



Mekanik Püskürtme Paternatörü Tasarımı, Prototip İmalatı ve Pülverizatör Memelerinde Akış Testleri

Design of A Mechanical Spray Paternator,
Prototype Manufacturing and Flow Tests
on Spray Nozzles

Ruçhan ÇÖMLEK¹, Bahadır SAYINCI²

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Samsun
· ruchan.comlek@omu.edu.tr · ORCID > 0000-0002-2240-4343

²Şeyh Edebalı Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bilecik
· bahadir.sayinci@bilecik.edu.tr · ORCID > 0000-0001-7148-0855

Makale Bilgisi/Article Information

Makale Türü/Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi/Received: 28 Ağustos/August 2023

Kabul Tarihi/Accepted: 23 Eylül/September 2023

Yıl/Year: 2023 | **Cilt-Volume:** 38 | **Sayı-Issue:** 3 | **Sayfa/Pages:** 597-618

Atıf/Cite as: Çömlek, R., Sayıncı, B. "Mekanik Püskürtme Paternatörü Tasarımı, Prototip İmalatı ve Pülverizatör Memelerinde Akış Testleri" Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 38(3), Ekim 2023: 597-618.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ruçhan ÇÖMLEK

MEKANİK PÜSKÜRTME PATERNATÖRÜ TASARIMI, PROTOTİP İMALATI VE PÜLVERİZATÖR MEMELERİNDE AKIŞ TESTLERİ

ÖZ

Bu araştırmada pülverizatör memelerinin püskürtme paternini belirlemek ve akış düzgünlüğünü kontrol etmek için 60 kanallı 120×100 cm ölçülerinde 20 mm kanal açıklığına sahip tek noktadan püskürtmeli, yüksekliği ayarlanabilir tipte düşük maliyetli bir püskürtme paternatörünün tasarımı ve prototip imalatı yapılmıştır. Paternatörün ölçüm tablasında kullanılan kanallar paslanmaz çelik sacdan imal edilmiştir. Test sisteminin ana gövdesinde yapı çeliğinden üretilmiş profiller kullanılmıştır. Püskürtme sırasında her bir kanalda biriken sıvı, 25 ml hacimli ölçü silindirlerinde toplanmıştır. Her denemeden sonra ölçü silindirlerinde biriken akışkanı tahliye etmek için aç-kapa mekanizması geliştirilmiştir. Her bir ölçü silindirine yerleştirilen işaretleyciler sayesinde püskürtme paterni izlenebilmiştir. Püskürtme paternini sayısallaştırmak için görüntüleme yapılmış ve değerlendirmeler görüntü işleme tekniğiyle gerçekleştirilmiştir. Püskürtme testleri için 5 farklı orifis çapına (Ø1.0 mm, Ø1.2 mm, Ø1.6 mm, Ø2.0 mm ve Ø2.4 mm) sahip konik hüzmeli meme plakaları kullanılmıştır. Püskürtme denemeleri sabit 8 bar işletme basıncında ve 55 cm püskürtme yüksekliğinde yapılmıştır. Denemeler her bir orifis çapı için 40 tekerrürlü yürütölmüştür. Deneme sonucunda püskürtme paterniyle ilgili çarpıklık, basıklık, püskürtme paterninin varyasyon katsayısı (%CV), farklı meme aralıklarında (25 cm, 30 cm, 35cm, 40 cm, 45 cm ve 50 cm) enine dağılım düzgünlüğü (%CV), meme hüzmeye açısı ve meme örtme genişliği değişkenleri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; paternatör prototipinde yapılan tüm püskürtme paterni testleri pratik bir şekilde yapılmış ve değerler başarılı bir şekilde alınmıştır. Hüzmeye açısı ortalamaları 78.1°-93.8° aralığında belirlenmiştir. Meme orifis çapı arttıkça püskürtme paterninin çarpıklığı azalmıştır. Püskürtme paternleri genelde normale göre üstten basık formda oluşmuştur. Ofisi çapı Ø1.0 mm ve Ø1.2 mm olan meme plakalarının en düşük CV ortalaması; 25 cm ve 30 cm meme aralıklarında elde edilmiştir. Büyük orifis çaplı memelerde optimum bum yüksekliğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dağılım Düzgünlüğü, Hüzmeye Açısı, Paternatör, Püskürtme, Pülverizatör.



DESIGN OF A MECHANICAL SPRAY PATERNATOR, PROTOTYPE MANUFACTURING AND FLOW TESTS ON SPRAY NOZZLES

ABSTRACT

In this research, to determine the spray pattern of the sprayer nozzles and to control the flow uniformity, the prototype of a 60-channel, 120×100 cm, single-point, height-adjustable, low-cost spray pattern with 20 mm channel opening was designed and manufactured. The channels used in the measuring table of the patternator are made of stainless-steel sheet. The profiles made of structural steel were used in the main body of the test system. The liquid accumulated in each channel during spraying was collected in 25 ml volume measuring cylinders. An open-close mechanism was developed to evacuate the fluid accumulated in the measuring cylinders after each attempt. The spray pattern could be monitored thanks to the markers placed on each measuring cylinder. The imaging was performed to digitize the spray pattern and the evaluations were performed by image processing technique. The hollow cone nozzles with 5 different orifice diameters (Ø1.0 mm, Ø1.2 mm, Ø1.6 mm, Ø2.0 mm and Ø2.4 mm) were used for the spray tests. The spraying trials were carried out at a constant operating pressure of 8 bar and a spray height of 55 cm. Trials were conducted with 40 replicates for each orifice diameter. As a result of the experiment, skewness, kurtosis, coefficient of variation of the spray pattern (%CV), transverse distribution uniformity (%CV), nozzle spray angle at different nozzle intervals (25 cm, 30 cm, 35cm, 40 cm, 45 cm and 50 cm) and the coverage width variables were determined. According to the research results; all the spray pattern tests on the spray patternator prototype were done practically and the values were taken successfully. The spray angle means were determined between 78.1°-93.8°. As the nozzle orifice diameter increased, the distortion of the spray pattern decreased. The spray patterns are generally formed in a flattened form from above compared to normal. The lowest CV average of nozzles with office diameters of Ø1.0 mm and Ø1.2 mm obtained at 25 cm and 30 cm nozzle intervals. For the nozzles with large orifice diameters, the optimum boom height must be determined.

Keywords: Beam Anglen, Patternator, Pulverizer, Spraying, Sprayer Uniformity.



1. GİRİŞ

Bitki koruma uygulamalarında en çok tercih edilen yöntem pestisitlerin kullanıldığı kimyasal mücadele yöntemidir. Hızlı ve kolay uygulanabilir olduğundan dolayı tercih edilen pestisitler, zararlı etmeni ortadan kaldırarak ürün kaybı riski-

ni minimize etmektedir. Kimyasal mücadelenin verimli, ekonomik ve çevre dostu olabilmesi için pestisit uygulama yöntemlerinin doğru seçilmesi ve bunların uygun işletme koşullarında kullanılması büyük önem taşımaktadır. Kimyasal mücadelede biyolojik etkinliğin yüksek olması, püskürtme sistemlerinin uygulamadaki başarısı ile doğrudan ilişkilidir. Pestisit uygulamalarında ana hedef; etkili maddeyi çevreyi kirletmeden hedefe iletmek ve uygulamayı önerilen dozda yapmaktır (Tuncer ve ark., 1998). Basınç etkisi altında püskürtme yapan sistemlerde basınç, meme ölçüsü, uygulama hacmi, püskürtme yüksekliği, uygulama hızı parametrelerinin atmosferik koşullara bağlı olarak seçilmesi ve uygulama öncesinde sistemin kalibre edilmesi gerekmektedir (Grisso, 1989). Aksi halde pestisitlerin önerilen dozda uygulanmaması ve damlaların hedef dışına sürüklenmesi, atmosfer ortamını ve toprağı kirleterek biyolojik dengeyi bozmakta ve insan sağlığı için potansiyel bir risk oluşturmaktadır (Younes ve Gorchev, 2000; Sayıncı ve Bastaban, 2008a).

Pestisit uygulamalarında püskürtme sistemi tarafından üretilen damlaların hedef yüzeye homojen bir şekilde yayılması gerekir (Sehsah ve Kleisinger, 2009). Ancak püskürtmeyi sağlayan memelerin kullanım süresine bağlı olarak aşınması ve orifis geometrisinin bozulması veya meme üretimi sırasında oluşan imalat kusurları, ideal püskürtme dağılımının değişmesine veya bozulmasına neden olmaktadır (Ergül ve Dursun, 2003b; Sayıncı, 2016). Bunun yanı sıra püskürtme memeleriyle birlikte kullanılan girdap plakası ve süzgeç gibi ek donanımlar bazı püskürtme özelliklerinin (meme debisi, damla çapı, püskürtme açısı) de değişmesine yol açabilmektedir (Sayıncı ve ark., 2013; Sayıncı ve Kara, 2014).

Pestisitlerin etkinliği, bitki koruma makinalarının uygulama başarısıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle pülverizatörler için geliştirilen test ve analiz sistemlerinde akışkan hacmi, püskürtme paterni, akış düzgünlüğü, hüzmeye açısı, püskürtme genişliği, damla çapı ve damla homojenliği gibi önemli püskürtme özellikleri belirlenmektedir. Bu alanda yaygın olarak kullanılan test ve analiz sistemlerinden birisi püskürtme paternatörleridir (Richardson, 1986). Paternatörler püskürtme sistemlerinin akış dağılımları hakkında bilgi verebilmekte ve bir veya çok noktadan akış sağlayan püskürtme sistemlerinin akış özellikleri püskürtme paternatörleriyle pratik bir şekilde belirlenebilmektedir (Spraying Systems Co. USA 2016).

Günümüzde püskürtme sistemlerini test ve analiz etmek için mekanik veya elektronik donanıma sahip çeşitli özelliklere sahip yatay ve dikey püskürtme paternatörleri geliştirilmiştir. Bu paternatörler, ölçme tekniği açısından birbirlerinden farklı olduğu gibi ölçme hassasiyeti, desenleme yöntemi, kullanım kolaylığı, hızlı ölçüm yapabilme ve üretim maliyeti yönleriyle farklılık göstermektedir. (Koh ve ark., 2006) tarafından yüksek basınçlı sistemlerde püskürtmeyi analiz etmek için optik bir paternatör geliştirilmiştir. Bu paternatörde yüksek basınçta püskürtmeyle oluşan dağılım, lazer ışınıyla taranmış ve püskürtme bölgesinden geçen ışınların miktarı bir CCD kamerayla belirlenerek püskürtme dağılımı incelenmiştir.

Optik yöntemle püskürtme paternini analiz eden bir paternatör de (Ullom ve Sojka, 2001) tarafından geliştirilmiş ve paternatörün püskürtme sistemlerinin kalite-kontrolü için basit, hızlı ve yüksek çözünürlüklü desenleme verileri sağlandığı belirtilmiştir. (McVey ve ark., 2012) tarafından gaz türbinlerinin yakıt enjektörleri tarafından yüksek basınçta oluşturulan püskürtmenin paternini analiz etmek için bir paternatör geliştirilmiştir. Püskürtmeyle oluşan kütle akışı, uzay geometrisi esas alınarak paternatörde analiz edilmiş ve desenleme çalışmaları yüksek çözünürlükte yapılmıştır. (Luck ve ark., 2016)'un araştırmalarında mekanik paternatörlerde otomatik bir püskürtme ölçüm sistemi geliştirmek için dijital sıvı seviye sensörü kullanılmıştır. Araştırmada manuel ve otomatik ölçümle alınan veri setleri arasındaki standart sapma oldukça düşük bulunmuş ve otomatik ölçüm sisteminin farklı meme konfigürasyonları için uygun sonuçlar sağladığı belirtilmiştir. Otomatik ölçüm sistemlerinden önce paternatörün toplam silindirlerinde biriken akışkanın kütesinin bilgisayara bağlı elektronik bir teraziyle tartılarak belirlendiği görülmektedir (Richardson ve ark., 1986). Standart tip mekanik paternatörlerde kullanılan sıvı toplama silindirlerinin manuel olarak değerlendirildiğini, verilerin kaydedilmesinde ve püskürtme paterninin analiz edilmesinde operatör duyarlılığının yüksek olduğunu ve desenleme çalışmalarının ortalama 34 dakikada tamamlandığını belirtmişlerdir. Bu gerçekçeyle araştırmalarında otomatik bilgisayarlı püskürtme modeli analiz sistemi geliştirilmiş ve püskürtme paterninin otomatik olarak zaman kaybı oluşmadan hızlı ve doğru bir şekilde belirlendiği vurgulanmıştır (Ozkan ve Ackerman, 1992).

Püskürtme kalitesi üzerine yapılmış bilimsel çalışmalarda paternatörlerin kullanımını oldukça eskiye dayanmaktadır (Rice, 1967). Günümüze kadar temel çalışma prensibi değişmeden püskürtme sisteminin yapısına uygun şekilde gereksinimleri karşılayan sadece yatayda değil, dikey oryantasyonda da test ve analizler yapan paternatörler geliştirilmiştir. Bu kapsamda ceviz ağaçlarında aksenal fan ve radyal fan tertibatına sahip iki farklı hava akımlı bahçe pülverizatörünü püskürtme dağılımı açısından karşılaştırmak (Bock ve ark., 2023); elma ağacında konvansiyonel ve elektrostatik yüklemeli püskürtme sistemlerinin performansını belirlemek (Salcedo ve ark., 2023); yelpaze hüzmeli memelerde orifis büyüklüğü, çalışma basıncı ve memeler arası mesafenin hacimsel dağılıma olan etkisini ortaya koymak (Griesang ve ark., 2022) ve hava emişli yelpaze hüzmeli memelerin sürüklenme potansiyelini (Dafsari ve ark., 2021) belirlemek için paternatör kullanılmıştır. Araştırmalarda pestisit uygulama sistemlerinin hacimsel dağılım düzgünlüğü üzerinde rüzgar etmeni (rüzgar hızı ve yönü) ve pülverizatör işletme parametrelerinin (bum yükseklığı, püskürtme basıncı, meme konum açısı, memeler arası mesafe, hava hızı, uygulama hacmi vb.) etkisi incelenmekte ve püskürtme sistemleri sürüklenme açısından değerlendirilmektedir (Sehsah ve Kleisinger, 2009; Minoy ve ark., 2014; Pascuzzi ve ark., 2017; Grella ve ark., 2022; Palleja ve ark., 2023).

Paternatörler, pestisit uygulamalarında kullanılan püskürtme sistemlerinin performansını ortaya koyan önemli bir test ve analiz ekipmanıdır. Elektronik donanıma sahip paternatörler mekanik olanlara göre pratik ve oldukça hızlı sonuçlar sağlasa da üretim maliyetleri oldukça yüksektir. Bu araştırmada amaç; standart endüstriyel malzemeler kullanarak hassas ölçüm yapabilen, kullanımı kolay, işlevi pratik ve düşük maliyetli mekanik bir paternatör tasarlamak, prototip imalatını gerçekleştirmek ve bazı pülverizatör memelerinin değişen işletme koşulları altında akış testlerini yapmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Paternatör Prototipinin İmalatında Kullanılan Malzemeler

Paternatörün modelleme çalışmaları için AutoCAD yazılımı kullanılmıştır. Ölçülü modellenen tek parçaların montajı gerçekleştirilmiş ve her birinin yapım resimleri hazırlanmıştır. Modellemede imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan standart boru, profil ve köşebent ölçüleri esas alınmıştır. Prototipin ana gövdesini oluşturmak için 80×40 mm ve 40×40 mm kutu profiller, 40×40×3 mm ve 30×30×2 mm ölçülerinde L köşebentler kullanılmıştır. Ana gövdede kullanılan tüm profil ve köşebentler S235 çeliğinden seçilmiştir. Paternatöre hareket özelliği kazandırmak için ana gövdenin tabanına 4 adet Ø125 mm çapında endüstriyel teker (rulmanlı) monte edilmiştir. Paternatörün kanal tablası 20×40 mm ölçülerinde dikdörtgen profilden (S235) imal edilmiştir. Kanallar için 0.5 mm kalınlığında ve 120 mm yüksekliğinde paslanmaz çelik (AISI 304) sac kullanılmıştır. Her bir kanalın önünde perde görevi görebilmesi için polipropilen (PP) boru kesitleri kullanılmıştır. Sıvı iletim hattında kullanılan silindirik borular delrin (polioksimetilen, POM) malzemedен imal edilmiştir. Akışkanın tahliye hattında kullanılan borular pirinç malzemedен imal edilmiştir. Ölçü tüpleri için 25 ml hacminde polistren malzemedен üretilmiş pipetler kullanılmıştır. Sıvı iletim hattı ile tahliye hattı birbirine iç çapı Ø6.0 mm olan kauçuk hortumlarla bağlanmıştır. Ölçü tüpleri için 40×40 mm ve 25×25 mm kutu profiller ve 25×25×2 mm ölçülerinde L köşebentler kullanılmıştır. Paternatörün tüm aksamında kaynaklı ya da civatalı birleştirme yapılmıştır.

2.2. Pülverizatör ve Güç Ünitesi

Paternatörde yürütölen denemelerde püskürtme hattı 200 litre depo (polietilen, PE) kapasiteli bir tarla pülverizatöründen (TP 200 Piton, Taral, İstanbul, TR) sağlanmıştır. Pülverizatörün standart donanımında 6 metre iş genişliğine sahip bum üzerinde 50 cm aralıklarla 12 adet tek çıkışlı membranlı tip meme gövdesi bulunmaktadır. Basınç regülatörü (maksimum 40 bar, 90 l dk⁻¹, RG-7 Model) kademesiz olarak ayarlanabilir özelliktedir. İşletme basıncı 0-25 bar göstergeli gliserin dolgu bir manometreden (Pakkens Model, TR) kontrol edilmiştir. Pülverizatörün

pompası piston-membranlı tip (TAR30, 2 pistonlu, %67 verim, Taral, TR) olup 39.2 bar (40 l cm^{-2}) anma basıncında 40 l dk^{-1} anma debisine ulaşmaktadır.

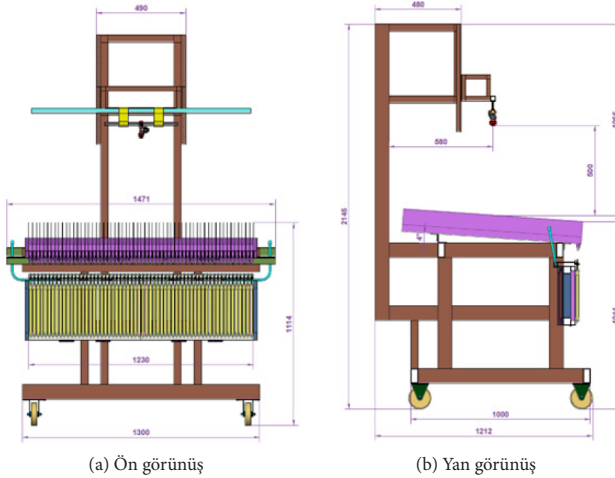
Deneme süresince pülverizatör pompası, anma gücü 2.2 kW (1405 rpm) olan bir elektrik motoru (AGM 100L 4a type, Gamak, TR) kullanılmıştır. Motor devri bir kayış-kasnak tertibatıyla 1/2.8 oranında düşürülmüştür. Pompa milinin devri optik bir takometreyle (Testo 465, KGaA) 500 rpm olarak ölçülmüştür.

2.3. Püskürtme Sistemi

Pülverizatörün pompa çıkışı 15 metrelik bir hidrolik hortumla paternatörün (60 kanallı, 125 cm genişlik, 100 cm uzunluk, 20.5 mm kanallar arası mesafe) akış hattına bağlanmıştır. Pülverizatör memesi paternatörün akış hattı üzerindeki üç çıkışlı membranlı tip meme gövdesine (Arag SRL 40642W7 Model, IT) monte edilmiştir. Püskürtme basıncı, memeye çok yakın bir noktada monte edilen maksimum 10 bar göstergeli gliserin dolgulı bir manometreden (Pakkens® MG050GRS1 Model, TR) kontrol edilmiştir. Akış kontrolü diyaframalı tip bir selenoid valf (SMS-TORK S1020 tip, TR) ile sağlanmıştır.

2.4. Paternatör Prototipinin Tasarımı ve İmalatı

Püskürtme paterni test ekipmanı olarak adlandırılan paternatör prototipi tek memeden püskürtme yapacak şekilde püskürtme yüksekliği ayarlanabilir özellikte imal edilmiştir (Şekil 1)

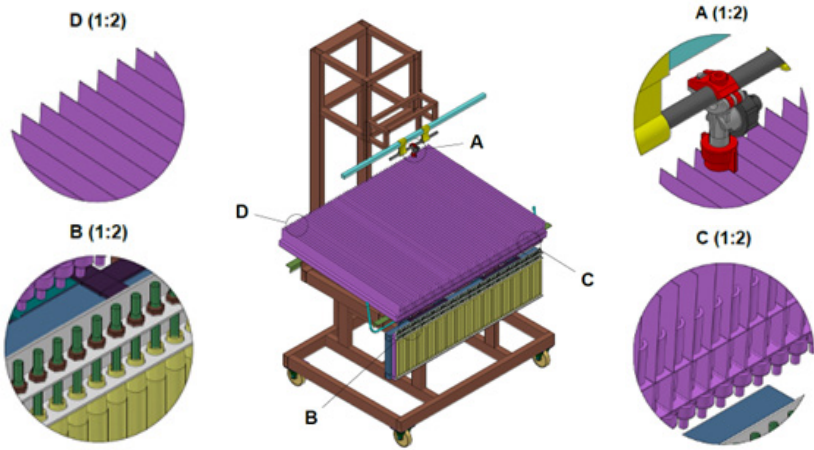


Şekil 1. Paternatörün ön ve yan görünüşleri ve genel ölçüleri

Figure 1. Front and side views and general dimensions of the paternator

Test ekipmanı, yeri değiştirilebilir özellikte planlandığından paternatör ölçü tüpleri standı, paternatör kanal tablası, püskürtme yüksekliği ayar çatısı, paternatörün ana gövdesine monte edilmiş ve tüm aksamın dört adet endüstriyel teker üzerinde hareket etmesi sağlanmıştır. Katı modeli oluşturulan paternatörün en büyük genişlik, yükseklik ve derinlik ölçüleri sırasıyla 147×215×121 cm olarak belirlenmiştir.

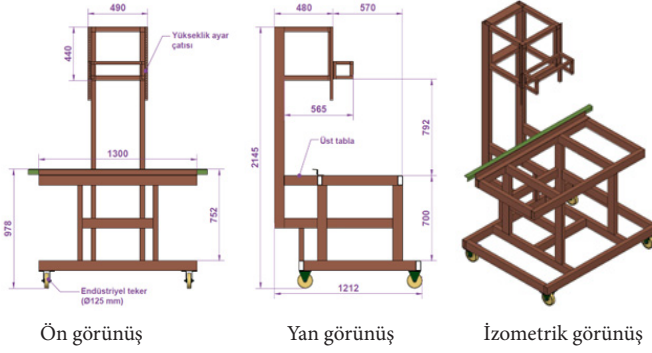
Püskürtme paterni test ekipmanının montajı yapılmış halde izometrik görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir. Paternatörde bir adet membranlı tip meme gövdesi kullanılmıştır (Görünüm A). Paternatörün kanallarına giren sıvı (Görünüm D), eğimli duran tabladan sıvı iletim borularına (Görünüm C) ulaşmaktadır. Akışkan, kauçuk hortumlar vasıtasıyla sıvı tahliye borularına (Görünüm B) ulaşarak ölçü tüplerine akmakta ve enine düzlemde püskürtme paterninin oluşması sağlanmaktadır.



Şekil 2. Şekil Paternatör prototipinin izometrik görünümü ve bazı önemli kısımları

Figure 2. Isometric view and some important parts of the patternator prototype

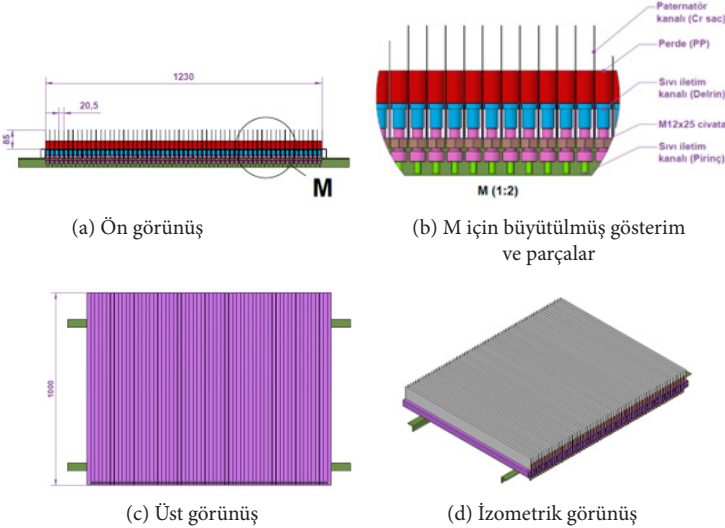
Paternatörün çatısı tüm aksamıyla yeri değiştirilebilir şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla yürüyen aksamda dört adet Ø125 mm çapında endüstriyel teker kullanılmıştır. Paternatör tablasının eğimli konumlandırılabilmesi için üst gövdeye lama ve köşebent yerleştirilmiştir. Püskürtme hattı ve pülverizatör memesinin montajını yapmak ve püskürtme yüksekliğini ayarlanabilir kılmak için ana gövdenin arkasına yüksek çatı yerleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Paternatör çatısının ön, yan ve izometrik görünüşleri

Figure 3. Front, side and isometric view of the paternator body.

Paternatör tablası 123×100 cm ölçülerinde imal edilmiştir. 60 kanallı imal edilen paternatörde kanallar arası mesafe 20.5 mm ve kanal yüksekliği 85 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Kanallarda toplanan akışkan, eğimli paternatör tablasından sıvı iletim kanalına ulaşırken perdenin önünde birikmektedir. Kanalın sonundaki orifisten sıvı iletim kanalına ulaşan akışkanın tahliye borusu aracılığıyla ölçü tüplerine iletilmesi sağlanmıştır. İletim hattı boyunca sızdırmazlığı sağlamak amacıyla kauçuk ve sıvı conta kullanılmıştır. Sıvı iletim ve tahliye hattını orifise bağlamak için M12 imbus civata kullanılmıştır. Bu amaçla civata şaftının ortası Ø9 mm çapında boydan boya delinmiştir.



(a) Ön görünüş

(b) M için büyütülmüş gösterim ve parçalar

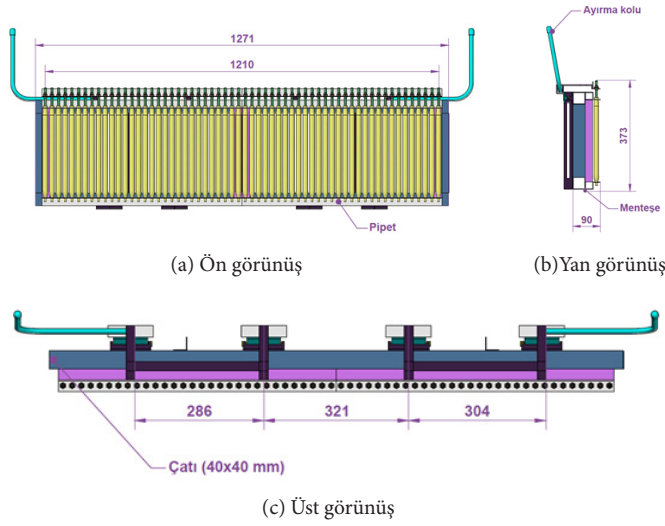
(c) Üst görünüş

(d) İzometrik görünüş

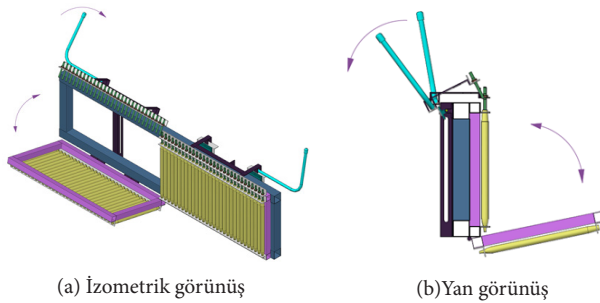
Şekil 4. Paternatörün kanal tablası

Figure 4. The channel table of the paternator

Paternatör ölçümlerinin pratik bir şekilde yapılabilmesi için ölçü tüplerinde biriken sıvının kolayca tahliye (boşaltım) edilebileceği bir aç-kapa mekanizması tasarlanmıştır. Bu mekanizmanın genel ölçüleri ve izometrik görünümü Şekil 5'de gösterilmiştir. Ölçü tüplerinin yerleştirildiği profil çatısı, ana çatı üzerinde menteşeli olarak monte edilmiştir. Akışkanı boşaltmak için öncelikle tahliye boruları, açma kolu vasıtasıyla geriye çekilerek ölçü tüplerinin içinden çıkarılmaktadır. Ölçü tüplerinin yerleştirildiği profil çatısı Şekil 6'da gösterildiği gibi ok yönünde hareket ettirilerek tüplerde biriken akışkan dışarı tahliye edilmektedir.



Şekil 5. Ölçü tüplerinde biriken akışkanı tahliye etmek için hazırlanan aç-kapa mekanizması
Figure 5. On-off mechanism prepared to discharge the fluid accumulated in the measuring tubes



Şekil 6. Aç-kapa mekanizmasının çalışması (Akışkan transfer borularının geri çekilmesi ve tüp standının öne açılması)

Figure 6. The operation of the on-off mechanism (Retraction of fluid transfer tubes and forward opening of tube stand)

Katı modeli oluşturulan paternatör prototipinin yapım (imalat) resimleri oluşturularak malzeme gereksinimi belirlenmiş ve prototip imalat aşamasına geçilmiştir. İmalatı yapılan mekanik paternatör görselleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Her bir ölçü silindirinde biriken akışkanın birbirleri arasındaki seviye farklılıklarını gözlemlemek için her bir tüpe beyaz renkli işaret boncuğu (işaretleyici) bırakılmıştır. Akışkan silindire doldukça işaret boncuğu da yükselerek sıvı seviyesi gözlemlenebilmektedir.



(a) Genel görünüş



(b) Akışkan transfer hattı ve ölçü tüpleri



(c) Akışkanın aç-kapa mekanizmasıyla tahliye edilmesi

Şekil 7. Paternatör prototipi

Figure 7. Patternator prototype

2.5. Püskürtme Paterni Testlerinde Kullanılan Memeler

Püskürtme paterni ve akış düzgünlüğünü kontrol etmek için orifis çapları $\text{Ø}1.0$ mm, $\text{Ø}1.2$ mm, $\text{Ø}1.6$ mm, $\text{Ø}2.0$ mm ve $\text{Ø}2.4$ mm olan polioksümetilen (POM) malzemeden üretilmiş konik hüzmeli meme plakaları kullanılmıştır. Denemeler her bir çap grubundan şansa bağlı seçilen 40 adet meme plakasıyla yürütülmüştür. Meme plakalarının her birinde aynı girdap plaketi (POM, 2 girdap açıklığı, sarı renkli) ve aynı tip süzgeç (50 mesh, Cr-Ni, yuvarlak tip) kullanılmış ve test boyunca değiştirilmemiştir. Böylece girdap plaketi ve süzgeç kullanımının gerek debiye gerekse püskürtme karakteristiklerine olan etkisi elimine edilmiş ve mevcut donanımların varyasyona olan etkisi giderilmiştir. İncelenen parametreleri etkileyebilecek koşulların standardize edilmesi, hem düzgün akış vermeyen meme plakasını belirlemeyi, hem de meme plakalarında akışı bozan etmeni tespit etme açısından da önem kazanmıştır.

2.6. Meme Debisinin Ölçülmesi

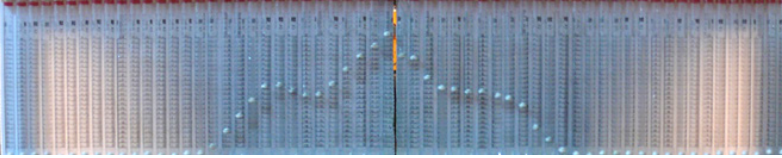
Debi ölçümleri her meme plakası için sabit 8 bar işletme basıncında yapılmıştır. Ölçümler dijital göstergeli bir debi ölçerle (Sprayer Calibrator, SpotOn®, Model: SC-1, IL, ölçüm hassasiyeti: $\pm\%2.5$; ölçüm aralığı: $0.08-3.79 \text{ l dk}^{-1}$) yapılmış ve her ölçüm 3 kez tekrarlanmıştır. Debi değerleri; ortalama, standart sapma ve %95 güven aralıklarıyla birlikte verilmiştir.

2.7. Püskürtme Paterninin Görüntüleme Yöntemiyle Sayısallaştırılması

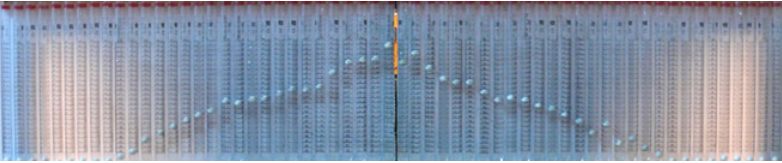
Pülverizatör memelerinin akış testlerinde paternatör kanallarında biriken sıvı, serbest rejimde ölçü silindirlerine dolmakta ve iki boyutlu (x-y) düzlemde bir patern oluşturmaktadır. Bu düzlemde oluşan paterni sayısallaştırmak için görüntüleme yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla ölçü silindirlerinin dizili olduğu tablaya 200 cm uzaklıkta dijital bir kamera (Panasonic Lumix DMC-FZ50, JP) yerleştirilmiştir. Test boyunca görüntüleme mesafesini sabitlemek için bir tripod kullanılmıştır. Görüntüleme sırasında titreşimi elimine etmek için kameraya harici bir deklanşör bağlanmıştır. Dijital kamerayla elde edilen püskürtme paterni örnekleri Şekil 8'de gösterilmiştir.



Örnek 1



Örnek 2



Örnek 3

Şekil 8. Dijital kamerayla elde edilen bazı püskürtme paterni görüntüleri

Figure 8. Some spray pattern images obtained from the digital camera

Akışkanın ölçü silindirlerinde birikerek beyaz renkli işaret toplarının oluşturduğu püskürtme paternini sayısallaştırmak için ImageJ (Wayne Rasband, v.1.38x, USA) görüntü işleme yazılımı kullanılmıştır. Görüntüler programın arayüzünde açılmış ve her bir tüp içindeki işaretleyicilerin y koordinatı markörle işaretlenerek belirlenmiştir. Koordinatlar piksel cinsinden kaydedilmiş ve püskürtme paterni her ölçü silindirinde biriken akışkanın yüksekliğine göre sayısallaştırılmıştır.

2.8. Örtme Genişliği ve Hüzme Açısının Belirlenmesi

Püskürtme uygulamaları 55 cm yükseklikten yapılmıştır. Her bir meme plakası, sabit 8 bar işletme basıncında çalıştırılmış ve püskürtülen sıvının paternatör kanallarından ölçü silindirine akarak püskürtme paterninin oluşması sağlanmıştır. Örtme genişliği (b , cm), paternatörde iki kanal arası mesafe (m_k), püskürtme paterninin elde edildiği tüp sayısı (n_k , adet) çarpılarak belirlenmiştir (Eşitlik 1). Meme hüzme açısını (α°), sabit püskürtme yüksekliğinde (h , cm) hesaplamak için Eşitlik (2) kullanılmıştır.

$$b = m_k \cdot n_k \quad (1)$$

$$\alpha^\circ = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{b}{2 \cdot h} \right) \quad (2)$$

2.9. Püskürtme Paterninin Hacimsel Dağılım Düzgünlüğü, Çarpıklık ve Basıklık Açısından Karşılaştırılması

Hacimsel dağılım düzgünlüğünü belirlemek için tek noktadan püskürtme yapılarak oluşan paternin verileri kullanılmıştır. Her bir püskürtme paternine ait veri setinin standart sapması (SS), ortalamaya (\bar{x}) oranlanmış ve hacimsel dağılım düzgünlüğü varyasyon katsayısı ($\%CV$) olarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3).

Püskürtme paternlerinin normale göre simetrik dağılıp dağılmadığını veya daha basık olup olmadığını belirlemek ve buna göre dağılımın tanımını yapmak için her bir veri setinin çarpıklık ve basıklık istatistikleri incelenmiştir. Püskürtme paterninin çarpıklık katsayısının 0 olması dağılımın istatistiksel olarak normal olduğu anlamına gelmektedir. Çarpıklık katsayısının pozitif olması paternin sağa çarpık, negatif olması ise sola çarpık olduğunu göstermektedir. Pozitif çarpıklık durumunda ortalama medyandan büyük; negatif çarpıklık durumunda ise ortalama medyandan küçük değer almaktadır. Çarpıklık katsayısı ± 0.5 sınırları arasında dağılım “tamamen simetrik” ve ± 1.0 sınırları arasında ise dağılım “iyi derecede simetrik” kabul edildiği belirtilmiştir (Hatem ve ark., 2022).

Püskürtme paterninin basıklık katsayısı, dağılımın sivriliği ya da basıklığı hakkında bilgi vermekte olup normal dağılımda bu değerin 0 olması beklenmektedir. Basıklık katsayısı pozitif olduğunda dağılım normale göre daha sivri, negatif olduğunda normale göre daha basık bir dağılım oluşmaktadır (Kalaycı, 2006; Karagöz, 2016; Hatem ve ark., 2022).

$$\%CV = \frac{SS}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (3)$$

2.10. Enine Dağılım Düzgünlüğü

Farklı orifis çaplarına sahip konik hüzmeli memelerin yan yana 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm ve 50 cm aralıklarla yerleştirilmesi durumları için enine dağılım düzgünlüğü belirlenmiş ve bu amaçla Eşitlik (3)'de verilen varyasyon katsayısı (%CV) formülü kullanılmıştır. Hesaplamaları yapmak için Excel'de kişisel bir makro modül geliştirilmiştir. Bu modülde her bir meme aralığı için 5 adet meme yan yana dizilmiş ve her bir memenin püskürtme paterni verileri üst üste bindirme yapılarak toplanmıştır. Araştırma süresince püskürtme yüksekliği sabit olup 55 cm yükseklik için veriler toplanmıştır.

2.11. İstatistik Analiz

Meme plakası orifis çapının örtme genişliğine, hüzmeye açısına, hacimsel dağılım düzgünlüğüne, dağılımın çarpıklık ve basıklık istatistiklerine olan etkisini belirlemek için elde edilen verilere tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Önemli bulunan ortalamalar arasındaki fark %95 önem düzeyinde Tukey HSD testiyle belirlenmiştir. İstatistiksel analizler SPSS 20.0 paket programında yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mekanik Paternatör Prototipinin Kullanımı

Prototip üzerinde çok tekrarlı püskürtme uygulamaları yapılmıştır. Paternatör tablası ve akışkan transferinde kullanılan tüm bağlantılar sızdırmazlık açısından kontrol edilmiştir. Tablanın altında, ölçü tüplerinde, hortum ve rekorlu bağlantılarda oluşan kaçaklar sıvı conta kullanılarak giderilmiştir. Püskürtmeden sonra kanallarda toplanan akışkanın kendi rejimiyle transfer borularına iletilebilmesi için tablanın %5'lik eğimi yetersiz bulunmuş ve eğim %8'e artırılmıştır. Akışkanın kanallardan akararak sıvı transfer borularından ölçü silindirlerine kayıp olmadan iletilebilmesi için boru çıkışının silindirin içinde kalması ve ölçü silindirine temas etmeden sabit bir konumda kalması sağlanmıştır. Ölçü silindirlerinde biriken akışkanı boşaltmak için kullanılan aç-kapa mekanizması, açık konumda yakla-

şık 150° açıyla sabitlenmiştir. Mekanizmanın kapalı konumda iken yerinde sabit kalabilmesi için gövdeye neodyum mıknatıs yerleştirilmiştir. Püskürtme paterni oluştuktan hemen sonra püskürtmeyi durdurmak için pompanın basma hattına normalde açık konumlu bir selenoid valf monte edilmiş ve valfin kontrolü bir elektrik anahtarıyla sağlanmıştır.

3.2. Meme Debisi

Konik hüzmeli meme plakalarının debi ortalamaları ve istatistikleri **Çizelge 1**'de verilmiştir. Farklı orifis çaplarına sahip konik hüzmeli meme plakalarında 8 bar işletme basıncında ölçülen debi ortalamaları 0.73-2.24 l dk⁻¹ aralığında değişmiştir. Orifis çapı (d , mm) ve debi (q , l dk⁻¹) arasındaki ilişki ($R^2=0.9995$) doğrusal eşitliği ile tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Farklı orifis çaplı konik hüzmeli memelerde 8 bar işletme basıncında ölçülen debi istatistikleri (Kullanılan girdap: Yerli yapım sarı renkli plakette; Süzgeç tipi: 50 mesh yuvarlak tip)

Table 1. Flow statistics measured at 8 bar operating pressure in conical jet nozzles with different orifice diameters. (Swirl used: Locally made yellow plate; Strainer type: 50 mesh round type)

Orifis Çapı (mm)	Debi ort.±SS (l dk ⁻¹ , @8 bar)	%95 Güven Aralığı
Ø1.0	0.73±0.02	0.72-0.73
Ø1.2	0.98±0.04	0.97-1.00
Ø1.6	1.39±0.05	1.37-1.41
Ø2.0	1.81±0.06	1.79-1.83
Ø2.4	2.24±0.08	2.21-2.27

3.3. Püskürtme Paterninin Örtme Genişliği ve Hüzme Açısı

Varyans analizi sonuçlarına göre meme plakalarında kullanılan farklı orifis çaplarının örtme genişliğine (HKO= 33,2; SD= 4; F= 63,3, p<0.000) ve hüzme açısına etkisi (HKO= 14,4; SD= 4; F= 61,3, p<0.000) istatistiksel açıdan çok önemli bulunmuştur.

Meme plakalarının örtme genişliği ve hüzme açısı ortalamaları **Çizelge 2**'de karşılaştırılmıştır. Orifis çapı Ø1.0 mm, Ø1.2 mm ve Ø1.6 mm olan meme plakalarında örtme genişliği 70.6-72.7 cm ve hüzme açısı 78.1°-81.2° aralığında değişmiş ve ortalamalar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. En büyük örtme genişliği ve hüzme açısı değerleri Ø2.0 mm ve Ø2.4 mm orifis çaplı meme plakalarında saptanmış ve ortalamalar diğer küçük orifis çaplı memelere (Ø1.0

mm, Ø1.2 mm ve Ø1.6 mm) göre önemli düzeyde farklı bulunmuştur. Orifis çapı Ø2.0 mm ve Ø2.4 mm olan memelerde örtme genişliği 79.5-80.8 cm ve hüzmeye açısı 91.7°-93.8° aralığında değişmiştir.

Çizelge 2. Farklı orifis çaplı konik hüzmeli meme plakalarında 8 bar işletme basıncı koşulunda elde edilen örtme genişliği ve hüzmeye açısı ortalamalarının karşılaştırılması.

Table 2. Comparison of the average coverage width and beam angle obtained in conical beam nozzle plates with different orifice diameters under 8 bar operating pressure condition.

Orifis Çapı (mm)	Örtme Genişliği (b, cm)	Hüzmeye Açısı (α°)
Ø1.0	72.7±4.7 a*	81.2±7.0 a
Ø1.2	70.6±3.6 a	78.1±5.1 a
Ø1.6	71.9±3.9 a	79.9±5.7 a
Ø2.0	79.5±3.4 b	91.7±5.4 b
Ø2.4	80.8±3.3 b	93.8±5.5 b

*: Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre aynı sütunda farklı harfle (a-b) gösterilen ortalamalar %95 önem düzeyinde farklıdır.

3.4. Püskürtme Paterninin Hacimsel Dağılım Düzgünlüğü, Çarpıklık ve Basıklık Katsayıları

Varyans analizi sonuçlarına göre meme orifis çapı; püskürtme paterninin varyasyon katsayısını (HKO= 39,5; SD= 4; F= 6.278, $p<0.000$), çarpıklığını (HKO= 0.064; SD= 4; F= 7.550, $p<0.000$) ve basıklığını (HKO= 0.326; SD= 4; F= 6.335, $p<0.000$) istatistiksel açıdan çok önemli düzeyde değiştirmiştir.

Çizelge 3'te karşılaştırılan ortalamalarda meme orifis çapı arttıkça püskürtme paterninin hacimsel dağılımdaki varyasyonu artış göstermiştir. Özellikle yüksek debilerde varyasyon katsayısı artma eğiliminde olmasına karşın paternin çarpıklığı ise çok önemli düzeyde azalmıştır. Meme plakası delik çarpı arttıkça çarpıklık normal dağılıma yaklaşmıştır. Ø2.0 mm ve Ø2.4 mm orifis çaplı meme plakalarının çarpıklık katsayısı istatistiksel diğerlerine göre belirgin düzeyde farklıdır. Tüm meme orifis çapları için çarpıklık katsayısı pozitif olduğundan dağılım sağa çarpık olarak gerçekleşmiştir. Ancak istatistiksel olarak çarpıklık katsayısı ± 1.0 sınırları arasında değiştiğinden elde edilen tüm dağılımlar "iyi derecede simetrik" olarak kabul edilmiştir (Hatem ve ark., 2022). Basıklık katsayısı en düşük ve dolayısıyla normal dağılıma en yakın meme plakası Ø1.0 mm'de elde edilmiştir. Diğer meme orifislerinin basıklık katsayıları arasındaki fark önemsizdir. Tüm basıklık katsayıları negatif olduğundan konik hüzmeli memelerinde normale göre basık bir dağılım gösterdiği sonucuna varılmıştır.

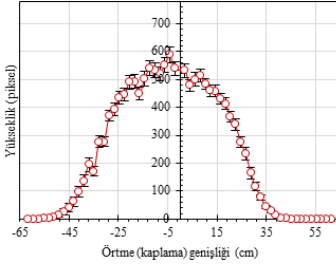
Çizelge 3. Püskürtme paterninin hacimsel dağılım düzgünlüğü, çarpıklık ve basıklık katsayılarının karşılaştırılması.

Table 3. Comparison of volumetric distribution uniformity, skewness and kurtosis coefficients of the spray pattern

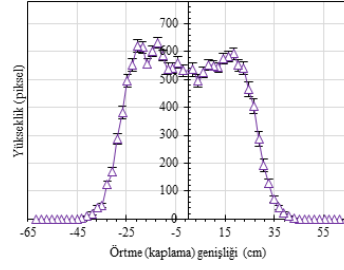
Orifis Çapı (mm)	Hacimsel Dağılım Düzgünlüğü (%CV)	Çarpıklık	Basıklık
Ø1.0	59.7±6.1 a*	0.583±0.299 a	-0.842±0.832 a
Ø1.2	58.6±5.7 a	0.454±0.175 b	-1.364±0.379 b
Ø1.6	59.4±4.9 a	0.419±0.204 b	-1.416±0.442 b
Ø2.0	64.9±8.4 b	0.391±0.304 bc	-1.247±0.602 b
Ø2.4	61.4±5.7 ab	0.280±0.257 c	-1.281±0.487 b

*: Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre aynı sütunda farklı harfle (a-c) gösterilen ortalamalar %95 önem düzeyinde farklıdır.

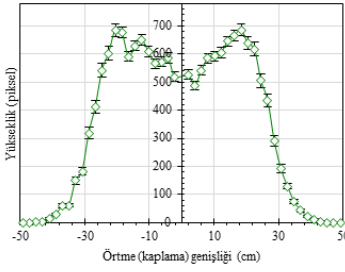
Şekil 9'a göre simetrik dağılımda püskürtme paterninin dikey orta eksenin her iki tarafında da aynı olması beklenmektedir. Püskürtme paternlerine göre orifis çapı Ø1.0 mm olan meme plakasında püskürtme paterni içi dolu konik hüzmeye şeklinde oluşurken, diğer orifis çaplarında ortası çukur çift tepeli yani içi boş konik hüzmeye şeklinde oluşmuştur. Ortalama değerler esas alınarak oluşturulan bu dağılım grafiklerinde orifis çapı Ø1.2 mm, Ø1.6 mm, Ø2.0 mm ve Ø2.4 mm olan memelerde asimetric dağılımlar az ya da çok gözlemlenebilmektedir.



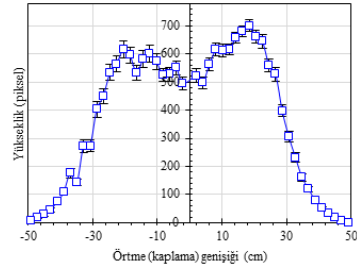
(a) Orifis apı Ø1.0 mm



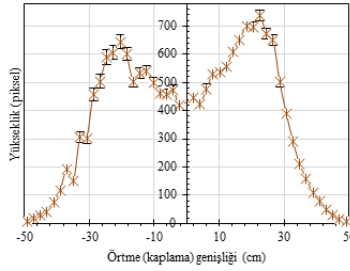
(b) Orifis apı Ø1.2 mm



(c) Orifis apı Ø1.6 mm



(d) Orifis apı Ø2.0 mm



(e) Orifis apı Ø2.4 mm

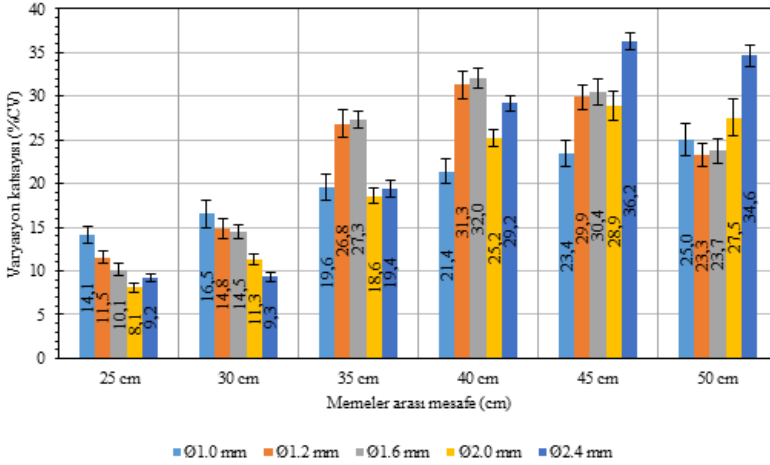
Şekil 9. Meme orifis çaplarına göre püskürtme paterninin değişimi (Ortalama±Standart hata)

Figure 9. Variation of spray pattern according to the nozzle orifice diameters (Mean±Standard error)

3.5. Yan Yana Dizilişte Enine Dağılım Düzgünlüğü

Memeler arası mesafesinin 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm ve 50 cm olması koşullarında enine dağılım düzgünlüğünün (%CV) orifis çaplarına göre değişimi **Şekil 10**'da gösterilmiştir. Tüm meme plakalarında en düşük CV, 25 cm ve 30 cm meme aralıklarında elde edilmiştir. Memeler arası mesafe 25 cm ve 30 cm olduğunda orifis çapı arttıkça daha düşük CV değerlerine ulaşılmıştır. Memeler 35 cm ve daha büyük aralıklarla yerleştirildiğinde CV ortalamaları belirgin bir şekilde artmıştır.

Prairie Tarım Makinaları Enstitüsü (PAMI, Kanada) tarafından durağan konumda paternatörde yapılan ölçümlerde %15 düzeyindeki enine dağılım için varyasyonun kabul edilebilir olduğu bildirilmektedir (Bode ve ark., 1983; Azimi ve ark., 1985). Buna karşın %10 düzeyindeki varyasyon için sıvı dağılımı "oldukça homojen" olarak tanımlanmıştır (Azimi ve ark., 1985; Krishnan ve ark., 1988). Kabul edilebilir enine dağılım düzgünlüğüne göre sınır koşullar olarak 8 bar işletme basıncı ve 55 cm püskürtme yüksekliği göz önüne alınırsa konik hüzmeli memelerin 25 cm aralıklarla yerleştirilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan Ø1.0 mm orifis çaplı meme hariç, diğer meme plakaları 30 cm aralıklarla yerleştirildiğinde kabul edilebilir CV değerlerine ulaşıldığı görülmüştür.



Şekil 10. Meme orifis çaplarına göre memeler arası mesafenin enine dağılım düzgünlüğüne etkisi (%CV), (Ortalamalar, standart hata değerleriyle gösterilmiştir)

Figure 10. The effect of the distance between the nozzles according to the nozzle orifice diameters on the evenness distribution uniformity (%CV), (Averages are shown with standard error values)

SONUÇLAR

Standart paternatörlerde kanallar arası mesafe 25 mm'dir (Ozkan ve ark., 1992). Prototip olarak tasarlanan mekanik paternatörün kanal aralığı mevcut halde 20,5 mm olduğundan püskürtülen akışkanın dağılımı daha dar aralıklarla ölçülebilmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde imal edilen prototipin ölçüm hassasiyetinin standart paternatöre göre daha yüksek olduğu kanısına varılmıştır. Prototip imalatı, araştırmanın amacına uygun şekilde düşük maliyetli olarak üretilmiştir. Ancak imalatta standart çelik malzemeler kullanıldığından sistemin toplam ağırlığı yüksek olmuştur. Çatıya monte edilen endüstriyel teker sayesinde sistemin hareketi tek bir operatör tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu araştırma kapsamında geliştirilen görüntüleme yöntemi sayesinde püskürtme paterni grafikleri pratik olarak elde edilebilmiş ve kolayca sayısallaştırılmıştır. Geniş hüzmeye açılı püskürtme memelerinin kullanılması durumunda veya daha yüksek püskürtme yüksekliklerinde yapılacak akış testleri için daha büyük ölçülere sahip kanal tablasına gereksinim duyulmaktadır. Buna göre kanal tablasının en az 2.0×2.0 m (en×boy) ölçülerde olması önerilmektedir.

Süreklilik denklemine göre akış debisi, meme orifis çapının karesiyle doğru orantılıdır. Ancak bu çalışmada sabit basınç koşulunda meme debisindeki artış, orifis çapıyla orantılı olarak artmamıştır. (Sayıncı ve ark., 2013), orifis çapı arttıkça akış katsayısının azaldığını belirlemiştir. Akış katsayısı, aynı zamanda boşaltım katsayısı olup bu katsayının azalması, meme debisini sınırlandırmıştır.

Orifis çapı Ø1.0 mm, Ø1.2 mm ve Ø1.6 mm olan meme plakaları dar hüzmeye açılı sınıfta kategorize edilebilir. Bu yönüyle küçük çaplı memelerin şeritsel ilaçlamada kullanılması tavsiye edilir. Orifis çapı Ø2.0 mm ve Ø2.4 mm olan meme plakalarının ise yüzeysel ilaçlamada bum yüksekliğinin artırılarak (60-90 cm) kullanılması önerilir.

Meme orifis çapı arttıkça püskürtme paterninin çarpıklığı azalma eğilimindedir. Sabit basınçta meme orifis ölçüsündeki artış, debinin de artmasını sağladığından çarpıklığı iyileştirme yönünde etki göstermiştir. Basınlık değişkenine göre normale en yakın püskürtme paterni, orifis çapı Ø1.0 mm olan meme plakasında elde edilmiş ve püskürtme paterni içi dolu konik formda oluşmuştur. Diğer orifis gruplarının püskürtme paterni incelendiğinde içi boş konik hüzmeli dağılıma benzer bir patern oluştuğu gözlemlenmiştir.

İşletme basıncı 8 bar, püskürtme yüksekliği 55 cm ve memeler arası mesafe 25 cm ve 30 cm koşullarında küçük orifis çaplı memelerin varyasyon katsayısı çoğunlukla %15'in altındadır. Diğer büyük çaplı meme plakaları için optimum püskürtme yüksekliğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik

Bu çalışma etik kurul onayı gerektirmez.

Yazar Katkı Oranları

Çalışmanın Tasarlanması: RÇ (%50), BS (%50)

Veri Toplanması: RÇ (%80), BS (%20)

Veri Analizi: RÇ (%50), BS (%50)

Makalenin Yazımı: RÇ (%50), BS(%50)

Makalenin Gönderimi ve Revizyonu: RÇ (%90), BS (%10)

KAYNAKÇA

- Azimi, AH., Carpenter, TG., Reichard, DL., 1985. Nozzle spray distribution for pesticide application. *Transactions of the ASAE*, 28(5): 1410-1414. (doi: 10.13031/2013.32451)
- Bock, CH., Cottrell, TE., Hotchkiss, MW., 2023. Spray coverage profiles from pecan air-blast sprayers, with a radial air-flow and a volume-generated focused air-flow, as affected by forward speed and application volume. *Crop Protection*, 168: (doi: 10.1016/j.cropro.2023.106234)
- Bode, LE., Butler, BJ., Pearson, SL., Bouse, LF., 1983. Characteristics of the micromax rotary atomizer. *Transactions of the ASAE*, 24(4): (doi: 10.13031/2013.34064)
- Dafsari, RA., Yu, S., Choi, Y., Lee, J., 2021. Effect of geometrical parameters of air-induction nozzles on droplet characteristics and behaviour. *Biosystems Engineering*, 209, 14-29. (doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.06.013)
- Grella, M., Marucco, P., Zwervaegher, I., Gioelli, F., Bozzer, C., Biglia, A., Manzone, M., Caffini, A., Fountas, S., Nuytens, D., Balsari, P., 2022. The effect of fan setting, air-conveyor orientation and nozzle configuration on airblast sprayer efficiency: Insights relevant to trellised vineyards. *Crop Protection*, 155: 105921. (doi: 10.1016/j.cropro.2022.105921)
- Griesang, F., Spadoni, ABD., Ferreira, PHU., Ferreira, MC., 2022. Effect of working pressure and spacing of nozzles on the quality of spraying distribution. *Crop Protection*, 151: (doi: 10.1016/j.cropro.2021.105818)
- Grisso, R., Dickey, E.C., Schulze, L.D., 1989. The cost of misapplication of herbicides. *Applied engineering in Agriculture*, 5 (3): 344-347. (doi: 10.13031/2013.26525)
- Hatem, G., Zeidan, J., Goosens, M., Moreira, C., 2022. Normality testing methods and the importance of skewness and kurtosis in statistical analysis. *BAU Journal-Science and Technology*, 3(2), Article 7. (doi: 10.54729/KTPE9512)
- Karagöz, Y., 2016. SPSS 23 ve AMOS 23 Uygulamalı İstatistiksel Analizler. Nobel Akademik Yayıncılık, İkinci Baskı, 1196 s. Ankara
- Koh, H., Kim, D., Shin, S., Yoon, Y., 2006. Spray characterization in high pressure environment using optical line patternator. *Measurement Science and Technology*, 17:8, 2159. (doi: 10.1088/0957-0233/17/8/015)
- Krishnan, P., Williams, TH., Kemble, LJ., 1988. Technical Note: Spray pattern displacement measurement technique for agricultural nozzles using spray table. *Transactions of the ASAE*, 31(2): 386-389. (doi: 10.13031/2013.30719)
- Luck, JD., Schaardt, WA., Sharda, A., Forney, SH., 2016. Development and evaluation of an automated spray patternator using digital liquid level sensors. *Applied Engineering in Agriculture*. 32(1): 47-52. (doi: 10.13031/aea.32.11381)
- McVey, JB., Russell, S., Kennedy, JB., 1987. High-resolution patternator for the characterization of fuel sprays. *Journal of Propulsion and Power*, 3:3, 202-209. (doi: 10.2514/3.22975)
- Minoy, V., Cointault, F., Vangeyete, J., Pieters, J.G., Nuytens, D., 2014. Spray nozzle characterization using a backlighted high speed imaging technique. *Aspects of Applied Biology*, 122 (1): 353-361.
- Ozkan, HE., Ackerman, KD., 1992. An automated computerized spray pattern analysis system. *Applied Engineering in Agriculture*, 8(3): 325-331. (doi: 10.13031/2013.26072)

- Palleja, T., Tresanchez, M., Llorens, J., Saiz-Vela, A., 2023. Design and characterization of a real-time capacitive system to estimate pesticides spray deposition and drift. *Computers and Electronics in Agriculture*, 207: 107720. (doi: 10.1016/j.compag.2023.107720)
- Pascuzzi, S., Cerruto, E., Manetto, G., 2017. Foliar spray deposition in a "tendone" vineyard as affected by airflow rate, volume rate and vegetative development. *Crop Protection*, 91: 34-48. (doi: 10.1016/j.cropro.2016.09.009)
- Rice, B., 1967. Spray distribution from ground-crop sprayers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 12(3): 173-177. (doi: 10.1016/S0021-8634(67)80015-5)
- Richardson, R.G., Combella, J.H., Andrew, L., 1986. Evaluation of a spray nozzle patternator. *Crop Protection*, 5(1): 8-11. (doi: 10.1016/0261-2194(86)90032-3)
- Salcedo, R., Sánchez, E., Zhu, H., Fàbregas, X., García-Ruiz, F., Gil, E., 2023. Evaluation of an electrostatic spray charge system implemented in three conventional orchard sprayers used on a commercial apple trees plantation. 167: 106212. (doi: 10.1016/j.cropro.2023.106212)
- Sayinci, B., 2016. Poliasetal (POM) meme plakalarının orifis geometrisinde üretim Kusurlarının eliptik fourier tanımlayıcılarıyla tespiti. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30 (1): 57-73.
- Sayinci, B., Bastaban, S., 2008. Biyolojik mücadele etmenlerinin uygulanmasında ilaçlama ünitesinin rolü. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 39 (1): 151-157.
- Sayinci, B., Bozdoğan, N.Y., Yıldız, C., Demir, B., 2013. Konik hüzmeli memelerde akış katsayısı ve bazı işletme özelliklerinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 9 (1): 9-20.
- Sayinci, B., Kara, M., 2014. The effects of strainer types on Flow Characteristics of anti-drift. *Journal of Agricultural Sciences*, 21 (4): 558-571. (doi: 10.1501/Tarimbil_0000001357)
- Sehsah, E.M.E., Kleisinger, S., 2009. Study of some parameters affecting spray distribution uniformity pattern. *Irrigation and Drainage*, 26 (1): 69-93. (doi: 10.21608/mjae.2009.109864)
- Tuncer, A., Güler, H., 1998. Meyve bahçesi ve bağlarda kullanılan pülverizatörlerin deney yöntemleri. *Türkiye Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi*, Cilt 1, 470-480, 17-18 Eylül Tekirdağ
- Ullom, M.J., Sojka, P.E., 2001. A simple optical patternator for evaluating spray symmetry. *Review Scientific Instruments* 72: 2472-2477. (doi: 10.1063/1.1353196)
- Younes, M., Gorchev, H., 2000. Pesticides in Drink. *Food and Chemical Toxicology*, 38 (1): 87-90.(doi: 10.1016/S0278-6915)