SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM İÇİN YENİLİKÇİ MEKANİZASYON YAKLAŞIMLARI

Editör:
Doç. Dr. Ömer ERTUĞRUL



Aralık 2025

IKSAD
Publishing House

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM İÇİN YENİLİKÇİ MEKANİZASYON YAKLAŞIMLARI

EDİTÖR

Doç. Dr. Ömer ERTUĞRUL

YAZARLAR

Prof. Dr. Bahadır SAYINCI

Doç. Dr. Bahadır DEMİREL

Doç. Dr. Ömer ERTUĞRUL

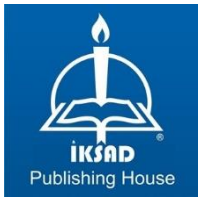
Dr. Öğr. Üyesi Gülden ÖZGÜNALTAY ERTUĞRUL

Arş. Gör. Dr. Mustafa ÇOMAKLI

Arş. Gör. Mustafa Arif TİMOÇİN

Arş. Gör. Osman Mert YAZ

Arş. Gör. Özlem BAHAR



Copyright © 2025 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-489-8
Cover Design: Ömer ERTUĞRUL
December / 2025
Ankara / Türkiye
Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1
PÜLVERİZASYONDA AKIŞ KARAKTERİSTİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN PATERNATÖRLER VE UYGULAMA ZORLUKLARI
Arş. Gör. Dr. Mustafa ÇOMAKLI
Prof. Dr. Bahadır SAYINCI.....3

BÖLÜM 2
COĞRAFİ YAPAY ZEKÂ (GEOAI): KAVRAMSAL ÇERÇEVE, UYGULAMA ALANLARI VE TARIM SEKTÖRÜNDEKİ POTANSİYELİ
Dr. Öğr. Üyesi Gülden ÖZGÜNALTAY ERTUĞRUL…….....25

BÖLÜM 3
TARIMDA ROBOTİK DÖNÜŞÜM: SERA UYGULAMALARI İÇİN AKILLI HASAT SİSTEMLERİ
Arş. Gör. Osman Mert YAZ
Doç. Dr. Bahadır DEMİREL
Arş. Gör. Özlem BAHAR.....57

BÖLÜM 4
AKILLI TARIMDA YABANCI OTLARIN ALGILANMASI VE KONTROLÜ: YAPAY ZEKÂNIN ROLÜ
Arş. Gör. Özlem BAHAR…….....81

BÖLÜM 5
SERALARDA KULLANILAN OTOMASYON SİSTEMLERİ
Arş. Gör. Mustafa Arif TİMOÇİN
Arş. Gör. Osman Mert YAZ.....103

BÖLÜM 6
SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM İÇİN KALİTE YÖNETİM SİSTEMİNE DAYALI MEKANİZASYON PLANLAMASI
Doç. Dr. Ömer ERTUĞRUL.....131

ÖNSÖZ

Dünya genelinde artan nüfus, iklim değişikliğinin derinleşen etkileri, doğal kaynakların hızla tükenmesi ve tarımsal üretim üzerindeki ekonomik baskılar; tarım sektörünü yalnızca daha fazla üretmeye değil, aynı zamanda daha akıllı, daha verimli ve daha sürdürülebilir üretim sistemleri geliştirmeye zorlamaktadır. Bu bağlamda tarımsal mekanizasyon, artık yalnızca iş gücünü azaltan bir araç olmanın ötesine geçmiş; veri, otomasyon, yapay zekâ ve yönetim sistemleriyle bütünleşen stratejik bir dönüşüm alanı haline gelmiştir.

Sürdürülebilir Tarım için Yenilikçi Mekanizasyon Yaklaşımları başlıklı bu kitap, söz konusu dönüşümü çok boyutlu bir bakış açısıyla ele almayı amaçlamaktadır. Eserde yer alan bölümler; tarımsal üretimde çevresel etkilerin azaltılması, kaynak kullanım etkinliğinin artırılması ve karar alma süreçlerinin bilimsel temellere dayandırılması hedefleri doğrultusunda, mekanizasyonun güncel ve geleceğe dönük uygulamalarını kapsamlı biçimde irdelemektedir.

Kitapta, bitki koruma uygulamalarında püskürtme teknolojilerinin performans değerlendirilmesinden, Coğrafi Yapay Zekâ (GeoAI) temelli mekânsal analizlere; sera tarımında robotik hasat sistemlerinden, yapay zekâ destekli yabancı ot algılama ve kontrol yaklaşımlarına; sera otomasyon sistemlerinden, kalite yönetim sistemlerine dayalı bütüncül mekanizasyon planlamasına kadar geniş bir konu yelpazesi sunulmaktadır.

Bu kitabın temel amacı; tarımsal mekanizasyonu parçalı çözümlerden uzaklaştırarak, ölçülebilir, izlenebilir ve sürekli iyileştirilebilir sistemler bütününe dönüştürmeye katkı sağlamaktır. Akademisyenler, lisansüstü ve lisans öğrencileri, uygulayıcı mühendisler, politika yapıcılar ve tarım sektörünün tüm paydaşları için güncel, disiplinler arası ve yol gösterici bir kaynak oluşturması hedeflenmiştir.

Eserin hazırlanmasında katkı sunan tüm yazarlar, kendi uzmanlık alanlarında bilimsel birikimlerini titizlikle ortaya koymuş; teori ile uygulamayı buluşturan nitelikli bölümlerle bu kitabın ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu vesileyle, emeği geçen tüm yazarlara ve sürece katkı sağlayan herkese teşekkür eder; kitabın sürdürülebilir tarım hedeflerine yönelik çalışmalara ilham vermesini temenni ederiz.

Aralık 2025 Doç. Dr. Ömer ERTUĞRUL

BÖLÜM 1

PÜLVERİZASYONDA AKIŞ KARAKTERİSTİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN PATERNATÖRLER VE UYGULAMA ZORLUKLARI

Arş. Gör. Dr. Mustafa ÇOMAKLI[1]
Prof. Dr. Bahadır SAYINCI[2]

DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18074089

[1]Atatürk Universitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 25240 Erzurum, Türkiye. mustafa.comakli@atauni.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-3974-1354
[2]Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Universitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 11200 Bilecik, Türkiye. bahadir.sayinci@bilecik.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7148-0855

1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) 2023 yılı istatistiklerine göre, dünya genelinde yıllık pestisit kullanımı 3.728 milyon ton düzeyindeyken Türkiye'de bu miktar 57576 ton olarak on birinci sırada yer almaktadır. Pestisit kullanım yoğunluğu bakımından değerlendirildiğinde Türkiye 2023 yılında dünya ortalaması 2.40 kg ha^{-1} ile aynı değerde olup Avrupa birliğinden (1.55 kg ha^{-1}) yüksek seviyededir (FAO, 2023). Tarımsal üretimin gerçekleştirildiği alanlar dikkate alındığında, Türkiye'de pestisit kullanımının oldukça yoğun olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, bitki koruma makinelerinin test ve kalibrasyon olanakları sınırlı düzeyde olup bu durum uygulama etkinliği başarısını olumsuz yönde etkilemektedir.

Kimyasal mücadelede, etkili maddenin zararlı veya hastalığın aktif olduğu tüm bölgeye yeknesak biçimde pülverize edilmesi, püskürtülen yüzeyi etkin şekilde kaplaması ve tutunması ile pestisit dağılımındaki varyasyonun ve sürüklenme düzeyinin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Böylece optimum ilaç dozuyla en yüksek biyolojik etkinliğin sağlanması amaçlanır. Kimyasal mücadelenin amacına uygun bir biçimde gerçekleştirilebilmesi, ilaçlama ekipmanlarının doğru seçilmesinin yanı sıra püskürtme memelerinin kalibrasyonu, memeler arası mesafenin doğru ayarlanması ve püskürtme yüksekliği gibi temel işletme parametrelerinin uygun şekilde belirlenip uygulanmasına bağlıdır (Çomaklı, 2024).

Püskürtme dağılım düzgünlüğü, ürün üzerinde oluşabilecek zarar riskini en aza indirirken kapsama alanını maksimize etmekte ve pestisit uygulama etkinliğinin artırılmasında kritik bir öneme sahiptir (Butts et al., 2019). Bitki koruma makineleri aracılığıyla pestisitlerin etkin biçimde uygulanması zararlılarla mücadelede başarı düzeyinin artırılması, pestisit kullanım miktarının ve buna bağlı maliyetlerin azaltılması ile çevresel güvenliğin sağlanması açısından modern tarım uygulamalarında önemini sürdürmektedir (Elwakeel et al., 2021). Pestisit uygulamalarında, hava akımlarının etkisiyle bitki koruma ürünlerinin yalnızca sınırlı bir kısmı hedef yüzeye ulaşmakta; geri kalan damlacıklar ise sürüklenme (drift) nedeniyle havada asılı kalmakta, hedef dışı alanlara taşınmakta ve sonuç olarak önemli düzeyde pestisit kaybı ve israfı meydana gelmektedir (Grella et al., 2023). Püskürtme sürüklenmesi sonucu damlacıkların hedef dışına taşınması; çevresel kirliliğe yol açmakta, herbisit kullanımında etkinliği azaltmakta ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler

oluşturabilmektedir (Hewitt, 2000). Yabancı ot popülasyonlarının öldürücü etkinliğin altında kalan dozlara maruz kalması, bu türler üzerinde bir seçim baskısı oluşturarak herbisitlere dirençli yabancı otların evrimsel sürecini hızlandırabilmektedir (Manalil et al., 2011; Ferguson et al., 2018).

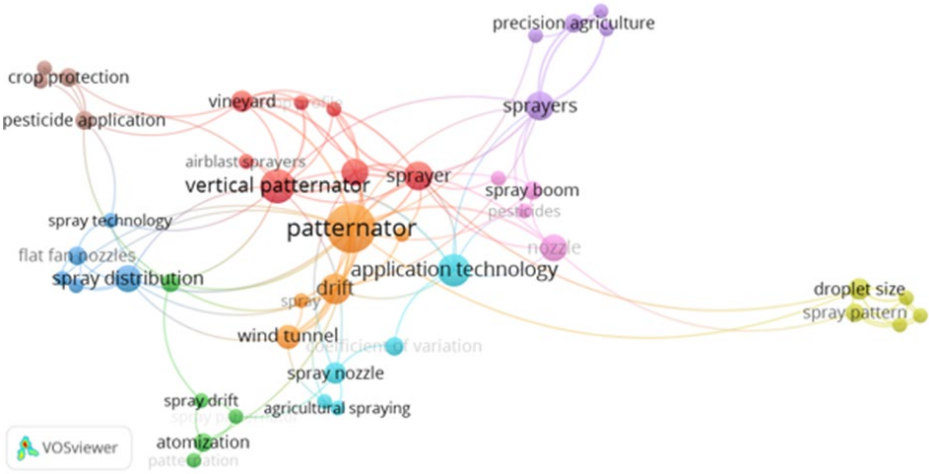
Bitki koruma makineleri ile gerçekleştirilen pestisit uygulamalarının başarısını değerlendirmede, akışkan hacmi, püskürtme paterni, akış düzgünlüğü, hüzme açısı ve püskürtme genişliği gibi temel püskürtme özellikleri belirleyici olmaktadır (Çömlek & Sayıncı, 2023). Kimyasal mücadelede kullanılacak etkili maddenin enine dağılımını önceden belirlemek, bitki koruma makinelerinin ilaçlama performansını sürdürülebilir kılmak, uygulama etkinliğini artırmak ve püskürtme memelerindeki olası imalat hatalarını ya da kullanım sürecinde iç yüzeylerin aşınmasına bağlı performans düşüşlerini tespit etmek amacıyla çeşitli püskürtme testleri yürütülmektedir.

Bitki koruma makinelerinde pülverizasyon sürecinin en kritik bileşenlerinden biri püskürtme memeleridir. Püskürtme uygulamaları performansını değerlendirmede kullanılan en temel ölçüt hacimsel dağılım düzgünlüğüdür (Çomaklı, 2024). Hacimsel dağılım düzgünlüğüyle ilgili yapılan püskürtme testlerinde paternatör cihazları yaygın olarak kullanılmaktadır. Püskürtülen etkili maddenin hedef yüzeyde hacimsel dağılım düzgünlüğü, uluslararası standartlarda (ISO 16119-2 & ISO 16122) belirtilen gereksinimlere göre, yatay bumlu püskürtücülerin değerlendirilmesi amacıyla resmi olarak belirlenmiş ölçüm yöntemlerinden birisidir (Gil et al., 2021).

Yatay paternatörler yüzeysel ve şeritsel ilaçlama yapan veya yatay düzlem (tarla yüzeyi) üzerine püskürtme memelerinin dağılım düzgünlüğünü belirlemektedir. Dikey paternatörler düşey düzlemde ilaçlama veya bağ kanopi yüzeylerine ilaçlama yapan yardımcı hava akımlı püskürtme memelerinin dağılım düzgünlüğünü belirlemektedir (Çömlek, 2017). Doğrusal hareketli bir platform üzerinde toplama kanalları ve her bir kanalın altında dijital ölçüm seviyesine sahip ölçü silindirleri bulunan standart mekanik paternatörlere kıyasla, daha küçük boyutlarda tasarlanmış mobil sistemler de kullanılmaktadır.

Pestisit uygulamalarında hacimsel dağılım düzgünlüğünün değerlendirilmesine yönelik paternatörlerle ilgili çalışmaları belirlemek amacıyla, veriler Elsevier tarafından sağlanan Scopus veri tabanından elde edilmiştir. Scopus veri tabanında “patternator” anahtar kelimesi kullanılarak

gerçekleştirilen tarama sonucunda toplam 207 bilimsel yayın tespit edilmiştir. Araştırma kapsamında, bitki koruma makineleri dışındaki disiplinlere ait çalışmaların çıkarılması amacıyla ek filtreler uygulanmıştır. Yayın yılına ilişkin herhangi bir sınırlama yapılmaksızın yürütülen bu tarama sonucunda elde edilen yayınların %60'ından fazlasının tarımsal püskürtme testlerine odaklandığı belirlenmiş ve bu doğrultuda tarımsal püskürtme testleri ekseninde şekillenen bir veri seti oluşturulmuştur (Elsevier, 2025). Elde edilen bibliyografik veriler CSV formatında dışa aktarılmış ve bibliyometrik analiz sürecinde VOSviewer (sürüm 1.6.20) yazılımı kullanılmıştır (Van Eck & Waltman, 2010). Yayınlardan elde edilen anahtar kelime kullanım sıklıklarına ilişkin analiz sonuçları Şekil 1'de sunulmuştur.

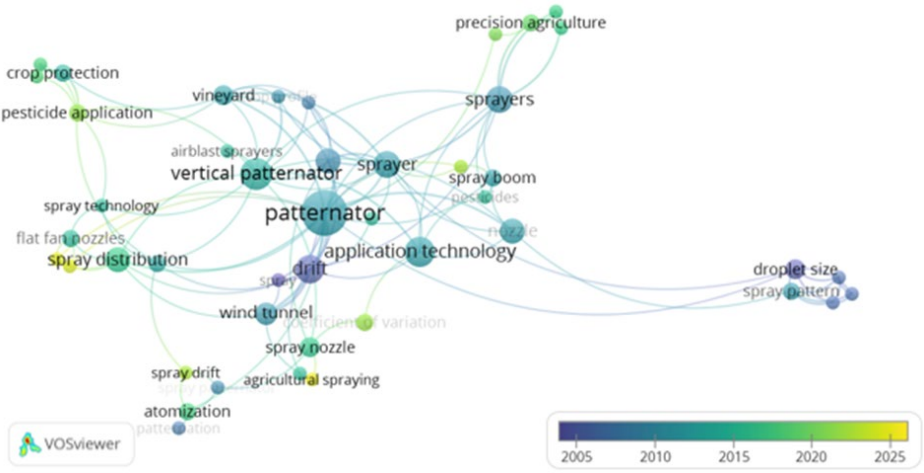


Şekil 1. Anahtar kelime ağ haritası

Anahtar kelime ağı incelendiğinde, çalışmaların toplamda dokuz ana kümeye ayrıldığı görülmektedir. Bu kümeler, paternatör kullanımının farklı yönleriyle ilişkili tematik alanları ortaya koymaktadır. Şekil 1'e göre, "patternator", "spray", "drift" ve "wind tunnel" anahtar kelimeleri etrafında şekillenen küme, özellikle sıçrama ve sürüklenme davranışının belirlenmesine yönelik laboratuvar kontrollü püskürtme deneylerini temsil etmektedir. Bu küme, paternatör tabanlı deneysel çalışmaların temel araştırma eksenini oluşturmaktadır. Diğer bir kümede "vertical patternator", "sprayer", "airblast sprayer" ve "vineyard" gibi anahtar kelimeler yer almakta olup, meyve bahçelerinde kullanılan hava akımı destekli püskürtücülerin dikey dağılım

düzgünlüğünün değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Bitki kanopisi yapılarının ilaç dağılımına etkisini inceleyen çalışmalar bu grupta yoğunlaşmaktadır. Pnömatik püskürtme ilkesine dayanan sistemleri temsil eden "atomization" ve "spray drift" anahtar kelimeleri, damlacık oluşumu, parçalanma mekanizmaları ve sürüklenme dinamiklerine odaklanan araştırmalarla ilişkilidir ve bu çalışmaların paternatör testleriyle yakın bağlantısı bulunmaktadır. Hidrolik enerjiyle çalışan püskürtme memelerini temsil eden "flat fan nozzles", "spray distribution" ve "spray technology" anahtar kelimeleri ise memelerin hacimsel dağılım düzgünlüğünün belirlenmesine yönelik temel paternatör çalışmalarını içermektedir. Tarımsal püskürtme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak bu alandaki yayın sayısında belirgin bir artış gözlenmektedir. Gelişen tarım teknolojilerinin uygulamalarıyla ilişkili "precision agriculture" ve "sprayers" anahtar kelimeleri, hassas tarımda sürüklenmenin azaltılması ve dağılım düzgünlüğünün artırılmasına yönelik paternatör tabanlı performans değerlendirmelerini öne çıkarmaktadır. Damla çapı ve püskürtme deseni temelli çalışmalar "droplet size" ve "spray pattern" anahtar kelimeleri ile temsil edilmekte olup, bu küme damlacık boyutu ve püskürtme deseninin paternatör ölçümleriyle ilişkilendirildiğini göstermektedir. Tarımsal üretimde kaçınılmaz olarak kullanılan pestisitlerin ürün koruma etkinliğini yansıtan "crop protection" ve "pesticide application" anahtar kelimeleri, paternatör çalışmalarının pestisit uygulama verimliliği ve bitki koruma performansı ile doğrudan ilişkisini ortaya koymaktadır. Püskürtme ünitelerinde kullanılan bileşenlerin uygunluğunun değerlendirilmesine yönelik "spray boom", "nozzle", "uniformity" ve "coefficient of variation" anahtar kelimeleri ise paternatör testlerinde bom üzerindeki hacimsel dağılım düzgünlüğünü değerlendirmek için kullanılan temel performans göstergelerini temsil etmektedir. Özellikle varyasyon katsayısı (CV), hacimsel dağılımın homojenliğini belirlemede kritik bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Genel ağ yapısı incelendiğinde, çalışmaların büyük çoğunluğunun paternatör merkezli bir yapıda toplandığı; temaların ise uygulama teknolojisi, hassas tarım, sürdürülebilirlik ve sürüklenme yönetimi olmak üzere dört ana araştırma ekseninde kümelendiği görülmektedir. Bu durum, paternatörlerin hem tarımsal ilaçlama performansının değerlendirilmesinde hem de çevresel etkilerin azaltılmasında önemli bir araştırma aracı olduğunu göstermektedir (Şekil 1).

Paternatör merkezli çalışmalarının son yirmi yılda zaman içerisinde değişimleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

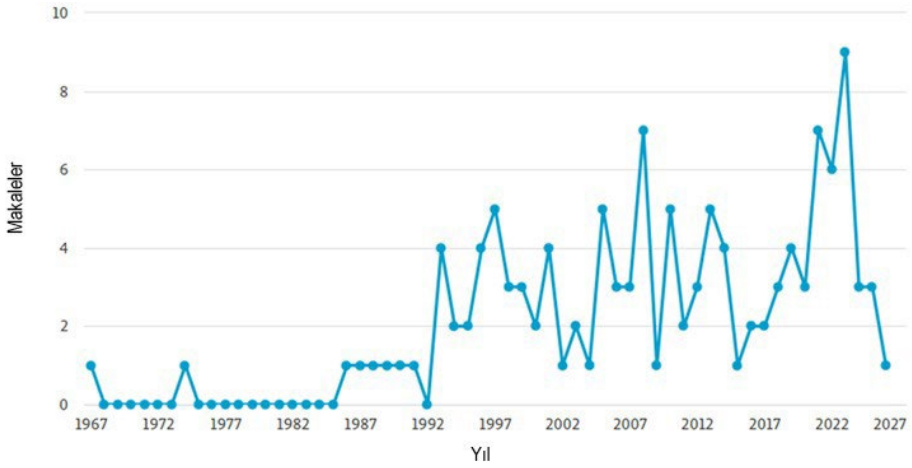


Şekil 2. Anahtar kelime zaman haritası

Paternatör ile yürütülen çalışmaların son yirmi yıldaki gelişimi incelendiğinde, araştırma eğilimlerinin zaman içerisinde belirgin bir değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. 2005 yılı ve öncesine ait dönem haritada koyu mavi tonlarda gösterilen "spray", "drift" ve "droplet size" anahtar kelimeleri ile temsil edilmektedir. Bu durum, paternatör kullanımının başlangıç yıllarında araştırmaların ağırlıklı olarak damlacık boyutu, püskürtme karakteristikleri ve sürüklenmenin temel dinamiklerinin belirlenmesine odaklandığını ortaya koymaktadır. 2005-2010 yılları arasında, paternatör çalışmalarında konular çeşitlenmiş; sürüklenme araştırmalarının yanı sıra püskürtme memesi özellikleri, meme konum ve yükseklik ayarlarının dağılım düzgünlüğüne etkisi, hava akımı destekli testler ve yatay dağılım desenlerinin belirlenmesi gibi uygulama odaklı çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. 2010 sonrası dönemde, haritada mavi-yeşil tonlarda görülen "vertical patternator", "sprayer" ve "airblast sprayers" kelimeleri dikey paternatörlerin kullanımının arttığını ve özellikle meyve bahçelerinde hava akımlı püskürtme makinelerinin dağılım performansının değerlendirilmesine yönelik çalışmaların ivme kazandığını göstermektedir. Bu dönem, paternatör teknolojisinin bahçe bitkileri ve kanopi yapılarının korunmasına yönelik uyarlanması açısından kritik bir aşamadır. 2015-2020 yılları arasında, anahtar kelimeler "precision agriculture",

"coefficient of variation", "spray distribution" ve "pesticide application" etrafında yoğunlaşmış olup araştırmaların hassas tarım uygulamaları, hacimsel dağılım düzgünlüğü, varyasyon katsayısı ile performans değerlendirme ve pestisit etkinliğinin artırılması gibi daha ileri analiz yöntemlerine yöneldiği anlaşılmaktadır. 2020-2025 döneminde, haritada sarı tonlarla ifade edilen daha güncel çalışmalar "spray pattern", "droplet size", "distribution uniformity" ve "drift" kelimeleri ile temsil edilmekte ve bu durum sürüklenme sonrası kayıpların modellenmesi, dağılım deseninin iyileştirilmesi, pestisit tasarrufu ve çevresel etki azaltma temalarının öne çıktığını göstermektedir. Özellikle hassas tarım teknolojilerinin yaygınlaşması ile birlikte paternatör çalışmalarının güncelliğini koruduğu gözlenmektedir. Genel ağ yapısı paternatör kullanımının günümüzde hâlâ pestisit uygulama etkinliğinin artırılması, sürüklenme yönetimi ve tarımsal ilaçlamada sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önemli bir araştırma aracı olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 2).

Şekil 3'te Scopus veri tabanında günümüze kadar paternatörlerle ilgili yapılan çalışma sayıları verilmiştir (Elsevier, 2025).

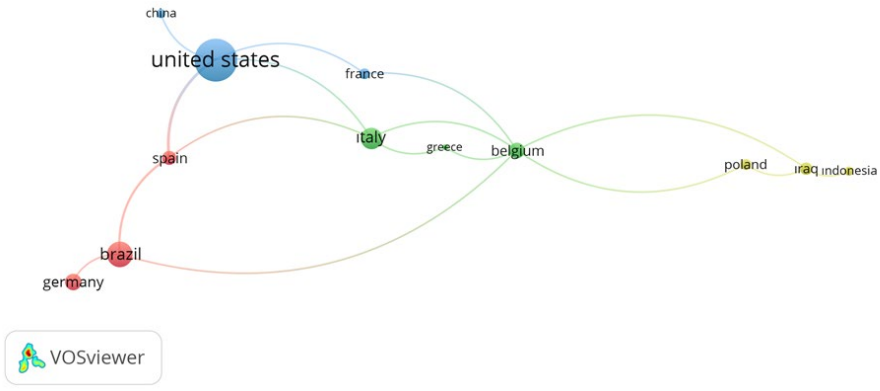


Şekil 3. 1967-2025 yıllar arası Scopus veri tabanında paternatörlerle ilgili yayın sayıları

Paternatör test düzenekleri ile yürütülen çalışmaların yıllara göre dağılımı incelendiğinde, 1992 yılına kadar Scopus veri tabanında oldukça sınırlı bir yayın üretimi olduğu görülmektedir. 1967-1992 döneminde yalnızca tekil çalışmalar yapılmış, bu süreç boyunca literatür neredeyse durağan bir seyir

izlemiştir. 1993 yılında dört adet yayının yapılmasıyla birlikte alanda belirgin bir artış eğilimi başlamıştır. Bu yıl, paternatör çalışmalarının bilimsel literatürde görünür hâle geldiği ilk kırılma noktası olarak değerlendirilebilir. Sonraki 27 yıllık süreçte yayın sayıları dalgalı bir artış göstermiştir. Bazı yıllarda yükselişler görülürken, takip eden yıllarda düşüşler yaşanmış; dolayısıyla literatürde süreklilik gösteren bir artış eğiliminden ziyade periyodik yoğunlaşmalar ve gevşemeler dikkat çekmiştir. Zaman serisinde en yüksek üretim 2023 yılında dokuz yayın ile gerçekleşmiştir. Bu değer, paternatör çalışmalarının tarihsel süreçte ulaştığı en yüksek yıllık yayın sayısını temsil etmekte olup, alana yönelik ilginin özellikle son yıllarda arttığını göstermektedir. İkinci en yüksek üretim yılı ise 2008 yılıdır; bu yılda toplam yedi adet yayın gerçekleştirilmiştir. 2008-2023 arasındaki dönem genel olarak incelendiğinde, yayınların hem frekans hem de çeşitlilik açısından önceki dönemlere göre çok daha yoğun olduğu görülmektedir. Genel eğilim değerlendirildiğinde, paternatör çalışmalarının sürekli bir dalgalı seyir izlediği, belirli yıllarda artışa geçen ancak sonrasında tekrar düşüşe geçen bir yayın dinamiğine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, paternatör alanının hâlen gelişime açık olduğunu ve güncel çalışmalarla desteklenmesi gereken bir araştırma alanı niteliği taşıdığını ortaya koymaktadır.

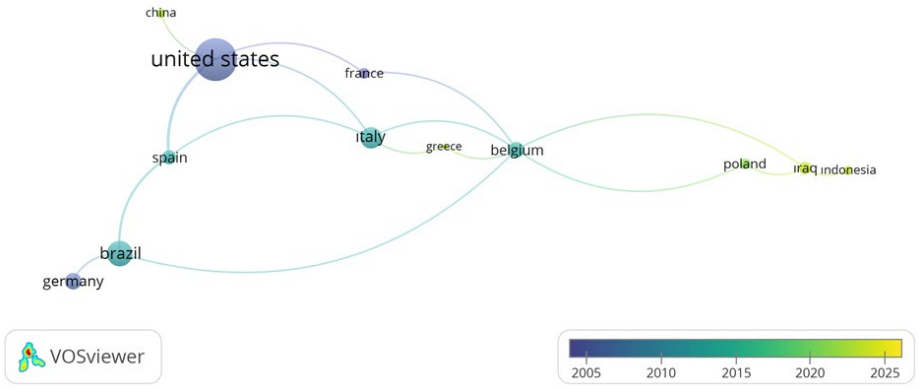
Yürütülen çalışmaların ülkeler düzeyinde ağ haritası Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Ülkelerin ağ haritası

Şekil 4'te sunulan uluslararası iş birliği ağı, ülkelerin paternatör ve püskürtme teknolojileri alanında yürüttükleri ortak yayınların oluşturduğu bilimsel iş birliği yapısını göstermektedir. Haritadaki renkler, ülkelerin kendi içlerinde daha yoğun etkileşim sergilediği tematik kümeleri temsil etmektedir. Ağın en belirgin kümesi olan yeşil kümede, Belçika merkezî bir konumda yer almakta ve en geniş bağlantı yapısına sahip ülke olarak öne çıkmaktadır. Belçika'nın İtalya, Yunanistan, Brezilya, Fransa, Polonya ve Irak ile kurduğu güçlü bilimsel ilişkiler, ülkenin paternatör kullanımı ve püskürtme teknolojileri araştırmalarında uluslararası bir odak noktası hâline geldiğini göstermektedir. Mor kümede, Amerika Birleşik Devletleri ikinci bir merkez ülke olarak konumlanmakta ve Çin, İspanya, Fransa ve İtalya ile dikkate değer düzeyde iş birliği ağları oluşturmaktadır. Bu yapı, ABD'nin küresel ölçekte araştırma üretiminde etkin rol oynadığını ve literatüre yön veren aktörlerden biri olduğunu doğrulamaktadır. Kırmızı kümede, Brezilya belirgin biçimde öne çıkmakta ve Almanya, Yunanistan ile Belçika arasında köprü görevi üstlenen bir iş birliği ağı sergilemektedir. Brezilya'nın özellikle tarımsal pülverizasyon ve hava destekli püskürtme çalışmalarındaki etkinliği, bu konumlanmayı desteklemektedir. Mavi kümede, Fransa görece daha az merkezî olmakla birlikte hem Amerika Birleşik Devletleri hem de Belçika ile anlamlı ortaklıklar kurarak küresel ağın önemli bir parçası hâline gelmektedir. Sarı kümede ise Irak, Polonya ve Endonezya'nın yer aldığı daha küçük, ancak kendi içinde güçlü bağlantılara sahip bir iş birliği yapısı görülmektedir. Bu ülkeler arasında karşılıklı bilimsel etkileşim bulunmasına rağmen, ağın genel yapısı içerisinde görece çevresel konumdadırlar. Türkiye açısından bakıldığında, Scopus üzerinde toplam üç yayının bulunmasına rağmen uluslararası düzeyde ortak yayın ilişkisi tespit edilmemiştir. Bu durum, Türkiye'nin alana katkı sağladığını ancak uluslararası iş birliği yoğunluğunun diğer ülkelere kıyasla sınırlı kaldığını göstermektedir. Genel olarak ağ yapısı, Belçika'nın merkezde konumlandığı güçlü birçok uluslu iş birliği ekosistemine işaret etmekte; diğer kümeler ise ağı tamamlayan bölgesel veya tematik iş birliği gruplarını temsil etmektedir. Bu görüntü, paternatör ve püskürtme teknolojilerine ilişkin bilimsel üretimin özellikle Avrupa ve Amerika merkezli kümelenmeler etrafında şekillendiğini ortaya koymaktadır.

Şekil 5'te sunulan zaman eksenli ülke ağ haritası, paternatör çalışmalarının ülkelere göre hangi dönemlerde ortaya çıktığını ve araştırma yoğunluğunun zaman içinde nasıl geliştiğini göstermektedir.

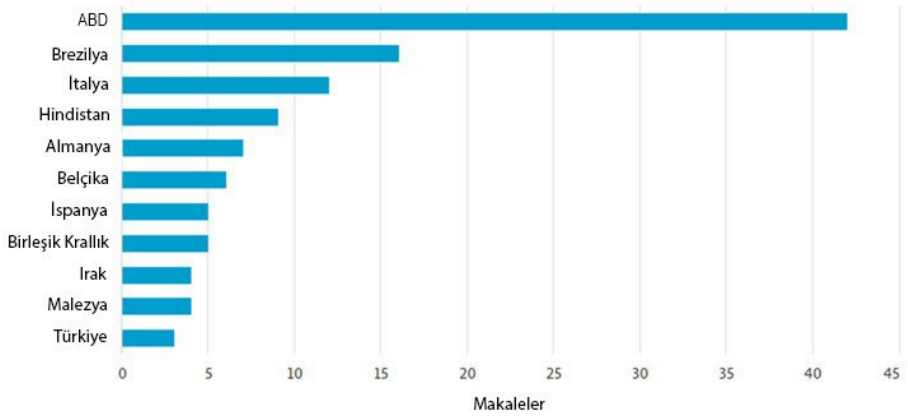


Şekil 5. Ülkelerin zaman haritası

Mor renkli kümeler, 2005'li yılların başında paternatör çalışmalarına katkı sunan ülkeleri göstermektedir. Buna göre Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Fransa, paternatör ve püskürtme teknolojileri üzerine en erken dönem araştırmaların yürütüldüğü ülkeler olarak öne çıkmaktadır. Bu ülkeler literatürün başlangıç dönemlerinde ölçüm teknikleri, püskürtme üniformitesi ve damlacık davranışlarının değerlendirilmesine yönelik temel çalışmaları gerçekleştirmiştir. 2010 sonrası dönemde, haritada mavi ve turkuaz tonlarla gösterilen İtalya, Belçika, İspanya ve Brezilya alana katkı sunmaya başlamıştır. Bu durum, paternatör uygulamalarının özellikle Avrupa ve Güney Amerika'da yaygınlaştığını göstermektedir. 2010 sonrası genel eğilim, paternatör kullanımının küresel ölçekte belirgin şekilde genişlediğine işaret etmektedir. Açık yeşil tonlarla gösterilen Çin ve Polonya, 2015-2020 yılları arasında paternatör literatüründe görünür hâle gelmiştir. 2020 yılı ve sonrasında, sarı tonlarla temsil edilen Irak ve Endonezya paternatör alanında yeni çalışmalar üretmeye başlayan ülkeler olarak görülmektedir. Bu dönem, paternatör araştırmalarının Asya bölgesine doğru yayılım gösterdiğini ve alandaki bilimsel çeşitliliğin arttığını ortaya koymaktadır. Genel olarak zaman haritası, paternatör çalışmalarının başlangıçta ABD ve Avrupa merkezli olduğunu, zamanla Güney

Amerika ve Asya'ya yayıldığını, özellikle son yıllarda Asya ülkelerinde hızlı bir artış eğilimi bulunduğunu göstermektedir (Şekil 5).

Şekil 6'da Scopus veri tabanında günümüze kadar ülkelerin yaptıkları çalışma sayıları verilmiştir (Elsevier, 2025).



Şekil 6. 1967-2025 yıllar arası Scopus veri tabanında paternatörlerle ilgili Ülkelerin yayın sayıları

Şekil 6'ya göre, günümüze kadar paternatör kullanılarak gerçekleştirilen bilimsel çalışmaların ülkelere göre dağılımı incelendiğinde, Amerika Birleşik Devletleri 42 yayın ile açık ara birinci sırada yer almaktadır. İkinci sırada 16 yayın ile Brezilya, üçüncü sırada 12 yayın ile İtalya bulunmaktadır. Genel dağılım incelendiğinde, paternatör araştırmalarının Amerika ve Avrupa merkezli olduğu görülmektedir. Özellikle ABD, İtalya ve Belçika bilgi üretiminde en baskın ülkeler olarak öne çıkmaktadır. Dikkat çekici bir bulgu olarak, Irak ve Malezya'nın son (Şekil 5.) yıllarda ürettikleri yayınlarla dünya genelindeki ilk on ülke arasında yer almaya başladığı görülmektedir. Bu durum, paternatör ve püskürtme teknolojilerine ilişkin araştırmaların coğrafi olarak çeşitlendiğini ve özellikle Asya bölgesinde yeni araştırma merkezlerinin oluştuğunu göstermektedir. Türkiye ise 1967-2025 yılları arasında toplam üç yayın ile sınırlı bir katkı sunmuştur. Bu durum, ülkemizde paternatör ve püskürtme test altyapısının sınırlı olduğunu ve bu alana yönelik laboratuvar, cihaz ve araştırma olanaklarının yeniden değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

ISO 16119 standardı, pülverizatörler için asgari çevresel gereklilikleri tanımlamakta olup, özellikle bitki koruma uygulamalarında çevresel etkinin en aza indirilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda standart, aşağıdaki temel prensipleri esas almaktadır:

- Etkili maddenin hedef yüzeye etkin tutunması ve düzgün dağılımının sağlanması,
- Bitki koruma ürünlerinin çevreye istem dışı yayılımının azaltılması,
- Bitki koruma ekipmanlarının kullanım, bakım ve işletim güvenliğinin iyileştirilmesi.

ISO 5682-1:2017 standardına göre, püskürtme memelerinin yatay enine dağılımının değerlendirilmesinde kullanılan üç temel yöntem bulunmaktadır:

- Püskürtülen sıvı hacminin yatay enine dağılımı,
- Meme debisinin yatay enine dağılımı,
- Meme ucundaki basıncın yatay enine dağılımı.

Bu yöntemler, yatay dağılımın farklı yönlerini analiz etmekte olup birbirini tamamlayıcı niteliktedir.

ISO 5682-1:2017 standardının madde 5'e göre, yatay paternatörlerle yapılan püskürtme testleri, püskürtme çubuğunun (bomun) tamamı üzerinde gerçekleştirilmelidir. Ölçümler tek bir meme veya yan yana birkaç meme kullanılarak yapılabilir; ancak test süresince püskürtme çubuğu üzerindeki tüm memeler aktif olarak püskürtme yapmalıdır. ISO 5682-1:2017 standardının madde 6.4'e göre yatay paternatörlerde püskürtme test kurulumu aşağıdaki unsurları içermelidir:

- Püskürtme yüksekliği, paternatörün kanal duvarının üst kısmı ile püskürtme memesinin çıkış orifisi arasındaki dikey mesafe olarak belirlenmelidir.
- Yelpaze hüzmeli memeler, test sırasında püskürtme deseninin en geniş doğrultusu paternatör kanallarına dik olacak şekilde veya üreticinin tanımladığı normal çalışma açısında konumlandırılmalıdır.
- Memeler, komşu püskürtme desenlerinin çakışmasını önlemek amacıyla, üretici tarafından önerildiği şekilde, eksene dik doğrultudan 5°-15° sapma ile yerleştirilebilir.

Paternatör testlerinde ölçüm, ölçü silindirlerinde biriken sıvı hacminin dereceli hacim ölçeğiyle, ağırlık yöntemiyle veya eşdeğer bir ölçüm tekniğiyle

yapılmalıdır. Ağırlık yöntemi kullanıldığında, toplama kabı örnek almadan önce tartılmalı ve net ağırlık, ölçüm sonrası fark alınarak hesaplanmalıdır. Püskürtme devam ederken ölçü silindirlerinde toplama işlemi eş zamanlı yürütülmeli ve toplama süresi, ölçümde en fazla %1 hata payı yaratacak şekilde seçilmelidir. Toplama hacmi, skalaların okunabilirliğini ve ölçüm hassasiyetini sağlayacak seviyeye ulaşmış olmalıdır. Bu nedenle testler, yeterli deneyime sahip araştırmacılar tarafından yürütülmelidir. Püskürtme meme aralığı, komşu meme uçlarının merkezden merkeze yatay mesafesi ölçülerek doğrulanmalıdır. Meme konumu ise bom düz ve yatay bir yüzey üzerine açıldığında meme eksenlerinin ölçülmesiyle belirlenmelidir. Bu ölçümler zemine veya uygun olduğunda bom yapısına referans alınarak yapılabilir (ISO 5682-2:2017(E)).

Yatay paternatörlerde püskürtülen sıvıyı toplayan kanalların arasındaki mesafe, kanalların yüzey pürüzlülüğü ve kanalların şekilleri, hava akışındaki damlacık sıçramasını ve küçük damlacıkların hareketini kontrol ederek paternatörlerin ölçüm hassasiyeti üzerinde önemli etkiye sahip olmaktadır (Richardson et al. 1986).

Uluslararası (ISO 5682-1 & 5682-2) standartlara göre yatay paternatörlerin kanal özellikleri belirtilmiştir.

- İki ardışık kanal duvarı arasındaki mesafe tek bir meme için 25 veya 50 mm; çoklu memeler için 25, 50 veya 100 mm olmalıdır.
- Kanalların giriş kenarlarının yataydan sapması, genişlik boyunca ±%1 (10 mm m^{-1}) eğimi aşmamalıdır.
- Kanal yüksekliğindeki değişim, en az 1 m uzunluğunda düz bir cetvelle ölçüldüğünde 2 mm'yi aşmamalıdır.
- Kanalların giriş kenarının yataydan eğimi %10'u aşmamalıdır.
- Kanal genişliği 50 veya 100 mm olduğunda kanal derinliği 75 mm'den büyük olmalıdır.
- Kanal genişliği 100 mm olduğunda her bir kanalın giriş kenarındaki doğruluğu ±2.0 mm m^{-1} içinde olmalıdır.
- İki ardışık kanal duvarının giriş kenarları arasındaki mesafe 100 mm kanallar için ±2.0 mm içinde olmalıdır.

Paternatörler arasındaki farklılıkları tespit etmek amacıyla ve test düzeneklerinin standartlara uygunluğunu ortaya koymak için hidrolik memeler ile meme tipine, işletme basıncına ve püskürtme yüksekliğine bağlı olarak

püskürtme testleri yapılmıştır (Gil et al., 2021). Paternatör ölçüm tablalarının hava emişli, geniş püskürtme açılı, öne ve arkaya eşit açıda püskürtme yapabilen memelerin hacimsel dağılım düzgünlüğünü belirlenmesi için yeterli boyutlarda olmadığını belirtmişlerdir (Heinkel & Herbst 2013).

Püskürtme testlerinde yatay bir yüzeye özellikle yüksek basınçlarda sıvı jeti uygulandığında ölçüm tablasının ve akışkanın özelliklerine bağlı olarak yüzeyde yayılma, sıçrama ve yayılıp yansıma olmak üzere üç farklı sonuç görülmektedir. Hidrolik ve pnömatik püskürtme memelerinin dağılım deseninin belirlenmesi sırasında, atmosfere püskürtülen akışkan özellikle yüksek işletme basınçlarında paternatörün toplama kanallarına çarptığında damlacık sıçraması ve hava hareketleri meydana gelmektedir. Çarpma sonucu yön değiştirip geri dönen akışkan hedef ölçüm tablası yüzeyine toplanamamakla birlikte havaya sıçradığı anda türbülans oluşturmaktadır. Oluşan bu türbülansın etkisiyle püskürtülmesi devam eden akışkan parçacıkları ölçüm tablasına ulaşamadan hedef dışına iletilmektedir. Bu nedenle dağılım deseni belirlemek amacıyla yapılan püskürtme testleri hassas bir şekilde yürütülememektedir. 'Püskürtme darbesi' olarak tanımlanan bu etki, ölçüm sırasında akışkanın doğal dağılımını bozarak püskürtme deseninin doğru bir biçimde tespit edilmesini güçleştirmektedir. Buna karşılık, düşük işletme basınçlarında yürütülen denemelerde sıvının daha düşük enerjiye sahip olması sebebiyle kanal yüzeylerine yapışarak ölçü silindirlerine ulaşmadığı gözlenmektedir. Ayrıca, geniş açılı püskürtme memeleri ve büyük orifis çapına sahip memelerde tek meme paternatörlerinde püskürtme deseni ölçüm tablası dışına taşmakta, bu durum tek meme sabit paternatörlerde sağlıklı bir kalibrasyon yapılmasını engellemektedir.

Yardımcı hava akımlı püskürtücülerde etkili bir ilaçlamanın başarısı püskürtme yönü, damlacık büyüklüğü, hava hızı ve akış yönü gibi değişkenlere bağlıdır. Meyve bahçelerinde kullanılan bu tür püskürtücülerde, söz konusu püskürtme özelliklerinin yanı sıra sistemin bitki kanopi şekillerine göre ayarlanması da büyük önem taşımaktadır. Bu gereklilikten hareketle, farklı kanopi yapılarının dikkate alınabilmesi amacıyla dikey paternatörler geliştirilmiştir (Gil et al., 2013).

Bağ ve bahçe pülverizatörlerinin püskürtme performansını değerlendirmek amacıyla kullanılan dikey paternatörlerde yer alan toplama panellerinin minimum teknik özellikleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

- Ayrık toplayıcı elemanlardan oluşan test tezgâhlarında, her bir toplama yüzeyinin boyutu en az 180×220 mm olmalıdır.
- Püskürtme bulutunun tüm yüksekliği boyunca sıvının kesintisiz şekilde toplanabilmesi için bitişik iki toplama elemanı arasındaki düşey mesafe en fazla 300 mm olmalıdır.
- Toplanan sıvı, kapasitesi en az 50 ml olan ve ölçek hassasiyeti kendi kapasitesinin %1'den büyük olmayan dereceli silindirlere aktarılmalıdır (Balsari et al., 2016).

Dikey paternatörlerde sıvı toplama elemanı olarak kullanılan lamellerin yapısal yerleşimini aynı paternatör üzerinde lamelleri hem yatay hem de dikey olarak konumlandırılmıştır. Deneme sonuçları, lameller dikey konumlandırıldığında paternatörün, yatay konumlandırılmış lamellere kıyasla aynı test koşullarında %25 daha fazla sıvı topladığını göstermiştir (Biocca & Gallo, 2014). Dikey paternatörlerde kullanılan lamel yapısının yalnızca mekanik bir unsur olmadığı dağılım ölçüm doğruluğu ve test verimliliği açısından kritik bir tasarım parametresi olduğu anlaşılmaktadır.

Meyve bahçesi bitkileri, genellikle değişken taç yüksekliği ve yoğunluğuna sahip olduğundan, pülverizatörlerin oluşturduğu dikey püskürtme deseninin doğru bir şekilde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla kullanılan dikey paternatörler, yapısal özellikleri ve kullanım alanları dikkate alınarak altı ana grupta sınıflandırılmaktadır (Srigiri et al., 2025).

- Cornell Paternatör
- Kâğıt Paternatör
- Modifiye Cornell Paternatör
- SARE Paternatör
- Ekranlı SARE Paternatör
- Lamelli Paternatör

Yüksek taç boyuna sahip bitkilere yapılan uygulamalarda, püskürtme hedeflerinin dikey paternatör test tezgâhının yüksekliğini aşması durumunda, düşey doğrultuda belirli bir hızla ray üzerinde hareket edebilen mobil test düzenekleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, püskürtme testi sırasında ölçü silindirlerindeki sıvı seviyesi silindir hacminin en az %70'ine ulaşıncaya kadar püskürtme işlemi sürdürülmelidir (Balsari et al., 2016).

Bir yatay paternatör ile üç farklı toplama yüzeyi geometrisine sahip dikey paternatör kullanılarak gerçekleştirilen yardımcı hava akımlı püskürtme testlerinde ISO 5682 standardına uygun yatay test tezgâhında hava hızının artmasıyla birlikte, ince damlacıkların püskürtülmesi durumunda damlacıkların yüzeyden geri sıçramasının artmasına bağlı olarak geri kazanım kapasitesinde belirgin bir azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Allochis et al., 2015).

Püskürtülen akışkan, paternatör tablasında kanallarda toplanmakta ve her kanalda biriken sıvı, akışkan transfer hattı aracılığıyla toplama silindirlerine iletilmektedir. Püskürtme dağılım düzgünlüğünün hızlı bir şekilde ölçülmesine yönelik yaklaşımlar zaman içerisinde önemli bir gelişim göstermiştir. Başlangıçta gerçekleştirilen değerlendirmeler, skalalı ölçüm silindirleri üzerindeki değerlerin manuel olarak okunmasına dayandığından hem insan hatasına açık olmuş hem de oldukça zaman almıştır. Bu sistemleri otomatikleştirmeye yönelik ilk girişimler, toplanan sıvının ağırlığını ölçmek amacıyla yük hücrelerinin kullanılmasına dayanmıştır (Carpenter et al., 1988). Bu yöntemler veri toplamak için gereken iş gücü ve süreyi önemli ölçüde azaltmış olsa da, hareketli parçalardan kaynaklanan titreşimler sistemin sürdürülebilirliği açısından risk oluşturmaktadır.

Elektronik donanıma sahip paternatörler, mekanik sistemlere kıyasla daha pratik bir kullanım sunmakta ve ölçümleri oldukça hızlı bir şekilde gerçekleştirebilmekte ancak bu cihazların üretim maliyetleri oldukça yüksektir. (Çömlek & Sayıncı 2023). Dijital okuma yapabilen paternatör sistemlerinde kullanılan cihazların mekanik titreşimlerden olumsuz etkilenmesi ve denemeler esnasında söz konusu parçaların püskürtülen akışkan ile teması kaçınılmaz olmaktadır. Denemelerden önce elektronik cihazların kalibre edilmeleri test sonuçlarının doğruluğu açısından önem taşırken araştırmacılar için iş gücünün artmasına ve zaman kaybına neden olmaktadır. Otomatik ölçme sistemlerinde hareket iletim organlarında yapılacak yeni tasarımlar beraberinde toplam maliyeti de artıracaktır.

Paternatörün toplama silindirlerinde biriken akışkanın seviyesini ölçmek için dijital sıvı seviye sensörleri (Luck et al., 2016), silindirlerinin üzerinde ultrasonik ve optik (lazer) sensörle donatılmış doğrusal hareketli bir tarayıcı ile akışkanın seviyesi (Sehsah, 2016) ve küçük hacimli toplama silindirlerinin dolma zamanı esas alınarak (Višacki et al., 2017) yöntemleri ile belirlenmiştir. Püskürtme dağılımını belirlemek için kullanılan bir diğer yöntem görüntü

işlemedir. Mekanik paternatörlerde püskürtme deseninin belirlenmesinde kullanılan sensör tabanlı elektronik ölçme sistemlerine alternatif olabilecek düşük maliyetli, fonksiyonel ve kullanışlı bir görüntü işleme yöntemi geliştirmişlerdir (Çomaklı & Sayıncı, 2025)

İsviçre'de püskürtme dronlarının (İHA) homologasyon sürecinde uygulanacak püskürtme testleri için yatay paternatörün teknik boyutları belirlenmiştir. Buna göre, yatay paternatör en az 3 m genişliğinde, 6 m uzunluğunda ve drone'un uygulama genişliğinin en az 1.5 katı uzunlukta olacak şekilde kanallı bir yapıda olmalıdır. Paternatör üzerindeki kanallarda toplanan sıvı miktarlarının varyasyon katsayısı (CV), üç tekerrürün ortalaması alınarak değerlendirilmekte olup, en fazla %15 olması gerekmektedir (Anken, 2018).

2. SONUÇ

Geleneksel olarak kullanılan test düzeneklerinin üretim maliyetleri yüksek, kütlesel olarak ağır ve kalibre edilmeleri noktasında yeterince hassasiyeti olmayan test düzenekleridir. Ticari olarak üretilen paternatörlerin bireysel yetiştiriciler tarafından temin edilmesi oldukça maliyetli olmakta ve bu cihazlar saha koşullarına kolaylıkla uyarlanamamaktadır. Günümüzde kullanılan sabit yatay paternatörlerin büyük bir bölümü, taşınabilirliklerinin sınırlı olması nedeniyle laboratuvar ortamında kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Geleneksel olarak kullanılan test düzenekleri:

- Üretim maliyetleri yüksek,
- Kütlesel olarak ağır,
- Kolaylıkla konumları değiştirilememekte,
- Tüm püskürtme memelerinin ıslatma genişliğini temsil etme noktasında kısıtlı yapıda olmaları,
- Denemelerde tekerrürler arası standart sapmanın yüksek düzeyde tespit edilmesi,
- Püskürtülen sıvının çarpma sonucu kanallardan çıkarak ölçüm tüplerine iletilmemesi,
- Sıçrayan sıvı partiküllerinin beraberinde ölçüm tablasına düşmekte olan damlaları hedef dışına taşınması,
- Sıvı seviyesini belirlemek için kullanılan elektronik aygıtların zamanla hassasiyetini kaybetmeleri,

- Kalibre edilmeleri noktasında yeterince hassasiyeti olmayan test düzenekleridir.

Bu dezavantajlar, sabit paternatörlerin Ar-Ge çalışmaları ile eğitim-öğretim faaliyetlerinde beklenen gereksinimleri karşılamasını güçleştirmektedir. Ülkemizde püskürtme testleri sınırlı sayıda kuruluş tarafından yürütülmektedir. Kullanılan mevcut test düzenekleri yurtdışından ithal edilmekte ve yüksek maliyetle temin edilebilmektedir. Püskürtme test düzeneklerinin temin edilme noktasında yurt dışına bağımlılığı ortadan kaldıracak yerli ve milli test düzeneklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla, pestisit uygulamalarında kullanılan püskürtme memelerinin daha hassas ve hızlı okuma yapabilen test sistemleri ile değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Not:

Bu kitap bölümü, 10–12 Eylül 2025 tarihlerinde düzenlenen 36. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi kapsamında sunulan ve bildiri özet kitabında özet olarak yayımlanan çalışmanın genişletilmiş ve yeniden düzenlenmiş hâlidir.

KAYNAKÇA

Anken, T. (2018). Homologation and inspection of spray drones in Switzerland. SPISE 7, 196, 211.

Allochis, D., Balsari, P., Tamagnone, M., Marucco, P., Vai, P., & Bozzer, C. (2015). Perfformances evaluation of different vertical patternators. *Julius-Kühn-Archiv,* (449), 120. https://doi.org/10.5073/jka.2015.449.0021

Balsari, P., Herbst, A., & Langenakens, J. (2016). Advice for bush and tree crop sprayer adjustment. *SPISE ADVICE,* 2016(01), 1-20.

Biocca, M., & Gallo, P. (2014). Comparison between horizontal and vertical lamellate patternators for air-blast sprayers.

Butts, T. R., Luck, J. D., Fritz, B. K., Hoffmann, W. C., & Kruger, G. R. (2019). Evaluation of spray pattern uniformity using three unique analyses as impacted by nozzle, pressure, and pulse-width modulation duty cycle. *Pest Management Science,* 75(7), 1875-1886. https://doi.org/10.1002/ps.5352

Carpenter, T. G., Reichard, D. L., Ozkan, H. E., Holmes, R. G., & Thornton, E. (1988). Computerized weighing system for analyses of nozzle spray distribution. Transactions of the ASAE, 31(2), 375-0379.

Çomaklı, M. (2024). Strok hareketli püskürtme test tarayıcısı prototipinin tasarımı ve üretimi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Çomaklı, M., & Sayıncı, B. (2025). A Novel Image-Based Method for Measuring Spray Pattern Distribution in a Mechanical Patternator. Agriculture, 15(22), 2337. https://doi.org/10.3390/agriculture15222337

Çömlek, R. (2017). Püskürtme paterni test ünitesinin tasarımı, imalatı ve pülverizatör memelerinde akış kontrolü. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Çömlek, R., & Sayıncı, B. (2023). Mekanik Püskürtme Paternatörü Tasarımı, Prototip İmalatı ve Pülverizatör Memelerinde Akış Testleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi,* 38(3), 597-618.

Elsevier. (2025). Scopus database: Search query TITLE-ABS-KEY ("patternator"). Retrieved Month Day, Year, from https://www.scopus.com

Elwakeel, A. E., Ahmed, S. F., Zein Eldin, A. M., & Nasrat, L. (2021). Effect of spraying height, pressure, and nozzle type on flow characteristics of a field sprayer. *Al-Azhar Journal of Agricultural Engineering,* 1(1), 29-38.

FAO. (2023). Inputs and Pesticide use. FAOSTAT. https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP

Ferguson, J. C., Chechetto, R. G., Adkins, S. W., Hewitt, A. J., Chauhan, B. S., Kruger, G. R., & O'Donnell, C. C. (2018). Effect of spray droplet size on herbicide efficacy on four winter annual grasses. *Crop Protection,* 112, 118-124. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.020

Gil Moya, E., Landers, A., Gallart González-Palacio, M., & Llorens Calveras, J. (2013). Development of two portable patternators to improve drift control and operator training in the operation of vineyard sprayers. Spanish journal of agricultural research, (3), 615-625. https://doi.org/10.5424/sjar/2013113-3638

Gil, E., Bueno, M., Campos, J., Gallart, M., & Da Cunha, J. P. (2021). Evaluation of horizontal patternators according to international standard requirements for boom sprayers. Transactions of the ASABE, 64(5), 1635-1646. https://doi.org/10.13031/trans.14086

Grella, M., Marucco, P., Resecco, M., Bozzer, C., Biglia, A., Comba, L., ... & Gioelli, F. (2022, September). The Effect of Adjuvants in Reducing Potential Spray Drift. *In Conference of the Italian Society of Agricultural Engineering (pp. 597-604).* Cham: Springer International Publishing.

Heinkel, R., & Herbst, E. (2013). Uniform cross distribution of double flat spray nozzles may be affected by the design of the sprayer. *Julius-Kühn-Archiv,* (439), 191. https://doi.org/ 10.5073/jka.2012.439.038

Hewitt, A. J. (2000). Spray drift: impact of requirements to protect the environment. Crop Protection, 19(8-10), 623-627. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00082-X

ISO. (2013). 16119-2: Agricultural and forestry machinery, Environmental requirements for sprayers - Part 2: Horizontal boom sprayers. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

ISO. (2015). 16122: Agricultural and forestry machinery, Inspection of sprayer and liquid fertilizer in use - Part 1, General; Part 2, Boom sprayers; Part 3, Sprayers for bush and trees. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

ISO. (2017a). 5682-1: Equipment for crop protection, Spraying equipment - Part 1: Test methods for sprayer nozzles. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

ISO. (2017b). 5682-2: Equipment for crop protection, Spraying equipment - Part 2: Test methods for hydraulic sprayer liquid delivery system. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

Luck, J. D., Schaardt, W. A., Sharda, A., & Forney, S. H. (2016). Development and evaluation of an automated spray patternator using digital liquid level sensors. *Applied Engineering in Agriculture,* 32(1), 47-52. https://doi.org/10.13031/aea.32.11381

Manalil, S., Busi, R., Renton, M., & Powles, S. B. (2011). Rapid evolution of herbicide resistance by low herbicide dosages. *Weed Science,* 59(2), 210-217. https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00111.1

Richardson, R. G., Combellack, J. H., & Andrew, L. (1986). Evaluation of a spray nozzle patternator. *Crop protection,* 5(1), 8-11.

Sehsah, E.M.E. Vertical Patternator for Evaluation of the Hydraulic Sprayers. Misr J. Agric. Eng. 2016, 33, 1239-1254. https://doi.org/10.21608/mjae.2016.97595.

Srigiri, D., Sunil, S., Vijayakumar, P., Sreenivas, A. G., & Pampanna, Y. (2025). Techniques for Assessment of Vertical Spray Pattern: A Review. *Archives of Current Research International,* 25(5), 331-342. https://doi.org/10.9734/acri/2025/v25i51213

Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. scientometrics, 84(2), 523-538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

Višacki, V.; Sedlar, A.; Bugarin, R.; Turan, J.; Burg, P. Effect of Pressure on the Uniformity of Nozzles Transverse Distribution and Mathematical Model Development. Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun. 2017, 65, 563-568. https://doi.org/10.11118/actaun201765020563.