

**HAVA AKIMLI BİR PÜLVERİZATÖRDEN FARKLI MEME DELİK ÇAPI VE
BASINÇTA ELDE EDİLEN DAMLA ÇAPLARINI
TAHMİNLEME MODELLERİ***

Müjdat TOZAN Adnan DEĞİRMENCİOĞLU Hüseyin GÜLER

**Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Bölümü 35100 Bornova-İzmir/TURKEY**

Türker SARAÇOĞLU

**Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Bölümü Aydın/TURKEY**

ÖZ: Tarım ilacı uygulamalarında başarılı bir ilaçlama yapabilmenin temel koşullarından birisi de doğru damla büyüklüğünün seçilmesidir. Doğru damla büyüklüğünün seçilmesi sadece ilaçlamanın başarısına değil, tarım ilaçlarının çevreye ve çevrede yaşayan diğer canlılara olan olumsuz etkisini de en aza indirebilmesi açısından son derece önemlidir. Bu çalışmanın amacı, bitki üzerindeki ilaç dağılım düzgünlüğünü iyileştirmeye yönelik olarak bağlarda yaygın olarak kullanılan ve üzerinde modifikasyonlar yapılmış ilaçlama makinasında, çalışma basıncı ve meme delik çapının damla büyüklüğü üzerindeki etkisini ortaya koymak ve bu ilişkiyi damla çaplarının büyüklüğünü tahminlemeye yönelik matematiksel bir modelle ifade etmektir. Söz konusu çalışma amacına yönelik olarak hava akımlı özel bir pulverizatör ve değişik çaplarda deliklere sahip (0,8; 1,0; 1,5; 2,0 ve 2,5 mm) içi boş konik püskürtme yapan memeler kullanılmıştır. Farklı basınçlarda (3, 6, 9, 12, 15, 18 ve 21 bar) yapılan denemelerde yapay olarak oluşturulan asma bitkisi kullanılmıştır. Yapay asma bitkisi üzerinde yerleştirilen 26 x 26 mm ölçülerindeki suya duyarlı kağıtlarla yapılan denemeler sonrasında damlaların sayıları ve çapları belirlenmiştir. Materyal olarak suyun kullanıldığı denemelerde "Image Tool for Windows, Version 3.0" yazılımı kullanılarak elde edilen damlaların sayısı ve çaplarına bağlı olarak her bir deneme koşulu için hacimsel ortalama çap değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan hacimsel ortalama çap değerleri kullanılarak konstrüktif bir özellik olan meme delik çapı ve çalışma koşulu olan basınca bağlı olarak iki matematiksel model geliştirilmiştir. Boyutsal analize dayalı olarak geliştirilen üçüncü modelde ise hem meme delik çapı hem de ortam şartlarına bağlı olarak hava ve suyun fiziksel özelliklerindeki değişimler gözönüne alınmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen üç farklı model, ölçülen hacimsel ortalama çaplarını tahminlemedeki hassasiyetleri açısından kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda Boyutsal Analiz Prensibine dayalı olarak geliştirilen ve boyutsuz terimler olan Reynolds ve Weber sayılarını içeren modelin diğer iki modele kıyasla daha iyi tahminlemede bulunduğu saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Tarımsal mekanizasyon, hava akımlı pulverizatör, damla çapı, meme delik çapı, matematik modelleme.

* Ege Üniversitesi Araştırma Fonu'na desteklenen "98-ZRF-045" nolu doktora tezi projesinden hazırlanmıştır.

PREDICTION MODELS OF DROPLET SIZE FROM AIR-ASSISTED SPRAYER AT DIFFERENT NOZZLE DIAMETERS AND WORKING PRESSURES

ABSTRACT: One of the requirements in spraying applications is the selection of the appropriate droplet size. Since the selection of the droplet size is of importance from the point of reducing the unwanted effects of chemical application to the environment and living entities. Hence a study using an air-assisted sprayer designed to use especially in vineyard was conducted and the objectives of this study was to determine the effect of working pressure and the nozzle aperture in different diameters on droplet size and to develop a mathematical model for predicting the volume median diameter. In order to meet the above written objectives, the sprayer, specially designed and equipped with hollow cone spray nozzles (0.8, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 mm diameter) were used. The pressure during the spraying experiments was set at different levels such as 3,6,9,12,15,18 and 21 bar and three artificial vine plants made in the department were also used. Water sensitive papers in 26x26 mm were placed on vine plants. During the experiments, spraying was achieved using water instead of chemicals and Image Tool for Windows, Version 3.0 software was used to find out the number and the size of the droplets. Volume median droplet diameters were then calculated for each spraying condition. The calculated volume median droplet diameters were correlated with the nozzle diameter and working pressure in order to develop mathematical models for predicting the droplet diameter. Two models, one is linear and a non-linear, were developed. The third model developed used the theory of dimensional analysis. This dimensional analysis based model included the effect of water and air properties as they were affected by the changes in the environmental conditions such as the temperature of the air and the humidity. As a result from the study, three models were compared in order to understand how sensitive they are for the prediction of the volume median diameter. It was found that the dimensional analysis based model that contains Reynolds and Weber's number was the best among the three.

Keywords: Agricultural mechanization, air-assisted sprayer, droplet size, nozzle diameters, mathematics models.

GİRİŞ

Tarımsal üretimde birim alandan alınan ürün miktarının ve kalitesinin artırılmasında; ıslah çalışmalarının yanısıra, tohum, sulama ve gübreleme gibi temel üretim girdileri ile hastalık, zararlı ve yabancı otlarla savaş oldukça önemli bir yere sahiptir.

Bugün eğer tarımsal savaş olmasaydı olası ürün kaybının % 35-40 dolaylarında olacağı bilinmektedir. Giderek artan dünya nüfusu ve artmayan tarım alanları dikkate alındığında bu miktarın ve dolayısı ile tarımsal savaşın ne kadar önemli olduğu çok net olarak görülmektedir.

Diğer taraftan bu konunun önemini vurgulayan tek şey kazanılabilecek bu ürün miktarı değildir. Tarımsal savaşta kültürel, fiziksel, biyolojik ve biyoteknik savaş gibi yöntemler kullanılması ne yazık ki yeterli olamamaktadır. Günümüzde tarımsal savaş uygulamalarına bakıldığında zaman büyük ölçüde kimyasal savaş uygulamaları

gözenmektedir. Hem uygulama kolaylığı hem de etkisinin çok kısa bir sürede görülmesi nedeniyle bugün tarımsal savaş denildiği zaman akla kimyasal savaş gelmektedir.

Başarılı bir kimyasal savaş en az ilaç kullanarak en yüksek biyolojik etkinliğin sağlandığı ve çevre kirliliğinin en aza indirildiği ekonomik bir uygulama olmalıdır. Başarılı bir uygulama için ilk adım doğru tanımlamadır. Savaşılacak hastalık veya zararlıdan emin olmadıkça savaşa başlamamak gerekir. Özellikle zararlılarla savaşta temel hedef zararlıyı tamamen yok etmek değil, popülasyonunu kabul edilebilir düzeye indirerek problem olmasını engellemektir.

Ülkemizdeki kimyasal savaş uygulamalarında ortaya çıkan problemler, çok değişik kaynaklardan türeyen bir sorunlar yumağı şeklindedir. Doğal olarak bu karmaşık ve çok sayıdaki sorunun hemen ve basit önlemlerle düzeltilmesi olanaklı değildir. Ancak zaman alacak yapısal ve yeni düzenlemeler için çalışmalar sürdürülürken eğitim çalışmaları ivedilikle başlatılabilir ve en azından uygulamada görülen temel bazı problemlerin kısa sürede çözümü için bir adım atılmış olur.

İlaçlamadaki problemler genellikle 4 ana başlık altında toplanabilir.

1. Operatör
2. Alet makina varlığı ve seçimi
3. Kalibrasyon
4. Eğitim eksikliğinden kaynaklanan uygulama hataları

Eğitim eksikliğinden kaynaklanan uygulama hataları genellikle ilaçlama etkinliğinin yetersizliği ve sürüklenme problemleri olarak karşımıza çıkmakta ve bu problemler çok değişik nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Bu nedenlerden en önemlisi ve en sık görüleni damla büyüklüğünün yanlış seçilmesidir.

Tarım ilacı uygulamalarında başarılı bir ilaçlama yapabilmenin temel koşullarından birisi de doğru damla büyüklüğünün seçilmesidir. Doğru damla büyüklüğünün seçilmesi sadece ilaçlamanın başarısına değil, tarım ilaçlarının çevreye ve çevrede yaşayan diğer canlılara olan olumsuz etkisini de en aza indirebilmesi açısından son derece önemlidir.

Öncelikle iyi bir örtmenin temel koşulu küçük damla eldesidir. Damla çaplarının yarı yarıya azaltılması, aynı miktarda ilaç kullanarak damla sayısının 8 misli artırılmasını sağlamaktadır. Damla sayısının artması ise doğal olarak daha iyi bir örtmeyi de beraberinde getirmektedir.

Genellikle gözle görülebilecek ve yapılan ilaçlama işleminde göz tatmini sağlayacak şekilde küçük damlalar ile yüksek normda ilaçlama yapılmaktadır. Bu amacı gerçekleştirmek için ise genellikle yüksek basınç altında ilaçlama yapılmaktadır. Halbuki ilaçlama etkinliğini maksimize etmek için doğru çapta yeterli damla üretilmeli ve hedef üzerinde yeterli damlanın tutunması sağlanabilmelidir.

Farklı araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda, ilaçlama makinasının başarısının ifadesinde farklı karakteristikler kullanmışlardır. Bazı araştırmacılar damla sayısı ve dağılım düzgünlüğünü kullanırken (Furness ve Pinczewski, 1985; Pergher ve Gubiani, 1995; Gil ve ark, 1998; Güler, 2002) diğer bazıları, kaplama oranı (Pergher ve Gubiani, 1995) ve kalıntı miktarlarını (Gil ve ark, 1998) kullanmışlardır.

Öte yandan hedef dışına sürüklenme de özellikle çevre kirliliği açısından çok önemlidir. Bu nedenle kayıp miktarlarının ölçülmesi ve bu kayıpları azaltan makinaların tercih edilmesi gerekir. Pergher ve Gubiani (1995), dağılım düzgünlüğünü arttırırken diğer yandan kayıp miktarını azaltmayı hedeflemişlerdir.

Vannuci ve ark., (1998) "Spraying in vineyard; evaluation of airborne spray by aspirated air samplers" isimli çalışmada iki değişik formülasyon ve basınçta çalışarak bu değişkenlerin sürüklenmeye olan etkilerini ortaya koymayı amaçlamışlardır. Basınç değerinin azaltılması formülasyondan bağımsız olarak sürüklenme değerlerinde azalma meydana getirmiştir.

Özellikle son yıllarda damla analizlerinde bilgisayar ortamında çalışan görüntü analiz programlarının kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Çok sayıda damla analizi yaparak yürütülen geniş çaplı araştırmalarda mikrometrel mikroskop kullanımı hem zor hem de zaman alıcı bir yöntem olarak görülmektedir.

Racomora ve ark., (1998) uygulama normunun bitki üzerindeki ilaç dağılımına olan etkilerini ortaya koymaya çalışmışlardır. Bilindiği gibi uygulama normu üzerinde basınç ve meme delik çapı değerleri birincil derecede etkilidir. Uygulamalardan sonra örnekler fotoğraflanmış ve bilgisayar ortamında bir görüntü analiz programı yardımıyla damla çapları, damla sayıları ve örtme yüzdesi değerleri ölçülmüştür. Hidrolik püskürtme düzeninde uygulama normuna bağlı olarak damla sayısı ve örtme oranında bir değişiklik saptanamamıştır.

Randall (1971) meyva ağaçlarında hava hacmi-basınç ilişkilerini ortaya koymaya çalışmış ve düşük hızlarda dağılım düzgünlüğünün daha iyi olduğunu belirlemiştir.

Holterman ve ark., (1997) ilaç uygulamaları esnasında meydana gelen sürüklenmeyi karakterize edebilecek bir matematik model geliştirmişlerdir. Rampa yüksekliği, püskürtme açısı, ilerleme hızı ve uygulama basıncı değişken olarak alınmış ve deneysel olarak bulunan değerler ile model kullanılarak bulunan değerlerin benzeşim gösterdiği belirtilmiştir.

Nasr ve ark., (1999) çalışmalarında koni biçimli memelere sahip pülverizatörlerden yüksek basınç altında oluşan damla iriliklerini tahminleme modeli geliştirmişlerdir.

Herbst (2001) sürüklenmeyi karakterize edebilmek için özellikle damla büyüklüğü üzerinde etkili olan meme karakteristikleri, rampa yüksekliği ve ilerleme hızı değişkenlerine dayalı bir model geliştirmiştir. Daha sonra uygulama esnasındaki meteorolojik verileri değişken olarak ele almış hava nemi, hava sıcaklığı ve rüzgar hızını ele alarak rüzgar tüneline çalışmalar yapmıştır.

Bu çalışmanın amacı, bitki üzerindeki ilaç dağılım düzgünlüğünü iyileştirmeye yönelik olarak bağlarda yaygın olarak kullanılan ve üzerinde modifikasyonlar yapılmış ilaçlama makinasında, çalışma basıncı ve meme delik çapının damla büyüklüğü üzerindeki etkisini ortaya koymak ve bu ilişkiyi damla çaplarının büyüklüğünü tahminlemeye yönelik matematiksel bir modelle ifade etmektir.

MATERYAL VE METOT

Denemelerin yürütülmesinde damlaların eldesi için materyal olarak pülverizatör, yapay asma bitkisi ve suya duyarlı kağıt; elde edilen damlaların bilgisayara aktarılması, okunması ve değerlendirilmesinde ise scanner ve Image Tool 3.0 bilgisayar programı kullanılmıştır.

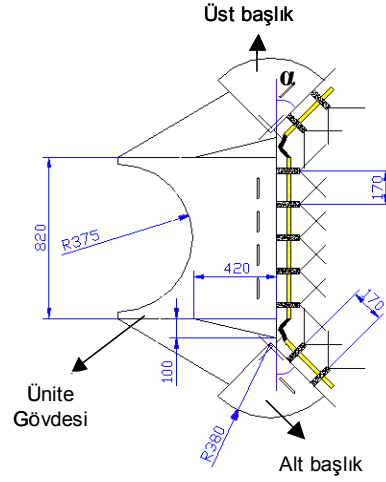
Denemelerde, bağ ilaçlamalarında ülkemizde de yaygın olarak kullanılan hava akımlı mekanik pülverizatör temel makine olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, hava akımı ve ilaç püskürtme yönlerinin pülverizasyon karakteristikleri üzerine olan etkilerini belirlemeye ve bu karakteristikleri iyileştirmeye yönelik olarak "hava yönlendirme ve ilaç püskürtme ünitesi" hazırlanmıştır (Şekil 1 ve 2). Ege Ü. Z. F. Tarım Makinaları Bölümünde hazırlanan bu ünite, bitkiyi daha iyi saran bir yapıda olup hava ve ilaç püskürtme yönlerini değiştirmeye olanak sağlayan alt ve üst yönlendirme başlıkları, gövde ve dokuz adet püskürtme memesinden oluşmaktadır.

Pülverizatör üzerinde içi boş konik püskürtme yapan çift taraflı stoplu memeler kullanılmıştır. Stoplu memelerde çalışma basıncı belli bir değer altına

düştüğü zaman plakalardan sıvı akışı kesilmektedir. Memeler plastik gövdeye sahip olup püskürtme plakaları seramikten yapılmıştır. Kullanılan plaka delik çapları 0.8 – 1.0 – 1.5 – 2.0 – 2.5 mm değerlerindedir.



Şekil 1. Hava yönlendirme üniteli ilaçlama makinası.
Figure 1. General view of the air-assisted sprayer with air deflector.



Şekil 2. Hava yönlendirme ünitesi ve püskürtme sisteminin şematik görünümü.
Figure 2. Schematic view of the air deflector and spraying unit.

Laboratuvar ortamında çalışmaya olanak sağlamak amacıyla daha önceden bölümümüzde yürütülen bir doktora çalışmasında (Güler, 2002) kullanılmak üzere oluşturulan, gerçeğiyle birebir boyutlarda ve tele alınmış bağları simüle edebilecek yapay asma bitkileri kullanılmıştır (Şekil 3).

Yapay bitkinin yapraklarının oluşturulabilmesi için değişik malzemeler kullanılmış ve bu malzemeler içinde gerçeğe en yakın özellikler gösteren sera naylonu seçilmiştir.



Şekil 3. Telli terbiye sistemine göre oluşturulmuş yapay asma bitkileri.
Figure 3. Artificial wine plants.

Kullanılan üç adet yapay asma bitkisinden bir tanesi bir bütün olarak diğer iki tanesi yarım bitki şeklindedir. Bitki arasındaki girişimin sağlanması için her iki yarım bitkinin dolu tarafları tam bitkinin yanlarına gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

Yapay asma bitkilerinin her birinde 1200 adet yaprak bulunmaktadır. Bu yaprak sayısı değeri hem önceden yapılan çalışmalardan hem de telli terbiye sistemi ile yetiştirilmiş bağlarda yapılan sayımlardan elde edilmiştir. Oluşturulan bitkinin yüksekliği 1.80 m ve YAI (Yaprak Alan İndeksi) = 4.85 değerlerindedir.

Çalışmalarda damla örneklerinin toplanması ve analizleri için suya duyarlı kağıtlar kullanılmıştır. Suya duyarlı kağıtlar (Water Sensitive Paper) 26x26 mm ölçülerinde kesilerek kullanılmıştır.

Suya duyarlı kağıtlar üzerinde toplanan damlaların çaplarının ölçümleri için "Image Tool for Windows, Version 3.0" yazılımı kullanılmıştır.

Denemelerde 0.8 – 1.0 - 1.5 – 2.0 – 2.5 mm delik çapındaki meme plakaları 3, 6, 9, 12, 15, 18 ve 21 bar basınçlarda kullanılmıştır. Ancak 3 bar basınçtaki

denemelerde bazı teknik problemler yaşanmış ve bu basınç kademesindeki denemeler 2.5 mm delik çapına sahip meme kullanımı ile gerçekleştirilebilmiştir.

Denemeler esnasında, püskürtme mesafesi 3 bar basınçta 75 cm, bunu takip eden her bir basınç kademesinde sözkonusu bu mesafe 15 cm artırılarak damlaların uygun şekilde elde edilmesine çalışılmıştır. Denemeler su ile 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Denemelerin yapıldığı andaki hava sıcaklığı ve nem değerleri kayıtları tutulmuştur.

Yapılan her denemede bitki üzerindeki ilaç dağılımını ölçebilmek için aynı noktadan örnek alınmış ve bu amaçla örnek alma noktalarına suya duyarlı kağıtlar yerleştirilmiştir. Damla çapı, damla sayıları ve kaplama oranlarının belirlenmesi için suya duyarlı kağıtlar üzerindeki damlalar bilgisayara bağlı bir tarayıcıda 2540 dpi çözünürlükte tarandıktan sonra, "Image Tool 3.0" yazılımı ile çapları ve sayıları ölçülerek analizleri tamamlanmıştır.

Elde edilen çap değerleri aşağıda verilen formülasyon uyarınca "Hacimsel Ortalama Çap" değerlerine çevrilmiş ve tüm hesaplamalarda hacimsel ortalama çap değerleri kullanılmıştır.

$$d_{v0,5} = \sqrt[3]{\frac{\sum n_i \cdot d_i^3}{n}} \quad [1]$$

Yukarıdaki eşitlikte;

- $d_{v0,5}$: Hacimsel ortalama çap
 n_i : (i) çap grubuna giren damla sayısı (adet)
 d_i : (i) çap grubu orta değeri
 n : toplam damla sayısıdır

İçi boş konik püskürtme yapan memelerle farklı çalışma koşullarında elde edilecek damla çaplarının tahminlenmesine ilişkin bir matematiksel modelin geliştirilmesi amacıyla ilk aşamada elde edilen hacimsel ortalama çap değerlerinin basınç ve kullanılan meme delik çapına bağlı olarak değişimlerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Basınç ve meme delik çapına bağlı olarak değişimlerin incelenmesi sonrasında damla çaplarını tahminleme modeli geliştirilmesinde ikinci aşamaya geçilmiştir. Bu aşamada deneme şartlarındaki hava sıcaklığı ve bağıl nem

koşullarını da dikkate alarak boyutsal analiz prensipleri uyarınca model geliştirilmesine çalışılmıştır.

Boyutsal analiz, çeşitli fiziksel sistemlere ilişkin tahminleme modelleri konusunda kullanılan yararlı bir araçtır. Buckingham teoremi boyutsal analiz teorisini içeren bir teorem olup sözkonusu prensip uyarınca herhangi bir fiziksel sistemi etkileyen değişkenler pi-terimleri adı verilen boyutsuz terimlere indirgenir. Bu konudaki detaylı bilgiler ilgili kaynakta (Langhaar, 1987) mevcut olup bu çalışma çerçevesinde teoreme ilişkin detaylı bilgiler verilmemektedir. Sözkonusu bu çalışmada, özellikle hidrolik alanındaki bir çok problemin esasını oluşturan ve bilim alanında kullanımını oldukça yaygın boyutsuz terimler ortaya çıkmaktadır. Bu terimlerin neler olduğu konusundaki inceleme öncesinde damla çaplarını tahminlemede etkili olan ve denemeler sırasında değişim gösteren bu değişkenler Çizelge 1’de verildiği gibidir.

Çizelge 1. Damla çaplarında değişime neden olan değişkenler ve boyutları.
Table 1. Variables affecting the droplet size and their units.

Değişken tipi Variable	Sembol Symbol	Değişken tanımı Variable description	Boyut Dimension	Birim Unit
Bağımlı Dependent	$d_{v0,5}$	Hacimsel ortalama çap Volume mean diameter	L	m
Bağımsız Independent	d_o	Meme delik çapı	L	m
	v	Suyun hızı	LT^{-1}	ms^{-1}
	ν	Suyun kinematik viskozitesi	L^2T^{-1}	m^2s^{-1}
	ρ_h	Havanın yoğunluğu	ML^{-3}	$kg m^{-3}$
	σ_s	Suyun yüzey gerilmesi	MT^{-2}	$kg s^{-2}$

Boyutsal analiz prensibi uyarınca elde edilebilecek boyutsuz terim sayısı genellikle bağımlı ve bağımsız değişken sayısı toplamının boyut sayısı farkına eşdeğerdir. Bu genelleme uyarınca damla çaplarını tahminleme kullanılabilecek boyutsuz terim sayısı 3 (6 değişken – 3 boyut; M, L ve T) olacaktır. Bu boyutsuz terimler ve fiziksel anlamları Çizelge 2’de verildiği gibidir.

Yukarıda boyutsuz terimler halinde verilen ve damlaların hangi büyüklükte olacağını belirleyen hız, püskürtme basıncının bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmakta ve kullanılan meme delik çapına göre değişim gösteren veya hesaplanabilen ikincil bir terimdir. Nitekim, bu çalışmada da hızın hesaplanması için her bir meme delik çapında basınca bağlı olarak debi değerleri ölçülmüştür. Elde edilen bu değerlerden hızın hesaplanmasında aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır.

Çizelge 2. Boyutsuz terimler ve fiziksel anlamları.

Table 2. Dimensionless terms and their meanings.

Boyutsuz terim Dimensionless term	Fiziksel anlamı Physical meaning
$\frac{d_{v0.5}}{d_o} (\pi_1)$	Sözkonusu terim tahminleme modeli bağımlı terimi olup hacimsel ortalama çap değerinin kullanılan meme delik çapına oranıdır.
$\frac{VD}{\nu} (\pi_2)$	Atalet kuvvetinin sıvı kuvvetine oranı şeklinde tanımlanan bu terim hidrolik alanında oldukça yaygın kullanıma sahip boyutsuz bir terim olup Reynolds sayısı olarak bilinmektedir.
$\frac{\rho_h V^2 d_o}{\sigma_s} (\pi_3)$	Sıvı kuvvetinin yüzey gerilme kuvvetine oranı şeklindeki boyutsuz bu terim Weber sayısı olarak bilinen ve damlaların memeden çıkışı sonrasında hava koşulları ile etkileşimi nedeniyle damla çaplarındaki değişimin kaynağını modelde içermek amacıyla yöneliktir.

$$Q = A \cdot V$$

[2]

Yukarıda verilen eşitlikte;

Q : debi (m³/s)

A : Kesit alanı (m²)

V : Hız (m/s)

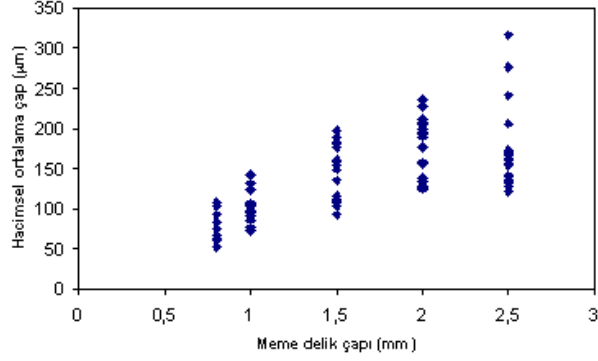
Diğer bir değişken olan suyun kinematik viskozite değeri sıcaklığa bağlı bir büyüklük olup denemeler esnasında kaydedilen sıcaklık değerlerine bağlı olarak hesaplanmış ikincil bir terimdir.

Havanın yoğunluğu, sıcaklık ve nem oranına bağlı değişim gösteren bir değişken olup, bu değerlerin denemeler esnasında kaydedilen sıcaklık ve neme bağlı olarak hesaplanmasında AKPSYCH3 adlı bir programdan yararlanılmıştır. Bu program Microsoft Excel ortamında tanımlı sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre otomatik olarak havanın yoğunluğunu hesaplamaktadır.

Suyun yüzey gerilme değeri denemeler esnasında oluşan ortam sıcaklığına bağlı olarak hesaplanmıştır.

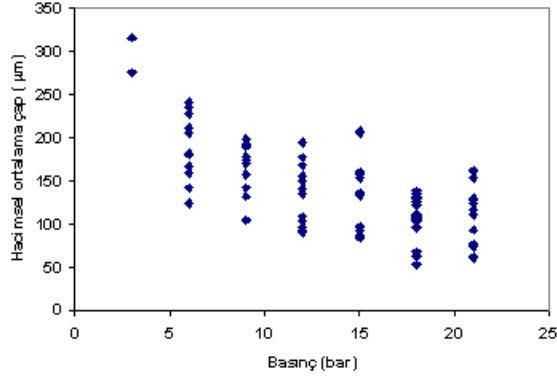
BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan tüm denemelerden elde edilen ham veriler üzerinde yapılan incelemeler sonucunda meme delik çapı ve basınca bağlı olarak hacimsel ortalama çap değerinin değişimi Şekil 4 ve 5’de verildiği gibidir.



Şekil 4. Meme Delik Çapına Bağlı Olarak Hacimsel Ortalama Çap Değişimi (Tüm Deneme Verileri).

Figure 4. Relationship between the nozzle diameter and volume median diameter (all data shown).



Şekil 5. Basınca Bağlı Olarak Hacimsel Ortalama Çap Değişimi (Tüm Deneme Verileri).

Figure 5. Relationship between working pressure and volume median diameter (all data shown).

Buna göre hacimsel ortalama çapın meme delik çapı ile doğru ancak basınç ile ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Yani, daha büyük çapta meme delik çapı kullanımı sonucunda hacimsel ortalama çap büyümekte, buna karşın püskürtme basıncı arttırıldığında aynı meme delik çapı kullanımında hacimsel ortalama çap küçülmektedir.

Bu temel değişkenleri kullanarak hacimsel ortalama çapın uygulama koşullarında kolayca hesaplanmasına olanak veren bir matematiksel model geliştirilmesi yönünde yapılan detaylı regresyon analiz sonuçlarından, meme delik çapı, basınç ve mesafe arasında damla çapını belirleme konusunda kesinlikle bir etkileşimin olduğu görüşüne varılmıştır. Gerçekte püskürtme mesafesi, yöntem bölümünde açıklandığı şekliyle basınca bağlı olarak lineer bir şekilde 0,75 m'den başlayarak 1,65 m varan aralık içerisinde değiştirildiğinden sadece meme delik çapı ve basınç değişkenlerini içeren tahminleme modellerinin geliştirilmesine çalışılmıştır.

Regresyon analizleri sonucunda elde edilen modeller ve bu modellere ilişkin istatistiksel analiz sonuçları aşağıda verildiği gibidir. Aşağıda verilen bu eşitliklerde meme delik çapı “ d_0 ” (mm), basınç “P” (bar) olarak alınmıştır. Hacimsel ortalama çap değeri ise μ_m olarak tahminlenmektedir.

İlk olarak düşünülen model, hacimsel ortalama çap ve diğer değişkenler arasında doğrusal ilişki olduğu varsayımı üzerine kurulu olup elde edilen model aşağıdaki formdadır.

$$d_{v,0.5} = 139,45 + 45,306 d_0 - 5,405 P \quad [3]$$

Bu modele ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Doğrusal modele ilişkin regresyon analizi sonuçları.

Table 3. Regression analysis results for linear model.

Değişken Variable	Katsayı Coefficient	Standart hata Standard Error	Pdeğeri P value	Model F değeri ve R ² değerleri F and R ² of the model
Model sabiti	139,45	11,96	6,43E-019	F = 115,46
Meme delik çapı (d_0)	45,306	4,616	2,23E-015	R ² = 74,2%
Basınç (P)	-5,405	0,553	2,87E-015	

Elde edilen bu model, hacimsel ortalama çap ve diğer değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olmaması nedeniyle düşük bir tahminleme katsayısına sahip olmasına karşın damla çapının tahmini olarak hesaplanmasında kullanılmaya aday bir model niteliğindedir.

İstatistiksel olarak her ne kadar önemli bir model olsa da hacimsel ortalama çap tahminlemesinin daha iyi yapılabileceği düşüncesiyle doğrusal olmayan modeller geliştirilmesi çalışmaları yürütülmüştür.

Meme delik çapı ve basıncın, hacimsel ortalama çap ile doğrusal olmayan ilişkisini düşünerek yapılan logaritmik transformasyonları sonucunda elde edilen model aşağıdaki formdadır.

$$d_{v,0,5} = 291,25 d_o^{0,564} P^{-0,409} \quad [4]$$

Bu modelin tahminleme katsayısı 81,7 % olup hem meme delik çapı ve hem de basınç değişkeni modelde % 95 önem seviyesinde etkili olduğu bulunmuştur. Modele ilişkin regresyon analizi sonuçları izelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Doğrusal olmayan modele ilişkin regresyon analizi sonuçları.

Table 4. Regression analysis results for non-linear model.

Değişken Variable	Katsayı Coefficient	Standart hata Standard error	P değeri P value	Model F değeri ve R ² değerleri F and R ² of the model
Model sabiti (log)	2,464	0,0452	5,589 E-065	F =178,62
Meme delik çapı (d _o)	0,564	0,0432	1,636E-021	R ² = 81,7%
Basınç (P)	-0,409	0,0385	6,61E-017	

Boyutsal analiz prensipleri uyarınca elde edilen boyutsuz terimler yoluyla damla çaplarını tahminleme modelinin fonksiyonel gösterimi aşağıdaki şekildedir.

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3) \quad [5]$$

Boyutsuz terimler sembolik gösterimi şeklinde yazıldığında fonksiyon,

$$\frac{d_{v0.5}}{d_o} = f\left(\frac{VD}{v}; \frac{\rho_h V^2 d_o}{\sigma_s}\right) \quad [6]$$

şeklindedir.

Yani, damla çaplarının oluşumu Reynolds (parantez içindeki ilk terim) ve Weber sayısı (parantezdeki ikinci terim) uyarınca oluşturulacak bir model ile tahminlenmesi mümkün olabilecektir. Söz konusu model için gerekli olan değişken, damlaların memeyi terketme hızıdır. Bu değer yukarıda yazılan eşitliklerde de görüleceği üzere hem Reynolds hemde Weber sayılarının hesaplanmasında kullanılacaktır. Hız değerinin hesaplanması amacıyla damla çaplarına ilişkin denemeler öncesinde 0,8; 1,5; 2 ve 2,5 mm plakalar ile 6, 9, 12, 15, 18 ve 21 bar basınçlarda debi değerleri ölçülmüştür. Elde edilen deneme sonuçlarını kullanarak yapılan analizler sonucunda bu çalışmada kullanılan içi boş konik püskürtme yapan meme tipi için debiyi en iyi tahminleyen model aşağıda verildiği gibidir.

$$Q = 9,199 \times 10^{-6} d_o^{1,145} p^{0,475} \quad [7]$$

Eşitlikte,

Q : debi (m³/s)

d_o : plaka çapı (mm)

P : basınç (bar) şeklindedir.

Debinin bulunması amacıyla geliştirilen bu modele ilişkin istatistiksel analiz sonuçları aşağıda verildiği gibidir (Çizelge 5).

Çizelge 5. İçi boş konik püskürtme yapan memede debiyi tahminleme modeline ilişkin regresyon analizi sonuçları.

Table 5. Regression analysis results for predicting the flowrate from hollow cone spray nozzles.

Değişken Variable	Katsayı Coefficient	Standart hata Standard error	P değeri P value	Model F değeri ve R ² değerleri F and R ² of the model
Model sabiti (log)	-5,036	0,016	1,12E-041	F = 2746,26
Meme delik çapı (d _o)	1,145	0,0168	4,44E-027	R ² = 99,6%
Basınç (P)	0,475	0,0141	2,14E-020	

Microsoft Excel ortamında oluşturulan ve yukarıda fonksiyon halinde gösterilen terimlerin hesaplanması ve regresyon analizleri sonucunda boyutsal analiz prensibini kullanarak elde edilen model aşağıda verildiği gibidir.

$$\frac{d_{v0,5}}{d_o} = 9225,71 W_e^{0,144} R_e^{-1,196} \quad [8]$$

Modele ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 6’da verildiği gibidir.

Çizelge 6. Boyutsal analiz prensibine dayalı tahminleme modeline ilişkin regresyon analizi sonuçları.

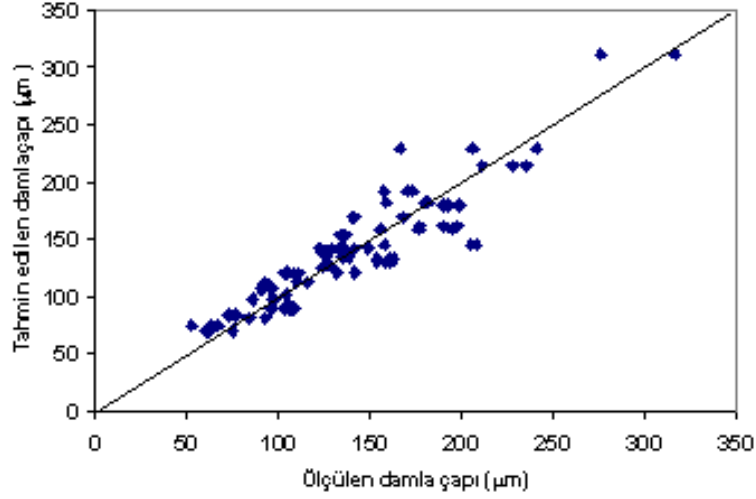
Table 6. Regression analysis results for dimensional analysis based prediction model.

Değişken Variable	Katsayı Coefficient	Standart hata Standard error	P değeri P value	Model F değeri ve R ² değerleri F and R ² of the model
Model sabiti (log)	3,965	0,324	5,62E-020	F = 120,74
Weber sayısı	0,144	0,0364	0,000152	R ² = 75,1 %
Reynolds sayısı	-1,196	0,0819	2,75E-024	

Boyutsal analiz prensibine dayalı olarak inşaa edilen bu modelin ölçülen damla çaplarını tahminlemedeki hassasiyeti Şekil 6’de gösterildiği gibidir.

Elde edilen modelde temel değişkenlerden biri olan basınç değişkeni, sözkonusu boyutsal analiz prensibine dayalı modelde meme delik çapı interaksyonu sonucu elde edilen debi değerine bağlı hız değişkeni şeklindeki ikincil bir değişken formunda yer almaktadır.

Yapılan analizler sonucunda farklı yaklaşım ve prensipler uyarınca elde edilen ve eşitlik 3, 4 ve 8’de verilen tahminleme modellerinden hangisinin tahminlemede daha hassas olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılacak analiz için farklı yaklaşımlar olmakla birlikte bu yaklaşımlardan en önemlileri “r” korelasyon katsayısı değerlerinin kıyaslanması ile χ^2 değerlerinin kıyaslanmasıdır. Ölçülen ve tahmin edilen hacimsel ortalama çap değerleri arasındaki korelasyon katsayısının yüksek olması tercih edilirken χ^2 testinde mümkün olduğunca en düşük değerde olan modelin daha iyi tahminleme yaptığı kabul edilir.



Şekil 6. Boyutsal analize dayalı modelin ölçülen damla çaplarını tahminleme hassasiyeti.

Figure 6. Sensitivity analysis of measured and predicted droplet diameters from dimensional analysis based model.

İdeal durumda “sıfır” olması istenen χ^2 tanımlaması aşağıda verildiği gibidir.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (d_{v0,5d} - d_{v0,5t})^2}{N - n} \quad [9]$$

Yukarıdaki eşitlikte;

$d_{v0,5d}$: deneysel hacimsel ortalama çap değeri

$d_{v0,5t}$: aynı koşullardaki tahminlenen hacimsel ortalama çap değeri

N : yapılan ölçüm sayısı

n : model sabitlerinin sayısıdır.

Korelasyon katsayısı ve χ^2 açısından yapılan analiz sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Model kıyaslama sonuçları.
Table 7. Results of models comparisons.

Model	r (%)	χ^2
$d_{v,0,5} = 139,45 + 45,306 d_o - 5,405P$	86,13	671,77
$d_{v,0,5} = 291,25 d_o^{0,564} P^{-0,409}$	89,11	554,49
$d_{v,0,5} = 9225,71 d_o W_e^{0,144} R_e^{-1,196}$	91,54	428,65

Çizelge 7’de verilen analiz sonuçları incelendiğinde boyutsal analiz prensibine dayalı olarak geliştirilen modelin ölçülen hacimsel ortalama damla çaplarını tahminleme hassasiyetinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Zira sözkonusu modelden hesaplanan hacimsel ortalama çapların deneysel çap değerleri ile korelasyonu diğer iki modele göre daha yüksek, buna karşın χ^2 değeri ise daha düşüktür.

Elde edilen bu sonuçların ışığı altında daha kompleks gibi görülen boyutsal analiz prensibine dayalı olarak geliştirilen modelin başarısının ardında modelin deneysel materyal olarak kullanılan suyun sıcaklık ve nem değerine bağlı olarak hacim ağırlığı, kinematik viskozite, suyun yüzey gerilme değeri ve havanın yoğunluğu gibi şartlardaki değişimleri de içermesinin olduğu söylenebilir. Uygulamada, su yerine ilaç kullanımı durumunda da bu durum kullanılan ilacın ortam şartlarından (sıcaklık ve nem) etkilenmesi durumunda da farklılık gösterecektir. Boyutsal analiz prensibi dışındaki diğer iki model kullanımı kolay ve pratik çözüm sağlayıcı modeller gibi görünmektedir. Ancak yukarıda geliştirilen modellerin aşağıda verilen kısıt değerleri içerisinde daha iyi tahminlemelerde bulunabileceği, bu sınır değerler dışındaki durumlarda yapılacak hacimsel ortalama çap değerlerini tahminlemede sapmalar olabileceği gerçeği unutulmamalıdır.

$$\begin{aligned}
 0,8 \leq d_o \leq 2,5 \text{ (mm)} \\
 6 \leq P \leq 21 \text{ (bar)} \\
 0,75 \leq Z \leq 1,65 \text{ (m)} \\
 9 \leq V \leq 60 \text{ (ms}^{-1}\text{)} \\
 1,174 \leq \rho_h \leq 1,221 \text{ (kg m}^{-3}\text{)} \\
 9,98 \times 10^{-7} \leq \nu \leq 1,241 \times 10^{-6} \text{ (m}^2 \text{s}^{-1}\text{)} \\
 0,00126 \leq \sigma_s \leq 0,00176 \text{ (kg s}^{-2}\text{)}
 \end{aligned}$$

LİTERATÜR LİSTESİ

- Furness, G. O., and W. Val Pinczewki. 1985. A Comparison of the Spray Distribution Obtained from Sprayers with Converging And Diverging Airjets with Low Volume Air Assisted Spraying on Citrus and Grapevines, *J. Agric. Eng. Res.*, 32, p. 291-310.
- Gil, E., J. M. Barrufet, M. Cluet, and J. A. Terual. 1998. Improvement of the Pesticide Applications in Vineyard, Relationship Between Methodology of Application and Quality Parameters, *AgEng'98*, Paper No: A-015-1998, Oslo, Norway.
- Güler, H. 2002. Değişik Hava Akımı ve İlaç Püskürtme Yönlerinin Tele Alınmış Bağlarda İlaç Dağılım Düzensizliğine Olan Etkileri, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ege Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir.
- Herbst, A. 2001. A Method to Determine Spray Drift Potential From Nozzles and Its Link to Buffer Zone Restrictions, 2001 ASAE Annual Meeting in California-USA Paper Number: 01-1047.
- Holterman, H. J., J. C. Van De zande, H. A. J. Porskamp, and J. F. M. Huijman. 1997. *Computers and Electronics in Agriculture*, 19, p. 1-22.
- Langhaar, H. L. 1987. *Dimensional Analysis and Theory of Models*, Robert E. Kreiger Publishing Company. 166 p., Malabar, Florida .
- Nasr, G. G., R. Sharief, D. D. James, J. R. Jeong, I. R. Widger, and A. J. Yule. 1999. Studies of High Pressure Water Sprays from Full-Cone Atomizers, *ILASS-Europe'1999 Congress*, Toulouse 5-7 July 1999.
- Pergher, G., and R. Gubiani. 1995. The Effect of Spray Application Rate and Air Flow Rate on Foliar Deposition in A Hedgerow Vineyard, *J. Agric. Eng. Res.*, 61, p. 205-216.
- Racomora, C., L. Val, and M. Perz. 1998. Droplet Distribution into the Canopy of Artichoke Crop with Different Spraying Application Techniques, *AgEng'98*, Paper No: A-139-1998, Oslo, Norway.
- Randall, J. M. 1971. The Relationships Between Air Volume and Pressure on Spray Distribution in Fruit Trees, *J. Agric. Eng. Res.* 16 (1): 1-31.

- Smith, D. B., L. E. Bode, and P. D. Gerard. 2000. Predicting Ground Boom Spray Drift, Transactions of The ASAE, Vol. 43 (3): 547-553.
- Vanucci, D., D. Pochi, and E. Raparelli. 1998. Spraying in Vineyard: Evaluation of Airborne Spray by Aspirated Air Sampler, AgEng'98, Paper No: 98-A-1998, Oslo, Norway.