

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İLAÇ DAMLACIK DAĞILIMININ
GÖRÜNTÜ ANALİZİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Çağatay KIRKAÇ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

ANKARA

2005

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Ergin DURSUN danışmanlığında Çağatay KIRKAÇ tarafından hazırlanan bu çalışma 11/11/2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İbrahim ÇİLİNGİR
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Ergin DURSUN
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Ali BAYAT
Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ülkü MEHMETOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İLAÇ DAMLACIK DAĞILIMININ GÖRÜNTÜ ANALİZİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çağatay KIRKAÇ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ergin DURSUN

Bu çalışma; sıvı ilaç uygulamalarında ortalama damla çapı, damla dağılım tekdüzeliği, damla sıklığı ve kaplama oranı gibi ilaç damla dağılımına ilişkin karakteristikleri görüntü işleme yöntemiyle değerlendirebilmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, örnekleme yüzeyi olarak hem suya duyarlı kartlar, hem de yağ banyolu yöntemden yararlanılmıştır. Örnekleme yapıldıktan sonra suya duyarlı kartların görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarılmasında bir tarayıcı, yağ banyosundaki damla görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarılmasında ise dijital bir fotoğraf makinasından yararlanılmıştır. Bilgisayar ortamına aktarılan örnekleme yüzeyleri, bir görüntü işleme programıyla analiz edilmişlerdir. Görüntü analizinden elde edilen sonuçlar, aynı örnekleme yüzeylerinin bir mikroskop altında gözle klasik olarak analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, ölçülen çap değerleri arasındaki farklılıkların ölçme yöntemine ve örnekleme yüzeyine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Dünyada en yaygın kullanılan hacimsel orta çap (VMD) açısından genel bir değerlendirme yapıldığında, görüntü işleme yönteminden elde edilen VMD çaplarının mikroskopla ölçülen VMD çaplarına göre daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. En yüksek ve en düşük VMD değerleri arasındaki farklılık; ölçme yöntemine, örnekleme yüzeyine ve püskürtme memesinin büyüklüğüne bağlı olarak % 20.14 ile % 42.86 arasında değişmiştir. VMD'nin aksine görüntü işleme yöntemiyle ölçülen sayısal orta çap değerleri mikroskopla ölçülen değerlerden daha küçük bulunmuştur. Ayrıca, görüntü işlemeyle bulunan damla sıklığı ve kaplama oranı değerleri mikroskop kullanılarak bulunan değerlerden biraz daha düşük bulunmuştur.

2005, 84 sayfa

Anahtar Kelimeler: Damla çapları, kaplama oranı, görüntü işleme, damla sıklığı, damla dağılımı, suya duyarlı kart, yağ banyosu

ABSTRACT

Master Thesis

EVALUATION OF SPRAY DROPLET DISTRIBUTION BY IMAGE ANALYSIS

Çağatay KIRKAÇ

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

Supervisor : Prof. Dr. Ergin DURSUN

The aim of this study is to evaluate the characteristics of droplet distribution in liquid pesticide applications such as the droplet mean diameter, droplet distribution homogeneity, droplet density and coverage rate. In this study, both the water sensitive paper and the oil bath methods are used as target surfaces. After the spray sampling, the image of the water sensitive papers is transferred to the computer by a scanner, while the image of droplets in oil bath is transferred to the computer by a digital camera. The target surfaces transferred to the computer are analyzed with the image processing method. The results obtained from the image analysis are compared with the results obtained from the classical microscopic inspection of the same surfaces.

The results of this study show that the differences of the measured diameter values change according to the measurement method and target surface. When a volume median diameter (VMD), which is the most commonly used parameter in the world, is evaluated, it is discovered that the droplet diameters from image processing method are higher than the droplet diameters measured with microscope. The difference between the lowest and highest VMD values change between 20.14 % and 42.86 % base on the measurement method, target surface and the size of the pulverization nozzle. In a contrary manner to VMD, the number median diameter values measured with image processing method are lower than those measured with the microscope. On the other hand, droplet density and coverage rate values measured with image processing methods are a bit lower than the values obtained from the microscope.

2005, 84 pages

Key Words: Droplet size, coverage, image processing, density of droplets, droplet distribution, water-sensitive paper, oil bath

TEŞEKKÜR

Tez konunun seçiminden, araştırmanın yürütülmesine ve değerlendirilmesine kadar geçen sürede hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ergin DURSUN'a, çalışmam süresince bana güç kaynağı olan eşim F. Esra KIRKAÇ'a, bölüm atölye ve laboratuvar olanaklarını kullanmama imkan sağlayan Tarım Makinaları Bölüm Başkanlığı'na ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Çağatay KIRKAÇ

Ankara, Kasım 2005

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Sıvı İlaç Uygulamalarında İlaç Damla Dağılımı ve Önemi.....	2
1.2.1 Damla çapı	3
1.2.2 Damla sıklığı	6
1.2.3 Kaplama oranı	8
1.3 İlaç Uygulamalarında Karakteristik Damla Çapları ve Ölçme Yöntemleri.....	10
1.3.1 Direkt olmayan damla çapı ölçüm yöntemleri.....	12
1.3.1.1 Kaplamalı lamalar	12
1.3.1.2 Kaplamalı filmler	13
1.3.1.3 Cilalı kağıtlar	13
1.3.1.4 Duyarlı kartlar	13
1.3.1.5 Yaprak yüzeyleri	14
1.3.1.6 Damlaları bir sıvı içine düşürerek ölçme	15
1.3.1.7 Lifli ortamlar	15
1.3.2 Direkt damla çapı ölçüm yöntemleri.....	16
1.3.2.1 Fotoğrafik ölçüm yöntemleri	16
1.3.2.2 Lazer esaslı ölçüm yöntemler	17
1.3.3 Damla çapı, damla sıklığı ve kaplama oranının ölçülmesi için toplanan damla örneklerinin analizi.....	21
1.4 Görüntü İşleme Sistemleri	22
1.4.1 Görüntü işleme sistemlerinin esasları	22
1.4.2 Görüntü işleme sistemlerinin donanımı	25
1.4.3 Görüntü işleme sistemlerinin yazılımı	28
1.5 Yapılan Çalışmanın Amacı ve İçeriği	30
2. KAYNAK ÖZETLERİ	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM	39
3.1 Materyal	39
3.1.1 Deneme pülverizatörleri.....	39
3.1.2 Deneme sıvısı.....	41
3.1.3 Suya duyarlı kart.....	42
3.1.4 Yağ banyosu.....	42
3.1.5 Mikroskop.....	42
3.1.6 Dijital fotoğraf makinası.....	43
3.1.7 Tarayıcı.....	44
3.1.8 Bilgisayar donanımı ve yazılımı.....	44
3.2 Yöntem	44
3.2.1 Örneklemeye.....	44
3.2.2 Damla çapı ölçümü.....	45

3.2.3 Pülverizasyonun analizi.....	53
3.2.4 Damla sıklığının ve kaplama oranının belirlenmesi.....	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	56
4.1 Karakteristik Damla Çapları.....	56
4.1.1 Hacimsel orta çap.....	56
4.1.2 Sayısal orta çap.....	58
4.1.3 Aritmetik ortalama çap.....	60
4.1.4 Yüzeysel ortalama çap.....	62
4.1.5 Hacimsel ortalama çap.....	63
4.1.6 Sauter çap.....	65
4.1.7 Dv0.1 ve Dv0.9 çapları.....	67
4.1.8 Damla çaplarına ilişkin genel değerlendirme.....	70
4.1.9 Damla çapı tekdüzeliği.....	71
4.1.10 Sürüklenme potansiyeli.....	72
4.2 Damla Sıklığı.....	74
4.3 Kaplama Oranı.....	75
5. SONUÇ	77
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Damla sıklığı, damla çapı ve ilaç normu arasındaki ilişki.....	7
Şekil 1.2 Bir damlanın yaprak üzerine değme açısı ve değme çapı.....	9
Şekil 1.3 VMD çapının şematik gösterimi.....	11
Şekil 1.4 Suya duyarlı kart	14
Şekil 1.5 Kızgın telli damla sensörü.....	16
Şekil 1.6 Malvern parçacık analiz sistemi	18
Şekil 1.7 Lazer doppler parçacık analiz sistemi	19
Şekil 1.8 Fotodedektörlü parçacık analiz sistemi	20
Şekil 1.9 Görüntü analiz sistemi	22
Şekil 1.10 Dijital fotoğraf makinasının iç yapısı	26
Şekil 1.11 Düzyataklar tarayıcısının iç yapısı	28
Şekil 3.1 Sırt pülverizatörü.....	40
Şekil 3.2 Traktöre asılır tip tarla pülverizatörü.....	40
Şekil 3.3 Nikon SMZ-10 mikroskobu.....	43
Şekil 3.4 Excel programında verilerin elle girişinin ekran görüntüsü.....	47
Şekil 3.5 Settings menüsü.....	49
Şekil 3.6 Image Tool programından alınan ekran görüntüsü.....	50
Şekil 3.7 Suya duyarlı kartlara alınan damla örnekleri.....	51
Şekil 3.8 Siyah-beyaz lekeler.....	51
Şekil 3.9 Tespit edilmiş lekeler	51
Şekil 3.10 Yağ banyosundan alınan damla örnekleri.....	52
Şekil 3.11 Analiz raporu.....	53
Şekil 3.12 Excel programında veri giriş ekran görüntüsü.....	54
Şekil 3.13 Damlaların sayısal ve hacimsel dağılımına ait grafik.....	55
Şekil 4.1 Hacimsel orta çap.....	57
Şekil 4.2 Sayısal orta çap.....	59
Şekil 4.3 Aritmetik ortalama çap.....	61
Şekil 4.4 Yüzeysel ortalama çap.....	63
Şekil 4.5 Hacimsel ortalama çap.....	64
Şekil 4.6 Sauter çap.....	66
Şekil 4.7 Farklı damla ölçüm yöntemlerine göre Dv0.1 çap değerleri.....	68
Şekil 4.8 Farklı damla ölçüm yöntemlerine göre Dv0.9 çap değerleri.....	69
Şekil 4.9 100 µm'den küçük damlaların hacimsel oranı (%).....	72
Şekil 4.10 200 µm'den küçük damlaların hacimsel oranı (%).....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Damla karakteristik çaplarına göre pülverizasyonların sınıflandırılması	3
Çizelge 1.2 İlaçlama yapılacak hedeflere göre optimum damla çapları.....	4
Çizelge 1.3 Küresel damlaların terminal hızları ve düşme süreleri.....	5
Çizelge 1.4 Farklı hedef yüzeyler için gerekli olan en az damla sayıları.....	7
Çizelge 1.5 Damla çapına bağlı olarak 1 adet/mm ² damla sıklığı için gerekli en düşük ilaç normu	8
Çizelge 3.1 Pülverizatörlerin püskürtme sisteminde kullanılan Gündüzler memesine ait verdi değerleri.....	41
Çizelge 3.2 Suya duyarlı kartlarda leke çapı, yayılma faktörü ve gerçek damla çapı değerleri.....	47
Çizelge 4.1 Hacimsel orta çap (VMD) değerleri.....	58
Çizelge 4.2 Sayısal orta çap (NMD) değerleri.....	59
Çizelge 4.3 Aritmetik ortalama çap (da) değerleri.....	61
Çizelge 4.4 Yüzeysel ortalama çap (ds) değerleri.....	62
Çizelge 4.5 Hacimsel ortalama çap (dv) değerleri.....	64
Çizelge 4.6 Sauter çap (dv/s) değerleri.....	66
Çizelge 4.7 Dv0.1 çap değerleri.....	67
Çizelge 4.8 Dv0.9 çap değerleri.....	69
Çizelge 4.9 Damla karakteristik çaplarına ilişkin toplu sonuçlar.....	70
Çizelge 4.10 Damla tekdüzeliğine ilişkin sonuçlar.....	71
Çizelge 4.11 Püskürtme hacmi içerisinde 100 ve 200 µm'den küçük damlaların hacim oranları (%).....	73
Çizelge 4.12 Damla sıklığı değerleri.....	74
Çizelge 4.13 Kaplama oranı değerleri.....	76

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Sürekli artan dünya nüfusu ve insanların çoğunluğunun yeterli beslenememesi özellikle geri kalmış ve gelişmekte olan ülkelerde ciddi bir açlık sorununa neden olmaktadır. Bu sorunun tek çözümü ise tarımsal üretimin artırılmasıdır. Üretimi artırabilmek ise ya tarım alanlarının genişletilmesi ya da birim alanda daha fazla ürün alınmasıyla olanaklıdır.

Ülkemizde tarım yapılabilen arazinin daha fazla artırılma olasılığı bulunmamaktadır. Bu durumda tarımsal üretimi artırmanın tek çözüm yolu birim alandan daha fazla ürün almaktır. Modern tarım işletmeciliğinde, birim alandan alınan ürün miktarının artırılmasında ve ürün kalitesinin yükseltilmesinde hastalık ve zararlılarla savaşım önemli bir yer tutmaktadır. Örneğin; tarımsal savaş ilacı kullanılmaksızın yapılan üretimde bitki hastalıklarının, zararlıların ve yabancı otların neden olduğu üretim kayıpları dünya ortalaması olarak % 35'i bulmaktadır (Ayık 1981). Dünya genelinde toplam % 35'lik genel kayıp değeri içerisinde zararlılar % 13.8, hastalıklar % 11.6 ve yabancı otlar % 9.5 oranında yer almaktadırlar (Kansu 1981).

Tarımsal savaşın ana amacı; bitkisel ürünü hastalıkların, zararlıların ve yabancı otların etkilerinden ekonomik ölçüler içinde korumak, ürün kayıplarını en aza indirmek ve kaliteyi yükseltmektir (Dursun 2000). Tarımsal üretimde hastalık, zararlı ve yabancı otlarla mücadelede fiziko-mekanik, genetik, biyolojik ve biyoteknik gibi yöntemlere rağmen dünyada ve ülkemizde kimyasal mücadele en fazla kullanılan yöntemdir. Kimyasal mücadelede ise tarım ilaçları (pestisitler) kullanılmaktadır. Türkiye'de yıllara göre değişmekle birlikte tarım alanlarında kimyasal mücadele için kullanılan tarım ilacı miktarı yılda ortalama 30-35 bin ton civarındadır (Dursun vd. 2005).

Hastalık, zararlı ve yabancı otların neden olduğu ürün kayıplarının önlenmesinde tarım ilaçları çok önemli bir yere sahiptir. Ancak kimyasal mücadelede kullanılan ilaçların

insan sağlığı, evre ve doğal dengeyi olumsuz yönde etkilenmesi ve artan üretim maliyetleri nedeniyle tarımsal ilaçlar hassas, dikkatli ve en az ilaç kaybı olacak Şekilde uygulanmalıdır (Dursun 2000).

Ancak, ilaç uygulamalarında amaca uygun olmayan ekipman kullanımı, kullanılan ilaçlama ekipmanının yanlış kalibrasyonu ve buna bağlı olarak birim alana atılan ilaç miktarının gereğinden çok veya az olması, yanlış ilaç seçimi, ilaçlamanın uygun zamanda yapılmaması ve ilacı uygulayan kiŐinin bilgisizliği gibi etmenler ilaç uygulama etkinliğinin azalmasına ilaçlama maliyetinin artmasına ve evre kirliliğine neden olmaktadır (Dursun vd. 2005). Uygulayıcılara ve çevreye olan risk potansiyelini en dŐuk seviyeye indirerek ilaç kullanımında maksimum etkinlik elde etmek için yeni yöntemler ve ekipmanlar geliŐtirmek amacıyla üniversitelerde, araştırma merkezlerinde ve sanayide oldukça fazla sayıda araştırma yapılmış olup bu çalıŐmalar halen devam etmektedir.

1.2 Sıvı İlaç Uygulamalarında İlaç Damla Dağılımı ve nemi

Tarımda uygulanan kimyasal yöntemler içerisinde en fazla yeri sıvı ilaç uygulamaları almaktadır. Sıvı haldeki tarım ilaçları pülverizatörler yardımıyla hedef yüzeylere dağıtılmaktadır. Plverizatrlerde, sıvı genellikle bir pompa ile basınlandırılmakta ve sıvıya kazandırılan basınç enerjisiyle püskürtme memelerinde damlalar haline dönüŐtürülerek pskrtlmekte yani pülverizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Plverizatrlerden beklenen baŐarının elde edilmesi; ilaçlama yapılacak hedefe uygun seçilmelerine, kalibrasyonlarının doğru yapılmasına ve istenen pülverizasyon kalitesini sağlayacak en uygun iŐletme koşullarında alıŐtırılmasına bağlıdır. Pülverizasyon kalitesinin amaca uygunluğu ise ilaç damla dağılımının belirlemesiyle anlaŐılabilmektedir. Bu amaçla pülverizasyon iŐleminden sonra hedef yüzeylerde toplanan damlaların ortalama çapları ve tekdzelikleri, damla sıklığı ve kaplama oranı gibi karakteristiklerin belirlemesi gerekmektedir.

Ayrıca, ilaç uygulama teknolojileriyle ilgili araştırmacılar, pülverizatör satıcıları, yetiştiriciler ve tarımsal ilaç üreten firmalar, ilaçlama ekipmanı ve uygulama parametrelerini karşılaştırmayı istemektedirler (Salyani and Fox 1999). Bu nedenle, ilaç damla dağılımına ilişkin karakteristiklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi bir zorunluluk haline gelmektedir.

Pülverizasyonda en önemli karakteristik özellik damla çapıdır. Damla çapı; meme tipine, meme orifisi ölçüsüne, çalışma basıncına, püskürtme sıvısının fiziksel özelliklerine ve pülverizasyon şekline bağlı olarak değişmektedir.

Pülverizasyonda damla çapından başka oluşan damların tekdüzeliği oldukça önemlidir. Tekdüzelik (homojenlik) katsayısının hesaplanmasında iki farklı eşitlik kullanılabilir. Tekdüzelik katsayısı, meme tipine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Bitki koruma amacıyla kullanılan pülverizasyonlar genellikle pülverizasyonu oluşturan damla spektrumunun ortalama çap değerine göre anılırlar. Çizelge 1.1' de bu anma isimleri verilmiştir.

Çizelge 1.1 Damla karakteristik çaplarına göre pülverizasyonların sınıflandırılması (Matthews 1992)

VMD (μm)	Pülverizasyonun anma adı
10-30	Sis
31-50	Aeresol
51-100	Çok ince pülverizasyon
101-200	İnce pülverizasyon
201-400	Orta yapılı pülverizasyon
>400	Kaba yapılı pülverizasyon

1.2.1 Damla çapı

Sıvı ilaç uygulamalarında en önemli karakteristik özellik memeler tarafından oluşturulan damlaların çaplarıdır. Çünkü, damlaların hedefte toplanma etkinliğine, sürüklenme yoluyla oluşan ilaç kayıplarına ve hedef yüzeylerin kaplanma oranına,

damla hızı, atmosferik koşullar, hedef yüzeylerin cinsi gibi faktörlerin yanında damla büyüklüğünün etkisi oldukça önemlidir (Dursun 2000). Yeterli seviyede biyolojik etkinlik sağlanabilmesi için hedef yüzeyler üzerinde yeterli sayıda ve uygun çapta damlaların bulunması gerekmektedir. Her hedef yüzey için en yüksek biyolojik etkinlik sağlayacak optimum bir damla çapı vardır. Örneğin; insektisitler ve akarisitlere karşı 100 µm'den daha küçük çaplı damlalarla yapılan ilaç uygulamalarında biyolojik etkinliğin arttığı saptanmıştır (Himel 1969). İlaçlama yapılacak hedeflere göre optimum damla çapları Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2 İlaçlama yapılacak hedeflere göre optimum damla çapları (Matthews 1992)

İlaçlama yapılacak hedefler ve kullanılan ilaç tipi	Damla çapı (VMD, µm)
Uçucu böcekler (İnsektisit)	10-50
Yaprak üzerindeki böcekler (İnsektisit)	30-50
Yaprak ilaçlaması (Fungusit)	40-100
Toprak ilaçlaması (Herbisit)	250-500

Bir sıvı ilaç uygulamasında amaç; sıvının damlalar halinde parçalanması, damlaların hedefe taşınması, damlaların hedef yüzey üzerine çöktürülmesi ve yüksek düzeyde biyolojik etkinlik sağlamaktır. Sıvının damlalar halinde parçalanması ve oluşan damlaların çapları; çalışma basıncı, memenin yapısal özellikleri (meme tipi, meme orfisi ölçüsü vb.) sıvının fiziksel özellikleri, meme verdisi ve pülverizasyon şekline bağlı olarak değişmektedir.

Sıvı ilaç uygulamalarında yaygın olarak kullanılan memeler klasik tip konik ve yelpaze hüzmeli hidrolik memelerdir. Bu memelerle yapılan ilaç uygulamalarında genellikle 100 L/ha'dan büyük uygulama hacimleri kullanılmakta, pülverizasyon içinde oldukça büyük çaplı ve parazit damlalar (<10µm ve >300µm) bir arada bulunmaktadır (Matthews 1992).

İlaç damla büyüklüğü, arzulanan biyolojik etkinliğin sağlanmasında en önemli etkiye sahip olduğu gibi ilaç sürüklenmesini de etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. İlaç sürüklenmesi (drift) ilaçlama sırasında veya ilaçlamadan sonra hedef alandan hedef olmayan alana doğru ilaç damlalarının hava içerisindeki hareketi olarak tanımlanmaktadır (Özkan 1995). Damla çapından başka ilaç sürüklenmesine etkili olan faktörler; uygulama sırasındaki iklim koşulları (rüzgar hızı ve doğrultusu, hava sıcaklığı, nispi nem, sıcaklık, atmosferik kararlılık, ters hava akımları), pestisit formülasyonunun buharlaşma ve viskozite gibi karakteristik özellikleri, meme yüksekliği, pülverizatör ilerleme hızı ve operatörün bilgi ve becerisidir (Dursun 1998).

Küçük damlalar hava içerisinde yavaşça düşer ve hava hareketi ile uzak mesafelere taşınırlar. Çizelge 1.3'te de görüldüğü gibi damla çapı küçüldükçe terminal hız azalmakta ve düşme süresi uzamaktadır. Düşme süresini artması ise damlaların rüzgarla sürüklenme riskini artırmaktadır.

Çizelge 1.3 Küresel damlaların terminal hızları ve düşme süreleri
(Çilingir ve Dursun 2002)

Damla çapı (μm)	Terminal hız (m/s)	Düşme süresi (t/m)
1	0.00003	28.1 h
10	0.003	16.9 min
20	0.012	4.2 min
50	0.075	40.5 s
100	0.279	10.9 s
200	0.721	4.2 s
500	2.139	1.65 s

Pülverizatörlerle yapılan ilaç uygulamalarında, 100 μm 'den daha küçük damlaların sürüklenmeyle hedef alanın dışına çıkmakta, 50 μm 'den daha küçük çaplı damlalar ise hedefe ulaşmadan önce tamamen buharlaşmaktadır (Zhu *et al.* 1994). Çapı 50 μm 'den küçük olan ilaç damlaları belirsiz bir süre veya buharlaşmaya kadar havada asılı kalırlar. Bu küçük ilaç damlalarından kaçınılmalıdır. Çünkü bunların hedef dışına sürüklenmesini önleyecek etkin bir yol bulunmamaktadır. Örneğin, sistemik

herbisitlerin küçük damlalar şeklinde uygulanması gerekli değildir. Buna karşın insektisitler ve fungusitlerin küçük damlalar şeklinde uygulanması istenir. Çünkü küçük damlaların bitki yaprak tacı içerisine penetrasyonu ve hedef yüzeyleri kaplama özelliği büyük damlalara göre daha iyidir. İnsektisit ve fungusitler oldukça küçük yapılı organizmalar olduklarından ilaçla iyice kaplanmaları gereklidir (Özkan 1995).

Damla çapından başka damla spektrumu yani damla çapı dağılımı tekdüzeliği de ilaç sürüklenmesi ve bu yolla oluşan ilaç kayıplarına etkilidir. Daha önce belirtildiği gibi mevcut pülverizatörlerin çoğunda hidrolik memeler kullanılmakta olup çok geniş bir damla spektrumuna sahiptirler. Damla spektrumu içerisinde yer alan ve çapı özellikle 150 µm'nin altında olan damlalar sürüklenmeye oldukça elverişlidirler. Damla spektrumundaki sürüklenmeye meyilli damlaların oranı ve bu damlaların toplam hacmi; çalışma basıncı, meme verdisi, meme tipi ve formulasyon tipi gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Çilingir ve Dursun 2002).

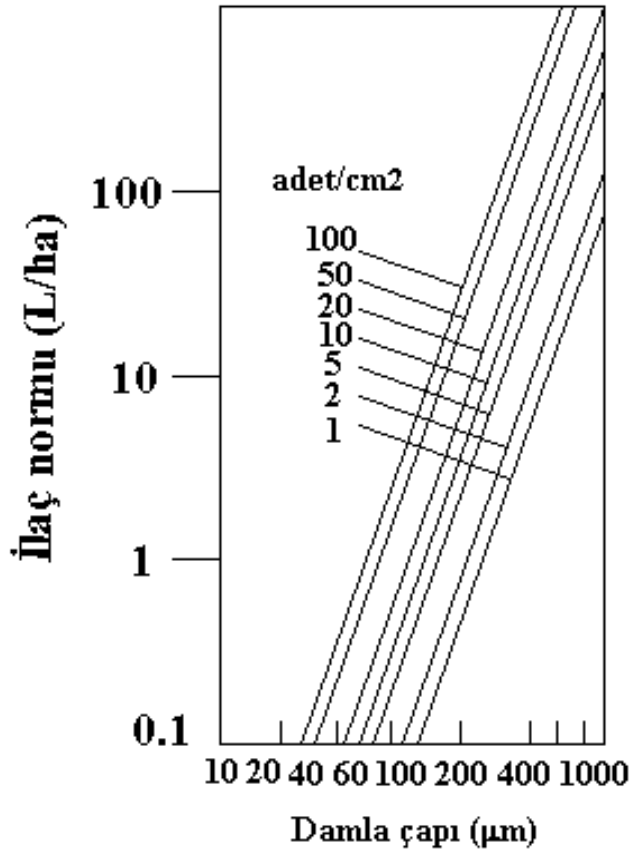
1.2.2 Damla sıklığı

İlaçlamada uygun damla büyüklüğü yanında birim alandaki damla sayısı da yeterli bir biyolojik etkinlik sağlanması açısından oldukça önemlidir. Birim hedef alanındaki damla sayısı, damla sıklığı veya damla yoğunluğu terimiyle ifade edilmekte olup genellikle cm^2 deki damla sayısını göstermektedir. Hedef yüzeylere uygulanacak ilaç formülasyonuna göre birim alana düşmesi gereken en az damla sayıları çizelge 1.4'te verilmiştir. Hedefe uygun optimum damla çapı belirlendikten sonra arzu edilen damla sıklığı değerine ulaşmak için gerekli olan teorik ilaç normu değerleri de hesaplanabilmektedir. Şekil 1.1'de damla sıklığı, damla çapı ve ilaç normu arasındaki ilişkiler görülmektedir. Çizelge 1.5'de ise farklı damla büyüklükleri ile ilaç uygulamalarında 1 adet/ mm^2 damla sıklığı elde etmek için gerekli en düşük ilaç normları verilmiştir. Çizelge'de görüldüğü gibi damla çapının artmasıyla ilaç normu değeri artmıştır. İlaç normu, damla çapı ve damla sıklığı arasındaki ilişkiye bağlı olarak biyolojik etkinliği de değişmektedir. Norm sabit kalacak şekilde damla çapları büyütüldüğü, dolayısıyla damla sıklığı azaltıldığında biyolojik etkinlik azalmaktadır.

Küçük çaplı damlaların biyolojik etkinliklerinin yüksek olması, hedef yüzeyler üzerinde iyi bir kaplama oranı sağlamalarından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 1.4 Farklı hedef yüzeyler için gerekli olan en az damla sayıları (Matthews 1992)

Formülasyon	Damla sıklığı (adet/cm ²)
Çıkış öncesi herbisit	20-40
Kök sistemine etkili herbisit	50
Kontak etkili çıkış sonrası herbisit	50-70
Kontak etkili fungusit	50-70
Sistemik etkili fungusit	20-30
Sistemik etkili insektisit	20-30
Kontak etkili insektisit	50



Şekil 1.1 Damla sıklığı, damla çapı ve ilaç normu arasındaki ilişki (Matthews 1992)

Çizelge 1.5 Damla çapına bağlı olarak 1 adet/mm² damla sıklığı için gerekli en düşük ilaç normu (Çilingir ve Dursun 2002)

Damla çapı (µm)	En düşük ilaç normu (L/ha)
10	0.005
20	0.042
30	0.141
40	0.335
50	0.655
60	1.131
70	1.797
80	2.682
90	3.818
100	5.238
200	41.905
500	654.687

1.2.3 Kaplama oranı

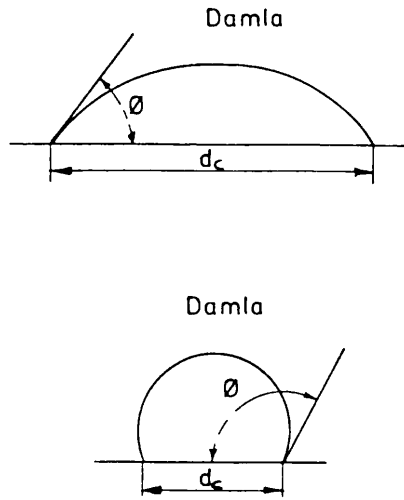
Hedefin birim yüzey alanı üzerinde damlalar tarafından kaplanan alanın birim yüzey alanına oranı kaplama oranı olarak tanımlanmaktadır. Bazı hedefler üzerinde yüksek biyolojik etkinlik elde edebilmek için kaplama oranının yüksek olması istenmektedir. Daha önce belirtildiği gibi insektisit ve fungusitlerde yüksek bir kaplama oranı gereksinimi duyulmaktadır.

Kaplama oranı; damla çapına, ilaç normuna, hedef yüzeyin özelliklerine, sıvının fiziksel özelliklerine ve damlaların hedefte toplanma etkinliğine bağlı olarak değişmektedir. Uygulanan ilaç normu sabit iken sıvı ne denli küçük çaplı damlalar halinde pülverize edilirse, birim hedef alanına düşen damla sayıları o kadar artmakta ve buna bağlı olarak hedef yüzeyin kaplama oranı da artmaktadır. Kaplama oranının artması ise uygulanan ilacın biyolojik etkinliğini artırmaktadır

Damla çapı yanında damla tekdüzeliği de kaplama oranına etki etmektedir. Örneğin gerekli damla çapı 100 µm ve bunun yanında 300 µm'lik istenmeyen bir damla elde

edilmiş ise çapların küpü oranında yani 27 adet damla yerine 1 damla elde edilmiş demektir. Bu da ilaç dağılımının bozulmasına ve kaplama oranının azalmasına neden olur (Zeren ve Bayat 1999).

Sıvı ilacın fiziksel özelliklerinden birisi olan yüzey gerilimi de damlaların bir yüzey üzerindeki yayılma özelliklerine etki etmektedir. Yüzey gerilimi büyük olan sıvılar hedef yüzeylerde küresel şekillerini korumaya çalıştıklarından büyük bir değme açısı ve küçük bir değme (temas) çapı oluştururlar. Yüzey gerilimi azaldığında ise, damla yüzey üzerine daha iyi yayılarak değme açısı küçülür, değme çapı büyümektedir ve kaplama oranı artmaktadır. Şekil 1.2’de bir damlanın yaprak üzerindeki değme açısı ve değme çapı gösterilmiştir. Şekil 1.2’de ϕ damla değme açısını, d_c ise değme çapını göstermektedir.



Şekil 1.2. Bir damlanın yaprak üzerine değme açısı ve değme çapı (Matthews 1992)

Yaprak yüzeyinin özellikleri de değme açısına etki etmektedir. Bitkilerin yaprak yüzey özellikleri birbirinden oldukça farklı olup bazı yapraklar mumlu, parlak yüzeyli, bazı yapraklar ise tüylüdür. Bu yaprakların bazıları kolay ıslanabilmekte, bazıları ise daha az ıslanma özelliği göstermektedir. Hydrophilic yaprak kolay ıslanabilen, hydrophobic yaprak ise daha az ıslanabilen yapraklardır. Örneğin, mumlu yaprak yüzeyine gelen damlanın değme açısı mumsuz yüzeylilere göre daha büyüktür (Zeren ve Bayat 1999).

Damla değme açısı, yaprakların üst ve alt yüzeylerine göre de değişiklik göstermektedir. Yaprak alt yüzeyine tutunan damlaların değme açıları yerçekimi etkisinden dolayı yaprak üst yüzeyindeki damlalara göre daha büyük olmaktadır (Çilingir ve Dursun 2002).

1.3 İlaç Uygulamalarında Karakteristik Damla Çapları ve Ölçme Yöntemleri

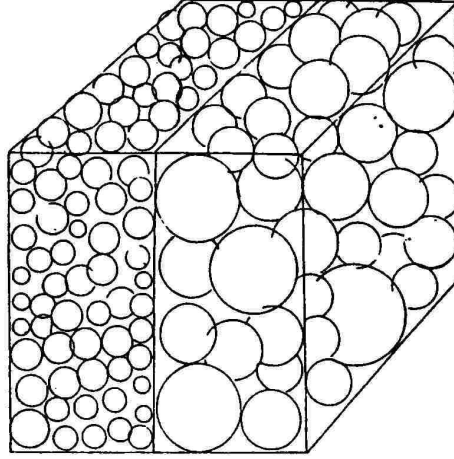
Pülverizasyonu oluşturan damlalar, çaplarına göre geniş bir dağılım spektrumu gösterirler. Bu damla kümesine bir anma ismi verilebilmesi ilaçlama tekniği açısından pülverizasyon kalitesinin değerlendirilebilmesi için ortalama çaplar ve homojenlik katsayıları kullanılmaktadır (Zeren ve Bayat 1999).

Pülverizasyon kalitesinin değerlendirilmesinde en çok kullanılan damla karakteristik çapları şunlardır:

- Hacimsel orta çap (VMD),
- Sayısal orta çap (NMD),
- Aritmetik ortalama çap (d_a),
- Yüzeysel ortalama çap (d_s),
- Hacimsel ortalama çap (d_v),
- Sauter çapı ($d_{v/s}$).

Bu karakteristik çaplardan VMD ve NMD özellikle Amerika ve İngiltere gibi ülkelerde en fazla kullanılan çaplardır. Bu çap değerlerinden başka geometrik ortalama çap ve kütleli orta çap gibi çap değerleri de bazı ülkelerde damla büyüklüğünü tanımlamak için kullanılabilmektedir.

Hacimsel orta çap (VMD); püskürtülen damlaların toplam hacmini iki eşit hacme ayıran çaptır. VMD' den daha küçük çaplı damlaların oluşturduğu hacim ile VMD' den daha büyük çaplı damlaların oluşturduğu hacim birbirine eşittir (Şekil 1.3). Kısaca, püskürtme hacminin % 50'sinin sahip olduğu çap değeridir. Bu çap değeri $D_{v0.5}$, $D_{0.5}$ ya da $V_{(0.5)}$ gibi farklı sembollerle de ifade edilmektedir (Wolf *et al.* 1999).



Şekil 1.3 VMD çapının şematik gösterimi (Matthews 1992)

Sayısal orta çap (NMD); pülverizasyon sırasında oluşan damlalar içinde, çapı kendisinden büyük olanların sayısı ile küçük olanların sayısının eşit olduğu sınır çap değeridir.

Pülverizasyonda damla çapından başka oluşan damlaların tekdüzeliği de önemli olduğundan, tekdüzelik (homojenlik) katsayısına ilişkin değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla hacimsel orta çap (VMD) sayısal orta çapa (NMD) oranlanarak bir katsayı (CH) bulunmaktadır. CH, daima 1'den büyük bir değere sahiptir. CH değeri 1'e ne kadar yakın olursa, pülverizasyonu oluşturan damla çaplarının birbirine o oranda yaklaştığını, yani damla tekdüzeliğinin iyileştiğini ifade eder. CH tekdüzelik katsayısından başka, RS olarak bilinen ve $D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$ ve $D_{v0.9}$ çap değerlerinden hesaplanan bir tekdüzelik gösterge değeri kullanılabilir. Bu üç karakteristik damla çapı ile 50, 100 ve 200 μm 'den küçük damlaların püskürtme hacmi içerisindeki değerleri kullanılarak uygulamalara ilişkin sürüklenme potansiyelleri de belirlenebilmektedir.

$$RS = (D_{v0.9} - D_{v0.1}) / D_{v0.5}$$

Damla çapı ölçümünde, direkt olmayan damla toplamalı yöntemler ve direkt damla çapı ölçme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

1.3.1 Direkt olmayan damla çapı ölçüm yöntemleri

Damla çapı ölçümünde en basit ve en ucuz yöntem, damlaların bir ortam üzerinde ya da içerisinde yakalanması şeklindedir. Toplandıktan sonra damla büyüklükleri doğrudan ölçme veya lekelerden dolayı olarak ölçme ile belirlenmektedir. Leke ya da iz bırakma yöntemlerinin kullanılabilmesi için damlanın gerçek çapı ile leke (iz) çapı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla bir kalibrasyon yapılmaktadır. Örnekleme yüzeylerinde ölçülen leke ya da iz çapları daima damlanın havadaki gerçek çapından daha büyüktür. Çünkü, örnekleme yüzeyine düşen damlalar yayılmaktadır. Yayılma faktörü; damla çaplarına, püskürtülen sıvı formülasyonuna ve örnekleme yüzeyinin özelliğine göre değişmektedir.

Leke ya da iz bırakma yöntemlerinde, gerçek damla çaplarının elde edilmesi için yayılma faktörü göz önüne alınmalıdır. Direkt olmayan damla çapı ölçme yöntemleri, damla toplama yöntemlerine göre aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

1.3.1.1 Kaplamalı lamlar

MgO yöntemi en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde kullanılan lamlar, yanan bir magnezyum şeridinden çökelen MgO sayesinde bir mikroskop lamının MgO filmi ile kaplanmasıyla elde edilir. İstenen kalınlıkta MgO tabakası elde edebilmek için oldukça duyarlı davranılmalıdır. Damla çapları, bir mikroskop ve ışık kaynağı kullanılarak damlaların MgO filmi üzerinde bıraktıkları lekelerin ölçülmesi ile elde edilir. Bu yöntemin en önemli üstünlüğü, yayılma faktörünün damla çapı ve formülasyonu ile değişmemesidir. Buna karşın tarla koşullarında uygulanamaması ise olumsuz yanındır.

MgO yöntemi dışında, jelatin kaplamalı lamlar ve petrol jölesi kaplamalı lamlar da damla çaplarının ölçülmesinde kullanılırlar. Bu tip lamlarda damla çaplarının ölçülmesi için faz farklı mikroskoplar kullanılmaktadır.

1.3.1.2 Kaplamalı filmler

Kaplamalı filmler suya duyarlı plastik filmlerdir. Bu filmler, ULV formülasyonlarında kullanılan çözücülere duyarlı boya ile kaplanmışlardır. İlaç içerisindeki çözücüler, boyanın asetonla beyazlaşan üst tabakasını çözer ve alt tabaka ile bir renk farklılığı yaratırlar.

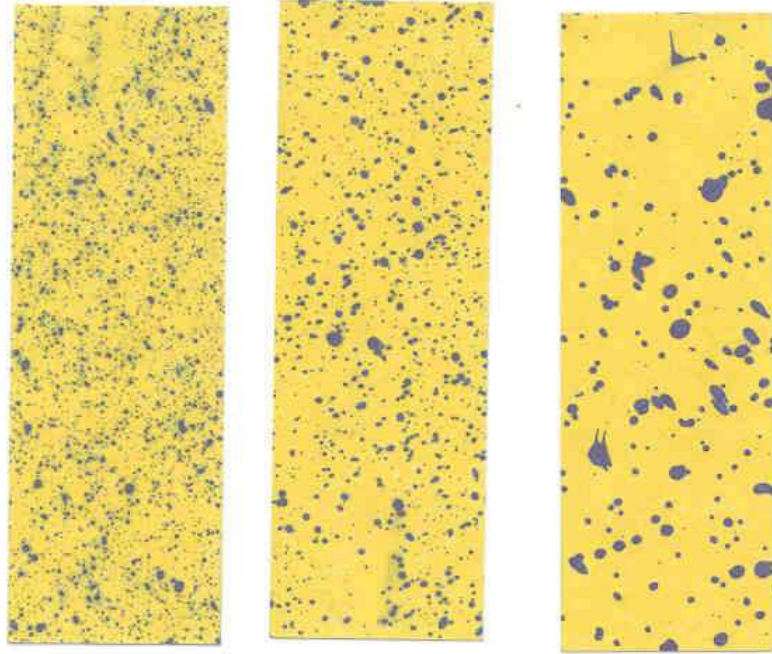
1.3.1.3 Cilalı kağıtlar

Tarlada damla çapı ölçümünde çok yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi olan bu yöntem, boya içerikli pülverizasyonları ve kromekote kartı olarak bilinen cilalı fotoğrafik kağıt kullanımını içermektedir. Dmax yöntemi olarak bilinen bu yöntemde, havadan uygulamada belirlenen maksimum çap yardımıyla hacimsel orta çap (VMD) tahmin edilmektedir.

1.3.1.4 Duyarlı kartlar

Bu kartlar, Ph indikatörü brofenol mavisi esaslıdır. Kart üzerine düşen su damlaları, sarı renkli olan bu kartlar üzerinde kolayca görülebilen mavi lekeler meydana getirmektedir. Bu tip kartlarla çapı 10 µm'ye kadar olan damlalar ölçülebilmektedir. Buna karşın, bu kartlar oldukça hassas olduklarından, parmakla dokunulduğunda bile zarar görebilmekte ve bağıl nemin yüksek olduğu ortamlarda kullanımı oldukça zorlaşmaktadır. Daha sonraları bu yöntem Ciba-Geigy tarafından daha da geliştirilerek yüksek bağıl nemlerde bile kullanılabilir duruma getirilmiştir (Şekil 1.4). Suyu duyarlı kartlar, ilk olarak imal edilmelerinden bu yana, damla örneklerinin alınarak çaplarının ölçülmesinde çok yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Duyarlı kartlar, yağ esaslı pülverizasyonlarda da damla çapı ölçümünde kullanılırlar. Püskürtülen sıvının içindeki çözücüler, beyaz olan kaplamayı çözer ve alttaki siyah zemini ortaya çıkarır. Ciba-Geigy, CF1 olarak adlandırılan, yağa duyarlı kartları da geliştirmiş ve üretmiştir. Ancak ilaç formülasyonlarında bulunan çözücülerin tamamı bu kartlar üzerinde leke bırakmamakta ve kullanımları deneyim gerektirmektedir. Yağa duyarlı kart

kullanımında hata oranını azaltmak için küçük çaplı pülverizasyonlar yapmak, floresan iz maddesi içeren damlaları kullanmak ve bu damlaların kalıntılarını UV ışığı altında izlemek gereklidir. Boya kaplı olan yağa duyarlı kartlar, özellikle ULV formülasyonlu ilaçlar ile kullanılmak üzere geliştirilmiştir.



Şekil 1.4 Suya duyarlı kart

1.3.1.5 Yaprak yüzeyleri

Damla çapı ölçümü, ilaçlamanın temel hedefi olan yaprak yüzeylerinde de yapılabilmektedir. Bu yöntem, uygun bir floresan iz maddesinin kullanımını ve kalibrasyonu gerektirir. Bir yaprak üzerindeki damlaların büyüklüğü, yaprak üzerindeki lekelerde bulunan floresan partiküllerinin sayısı ve ilaç formülasyonundaki partiküllerin konsantrasyonundan tahmin edilmektedir. Bir lekede bulunan floresan partiküllerinin sayısı, istatistiksel olarak tek başına damla büyüklüğünü tanımlayamaz. Bundan dolayı bu yöntem, özellikle küçük damlalar için hassas değildir. Eğer sayılacak çok sayıda floresan partikül varsa, bu yöntemle damla çapını ölçmek oldukça zordur.

1.3.1.6 Damlaları bir sıvı içine düşürerek ölçme

Laboratuarlarda kullanılmak üzere sıvı ortamlarda damla toplama ve bu damla örneklerinden damla çapı ölçümü amacıyla bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı, yağ banyolu yöntemdir. Burada örnekleme yüzeyi olarak, içinde yüksek viskoziteli yağlar bulunan petri kutuları vb. kullanılmaktadır. Pülverizasyon alanına yerleştirilen petri kutuları içine düşen damlalar, yağ içerisine tamamen batarak yüzerler ve küresel şekillerini korurlar. Bu yöntemle herhangi bir kalibrasyona gerek duyulmadan damla çapları doğrudan ölçülebilmektedir. Bu yöntemde en önemli nokta, damlaların düşürüleceği sıvının özellikleridir. Seçilen sıvı;

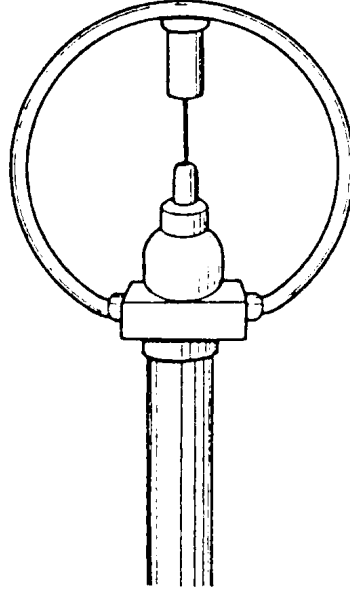
- Püskürtülen sıvı ile hiçbir şekilde karışmamalı,
- Yoğunluğu, damlaların içine gömülebileceği kadar az ve damla küreselliğini koruyacak düzeyde olmalı,
- Viskozitesi, damlaların dağılmasına neden olmayacak ve buharlaşmasını önleyecek kadar küçük, damlaların hareketini önleyecek kadar büyük olmalı,
- Işık geçirme özelliği iyi olmalıdır.

1.3.1.7 Lifli ortamlar

Küçük çaplı lifler, çapı 50 µm'nin altında olan damlaları yakalamak amacıyla kullanılabilir. Lifler üzerinde toplanan damlalar, küresel formlarını korurlar ve kalibrasyona gerek duyulmadan çapları ölçülebilmektedir. Bu yöntemde, örneklemede kullanılan düzenek "harp" örnekçisi olarak tanımlanmaktadır. Harp, bir çatı üzerine tutturulmuş 10 µm çapındaki tellerden oluşmaktadır. Çatının laboratuara taşınması için özel bir kutu bulunmaktadır. Çatının taşınması sırasında dikkatli olunmalıdır. Bu yöntem, çabuk buharlaşan formülasyonlar için uygun değildir.

Harp örnekçisine benzeyen diğer bir yöntemde ise kızgın telli anemometreye benzer bir teknik kullanılarak ısıtılmış bir tel üzerinde toplanmaktadır. 200 °C sıcaklıkta 5 µm çaplı bir platin telin üzerindeki damlalar sıcaklık nedeniyle buharlaşmakta ve telin

sıcaklığı düşmektedir. Teldeki sıcaklık düşüşü, tel direncinde bir düşüğe neden olmakta ve bir elektronik sinyal meydana getirmektedir. Damlaların büyüklüğü, kalibrasyon yardımıyla bu sinyallerden belirlenmektedir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 Kızgın telli damla sensörü (Matthews 1992)

1.3.2 Direkt damla çapı ölçüm yöntemleri

Damla çaplarının direk yöntemlerle ölçümü, hassasiyet ve güvenilirlik açısından oldukça iyi olup, ölçümler doğrudan ve hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Son yıllarda elektro-optik ve mikrobilgisayarlar üzerindeki önemli gelişmeler, çeşitli doğrudan ölçüm sistemlerinin yaygın olarak kullanılabilir duruma gelmesini sağlamıştır. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanları aşağıda açıklanmıştır.

1.3.2.1 Fotoğrafik ölçüm yöntemleri

Yüksek hızlı fotoğrafıma, pülverizasyon işlemini incelemek amacıyla çalışan araştırmacılar tarafından çok uzun zamandır kullanılmaktadır. Ayrıca, havada uçuş halindeki damlaların büyüklüğünü ölçmek amacıyla da kullanılabilir. Bu yöntemde genel olarak "spark" fotoğrafıma tekniği kullanılmaktadır. Burada, yüksek

bir voltaj boşaltımı (deşarjı) yardımıyla oluşturulan yüksek hızlı flaş kullanımıyla, damla hareketi dondurulmaktadır.

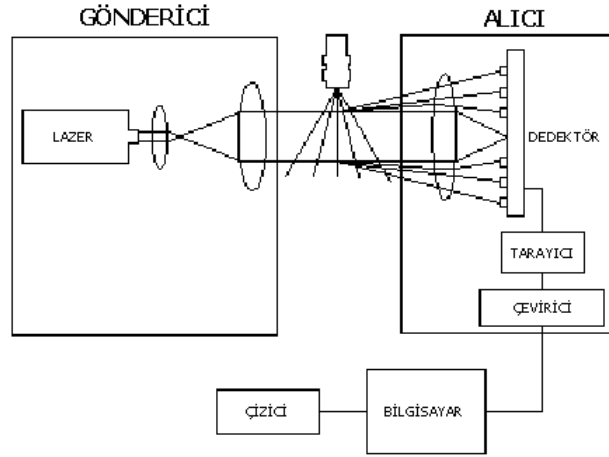
Fotoğraf çekildikten sonra, damlaların görüntüleri damla analiz teknikleriyle analiz edilerek, damla çapları ölçülmektedir. Bu yöntemin bazı güçlükleri bulunmaktadır. Bunlar, hareket nedeniyle görüntü sınırlarındaki bozulmalar ve odaklama sınırlarının derinliğinden dolayı yetersiz tanımlamalardır. Küçük damlaları ölçmek için yüksek büyütme oranlarına gereksinim duyulmaktadır. Bu yöntemle doğru ölçümler yapabilmek için çok sayıda fotoğraf çekilmesi gerekmektedir. Bazı meme üreticileri, ürettikleri memelerin damla spektrumunu analiz etmek için yüksek hızlı fotoğraflamayı kullanmışlardır. Bu sistem, yüksek hızlı bir flaş ve video sistemi ile oluşturulmuştur. Çeşitli araştırmacılar ise çift çekimli flaş kullanarak damla hızını ölçmek için bu yöntemi kullanmışlardır.

1.3.2.2 Lazer esaslı ölçüm yöntemleri

Lazer kırınım yöntemi uzaysal örnekleme yapmakta olup direkt damla çapı ölçüm yöntemleri sınıfına girmektedir. Bu yöntemde kullanılan cihazlar gönderici, alıcı ve bilgisayardan oluşmaktadır. Örnekleme alanından geçen damlalar lazer ışın demetinde açısız ışık dağılımına neden olurlar. Kırılan ışığın yoğunluğu, hacimsel olarak damla konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Dağınık ışığın yoğunluğu alıcı üniteye dizilmiş yarım dairesel fotodedektörlerle ölçülür. Işık yoğunluk dağılımı bir program yardımıyla deneysel tanecik dağılım fonksiyonuna çevrilir.

Bu yöntemde göre çalışan sistemlerden biri Malvern damla büyüklüğü ölçüm sistemidir (Şekil 1.6). İngiltere’de Malvern Instruments tarafından imal edilmiştir. Sistem, bir mikrobilgisayara bağlı ışık dedektörünün önündeki optik bir platforma bağlanmış düşük güçlü Helyum-Neon lazerinden oluşmaktadır. Yayılan ışık yoğunluğu dağılımının ölçümü, bir fourier merceği ve 31 elemanlı bir algılayıcı (dedektör) kullanılarak yapılmaktadır. Ölçülen ışık yoğunluğu dağılımı, ya varsayılan bir damla çap dağılım fonksiyonu ya da bağımsız bir yazılım modeli kullanılarak en iyi dağılım eğrileri

esasına göre hesaplanmış ışık yoğunluğu dağılımı ile karşılaştırılır. En düşük farklar elde edildiği zaman, sonuç mikrobilgisayar tarafından gösterilir. Bazı bilgisayar yazılımları, sadece ışığın kırılma ile yayılmasından oluşan sapmalarını değil, aynı zamanda ışığın damlaların içinden geçtiği ama kırılmadığı kabul edilen ışınları da değerlendirebilmektedir.

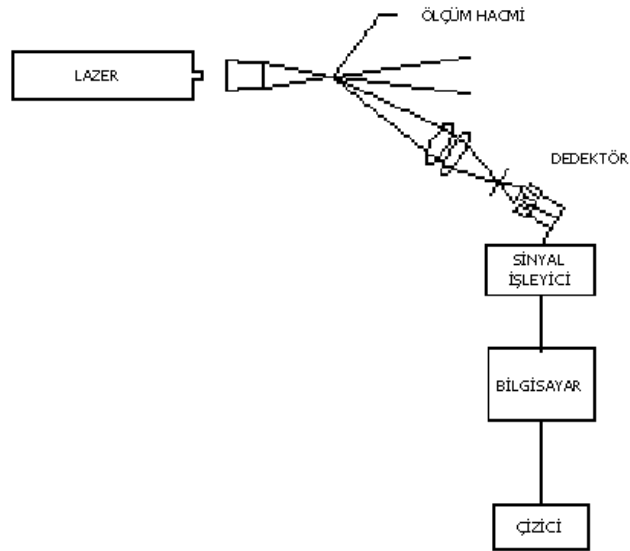


Şekil 1.6 Malvern parçacık analiz sistemi (Schick 1997)

Bu yöntemin en ciddi sınırlaması çoklu yayılma olarak bilinir. Çoklu yayılma püskürtme yoğunluğu çok yüksek olduğu zaman gerçekleşir. Işık dedektöre ulaşmadan önce muhtelif damlaların kırılmasına uğrayabilir. Bu da damla çapı dağılımının hesaplanmasında hata oluşturabilir. İlaç damlaları tarafından yayılan ışık, fotodedektöre uygun sinyaller sağlayacak yeterlilikte olmalıdır. Bundan dolayı örnekleme hacmi içerisindeki pülverizasyonun konsantrasyonu, damla büyüklüğünün doğru bir şekilde ölçülmesini sınırlandırır.

Lazer esaslı diğer bir yöntem ise lazer doppler damla ölçüm yöntemidir. Bu sistem gönderici, alıcı, sinyal işleyici ve bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 1.7). Bir ışın dağıtıcı (bölücü) ve lensler kullanılarak iki kesişen ışın elde etmek için sürekli bir lazer kullanılmaktadır. Yaklaşık 5 W' lik Argon-İyon veya Helyum-Neon lazeri kullanılmaktadır. İki ışının kesiştiği ve ışın saçaklarının birbirine girdiği yerde küçük bir örnekleme hacmi oluşmaktadır. Örnekleme hacminden geçen bir damla, modüle

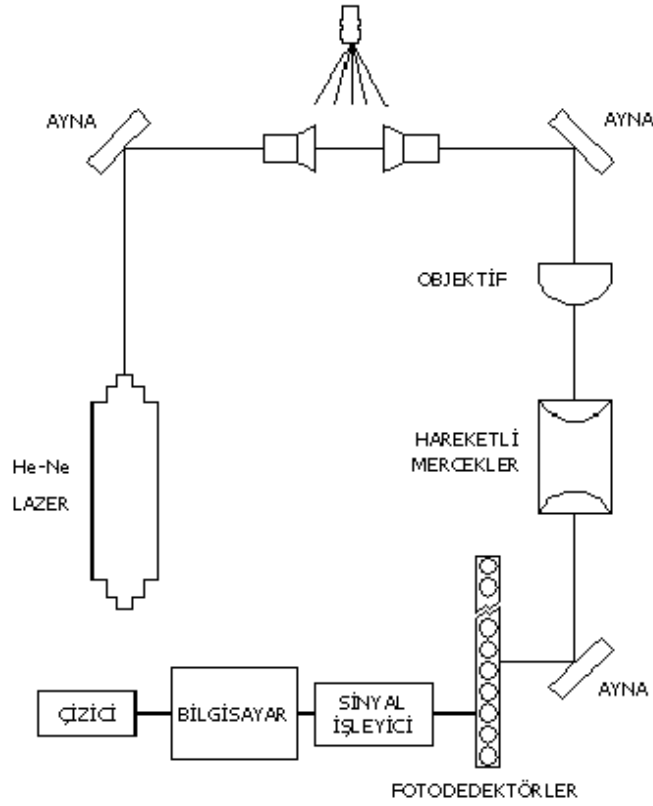
edilmiş yayılmış ışık üretir. Bu ışık, bir Doppler kırılma sinyali şeklindedir. Modülasyon frekansı damlanın hızıyla orantılıdır. Damlları ölçmek için, Doppler kırılma sinyalinin uzaysal frekansı gerekmektedir. Bu sistemde 3 adet fotodedektör kullanılmaktadır. Sinyal ayarlamasından sonra üç dedektör arasındaki faz farkı ölçülmektedir. Bu ölçüm, sıfır noktasındaki sinyaller karşılaştırılarak ya da çapraz korelasyon tekniğini kullanarak yapılmaktadır. Uzaysal ayırım nedeniyle 3 kırılmış Doppler sinyali, farklı damla çaplarına karşılık gelen faz farklarına sahip olup, bu faz farkları lineer bir kalibrasyon eğrisi şeklindedir. Damla çapları bu kalibrasyon eğrisinden belirlenmektedir. Sistemde kullanılan üç dedektör, ölçme hatalarından kaçınmak için kullanılmıştır. İki veya daha fazla damlanın aynı anda geçişinden alınan sinyaller değerlendirilmemektedir.



Şekil 1.7 Lazer doppler parçacık analiz sistemi (Schick 1997)

Bazı Doppler cihazları frekansı kaydırma özelliğine sahiptir. Bu sistemler ışık saçaklarını modüle ederek Doppler frekansını artırır. Bunun sonucunda, saçak modülasyonu doğrultusundaki örnekleme hacmini geçen damllar tarafından daha çok ışın saçakları kesiştirilmekte, bundan dolayı ölçülebilen damla hızı aralığı artmaktadır. Lazer Doppler sistemleri, damla spektrumu ve sistem parametrelerini gösteren bir mikrobilgisayar data sistemine sahiptir.

Fotodedektörlü Parçacık Analiz Sistemi bir akış örnekleme cihazıdır (Şekil 1.8). Sistem ışık kaynağı, bir dizin fotodiyotu ve bilgisayardan oluşmaktadır. Damla örneklemme düzleminden geçerken boyutlandırılır ve sayılır. Bilgi toplama örnekleme yüzeyinden geçen damlaların gölgelendirdiği lazer ışınlarının miktarının ölçülmesine dayanır. Bu elde edilen bilgilerle damla hızı da hesaplanır. İki boyutlu sistemde damla ölçümü iki aralıkta yapılabilir. Bu aralıklar 100 ile 6200 mikron ve 200 ile 12400 mikrondur. Bu sistem oldukça gelişmiş ve kendi kendini test edebilme yeteneğine sahiptir. Odaklanmamış ya da seçilen testlere uymayan damla görüntülerini otomatik olarak ayıklar. Bu sistemde karşılaşılan problemler, genellikle düzgün yapılmamış kalibrasyon ve bakımdan kaynaklanır. Optik elemanlar kolaylıkla ıslanmaya eğilimlidirler ve temizlenip merkezlemesi deneyim gerektiren işlerdir. Ayrıca yoğun püskürtmede elektronik sisteme fazla yüklenilmekte ve bu da örnekleme alanının azaltılmasına neden olmaktadır. Örnekleme alanı, düzeltme faktörü ve damla dağılım denklemini analiz yapan operatöre bırakmaktadır.



Şekil 1.8 Fotodedektörlü parçacık analiz sistemi (Schick 1997)

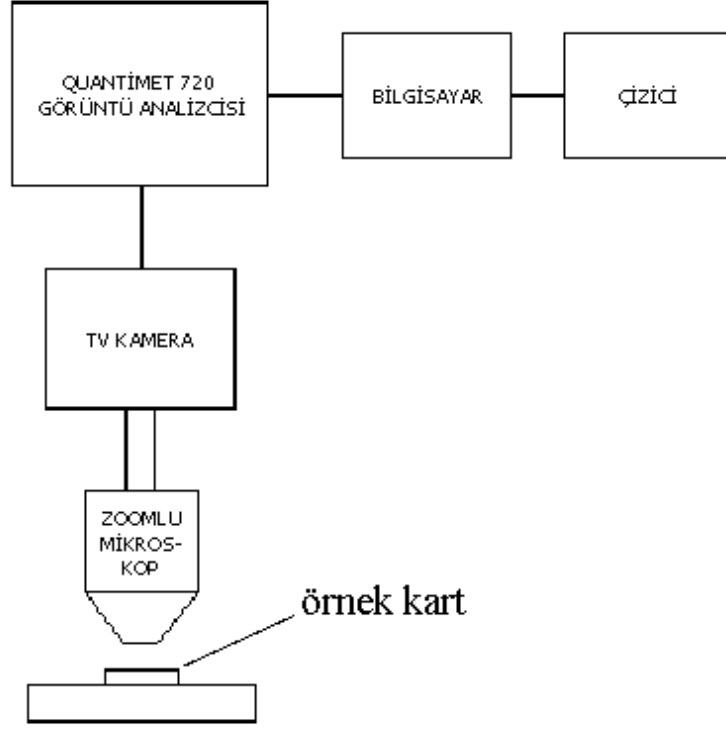
1.3.3 Damla apı, damla sıklığı ve kaplama oranının ölçülmesi için toplanan damla örneklerinin analizi

Standart bir mikroskop kullanarak damla çapı ölçümü en basit analiz yöntemidir. Örnekleme yüzeyleri üzerindeki veya içindeki damlaların çapları, mikroskopla doğrudan ölçülebildiği gibi, fotoğraflama düzenine sahip mikroskoplarla damlaların fotoğrafları çekildikten sonra, film ya da kart üzerinden ölçüm ve sayımlar yapılabilmektedir. Mikroskopla damla çapı ölçümü, hem yorucu hem de oldukça uzun zaman almaktadır.

Otomatik olarak yapılan analizler bilgisayar destekli görüntü analiz cihazları ile gerçekleştirilmektedir. Bu sistemde görüntüler bir video kamerasından analiz bilgisayarına ya da çok amaçlı analog-dijital çeviriciler ve özel yazılımlarla bir kişisel bilgisayara aktararak işlenmektedir. Bu sayısal bilgi değerlendirilerek damlalar büyüklüklerine göre sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma daha çok yüzey alanlarına göre yapılmaktadır. Leke, iz vb. görüntülerin alanlarından damla çapları hesaplanmaktadır. Bu yöntemde, üst üste gelen damlalar ölçümde hatayı azaltmak için değerlendirme dışı bırakılmaktadır. Bu düzenekteki hata kaynakları bulanıklık, alan derinlik değişimi, doğru olmayan örnekleme boyutudur. Bu hata kaynakları tespit edilebilir ve bir noktaya kadar düzeltilebilir.

Tipik analiz sistemlerine örnek olarak; Quantimet ve Optomox serisi verilebilir. Şekil 1.9'da Quantimet görüntü analiz sistemi görülmektedir. Optik sistem, bir mikroskop yada büyük mercek esaslı olabilir.

Optomox V sistemi, bir video görüntüsünü 256 gri tonlu, 704x560 piksel seviyesinde çözme kabiliyetine sahiptir. Eğer belirtilen aralıktaki şekillerin grilik seviyesi, tanımlanan seviyeyi aşarsa damlalar ölçülmektedir. Eşik gri seviyeleri, elle yada otomatik olarak belirlenmektedir (Bond 1974).



Şekil 1.9 Görüntü analiz sistemi (Bond 1974)

Damla sıklığının ve kaplama oranının ölçülmesinde, suya veya yağa duyarlı kartlardan yararlanılmaktadır. Bu kartlar klasik olarak bir mikroskopla ya da görüntü işleme yöntemiyle analiz edilmektedir. Ayrıca, doğrudan yaprak üzerindeki ilaç kalıntısının ve kaplama oranının belirlenmesinde görüntü işleme yöntemi kullanılabilir (By de Moor *et al.* 2000, Franz 1993, Jiang and Derksen 1995).

1.4 Görüntü İşleme Sistemleri

1.4.1 Görüntü işleme sistemlerinin esasları

Modern anlamda ilk görüntü işleme uygulaması, 1964 yılında ABD Kaliforniya'da Jet İtki Laboratuvar'ında, Ay'ın çevresinde dönen bir uydudan gönderilen görüntülerdeki bozulmaların ve elektronik gürültülerin ortaya çıkardığı lekelerin bilgisayar yoluyla

ortadan kaldırılmasıdır. Bu teknikler daha sonra Ay'dan, Mars'dan ve bir çok uzay görevinden elde edilen görüntülerin işlenmesinde kullanılan tekniklerin temelini oluşturmuştur. Görüntü işleme yalnız uzay programı ile sınırlı kalmayıp tıp alanında (röntgen filmlerinin daha çok ayrıntı gösterir hale getirilmesi), arkeolojide (uçaktan veya uydudan çekilen fotoğraflardaki silik detayların ortaya çıkarılması), fizik biliminde (elektron mikroskobundan elde edilen görüntülerin iyileştirilmesi), ve daha bir çok dalda kullanım alanı bulmuştur (Gonzalez and Woods 1993).

Görüntü işleme, bir görüntüyü dijital hale dönüştürme ve bu görüntü üzerinde bilgisayarla işlem yapma konularını kapsar. Dijital görüntü işleme yöntemlerinin iki ana amacı vardır:

- İnsanın görüntüyü daha iyi yorumlayabilmesi için görüntünün iyileştirilmesi,
- Bilgisayarın görüntüyü yorumlayabilmesi için görüntünün analizi.

Görüntü iyileştirme tekniklerinin hedefi, görüntüyü özel bir amaç için orijinal görüntüden daha uygun bir biçime getirmektir. Bir görüntü iyileştirme sisteminin hem girdisi hem de çıktısı dijital resimlerdir. Kullanılan teknikler genellikle probleme bağlıdır. Dijital görüntü analizi ise görüntünün içeriğini tanıma ve tanımlandırma konularını kapsar. Burada girdi dijital bir resimdir. Çıktı ise görüntünün içeriğini anlatmaya yarayan çeşitli semboller veya kodlardır. Görüntü işleme tekniklerinin, uydudan gönderilen görüntülerin veya röntgen filmlerinin iyileştirilmesi gibi ilk uygulamaları genellikle görüntü iyileştirme kısmına giren işlemlerdir. Bunlardan farklı olarak doküman analizi, üretim ve kontrol amaçlı endüstri makinalarının optik algılayıcılar yardımıyla işlenmesi, bilgisayarla parmak izi tanıma gibi uygulamalar görüntü analizi kısmına girerler (Emiroğlu 1997).

Bir görüntü işleme uygulamasında ilk adım görüntüyü elde etmektir. Bunun için bir görüntü algılayıcı gerekir. Bu alet bir tarayıcı, dijital fotoğraf makinası veya bir televizyon kamerası olabilir. Eğer aletin çıktısı sayısal değilse bu sinyal bir analog-sayısal çeviriciden geçirilerek sayısallaştırılır. Bundan sonra ön işleme aşaması gelir.

Burada amaç, sonraki aşamaların başarı şansını artırmak amacıyla görüntüyü geliştirmektir. Kontrast geliştirme, eşikleme, görüntüyü filtreden geçirme bu kısımda yapılan tipik işlemlerden bazılarıdır. Görüntü iyileştirme uygulamaları genellikle bu aşamanın ötesine geçmez. Ön işleme aşamasında hem girdi, hem de çıktı sayısal görüntülerdir. Bu aşamadan sonra segmentasyon aşaması gelir. Burada görüntü, kendi içinde anlamlı bir birlik oluşturan parçalara ayrılır. Görüntü işleme uygulamalarının en zor kısmı otonom segmentasyondur. Bu aşamanın başarısı, uygulamanın başarısını doğrudan etkiler. Segmentasyon kısmının çıktısı ham piksel verileridir. Uygulamanın özelliklerine göre bu pikseller, belli bir bölgenin bütün pikselleri veya sadece bölgenin sınırlarını gösteren pikseller olabilirler. Her iki durumda da bu pikseller ile bunların ifade ettiği düşünülen nesnelere arasında bir ilişki kurmak gerekir. Bu işlem, bundan sonraki iki aşamada gerçekleştirilir: betimleme, tanıma ve yorumlama. Betimleme aşamasında, söz konusu piksellerin taşıdığı ayırt edici özellikler hesaplanır. Bu aşamanın çıktısı, bir piksel kümesinin özelliklerini içeren bir özellik vektörü olabilir. Tanıma ve yorumlama aşamasının tanıma bölümünde bu özellik vektörü, bir özellik vektörleri kümesinin herhangi bir elemanına benzetilmeye çalışılır. Böylece piksel kümeleri sınıflandırılır. Yorumlama bölümünde ise sınıflandırılması yapılan nesnelere anlamları belirlenir ve çıktı olarak verilir (Gonzalez and Woods 1993).

Görüntü, bir düzleme bir manzaranın yansımasıdır ve genellikle parlaklık değerlerinin bir dizisi olarak sunulur. Diğer bir tanım ise şöyledir, bir ya da daha fazla sayıda doğal veya yapay ışık kaynağı tarafından aydınlatılmış bir nesnenin yayılan ışık şınımının, bir görüntü yüzeyi üzerinde toplanarak söz konusu nesnenin temsil edilmesi olayına, bu nesnenin görüntüsünün elde edilmesi denir (Chelappa and Sanvchuk 1985). Görüntü, bir resim, fotoğraf ya da şekil olabilir. Kısaca görüntü, bir şeklin veya nesnenin görsel ifadesidir (Niblack 1986). Görüntü, iki boyutlu bir ışık yoğunluğunun fonksiyonu $f(x,y)$ şeklinde ifade edilebilir. f fonksiyonuna ilişkin x ve y parametreleri uzay koordinatlarına karşılık gelmektedir ve f 'in herhangi bir (x,y) noktasındaki değeri, bu noktadaki aydınlanma şiddeti ile doğru orantılıdır. Birçok uygulamada aydınlanma şiddeti üçüncü bir koordinat olarak gösterilmektedir (Akkuş 1994).

Piksel, bir resim görüntü matrisini oluşturmak üzere ızgara biçiminde küçük alanlara bölündüğünde oluşan her alana denir (İnce 1986). Bazı yayınlarda pel olarak da adlandırılan ve geometrik ayırım kavramı ile yakından ilişkili olan piksel, bir sayısal görüntünün en küçük parçasıdır. Genellikle kare biçimindedir. Yeryüzünde bir piksele karşı düşen alan ne kadar değişik görünüm ve değerlere sahip olursa olsun, pikselin bir spektral banttaki değeri tek bir sayı ile ifade edilir. Bu sayı, bir bakıma o alanın ortalama değeri olur. Sayısal bir resim yeterince büyütüldüğünde, blok blok görünümüleriyle pikseller ortaya çıkar. Buna karşılık resim sürekli büyütüldüğünde sadece genel netlikte bir kayıp meydana gelir.

Aydınlanma ile ilgili 0 ve 1 gibi iki uç değer yerine, ara değerler konusunda bilgi edinmek için, piksel değerini temsil eden bit (binary-digit) sayılarını artırmak gerekir. Örneğin, aydınlanmanın 4 seviyesi isteniyor ise, 2 bit gerekmektedir. Benzer şekilde 4 bit 16 seviye için, 8 bit ise 256 seviye için gereklidir. Bunlar grilik seviyesi veya skalası olarak adlandırılır. Grilik skalasında seviyelerin toplam sayısı genellikle ikinin n'inci üsleri şeklindedir. Bir pikselin sahip olduğu değer, daima tam sayıdır (Galbiati 1990).

Bir görüntünün bilgisayarlarla işlenebilmesi, saklanması ve daha sonra çözümlenmesi ve değiştirilmesi için ilk olarak görüntünün sayısal hale dönüştürülmesi gerekmektedir (Niblack 1986, Rosenfeld 1988). Sayısal görüntü; görüntü düzleminde bulunan noktalara ait aydınlanma şiddeti veya renk değerlerini gösteren ayrık bir sayılar gurubudur. Sayısal görüntüler, sayısal kamera tarayıcı veya mikro yoğunluk ölçer aygıtları yardımıyla fotoğraf ya da resimlerin sayısallaştırılması yolu ile elde edilir (Rosenfeld 1988).

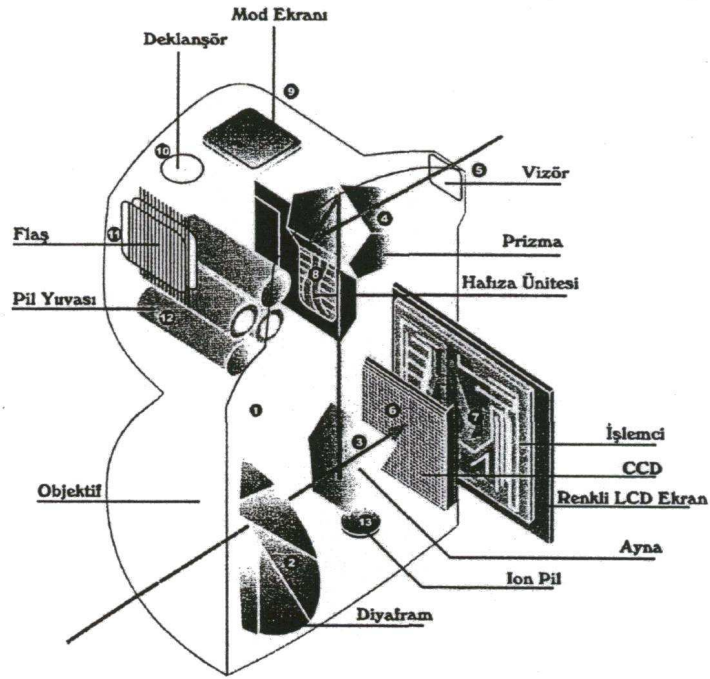
1.4.2 Görüntü işleme sistemlerinin donanımı

Görüntü işleme sisteminde kullanılan birimler üç ana guruba ayrılabilir. Bunları:

- Girdi Birimleri: Dijital Fotoğraf Makinası, Tarayıcı
- İşleme Birimi: Bilgisayar
- Çıktı Birimi: Monitör, Yazıcı'dır

Bir görüntü işleme sisteminde en önemli birim; görüntüyü üreten veya başka bir deyişle görüntüyü alan girdi birimleridir.

Dijital fotoğraf makinaları, kimyasal film yerine, manyetik ortam kullanan fotoğraf makinalarıdır. Optik düzenekleri bakımından, geleneksel fotoğraf makinalarından hiç bir farkları yoktur (Şekil 1.10). Günümüzde üretilen dijital fotoğraf makinaları CCD (Charge Coupled Device) adı verilen ışığa duyarlı elektronik hücrelerden oluşan bir yonga aracılığıyla görüntüyü oluştururlar. CCD'ler ışığı algılayıp, bunu çok düşük gerilimde elektrik akımına çevirirler. Minik bir Analog-Dijital çevirici yardımıyla, bu elektrik akımı dijital ortama bit'ler olarak aktarılır. Dijital fotoğraf makinası ile çekilen fotoğraflar, makinanın kendi hafızasında saklanabildikleri gibi, özel bir kablo ve özel bir yazılım aracılığıyla doğrudan bilgisayara da aktarılabilir.



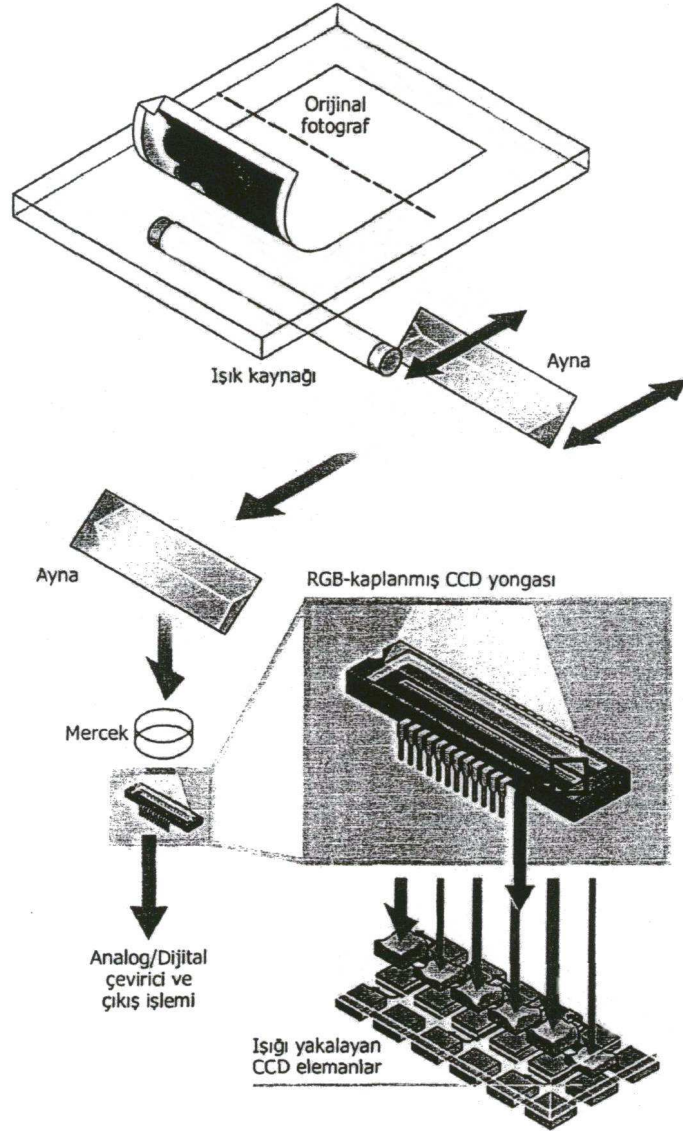
Şekil 1.10 Dijital fotoğraf makinasının iç yapısı (Toraman 2000)

Tarayıcı kullanmak, görüntüyü bilgisayar ortamına aktarmanın bir başka yöntemidir. Bu araçlar ile geleneksel yöntemlerle çekilmiş fotoğraf filmleri ve baskılar bilgisayara aktarılabilir. Aktarma işlemi, tarayıcıyı imal eden firmanın tasarladığı yazılım aracılığıyla yapılır.

Genel olarak bu yöntem ile görüntü aktarma işlemi, kalite bakımından dijital fotoğraf makinalarına göre daha avantajlıdır. Çünkü günümüzde üretilen tarayıcılar, dijital fotoğraf makinalarına göre daha yüksek çözünürlükte üretilmektedir ve fiyatları da göreceli olarak daha ucuzdur. Ancak, çözünürlük konusunda dikkat edilmesi gereken nokta, üreticinin sözünü ettiği çözünürlük değerinin optik çözünürlük değeri mi, yoksa gelişmiş bir yazılım yardımıyla elde edilen interpolasyon çözünürlük değeri mi olduğudur. Örneğin optik çözünürlüğü 600 x 1200 ppi olan bir tarayıcı, interpolasyon yöntemiyle 9600 x 9600 ppi'lık bir çözünürlüğe ulaşabilmektedir, ama bu değer aldatıcı bir çözünürlük değeridir. Çünkü interpolasyon, var olan piksellerin arasına, bu piksellerin ortalama renk ve kontrast değerlerine sahip yeni pikseller ekleme mantığıyla çalışan bir yaklaşıklık yöntemidir. Bu nedenle, çok yüksek çözünürlüğe sahip olduğu iddia edilen tarayıcıların özellikleri dikkatle incelenmeli ve optik çözünürlük değerleri dikkate alınmalıdır.

Dijital fotoğraf makinalarında olduğu gibi CCD denilen ışık algılayıcılara sahip olan düzyataklar tarayıcılar (Şekil 1.11), masaüstü yayıncılık ve profesyonel ön baskı işlemleri için en çok kullanılan aygıtlardır. Yazılımlarının basitliği sayesinde, bütün görüntü işleme programlarında çalıştırılabilirler. Daha gelişmiş yazılımlara sahip olan düz yataklar tarayıcılar, neredeyse hiç kullanıcı yeteneği gerektirmezler, çünkü optimal renk dengesi ve görüntü yoğunluğunu otomatik olarak belirlerler.

Çok düşük fiyatlı siyah-beyaz tarayıcılardan, çok yüksek kaliteli, profesyonel, renkli modellere kadar çok çeşitli düz yataklar tarayıcılar bulunmaktadır. Sıradan düz yataklar tarayıcıların A4 boyutundaki görüntü alanları, yalnızca opak (geçirimsiz) malzemelerin taranmasına olanak verir. Daha gelişmiş modeller, adaptör adı verilen bir ek ünite sayesinde geçirgen malzemeleri de (negatif, pozitif film) tarayabilmektedir. Üst düzey modeller ise hem daha büyük tarama alanlarına sahiptirler, hem de herhangi bir adaptöre gerek duymaksızın hem opak, hem de film tarayabilirler.



Şekil 1.11 Düz yatak tarayıcının iç yapısı (Toraman 2000)

1.4.3 Görüntü işleme sistemlerinin yazılımı

Görüntü işleme sistemlerinin yazılımı kameranın çalıştırılmasından görüntü üzerinde yapılan istatistiksel analize kadar tüm işlemleri gerçekleştirmek için hazırlanmış programlardan oluşmaktadır (Cebeci vd. 1992).

Mikroskobik incelemede, uzaktan algılama uygulamalarında veya floresan ışık kaynakları ile aydınlatılarak alınan cisim görüntüleri genellikle düşük kontrastlı olup

siyah içeriği fazladır. Diğer yandan yüksek ışık kaynakları ve parlak yüzeylerden ise beyaz içeriği daha fazla olan yüksek kontrastlı görüntüler elde edilmektedir. Bu tür görüntülerin netleştirilerek analiz kalitesinin yükseltilmesi için kontrastın artırılması veya azaltılması gerekli olabilir.

Tek piksel işleme olarak adlandırılan ve görüntü gövdesi üzerindeki herbir piksele ayrı ayrı yeniden değer verilmesine dayanan bu işlemlerin ilk grubu, kontrast arttırmak veya azaltmak için yapılan çarpma ve bölme işlemidir. Elde edilen görüntünün karanlık olması durumunda, görüntü piksellerinin her biri sabit bir değerle çarpılmak suretiyle parlaklaştırılır. Histogram yayma olarak bilinen bu işlemin tersi, görüntü piksellerinin sabit bir değere bölünmek suretiyle değerlerinin düşürülmesidir. Bu işlem, yüksek kontrastlı görüntülerin bir ölçüde matlaştırması için kullanılmaktadır.

Diğer bir işlem, görüntü piksellerinin değerlerine sabit bir değer eklenmesi veya çıkarılması şeklinde olup histogram kaydırma olarak adlandırılmaktadır. Bu işlem sonucunda, en yüksek ve en düşük değerlikli pikseller arasındaki fark sabit kalmakta, ancak görüntü kontrastı alçak ve yüksek değerler arasında kaydırılmaktadır.

İki görüntü pikseli işlemleri olarak adlandırılan diğer işlemlerde iki ayrı görüntü gövdesinin benzer konumda yer alan pikselleri arasında çarpma, bölme, çıkarma ve toplama gibi aritmetik işlemlerin yanısıra AND, OR ve NOT gibi mantıksal işlemler yürütülmektedir.

Çıkarma işlemi iki görüntü gövdesi arasındaki farkları belirlemek için kullanılır. Eğer, iki görüntü tamamen birbirinin benzeri ise, işlem sonucu elde edilen yeni görüntü, tamamen siyah olacaktır. Çıkarma standardizas-yonunda, test edilen ürün görüntülerinin daha önce depolanmış standart bir görüntü ile karşılaştırılmasında çoğu kez baş vurulan bir yöntemdir. Aynı işlem endüstri otomasyonunda veya güvenlik amacıyla, hareket eden cisimleri ve hızlarını tespit etmek amacıyla da kullanılabilir.

Mantıksal AND işlemi de bir görüntünün diğeriyle veya standart bir şablon görüntü ile karşılaştırılması amacıyla kullanılır. AND işleminde iki görüntü tamamen benzer ise elde edilen yeni görüntünün tüm piksel değerleri 1 olacaktır. NOT işlemi ile bir görüntünün zıddını oluşturmak mümkündür. Kontrast düzeltme, standardizasyon, otomasyon, grafik uygulamaları ve animasyon amacıyla, tek ve iki gözlü pikseli üzerinde yürütülen aritmetik ve mantıksal işlemlerin esası, görüntü yoğunluklarının değiştirilmesi ve karşılaştırılmasına dayanmaktadır.

1.5 Yapılan Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Bu çalışmanın asıl amacı; sıvı ilaç uygulamalarında ilaç damla dağılımının görüntü analiziyle değerlendirilmesidir. Çalışmada, örnekleme yüzeyi olarak öncelikle suya duyarlı kart kullanıcak ve örnekleme yapılan kartların görüntüleri bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra görüntü işleme programıyla analiz edilecektir. Bu analiz sonucunda ortalama damla çapları, damla dağılım tekdüzeliği, damla sıklığı ve kaplama oranı gibi ilaç damla dağılımına ilişkin karakteristikler belirlenecektir. Görüntü analizinden elde edilen sonuçlar, aynı örnekleme yüzeylerin bir mikroskop altında gözle klasik olarak analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Suyu duyarlı kartlardan başka örnekleme yüzeyi olarak yağ banyolu yöntemden de yararlanılacaktır. Yağ banyosunda toplanan damlaların çapları hem mikroskop altında gözle ölçülecek, hem de bir dijital fotoğraf makinası yardımıyla damlaların görüntüleri bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra yine görüntü işleme yöntemiyle analiz edilerek belirlenecektir. Böylece iki farklı örnekleme yüzeyi kullanılarak toplanan damla örneklerinin hem mikroskop altında gözle, hem de görüntü işleme yöntemiyle analizleri yapılarak damla çaplarına ve tekdüzeliklerine ilişkin değerlendirme yapılacaktır. Bu değerlendirme sonucunda, örnekleme yüzeylerine bağlı olarak görüntü işleme tekniği ve mikroskopta gözle ölçülen damla çapları ile dağılım tekdüzeliklerine ilişkin sonuçlar karşılaştırılacaktır. Damla sıklığı ve kaplama oranlarına ilişkin karşılaştırmalarda ise örnekleme yüzeyi olarak sadece suya duyarlı kartlardan yararlanılacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölüm görüntü analizi ve pülverizasyon karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan değişik çalışmaları içermektedir.

Ayata (1997), bu çalışmada; cam kap içerisinde, kumlu toprakla temas halinde olan geniş ve dar ayakların meydana getirdikleri bozulma şekillerine ait karakteristikler görüntü işleme sistemi ile belirlenmiştir. Görüntüler DC40 tipi kamera ile alınmıştır. Alınan görüntüler, Windows uygulaması olan Photo Enhancer yazılımında Kodak Photo Format dosyaları şeklinde bilgisayara aktarılmıştır. Görüntüler; 256 gri ölçek formatında BMP (Windows Bit Map) uzantılı dosyalar haline getirilmiştir. Bozulma bölgeleri, Paint yazılımında boyama yöntemi ile belirginleştirmiştir. Görüntüler Photo Enhancer yazılımında, TIF (Target Image File Format) dosyalarına dönüştürülmüştür. İşlemeye hazır hale gelen görüntüler, bir görüntü işleme yazılımı ve Windows uygulaması olan Global Lab Image ile incelenmiştir. Görüntülerin işlenmesinde, düşey ve yatay düzlemlerde; bozulma alanı ve maksimum bozulma mesafesi; düşey düzlemde yüzey yükü, yatay düzlemde maksimum bozulma genişliği belirlenmeye çalışılmıştır. Piksel ve piksel kare cinsinden bulunan bu değerler, görüntülerin alınması sırasında cam kabın üzerinde bulunan ve her görüntüde ekran içinde yer alan bir cetvel yardımıyla 1 cm uzunluğa karşılık gelen piksel değeri bulunarak, görüntülerin cm veya cm² cinsinden değerleri bulunmuştur.

Tillet (1992), büyük tarım alanlarında, özellikle bahçe yetiştiriciliğinde bitki görüntülerinin bilgisayar sistemiyle otomatik olarak yorumlanması konusunda genel bir yaklaşım amaçlamıştır. Örneğin, sadece ağaçların gövde ve dal durum ve görüntülerinin belirlenebilmesinin yanı sıra, gövde yüzeyindeki kabartılı dışbükey ve budaklı yapının tespiti de mümkündür. Ayrıca, gövde ve saplardaki grilik düzeyleri ile gövde ve saplardaki kertik, sıyrık gibi deforme olmuş kısımlar tespit edilebilir. Birbirine yakın gövde ve dalların çapraz olarak birbirlerine geçtikleri noktaların tespiti de mümkündür. Elle yapılan sınıflamaya göre oldukça avantajlıdır. 8 bit'lik NTSC ile kırmızı-yeşil renk ayrımı yapılmıştır.

Singh *et al.* (1993), çalışmalarında, makina görmesi yardımıyla, sert çekirdekli meyvelerde kesik, yaralı ve bereli olanların birbirinden ayrıştırılmasını amaçlamışlardır. Bozulan kısımların büyüklüklerine göre de ayırım yapılabilmektedir.

Patel *et al.* (1993), çalışmalarında, makina görmesiyle taze yumurtalar üzerindeki kirli noktaları ve kan lekelerini grilik düzeyleri ile belirlemeye çalışmışlardır. Ayrıca çatlak ve kırıkların tespiti konusunu da işlemişlerdir.

Lopez *et al.* (1993), çalışmalarında, görüntü işleme sistemi kullanılarak kömür yakılan termik elektrik santrallerinden çevreye yayılan Kükürt (SO₂) durumunun (kütle / alan) önceden tespit edilebileceğini belirtmişlerdir.

Çelen (1998), tarla pülverizatörlerinde kullanılan yelpaze hüzmeli püskürtme memelerinin yeni ve aşınmış durumlardaki pülverizasyon karakteristikleri incelenmiştir. Damla çaplarının toplanması amacıyla, Ciba-Geigy tarafından üretilen çeşitli boyutlardaki suya duyarlı kartlardan faydalanılmıştır. Daha sonra üzerinde lekeler bulunan suya duyarlı kartlar 12 eşit parçaya bölünmüştür. Herbir suya duyarlı kart scanner ile tarandıktan sonra damla çaplarının bilgisayarda analizini yapmak amacıyla "Ölçüm 1.00 for Windows" adlı bir programdan faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar suya duyarlı kartlar üzerinde üst üste binen ve şekilsiz olan damlalar elimine edildikten sonra geriye kalan damlalar üzerinden program sayesinde saptanmıştır. Kaplama (örtme) oranı, suya duyarlı kartlar üzerindeki damlalar için herhangi bir eliminasyon yapılmadan, kart üzerindeki ilaçlı alanın toplam kart alanına oranlanması ile bulunmuştur. Yıkanmış olanlar % 100 örtme, hiç damla isabet etmeyenler ise % 0 örtme olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen damla çapı değerleri MSTAT istatistik paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Yarpuz (1997), pnömatik pülverizasyon ile farklı uygulama hacimlerinin, ilaç dağılım düzgünlüğü ve iş genişliği üzerindeki etkilerini saptamıştır. Pnömatik pülverizatörün yönlendirme borusu hareketli ve sabit konumlarda çalıştırılarak teorik iş genişliği boyunca yatay ve düşey düzlemlerden örneklemeler alınmıştır. Araştırmada püskürtme

sıvısı olarak BSF (Brillant Sulpho Flavin) içerikli su, toplama yüzeyi olarak filtre kağıtları kullanılmıştır. Filtre kağıtları üzerindeki iz maddesi miktarı fluorometrik yöntemle saptanmıştır. Yatay ve düşey hedefler üzerindeki iz maddesi miktarları ölçülerek, her uygulama hacmi için ortalama kalıntı miktarı ve kalıntı miktarı değişimi hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Diaz and Escudero (1991), pirinç, paslanmaz çelik ve seramikten yapılmış 110 derecelik yelpaze hüzmeli püskürtme memelerindeki damla çapı değişimlerini saptamışlardır. Ölçümlerde iki tip ölçüm sisteminden faydalanmışlardır. Bunlardan biri laser ışıklı optik sistem olan Malvern 2600c cihazı kullanılarak yapılan ölçüm, diğeri ise suya duyarlı kartlar üzerine düşen damlanın oluşturduğu leke çapından gidilerek yapılan ölçümdür. Ölçümler sırasında ortamın ve sıvının sıcaklıkları, ortamın nem oranı sabit tutulmuştur.

Tate and Janssen (1966), tarımsal ilaçlamalarda kullanılan iki farklı özellikteki memeden püskürtülen damla çaplarını belirlemişlerdir. Denemelerde, memelerle boyalı su özel kağıtlar üzerine pülverize edilerek bu kağıtlar üzerindeki damlaların çapları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, yelpaze hüzmeli püskürtme memelerinde damla çapı ve damla sayısının merkeze doğru arttığını ve merkezde düzgün bir dağılım olduğunu saptamışlardır.

Franz (1992), çalışmasında bir el scanner'ı kullanarak Kromekote kart ve suya duyarlı kartlar üzerindeki kalıntı miktarını incelemişlerdir. Bu amaçla geliştirdikleri bilgisayar programını kullanarak görüntü analizi yöntemiyle, leke boyutlarına bağlı olarak oluşabilecek ölçüm hatalarını değerlendirmişlerdir. Bu yöntemin kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır.

Arpacı (1971), damla çapının belirlenmesinde kullanılan leke yöntemini açıkladıktan sonra, bu amaçla kullanılan duyarlı kartların özellikleri üzerinde durmuştur.

Deligönül ve Sağlam (1991), klasik uçak püskürtme düzenlerinde meme konum açılarının dağılıma olan etkilerini araştırmışlardır. Bu etkileri saptarken, damla çapı

ölçümleri sırasında Ciba-Geigy'nin suya duyarlı kartlarını kullanmışlardır. Elde ettikleri çap değerlerini kullanarak HOÇ (Hacimsel ortalama çap), SOÇ (Sayısal ortalama çap) ve YOÇ (Yüzeysel ortalama çap) karakteristik damla çaplarını hesaplamışlardır.

Ludewing *et al.* (1992), yaptıkları çalışmada, yelpaze hüzmeli püskürme memelerinin pülverizasyonunda oluşan damla büyüklüğü dağılımını incelemiştir. Denemelerde silikon yağı içerisine pülverizasyon yapmışlar ve yağ içerisindeki damlaların fotoğraflarını çekerek damla büyüklüğü değerlerini saptamışlardır. Basınç arttıkça damla büyüklüğünün azalmakta olduğunu ve meme delik çapı büyüdükçe bu değerin arttığını belirtmişlerdir.

Trunecka (1991), standart yelpaze hüzmeli ve çarpmalı tip memelerde damla çapı dağılımlarını araştırmıştır. Damla büyüklüğü analizinde, hacimsel orta çapın araştırılmasının en uygun olacağını belirtmiştir. Damla çapı ölçümü için silikonlu yağ yönteminden faydalanmıştır. Çalışmasında 100 µm den küçük damla çaplarını % 4.85 ile % 8.29 arasında saptamıştır.

Zeren (1974), konik ve yelpaze hüzmeli memelerde pülverizasyon karakteristikleri üzerinde yaptığı araştırmada, yerli ve yabancı yapım memelerin yapısal özelliklerini inceleyerek, pülverizasyon karakteristiklerini belirlemiştir. Memeler farklı basınç ve yüksekliklerde denenmişlerdir. Memelere ait hacimsel dağılımlar paternatörle bulunmuş, damla çapları ise yağ banyolu yöntemle ölçülmüştür.

Öztürk vd. (1994), ilaçlama aletlerinin HOÇ (hacimsel ortalama çap), SOÇ (sayısal ortalama çap), örtme (kaplama) oranı, damla yoğunluğu (sıklığı) gibi parametreleri cinsinden performanslarını belirleyebilecek bir görüntü işleme yazılımı (Ölçüm 1.00 for Windows) geliştirmişlerdir. Bu yazılımı kullanarak pamuk bitkisinin iki değişik devresinde boş ilaçlama ile sırt pülverizatörü, sırt atomizörü ve tarla pülverizatörünü HOÇ, SOÇ ve örtme oranı cinsinden karşılaştırmalar yapmışlar ve tarla pülverizatörlerinde % 44.4 - 66.7 arasında örtme oranı bulmuşlardır.

Salyani and Fox (1994), çalışmalarında, pülverizasyonda püskürtme memelerinin hedef yüzey alanındaki damla sayılarını ve yüzey kaplama oranını saptamışlardır. Bu amaçla görüntü analiz yöntemini kullanmışlardır ve Authosketch programından faydalanmışlardır.

Riadigos *et al.* (1989), çalışmalarında, damlaların uçuş yörüngesinde ilerlerken meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Damla çaplarındaki değişimi Laser Fraunhofer kullanarak farklı sürelerde hüzmeye içerisindeki damla çaplarını ölçmüşlerdir.

Womac *et al.* (1990), yaptıkları çalışmada, laser ışıklı analiz cihazından faydalanarak farklı püskürtme sıvılarının (bitkisel yağ, petrol yağı ve su) çeşitli hidrolik memelerden pülverizasyon sonucunda oluşan damla büyüklüklerini saptamışlardır.

Liljedahl and Strait (1959), pülverizatörlerin hem tarla, hem de laboratuvar şartlarında dağılım paternlerinin ölçülebilmesi için çeşitli yöntemler vermişlerdir. Pülverizatörlerin pülverizasyon karakteristiklerini belirlemek için çeşitli teknikleri kullanmışlardır. Bu teknikler; kolorimetrik olarak renkli sıvı ölçmeleri, hedefte toplanan ilaçların ağırlığının doğrudan ölçümleri ve özel kartlar üzerine düşürülen damlaların gözle sayımları yapılabilmektedir. Çalışmada bunlar ayrı ayrı incelenmekte ve geniş bir şekilde açıklanmaktadır.

Amberg and Butler (1969), yaptıkları çalışmada, pülverizatör memelerinden çıkan sıvının, meme ucundan itibaren farklı noktalardaki damlaların analizleri için yüksek hızlı fotoğraf tekniğinden yararlanmışlardır. Çalışmada tekniğin kullanılış şekli ve bununla ilişkili teorik esaslar açıklanmaktadır.

Diaz and Riadigos (1989), üç farklı malzemeden yapılmış 110 derecelik yelpaze hüzmeli püskürtme memelerinin damla çapı dağılımlarını incelemişlerdir. Denemeleri, aynı meme aralıkları ve verdi koşullarında, yüzey gerilimi aynı olan sıvılar kullanılarak yapmışlardır. Hacimsel damla çaplarını hesaplamışlardır. Damla çapı ölçümlerini laser

ışını optik sistem kullanarak hüzmünün farklı yerlerinde alınan örnekler üzerinde yapmışlardır.

Ludewing and Ganzelmeier (1993), tek bir püskürtme memesinden pülverize edilen damlaların çaplarını ve hızlarını belirlemişlerdir. Damla çaplarını belirlerken laser ışını içeren bir optik yöntemden faydalanılmıştır. Değişik basınçlarda, değişik firmalara ait püskürtme memeleri üzerinde bu parametreleri araştırmışlar ve sayısal damla çaplarını ortaya koymuşlardır.

Wolf *et al.* (1999), çalışmalarında WRK DropletScan yazılımını kullanarak dört adet hava emişli memeyi klasik tip üç adet meme ile pülverizasyon karakteristikleri açısından karşılaştırmışlardır. Damla örneklerinin toplanması amacıyla üç metrelik püskürtme çubuğu altına düzgün dağılacak şekilde bir platform üstüne tutturulmuş beş adet Ciba-Geigy tarafından üretilmiş suya duyarlı kart kullanılmıştır. Püskürtme sıvısı olarak sadece su kullanılmıştır. Suya duyarlı kartlar, damla görüntülerini bilgisayara aktarmak için HP ScanJet 6200C scanner ile taranmıştır. Tarama işlemi tamamlandıktan sonra WRK DropletScan yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu işlem sonucunda ise ortalama damla çapı, damla sıklığı, kaplama oranı, ilaç kalıntı miktarı gibi temel pülverizasyon karakteristikleri otomatik olarak hesaplanmış ve grafikler halinde ifade edilmiştir. WRK DropletScan yazılım sisteminin arazi çalışmalarında damla karakteristiğinin hızlı bir şekilde saptanmasında yararlı bir araç olduğu belirtilmiştir. Ancak, yüksek ilaç normuna sahip uygulamalarda damlalar arasında yeterli boşluk olmadığından hassas bir sonuç elde edilememesi bu sistemin zayıf yönü olarak bildirilmiştir.

Franz (1993), elde taşınabilir bir tarayıcı ile suya duyarlı kartlar ve kromekote kartlar üzerinden alınan görüntü verilerini; damla sayısı, damla büyüklüğü ve kaplama oranı bilgisine çevirmek için bir yazılım geliştirmiştir. Özellikle nem seviyesi değişen arazi koşullarında, suya duyarlı kartlar ve elde taşınabilir tarayıcı ile püskürtme dağılımını belirleme işleminin kullanıcıya çok duyarlı olduğunu saptamıştır. Değişken nem durumlarında, suya duyarlı kartlar tarayıcı ve yazılım kullanarak göreceli karşılaştırma

yoluyla analiz edilebilmektedir. Tek bir kalıp kullanılarak seçilen eşik değerinin üzerinde 210-1050 µm çapları arasında lekeler bulunan kartların, doğru bir şekilde analiz edilebileceğini bildirmiştir

Jiang and Derksen (1995), yapmış oldukları çalışmada, suda çözülebilen iz maddeleri ile işlem gören yapraklar üzerindeki püskürtme kalıntılarını analiz etmek için morfolojik görüntü işleme yöntemini uygulamışlardır. Morfolojik dönüşüm, düzleştirme ve boşluk doldurma, dokunarak nesne ayrımı ve dağılım spektrumu algoritmalarını geliştirmişlerdir. Bu algoritmalarla, üst üste gelen damlaların ayrılmasından ve püskürtme kalıntılarında belirleyici özellikleri etkili bir şekilde ortaya çıkarmışlardır. Gri tonlama ile püskürtme kalıntıları özelliklerinin daha basit ve hızlı bir şekilde belirlendiğini saptamışlardır.

Manor and Shapiro (1997), püskürtme yüzeyleri üzerindeki kaplama oranının ölçülmesi için en uygun yöntemin görüntü işleme tekniği olduğunu bildirmişlerdir. Görüntü işleme tekniğinin kullanılması için bilgisayar, görüntü işleme programı, kamera ve aydınlatma sistemine ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

Reichard *et al.* (1998), yaprak ve yapay yüzeylere püskürtülen damlaların çarpması ve yansımaları değerlendirmede videografik sistem kullanımı üzerine yapmış oldukları bir çalışmada, iki damla jeneratörü ile video görüntü işleme sistemini kullanmışlardır. Farklı çaplarda damla üreten damla jeneratörleri kullanılarak, damlanın çarpma sırasındaki aşamalar detaylandırılmıştır.

Cruvinel *et al.* (1999), raindrop memelerinin damla çapı büyüklüğü ve dağılımının değerlendirilmesi için en hızlı değerlendirme yöntemini araştırmışlardır. Görüntü işleme tekniği ile birlikte korelasyon analizleri ile doğrudan ölçüm yapma imkanı sayesinde en iyi değerlendirmenin yapıldığını bildirmişlerdir.

Fox *et al.* (2000), yağa duyarlı ve suya duyarlı kart üzerindeki leke büyüklüklerinin karşılaştırılması üzerine yapmış oldukları çalışmada, petrol ürünü beyaz yağı, su

içerisinde dört farklı konsantrasyonda ağaç yapraklarına tutturulmuş suya duyarlı ve yağa duyarlı kartlara püskürtmüşlerdir. Ayrıca laboratuarda yağa duyarlı ve suya duyarlı kartlar üzerine uygulamışlardır. Bilinen karışım oranlarını (yağ/su) ve yayılma faktörlerini kullanarak tahmin edilen yağ lekesi büyüklüğünü laboratuarda ölçülen leke büyüklüğünün oranlarıyla örtüştüğünü tespit etmişlerdir. Fakat tarla denemeleri için ölçülen leke büyüklüğünün hesaplanan değerlerle uyum sağlamadığını belirtmişlerdir. Bu sonucun, püskürtülen damlalar içindeki iri damlalardan, suyun buharlaşmasından, yüzeylere çarpan yağ damlalarının parçalanmasından kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir.

By A De Moor *et al.* (2000), bahçe pülverizatörleri ile yapılan pülverizasyonlarda, ağaç tacındaki ilaç dağılımını belirlemek amacıyla yapmış oldukları çalışmada, suya duyarlı kartlar kullanmışlardır. Kartları görüntü işleme tekniği ile değerlendirerek ilaç dağılımını belirlemişlerdir. Bahçe pülverizatörlerinde püskürtme kalitesinin doğru analiz edilmesi, hızlı ve kolay bir şekilde yapılması için görüntü analiz tekniğinin kullanılmasını önermişlerdir.

Degro *et al.* (2001), damla toplama yüzeylerinin görüntü işleme ile karşılaştırılması üzerine yapmış oldukları bir çalışmada, damla toplama yüzeyi olarak; suya duyarlı kart, silikon yağları içeren petri kabı ve cam slayt kullanmışlardır. Bir damla jeneratörü vasıtasıyla aynı çaptaki damlaları püskürterek bu üç çeşit hedef üzerine damla örneklerini almışlar ve görüntü işlemeyle değerlendirmişlerdir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, petri kabı ve cam slaytla yapılan örnekleme suya duyarlı kartla yapılan örnekleme göre çok daha değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Bu çalışma; silikon yağlı petri kabıyla referans olarak verilebilen doğru ölçümlerin yapıldığını, uygulamaların duyarlı ve hassas olduğunu ortaya çıkartmıştır. Cam slayt hedeflerin kullanımının kolay ve değişkenliğinin az olduğunu, bununla beraber çok küçük damlaların hızlı buharlaşmasının bu hedeflerin kullanımını sınırladığını belirtmişlerdir. Suya duyarlı kartların kullanımının kolay olduğunu, fakat kalitatif gözlemler için saklanması zor olduğunu saptamışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu araştırma, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Damla Analiz Laboratuvarında yürütülmüştür. Örnekleme yüzeyleri üzerine damla örnekleme yapmak amacıyla otomatik (basınçlı) sırt pülverizatörü ve traktöre asılır tip bir tarla pülverizatörü kullanılmıştır. Örnekleme yüzeyi olarak suya duyarlı kart ve yağ banyosu kullanılmıştır. Suya duyarlı kartların görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarılmasında bir tarayıcı, yağ banyosundaki damla görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarılmasında ise dijital bir fotoğraf makinasından yararlanılmıştır.

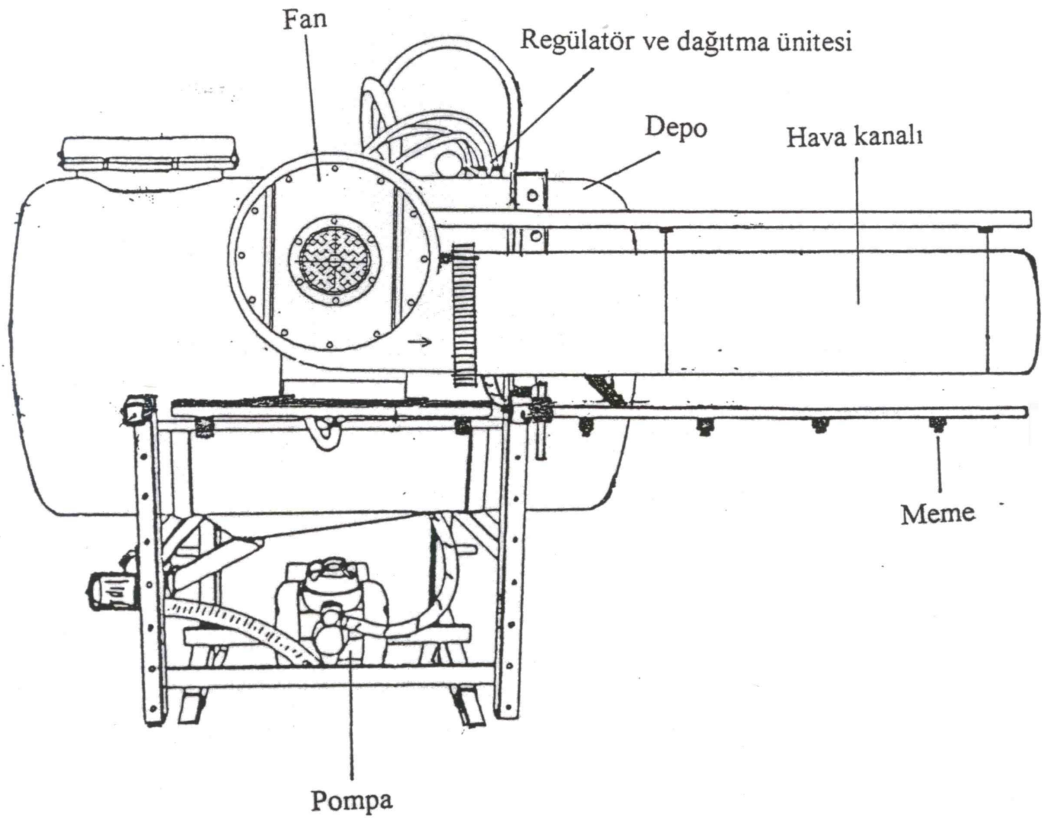
3.1.1 Deneme pülverizatörleri

Bu çalışmada deneme pülverizatörü olarak hem otomatik (basınçlı) sırt pülverizatörü (Şekil 3.1), hem de traktöre asılır tip bir tarla pülverizatörü kullanılmıştır. Sırt pülverizatörü; ilaç deposu, hava pompası, pompayı çalıştırmak için el tutamağı, manometre, hortum ve püskürtme çubuğundan oluşmaktadır. Denemeden önce püskürtme sıvısı doldurulmakta ve sonra istenen basınç elde edilinceye kadar pompa ile depo içine hava basılmaktadır. Pompanın depo içine bastığı hava, sıvının üst kısmındaki hava boşluğunda toplanmaktadır. Depo içinde oluşturulan basınç, deponun üstündeki manometre yardımıyla kontrol edilmektedir. İstenen çalışma basıncı sağlandıktan sonra, püskürtme çubuğundaki kontrol supabı kullanılarak pülverizasyona başlanabilmektedir. Püskürtme çubuğu ucuna çeşitli tipte memeler bağlanabilmektedir.

Denemelerde kullanılan diğer pülverizatör ise traktöre asılır tip tarla pülverizatörüdür (Şekil 3.2). Bu pülverizatörün püskürtme sistemi üzerinde 4 adet meme bulunmaktadır. Memeler, püskürtme borusu üzerine 0.5 m aralıklarla bağlanmıştır.



Şekil 3.1 Sırt pülverizatörü



Şekil 3.2 Traktöre asılır tip tarla pülverizatörü

Her iki pülverizatörde de Gündüzler marka içi boş konik hüzmeli memeler kullanılmıştır. Denemelerde üç farklı delik çapına sahip meme plakası kullanılmıştır. Çizelge 3.1’ de, bu denemelerin yapıldığı çalışma basıncında meme plakası ölçüsüne göre verdi değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Pülverizatörlerin püskürtme sisteminde kullanılan Gündüzler memesine ait verdi değerleri

Çalışma basıncı (kPa)	Meme plakası delik çapı (mm)	Verdi (l/dak)
400	0.8	450
	1.0	600
	1.2	800

3.1.2 Deneme sıvısı

Pülverizasyon karakteristiklerinin saptanabilmesi için püskürtme sıvısı olarak tarım ilacı yerine boyalı su kullanılmıştır. Boya maddesi olarak kumaş boyası ve gıda boyası denenmiştir. Kumaş boyasının suda tam olarak çözünmediği ve tortu bıraktığı görülmüştür. Bu boyanın yoğunluğu yağa göre fazla olduğundan püskürtülen damlalar yağ banyosu içinde hızla hareket ederek petri kutusunun dibine oturmuş ve damlalar küresel şekillerini kaybetmişlerdir. Gıda boyasının suda kolay eridiği ve tortu bırakmadığı görülmüştür. Yapılan denemelerde gıda boyasıyla oluşturulmuş damlaların petri kutusundaki yağın içinde yüzer durumda uzun süre kaldığı ve orijinal şekilleri kaybetmediği gözlemlenmiştir. Değişik renkteki boyaları denedikten sonra yağ banyosunda kullanılan yağla damlaların ayırt edilmesini kolaylaştıran ve en iyi kontrastı veren mavi renkli gıda boyasının kullanılmasına karar verilmiştir.

3.1.3 Suya duyarlı kart

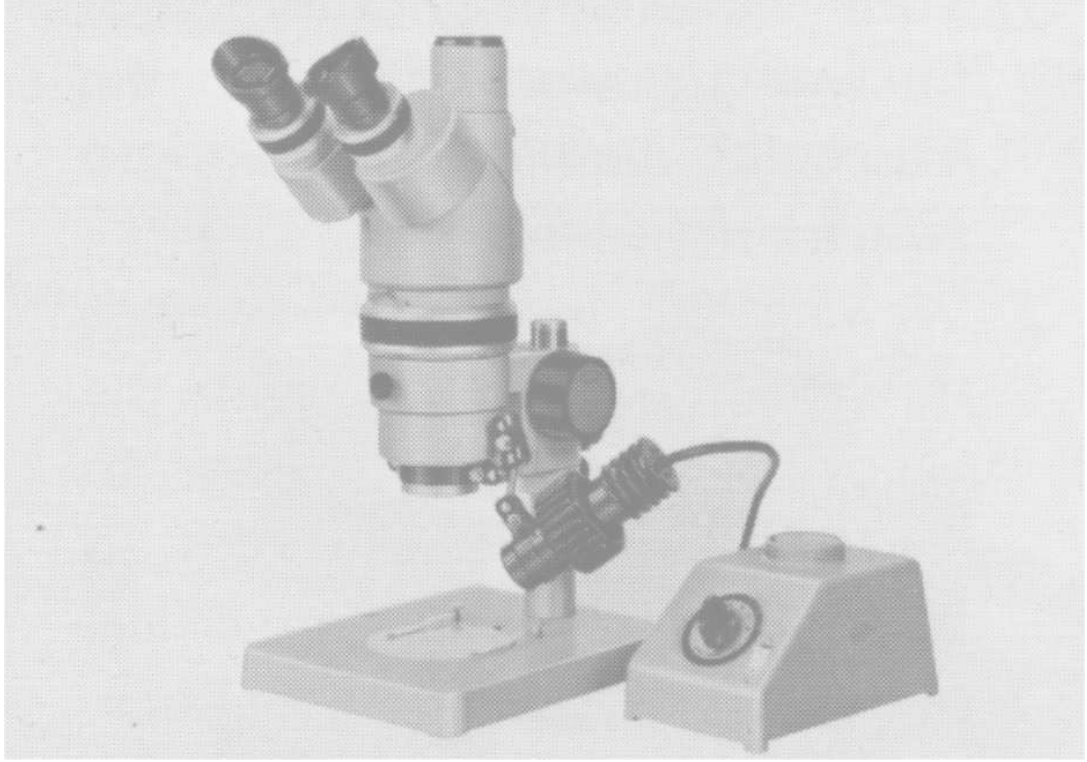
Damla toplama yüzeyi olarak, Ciba-Geigy tarafından üretilen suya duyarlı kartlar kullanılmıştır. Bu kartlar 26x500 mm boyutlarında olup örnekleme için 30 mm boyutlarında kesilmiştir. Kart üzerine düşen su damlaları, sarı renkli olan bu kartlar üzerinde kolayca görülebilen mavi lekeler meydana getirmektedir. Bu tip kartlarla çapı 10 µm'ye kadar olan damlalar ölçülebilmektedir.

3.1.4 Yağ banyosu

Yağ banyosunun hazırlanması için yapılan ön denemelerde Elf 5W-30 motor yağı, Elf D2 otomatik şanzıman yağı, Castrol dişli kutusu yağı ve Castrol 20W-50 motor yağları sırasıyla denenmiştir. Elf 5W-30 ile yapılan çalışmada, yağ banyosu içinde toplanan damla örnekleri belirli bir süre sonra birleşmiş ve damlaların küreselliklerinde bozulmalar meydana gelmiştir. Elf D2 ile yapılan çalışmada ise damlalar yağın içinden hızla geçerek petri kutusunun dibine oturmuş ve yine küresel şekillerini kaybetmişlerdir. Castrol dişli kutusu yağına düşen damlalar başlangıçta küreselliklerini ve yüzer durumdaki konumlarını korumuşlardır. Ancak, zaman geçtikçe damlalar bir araya toplanmaya ve birleşmeye başlamıştır. Castrol 20W-50 motor yağında ise damlalar uzun süre yağ içinde yüzer durumda ve birleşmeden küresel şekillerini korudukları gözlenmiştir. Bu nedenle yağ banyosu hazırlanırken Castrol 20W-50 motor yağından yararlanılmıştır.

3.1.5 Mikroskop

Damla çapı ölçümlerinde NİKON SMZ-10 mikroskop kullanılmıştır. Mikroskop, 6.6 ile 160 kat arası büyütme yapabilecek kapasitededir. Bu büyütme, damla çapı ölçümü için yeterli olmaktadır. Ayrıca sistem, mikroskopta gördüğümüz görüntünün fotoğrafını çekebilme yi sağlayan ayrı bir fotoğraflama düzenine sahiptir. Buradaki büyütme kapasitesi 1.6 ile 40 kat arasında ayarlanabilmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Nikon SMZ-10 mikroskobu

3.1.6 Dijital fotoğraf makinası

Yağ banyosunun görüntüsünü bilgisayar ortamına aktarılmasında Sony firmasının DSC-P100 Cyber-shot dijital fotoğraf makinası kullanılmıştır. Bu makina üç kat büyütme yapabilen optik ve altı kat büyütme yapabilen elektronik büyütmeye sahiptir. Efektif 5.1 Megapiksel çözünürlükteki fotoğraf boyutu 2592 x 1944 pikseldir. Fotoğraflar, makinanın elle modunda netlik, doygunluk, kontrast ayarı yapıp histogram göstergesinde düzgün bir dağılım sağlandıktan sonra çekilmiştir. Diyafram açıklığı ve deklanşör hızı ayarlanabilmektedir. Örneklemenin iyi aydınlanması için gerekli bu özelliklerden maksimum oranda faydalanılmıştır. DSC-P100 Cyber-shot dijital fotoğraf makinasının en önemli özelliği, makro çekim modu olup 6 cm mesafeden çekim yapılabilmektedir. Bu özellik, örnekleme yüzey alanının artmasına yardımcı olmaktadır.

3.1.7 Tarayıcı

Suya duyarlı kartların görüntüsünü bilgisayar ortamına aktarırken Mustek firmasının 1200TA renkli masaüstü tek geçişli tarayıcısı kullanılmıştır. Optik çözünürlük değeri 1200 x 1200 dpi olan bu tarayıcı, interpolasyon yöntemiyle 19200 x 19200 dpi'lık bir elektronik çözünürlüğe ulaşabilmektedir. Ancak bu elektronik çözünürlük değer aldatıcı bir çözünürlük değeridir. Çünkü interpolasyon, var olan piksellerin arasına, bu piksellerin ortalama renk ve kontrast değerlerine sahip yeni pikseller ekleme mantığıyla çalışan bir yaklaşıklık yöntemidir. Bu işlem görüntünün netliğini bozmakta ve bir sonraki aşama olan analiz sırasında programın yanlış değerlendirmeler yapmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada optik çözünürlük limitinde tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.1.8 Bilgisayar donanımı ve yazılımı

Örnekleme yüzeylerinde toplanan damlaların analiz edilmesi için Celeron 633 işlemcili 256 RAM'a sahip bir bilgisayardan yararlanılmıştır. Görüntü analizinde "UTHSCSA ImageTool for Windows version 3.00" kullanılmıştır. Sayısal değerlerin analiz edilmesi amacıyla Microsoft Excel programında Visual Basic modülü kullanılarak program yazılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Örnekleme

Bu çalışmada, ilaç damla dağılımının değerlendirilmesi için örnekleme yüzeyi olarak hem Ciba-Geigy tarafından üretilen suya duyarlı kartlar, hem de Castrol 20W-50 motor yağı kullanılarak hazırlanan yağ banyosundan yararlanılmıştır.

Damla çapına ilişkin denemelerde, otomatik sırt pülverizatörü kullanılarak 400 kPa çalışma basıncında örnekleme yüzeyleri üzerine püskürtme yapılmıştır. Bu denemeler sırasında, püskürtme memesi ile örnekleme yüzeyleri arasındaki mesafenin 50 cm olmasına dikkat edilmiş ve normal yürüme hızında örnekleme yapılmıştır. Sırt pülverizatörü ile yapılan denemelerde üç farklı delik çapına sahip meme plakası (0.8 ,1.0 ve 1.2 mm) kullanılmıştır. Böylece, ortalama damla çaplarında farklılık yaratılması ve kullanılan analiz yöntemleriyle farklı ortalama çaplara sahip pülverizasyonların analiz edilebilme olanakları araŐtırılmıŐtır. Bu denemeler, her meme plakası delik çapı için üç tekrarlı olarak yapılmıştır.

Damla sıklığı ve kaplama oranına ilişkin değerlendirmeler için örnekleme yüzeyi olarak sadece suya duyarlı kartlar kullanılmıştır. Çalışmanın bu kısmında, traktöre asılır tip tarla plverizatryle 400 kPa çalışma basıncında ve 6.7 km/h ilerleme hızında örnekleme yüzeyleri üzerine püskürtme yapılmıştır. Meme ile örnekleme yüzeyleri arasındaki mesafe yine 50 cm olarak sabit tutulmuştur. Bu denemelerde de damla çapında olduğu gibi üç farklı delik çapına sahip meme plakası kullanılarak hedef yüzeylerde farklı damla sıklığı ve kaplama oranlarının elde edilmesi ve bunların analiz edilebilme olanakları araŐtırılmıŐtır. Denemelerde, her meme plakası delik çapı için 6 adet 26x30 mm boyutlarında suya duyarlı kart üzerinde örnekleme yapılmıştır.

3.2.2 Damla apı lm

Yağ banyosunda toplanan damlaların görüntüleri NIKON SMZ-10 mikroskobunun fotoğraflama tüpünden DSC-P100 Cyber-shot dijital fotoğraf makinasıyla fotoęraflanmıŐtır. Fotoğraf çekilirken makinanın titrememesi ve her çekimde pozisyonunun aynı kalması için mikroskoba adaptör parçası aracılığıyla sabitlenmiştir. Fotoğraflama işlemi sırasında makinanın tüm kapasitesinin kullanılmasına izin veren manual modda kullanılmıştır. Netlik, doğunluk ve kontrast ayarı pozitif yönde maksimuma çıkarılmıŐtır. Flaş kullanıldığında, örnekleme yüzeyinin bir bölümünün yansıma yüzünden fotoğrafta çıkmadığı görülmüştür. Bu nedenle flaş kapatılıp örnekleme yüzeyi güçlü bir halojen lambayla aydınlatılmıŐtır. Makinanın üç kat büyütme yapabilen optik kapasitesinin tamamı kullanılmıştır. Makinayla 5.1

Megapiksel çözünürlükte ve yatayda 2592 piksel dikeyde 1944 piksel fotoğraf boyutunda çekim yapılmıştır. Diyafram açıklığı ve deklanşör hızı en düşük hıza ayarlanmıştır. Böylelikle, örnekleme yüzeyinin iyi aydınlanması sağlanmış ve daha net bir fotoğraf elde edilmiştir. Fotoğraf makinesinin odak mesafesi elle 0.5 metreye sabitlenmiştir. Odak ayarı mikroskop üzerinden fotoğraf makinesinin ekranına bakarak yapılmıştır. Makro çekim modu sayesinde fotoğrafın tamamını örnekleme yüzeyiyle doldurmamıza olanak sağlamıştır. Böylece fotoğrafı çekilen örnekleme yüzeyinde analiz edilecek damla sayısının oldukça fazla olması sağlanmıştır.

Her deneme koşulu için olabildiğince fazla sayıda damla görüntüsünün analiz edilmesi ve böylece ölçüm hassasiyetinin artırılabilmesi amacıyla, her petri kutusunun farklı bölgelerinde fotoğraflama yapılmıştır. Her petri kutusu için çekilen fotoğraf sayısı en az 5'tir. Fotoğraflama işlemi olabildiğince kısa sürede tamamlanmaya çalışılmıştır. Bir petri kutusu için fotoğraflama süresi, 1 ile 2 dakika arasında değişmiştir. Fotoğraf çekme işlemi bittikten sonra aynı petri kutuları içindeki damlalar klasik olarak mikroskop altında ölçülmüşlerdir.

Her bir petri kutusu için 250-300 adedi X 40 büyütme ile ölçülmüştür. Mikroskopta çap ölçümleri, oküler mikrometresi ile yapılmıştır. Fakat bundan önce, oküler mikrometresinin bir aralığının kaç mikrona eşit olduğunun, ölçüm yapılan büyütme kademesine göre hesaplanması gerekir. Bu işlem için bir milimetrik kağıt kullanılmıştır. Seçilen büyütme kademesi için, millimetrik kağıt üzerindeki iki çizgi, oküler mikrometresinin çizgileriyle karşılaştırılmıştır. Örneğin, mikroskobun 4. büyütme kademesinde kağıt üzerindeki 2 millimetrelik genişlik oküler mikrometresinin 80 birimine eşittir. Buna göre oküler mikrometresinin bir aralığı $2000/80 = 25 \mu\text{m}$ 'dir. Bir aralık $25 \mu\text{m}$ olduğuna göre, yağ banyosundaki bir damla çapı 8 oküler aralığı ise, bu damlanın çapı $25 \times 8 = 200 \mu\text{m}$ 'dir. Mikroskopla ölçümleri yapılan damlaların çap değerleri, Microsoft Excel'de yapılan programa 'yayıma faktörü kapat' opsiyonu seçilerek ve "elle giriş" seçeneği kullanılarak kaydedilmiştir (Şekil 3.4). Veri girişi kutusuna girilen değerler ileri veya geri tuşuna basarak girilen değerler kontrol edilebilmektedir. Datalar girildikten sonra hesaplama tuşuna basılır. Veri kutusu kapanarak hesaplamaya başlar ve şeklin sol tarafında bulunan karakteristik değerler elde edilmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Adet(Toplam)	344								
2	Art_Ort	172,75								
3	Kare_Ort	188,32								
4	Küp_Ort	202,60								
5	Sauter	234,49								
6	H	87								
7	Kaplama	1								
8	Sayısal	152								
9	Hacimsel	248								
10	CH	1,64								
11	Hacimsel<100µm	2								
12	Hacimsel<200µm	30								
13	Hacimsel %10	145								
14	Hacimsel %90	359								

Şekil 3.4 Excel programında verilerin elle girişinin ekran görüntüsü

Yağ banyolu yõteme ilişkin fotoğraflama ve mikroskopla ölçme işlemleri tamamlandıktan sonra suya duyarlı kartların analizine geçilmiştir. Tamamen kurumuş olan suya duyarlı kartlar öncelikle tarayıcıdan geçirilerek damla görüntüleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Daha sonra aynı suya duyarlı kartlar üzerinden damla lekeleri mikroskop altında gözle ölçülmüşlerdir. Mikroskopla ölçümleri yapılan damlaların çapları Microsoft Excel’de yapılan programa ‘yayılma faktörü kapat’ opsiyonu seçilmemişken “elle giriş” seçeneği kullanılarak kaydedilmiştir.

Suya duyarlı kartlar üzerine düşen damlalar yüzey üzerinde yayılmaktadır. Çizelge 3.2’de leke çapına bağlı olarak yayılma faktörü ve gerçek damla çapı değerleri verilmiştir. Bu değerler üretici firma tarafından verilen değerlerdir.

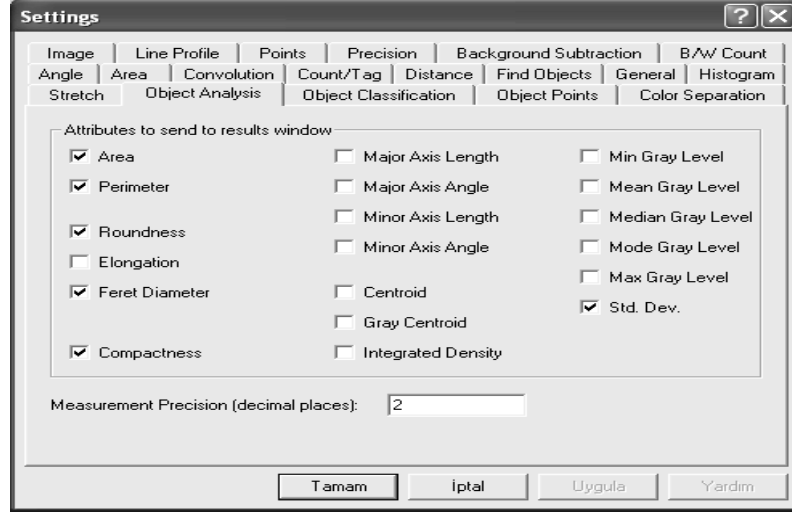
Çizelge 3.2 Suya duyarlı kartlarda leke çapı, yayılma faktörü ve gerçek damla çapı değerleri (Zeren ve Bayat 1999)

Leke çapı (µm)	Yayılma faktörü	Gerçek damla çapı (µm)
100	1.7	59
200	1.8	109
300	1.9	155
400	2.0	200
500	2.1	243
600	2.1	285

Çizelge 3.2'deki leke çapı ve yayılma faktörü değerlerinden yararlanılarak elde edilen regresyon denklemi yardımıyla ölçülen leke çaplarından gerçek damla çapları hesaplanmıştır.

Tarayıcıdan ve fotoğraf makinasından JPEG dosya formatında elde ettiğimiz görüntülerden "Paint Shop" programında istenen boyutlarda parçalar kesilmiştir. Daha sonra "UTHSCSA ImageTool for Windows version 3.00" görüntü işleme programı kullanılarak elde edilen görüntüler analiz edilerek damla çapları belirlenmeye çalışılmıştır. ImageTool programı 22 dosya türünü desteklemektedir. Bunlardan en çok kullanılanları BMP, PCX, TIF, ve JPEG dosya biçimleridir. Programın çalışabilmesi için gerekli ekipmanlar; intel 486 yada daha yüksek işlemci, minimum 16 MB RAM, ekran kartı 256 renk ya da daha yüksek, çözünürlük en az 800x600 piksel gerçek renk ve işletim sistemi Microsoft Windows 95 yada Microsoft Windows NT'dir. ImageTool her türlü monitörü, tarayıcı ve grafik tabletinin yanısıra her türlü Windows uyumlu sürücüsü bulunan giriş birimini de desteklemektedir. Programla işlenen görüntülerin çıktısı Microsoft Windows uyumlu her türlü yazıcıdan alınabilmektedir.

Programın kullanımı sırasında ölçme işlemine başlamadan önce Settings menüsünden görüntü üzerinde yapılması istenen ölçümler seçilmektedir. Şekil 3.5'de görüldüğü üzere Settings menüsünden Object Analysis sekmesinden, leke analizi raporunda yer alması istenen değerler Area, Roundness, Perimeter, Compactness, Feret Diameter, Standart Deviation seçenekleri işaretlenmiştir.



Şekil 3.5 Settings menüsü

Programın görüntüler üzerinde yapabildiği ölçme seçenekleri arasında bulunan ve bu çalışmada kullanılan bazı seçeneklerin nasıl hesaplandığı aşağıda verilmiştir.

Yuvarlaklık (Roundness): Nesnelerin daireselliğini gösteren bir katsayıdır. Dairenin şekil katsayısı 1.000 ve düz bir çizginin şekil katsayısı 0.000' dır. Buna göre yuvarlaklık aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SF = \frac{4\pi A}{\text{Ç}^2}$$

Bu eşitlikte;

SF: Yuvarlaklık

A: Alan

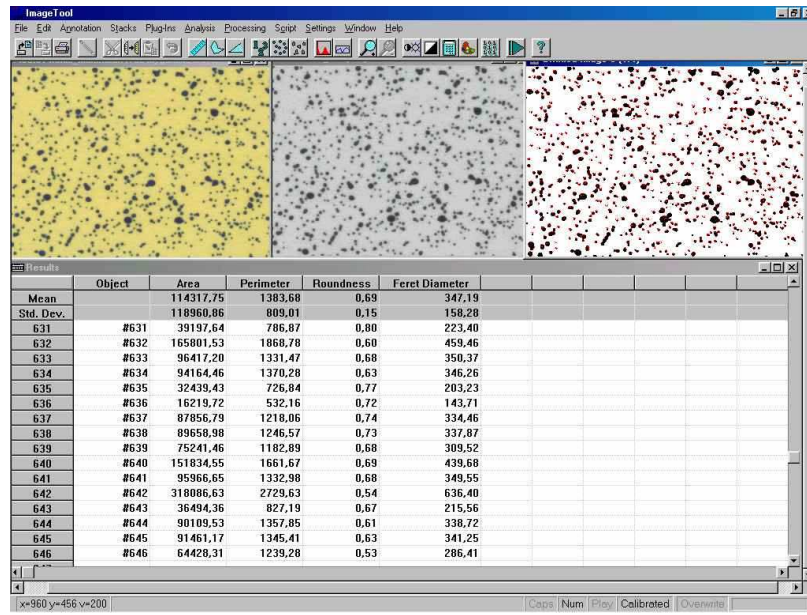
Ç: Çevre'dir.

Dairesellik çapı (Feret Diameter): Nesnenin şeklini tanımlamada kullanılır. Nesnenin alanı ile aynı alana sahip olan dairenin çapını verir.

Çevre (Perimeter): Nesnelerin çevresi yataydaki, dikeydeki ve çaprazdaki kenar noktalarının toplanması ile bulunur.

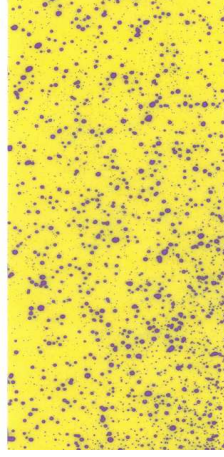
Kullanıcı hatalarını en aza indirmek için Image Tool analizi sonuç raporda yer alan tüm veri olasılıkları arasından Excel Programı ihtiyaç duyduğu dataları seçebilme yeteneğine sahiptir. Böylece Settings menüsünde ne seçilirse seçilsin o gerekli olan datayı alır. Eğer yeterli data yoksa kullanıcıyı hata konusunda uyarır.

Çalışmada kullanılan suya duyarlı kart üzerindeki görüntülerin işlenmesi sırasında alınan ekran görüntüsü Şekil 3.6'da verilmiştir.

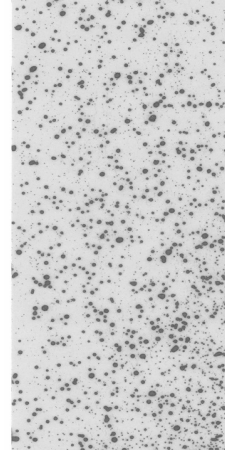


Şekil 3.6 Image Tool programından alınan ekran görüntüsü

Suya duyarlı kartlar üzerindeki leke örnekleri tarayıcı ile 1200 ppc çözünürlükte bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 3.7.a). Görüntü işleme programında suya duyarlı kartlar Processing menüsünden Color-to-Grayscale komutu ile 256 gri tondan oluşan fotoğrafa dönüştürülmüştür (Şekil 3.7.b).



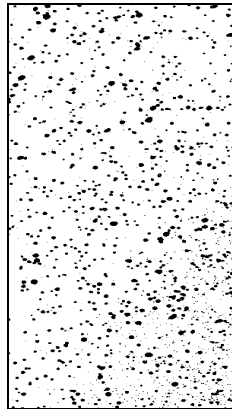
a



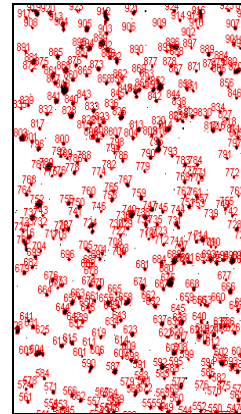
b

Şekil 3.7 Suya duyarlı kartlara alınan damla örnekleri

Gri renkteki suya duyarlı kart üzerinde hangi tonların lekelerine ait olduğu görüntü işleme programındaki Processing menüsünden Threshold (eşik değeri) komutu ile otomatik veya manuel olarak ayarlanabilmektedir. Gri tondaki bu lekeler Threshold komutu ile beyaz zemindeki siyah lekelerine çevrilmektedir (Şekil 3.8). Daha sonra Settings menüsünden Calibrate Spatial Measurements komutu ile boyunu bildiğimiz ayrıtı boyunca çizdiğimiz çizginin ölçüsünü girdiğimizde kalibrasyon işlemi tamamlanmış olur. Kalibrasyondan sonra, Analysis menüsünden Find Object komutuyla lekeler tespit edilmektedir (Şekil 3.9).

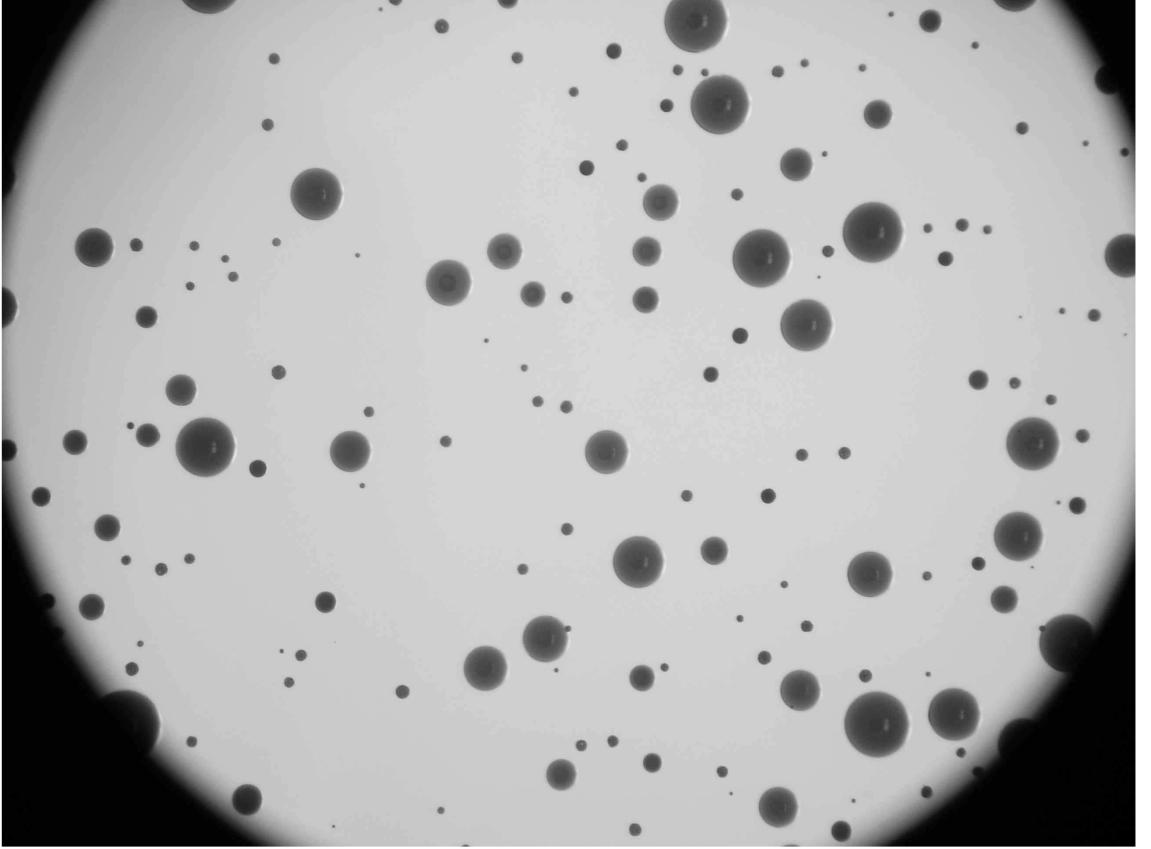


Şekil 3.8 Siyah-beyaz lekeler



Şekil 3.9 Tespit edilmiş lekeler

Yağ banyosundan alınan fotoğraflar Paint Shop programında istenen boyutlarda kesilerek JPEG dosya formatında kaydedilmiştir (Şekil 3.10). Görüntü işleme programında suya duyarlı kartlara uygulanan işlemler yağ banyosundan alınan fotoğraflara da aynen uygulanmıştır.



Şekil 3.10 Yağ banyosundan alınan damla örnekleri

İki farklı örnekleme yüzeyinden elde edilen görüntülerden tespit edilen damlalar daha sonra Analysis menüsünden Analyze komutuyla analiz edilmektedir. Damla alanları ve çapları Settings menüsünden belirlendiği şekilde sonuç olarak verilmektedir (Şekil 3.11).

	Object	Area	Perimeter	Roundness	Feret Diameter
Mean		550675,32	2148,17	1,39	642,65
Std. Dev.		816621,23	2019,11	1,46	539,80
1	#1	34242,82	471,60	1,93	208,80
2	#2	79899,92	987,46	1,03	318,95
3	#3	79899,92	1005,79	0,99	318,95
4	#4	11414,27	427,35	0,79	120,55
5	#5	11414,27	427,35	0,79	120,55
6	#6	171214,11	1459,07	1,01	466,90
7	#7	525056,61	2509,11	1,05	817,63
8	#8	684856,45	2767,04	1,12	933,80
9	#9	593542,26	2829,62	0,93	869,32
10	#10	365256,78	2214,52	0,94	681,95
11	#11	11414,27	427,35	0,79	120,55
12	#12	11414,27	427,35	0,79	120,55
13	#13	490813,79	2446,53	1,03	790,52
14	#14	22828,55	213,68	6,28	170,49
15	#15	673442,18	2847,95	1,04	925,99
16	#16	365256,78	1886,42	1,29	681,95
17	#17	650613,63	2980,72	0,92	910,16
18	#18	1849112,43	6654,30	0,52	1534,39
19	#19	433742,42	2295,44	1,03	743,14
20	#20	1506684,20	6226,95	0,49	1385,05
21	#21	79899,92	1050,05	0,91	318,95
22	#22	1289812,99	4056,68	0,98	1281,50
23	#23	182628,39	1628,49	0,87	482,21
24	#24	1552341,30	5596,66	0,62	1405,88
25	#25	2499726,06	5969,02	0,88	1784,03
26	#26	45657,10	854,70	0,79	241,11
27	#27	1540927,02	4484,03	0,96	1400,70
28	#28	1666484,04	4661,05	0,96	1456,65
29	#29	1141427,42	4207,78	0,81	1205,53
30	#30	2225783,48	5515,75	0,92	1683,44
31	#31	319599,68	2037,51	0,97	637,91
32	#32	1403955,73	4572,54	0,84	1337,00

Şekil 3.11 Analiz raporu

3.2.3 Pülverizasyonun analizi

ImageTool programından elde edilen sayısal değerlerin analiz edilmesi amacıyla Microsoft Excel programında Visual Basic modülü kullanılarak program yazılmıştır. Programın çalışma şekli aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

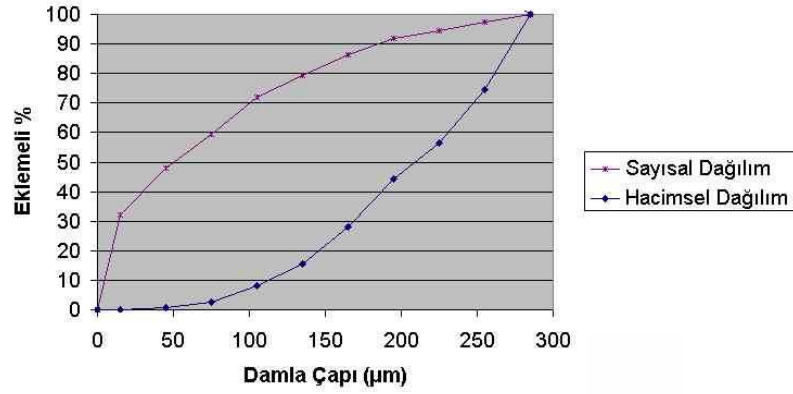
Programda “veri al” tuşuna basıldığında “dosya aç” ekranı açılır (Şekil 3.12). Buraya, Image Tool programında analizleri kaydettiğimiz dosya adı yazılır. Tamam tuşuna basıldıktan sonra program adı yazılan text dosyasının içinden gerekli olan ana başlıkları bulur. Başlıkların altındaki verilerin aralarındaki boşlukları tanıyarak seçer ve excel tablosunda belirli bir sütüne yazar. Öncelikle Area başlığına bakar. Eğer yoksa Feret Diameter’ı arar. Feret Diameter’dan Area hesaplar. Daha sonra Roundness değerine bakar. Eğer yeterli data yoksa hata mesajı verir ve programı durdurur.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Adet (Toplam)	344	Dosya Aç							
2	Art_Ort	172,75	Dosya Adı:							
3	Kare_Ort	188,32	c:\imagetool\ciba.txt							
4	Küp_Ort	202,60	İptal							
5	Sauter	234,49	Tamam							
6	H	87	Veri Al							
7	Kaplama	1	Elle Giriş							
8	Sayısal	152	Yayılma							
9	Hacimsel	248	<input checked="" type="checkbox"/> Faktörünü							
10	CH	1,64	Kapat							
11	Hacimsel < 100µm	2								
12	Hacimsel < 200µm	30								
13	Hacimsel %10	145								
14	Hacimsel %90	359								

Şekil 3.12 Excel programında veri giriş ekran görüntüsü

Image Tool'dan verileri aldıktan sonra program önce yayılma faktörünün açık mı yoksa kapalı mı olduğunu kontrol eder. Analizini yaptığımız veriler yağ banyosundan alınmışsa yayılma faktörünün kapatılması gerekir. Suyu duyarlı kart yönteminde damlaların kart üzerindeki yayılmış durumdaki çapı ölçülmektedir. Bu nedenle gerçek çapın bulunabilmesi için yayılma faktörü, suya duyarlı kağıdın üreticisi tarafından verilen tablodaki damla çapına göre hesaplanır. Damla çapları yayılma faktörüne bölünerek gerçek damla çapı bulunur. Yayılma faktörü kapatılmış hesaplamalar için bu değer yerine otomatik olarak 1 girilir. Bir sonraki kolonda Yuvarlaklık değerine bakılır. Yuvarlaklığı belli bir değer altında olan veriler değerlendirmeye alınmaz ve bunların damla çapı değerine 0 girilir. Yandaki kolonda ise değerlendirmeye alınan damlaların adedi belirlenir. Bu rakam, yandaki kolonlarda aritmetik ortalama çap (d_a), yüzeysel ortalama çap (d_s), hacimsel ortalama çap (d_v), sauter çap ($d_{v/s}$), $D_{v0.1}$, $D_{v0.9}$, RS hesaplanırken kullanılır.

Hacimsel orta çap (VMD) ve sayısal orta çap (NMD) değerlerinin bulunmasında kullanılmak üzere damlalar 30 µm çap aralığı dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Her sınıfta kaç adet damla olduğu belirlenmiş ve bu değerler tablo sayfasına aktarılmıştır. Tablo sayfasında damlaların sayısal ve hacimsel dağılım grafikleri çizildikten sonra bu grafik üzerinden VMD ve NMD çapları bulunmuştur (Şekil 3.13). Bulunan bu değerlerden yararlanarak tekdüzelik katsayı (CH) hesaplanmıştır.



Şekil 3.13 Damlaların sayısal ve hacimsel dağılımına ait grafik

Hacimsel orta çap (VMD) $D_{v0.5}$ olarak isimlendirilmektedir. $D_{v0.5}$; püskürtme hacmini iki eşit hacme ayıran orta çap olup, $D_{v0.1}$; püskürtme hacminin % 10'luk bölümünü, $D_{v0.9}$ ise püskürtme hacminin % 90'lık bölümünü temsil eden çap değeridir. Grafik üzerinden $D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$, $D_{v0.9}$, çap değerleri Excel programında tespit edilmiştir. Ayrıca memelerin sürüklenme potansiyelini belirlemek için 100 ve 200 µm çapından küçük damlaların ölçülen toplam damla hacmi içerisinde işgal ettikleri yüzde oranları belirlenmiştir.

3.2.4 Damla sıklığının ve kaplama oranının belirlenmesi

Damla sıklığı ve kaplama oranına ilişkin analizler sadece suya duyarlı kartlar için yapılmıştır. Bu amaçla bilgisayar ortamına aktarılmış olan suya duyarlı kartlar üzerindeki damla lekeleri görüntü işleme programıyla analiz edilmiştir. Damla sıklığı; damla ölçümü konusunda açıklandığı gibi, Analysis menüsünden Find Object komutuyla saptanan toplam leke sayısı kart alanına oranlanarak (adet/cm²) bulunmuştur. Kaplama oranı ise lekelerin toplam alanı kart alanına oranlanarak hesaplanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

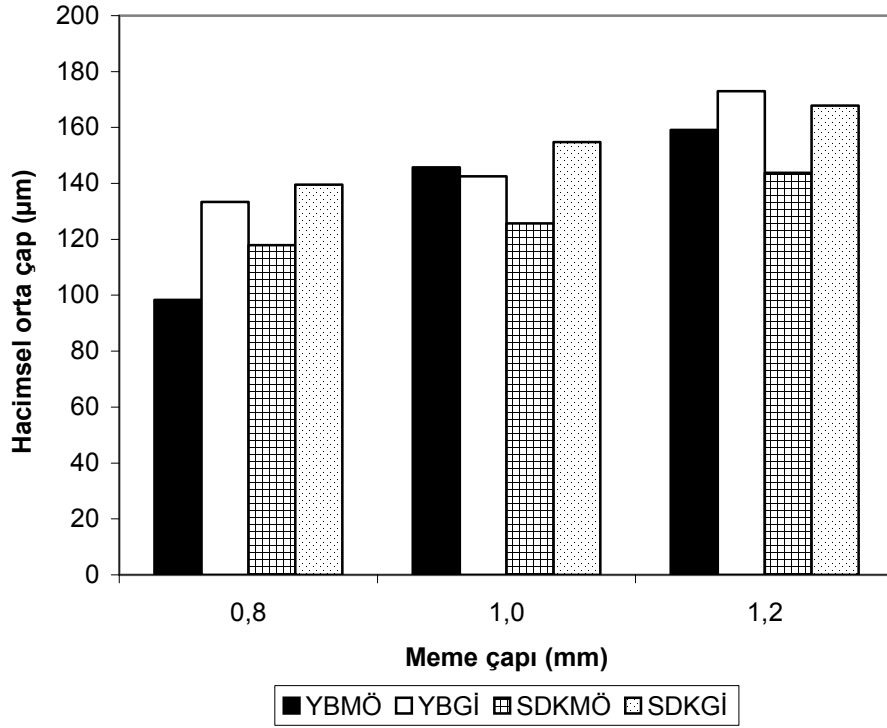
4.1 Karakteristik Damla Çapları

Gündüzler marka içi boş konik hüzmeli meme ile üç farklı meme plakası delik çapında (0.8, 1.0 ve 1.2 mm) ve 400 kPa çalışma basıncında yapılan püskürtme (pülverizasyon) sonucunda iki farklı örnekleme yüzeyi üzerinde hem görüntü işleme yöntemiyle hem de bir mikroskop kullanılarak gözle ölçülen damla çaplarına ilişkin sonuçlar şekiller ve çizelgeler halinde verilmiştir. Bu şekil ve çizelgelerde YBMÖ, yağ banyosundan mikroskopla ölçülen damla çaplarını; YBGİ, yağ banyosundan görüntü işlemeyle ölçülen damla çaplarını; SDKMÖ, suya duyarlı kartlardan mikroskopla ölçülen damla çaplarını; SDKGİ ise suya duyarlı kartlardan görüntü işleme yöntemiyle ölçülen damla çaplarını göstermektedir. Tezin Giriş bölümünde de belirtildiği gibi pülverizasyon kalitesinin değerlendirilmesinde çeşitli karakteristik damla çapları kullanılmaktadır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar, öncelikle her karakteristik damla çapı için ayrı ayrı verilmiş ve daha sonra genel bir değerlendirme yapılmıştır.

4.1.1 Hacimsel orta çap

VMD ya da $D_{v0.5}$ ile gösterilen hacimsel orta çap değerleri Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 0.8 ve 1.0 mm çaplı memelerde en yüksek hacimsel orta çap değerlerinin suya duyarlı karttan görüntü işleme yöntemiyle elde edildiği, 1.2 mm çaplı memede ise yağ banyosundan görüntü işleme yöntemiyle elde edildiği anlaşılabilir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde, görüntü işlemeden elde edilen damla çapı değerlerinin mikroskopla ölçülenlerden daha yüksek olduğu görülebilir. Suyu duyarlı kartların üstüne düşen damlalardan yakın olanları birleşip değişik şekillerde damlalar oluşturmaktadır. Mikroskopta gözle yapılan ölçümlerde bu damlalar ölçülmeyip analiz dışı bırakılmaktadır. Görüntü işleme programında ise bu tür damlaları analiz dışı bırakacak filtre olmasına rağmen bir kısmı değerlendirmeye karışmaktadır. Birbirinin içine geçmiş bu damlalar program tarafından büyük bir damla olarak değerlendirilmektedir. Hacimsel orta çap değeri pülverizasyon içindeki büyük

çaplı damlalardan önemli ölçüde etkilenmekte olduğundan suya duyarlı karttan elde edilen değer diğer yöntemlere göre yüksek çıkmaktadır.



Şekil 4.1 Hacimsel orta çap

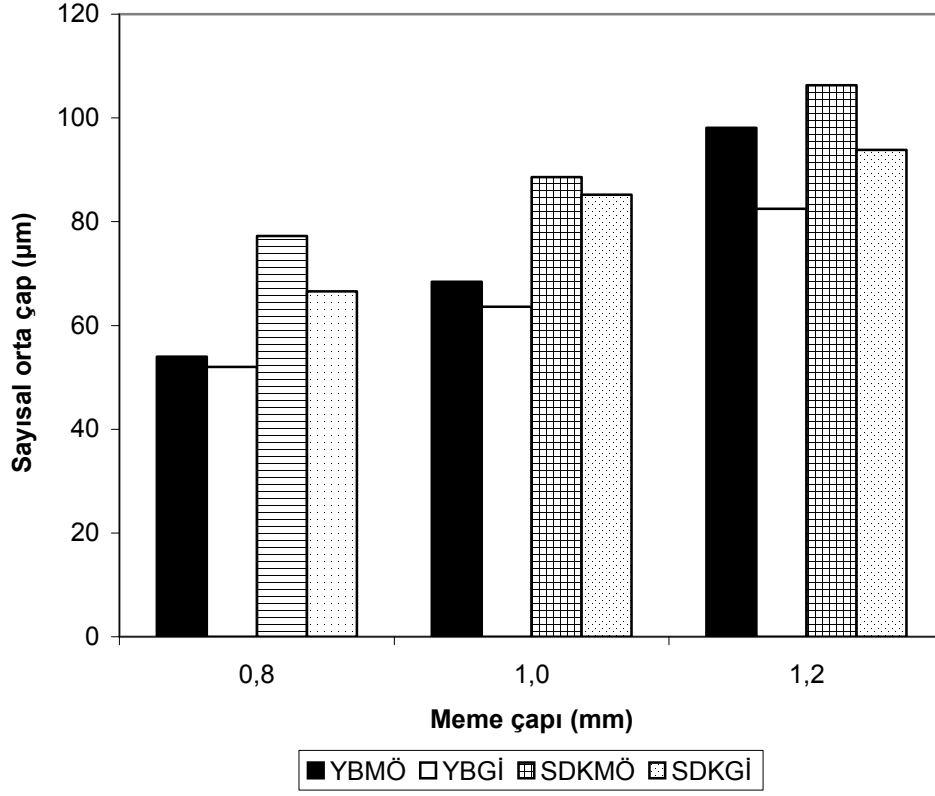
Damla çapı ölçme yöntemine göre elde edilen çap değerleri 0.8 mm'lik memede 98 µm ile 140 µm, 1.0 mm'lik memede 126 µm ile 155 µm, 1.2 mm'lik memede ise 144 µm ile 173 µm arasında değişmiştir (Çizelge 4.1). En yüksek ve en düşük çap değerleri arasındaki farklılık 0.8, 1.0 ve 1.2 mm'lik memeler için sırasıyla % 42.86, % 23.02 ve % 20.14'tür.

Çizelge 4.1 Hacimsel orta çap (VMD) değerleri

Meme çapı (mm)	Yöntem	VMD (μm)
0.8	YBMÖ	98
	YBGİ	133
	SDKMÖ	118
	SDKGİ	140
1.0	YBMÖ	146
	YBGİ	142
	SDKMÖ	126
	SDKGİ	155
1.2	YBMÖ	159
	YBGİ	173
	SDKMÖ	144
	SDKGİ	168

4.1.2 Sayısal orta çap

NMD ile gösterilen sayısal orta çap değerleri Şekil 4.2’de görüldüğü gibi her üç meme çapında da en yüksek çap değerlerinin suya duyarlı karttan mikroskopla, en küçük çap değerlerinin ise yağ banyosundan görüntü işleme yöntemiyle ölçülmüştür. En küçük ve en yüksek çap değerleri 0.8 mm’lik memede 52 μm ile 77 μm , 1.0 mm’lik memede 64 μm ile 89 μm , 1.2 mm’lik memede ise 83 μm ile 106 μm ’dir (Çizelge 4.2). Her iki örnekleme yüzeyinde de mikroskopla ölçülen çap değerlerinin görüntü işleme yöntemine göre yüksek olmasının nedeni, görüntü işleme yöntemiyle mikroskoba göre daha küçük çaplı damlaların ölçülebilmesidir. Damla ölçümlerinin yapıldığı mikroskopla ölçülen en küçük damla çapı 25 μm ’dir. Görüntü işlemede ise 25 μm ’den küçük damlalarda ölçülebilmektedir. Sayısal orta çap, pülverizasyon içinde sayısal olarak fazla miktarda bulunan küçük çaplı damlalardan oldukça etkilenerek değeri küçülmektedir. Bu durum, görüntü işleme yöntemiyle ölçülen sayısal orta çap değerlerinin mikroskopla ölçülen değerden daha küçük olmasına neden olmuştur.



Şekil 4.2 Sayısal orta çap

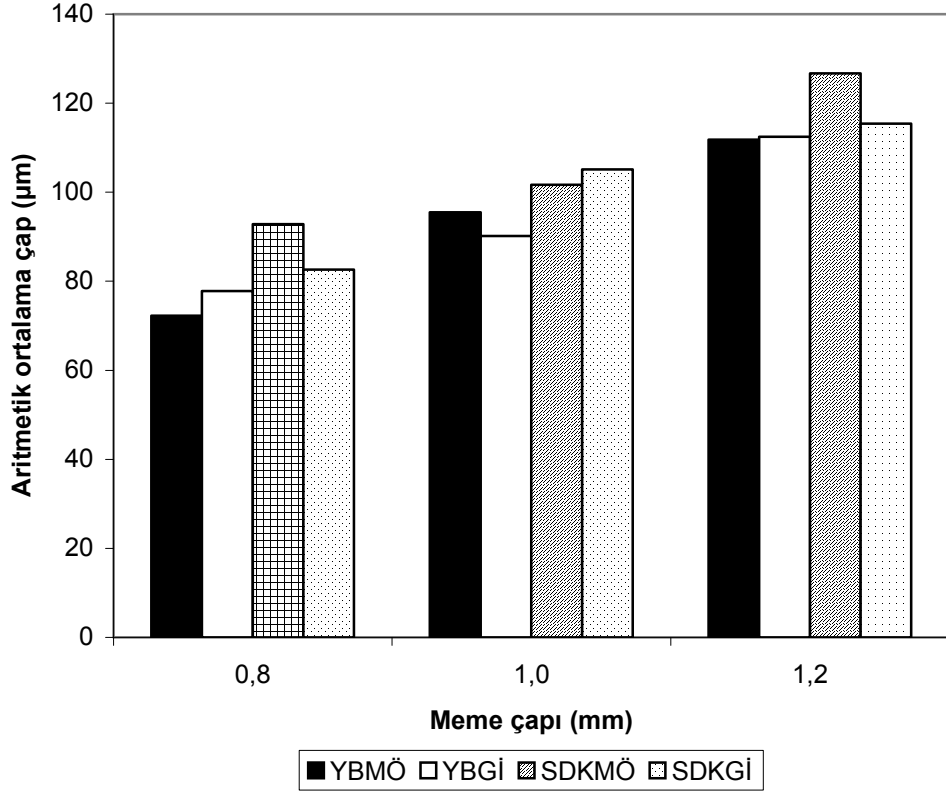
Çizelge 4.2 Sayısal orta ap (NMD) değerleri

Meme apı (mm)	Yöntem	NMD(μm)
0.8	YBMÖ	54
	YBGİ	52
	SDKMÖ	77
	SDKGİ	67
1.0	YBMÖ	68
	YBGİ	64
	SDKMÖ	89
	SDKGİ	85
1.2	YBMÖ	98
	YBGİ	83
	SDKMÖ	106
	SDKGİ	94

Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre; ölçme yöntemine bağlı olarak en düşük ve en yüksek damla çap değerleri arasındaki farklılık 0.8 mm'lik memede % 48.08 μm , 1.0 mm'lik memede % 39.06 ve 1.2 mm'lik memede ise %27.71 olarak hesaplanmıştır.

4.1.3 Aritmetik ortalama çap

Aritmetik ortalama çap (d_a) değerlerine ilişkin sonuçlar Şekil 4.3 ve Çizelge 4.3'de verilmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, dört farklı yöntemle elde edilen çap değerlerinin her üç meme çapında da birbirine oldukça yakın olduğu görülebilir. 0.8 mm'lik memede en küçük çap değeri 72 μm ile yağ banyosundan mikroskopla ölçümle, en büyük çap değeri ise 93 μm ile suya duyarlı karttan mikroskopla ölçümle elde edilmiştir. 1.0 mm'lik memede en küçük çap değeri 90 μm ile yağ banyosundan görüntü işlemeyle, en büyük çap değeri 105 μm ile suya duyarlı karttan görüntü işlemeyle ölçülmüştür. 1.2 mm'lik memede ise yağ banyosundan mikroskop ve görüntü işlemeden elde edilen çap değerleri aynı ve en düşük olup 112 μm iken, en yüksek çap değeri 127 μm olup suya duyarlı karttan mikroskopla ölçüm yöntemiyle elde edilmiştir (Çizelge 4.3). En yüksek ve en düşük damla çapları arasındaki farklılık 0.8 μm 'lik memede % 29.17 μm , 1.0 mm'lik memede % 16.67, 1.2 mm'lik memede ise %13.39 olarak hesaplanmıştır. Sayısal orta çapta olduğu gibi suya duyarlı karttan mikroskopla ölçülen çapların görüntü işlemeyle ölçülenden daha yüksek olduğu (1.0 mm'lik meme hariç) görülebilir. Ayrıca, suya duyarlı karttan görüntü işlemeyle elde edilen çap değerlerinin yağ banyosundan görüntü işlemeyle elde edilen çap değerlerinden daha yüksek olduğu görülebilir.



Şekil 4.3 Aritmetik ortalama ap

Çizelge 4.3 Aritmetik ortalama çap (d_a) değerleri

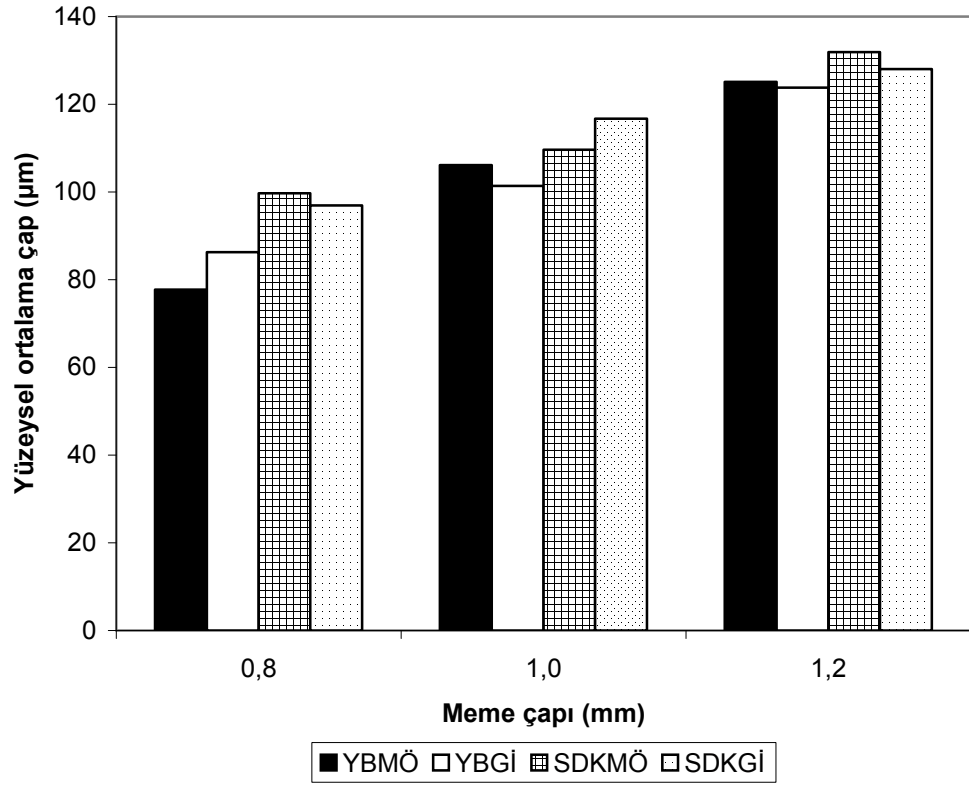
Meme apı (mm)	Yöntem	$d_a(\mu\text{m})$
0.8	YBMÖ	72
	YBGİ	78
	SDKMÖ	93
	SDKGİ	83
1.0	YBMÖ	95
	YBGİ	90
	SDKMÖ	102
	SDKGİ	105
1.2	YBMÖ	112
	YBGİ	112
	SDKMÖ	127
	SDKGİ	115

4.1.4 Yüzeysel ortalama çap

Yüzeysel ortalama çap (d_s) değerlerine ilişkin sonuçlar Şekil 4.4 ve Çizelge 4.4’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, dört farklı yöntemle ölçülen çap değerleri arasındaki en yüksek farklılığın 0.8 mm çaplı memede, en düşük farklılığın ise 1.2 mm çaplı memede olduğu görülebilir. Her üç meme çapında da en yüksek çap değerleri suya duyarlı karttan mikroskopla elde edilirken en küçük çap değerleri 0.8 mm’lik memede yağ banyosundan mikroskopla, 1.0 ve 1.2 mm’lik memelerde ise yağ banyosundan görüntü işlemeyle elde edilmiştir. En küçük ve en yüksek çap değerleri 0.8 mm’lik memede sırasıyla 78 μm ve 100 μm , 1.0 mm’lik memede sırasıyla 101 μm ve 117 μm , 1.2 mm’lik memede 124 μm ve 132 μm ’dir (Çizelge 4.4). En küçük ve en yüksek damla çapları arasındaki farklılık 0.8, 1.0 ve 1.2 mm çaplı memeler için sırasıyla % 28.20, % 15.84 ve % 6.45 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, suya duyarlı karttan mikroskopla ölçülen değerlerin yağ banyosundan mikroskopla ölçülenden daha yüksek olduğu, suya duyarlı karttan görüntü işlemeyle ölçülen çap değerlerinin ise yağ banyosundan görüntü işlemeyle elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.4 Yüzeysel ortalama çap (d_s) değerleri

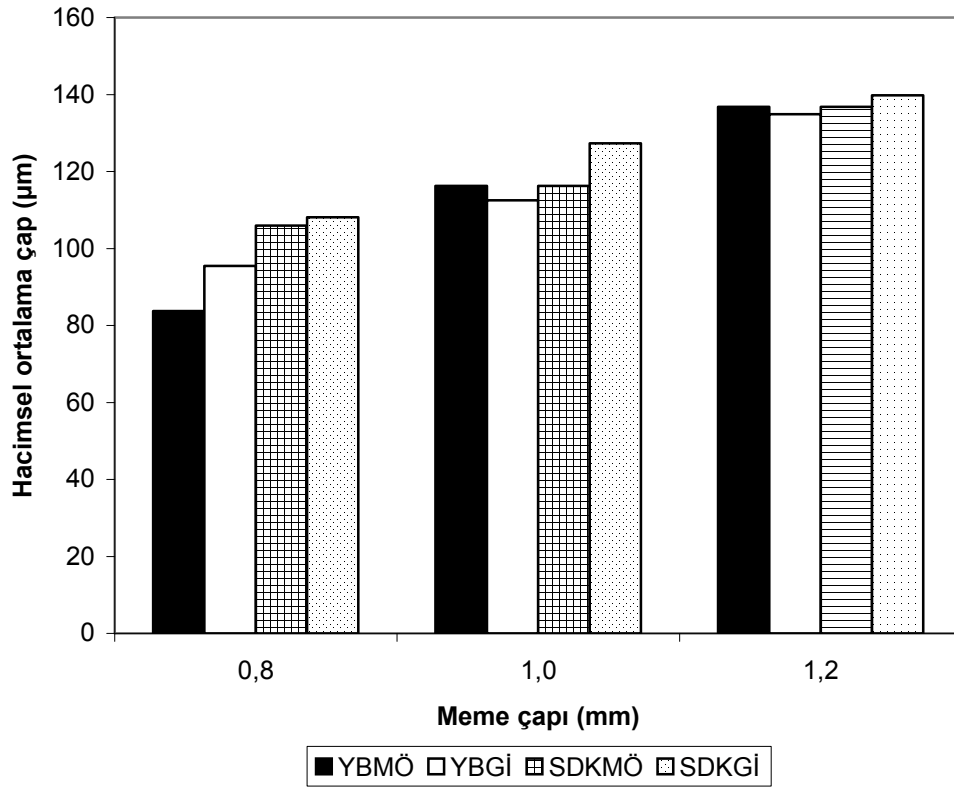
Meme çapı (mm)	Yöntem	$d_s(\mu\text{m})$
0.8	YBMÖ	78
	YBGİ	86
	SDKMÖ	100
	SDKGİ	97
1.0	YBMÖ	106
	YBGİ	101
	SDKMÖ	110
	SDKGİ	117
1.2	YBMÖ	125
	YBGİ	124
	SDKMÖ	132
	SDKGİ	128



Şekil 4.4 Yüzeysel ortalama çap

4.1.5 Hacimsel ortalama çap

Hacimsel ortalama çap (d_v) değerlerine ilişkin sonuçlar Şekil 4.5 ve Çizelge 4.5’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, özellikle 1.2 mm çaplı memede dört farklı yöntemle ölçülen damla çaplarının birbirine oldukça yakın olduğu görülebilir. Damla çaplarındaki en büyük farklılıklar ise yine aritmetik ortalama çapta olduğu gibi 0.8 mm çaplı memede elde edilmiştir.



Şekil 4.5 Hacimsel ortalama çap

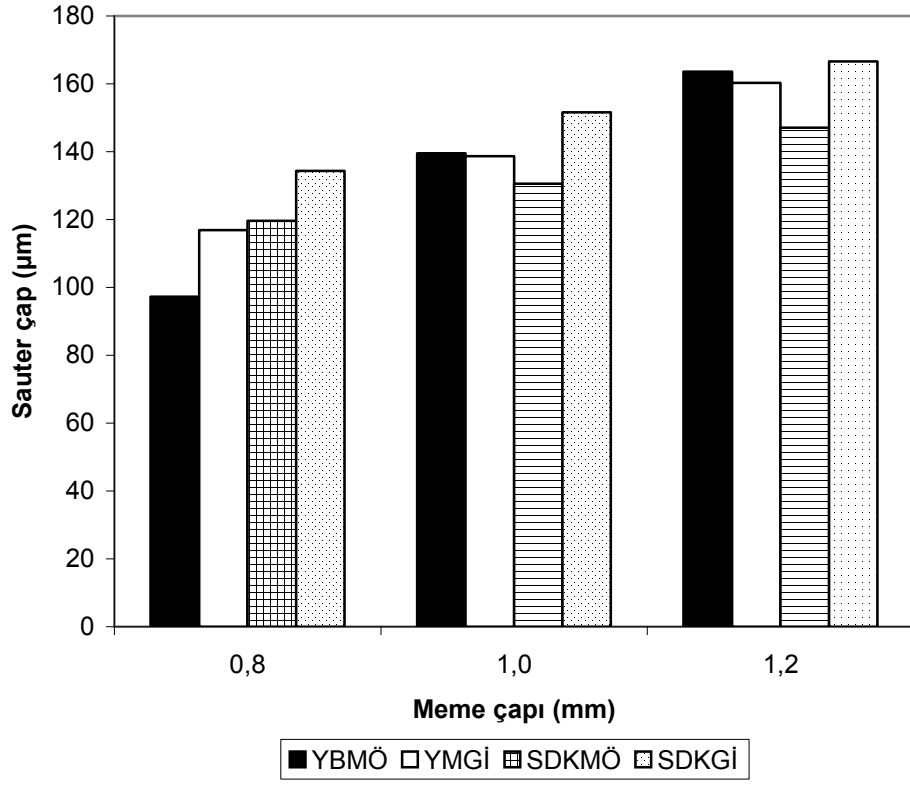
Çizelge 4.5 Hacimsel ortalama çap (dv) değerleri

Meme apı (mm)	Yöntem	$d_v(\mu\text{m})$
0.8	YBMÖ	84
	YBGİ	95
	SDKMÖ	106
	SDKGİ	108
1.0	YBMÖ	116
	YBGİ	113
	SDKMÖ	116
	SDKGİ	127
1.2	YBMÖ	137
	YBGİ	135
	SDKMÖ	137
	SDKGİ	140

Her üç meme büyüklüğünde en yüksek çap değerleri suya duyarlı karttan görüntü işleme yöntemiyle elde edilmiştir. En küçük çap değeri ise 0.8 mm'lik memede yağ banyosundan mikroskopla ölçüm yönteminden, 1.0 ve 1.2 mm'lik memelerde ise yağ banyosundan görüntü işlemeyle elde edilmiştir. Damla çapı değerleri 0.8 mm'lik memede 84 µm ile 108 µm, 1.0 mm'lik memede 113 µm ile 127 µm, 1.2 mm'lik memede ise 135 µm ile 140 µm arasında bulunmuştur (Çizelge 4.5). En küçük ve en büyük damla çapları arasındaki farklılık 0.8, 1.0 ve 1.2 mm'lik memeler için sırasıyla % 28.57, % 12.39 ve % 3.70 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.5'de ayrıca, 1.0 ve 1.2 mm çaplı memelerde suya duyarlı karttan mikroskopla ve yağ banyosundan mikroskopla ölçülen değerlerin aynı olduğu görülebilir.

4.1.6 Sauter çap

Sauter çap ($d_{v/s}$) değerlerine ait sonuçlar Şekil 4.6 ve Çizelge 4.6'da verilmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, diğer çaplarda olduğu gibi en yüksek çap değerleri suya duyarlı karttan görüntü işleme yöntemiyle elde edilmiştir. Bu değerler 0.8, 1.0 ve 1.2 mm çaplı memeler için sırasıyla 134 µm, 152 µm ve 167 µm'dir. En küçük çap değeri ise 0.8 mm'lik memede yağ banyosundan mikroskopla ölçümle (97 µm), 1.0 mm'lik memede suya duyarlı karttan mikroskopla ölçümle (131 µm), 1.2 mm'lik memede suya duyarlı karttan mikroskopla ölçümle (147 µm) elde edilmiştir. 1.0 mm çaplı memede yağ banyosundan mikroskop ve görüntü işlemeden elde edilen çap değerleri aynı (139 µm) bulunmuş, 1.2 mm çaplı memede ise oldukça yakın çap değerleri (164 µm ve 160 µm) ölçülmüştür. Ayrıca suya duyarlı karttan görüntü işlemeyle ölçülen çap değerleri mikroskopla ölçülen çap değerlerinden daha yüksektir (Çizelge 4.6).



Şekil 4.6 Sauter çap

Çizelge 4.6 Sauter çap ($d_{v/s}$) değerleri

Meme çapı (mm)	Yöntem	$d_{v/s}(\mu\text{m})$
0.8	YBMÖ	97
	YBGİ	117
	SDKMÖ	120
	SDKGİ	134
1.0	YBMÖ	139
	YBGİ	139
	SDKMÖ	131
	SDKGİ	152
1.2	YBMÖ	164
	YBGİ	160
	SDKMÖ	147
	SDKGİ	167

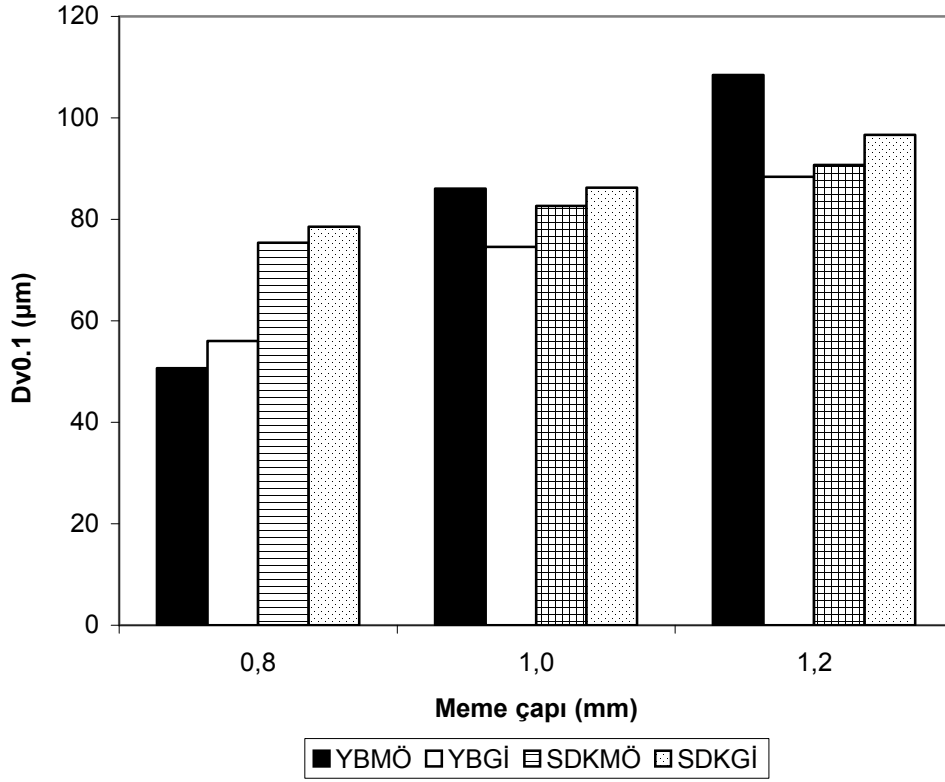
4.1.7 $D_{v0.1}$ ve $D_{v0.9}$ çapları

$D_{v0.1}$ ve $D_{v0.9}$ çapları sırasıyla püskürtme hacminin % 10'luk ve % 90'lık bölümünü temsil eden çap değerleri olup sürüklenme potansiyeline ve damla tekdüzeliğine (RS) ilişkin değerlendirmelerde kullanılmaktadır.

$D_{v0.1}$ çapına ilişkin sonuçlar Şekil 4.7 ve Çizelge 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü üzere damla çapı ölçme yöntemleri arasında en fazla değişkenliği 0.8 mm çaplı memede, en az değişkenlik ise 1.0 mm çaplı memede elde edilmiştir. 0.8 mm çaplı memede ölçme yöntemlerine göre en küçük ve en yüksek çap değerleri 51 μm ve 79 μm , 1.0 mm'lik memede 75 μm ve 86 μm , 1.2 mm'lik memede ise 91 μm ve 108 μm 'dir. Suya duyarlı karttan mikroskop ve görüntü işlemeyle ölçülen değerler yağ banyosundan mikroskop ve görüntü işlemeyle ölçülen değerlere göre daha yüksek iken 1.2 mm çaplı meme yağ banyosundan mikroskopla ölçülen değer, suya duyarlı karttan ölçülenlere göre daha yüksek bulunmuştur. 1.0 mm çaplı memede ise yağ banyosundan görüntü işleme ile ölçülen değer hariç diğer çap değerleri birbirine oldukça yakın bulunmuştur (Çizelge 4.7).

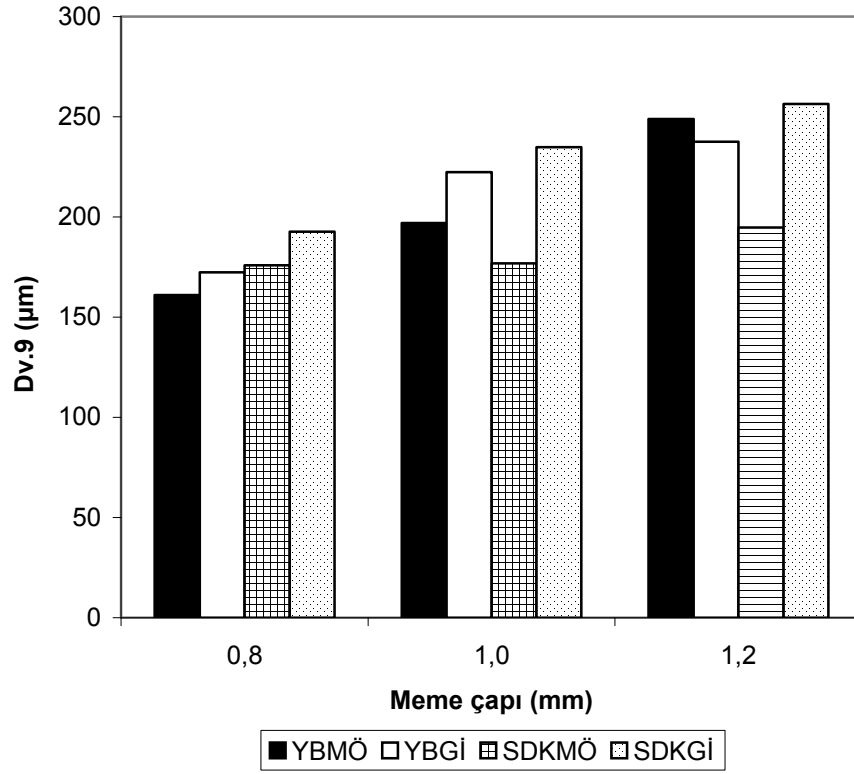
Çizelge 4.7 $D_{v0.1}$ çap değerleri

Meme çapı (mm)	Yöntem	$D_{v0.1}$ (μm)
0.8	YBMÖ	51
	YBGİ	54
	SDKMÖ	75
	SDKGİ	79
1.0	YBMÖ	86
	YBGİ	75
	SDKMÖ	83
	SDKGİ	86
1.2	YBMÖ	108
	YBGİ	88
	SDKMÖ	91
	SDKGİ	97



Şekil 4.7 Farklı damla ölçüm yöntemlerine göre $D_{v0.1}$ çap değerleri

$D_{v0.9}$ çapına ilişkin sonuçlar ise Şekil 4.8 ve Çizelge 4.8’de verilmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde, her üç meme çapında da en yüksek çap değerlerinin suya duyarlı karttan görüntü işleme yöntemiyle ölçüldüğü görülebilir. En küçük çaplar ise 0.8 mm çaplı memede yağ banyosundan mikroskopla, 1.0 ve 1.2 mm çaplı memelerde ise suya duyarlı karttan mikroskopla ölçümden elde edilmiştir. Diğer damla çaplarının tersine 0.8 mm’lik memede ölçme yöntemine bağlı olarak çaplar arasındaki değişkenlik diğer meme ölçülerine göre daha düşüktür. 0.8 mm çaplı memede en küçük çap yağ banyosundan mikroskopla ölçümden (161 µm) ve en büyük çap suya duyarlı karttan görüntü işlemeyle (193 µm); 1.0 mm çaplı memede en küçük çap suya duyarlı karttan mikroskopla (177 µm) ve en büyük çap suya duyarlı karttan görüntü işlemeyle; 1.2 mm çaplı memede ise en küçük çap suya duyarlı karttan mikroskopla (195 µm) ve en büyük çap suya duyarlı karttan görüntü işlemeyle (256 µm) ölçülmüştür (Çizelge 4.8).



Şekil 4.8 Farklı damla ölçüm yöntemlerine göre $D_{v0.9}$ çap değerleri

Çizelge 4.8 $D_{v0.9}$ çap değerleri

Meme çapı (mm)	Yöntem	$D_{v0.9}(\mu\text{m})$
0.8	YBMÖ	161
	YBGİ	172
	SDKMÖ	176
	SDKGİ	193
1.0	YBMÖ	197
	YBGİ	222
	SDKMÖ	177
	SDKGİ	235
1.2	YBMÖ	249
	YBGİ	238
	SDKMÖ	195
	SDKGİ	256

4.1.8 Damla çaplarına ilişkin genel değerlendirme

Dört farklı damla çapı ölçme yöntemiyle elde edilen sonuçlar toplu olarak Çizelge 4.9'da verilmiştir. Çizelge 4.9 incelendiğinde NMD ve $d_{v0.1}$ çap değerlerinin diğer çap değerlerine göre daha düşük olduğu, en yüksek çap değerlerinin ise $d_{v0.9}$ çap değerleri olduğu görülebilir. Ayrıca, beklendiği gibi meme plakası delik çapının büyümesiyle bütün karakteristik çap değerleri artmıştır. Ölçme yöntemine bağlı olarak farklı karakteristik çaplara ilişkin bir değerlendirilme yapıldığında, çoğunlukla suya duyarlı kartlardan görüntü işleme yöntemiyle ölçülen çap değerlerinin diğer üç yöntemle ölçülen çap değerlerinden daha yüksek olduğu görülebilir.

Çizelge 4.9 Damla karakteristik çaplarına ilişkin toplu sonuçlar

Meme plakası delik çapı (mm)	Yöntem	Damla çapları (μm)							
		VMD	NMD	d_a	d_s	d_v	$d_{v/s}$	$d_{v0.1}$	$d_{v0.9}$
0.8	YBMÖ	98	54	72	78	84	97	51	161
	YBGİ	133	52	78	86	95	117	54	172
	SDKM	118	77	93	100	106	120	75	176
	SDKGİ	140	67	83	97	108	134	79	193
1.0	YBMÖ	146	68	95	106	116	139	86	197
	YBGİ	142	64	90	101	113	139	75	222
	SDKM	126	89	102	110	116	131	83	177
	SDKGİ	155	85	105	117	127	152	86	235
1.2	YBMÖ	159	98	112	125	137	164	108	249
	YBGİ	173	83	112	124	135	160	88	238
	SDKM	144	106	127	132	137	147	91	195
	SDKGİ	168	94	115	128	140	167	97	256

4.1.9 Damla apı tekdüzeliği

Sıvı ilaç uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan hidrolik memeler, oldukça geniş bir damla spektrumuyla pülverizasyon yaptıkları için pülverizasyon kalitesine ilişkin değerlendirmelerde damla tekdüzeliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Damla tekdüzeliğine ilişkin sonuçlar izelge 4.10'da verilmiştir.

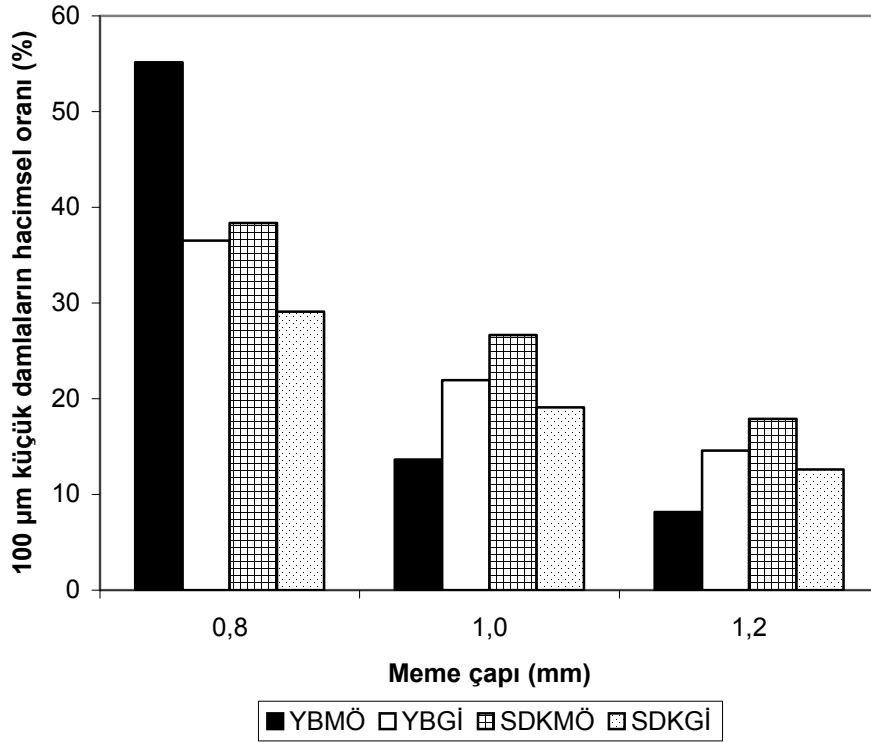
Çizelge 4.10 Damla tekdüzeliğine ilişkin sonuçlar

Meme plakası delik çapı (mm)	Yöntem	Tekdüzelik değeri	
		CH	RS
0.8	YBMÖ	1,8	1,1
	YBGİ	2,6	0,9
	SDKM	1,5	0,9
	SDKGİ	2,1	0,8
1.0	YBMÖ	2,1	0,8
	YBGİ	2,2	1,0
	SDKM	1,4	0,7
	SDKGİ	1,8	1,0
1.2	YBMÖ	1,6	0,9
	YBGİ	2,1	0,9
	SDKM	1,4	0,7
	SDKGİ	1,8	1,0

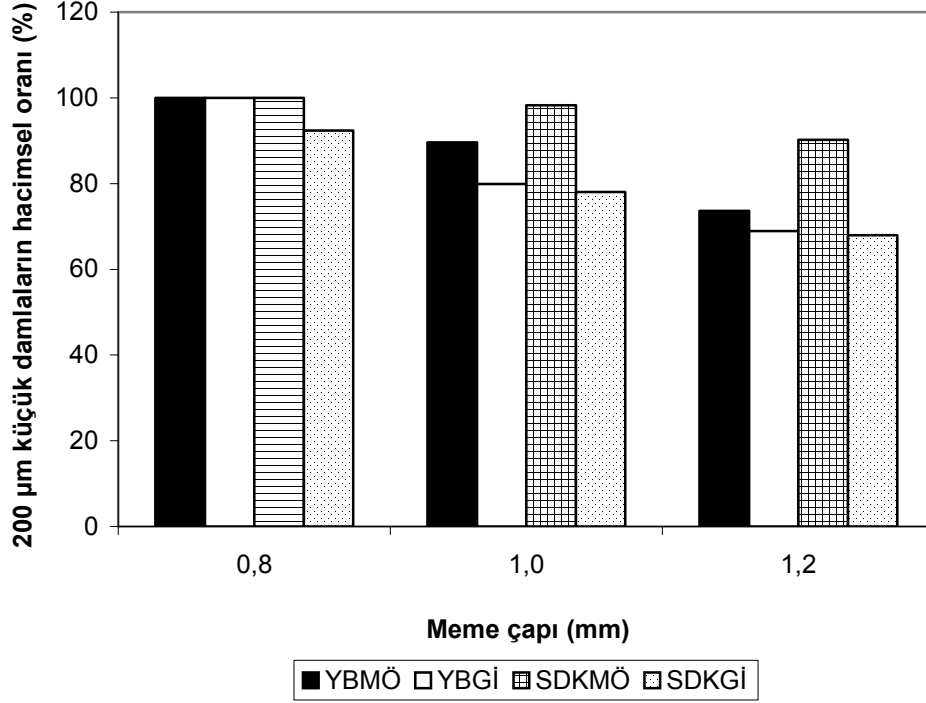
Çizelge 4.10 incelendiğinde, damla çapı ölçme yöntemi ve meme plakası delik çapına bağlı olarak CH tekdüzelik katsayısı değerleri 1.4 ile 2.6 arasında değiştiği görülebilir. Her üç meme delik çapında da, yağ banyosundan görüntü işleme yöntemiyle ölçülen çap değerlerinden bulunan CH değerlerinin en yüksek, suya duyarlı karttan mikroskopla ölçülen çap değerlerinden hesaplanan CH değerlerinin ise en düşük olduğu görülebilir. Diğer bir değerlendirme kriteri olan ve daha çok Amerika'da kullanılan RS değerleri ise 0.7 ile 1.1 arasında değişmiştir. CH ve RS değerlerinin 1'e yaklaşması damla tekdüzeliğinin artması anlamına gelmektedir.

4.1.10 Sürüklenme potansiyeli

Hidrolik memelerde pülverizasyon kalitesi olarak damla çapı ve tekdüzeliğin yanında sürüklenme potansiyeli de belirlenebilmektedir. Bu amaçla, pülverizasyonda 100 µm ve 200 µm'den küçük damlaların oluşturduğu hacim bulunmaktadır. Şekil 4.9'da 100 µm'den küçük damlaların oluşturduğu toplam hacim, Şekil 4.10'da ise 200 µm'den küçük damlaların oluşturduğu hacim verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 4.11'de bu sonuçlar toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4.9 100 µm'den küçük damlaların hacimsel oranı (%)



Şekil 4.10 200 µm'den küçük damlaların hacimsel oranı (%)

Çizelge 4.11 Püskürtme hacmi içerisinde 100 ve 200 µm'den küçük damlaların hacim oranları (%)

Meme çapı (mm)	Yöntem	<100 µm	<200 µm
0.8	YBMÖ	55	100
	YBGİ	37	100
	SDKMÖ	38	100
	SDKGİ	29	92
1.0	YBMÖ	14	90
	YBGİ	22	80
	SDKMÖ	27	98
	SDKGİ	19	78
1.2	YBMÖ	8	74
	YBGİ	15	69
	SDKMÖ	18	90
	SDKGİ	13	68

Sürüklenme potansiyeline ilişkin sonuçlar toplu olarak incelendiğinde, damla çapı ölçme yöntemine bağlı olarak özellikle 100 µm'den küçük damlaların oluşturduğu hacim değerlerinde önemli farklılıklar olduğu görülebilir. 100 µm'den küçük damlaların hacmi; 0.8 mm'lik memede % 29-55, 1.0 mm'lik memede % 14-27, 1.2 mm'lik memede % 8-18 arasında değişmiştir (Çizelge 4.11). Damla çapı ölçme yöntemine göre değerlendirildiğinde, bazen görüntü işleme değerleri, bazen de mikroskopla ölçülen değerlerin daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür.

200 µm'den küçük damlaların oluşturduğu hacim değerleri incelendiğinde, damla çapı ölçme yöntemine bağlı olarak oluşan farklılıkların daha az olduğu görülebilir. Özellikle 0.8 mm çaplı memede ortalama damla çapı 200 µm küçük olduğu için doğal olarak tüm sonuçlar birbirine benzer çıkmıştır.

4.2 Damla Sıklığı

Damla sıklığına ilişkin analizler sadece suya duyarlı kartlar üzerinden toplanan damlalar için yapılmış olup hem mikroskopla hem de görüntü işleme yöntemiyle belirlenen damla sıklığı değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Damla sıklığı değerleri

Meme çapı (mm)	Yöntem	Damla sıklığı (Adet/ cm ²)
0.8	SDKMÖ	156
	SDKGİ	149
1.0	SDKMÖ	124
	SDKGİ	119
1.2	SDKMÖ	85
	SDKGİ	81

Çizelge 4.12 incelendiğinde, tüm meme çaplarında görüntü işleme yöntemiyle belirlenen damla sıklığı değerlerinin, mikroskop yardımıyla belirlenen değerlerden biraz daha düşük olduğu görülebilir. Görüntü işlemede damla sıklığının düşük çıkmasının nedeni, üst üste binene damlaların program tarafından tek damla olarak algılamasından kaynaklanmaktadır. Mikroskop altında yapılan incelemede ise damlaların şeklinden birbirinin içine giren damla mı yoksa büyük tek bir damla mı olduğu net bir şekilde ayırt edilebilmektedir.

Görüntü işlemeden elde edilen damla sıklığı değerleri mikroskop altında gözle belirlenen değerlere göre 0.8 mm'lik memede % 4.49, 1.0 mm'lik memede % 4.03 ve 1.2 mm'lik memede % 4.71 daha küçük bulunmuştur. Ayrıca, hem mikroskopla hem de görüntü işleme yöntemiyle belirlenen damla sıklığı değerleri, meme plakası delik çapının büyümesiyle azalmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü meme büyüklüğü arttıkça damla çapı da artmakta ve oluşan damla sayısı azaldığı için hedefte daha az sayıda damla toplanmaktadır.

4.3 Kaplama Oranı

Damla sıklığında olduğu gibi damlalar tarafından hedef yüzey üzerinde kaplanan alana ilişkin değerlendirmelerde de sadece suya duyarlı kartlardan yararlanılmıştır. Mikroskopla kaplama oranı elde edilirken, önce bir cm^2 alandaki damla çapları ve sayıları belirlenmiş ve bu değerlerden yararlanılarak teorik kaplama oranı değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.13'de kaplama oranına ilişkin sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.13 incelendiğinde, meme plakası delik çapına göre kaplama oranları % 10.5 ile % 13.4 arasında değiştiği ve görüntü işlemeden elde edilen kaplama oranı değerlerinin mikroskop yardımıyla bulunan kaplama oranı değerlerinden biraz daha düşük olduğu görülebilir. Damla sıklığı ve kaplama oranı analizleri aynı örnekleme kartları üzerinde yapılmış olup, mikroskopla ölçülen damla sıklığı değerlerinin daha yüksek olması, benzer şekilde kaplama oranı değerlerinin de kısmen daha yüksek olmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.13 Kaplama oranı değerleri

Meme çapı (mm)	Yöntem	Kaplama oranı (%)
0.8	SDKMÖ	13.4
	SDKGİ	12.8
1.0	SDKMÖ	12.2
	SDKGİ	11.9
1.2	SDKMÖ	10.9
	SDKGİ	10.5

5. SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre suya duyarlı kart ve yağ banyosu gibi iki farklı örnekleme yüzeyinden toplanan damlalar görüntü işleme tekniğiyle analiz edilerek damla çapları, damla tekdüzeliği, damla sıklığı,ve kaplama oranı gibi temel pülverizasyon karakteristikleri belirlenebilmektedir. Görüntü işleme yöntemiyle elde edilen sonuçlar karşılaştırmak amacıyla örnekleme yüzeylerinde toplanan damla örnekleri, klasik olarak bir mikroskop yardımıyla analiz edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Ölçme yöntemine bağlı olarak farklı karakteristik çaplara ilişkin bir değerlendirilme yapıldığında, çoğunlukla suya duyarlı kartlardan görüntü işleme yöntemiyle ölçülen çap değerlerinin diğer üç yöntemle ölçülen çap değerlerinden daha yüksek olduğu görülebilir. Bunun nedeni ise, suya duyarlı kartların üstüne düşen damlalardan yakın olanları birleşip değişik şekillerde damlalar oluşturmaktadır. Mikroskopta gözle yapılan ölçümlerde operatör tarafından bu damlalar ölçülmeyip analiz dışı bırakılmaktadır. Görüntü işleme programında ise bu tür damlaları analiz dışı bırakacak filtre olmasına rağmen bir kısmı değerlendirmeye karışmaktadır. Birbirinin içine geçmiş bu damlalar program tarafından büyük bir damla olarak değerlendirilmektedir Özellikle hacimsel orta çap değeri pülverizasyon içindeki büyük çaplı damlalardan önemli ölçüde etkilenmekte olduğundan suya duyarlı karttan elde edilen değer diğer yöntemlere göre yüksek çıkmaktadır.
2. Araştırmada kullanılan her iki örnekleme yüzeyinde de mikroskopla ölçülen çap değerleri görüntü işleme yöntemine göre yüksek çıkmıştır. Bu duruma, görüntü işleme yöntemiyle mikroskoba göre daha küçük çaplı damlaların ölçülebilmesi neden olmuştur. Damla ölçümlerinin yapıldığı Nikon SMZ-10 mikroskobuyla ölçülebilen en küçük damla çapı 25 µm'dir. Görüntü işlemede ise çok daha küçük çaplı damlalar da ölçülebilmektedir. Özellikle sayısal orta çap, pülverizasyon içinde fazla miktarda bulunan küçük çaplı damlalardan oldukça etkilendiği için görüntü işleme yöntemiyle ölçülen sayısal orta çap değerleri

mikroskopla ölçülen değerlerinden daha küçük bulunmuştur.

3. Mikroskopla yapılan ölçümler çok zahmetli ve oldukça çok zaman almaktadır. Ayrıca, görüntü işleme yöntemlerinin aksine örnekleme yüzeyindeki tüm damlaları ölçmek yerine değişik bölgelerden belirli bir miktar damla ölçülmektedir. Bu nedenle mikroskopta ölçüm yapan operatörün tecrübesine ve seçimlerine bağlı olarak elde edilen sonuçlarda farklılıklar doğmaktadır.
4. Tüm meme çaplarında görüntü işleme yöntemiyle belirlenen damla sıklığı değerlerinin, mikroskop yardımıyla belirlenen değerlerden biraz daha düşük olduğu görülebilir. Görüntü işlemede damla sıklığının düşük çıkmasının nedeni, üst üste binene damlaların program tarafından tek damla olarak algılanmasından kaynaklanmaktadır. Mikroskop altında yapılan incelemede ise damlaların şeklinden birbirinin içine giren damla mı yoksa büyük tek bir damla mı olduğu net bir şekilde ayırt edilebilmektedir.
5. Yağ banyosundan dijital fotoğraf makinasıyla alınan görüntünün işlenmesiyle elde edilen karakteristik çap değerlerinin diğer yöntemlerle elde edilen sonuçlarla benzer olduğu görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan mikroskobun orijinal fotoğraf makinası dijital görüntü üretmediği için kendi imal ettiğimiz ara parça ile DSC-P100 dijital fotoğraf makinası adapte edilmiştir. Buradaki oluşmuş olabilecek optik uyumsuzluklar ve diğer hatalar daha iyi sonuçlar elde etmemizi engellemiştir. Daha yüksek çözünürlükteki bir kamera mikroskop sistemiyle daha iyi sonuçlara ulaşılabilmektedir.
6. Görüntü işleme programında yeni filtreler tanımlayarak orijinal görüntüye daha yakın görüntüler elde edilebilir. Her uygulama için farklı iyileştirmeler yapılabilir.
7. İki farklı örnekleme yüzeyinden iki farklı ölçüm yöntemiyle elde edilen farklı sonuçlar kendi içinde tutarlı sonuçlar vermiştir. Örneğin, meme plakası delik çapının büyümesiyle bütün karakteristik çap değerleri artmıştır.

8. Görüntü işlemeyle analiz yöntemleri arasında kullanıcı hatalarına en az duyarlı olanı yağ banyosundan görüntü işleme yöntemi olduğu görülmüştür. Suyu duyarlı karttan damla analizi yaparken kontrast ayarını operatör yapmıştır. Operatörün bu konudaki tecrübesine bağlı olarak analiz sonuçları farklılık göstermektedir. Yağ banyosundan alınan görüntülerin kontrastı yeterli düzeyde olduğundan otomatik moda analiz yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akkuş, A. 1994. Interpolative image coding. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi, İzmir.
- Amberg, A. and Butler, J. 1969. High speed photography as a tool for spray droplet analysis. ASAE Paper 140.
- Arpacı, M. 1971. Ziraatte kullanılan püskürtücülerin damla çaplarının tayini. Ziraat Tekniğinin Esasları, Ziraat Makinaları Test ve Araştırma Merkezi Yayın Organı, Sayı: 3, İstanbul.
- Ayata, M. 1997. Toprak alet ilişkilerinin görüntü işleme tekniği ile saptanması üzerinde bir araştırma. Ç.Ü. Fen Bil. Enst. Tarım Makinaları Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. 72 s., Adana.
- Ayık, M. 1981. Sulandırılmış tarımsal savaşım ilaçlarında elektrostatik yüklemenin etkinlikleri üzerinde bir araştırma. A.Ü. Ziraat Fakültesi, Doçentlik Tezi (yayınlanmamış), Ankara.
- Bond, C.P. 1974. Quantimet 720 for the analysis of spray droplet distribution. British Crop Protection Council Monograph No: II, Pesticide Application by ULV Methods. 275-8.
- By A De More, J., Langenakens, E., Jaeken, P. and Lootens, P. 2000. Image analysis of water sensitive paper as a tool for the evaluation of spray distribution of orchard sprayers. Aspects of Applied Biology 57 Pesticide Application.
- Cebeci, Z., Cengizler, İ. ve Gökçe, M.A. 1992. Su ürünleri mühendisliğinde sayısal görüntü işleme sistemlerinden yararlanma olanakları. Ziraat Mühendisliği Haftası Su Ürünleri Mühendisliği Oturumu, 25-29 Mayıs 1992 Eğridir-Isparta.
- Chelappa, R. and Sawchuk, A. 1985. Digital image processing and analysis. Volume 2, Digital Image Analysis, IEEE Computer Society Press.
- Cruvinel, P.E., Vieira, S.R., Crestana, S., Minatel, E.R., Mucheroni, M.L. and Neto, A.T. 1999. Image processing in automated measurements of raindrop size and distribution. Computers and electronics in agriculture, 23, 205-217.
- Çelen, İ.H. 1998. Yalpaze hüzmeli püskürtme memelerinde aşınmanın pülverizasyon karakteristiklerine etkisi üzerine bir araştırma. T.Ü. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, 105 s., Edirne.
- Çilingir, İ. ve Dursun, E. 2002. Bitki koruma makinaları. A.Ü. Zir. Fak. Yayın No:1531, Ders Kitapları Yayın No:484 Ankara.
- Degro, A., Mostade, V.O., Huyghebaert, B., Tisot, S. and Debouche, C. 2001. Comparison by Image Processing of Target Supports of Spray Droplets. Transactions of the ASAE 44, (2); 217-222.
- Deligönül, F. ve Sağlam, R. 1991. Klasik uçak püskürtme düzenlerinde meme konum açılarının dağılıma olan etkilerinin araştırılması. Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, s.298-311, Konya.
- Diaz, R.A.P. and Riadigos, R.L. 1989. Influencia del material de fabricacion en la poblacion de gotas resutante. Estudiada Mediante Un Analisis de particulas, FIMA 89, 21. Conferencia Internacional de Mecanizacion Agraria, Zaragoza, Espana.
- Diaz, R.A.P. and Escudero, R.R. 1991. Comparacion entre analizadores de imagen y no imagen, Para el Estudio de Poblaciones de Gotas en Boquillas de Pulverizacion Hidrolica. FIMA 91, 23. Conferencia Internacional de Mecanizacion Agraria, Ponencias Comunicaciones, 297-304, Zaragoza, Espana.

- Dursun, E. ve Çilingir, İ. 1991. Pülverizasyon karakteristikleri ve buna etkili faktörler. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları:1206,Derleme:49, 34s., Ankara.
- Dursun, E. 1998. Tarımsal ilaç uygulamalarında sürüklenmeyle meydana gelen ilaç kayıpları ve sürüklenmeye etki eden faktörler. Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi, Tekirdağ.
- Dursun, E. 2000. Meme aşınmasının pülverizasyon karakteristiklerine etkileri. Türk-Koop Ekin, Yıl:4, Sayı 12;s.62-66, Ankara.
- Dursun, E., Çilingir, İ ve Erman, A. 2005. Tarımsal savaşım ve mekanizasyonunda yeni yaklaşımlar. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası 6. Teknik kongresi 669-686, Ankara.
- Emiroğlu, İ. 1997, Fingerprint Image Enhancement & Recognition, Doktora Tezi, University of Hertfordshire.
- Fox, R.D., Salyani, M., Cooper, J.A. and Brazee, R.D. 2000. Spot size comparisons on oil-and water-sensitive paper. Applied Engineering in Agriculture 17(2); 131-136.
- Fox, R.D., Derksen, R.C., Krause, C.R., Cooper, J.A. and Ozkan, H.E. 2001. Visual and image system measurement of spray deposits using water-sensitive paper. Agricultural Research Service, Tektran.
- Franz, E. 1992. A simple spray coverage analyzer. ASAE Paper No: 921617, An ASAE Meeting Presentation, ASA 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan, USA.
- Franz, E. 1993. Spray coverage analysis using a hand-held scanner. Transaction of the ASAE, 36(5); 1271-1278.
- Galbiati, L.J. 1990. Machine vision and digital image processing fundamentals. New York: Prentice-Hall Inc.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. 1993. Digital image processing. Addison-Wesley, Reading.
- Himel, C.M. 1969. The optimum size for insecticide spray droplets. Journal of Economic Entomology, 62:919-925.
- İnce, F. 1986, Uzaktan algılamada sayısal görüntü işleme. TÜBİTAK Gebze Araştırma Merkezi.
- Jiang, R. and Derksen, C. 1995. Morphological image processing for spray deposit analysis. Transactions of the ASAE 38(5); 1581-1591.
- Kansu, İ.A. 1981. Hastalık ve zararlılarla savaş yoluyla bitkisel üretimin artırılması olanakları. Tarım-Orman Bakanlığı Türkiye II. Tarım Kongresi, Ankara.
- Lopez, J. I., Beene, J. S. and Jr. Carnell, C. B. 1993. Using ISC and GIS to predict sülfür deposition from power plants. Agricultural Engineering Department, Texas A and M University, Washington.
- Liljedahl, L.A. and Strait, J. 1959. Spray deposits measured rapidly. Agricultural Engineering, 40(6).
- Ludewig, C., Burow, H. und Ganzelmeier, H. 1992. Tropfengrößennmessungen an pflanzenschutzdüsen mittels bildanalyse. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 44 (9);191-197.
- Ludewig, C. und Ganzelmeier, H. 1993. Phasen-Doppler-Anemometrie als neues meßverfahren zur bestimmung der tropfengröße an pflanzenschutzdüsen. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 45 (5/6); 103-109.
- Manor, G. and Shapiro, V. 1997. A mobile system for measuring spray coverage – BG1. 3rd international symposium on sensors in horticulture, Tiberias, Israel.

- Matthews, G.A. 1992. Pesticide Application Methods. 2. Edition, Longman, New York, 405p.
- Niblack, W. 1986. An introduction to digital image processing. Prentice-Hall International.
- Özkan, H.E. 1995. Herbicide formulations, adjuvants and spray driftmanagement. In:Hand on Weed Management Systems, Chapter 7,Ed:A.E. Smith, Marcek Dekker Inc., pp.217-244, USA.
- Öztürk, Y., Yalçın, E. ve Köse, T. 1994. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak tarımsal ilaçlama aletlerinin tarla performanslarının belirlenmesi üzerine araştırmalar. Türkiye Bilimsel Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Tarım ve Ormancılık Grubu, Proje No:TOAG-828.
- Patel, V.C., McClendon, R.W. and Goodrum, J. W. 1993. Egg defect dedection using computer vision and neural networks, No: 93-3051, An ASAE / CSAE Meeting Presentation, Washington.
- Reichard, D.L., Cooper, J.A., Bucovac, M.J. and Fox, R.D. 1998. Using videographic system to assess spray droplet impaction and reflection from leaf and artificial surfaces. Pesticide Science, (53); 291-299.
- Riadigos, R.L.L., Luis,R., Diaz, R.A.P. and Alonso, R. 1989. Analisis comparativa de la evaluacion de los parametros caracteristicos de la pülverizacion hidraulica despues de efectuarse el desgaste acelardo de la boquilla. FIMA 89, 21. Conferancia Internacional de Mecanizacion Agraria, Volumen I. Zaragoza, Espana.
- Rosenfeld, A. 1988. Computer vision basic principles. Proc. IEEE76 (8).
- Salyani, M. and Fox, R.D. 1994. Performance of image analysis for assesment of simulated spray droplet distribution. Transactions of the ASAE 37 (4); 1083-1089.
- Salyani, M. and Fox, R.D. 1999. Evaluation of spray quality by oil and water-sensitive paper. Transactions of the ASAE 42 (1); 37-43.
- Schick, R.J. 1997. General guidelines on drop size measurement techniques and terminology. Spraying Systems Co. Wheaton, IL USA.
- Singh, N., Delwiche, M.J. and Johnson, R.S. 1993. Machine vision algorithms for defect grading of stonefruit. No: 93-3005, Biological and Agricultural Engineering Department, University of California, Davis, Washington.
- Tate, R.W. and Janssen, L.F. 1966. Droplet size of agricultural spray nozzles. Transactions of the ASAE, p. 303-305.
- Tillet, R. D. 1992. A general approach to the automatic interpretation of plant images. AFRC Silsoe Research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford MK45 4HS, UK.
- Toraman, H. 2000, Filmden dijital. Photo Dijital Dergisi, Yıl:2000 Sayı:11.
- Trunecka, K. 1991 Mittlerer volumetrischer tropfendurchmesser (VMD) als charakteristische kenngröße der zusammensetzung des spritzspektrums im pflanzenschutz. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik. Verem Deutscher Ingenieure, Universität Rostock Fachbereich Maschinenbau / Land-und Umwettechnik. Heft 10. Beitrage der Landtechnikwissenschaften für Eme Effiziente Landwirtschaft, 20/21 Februar, 281-283.
- Yarpuz, N. 1997. Pnömatik pülverizasyonlarda ilaç uygulama hacminin dağılım düzgünlüğü ve iş genişliği üzerindeki etkilerinin saptanması. Çukurova Üniversitesi Fen Bil. Enst. Tarım Makinaları Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 41 s., Adana

- Wolf, R.E., Gardisser, D.R. and Willams, W.L. 1999. Spray droplet analysis of air induction nozzle using WRK DropletScan technology. ASAE Paper No:991026, St. Joseph, Michigan, USA.
- Womac, A.R., Williford, J.R. and Hanks, J.E. 1990. Spray droplet size distributions of various nozzles. ASAE Paper No: 901004, ASAE, St. Joseph, MI 49085, USA.
- Zeren, Y. 1974. Mekanik pülverizatörlerde kullanılan konik ve yelpaze hüzmeli memelerde dağılım ve pülverizasyon karakteristikleri üzerinde bir araştırma. Doktora Tezi, 87s., Adana.
- Zeren, Y. ve Bayat, A. 1999. Tarımsal Savaş Mekanizasyonu. Ç.Ü. Zir. Fak., Genel Yayın No:233q, Ders Kitapları Yayın No:A-75, Adana.
- Zhu,H., Reichard, D.L., Fox, R.D., Brazee, R.D. and Özkan, H.E. 1994.Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. Transactions of the ASAE, 37(s); 1401-1407.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çağatay Kırkaç

Doğum Yeri : İzmir

Doğum Tarihi : 06/01/1975

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : İzmir 60. Yıl Anadolu Lisesi

Lisans : Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Aselsan A.Ş. Mikroelektronik, Güdüm ve Elektro-Optik Grubun Termal Sistemler Tasarım Mühendisi. 1998 yılından bu yana görev yapmaktadır.