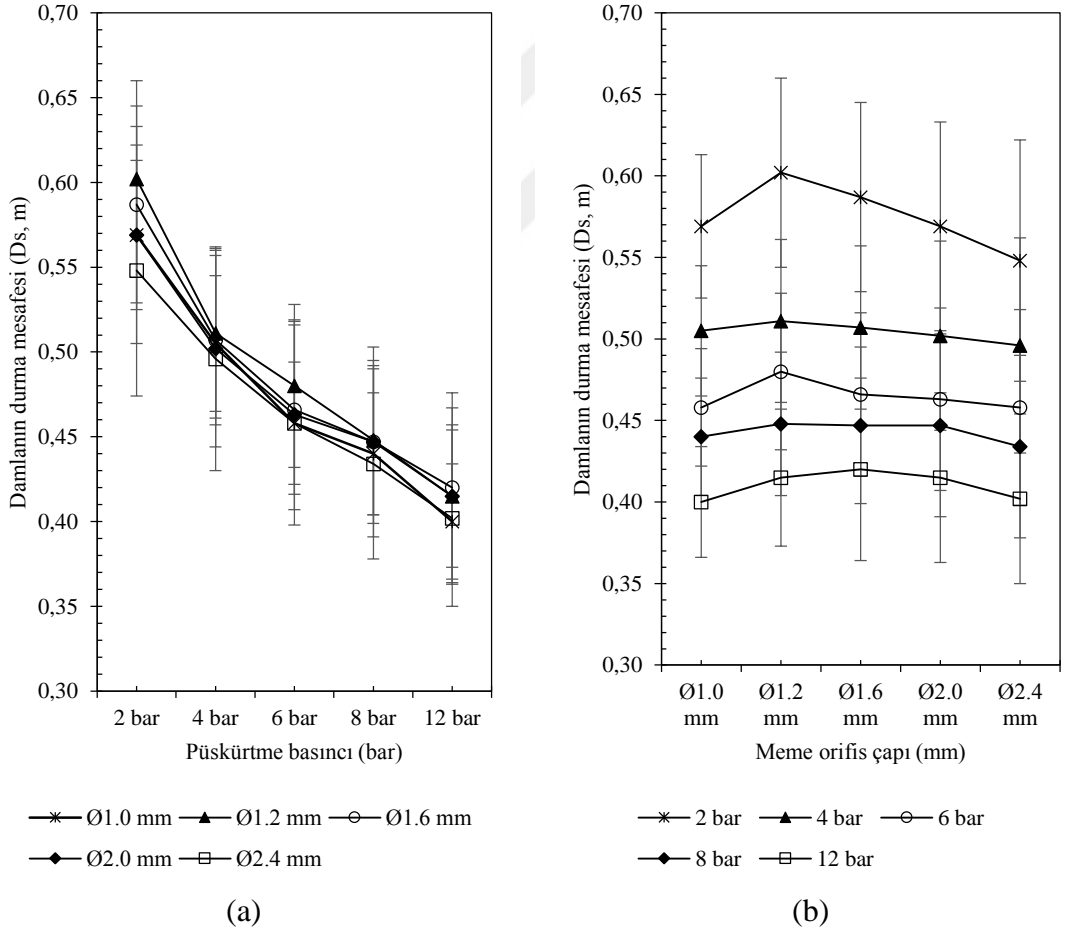
Çizelge 4.15. Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının damlanın havada durma mesafesine (D_s , m) etkisi (ort±SS)

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 meme orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır.

** $p < 0.01$ çok önemli

Püskürtme basıncı arttıkça havada serbest kalan damlanın durma mesafesi azalmıştır. Bir diğer anlamda damla orifise daha yakın bir mesafede durmuştur (Şekil 4.8a). Meme orifis gruplarında püskürtme basıncı 2 bar olduğunda ortalama durma uzaklığı 0.31-0.77 m aralığında değişirken, 12 bar basınçta azalarak ortalamalar 0.22-0.58 m aralığında değişmiştir. Damlanın havada durma mesafesi meme orifis çapıyla orantılı olarak değişmemiştir. Ancak meme orifis gruplarında en uzak durma mesafesi 2 bar basınçta elde edilmiştir (Şekil 4.8b). Orifis çapı 1.0 mm olan meme plakasında ortalama durma uzaklığı 0.29-0.68 m aralığında; orifis çapı 2.4 mm olan memede 0.22-0.67 m aralığında değişmiştir.



Şekil 4.8. Damlanın durma mesafesine (D_s , m) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre damlanın durma mesafesinin basınca göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre damlanın durma mesafesinin meme orifis çapına göre değişimi ($ort \pm 2 \cdot SH$)

4.5.6. Damlanın sürüklenme potansiyeli (S)

Orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm ve 1.6 mm olan meme plakalarında en düşük sürüklenme paslanmaz çelik girdapta, en yüksek mavi girdap plaketine bulunmuştur (Çizelge 4.16). Meme plakası orifis çapı 2.0 mm olduğunda düşük püskürtme basınçlarında (2 bar ve 4 bar) girdap plakentinin etkisi azalmış ve düşük debi veren mavi girdapta sürüklenme potansiyeli önemli seviyede yüksek bulunmuştur. En büyük orifis çaplı (2.4 mm) meme plakasında kahverengi, sarı ve paslanmaz çelik girdap plakelerinin damlanın sürüklenme potansiyelini etkilemediği belirlenmiştir.

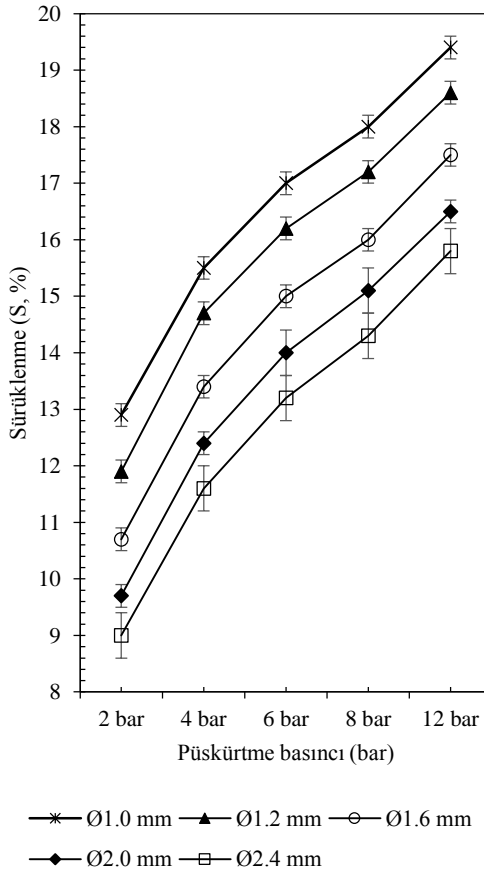
Çizelge 4.16. Meme plakalarında girdap plaketi ve işletme basıncının sürüklenme potansiyeline (S, %) etkisi (ort±SS)

Orifis çapı (mm)	Girdap plakeleri	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)

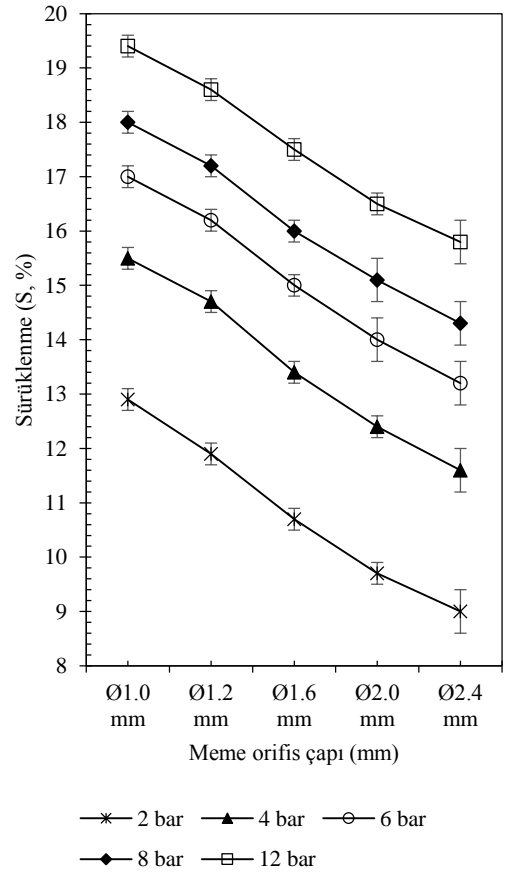
*: Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre her bir meme orifis çapı ve püskürtme basıncı grubu için aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar %95 düzeyinde farklıdır.

***p*<0.01 çok önemli

Püskürtme basıncı arttıkça damlanın sürüklenme potansiyeli önemli derecede artmıştır. (Şekil 4.9a). Meme orifis gruplarında püskürtme basıncı 2 bar olduğunda ortalama sürüklenme %8.5-%13.5 aralığında değişirken, 12 bar basınçta artarak ortalamalar %15.3-%19.9 aralığında değişmiştir. Meme orifis çapı arttıkça damlanın sürüklenme potansiyeli azalmıştır. En düşük sürüklenme 2.4 mm orifis çaplı meme plakasında 2 bar basınçta elde edilmiştir (Şekil 4.9b). Orifis çapı 1.0 mm olan meme plakasında ortalama sürüklenme %12.4-%19.9 aralığında; orifis çapı 2.4 mm olan memede %8.5-%17.0 aralığında değişmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.9. Sürüklenme potansiyeline (S , %) etki eden faktörler (a) meme orifis çaplarına göre sürüklenme potansiyelinin basınçta göre değişimi (b) püskürtme basınçlarına göre sürüklenme potansiyelinin meme orifis çapına göre değişimi ($ort \pm 2 \cdot SH$)

4.5.6. Püskürtmeyi tanımlayan değişkenler arasında korelasyon analizi

Konik hüzmeli memelerin püskürtme karakteristiğini tanımlayan değişkenler arasındaki korelasyon analizi sonuçları Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Korelasyon analizinden elde edilen sonuçlar:

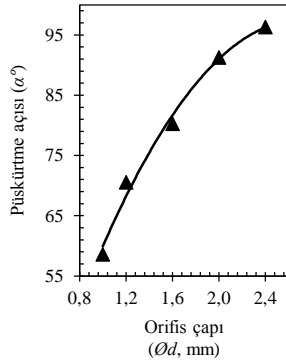
- Püskürtme açısının (α°) diğer tüm değişkenlerle çok önemli düzeyde korelasyon göstermiştir. Püskürtme açısı (α°) ve orifis çapı (\varnothing_d) arasındaki korelasyon katsayısı pozitif yönlü olup, diğerlerine göre daha yüksektir. Bu durum orifis çapı arttıkça püskürtme açısının da arttığını göstermektedir.
- Püskürtme basıncındaki (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 etkilemiştir. Meme plakası orifis çapı (\varnothing_d) ve püskürtme açısı (α°) arttığında damlanın kinetik enerjisi negatif yönde değişerek azalmıştır.
- Püskürtme basıncı (P) arttığında negatif yönlü ilişki gösteren damla çapı ($D_{V0.50}$), damlanın terminal hızı (V_t) ve damlanın serbest kalma uzaklığı (D_s) azalmıştır.
- Meme debisi (q) damlanın orifis çıkış hızına (V_{max}) etkisi olmamıştır.
- Meme plakası orifis çapı (\varnothing_d), püskürtme açısı (α°), damla çapı (α°) ve damlanın terminal hızı (V_t) arttıkça damlanın sürüklenme potansiyeli (S) azalmıştır.

Çizelge 4.17. Püskürtme karakteristiğini tanımlayan değişkenler ve korelasyon analizi

	\varnothing_d	P	q	α°	C_D	V_{max}	$D_{V0.50}$	V_t	D_s	E_k	S
\varnothing_d	1.000	0.000	0.717	0.836	-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**	0.000**	0.000**	0.445 ^{ns}	0.000**	0.000**
P	0.000	1.000	0.551	0.169	-0.031	0.667	-0.785	-0.749	-0.418	-0.051	0.804
	1.000	0.000**	0.000**	0.495 ^{ns}	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.252 ^{ns}	0.000**
q	0.717	0.551	1.000	0.569	-0.491	0.012	-0.060	-0.082	0.027	0.045	0.039
	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.788 ^{ns}	0.180 ^{ns}	0.066 ^{ns}	0.551 ^{ns}	0.312 ^{ns}	0.390 ^{ns}
α°	0.836	0.169	0.569	1.000	-0.921	-0.506	0.172	0.165	-0.412	-0.591	-0.176
	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
C_D	-0.864	-0.031	-0.491	-0.921	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**	0.000**	0.000**
V_{max}	-0.614	0.667	0.012	-0.506	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**	0.000**	0.000**	0.860 ^{ns}	0.000**	0.000**
$D_{V0.50}$	0.483	-0.785	-0.060	0.172	-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**	0.000**	0.000**	0.071 ^{ns}	0.000**
V_t	0.462	-0.749	-0.082	0.165	-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**	0.000**	0.000**	0.088 ^{ns}	0.000**
D_s	-0.034	-0.418	0.027	-0.412	0.448	0.008	0.544	0.534	1.000	0.866	-0.545
	0.445 ^{ns}	0.000**	0.551 ^{ns}	0.000**	0.000**	0.860 ^{ns}	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
E_k	-0.312	-0.051	0.045	-0.591	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**	0.000**	0.071 ^{ns}	0.088 ^{ns}	0.000**	0.000**	0.060 ^{ns}
S	-0.494	0.804	0.039	-0.176	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**	0.000**	0.060 ^{ns}	0.000**

\varnothing_d : orifis çapı; P : püskürtme basıncı; q : meme debisi; α° : püskürtme açısı; 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

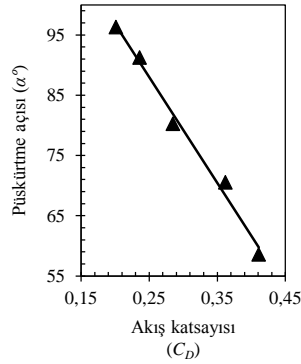
Şekil 4.10'da püskürtme açısı değişkeninin orifis çapı, akış katsayısı ve maksimum damla hızı değişkenlerine bağımlı olarak değiştiği görülmektedir. Benzer şekilde sürüklenme değişkeni meme orifis çapı, damla çapı ve terminal hız değişkenleriyle uyumlu olarak değişmiştir. Meme orifis çıkışında damlanın sahip olduğu kinetik enerjinin değişiminde püskürtme basıncının, damlanın havada serbest kalma mesafesinin ve orifis çıkışındaki damla hızının etkili olduğu görülmüştür.



$$y = (-12.886)x^2 + 69.764x + 3.0194$$

$$R^2 = 0.9901$$

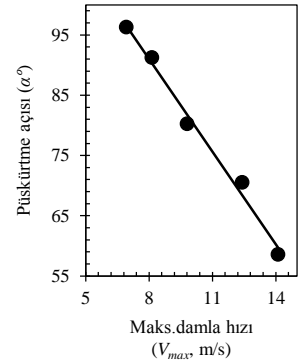
(a)



$$y = (-175.17)x + 131.77$$

$$R^2 = 0.9899$$

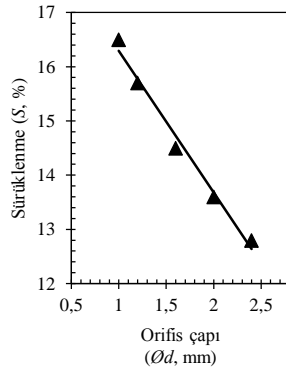
(b)



$$y = (-5.1334)x + 132.07$$

$$R^2 = 0.9903$$

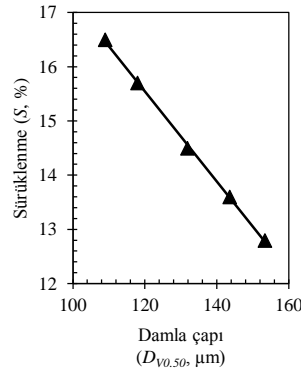
(c)



$$y = (-2.6098)x + 18.90$$

$$R^2 = 0.9854$$

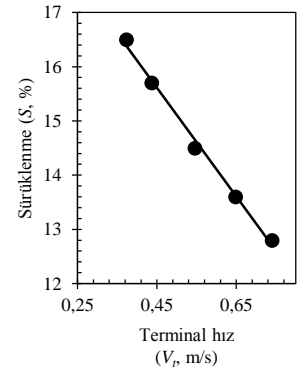
(d)



$$y = (-0.083)x + 25.505$$

$$R^2 = 0.9993$$

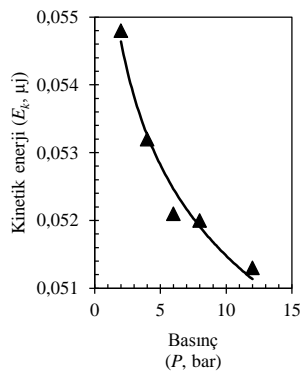
(e)



$$y = (-10.022)x + 20.12$$

$$R^2 = 0.9948$$

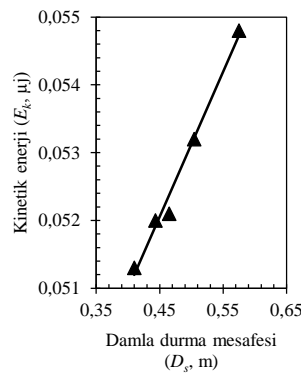
(f)



$$y = 0.0561x^{-0.037}$$

$$R^2 = 0.9730$$

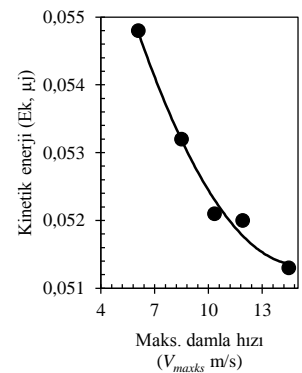
(g)



$$y = 0.0214x + 0.0424$$

$$R^2 = 0.9866$$

(h)



$$y = (4E - 05)x^2 - 0.0013x + 0.061$$

$$R^2 = 0.9869$$

(i)

Şekil 4.10. Bağımlı değişken olarak püskürtme açısı, sürüklenme ve damla kinetik enerjisinin bazı bağımsız değişkenlerle olan ilişkisi

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

5.1. Girdap Plaketlerinin Meme Debisine Etkisi

Pülverizatör memesi üreten yurtdışı firma katalogları incelendiğinde konik hüzmeli meme plakalarında debinin girdap plaketine göre değiştiği bilinmektedir (Arag[®] 2004; Albuz[®] 2009; Teejet[®] 2014; Hypro[®] 2017). Ancak yurtiçinde yerli üretimde kullanılan girdap plaketlerinin işletme özellikleriyle ilgili bir bilgiye ulaşılamamaktadır. Sayıncı vd (2013) tarafından yürütülen araştırmada benzer orifis çaplarına sahip meme plakaları kullanılmış ve bazı 2-slotlu girdap plaketlerinin memenin akış karakteristiğini ve debisini değiştirdiği belirlenmiştir. Yürüttükleri araştırmada debi ölçümleri 50-mesh ölçüsünde meme süzgeci kullanılarak yürütülürken, sunulan bu çalışmadaki tüm ölçümler süzgeç kullanılmadan yapılmıştır. Süzgeçlerin pülverizatör memelerinin akış karakteristiğini değiştirdiği bilindiğinden (Sayıncı 2014; Sayıncı and Kara 2015; Sayıncı 2015; Sayıncı 2016c) meme debisi ve diğer ölçümler bu çalışmaya özgü olarak yeniden yapılmıştır. Küçük orifis çaplı meme plakalarında girdap plakentinin etkisi çok önemli bulunurken, orifis çapı arttıkça girdap plakentinin debi değişimine etkisi minimal düzeyde kalmıştır.

5.2. Püskürtme Açısına Etki Eden Faktörler

Konik hüzmeli meme plakalarında püskürtme açısına etki eden değişkenlerle ilgili detaylı bir bilgiye ulaşılamamaktadır. Ancak son yıllarda yurtdışında pülverizatör memesi üreten firmaların tanıtım kataloglarında meme plakası ve girdap plaketi kombinasyonları için nominal püskürtme açısı bilgisine yer verilmektedir. Hypro[®] (2008) ve Hypro (2014) püskürtme memesi kataloglarında konik hüzmeli meme plakaları için püskürtme açısı değerleri 3 bar basınç seviyesinde verilmiştir. Aynı şekilde Teejet[®] (2014) püskürtme açısı değişimini 1 bar, 10 bar ve 20 bar basınç seviyelerinde göstermiştir. Albuz[®] (2009)'un firma katalogunda meme plakası ve girdap plaketi kombinasyonlarının her birinde 10 bar ve 20 bar basınç seviyeleri için püskürtme açısı değerleri bildirilmiştir. Bu çalışmada belirlenen püskürtme açısı ortalamalarının firmalar tarafından bildirilen açısı değerleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Firmalar tarafından konik hüzmeli meme plakalarıyla maksimum 20 bar basınç seviyesinde önerilen uygulamalar tarla ilaçlamasından ziyade bağ-bahçe ilaçlamasına yönelik olmaktadır. Bu çalışmada meme plakası ve girdap plakentinin bağlandığı meme gövdesinde 12 bar seviyesinden daha yüksek basınçlarda membran rekorunda büyük ölçüde sızıntıların olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla yüzeysel ilaçlamada kullanılan pülverizatörlerin mevcut donanımları, teknik açıdan tavsiye edilen yüksek püskürtme basıncını karşılayabilecek kapasitede bulunmamaktadır. Nitekim Hypro® (2008), konik hüzmeli meme plakalarıyla 3-6 bar püskürtme basıncı aralığında çalışmasını önermiştir.

Standart yelpaze hüzmeli hidrolik memelerde nominal püskürtme açısı 40°, 65°, 80°, 95°, 110°, 120° ve 130° olarak standartlaştırılmış olup meme gövdesi üzerinde yazılı olan standart gösterimden anlaşılabilir (Hypro® 2008; Albuz® 2009; Teejet® 2014; Hypro® 2014). Konik hüzmeli meme plakalarının yelpaze hüzmeli memelerde olduğu gibi standart bir referans gösterimi bulunmamaktadır. Bu çalışmada kullanılan konik hüzmeli meme plakalarının standart olarak kabul edilen 3 bar basınç seviyesinde püskürtme açıları belirlenmiştir. Buna göre içi boş konik hüzmeli memelerde tüm meme plakası ve girdap plaketi kombinasyonları için püskürtme açısının 48.7°-100.9° aralığında değiştiği saptanmıştır. Teejet® (2014) meme plakası ve girdap plaketi kombinasyonları için püskürtme açısının 20°-113° (@1, 10 ve 20 bar) aralığında; Albuz® (2009) 17°-100° (@10, 20 bar) aralığında; Hypro® (2017) 80°-95° (@3 bar) aralığında Euspray (2014) 50-82 (@3, 5 ve 10 bar) ve Hypro® (2008) 30°-105° (@3 ve 6 bar) aralığında değiştiğini bildirmişlerdir.

Konik hüzmeli memelerde püskürtme açısının geniş sınırlarda değişmesi püskürtme tekniği açısından farklı kullanım alternatifleri sunmaktadır. Ülkemizde yüzeysel ilaçlamada yaygın olarak kullanılan konik hüzmeli meme plakalarının çoğunlukla şeritsel ilaçlama için de elverişli olduğu belirtilmektedir (Teejet® 2014). Ancak zorlukları nedeniyle şeritsel ya da banda uygulama tekniğinin rağbet görmediği ülkemizde bu tip memeler daha çok pamuk ilaçlamasında yaprak altı bum kolu tertibatında kullanılmaktadır.

Pülverizatör memelerinin akış karakteristiklerinden biri olan püskürtme açısı, püskürtme yüksekliğine karar vermede bilinmesi gereken olan en önemli parametredir. Püskürtme yüksekliğinin ayarlanamaması pülverizasyonda hacimsel dağılım düzgünlüğünün bozulmasına, pestisit in homojen bir şekilde hedefe taşınamamasına ve biyolojik etkinliğin azalmasına yol açarak fazladan kimyasal kullanımına neden olmaktadır. Grisso *et al.* (2013) 50 cm meme aralığı düzeninde yüzeysel ilaçlamada %50 oranında bindirmenin gerçekleşebilmesi için 65°, 80° ve 110° püskürtme açılarında yüksekliğin ideal koşullarda en düşük sırasıyla 56-61 cm, 43-48 cm ve 25-30 cm aralığında olması gerektiği bildirmiştir. Bindirmenin %100 oranında gerçekleşebilmesi için püskürtme açısı 65° olan memelerle uygulamaların tavsiye edilmediği; 80° ve 110° için yüksekliğin en düşük sırasıyla 66-71 cm ve 38-43 cm olması gerektiği belirtilmiştir.

Konik hüzmeli meme plakalarında püskürtme açısının belirli bir basınç değerinden sonra stabil bir aralıkta değişim göstermesi değişebilir oranlı püskürtme memelerinin elektronik kontrolünde en düşük basınç limitini tayin etme açısından önem taşımaktadır. Değişebilir debi kontrollü uygulamalarda püskürtme basıncı parametresi bağımlı değişken olarak kullanıldığında püskürtme açısının stabil kaldığı en düşük basınç seviyesinin dikkate alınması gerekmektedir. Belirli bir basınç düzeyinin altında konik hüzmeli memelerde püskürtme açısı azaldığından aktif ıslatma genişliğinin de azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda uzaklık sensörüyle elektronik olarak kontrol edilen bum kolunda püskürtme yüksekliğinin otomatik olarak artırılması gerekmektedir.

5.3. Akış Katsayısı

Sayınacı vd (2013) tarafından orifis çapı 1.0 mm, 1.2 mm, 1.5 mm, 2.0 mm ve 2.5 mm olan meme plakalarında akış katsayısı ortalamaları sırasıyla 0.402, 0.361, 0.337, 0.232 ve 0.184 olarak belirlenmiştir. Wilkinson *et al.* (1999) akış katsayısının meme orifis geometrisine bağlı olduğunu ve 0.15-0.65 arasında değiştiğini bildirmiştir. Maniarasan and Nicholas (2006), Chu *et al.* (2008) ve Hussein *et al.* (2012) tarafından yürütülen araştırmalarda küçük orifisli memelerde akış katsayısının büyük olanlara göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Tüm literatür bulguları yürütülen bu çalışmanın çıktılarıyla

uyum göstermektedir. Malzeme yönünden karşılaştırma yapıldığında Sayıncı vd (2013), tarafından poliasetal (POM) meme plakalarında belirlenen akış katsayısının seramik ve paslanmaz çelik meme plakalarına göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Meme tipi açısından incelendiğinde standart yelpaze hüzmeli memelerde akış katsayısının 0.85-0.98 (Zhou *et al.* 1996; Cloeter *et al.* 2010; Dorr *et al.* 2013; Sayıncı and Kara 2015; Sayıncı 2015; Sayıncı 2016c) aralığında; ön orifis odalı yelpaze hüzmeli memelerde 0.67-0.77 (Sayıncı and Kara 2015) aralığında; hava emişli yelpaze hüzmeli memelerde 0.38-0.43 (Cloeter *et al.* 2010; Dorr *et al.* 2013) aralığında belirlenmiştir.

5.4. Pülverizasyon Karakteristikleri

Damlanın orifis çıkışında kazandığı hız, memenin akış katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Meme plakaları arasında en büyük orifis çaplı meme (2.4 mm) en düşük akış katsayısına sahip olduğundan ortalama damla hızı azalmıştır. Sayıncı (2016c) orta yapılı damlalar üreten sürüklenme potansiyeli düşük yelpaze hüzmeli memenin orifis çıkışındaki damla hızının 14.7-16.7 m s⁻¹ aralığında değiştiğini belirlemiştir. Konik hüzmeli memelerde bu ortalamaya yakın damla hızı değerleri küçük orifisli memelerde minimum 6 bar püskürtme basıncından sonra elde edilmiştir.

Konik hüzmeli memelerde 2-12 bar basınç aralığında tüm orifis çapı ve girdap plaketi kombinasyonlarında damla çapının 76.3-219.0 µm aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu çap aralığındaki damlalar Hypro (2014) kataloğunda belirtilen pülverizasyon karakteristiklerine göre çok ince/ince yapılı; Hypropumps (2006), Kruger *et al.* (2013), Matthews *et al.* (2014) ve Arag[®] (2017) literatürlerine göre çok ince/ince/orta/kaba yapılı olarak adlandırılmaktadır. Serim ve Özdemir (2012) tarafından yürütülen bir çalışmada yerli firmalardan temin ettikleri konik hüzmeli memelerde 6 bar sabit püskürtme basıncında damla çapı ölçümleri yapılmıştır. Orifis çapları 1.0 mm, 1.2 mm ve 1.5 mm olan meme plakaları beş grup halinde ayrı ayrı analiz edilmiş ve dört grubun hacimsel medyan çapları ($D_{V0.50}$) 115.1-132.7 µm aralığında belirlenmiştir. Yürüttüğümüz bu çalışmada benzer orifis çaplı memelerle 6 bar püskürtme basıncında elde edilen damla çapları 97.1-130.4 µm aralığında belirlenmiş ve literatür bulgularıyla uyumlu

bulunmuştur.

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 bir 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 *et al.* (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 (2016c) damlanın sahip kinetik enerjinin 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^{-1} aralığında değiştiği belirlenmiştir (Sayıncı 2016c). 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. Sayıncı (2016c), 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. Sürüklenmede etkili en önemli parametre damla çapı olup yüksek püskürtme basıncında küçülerek sürüklenmenin artmasına yol açmaktadır. Pülverizatör memelerinde sürüklenme üzerine yapılmış pek çok araştırma bulunmaktadır. Bode *et al.* (1983) tarafından yürütülen araştırmada 8002 nominal ölçülü standart bir memede 255 kPa basınçta sürüklenmenin %19 olduğu saptanmıştır. Krishnan *et al.* (1988) XR8004 orifis ölçülü memeye rüzgar yönüne zıt doğrultuda yapılan püskürtmede sürüklenme potansiyelinin 310.5 kPa basınçta %11.6 düzeyinde oluştuğunu belirlemişlerdir. Almekinders *et al.* (1993) elektrostatik yüklemeli ve hava akımlı uygulamalarda hava hızının 11 m s^{-1} olması durumunda hedef alanda ilaç tutunma miktarı ve ilaç penetrasyonunun arttığını, rüzgar hızının 4.7 m s^{-1} olması durumunda elektrostatik olarak yüklenmiş $92 \mu\text{m}$ çaplı damlalarda sürüklenmenin azaldığını bildirmişlerdir. Piché *et al.* (2000) tarafından yardımcı hava akımı olmadan yapılan uygulamalarda sürüklenme potansiyelinin %5.5, yardımcı hava akımıyla %0.6 olduğu belirtilmiştir. Sidahmed *et al.* (2004) tarafından yürütülen bir araştırmada rüzgarlı şartlarda büyük orifisli memelerde (8003) sürüklenme potansiyelinin (%15), küçük (8001) olanlara (%50) göre daha düşük olduğu saptanmıştır.

Sayınacı (2016c), 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 J.P., Sinfort C. and 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. 7 p.
- Albuz[®], 2009. Disc&Core Ceramic Hollow-Cone Nozzle Catalogue. <http://albuz-spray.com> (Ekim 2009).
- Almekinders, H., Ozkan, H.E., Reichard, D.L., Carpenter, T.G. and Brazee, R.D., 1993. Deposition efficiency of air-assisted, charged sprays in a wind tunnel. Transactions of the ASAE, 36 (2), 321-325.
- Arag[®], 2004. Nozzle Holder, Caps and Nozzle Tips Catalogue. www.aragnet.it (Ekim 2004).
- Arag[®], 2017. Nozzle Holder, Caps and Nozzle Tips Catalogue (Revision). www.aragnet.com (Kasım 2017).
- ASABE, 2009. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. Standard 572.1 American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI.
- Azimi, A.H., Carpenter, T.G. and Reichard, D.L., 1985. Nozzle spray distribution for pesticide application. Transactions of the ASAE, 28 (5), 1410-1414.
- Bache, D. H. and Johnstone D. R., 1992. Microclimate and spray dispersion. West Sussex, UK: Ellis Harwood.
- Ballester, J. and Dopazo C., 1994. Discharge coefficient and spray angle measurements for small pressure-swirl nozzles. Atomization and Sprays, 4, 351-367.
- Bayat, A. and Bozdogan, N.Y., 2005. An air-assisted spinning disc nozzle and its performance on spray deposition and reduction of drift potential. Crop Protection, 24: 651-960.
- Bode, L.E., Butler, B.J., Pearson, S.L. and Bouse, L.F., 1983. Characteristics of the micromax rotary atomizer. Transactions of the ASAE, 24 (4), 999-1004.
- Cloeter, M.D., Qin, K., Patil, P. and Smith, B., 2010. Planar laser induced fluorescence (PLIF) flow visualization applied to agricultural spray nozzles with sheet disintegration: Influence of an oil-in-water emulsion. In Proc. ILASS-Americas 22nd Annual Conf. Institute for Liquid Atomization and Spray Systems. Retrieved from <http://ilass.org/2/ConferencePapers/ILASS2010-161.pdf>
- Coates, W. and Palumbo, J., 1997. Deposition, off-target movement, and efficacy of CaptureTM and ThiodanTM applied to cantaloupes using five sprayers. Applied Engineering in Agriculture, 13 (2), 181-188.
- Coates, W., 1996. Spraying technologies for cotton: Deposition and Efficacy. Applied Engineering in Agriculture, 12 (3), 287-296.
- Çelen, İ.H., 2016. Hava emişli yelpaze hüzmeli püskürtme memelerinde püskürtme dağılımının ilerleme hızına bağlı olarak değişimi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 13 (1), 99-106.
- Dorr, G.J., Hewitt, A.J., Adkins, S.W., Hanan, J., Zhang, H. and Noller, B., 2013. A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. Crop Protection 53, 109-117.
- Dursun, E., Karahan, Y. ve Çilingir, İ., 2000. Türkiye’de üretilen konik hüzmeli bazı meme plakalarında delik çapı ve düzgünlüğünün belirlenmesi. Tarım Bilimleri

- Dergisi, 6(3): 135-140.
- Euspray[®], 2014. Nozzles, Filters Catalogue. <http://www.euspray.com/en/catalogs.php> (Kasım 2017).
- Hipkins, P. and Grisso, R.B., 2014. Droplet Chart / Selection Guide. Virginia Cooperative Extension, Virginia State University, Publication, 442-031.
- Hoffmann, W.C. and Salyani, M., 1996. Spray deposition on citrus canopies under different meteorological conditions. Transactions of the ASAE, 39 (1), 17-32.
- Hypro[®], 2014. Hypro Nozzle Catalogue. <http://www.hypro-eu.com> (Ekim 2014).
- Hypro[®], 2017. Hypro[®] Nozzles, Crop Spraying Pocket Guide 2017-18. <http://www.hypro-eu.com> (Ekim 2017).
- Hypropumps, 2006. SprayTip Catalog. www.hypropumps.com (Kasım 2017).
- Iqbal, M., Ahmad, M., and Younis, M., 2005. Effect of Reynold's number on droplet size of hollow cone nozzle of environmental friendly university boom sprayer. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 42 (3-4), 106-111.
- Krishnan, P., Gal, I., Kemble, L.J. and Gottfried S.L., 1993. Effect of sprayer bounce and wind condition on spray pattern displacement of TJ60-8004 fan nozzles. Transactions of the ASAE, 36 (4), 997-1000.
- Krishnan, P., Williams, T.H. and Kemble, L.J., 1988. Technical Note: Spray pattern displacement measurement technique for agricultural nozzles using spray table. Transactions of the ASAE, 31 (2), 386-389.
- Kruger, G.R., Klein, R.N., Ogg, C.L., 2013. Spray Drift of Pesticides. Nebreska Extension. <http://extensionpublications.unl.edu/assets/html/g1773/build/g1773.htm>. (Kasım 2017).
- Matthews G., Bateman R. and Miller P., 2014. Pesticide Application Methods. Forth Edition, Wiley Blackwell. 536 p.
- Matthews, G.A. and Thornhill, E.W., 1994. Pesticide application equipment for use in agriculture. Vol. 1. Manually carried equipment. FAO Agricultural Services Bulletin, 112/1, ISSN: 1010-1365, Rome-Italy, 163 p.
- Matthews, G.A., 2004. How was the pesticide applied? Crop Protection, 23, 651-653.
- Miller, P., 2003. The measurement of spray drift. Pesticide Outlook, October, 205-209.
- Minov, V., Cointault, F., Vangeyte, J., Pieters, J.G. and Nuyttens, D., 2014. Spray nozzle characterization using a backlighted high speed imaging technique. Aspects of Applied Biology, 122, 353-361.
- Nuyttens, D., Baetens, K., Schampheleire, M.De and Sonck, B., 2007. Effect of nozzle type, size, and pressure on spray droplet characteristics. Biosystems Engineering, 97 (3), 333-345.
- Panneton, B., Pillion, H., Thériault, R. and Khelifi, M., 2000. Spray chamber evaluation of air-assisted spraying on potato plants. Transactions of the ASAE, 43 (3), 529-534.
- Piché, M., Panneton, B. and Thériault, R., 2000. Field evaluation of air-assisted boom spraying on broccoli and potato. Transactions of the ASAE, 43 (4), 793-799.
- Rashid M.S.F.M., Hamid A.H.A., Sheng O.C. and Ghaffar, Z.A. 2012. Effect of inlet slot number on the spray cone angle and discharge coefficient of swirl atomizer. Procedia Engineering, 41, 1781-1786.
- Sayıncı, B. and Kara, M., 2015. The effects of strainer types on flow characteristics of anti-drift (AD) and multi-range (LU) flat-fan nozzles. Tarım Bilimleri Dergisi-

- Journal of Agricultural Sciences, 21 (4), 558-571.
- Sayıncı, B., 2014. Effect of filter types and sizes on flow characteristics of standard flat-fan nozzles. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 10 (2), 129-138.
- Sayıncı, B., 2015. Effect of strainer type, spray pressure, and orifice size on the discharge coefficient of standard flat-fan nozzles. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39, 692-704.
- Sayıncı, B., 2016a. Detection of shape manufacturing defects of flat fan-pattern nozzle orifices using Elliptic Fourier descriptors. *Tarım Bilimleri Dergisi - Journal of Agricultural Sciences*, 22 (3), 317-330.
- Sayıncı, B., 2016b. Poliasetal (POM) meme plakalarının orifis geometrisinde üretim kusurlarının Eliptik Fourier tanımlayıcılarıyla tespiti. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30, (1), 57-73.
- Sayıncı, B., 2016c. The influence of strainer types on the flow and droplet velocity characteristics of ceramic flat-fan nozzles. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40, 25-37.
- Sayıncı, B., Yarpuz-Bozdoğan, N., Yıldız, C. ve Demir, B., 2013. Konik hüzmeli memelerde akış katsayısı ve bazı işletme özelliklerinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 9 (1), 9-20.
- Sayıncı, B. ve Bastaban, S., 2011. Patates ilaçlamasında farklı tip püskürtme memelerinin damla taşınma etkinlikleri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1 (1), 81-90.
- Sehsah, E.M.E. and Kleisinger, S., 2009. Study of some parameters affecting spray distribution uniformity pattern. *Misr J. Ag. Eng.*, 26 (1), 69-93.
- Serim A.T. ve Özdemir Y.G., 2012. Herbisit uygulamalarında kullanılan pülverizatör memelerinin damla büyüklük dağılımlarının belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5 (2), 172-175.
- Sidahmed, M.M., Awadalla, H.H. and Haidar, M.A., 2004. Symmetrical multi-foil shields for reducing spray drift. *Biosystems Engineering*, 88 (3), 305-312.
- Smith, D.B., Askew, S.D., Morris, W.H., Shaw, D.R. and Boyette, M., 2000. Droplet size and leaf morphology effects on pesticide spray deposition. *Transactions of the ASAE*, 43 (2), 255-259.
- Spandl, 2010. Comparing Drift Reduction Technology. Winfield Solutions, Shoreview, Minnesota. <https://www.extension.umn.edu/agriculture/ag-professionals/cpm/2010> (Kasım 2017).
- Srivastava, A.K., Goering, C.E. and Rohrbach, R.G., 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.
- Teejet®, 2014. Catalogue 51A-M, Disc-Core Type Cone Spray Tips. www.teejet.com (Ekim 2014).
- Višacki, V., Sedlar, A., Gil, E., Bugarin, R., Turan, J., Janić, T. and Burg, P., 2016. Effects of sprayer boom height and operating pressure on the spray uniformity and distribution model development. *Applied Engineering in Agriculture*, 32 (3), 341-346.
- Wang, L., Zhang, N., Slocombe, J.W., Thierstein, G.E. and Kuhlman, D.K., 1995. Experimental analysis of spray distribution pattern uniformity for agricultural nozzles. *Applied Engineering in Agriculture*, 11 (1), 51-55.
- Wilkinson R., Balsari P. and Oberti R. 1999. Pest Control Equipment. CIGR/ASAE

- Handbook of Agricultural Engineering, St. Joseph, Michigan, USA, 269-310.
- Wolf, (2017). Educating Applicators About Droplet Size. Wolf Consulting & Research LLC, <https://tpsalliance.org/pdf/topics/Wolf-2-TPSA-2012.pdf> (Kasım 2017).
- Womac, A., Etheridge, R., Seibert, A., Hogan, D. and Ray, S., 2001. Sprayer speed and venture-nozzle effects on broadcast application uniformity. Transactions of the ASAE, 44 (6), 1437-1444.
- Yıldırım, E., 2008. Tarımsal Zararlılarla Mücadele Yöntemleri ve İlaçlar. 2. Baskı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 219, Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum, 350 s.
- Yu, B., Fu, P-F., Zhang, T. and Zhou, H-C., 2013. The influence of backpressure on the flow discharge coefficients of plain orifice nozzle. International Journal of Heat and Fluid Flow, 44, 509-514.
- Zhou, Q., Miller, P.C.H., Walklate, P.J. and Thomas N.H., 1996. Prediction of spray angle from flat fan nozzles. Journal of Agricultural Engineering Research 64 (2), 139-148. <https://dx.doi.org/10.1006/jaer.1996.0055>.
- Zhu, H., Dorner, J.W., Rowland, D.L., Derksen, R.C. and Ozkan, H.E., 2004. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. Biosystems Engineering, 87 (3), 275-273.
- Zhu, H., Rowland, D.L., Dorner, J.W., Derksen, R.C. and Sorensen, R.B., 2002. Influence of plant structure, orifice size, and nozzle inclination on spray penetration into peanut canopy. Transactions of the ASAE, 45 (5), 1295-1301.

ÖZGEÇMİŞ

10.05.1985 tarihinde Erzurum'un Aşkale ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Aşkale ilçesinde, lise ve meslek yüksekokulu öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümünde 2009 yılında başlayan lisans öğrenimi 2013 yılında tamamlanmış ve aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri Anabilim Dalında yüksek lisansa başlamıştır.

