

Yabancı Ot Kontrolünde Gelişen Bir Teknik: Sürdürülebilir Tarımda Herbigasyonun Rolü

Advances in Weed Control: The Role of Herbigation in Sustainable Agriculture

Okan Güzel 

Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye

ÖZ

Herbigasyon, sulama suyu ile herbisitlerin eş zamanlı uygulanmasına olanak tanıyan yenilikçi bir yabancı ot yönetim tekniğidir. Damla sulama sistemleriyle entegre edildiğinde, herbisitlerin kök bölgesine kontrollü ve düşük hacimlerde ulaştırılmasını sağlayarak hem etkinlik hem de seçicilik açısından avantaj sunar. Bu yaklaşım, özellikle su ve iş gücü tasarrufu sağlaması, yabancı ot kontrolünü artırması ve ürün verimini desteklemesiyle ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, herbigasyonun farklı ürünlerde (çeltik, pamuk, mısır, bağ fidanı ve sebzeler) başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Türkiye’de yürütülen TAGEM projeleri ve damla sulama altında gerçekleştirilen saha denemeleri, çıkış öncesi ve sonrası herbisitlerin ardışık olarak uygulanmasıyla %90’ın üzerinde yabancı ot kontrolü sağlandığını ve verimde belirgin artış elde edildiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, sistemin teknik altyapı gereksinimleri, ilk yatırım maliyetleri ve herbisit seçiminin dikkatle yapılması gerekliliği, yaygınlaşmasını sınırlayan etkenlerdir. Gelecekte hassas tarım teknolojileri, yapay zekâ destekli sulama sistemleri ve çevre dostu herbisit formülasyonlarıyla birleştirildiğinde herbigasyonun daha güvenli, sürdürülebilir ve ekonomik bir yöntem haline gelmesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kemigasyon, herbigasyon, damla sulama, yabancı ot, entegre mücadele

ABSTRACT

Herbigation is an innovative weed management technique that enables the simultaneous application of irrigation water and herbicides. When integrated with drip irrigation systems, it delivers herbicides precisely to the root zone in controlled amounts, enhancing both efficacy and selectivity. This approach stands out for its ability to save water and labor, improve weed control efficiency, and support crop yield. Recent studies have demonstrated the successful use of herbigation across various crops, including rice, cotton, maize, grapevine nurseries, and vegetables. Field trials conducted in Türkiye, including TAGEM projects on drip-irrigated rice, revealed that sequential pre-emergence and post-emergence herbicide applications achieved over 90% weed control, resulting in significant yield improvements. However, the adoption of herbigation is limited by its technical infrastructure requirements, high initial investment costs, and the need for careful herbicide selection. In the future, the integration of precision agriculture technologies, AI-driven irrigation systems, and environmentally friendly herbicide formulations is expected to make herbigation a more sustainable, safe, and economically viable solution for integrated weed management.

Keywords: Chemigation, herbigation, drip irrigation, weed, integrated management

Okan Güzel, Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye

E-mail: okan.guzel@tarimorman.gov.tr / **ORCID ID:** 0009-0008-8172-7725

Received: 26.03.2025 / **Accepted:** 23.09.2025

Nasıl Atıf Yapılır?: Güzel O. Yabancı Ot Kontrolünde Gelişen Bir Teknik: Sürdürülebilir Tarımda Herbigasyonun Rolü Türkiye. Turkish Journal of Weed Science. 2025;28(2): 127-134.

Cite this article as: Güzel O. Advances in Weed Control: The Role of Herbigation in Sustainable Agriculture Turkish Journal of Weed Science. 2025;28(2): 127-134.



Bu dergide yayınlanan makaleler Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
Articles published in this journal are licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

GİRİŞ

Hızla artan küresel nüfusun gıda talebini karşılayabilmek için tarımsal üretim sistemlerinin verimliliğinin artırılması gerekmektedir (Howell, 2001). Ancak, tarımsal üretime ayrılan tatlı su kaynaklarının %72'sinin tüketilmesi ve iklim değişikliğine bağlı kuraklık riskinin artması, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde suyun daha etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır (Cai ve Rosegrant, 2003; Sujithra ve ark., 2020). Bu nedenle, bitki su verimliliğini artırmaya yönelik sürdürülebilir yöntemler giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Debaeke ve Aboudrare, 2004). Mikro sulama sistemleri, özellikle su kıtlığı yaşanan, eğimli, kumlu ve engebeli arazilerde sıralı ekilen ve yüksek ekonomik değere sahip geniş aralıklı bitkiler için etkili bir su tasarrufu tekniği olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, mikro sulama sistemlerinin geleneksel yüzey sulama yöntemlerine kıyasla %40-50 oranında su tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca damla sulama sistemlerinde suyun bitki kök bölgesinde tutulma oranı %80-95 gibi yüksek verim seviyelerine ulaşabilmektedir. Bunun yanı sıra, mikro sulama sistemleri sadece su verimliliğini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda enerji tüketimini de azaltarak üretim maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır. Küresel ölçekte mikro sulama sistemlerine yapılan yatırımın 2022 yılında yaklaşık 13 milyar USD olduğu ve 2030 yılına kadar 30 milyar USD seviyelerine ulaşacağı öngörülmektedir (Strategic Market Research, 2023). Bu büyüme, su ve enerji verimliliğini artıran akıllı sulama teknolojilerinin tarımda giderek daha fazla benimsendiğini göstermektedir. Örneğin, Hindistan'da damla sulama ile sulanan alan yalnızca yaklaşık 0,17 milyon hektar olup, toplam sulanan alanla kıyaslandığında oldukça küçük bir orana sahiptir (Sivanappan, 1998). Bununla birlikte, su kıtlığının yoğun yaşandığı bölgelerde giderek daha fazla kabul gören ileri bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, herbigasyon, sulama ve herbisit uygulamalarının entegrasyonunu sağlayan modern bir yöntem olup, hem iş gücü hem de maliyet açısından tasarruf sağlarken kaynak kullanım verimliliğini de maksimize etmektedir (Sabarivasan, 2023). 1960'lı yıllardan itibaren gelişmeye başlayan bu teknik, damla sulama sistemleriyle yaygınlaşmış ve herbisitlerin hedeflenen bölgelere hassas bir şekilde uygulanmasına olanak tanımıştır (Hariharasudhan ve ark., 2017). Herbigasyonun avantajları arasında, yabancı ot mücadelesinde etkinliğin artırılması, herbisit kalıntılarının minimize edilmesi ve bitki veriminin yükseltilmesi yer almaktadır (Koumanov ve ark., 2009). Bununla birlikte,

yüksek başlangıç maliyetleri, sistemin işletilmesi için gerekli teknik bilgi ihtiyacı, ekipman arızaları ve yanlış uygulamalar sonucu ortaya çıkabilecek çevresel riskler, bu yöntemin yaygınlaşmasını sınırlayan temel faktörlerdir (Rankova ve ark., 2009). Son yıllarda laboratuvar, sera ve tarla koşullarında yürütülen araştırmalar, herbigasyonun farklı tarımsal üretim sistemlerinde uygulanabilirliğini ve avantajlarını ortaya koymaktadır. Örneğin, İsrail'de yapılan çalışmalarda damla sulama ile uygulanan imazapic'in, Phelipanche aegyptiaca gibi parazitik bitkileri domates köklerine tutunduktan sonra düşük dozlarda bile etkili şekilde öldürebildiği gösterilmiştir; ancak etkin kontrol için tekrarlı uygulamalar gerekmektedir (Goldwasser ve ark., 2023). Çin'in Hexi Corridor bölgesinde mısır üretiminde plastik malç ile kombine edilen herbigasyon uygulamaları, geleneksel makineli toprak ilaçlaması kadar etkili bulunmuş ve herbisit girdisini %45'e varan oranlarda azaltmıştır (Zhang ve ark., 2024). Benzer şekilde, Bulgaristan'da bağ fidanlılığı üretiminde s-metolachlor + terbuthylazine kombinasyonu ile yapılan herbigasyon uygulamaları, iş gücü tasarrufu sağlayarak net geliri %13,6 ila %30,4 oranında artırmış, maliyetleri düşürmüş ve kârlılığı artırmıştır (Dimitrova ve ark., 2022). Ayrıca bağ fidanlarında yapılan diğer bir çalışma, herbigasyonun köklenme oranı ve biyometrik göstergelerde manuel uygulamalarla benzer sonuçlar verdiğini ve güvenle uygulanabileceğini ortaya koymuştur (Prodanova-Marinova ve Tsvetanov, 2021). Hindistan'da damla sulanan pamuk alanlarında ise pendimethalin ve oxyfluorfen gibi çıkış öncesi (PE) herbisitlerin herbigasyonla uygulanmasının, manuel uygulamalarla benzer yabancı ot kontrol etkinliği sağladığı ve verim kaybına neden olmadığı bildirilmiştir (Dharani ve ark., 2023). Türkiye'de ise 2021-2023 yılları arasında TAGEM tarafından yürütülen "Damla Sulama Yapılan Çeltik Alanlarındaki Yabancı Otların Tespiti ve Herbisit Kullanımının Araştırılması" projesi, damla sulama altında herbigasyonun çeltikte uygulanabilirliğini ortaya koymuştur. Ayrıca Türkiye koşullarında damla sulanan çeltik alanlarında yürütülen iki yıllık bir çalışma, çıkış öncesi ve ardışık post-emergence herbisitlerin kombine edilmesinin %90'ın üzerinde yabancı ot kontrolü sağladığını ve verimi 6540 kg/ha düzeyine kadar çıkardığını göstermiştir (Guzel ve ark., 2025). Tüm bu çalışmalar, herbigasyonun farklı iklim, bitki türü ve üretim sistemlerinde teknik, ekonomik ve çevresel açıdan uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır. Gelişen teknolojiler ve hassas tarım uygulamalarıyla entegre edildiğinde, gerçek zamanlı veri analizi ve çevre dostu herbisit formülasyonlarının desteğiyle herbigasyonun daha etkin ve güvenli hale gelmesi mümkündür. Bu doğrultuda, herbigasyonun su kaynaklarının korunmasını sağlayan

ve tarımsal üretimi optimize eden önemli bir yöntem olarak gelecekte daha geniş bir uygulama alanı bulması beklenmektedir (Sujithra ve ark., 2020; Manisankar ve ark., 2022).

Tanımlar

Kemigasyon: Kemigasyon, herbisitler, insektisitler, fungusitler ve gübreler de dahil olmak üzere tarımsal kimyasalların(pestisitlerin) damla sulama sistemi aracılığıyla uygulanması olarak tanımlanmaktadır (Chalfant ve Young, 1984).

Fertigasyon: Suda çözünebilen veya sıvı gübrelerin sulama suyu ile birlikte uygulanmasına fertigasyon denir. Genel olarak, fertigasyon, suda çözünebilen gübrelerin yağmurlama ve damla sulama sistemleri aracılığıyla hassas bir şekilde uygulanması olarak tanımlanmaktadır.

Herbigasyon: Herbigasyon, herbisitlerin damla sulama sistemleri ile birlikte toprağa uygulanması işlemidir.

İnsektigasyon: İnsektigasyon, insektisitlerin damla sulama sistemleri ile birlikte toprağa uygulanması işlemidir.

Fungigasyon: Fungigasyon, fungusitlerin damla sulama sistemleri ile birlikte toprağa uygulanması işlemidir.

Herbigasyonun Tanımı ve Tarihçesi

Herbigasyon, sulama ve herbisit uygulamasının tek bir süreçte entegre edildiği yenilikçi bir tarımsal yöntemdir. Bu akıllı uygulama, zaman ve iş gücü maliyetlerini azaltırken kaynak kullanımını en üst düzeye çıkarması nedeniyle verimli ve sürdürülebilir tarımın temel taşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Herbigasyon, sulama ve herbisit uygulamasının yenilikçi bir şekilde birleştirilmesiyle tarım alanında önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Bu yöntemin gelişimini anlamak için öncelikle sulama ve herbisit kullanımının tarihsel bağlamına bakmamız gerekmektedir. Sulama, bitkisel üretimi desteklemek amacıyla suyun kontrollü bir şekilde toprağa uygulanmasıdır ve binlerce yıldır tarımda kullanılan bir yöntemdir. İlk sulama sistemleri, karık ve taşkın sulama gibi geleneksel yöntemlerle antik Mısır ve İndus Vadisi medeniyetlerine kadar uzanmaktadır. Öte yandan, herbisitler tarımsal üretimde daha yakın tarihlerde, 20. yüzyılda sentetik kimyasalların geliştirilmesiyle kullanılmaya başlanmıştır. Bu kimyasallar, yabancı otların ekinlerle su, besin ve güneş ışığı için rekabetini önleyerek etkili bir yabancı ot kontrolü sağlamıştır (Sabarivasan, 2023).

Herbigasyon uygulamaları 1960'ların sonlarında başlamış ve hızla kabul görerek yaygınlaşmıştır. Son yıllarda, damla sulama sistemlerinin hızla genişlemesiyle birlikte bu teknik farklı tarımsal alanlara da yayılmıştır. Herbigasyonun tarihi, modern tarımda su yönetimi ve yabancı ot kontrolünün entegre

bir biçimde ele alınmaya başlandığı dönemlere kadar uzanır. İlk sulama sistemleri, suyun bitkisel üretimi desteklemek için kontrollü bir şekilde toprağa ulaştırılmasını sağlarken, herbisitlerin kullanımı 20. yüzyılın ortalarına doğru gelişim göstermiştir (Keller ve Bliesner, 1990). Bu dönemde, tarımsal kimyasalların etkin bir şekilde uygulanabilmesi için sulama sistemleriyle entegre yöntemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır (Chen ve ark., 2024). Herbigasyonun, özellikle damla sulama gibi modern sulama teknikleriyle birleştiğinde tarımsal üretimde köklü bir değişim yaratmıştır. 21. yüzyılın başlarından itibaren bu yöntem, sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemek ve aynı zamanda iş gücü ile maliyet tasarrufu sağlamak amacıyla dünya genelinde yaygın bir kullanım kazanmıştır (Sabarivasan, 2023). Herbisitlerin damla sulama sistemi aracılığıyla uygulanması, yabancı otları etkili bir şekilde kontrol ederken aynı zamanda ürün verimliliğini artırmaktadır.

Herbigasyonda Kullanılabilen Herbisitler

İyi tasarlanmış ve düzgün çalışan bir damla sulama sistemi kullanıldığında, birçok topraktan etkili çıkış öncesi (PE) herbisitinin seçici yabancı ot kontrolü sağladığı gösterilmiştir (El-Gindy, 1988). Türkiye koşullarında yürütülen çalışmalarda, imi-tolerant ve konvansiyonel çeltik çeşitlerinde damla sulama yoluyla uygulanan pendimethalin, pretilachlor ve pretilachlor+pyribenzoxim gibi PE herbisitlerin, ardışık olarak uygulanan çıkış sonrası (PoE) herbisitlerle (imazamox, quinclorac, penoxsulam+florpyrauxifen-benzyl ve 2,4-D isooctyl ester) kombine edilmesi, yabancı ot kontrolünde yüksek etkinlik sağlamıştır. Bu bulgular, TAGEM tarafından 2021-2023 yılları arasında yürütülen "Damla Sulama Yapılan Çeltik Alanlarındaki Yabancı Otların Tespiti ve Herbisit Kullanımının Araştırılması" projesinde ve damla sulama çeltik alanlarında yapılan iki yıllık çalışmada (Guzel ve ark., 2025) ortaya konmuştur. Buna karşılık, yalnızca yapraktan emilerek sistemik etki gösteren glyphosate veya fluazifop gibi herbisitlerin herbigasyon yoluyla uygulanması düşük veya değişken sonuçlar vermektedir (Rankova ve ark., 2009). Çıkış öncesi herbigasyon uygulamalarında bitkilerin herbisitlere toleransı genellikle iyi veya mükemmel seviyede olurken, çıkış sonrası uygulamalarda da bitki toleransı oldukça iyi bulunmuştur (Koumanov ve ark., 2009). Bu bağlamda, herbigasyonun etkili bir yabancı ot kontrol yöntemi olarak değerlendirilmesi, kullanılan herbisitinin çözünürlüğü, adsorpsiyon kapasitesi ve uçuculuğuna bağlıdır. Ayrıca, uygun sulama teknikleri kullanılarak herbisitinin hedef bölgelere homojen bir şekilde dağıtılması, yöntemin başarısını belirleyen temel unsurlardan biridir (Manisankar ve ark., 2022).

Tarımda Devrim Yaratan Herbigasyonun Temel İlkeleri

Herbigasyon, tarımsal üretimde su ve herbisit kullanımını optimize eden yenilikçi bir yöntemdir. Bu yaklaşım, hem yabancı ot mücadelesini daha etkili hale getirmekte hem de kaynakların sürdürülebilir kullanımına katkı sağlamaktadır. Herbigasyonu tarımda devrim yaratan bir yöntem haline getiren temel ilkeler şunlardır (Sabarivasan, 2023):

Kaynak Verimliliği: Herbigasyon, su ve herbisit gibi iki kritik kaynağın en verimli şekilde kullanılmasını sağlar. Herbisitlerin yalnızca ihtiyaç duyulan yerde ve zamanda uygulanmasını garanti ederek israfı azaltır ve çevresel etkiyi en aza indirir.

Hassas Yabancı Ot Kontrolü: Bu yöntem, herbisitlerin son derece hedefe yönelik bir şekilde uygulanmasına olanak tanır. Yabancı ot varlığı ve gelişimi ile ilgili gerçek zamanlı verilerin entegrasyonu sayesinde kimyasal kullanımını minimize ederken yabancı ot baskısını etkili bir şekilde yönetmeyi mümkün kılar.

İş gücü ve Zaman Tasarrufu: Herbigasyon, manuel herbisit uygulama ihtiyacını azaltarak çiftçilerin zamandan ve iş gücünden tasarruf etmesini sağlar. Özellikle iş gücü temininde zorluk yaşanan modern tarımda, bu verimlilik büyük önem taşımaktadır.

Artan Ürün Verimi: Bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyun doğru miktarda sağlanması ve yabancı ot rekabetinin en aza indirilmesi sayesinde, herbigasyon ürün verimini artırabilir. Bu da çiftçiler için daha yüksek kazanç anlamına gelmektedir.

Çevresel Faydalar: Herbigasyonun hassas ve verimli uygulama yöntemi, herbisit kullanımının ve sulamanın çevresel etkilerini azaltır. Aşırı uygulama ve yüzey akışını önleyerek su kaynaklarının ve toprağın korunmasına katkı sağlar.

Herbigasyon Nasıl Çalışır?

Herbigasyon, çoğunlukla damla sulama sistemlerinde uygulanır ve herbisitlerin sulama sistemine enjekte edilmesini sağlayan bir gübre enjektör pompası ile gerçekleştirilir. Sistemde ayrıca su basıncını izlemek için bir basınç göstergesi bulunur. Bu yöntem genellikle fertigasyon ile paralellik gösterir ve şu adımları içerir (Sabarivasan, 2023):

Ekipman Entegrasyonu: Sulama ve herbisit uygulama ekipmanları entegre edilir.

Haritalama ve Planlama: Tarla haritaları, herbisitlerin hassas bir şekilde uygulanmasına rehberlik eder.

Herbisit Seçimi: Hedef yabancı otlara yönelik uygun herbisitler belirlenir.

Kalibrasyon: Su ve herbisitlerin doğru miktarda uygulanması için akış hızları ayarlanır.

Zamanlama ve Programlama: Uygulamanın en etkili olduğu zaman dilimleri belirlenir.

Herbisit Karışımı: Herbisitler suyla karıştırılarak homojen bir çözelti oluşturulur.

Sulama Sırasında Uygulama: Su, herbisitleri taşıyarak eşit dağılım sağlar.

Dengeli Dağıtım: Sulama, herbisitlerin tarlada homojen bir şekilde yayılmasını sağlar.

İzleme ve Kontrol: Gerçek zamanlı verilerle uygulama süreci gerektiğinde ayarlanır.

Uygulamanın Tamamlanması: Planlanan miktarlardaki herbisit uygulaması tamamlanır.

Ekipmanın Temizlenmesi: Kalıntı oluşumunu önlemek için sistem temizlenir.

Veri Kaydı ve Analiz: Gelecek planlamalar için uygulama verileri saklanır.

Herbigasyon Avantajları

Herbigasyon hem iş gücü hem de maliyet açısından tasarruf sağlarken, çevresel sürdürülebilirliği de desteklemektedir. Herbigasyonun sunduğu başlıca avantajlar şunlardır (Sabarivasan, 2023):

Daha Az Kimyasal İsrafı: Herbigasyon, herbisitlerin yalnızca gerekli olduğu zaman ve bölgelerde uygulanmasını sağlayarak israfı en aza indirir.

Tekrar Uygulama İhtiyacını Azaltma: Herbisitler, yabancı otların en hassas olduğu büyüme evrelerinde uygulanarak etkinlik artırılır.

Ekonomik Verimlilik: Doğru dozajların uygulanması sayesinde aşırı kullanım önlenerek maliyetler düşürülür.

Etkili Yabancı Ot Kontrolü: Hassas uygulama sayesinde yabancı otlar etkin bir şekilde kontrol edilir ve bitkilerin su, besin ve güneş ışığı ile rekabeti azaltılır.

Bitki Stresinin Azalması: Yeterli suya erişen ve yabancı ot rekabetinden kurtulan bitkiler daha sağlıklı gelişir ve daha yüksek verim sağlar.

Herbigasyonun Dezavantajları

Herbigasyon, sulama ve herbisit uygulamasını birleştiren yenilikçi bir tarımsal yöntemdir. Ancak, bu yöntemin uygulanmasında çeşitli zorluklar bulunmaktadır (Sabarivasan, 2023):

Yüksek Maliyet: Herbigasyon teknolojisinin uygulanması önemli bir finansal yatırım gerektirir. Sulama sistemine entegre edilecek herbisit enjeksiyon ekipmanları ve otomasyon sistemleri, geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek maliyetlidir.

Teknik Bilgi Gereksinimi: Herbigasyon sisteminin etkin ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için uzmanlık

gereklidir. Çiftçilerin ve teknik personelin, sistemin işleyişini anlaması ve olası arızaları giderebilmesi için eğitilmesi önemlidir.

Ekipman Arızaları: Damla sulama sistemine entegre edilen enjeksiyon pompaları ve filtreler zamanla tıkanabilir veya arızalanabilir. Bu durum, herbisitlerin homojen dağılımını engelleyerek yabancı ot kontrolünü olumsuz etkileyebilir.

Çevresel Riskler: Yanlış dozajlama veya hatalı uygulamalar sonucunda, herbisitlerin toprak ve su kaynaklarına karışma riski bulunmaktadır. Bu durum, çevre kirliliğine ve su ekosistemlerinde olumsuz etkilere yol açabilir.

Örnek Çalışmalar: Damla Sulama ile Herbigasyon Uygulamaları

El Gindy (1988), domates ve salatalık bitkilerine sulama suyu ile birlikte herbisit uygulanmasının, geleneksel püskürtme yöntemine kıyasla sırasıyla karık, yağmurlama ve damla sulama sistemlerinde yabancı ot kontrol etkinliğini %55,5, %68 ve %65,9 oranında artırdığını bildirmiştir. Aynı çalışmada, damla sulama yönteminin karık sulama sistemine kıyasla yabancı ot büyümesini %56,3, yağmurlama sulama sistemine kıyasla ise %36,5 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. Kanimozhi ve ark. (2019), ekim öncesi 0.188 kg a.i ha⁻¹ dozunda oxyfluorfen uygulanmasının, bitki bulunmayan bir ortamda mikro yağmurlama sistemiyle gerçekleştirilen herbigasyon altında %80,8 gibi yüksek bir yabancı ot kontrol etkinliği sağladığını rapor etmiştir. Araştırma bulguları, bazı herbisitlerin sulama suyu ile uygulandığında hedef yabancı otları etkili bir şekilde kontrol edebildiğini ortaya koymuştur. Herbigasyon, uygulama için ek bir maliyet gerektirmez. Bununla birlikte, herbisitlerin sulama sistemi içinde hareketi tamamen çözünürlük, adsorpsiyon, uçuculuk ve hem suyun hem de herbisitlerin etkin kullanımına bağlıdır (Sujith ve ark., 2003). Nalayani ve ark. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada ise, çıkış öncesi (ekim sonrası 3. gün) herbigasyon ile geleneksel püskürtme yöntemi arasında yabancı ot kontrol etkinliği açısından anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, herbigasyonun çıkış sonrası yabancı ot kontrolü açısından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Rankova ve ark. (2007) ise mikro sulamanın meyve bahçelerinde herbisit uygulaması için başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışmada, herbigasyonun ağaç büyümesi ve verimi üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı, aynı zamanda toprak mikrobiyal aktivitesini de etkilemediği tespit edilmiştir. Soman (2012), Hindistan’da yaptığı bir çalışmada, 7 farklı çeltik çeşidinde, göllendirme ve damla sulama yöntemini karşılaştırmış ve damla sulama yönteminin hepsinde verim artışının %22,5 ve su tasarrufunun %66,3 olduğunu belirtmiştir. Ramesh ve Rathika (2020), çeltikte damla sulamada yabancı otlarla mücadele tekniklerinin

belirlenmesi ile ilgili yaptıkları bir çalışma sonucunda plastik malç kullanımının diğer yapılan işlemlere göre daha fazla (%83,9) yabancı ot kontrolü sağladığını bildirmişlerdir. Aynı çalışmada denemeye alınan yöntemler ve yabancı ot kontrol etkinlikleri elle yolma (%80,3), çıkış öncesi Pendimethalin (100 g/da) uygulaması (%75,3), çıkış öncesi damla sulama yoluyla Pendimethalin (100 gr/da) uygulaması (%66,7), çıkıştan 20 gün sonra Bispyribac sodium (0.25 g/da) uygulaması (%78,1) ve çıkış öncesi damla sulama yoluyla Pendimethalin (100 g/da) uygulaması ile çıkıştan 20 gün sonra Bispyribac sodium (0.25 g/da) uygulamasının birlikte kullanılması (%79,1) olarak bulunmuştur. Türkiye’de 2021-2023 yılları arasında TAGEM tarafından yürütülen “Çeltikte Damla Sulama Sistemlerinde Herbisitlerin Kullanım Olanaklarının Araştırılması” projesinde, imi-tolerant ve konvansiyonel çeltik çeşitleri kullanılmış; pendimethalin, pretilachlor ve pretilachlor+pyribenzoxim gibi çıkış öncesi (PE) herbisitlerin, ardışık post-emergence (PoE) uygulamalar (imazamox, quinclorac, penoxsulam+florpyrauxifen-benzyl, 2,4-D isooctyl ester) ile kombine edilmesinin yüksek etkinlik sağladığı belirlenmiştir. Bu projede hem Diyarbakır’daki Karacadağ yerel çeşidi hem de Marmara bölgesinde standart çeşitlerle denemeler yapılmış ve damla sulama altında herbigasyonun çeltikte başarılı şekilde uygulanabileceği ortaya konmuştur. Benzer şekilde, Türkiye’de damla sulanan çeltik alanlarında yürütülen iki yıllık bir saha çalışmasında (Guzel ve ark., 2025), ‘Osmancık-97’ çeşidinde 14 farklı herbisit programı test edilmiştir. Pretilachlor ve pyribenzoxim ile yapılan PE uygulamaları, ardışık olarak quinclorac, cyhalofop-butyl, penoxsulam+florpyrauxifen-benzyl gibi PoE herbisitlerle kombine edildiğinde yabancı ot kontrolü %90’ın üzerine çıkmış ve verim 6540 kg/ha düzeyine ulaşmıştır. Kontrol parsellerinde ise yoğun yabancı ot rekabeti nedeniyle verim 280 kg/ha’ya kadar düşmüştür.

Herbigasyonun Geleceği: Yenilikçi Tarımın Yeni Ufukları

Herbigasyonun geleceği, gelişen teknolojiler ve sürdürülebilir tarım uygulamaları ile şekillenmektedir (Manisankar ve ark., 2022; Manibharathi ve Vinodhini 2023; Sabarivasan, 2023; Sivalingam ve ark., 2022):

Yapay Zekâ ve Otomasyon: İleri sensör teknolojileri ve yapay zekâ destekli sistemler sayesinde, herbisit uygulaması daha hassas ve verimli hale getirilecektir. Gerçek zamanlı veri analizi, yabancı ot yoğunluğuna göre optimum herbisit miktarının belirlenmesini sağlayacaktır.

Küresel Yayılım: Sınırlı su kaynaklarına sahip bölgelerde herbigasyonun benimsenmesi giderek artmaktadır. Özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde, su ve kimyasal kullanımını optimize eden bu yöntem daha yaygın hale gelecektir.

Sürdürülebilirlik ve Çevresel Uyum: Düşük çevresel etkiye sahip biyolojik herbisitlerin kullanımı, herbigasyonun ekolojik açıdan daha sürdürülebilir bir sistem haline gelmesine katkıda bulunacaktır.

İklim Değişikliğine Uyum: Küresel iklim değişikliği, tarımda su yönetiminin daha stratejik hale gelmesini zorunlu kılmaktadır. Herbigasyon, sınırlı su kaynaklarının etkin kullanımını sağladığı için iklim değişikliğine karşı sürdürülebilir tarım uygulamalarının önemli bir parçası olacaktır.

Yasal Düzenlemeler ve Politikalar: Herbigasyon uygulamalarının güvenli ve etkin bir şekilde yapılabilmesi için, ulusal ve uluslararası düzeyde yeni düzenlemeler ve politikalar geliştirilecektir. Özellikle, herbisit kullanım miktarının kontrol altına alınması ve çevre dostu alternatiflerin teşvik edilmesi hedeflenmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Herbigasyon, sulama ve herbisit uygulamalarını birleştirerek tarımda yenilikçi bir dönüşüm potansiyeli sunmaktadır. Bu yöntem, herbisit kullanımını optimize ederken iş gücü ve maliyetleri azaltmakta, çevresel etkiyi minimize ederek sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla uyumlu bir yabancı ot yönetimi sağlamaktadır. Ayrıca sulama verimliliğini artırarak bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyu doğru zamanda ve doğru miktarda almasını sağlayarak su kaynaklarının korunmasına ve tarımsal verimliliğin yükseltilmesine katkıda bulunmaktadır. Mikro sulama sistemleri içinde bütüncül bir yabancı ot yönetimi sunan herbigasyon, su ve herbisitlerin en hassas ve hedef odaklı şekilde uygulanmasına olanak tanımaktadır. Nitekim, damla sulama sistemleriyle yapılan herbigasyon uygulamaları, hem tarla koşullarında etkin yabancı ot kontrolü sağlamış hem de ürünlerde kalıntı bırakmaması nedeniyle gıda güvenliği açısından güvenilir bulunmuştur. Bununla

birlikte, iklim değişikliğine bağlı olarak ortaya çıkan aşırı kuraklık ve ekstrem hava olayları, su yönetimini stratejik hale getirmiştir. Geleneksel yüzey sulama yöntemleri, aşırı su kullanımı ve kimyasal taşınımı nedeniyle yeraltı suyu kirliliği riskini artırabilirken, herbigasyon bu riski belirli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Çünkü damla sulama ile herbisitler hedef bölgeye düşük hacimlerde ve kontrollü olarak uygulanmakta, böylece yüzey akışı ve derin perkolasyon yoluyla yeraltı suyuna sızma riski minimize edilmektedir (Zhang ve ark., 2024). Ancak bu avantaj, toprak tipi, herbisit kimyasal özellikleri (yarı ömür, mobilite katsayısı) ve sulama yönetimi ile doğrudan ilişkilidir. Yanlış dozlama, uzun yarı ömürlü ve yüksek mobiliteye sahip herbisitlerin aşırı veya yanlış uygulanması durumunda, yeraltı suyu kirliliği potansiyeli tamamen ortadan kalkmamaktadır. Bu nedenle, özellikle kurak bölgelerde iklim değişikliğine uyumlu bir strateji olarak herbigasyon uygulanırken, seçilecek herbisit çevresel davranışı (sorpsiyon katsayısı, toprakta kalıcılığı, suyla taşınabilirliği) mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Gelecekte, yapay zekâ destekli sensör sistemleri ve çevre dostu düşük kalıntılı herbisit formülasyonları ile herbigasyonun çevresel etkilerinin daha da azaltılması mümkün olacaktır. Ayrıca, herbigasyonun yeraltı suyu kirliliği üzerindeki etkilerinin uzun dönemli saha çalışmalarıyla izlenmesi, bu yöntemin iklim değişikliği ve sürdürülebilir su yönetimi bağlamındaki rolünü netleştirmek açısından kritik öneme sahiptir. Sonuç olarak, artan kuraklık, su kıtlığı ve çevresel sürdürülebilirlik baskısı altında herbigasyon, tarımsal üretimi daha verimli, çevre dostu ve sürdürülebilir hale getiren bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Ancak, bu yöntemin yeraltı suyu ve ekosistem üzerindeki olası etkilerinin izlenmesi ve yönetilmesi ihmal edilemeyecek kadar önemli bir konudur.

Finansal Destek: Yazar hiçbir finansal destek almamıştır.

KAYNAKLAR

- Cai, X, Rosegrant, M.W. (2003). In: (Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. Eds.), Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka, pp. 163-178.
- Chalfant, R. B., Young, J. R. (1984). Management of insect pests of broccoli, cowpeas, spinach, tomatoes, and peanuts with chemigation by insecticides in oils, and reduction of watermelon virus 2 by chemigated oil. *Journal of economic entomology*, 77(5), 1323-1326.
- Chen, C., Hussain, Z., Liu, J., Zaman, M., Akhlaq, M. (2024). Innovative technologies in sprinkler irrigation: An overview. *Agrociencia*. [https://doi.org/10.47163/agrociencia.v58i7.3191​:contentReference\[oaicite:3\]{index=3}](https://doi.org/10.47163/agrociencia.v58i7.3191​:contentReference[oaicite:3]{index=3})

- Dharani, M., Rathika, S., Avudaithai, S., Baskar, M., Meena, S., Ramesh, T. (2023). Effect of herbigation on weed control and yield of drip irrigated cotton. *International Journal of Agricultural Sciences*, 15(2), 45-52.
- Debaeke, P., Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, 21(4), 433-446.
- Dimitrova, D., Prodanova-Marinova, N., Tsvetanov, E. (2022). Economic results of the application of herbigation in vine nursery. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, 25(4), 254-272.
- El Gindy, A. M. (1988). Modern chemigation techniques for vegetable crops under Egyptian conditions. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 5(1), 99-111.
- Goldwasser, Y., Rabinovitz, O., Gerstl, Z., Nasser, A., Paporisch, A., Kuzikaro, H., Sibony, M., Rubin, B. (2023). Imazapic herbigation for *Phelipanche aegyptiaca* control in processing tomatoes—Laboratory and greenhouse studies. *Weed Research*, 63(3), 215-229.
- Guzel, O., Ulusoy, A. N., Budak, I., Serim, A. T., Mennan, H. (2025). Herbicide strategies for effective weed control in drip-irrigated rice fields in Türkiye. *Romanian Agricultural Research*, 42.
- Hariharasudhan, V., Chinnusamy, C., Murali Arthanari, P. (2017). Recent weed management techniques in micro irrigation system: Review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6), 324-326
- Howell, T. A. (2001). Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy journal*, 93(2), 281-289.
- Kanimozhi, P., Senthilkumar, N., Murali, P. (2019). Weed control efficiency of oxyfluorfen applied through micro sprinkler herbigation in non-cropped conditions. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 9(2), 45-52.
- Keller, J., Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkler and Trickle Irrigation*. Van Nostrand Reinhold.
- Koumanov, K. S., Rankova, Z., Kolev, K., Shilev, S. (2009). Herbigation in a cherry orchard - Translocation and persistence of pendimethalin in the soil. *Acta Horticulturae*, 825(49)
- Manibharathi, S., Vinodhini, S. M. (2023). Recent Trends In Weed Management. *Agriculture at a Glance*, Alpha International Publication, 137-152.
- Manisankar, G., Ghosh, P., Malik, G. C., Banerjee, M. (2022). Recent trends in chemical weed management: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 11(4), 745-753
- Nalayani, P., Subramanian, E., Arulmozhiselvan, K. (2013). Comparison of herbigation and conventional spray methods on weed control efficiency in pre-emergence application. *Journal of Tropical Agriculture*, 51(3), 120-126.
- Prodanova-Marinova, N., Tsvetanov, E. (2021). Effect of herbigation on rooting of grafted vine cuttings. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, 24(4), 296-305.
- Ramesh, T., Rathika, S. (2020). Weed management techniques in drip-irrigated rice. *Indian Journal of Agronomy*, 65(4), 305-312.
- Rankova, Z., Koumanov, K., Kolev, K. (2007). Micro-irrigation as an effective method for herbicide application in orchards. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 13(4), 515-523.
- Rankova, Z., Koumanov, K., Kolev, K. (2009). Herbigation in a cherry orchard - Efficiency of pendimethalin. *Acta Horticulturae*, 825(72)
- Rankova, Z., Petrova, M., Yordanov, D. (2009). Herbigation: Advantages, limitations and environmental aspects. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(3), 210-217.

- Sabarivasan, R. (2023, October). Herbigation: Where irrigation meets weed control for greener fields. AgriGate Magazine
- Sivalingam, T., Swathi, S., Balasubramanian, A., Ramya, K. (2022). Advances in weed management. *Compendium of Agriculture and Allied Sciences*, 159.
- Sivanappan, R. (1998). In: *Proceedings of a Workshop on Micro-irrigation and Sprinkler Irrigation Systems*, 28- 30, New Delhi. pp. 1-7.
- Soman, P. (2012). Comparative analysis of flooded and drip irrigation methods in different rice varieties. *Journal of Water Management*, 25(2), 89-97.
- Strategic Market Research. (2023). Micro irrigation systems market size and forecast 2023-2030. Retrieved from <https://www.strategicmarketresearch.com/market-report/micro-irrigation-systems-market>
- Sujith, G.M., Chandrakumar, S.S., Seshadri, S. (2003). Herbigation: a New Vision for Weed Management-A Review. *Crop Res.*; 26(2):189-197.
- Sujith, G. M., Chandrakumar, S. S., Reddy, S. S. (2003). Effectiveness of herbigation in weed control under drip irrigation systems. *Indian Journal of Weed Science*, 35(1-2), 67-74.
- Sujithra, P., Sobhana, E., Kolanthasamy, E. (2020). Drip chemigation and their applications: An overview. ResearchGate
- TAGEM (2023). Damla Sulama Yapılan Çeltik Alanlarındaki Yabancı Otların Tespiti ve Herbisit Kullanımının Araştırılması (2021-2023). Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) Proje Sonuç Raporu, Ankara.
- Zhang, J., Zhao, J., Sun, J., He, Y., Xie, Y., Liang, Q., Zhao, E. (2024). Herbigation combined with plastic film mulching to control weeds in maize (*Zea mays* L.) fields in the Hexi Corridor region, Northwest China. *Crop Protection*, 176, 106485.