



Impacts of Synthetic Agricultural Chemicals on Ecosystems and Human Health: An Evaluation of Sustainable Alternatives

Zafer Ömer ÖZDEMİR^{1*}, Neslihan ŞEN²

¹ Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Eczacılık Fakültesi, İstanbul, Türkiye

² Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye

Keywords:	ABSTRACT
Synthetic agrochemicals Pesticides Environmental pollution Organic farming Biological control Agroecology Sustainability	The widespread use of synthetic chemical inputs such as fertilizers, pesticides (herbicides, fungicides) and similar compounds in the agricultural sector has significantly enhanced productivity in the short term. However, their long-term effects pose serious risks to both environmental integrity and human health. These substances, which are artificially produced in laboratory settings and not integrated into natural ecological cycles, degrade soil, water, and air quality. Moreover, they contribute to the loss of biodiversity, disruption of soil microbiota, and accumulation of chemical residues in the food chain. From a public health perspective, numerous studies have linked pesticide residues to chronic diseases, hormonal disorders, and various types of cancer. This review comprehensively examines the ecological and health-related impacts of synthetic chemicals used in agriculture. It also evaluates a range of alternative approaches, including organic farming, biological control, agroecological practices, mechanical methods, and AI-assisted systems. The study emphasizes the potential of these alternatives in facilitating a transition toward sustainable agriculture and offers strategic recommendations for policymakers and practitioners.

Sentetik Tarım Kimyasallarının Ekosistem ve İnsan Sağlığına Etkileri: Sürdürülebilir Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Anahtar Kelimeler:	ÖZET
Sentetik tarım kimyasalları Pestisit Çevre kirliliği Organik tarım Biyolojik mücadele Agroekoloji Sürdürülebilirlik	Tarım sektöründe verimliliği artırmak amacıyla yaygın biçimde kullanılan sentetik kimyasal gübreler, pestisitler (herbisitler, fungusitler) ve benzeri girdiler, kısa vadede ürün miktarını artırsa da uzun vadede çevresel bozulmalara ve insan sağlığı üzerinde ciddi risklere yol açabilmektedir. Bu bileşikler, doğrudan laboratuvar ortamında üretilmiş olup, doğal döngülere entegre olmayan sentetik içerik taşımaktadır. Toprak, su ve hava kalitesini olumsuz etkileyen bu maddeler aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin azalmasına, toprak mikrobiyotasının bozulmasına ve gıda zincirinde kimyasal kalıntıların birikmesine neden olmaktadır. İnsan sağlığı açısından bakıldığında, pestisit kalıntılarının kronik hastalıklar, hormonal bozukluklar ve kanser türleriyle ilişkili olabileceği çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir. Bu derleme çalışmasında, tarımda kullanılan sentetik kimyasalların ekosistem ve insan sağlığı üzerindeki etkileri kapsamlı şekilde ele alınmakta; organik tarım, biyolojik mücadele, agroekolojik uygulamalar, mekanik yöntemler ve yapay zekâ destekli sistemler gibi alternatif uygulamalar değerlendirilmektedir. Çalışmada, sürdürülebilir tarıma geçiş sürecinde bu alternatiflerin potansiyeli vurgulanmakta; politika yapıcılar ve uygulayıcılar için stratejik öneriler sunulmaktadır.

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: Zafer Ömer ÖZDEMİR (ozdemirz@gmail.com)

Received: 25/05/2025

Accepted: 02/09/2025

Published: 31/12/2025

How to cite:

Özdemir, Z.Ö., Şen, N., (2025). **Impacts of Synthetic Agricultural Chemicals on Ecosystems and Human Health: An Evaluation of Sustainable Alternatives.** *Agro-Science Journal of Iğdır University*, 3(2), 85-97.



This work is licensed (CC BY-NC-ND 4.0) under Creative Commons Attribution 4.0 International License

GİRİŞ

Tarım, insanlık tarihinin başlangıcından bu yana toplumların temel besin kaynağını sağlayan en önemli üretim faaliyetidir. Ancak 20. yüzyıldan itibaren hızla artan nüfus, kentleşme, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi faktörler, tarımsal üretimde verimliliği artırmak için sentetik kimyasal gübreler ve pestisitlerin yaygın kullanımına neden olmuştur (Ayyıldız, 2022; Tilman ve ark., 2002). Bu dönüşüm, özellikle 20. yüzyılın ortalarında başlayan ve ‘Yeşil Devrim’ olarak adlandırılan tarımsal modernleşme süreciyle ivme kazanmıştır (Pingali, 2012). Sentetik pestisitler, insektisit, herbisit, fungusit gibi alt grupları içeren, doğrudan laboratuvar ortamında üretilmiş ve doğal dengeye yabancı kimyasal bileşiklerdir. Bu maddeler kısa vadede zararlı organizmalarla mücadelede etkili olsa da uzun vadede çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır (Kamrin, 2014; Sharma ve Singhvi, 2017; Rani ve ark., 2021; Pathak ve ark., 2022; Islam ve ark., 2022). Sentetik pestisitler yalnızca hedef zararlıları etkilemekle kalmayıp, toprak ekosistemine nüfuz ederek faydalı mikroorganizmaların popülasyonlarını azaltmakta, yeraltı sularına karışarak içme suyu kaynaklarını kirlletmekte ve besin zinciri yoluyla insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Akdoğan ve ark., 2012; Mostafalou ve Abdollahi, 2017; Ögütücü ve Güler, 2023; Srivastava ve ark., 2023). Pestisitlerin kronik maruziyet sonucu endokrin bozulmalara, nörolojik sorunlara ve çeşitli kanser türlerine neden olabileceği yapılan epidemiyolojik çalışmalarda gösterilmiştir (Mnif ve ark., 2011; Vessa ve ark., 2022).

Benzer şekilde, sentetik kimyasal gübrelerin aşırı kullanımı da toprak yapısında bozulmalara, besin elementlerinin dengesizliğine ve tarımsal verimliliğin zamanla azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, özellikle monokültür uygulamalarıyla birlikte ortaya çıkan ve toprakta belirli besin maddelerinin tükenmesiyle karakterize edilen ‘toprak yorgunluğu’ olgusunu tetikleyebilmektedir. (Zhang ve ark., 2015; Tom ve ark., 2021; Cüre, 2022; Alvi ve ark., 2025).

Bu çevresel ve sağlık temelli tehditler, sürdürülebilir tarım uygulamalarının önemini daha da artırmıştır. Organik tarım, biyolojik mücadele, agroekolojik yaklaşımlar ve son yıllarda yaygınlaşan yapay zekâ destekli tarımsal teknolojiler hem verimlilik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli fırsatlar sunmaktadır (Reganold ve Wachter, 2016; Ondrasek ve ark., 2023; Yeni ve Teoman, 2023). Bu yöntemler, kimyasal girdilerin yerine geçebilecek doğa dostu ve insan sağlığını önceleyen alternatifler sunmaktadır.

Bu çalışma, tarımda kullanılan sentetik kimyasal maddelerin çevre ve sağlık üzerindeki etkilerini bilimsel kanıtlar ışığında değerlendirmeyi ve bu kimyasallara karşı geliştirilen alternatif yöntemlerin etkinliğini incelemeyi amaçlamaktadır. Böylece sürdürülebilir, çevre dostu ve insan sağlığını önceleyen tarım uygulamalarına yönelik bütüncül bir bakış açısı sunulması hedeflenmektedir.

Tarımda Kullanılan Sentetik Kimyasallar ve Etkileri

Modern tarımda verimliliği artırmak amacıyla yaygın biçimde kullanılan pestisitler ve sentetik kimyasal gübreler, bitki gelişimini teşvik etmek ve zararlıları kontrol altında tutmak için kritik öneme sahip olsalar da ekosistem üzerinde önemli tahribatlara neden olmaktadır (Rodrigues ve ark., 2018; Jepson ve ark., 2020; Tırınk ve Böke, 2021; Nag ve ark., 2023). Pestisitler, etkiledikleri organizmalar bakımından seçici olmamakta, hedef zararlılar dışında yararlı böcekler, toprak mikroorganizmaları ve diğer canlıları da olumsuz yönde etkilemektedir (Altıkat ve ark., 2009; Sharma ve ark., 2019; Zhou ve ark., 2025).

Sentetik kimyasal gübreler ise kısa vadede ürün verimini artırsa da uzun vadede toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını bozarak toprak yorgunluğu, tuzluluk ve ağır metal birikimi gibi ciddi sorunlara neden olmaktadır (Wolińska ve ark., 2018; Alvi ve ark., 2025). Özellikle azotlu gübrelerin

aşırı ve kontrolsüz kullanımı, nitrat birikimine neden olarak yer altı sularının kirlenmesine ve insan sağlığı üzerinde toksik etkilerin ortaya çıkmasına yol açabilmektedir (Karasahin, 2014; Ayiti ve Babalola, 2022; Tırınk, 2025).

Tarımda kullanılan pestisitlerin bir diğer önemli etkisi, besin zinciri yoluyla insanlara ulaşarak sağlık sorunlarına neden olmalarıdır. Çalışmalar, pestisitlerin gıdalarda kalıntı olarak bulunabildiğini ve bu kalıntıların uzun vadede kanser, hormonal bozukluklar ve nörolojik hastalıklar gibi sağlık sorunlarına yol açabileceğini göstermektedir. Ayrıca, pestisit kalıntıları sadece gıda ürünlerinde değil; toprak, hava ve su kaynaklarında da tespit edilmiştir (Pathak ve ark., 2022; Shekhar ve ark., 2024). Bu nedenlerle, tarımda sentetik kimyasal kullanımının etkileri yalnızca tarımsal üretimle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda çevresel denge, biyolojik çeşitlilik ve halk sağlığı açısından da büyük riskler oluşturmaktadır.

Sentetik Kimyasal Kullanımının Ekosistem Üzerindeki Etkileri

Çizelge 1. Tarımsal kimyasal bileşiklerin çevresel ve sağlık üzerindeki etkileri ile ilişkili örnekler ve literatür referansları

Etki Alanı	Spesifik Etki	İlişkili Bileşik	Referanslar
Çevresel Etkiler	Toprak mikrobiyotasında bozulma	Pestisitler, Sentetik gübreler	(Vukicevich ve ark., 2016; Zhou ve ark., 2025)
	Biyoçeşitlilik kaybı	Pestisitler	(Brühl ve Zaller, 2019)
	Yeraltı ve yüzey suyu kirliliği	Nitrat, Pestisitler	(Bijay-Singh ve Craswell, 2021; Patel ve ark., 2022; Sishu ve ark., 2022)
	Ötrofikasyon	Nitrat (Azotlu gübreler)	(Knobeloch ve ark., 2000; Tırınk, 2021; Choudhary ve ark., 2022;)
	Kronik hastalıklar	Pestisit kalıntıları	(Beyuo ve ark., 2024; Kolapo ve ark., 2024; Mukherjee ve ark., 2024)
Sağlık Etkileri	Hormonal bozukluklar	Endokrin bozucular (Pestisitler)	(Mnif ve ark., 2011; Vessa ve ark., 2022)
	Nörolojik sorunlar	Pestisitler	(Richardson ve ark., 2019; Arab ve Mostafalou, 2022; Honatel ve ark., 2024; Botnaru ve ark., 2025)
	Mavi bebek sendromu (Methemoglobinemia)	Nitrat (Yer altı sularında)	(Knobeloch ve ark., 2000)

Çizelge 1’de verildiği gibi tarımsal üretimde kullanılan sentetik pestisitler ve gübreler, yalnızca üretim alanlarıyla sınırlı kalmayan, çevre ve ekosistem bileşenlerinin tamamını etkileyen ciddi bir tehdit haline gelmiştir (Altıkat ve ark., 2009; Ayyıldız, 2022; Wan ve ark., 2025). Pestisitlerin doğrudan hava, su ve toprak yoluyla çevreye yayılması; özellikle sucul ekosistemlerde balıklar ve planktonlar gibi hassas canlı türleri üzerinde toksik etkiler oluşturmakta, biyolojik çeşitliliği azaltmaktadır (Newman, 2004; Deknock ve ark., 2019; Echeverría-Sáenz ve ark., 2021; Rico ve ark., 2022; Tongo ve ark., 2022; Navarro ve ark., 2024).

Toprak ekosistemi, sentetik tarımsal kimyasallardan en çok etkilenen alanlardan biridir. Özellikle aşırı gübre kullanımı topraktaki mikrobiyal dengeyi bozmakta, mikoriza mantarları (*Rhizophagus irregularis*, vb) gibi yararlı mikroorganizmaların popülasyonlarında azalma meydana getirmektedir (Vukicevich ve ark., 2016; Zhou ve ark., 2025). Bu durum, toprak verimliliğini olumsuz etkileyerek uzun vadede tarım alanlarının çoraklaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, pestisitler hedef dışı türlerin ölümüne sebep olarak doğal dengeyi bozmakta ve ekosistem içi ilişkilerin zayıflamasına neden olmaktadır (Elhamalawy ve ark., 2024; Wan ve ark., 2025).

Sentetik kimyasal kalıntıların su kaynaklarına karışması hem yer altı hem de yüzey sularının kirlenmesine neden olmakta; bu durum içme suyu kaynaklarını da tehlikeye atmaktadır (Syafudin ve ark., 2021; Tırınk ve ark., 2025). Örneğin, azotlu gübrelerin neden olduğu nitrat sızıntısı, insanlarda mavi bebek sendromu (Blue Baby Syndrome, Methemoglobinemia) gibi ciddi sağlık problemlerinin yanı sıra ötrofikasyon gibi çevresel sorunlara da yol açmaktadır (Knobeloch ve ark., 2000; Choudhary ve ark., 2022).

Tarımda kullanılan sentetik kimyasallar, yalnızca canlı organizmalar (biyotik faktörler) üzerinde değil; aynı zamanda toprak yapısı, su kalitesi ve hava gibi cansız çevresel bileşenler (abiyotik faktörler) üzerinde de kalıcı bozulmalara yol açmaktadır. Bu durum, çevresel sürdürülebilirliği tehdit etmekte ve alternatif, doğa dostu uygulamaların önemini artırmaktadır (Zhang ve ark., 2018)

Sentetik Kimyasal Kullanımına Karşı Alternatif Yöntemler

Kimyasal girdilerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, sürdürülebilir tarım hedefleri doğrultusunda alternatif mücadele yöntemlerine olan ihtiyaç artmıştır. Bu alternatifler arasında biyolojik mücadele, organik tarım, agroekolojik uygulamalar, biyoteknolojik çözümler ve mekanik-fiziksel yöntemler ön plana çıkmaktadır (Seufert, 2012; van Lenteren ve ark., 2018; Baker ve ark., 2020; Sethi ve ark., 2022; Güner ve ark., 2023).

Biyolojik mücadele, zararlı organizmalarla savaşta doğal düşmanların (predatörler, parazitler, patojenler) kullanıldığı bir yöntemdir. Özellikle *Bacillus thuringiensis* gibi mikroorganizmalar, hedef zararlılar üzerinde yüksek etkinlik gösterirken çevreye zarar vermez (WHO, 1999; Usta, 2013). Organik tarımda ise sentetik kimyasal gübre ve pestisitler yerine doğal gübreler, kompostlar ve bitki bazlı karışımlar kullanılarak daha sağlıklı ve kalıntısız ürün elde edilmektedir (Durán-Lara ve ark., 2020).

Agroekoloji, tarım sistemlerinin ekolojik ilkeler doğrultusunda tasarlanması, yönetilmesi ve değerlendirilmesini esas alan bütüncül bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım yalnızca ürün verimini artırmayı değil, aynı zamanda toprak sağlığını korumayı, biyolojik çeşitliliği desteklemeyi, su kaynaklarını sürdürülebilir şekilde kullanmayı ve çiftçilerin yaşam kalitesini iyileştirmeyi hedefler. Endüstriyel tarımın aksine, agroekoloji kimyasal girdilerin azaltılmasını, yerel bilgi ve geleneksel uygulamaların değerlendirilmesini, çiftlik içi döngülerin güçlendirilmesini ve topluluk temelli çözümlerin teşvik edilmesini ön plana çıkarır (Anderson ve ark., 2019; Mottet ve ark., 2020; Wezel ve ark., 2020; Ewert ve ark., 2023;)

Bu yaklaşımın somut bir örneği, geleneksel “Üç Kız Kardeşler” (Three Sisters) sistemiyle görülebilir. Bu sistemde mısır (*Zea mays*), fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ve kabak (*Cucurbita pepo*) birlikte yetiştirilir. Mısır, fasulyeye sarılacak bir yapı sağlarken; fasulye, toprağa azot bağlayarak diğer bitkilerin beslenmesine katkıda bulunur. Kabak ise geniş yapraklarıyla toprağı gölgelendirerek nemin korunmasına yardımcı olur. Bu polikültür sistemi, özellikle su kıtlığı yaşanan ortamlarda mikroiklim koşullarını iyileştirerek bitki büyümesini desteklemekte ve monokültür sistemlerine göre daha sürdürülebilir bir üretim modeli sunmaktadır (Ramirez ve Wright, 2025).

Biyoteknolojik çözümler, her ne kadar agroekolojik ilkelerle doğrudan örtüşmese de, sürdürülebilir tarım hedefleri doğrultusunda stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir. Özellikle zararlılara ve hastalıklara dirençli bitki türlerinin geliştirilmesi, kimyasal pestisit kullanımını azaltarak çevresel yükü hafifletme potansiyeline sahiptir. Genetik mühendisliği sayesinde, bitkilerin bağışıklık sistemleri yeniden yapılandırılarak çok sayıda patojene karşı dayanıklılık kazandırılabilmektedir. Örneğin, bitkilerde doğal olarak bulunan NLR (nucleotide-binding leucine-rich repeat) tipi bağışıklık reseptörleri, protein mühendisliği yoluyla yeniden tasarlanarak, 100’den fazla virüse karşı dayanıklı hale getirilmiş ve bu sayede soya fasulyesi gibi önemli tarım ürünlerinde tam bağışıklık sağlanmıştır (Wang ve ark., 2025).

Bir diğerk yaygın biyoteknolojik uygulama ise Bt mısıır örneğinde görüldüğü gibi, *Bacillus thuringiensis* bakterisinden elde edilen Cry proteinlerinin bitkilere aktarılmasıdır. Bu proteinler, mısıır kurdu gibi zararlılara karşı bitkinin kendi savunma mekanizması olarak işlev görür. Bt mısıırın kullanımı, yalnızca verim artışı sağlamakla kalmamış, aynı zamanda pestisit kullanımını küresel ölçekte %35 oranında azaltmıştır (Hellmich ve Hellmich, 2012). Bu tür biyoteknolojik yaklaşımlar, agroekolojik sistemlerle entegre edildiğinde, hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliğe katkı sunabilir (Abdul Aziz ve ark., 2022; Kumari ve ark., 2022; Animasaun ve ark., 2023).

Mekanik ve fiziksel mücadele yöntemleri, doğrudan müdahale esasına dayanır. Bu kapsamda toprak işleme, sıcaklık uygulamaları ve fiziksel tuzak sistemleri gibi yöntemlerle zararlıların doğrudan etkilenmesi hedeflenmektedir. Örneğin, güneşlenme veya buhar uygulamaları ile toprakta bulunan zararlı organizmaların yok edilmesi, fiziksel mücadelenin tipik örneklerindendir.

Feromon tuzakları ise, böceklerin davranışlarını kimyasal sinyallerle yönlendiren ve çevreye zarar vermeden kontrol sağlayan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu tür uygulamalar, fiziksel değil biyoteknik mücadele kapsamında değerlendirilmelidir. Biyoteknik mücadele, zararlıların davranışlarını değiştirmek veya üremelerini engellemek amacıyla biyolojik kökenli maddelerin kullanıldığı yöntemleri içerir. Feromon tuzakları, özellikle meyve sinekleri (örneğin *Ceratitiscapitata*) gibi türlerin popölasyonlarını izlemek ve kontrol altına almak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Heaps, 2006; Shang ve ark., 2024). Bu yöntem, kimyasal pestisit kullanımını azaltarak hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar hem de agroekolojik sistemlerle uyumlu bir entegrasyon imkânı sunar.

Alternatif Yöntemlerin Avantajları ve Zorlukları

Sentetik kimyasal kullanımına alternatif tarımsal yöntemler, çevre dostu yaklaşımlarıyla sürdürülebilirlik adına önemli fırsatlar sunsa da uygulamada bazı avantaj ve zorluklar barındırmaktadır. Avantaj ve zorluklar Çizelge 2’de verilmiştir. Bu yöntemlerin çevreye daha az zarar vermesi, biyolojik çeşitliliği koruması ve tüketici sağlığına yönelik riskleri azaltması en önemli avantajlarındanır (Çakmakçı ve ark., 2023; Brunelle ve ark., 2024; Pandian ve ark., 2024; Vikas ve Ranjan, 2024; Zhang, 2024). Örneğin, organik tarım ürünleri sentetik kimyasal kalıntı içermediğinden, tüketici güvenliğini artırmakta ve ekosistem sağlığının korunmasına katkı sağlamaktadır. Ancak, tüketici davranışları da bu süreçte önemli bir rol oynamaktadır. Organik veya biyolojik yöntemlerle üretilen ürünlerin fiyatları, geleneksel ürünlere kıyasla genellikle daha yüksek olmaktadır. Bu fiyat farkı, özellikle düşük gelirli kesimlerin bu ürünlere erişimini kısıtlamakta ve talebin azalmasına neden olmaktadır (van der Werf ve ark., 2020).

Biyolojik mücadele yöntemleri hedef zararlı organizmalara karşı oldukça etkilidir ve doğaya kalıcı zarar vermezler. Ancak bu yöntemlerin etki süresi daha uzun olabilir ve iklimsel koşullara bağlı olarak başarı düzeyleri değişiklik gösterebilir (Bale ve ark., 2008; Torres ve Bueno, 2018; Collinge ve ark., 2022; Muhie, 2022; Galli ve ark., 2024). Benzer şekilde, agroekolojik yaklaşımlar uzun vadede toprak sağlığını iyileştirirken, kısa vadede geleneksel sistemlere göre daha düşük verimle karşılaşılabilir (Teng ve ark., 2024; von Cossel ve ark., 2025).

Bir diğerk zorluk ise çiftçilerin bilgi ve farkındalık düzeyidir. Alternatif yöntemlerin uygulanabilmesi için çiftçilerin eğitim alması, uygun teknik donanıma erişmesi ve bu yöntemlere yönelik teşvik politikalarının oluşturulması gerekmektedir (Fusun Tatlıdil ve ark., 2009; Maini ve ark., 2021; Kayışoğlu ve Türksöy, 2023; Turhan, 2005).

Çizelge 2. Sürdürülebilir tarımda kullanılan başlıca yöntemlerin temel prensipleri, avantajları ve zorlukları

Yöntem	Temel Prensip	Avantajları	Zorlukları
Organik Tarım	Sentetik gübre ve pestisit içermez. Doğal girdilere odaklanır.	Çevre dostu, daha sağlıklı ürün, artan tüketici güveni.	Yüksek maliyet, kısa vadede potansiyel verim düşüklüğü, sertifikasyon süreçleri.
Biyolojik Mücadele	Zararlıların doğal düşmanlarını (predatör, parazit, patojen) kullanır.	Hedefe özgü, çevreye zarar vermez, kalıcı çözüm potansiyeli.	Etki süresi uzun, iklimsel koşullara duyarlı, yaygınlaştırma zorlukları.
Agroekolojik Yaklaşımlar	Ekolojik süreçleri taklit eder, yerel bilgi ile modern bilimi birleştirir.	Toprak sağlığını iyileştirir, biyoçeşitliliği artırır, toplumsal dönüşümü destekler.	Uzun vadeli uygulama gerektirir, geleneksel tarım modellerine entegrasyonu zordur.
Akıllı Tarım Teknolojileri	AI destekli sistemler, sensörler, robotik hasat makineleri.	Kaynak verimliliğini artırır, kimyasal kullanımını optimize eder, üretimi hassaslaştırır.	Yüksek kurulum maliyeti, teknolojik altyapı gerekliliği, teknik bilgi ihtiyacı.

Türkiye ve Dünya’da Alternatif Tarım Uygulamaları

Sentetik kimyasal girdilerin çevresel ve sağlık temelli zararlarına karşı geliştirilen alternatif tarım yöntemleri, dünya genelinde farklı şekillerde uygulanmakta ve yaygınlaştırılmaktadır. Bu yöntemler; organik tarım, agroekoloji, biyolojik mücadele ve yenilikçi teknolojilere dayalı sürdürülebilir üretim pratiklerini içermektedir (Gamage ve ark., 2024).

Dünya genelinde özellikle Avrupa Birliği ülkeleri, organik tarım alanında önemli adımlar atmıştır. Almanya, Fransa ve İtalya gibi ülkelerde organik üretim yapan çiftçiler ciddi desteklemelerle teşvik edilmekte ve tüketici bilinci oldukça yüksektir (Willer ve ark., 2025). Ayrıca, Latin Amerika’da La Via Campesina gibi agroekolojik üretimi savunan kooperatif hareketleri, yerel halkın bilgi birikimini modern tekniklerle birleştirerek hem üretim hem de toplumsal dönüşüm sağlamaktadır (Rosset ve ark., 2021).

Türkiye’de ise alternatif tarım uygulamaları son 20 yılda artış göstermiş, ancak hâlâ yeterli düzeye ulaşamamıştır. TÜİK verilerine göre, 2022 yılında Türkiye’de yaklaşık 300 bin hektar alanda organik tarım yapılmıştır ve bu rakam toplam tarım alanlarının %2’sinden daha azını oluşturmaktadır (TÜİK, 2023). Özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerinde organik zeytin, üzüm ve narenciye üretimi yaygındır. Bununla birlikte, biyolojik mücadele tekniklerinin kullanımı hâlâ sınırlı kalmakta; çoğunlukla örtü altı sebze üretiminde uygulanmaktadır (Volakakis ve ark., 2022).

Plazma teknolojisi, akıllı sulama sistemleri ve robotik hasat makineleri gibi ileri teknoloji destekli uygulamalar, tarımda verimliliği artırmak, iş gücü ihtiyacını azaltmak ve kaynak kullanımını optimize etmek amacıyla geliştirilmektedir. Her ne kadar bu teknolojiler doğrudan pestisit veya gübre kullanımına alternatif olmasalar da, üretim süreçlerinin hassaslaşması sayesinde bu tür girdilerin daha kontrollü ve verimli kullanılmasına katkı sağlayabilirler. Bu uygulamalar, gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmakta olup, Türkiye’de ise hâlen Ar-Ge ve yaygınlaştırma aşamasındadır (Javaid ve ark., 2022; Aydınbaşı, 2023; Karunathilake ve ark., 2023; Nsoh ve ark., 2024).

SONUÇ

Türkiye’de alternatif tarım yöntemlerine yönelik farkındalık giderek artsa da, bu dönüşüm süreci henüz istenen düzeye ulaşmamıştır. Özellikle biyolojik çeşitliliğin azalması ve toprak sağlığının bozulması gibi çevresel sorunlar, mevcut tarım sistemlerinin sürdürülebilirlik açısından yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Kimyasal girdilerin bilinçsiz ve yoğun kullanımı, yalnızca tarım alanlarını değil; göl ve nehirlerde alg patlamaları, oksijen eksikliği ve balık ölümleri gibi sucul ekosistemleri de olumsuz etkilemektedir.

Bu bağlamda, çevresel sürdürülebilirliği ve insan sağlığını önceleyen alternatif tarım uygulamalarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Ancak bu yöntemlerin tarımsal üretim süreçlerine etkin biçimde entegre edilebilmesi, çiftçilerin yeterli düzeyde eğitilmesi ve tarım politikalarının bu doğrultuda yönlendirilmesiyle mümkün olacaktır.

Alternatif tarım yöntemleri; ekolojik dengeyi koruma, sağlıklı gıda üretimini sürdürülebilir kılma ve kırsal kalkınmayı destekleme açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin hayata geçirilebilmesi için kapsamlı eğitim çalışmaları, etkili destekleme politikaları, tüketici farkındalığının artırılması ve uygun ekonomik modellerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Dünya genelinde bu alanda önemli ilerlemeler kaydedilmişken, Türkiye’de mevcut potansiyelin daha etkili teşvik mekanizmalarıyla harekete geçirilmesi gerekmektedir. Eğitim, finansal destek, tüketici bilinci ve mevzuat düzenlemeleri, sürdürülebilir tarıma geçiş sürecinin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır.

Sürdürülebilir tarıma geçiş, yalnızca çevresel ve sağlık temelli sorunların çözümüne değil; aynı zamanda eğitim, teşvik, mevzuat ve toplumsal farkındalık gibi çok boyutlu yapıların eşgüdümlü olarak güçlendirilmesine bağlı stratejik bir dönüşüm sürecidir.

KAYNAKLAR

- Abdul Aziz, M., Brini, F., Rouached, H., & Masmoudi, K. (2022, Kasım 8). Genetically engineered crops for sustainably enhanced food production systems. *Frontiers in Plant Science*, C. 13. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1027828>
- Akdoğan, A., Divrikli, Ü., & Elçi, L. (2012). Pestisitlerin Önemi ve Ekosisteme Etkileri. *Akademik Gıda*, 10(1), 125-132.
- Altıkat, A., Turan, T., Ekmekyapar, F., & Bingöl, Z. (2009). Türkiye’de Pestisit Kullanımı ve Çevreye Olan Etkileri. *İçinde Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg* (C. 40).
- Alvi, M. H., Ali, H., Haider, K., Chughtai, A. H., Abdullah, M., Batool, S., ... Hussain, S. (2025, Mart 1). Chemically Degraded Soil: Strategies for Mitigating its Toxicity and Enhancing Sustainable Crop Production. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, C. 25, ss. 363-381. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-02138-5>
- Anderson, C. R., Bruil, J., Chappell, M. J., Kiss, C., & Pimbert, M. P. (2019). From transition to domains of transformation: Getting to sustainable and just food systems through agroecology. *Sustainability* (Switzerland), 11(19). <https://doi.org/10.3390/su11195272>
- Animasaun, D. A., Adedibu, P. A., Shkryl, Y., Emmanuel, F. O., Tekutyeva, L., & Balabanova, L. (2023, Ağustos 1). Modern Plant Biotechnology: An Antidote against Global Food Insecurity. *Agronomy*, C. 13. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/agronomy13082038>
- Arab, A., & Mostafalou, S. (2022). Neurotoxicity of pesticides in the context of CNS chronic diseases. *International Journal of Environmental Health Research*, C. 32. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1987396>
- Aydınbaş, G. (2023). İktisadi Perspektiften Akıllı Tarım (Tarım 4.0) Üzerine Bir İnceleme. *BİLTÜRK Journal of Economics and Related Studies*. <https://doi.org/10.47103/bilturk.1218500>
- Ayiti, O. E., & Babalola, O. O. (2022, Mart 24). Factors Influencing Soil Nitrification Process and the Effect on Environment and Health. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, C. 6. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.821994>
- Ayyıldız, M. (2022). Türkiye’de kimyasal pestisit kullanımının ekonomi ve çevre yönüyle değerlendirmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(2), 267-274. <https://doi.org/10.33202/comuagri.1164293>
- Baker, B. P., Green, T. A., & Loker, A. J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, C. 140. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>

- Bale, J. S., Van Lenteren, J. C., & Bigler, F. (2008, Şubat 27). Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, C. 363, ss. 761-776. Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2182>
- Beyuo, J., Sackey, L. N. A., Yeboah, C., Kayoung, P. Y., & Koudadje, D. (2024). The implications of pesticide residue in food crops on human health: a critical review. *Discover Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00141-z>
- Bijay-Singh, & Craswell, E. (2021). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences*, C. 3. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>
- Botnaru, A. A., Lupu, A., Morariu, P. C., Jitoreanu, A., Nedelcu, A. H., Morariu, B. A., ... Morariu, I. D. (2025, Haziran 1). Neurotoxic Effects of Pesticides: Implications for Neurodegenerative and Neurobehavioral Disorders. *Journal of Xenobiotics*, C. 15. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/jox15030083>
- Brunelle, T., Chakir, R., Carpentier, A., Dorin, B., Goll, D., Guilpart, N., ... Tang, F. H. M. (2024). Reducing chemical inputs in agriculture requires a system change. *Communications Earth and Environment*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01533-1>
- Brühl, C. A., & Zaller, J. G. (2019). Biodiversity Decline as a Consequence of an Inappropriate Environmental Risk Assessment of Pesticides. *Frontiers in Environmental Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00177>
- Choudhary, M., Muduli, M., & Ray, S. (2022). A comprehensive review on nitrate pollution and its remediation: conventional and recent approaches. *Sustainable Water Resources Management*, 8(4). <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00708-y>
- Collinge, D. B., Jensen, D. F., Rabiey, M., Sarrocco, S., Shaw, M. W., & Shaw, R. H. (2022, Haziran 1). Biological control of plant diseases – What has been achieved and what is the direction? *Plant Pathology*, C. 71, ss. 1024-1047. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/ppa.13555>
- Cüre, B. (2022). Kimyasal ve Organik Gübrelerin Çevre Üzerine Etkisi. *Biyosistem Mühendisliği Dergisi* *Biyosistem Müh Derg*, 3(2), 98-107.
- Çakmakçı, R., Salık, M. A., & Çakmakçı, S. (2023, Mayıs 1). Assessment and Principles of Environmentally Sustainable Food and Agriculture Systems. *Agriculture (Switzerland)*, C. 13. MDPI. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051073>
- Deknock, A., De Troyer, N., Houbraken, M., Dominguez-Granda, L., Nolivos, I., Van Echelpoel, W., ... Goethals, P. (2019). Distribution of agricultural pesticides in the freshwater environment of the Guayas river basin (Ecuador). *Science of the Total Environment*, 646. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.185>
- Durán-Lara, E. F., Valderrama, A., & Marican, A. (2020, Şubat 1). Natural organic compounds for application in organic farming. *Agriculture (Switzerland)*, C. 10. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agriculture10020041>
- Echeverría-Sáenz, S., Spínola-Parallada, M., & Soto, A. C. (2021). Pesticides burden in neotropical rivers: Costa rica as a case study. *Molecules*, 26(23). <https://doi.org/10.3390/molecules26237235>
- Elhamalawy, O., Bakr, A., & Eissa, F. (2024). Impact of pesticides on non-target invertebrates in agricultural ecosystems. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 202, 105974. <https://doi.org/10.1016/J.PESTBP.2024.105974>
- Ewert, F., Baatz, R., & Finger, R. (2023). Agroecology for a Sustainable Agriculture and Food System: From Local Solutions to Large-Scale Adoption. *Annual Review of Resource Economics*, C. 15. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-102422-090105>
- Füsun Tatlıdil, F., Boz, I., & Tatlıdil, H. (2009). Farmers' perception of sustainable agriculture and its determinants: A case study in Kahramanmaraş province of Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, 11(6). <https://doi.org/10.1007/s10668-008-9168-x>
- Galli, M., Feldmann, F., Vogler, U. K., & Kogel, K. H. (2024, Nisan 1). Can biocontrol be the game-changer in integrated pest management? A review of definitions, methods and strategies. *Journal of Plant*

- Diseases and Protection, C. 131, ss. 265-291. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00878-1>
- Gamage, A., Gangahagedara, R., Subasinghe, S., Gamage, J., Guruge, C., Senaratne, S., ... Merah, O. (2024). Advancing sustainability: The impact of emerging technologies in agriculture. *Current Plant Biology*, 40, 100420. <https://doi.org/10.1016/J.CPB.2024.100420>
- Güner, P., Aşkun, T., & Er, A. (2023). Entomopathogenic Fungi and their Potential Role in the Sustainable Biological Control of Storage Pests. *Commagene Journal of Biology*, C. 7. <https://doi.org/10.31594/commagene.1284354>
- Heaps, J. W. (2006). Introduction to the Second Edition. *Insect Management for Food Storage and Processing: Second Edition*, 1-3. <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-46-5.50006-4>
- Hellmich, R. L., & Hellmich, K. A. (2012). Uses and Impact of Bt Maize. *Nature Education Knowledge*, 3(10).
- Honatel, K. F., Arbo, B. D., Leal, M. B., da Silva Júnior, F. M. R., Garcia, S. C., & Arbo, M. D. (2024). An update of the impact of pesticide exposure on memory and learning. *Discover Toxicology*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44339-024-00011-9>
- Islam, M. A., Amin, S. M. N., Rahman, M. A., Juraimi, A. S., Uddin, M. K., Brown, C. L., & Arshad, A. (2022). Chronic effects of organic pesticides on the aquatic environment and human health: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, C. 18. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100740>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203-217. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>
- Jepson, P. C., Murray, K., Bach, O., Bonilla, M. A., & Neumeister, L. (2020). Selection of pesticides to reduce human and environmental health risks: a global guideline and minimum pesticides list. *The Lancet Planetary Health*, 4(2). [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30266-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30266-9)
- Kamrin, M. A. (2014). Silent Spring. *Çinde Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00433-4>
- Karasahin, M. (2014). Nitrogen Uptake Efficiency in Plant Production and Negative Effects of Reactive Nitrogen on Environment. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 2(3), 15-21. <https://doi.org/10.5505/apjes.2014.38247>
- Karunathilake, E. M. B. M., Le, A. T., Heo, S., Chung, Y. S., & Mansoor, S. (2023, Ağustos 1). The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture. *Agriculture (Switzerland)*, C. 13. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/agriculture13081593>
- Kayısoğlu, Ç., & Türksoy, S. (2023). Tarımda Sürdürülebilirlik ve Gıda Güvenliği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 289-303. <https://doi.org/10.20479/bursauludagziraat.1142135>
- Knobeloch, L., Salna, B., Hogan, A., Postle, J., & Anderson, H. (2000). Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environmental Health Perspectives*, 108(7). <https://doi.org/10.1289/ehp.00108675>
- Kolapo, F., Amankwah, C., Madukwe, O. J., Odemona, E. T., & Alaran, O. S. (2024). Review of the correlation between pesticide uses and human chronic diseases. *Journal of Bioscience and Biotechnology Discovery*, 9(3), 61-70. <https://doi.org/10.31248/JBBD2024.217>
- Kumari, P., Jasrotia, P., Kumar, D., Kashyap, P. L., Kumar, S., Mishra, C. N., ... Singh, G. P. (2022, Haziran 2). Biotechnological Approaches for Host Plant Resistance to Insect Pests. *Frontiers in Genetics*, C. 13. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.914029>
- Maini, E., De Rosa, M., & Vecchio, Y. (2021). The role of education in the transition towards sustainable agriculture: A family farm learning perspective. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13148099>
- Mnif, W., Hassine, A. I. H., Bouaziz, A., Bartegi, A., Thomas, O., & Roig, B. (2011). Effect of endocrine disruptor pesticides: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, C. 8. <https://doi.org/10.3390/ijerph8062265>

- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2017). Pesticides: an update of human exposure and toxicity. *Archives of Toxicology*, C. 91. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1849-x>
- Mottet, A., Bicksler, A., Lucantoni, D., De Rosa, F., Scherf, B., Scopel, E., ... Tittone, P. (2020). Assessing Transitions to Sustainable Agricultural and Food Systems: A Tool for Agroecology Performance Evaluation (TAPE). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.579154>
- Muhie, S. H. (2022, Aralık 1). Novel approaches and practices to sustainable agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, C. 10. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100446>
- Mukherjee, P., Banerjee, G., Saha, N., & Mazumdar, A. (2024). Overview on the Emergence of Pesticide Contamination and Treatment Methodologies. *Water, Air, & Soil Pollution* 2024 235:9, 235(9), 1-28. <https://doi.org/10.1007/S11270-024-07400-1>
- Nag, S. K., Sajina, A. M., Sahu, S. K., Das Sarkar, S., Samanta, S., Saha, K., & Bandyopadhyay, S. (2023). Assessment of environmental and human health risk from pesticide residues in river Gomti, Northern India. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28222-4>
- Navarro, I., de la Torre, A., Sanz, P., Abrantes, N., Campos, I., Alaoui, A., ... Martínez, M. Á. (2024). Assessing pesticide residues occurrence and risks in water systems: A Pan-European and Argentina perspective. *Water Research*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121419>
- Newman, L. (2004). Pesticide Residues in Coastal Tropical Ecosystems—Distribution, Fate and Effects. *International Journal of Toxicology*, 23(2). <https://doi.org/10.1080/10915810490436360>
- Nsoh, B., Katimbo, A., Guo, H., Heeren, D. M., Nakabuye, H. N., Qiao, X., ... Kiraga, S. (2024). Internet of Things-Based Automated Solutions Utilizing Machine Learning for Smart and Real-Time Irrigation Management: A Review. *Sensors*, 24(23), 7480. <https://doi.org/10.3390/s24237480>
- Ondrasek, G., Horvatinac, J., Kovačić, M. B., Reljić, M., Vinceković, M., Rathod, S., ... Njavro, M. (2023). Land Resources in Organic Agriculture: Trends and Challenges in the Twenty-First Century from Global to Croatian Contexts. *Agronomy*, C. 13. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061544>
- Öğütçü, H., & Güler, M. (2023). *Biyogübreler. Tarım ve Doğa Bilimlerine Güncel Bakış*. Ankara: Iksad Publishing House, p93.
- Pandian, K., Mustaffa, M. R. A. F., Mahalingam, G., Paramasivam, A., John Prince, A., Gajendiren, M., ... Varanasi, S. T. (2024). Synergistic conservation approaches for nurturing soil, food security and human health towards sustainable development goals. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100479>
- Patel, N., Srivastav, A. L., Patel, A., Singh, A., Singh, S. K., Chaudhary, V. K., ... Bhunia, B. (2022). Nitrate contamination in water resources, human health risks and its remediation through adsorption: a focused review. *Environmental Science and Pollution Research*, C. 29. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22377-2>
- Pathak, V. M., Verma, V. K., Rawat, B. S., Kaur, B., Babu, N., Sharma, A., ... Cunill, J. M. (2022a). Current status of pesticide effects on environment, human health and its eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Frontiers in Microbiology*, C. 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962619>
- Pathak, V. M., Verma, V. K., Rawat, B. S., Kaur, B., Babu, N., Sharma, A., ... Cunill, J. M. (2022b, Ağustos 17). Current status of pesticide effects on environment, human health and its eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Frontiers in Microbiology*, C. 13. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962619>
- Pingali, P. L. (2012). Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, C. 109. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109>
- Ramirez, C., & Wright, A. J. (2025). Microclimate and growth advantages in the ‘Three sisters’ planting food system in an urban garden. *Plant and Soil*, 506(1). <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06419-3>

- Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A. S., ... Kaushal, J. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production*, C. 283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, C. 2. <https://doi.org/10.1038/NPLANTS.2015.221>
- Richardson, J. R., Fitsanakis, V., Westerink, R. H. S., & Kanthasamy, A. G. (2019, Eylül 1). Neurotoxicity of pesticides. *Acta Neuropathologica*, C. 138, ss. 343-362. Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s00401-019-02033-9>
- Rico, A., de Oliveira, R., Silva de Souza Nunes, G., Rizzi, C., Villa, S., De Caroli Vizioli, B., ... Waichman, A. V. (2022). Ecological risk assessment of pesticides in urban streams of the Brazilian Amazon. *Chemosphere*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132821>
- Rodrigues, E. T., Alpendurada, M. F., Ramos, F., & Pardal, M. Â. (2018). Environmental and human health risk indicators for agricultural pesticides in estuaries. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.047>
- Rosset, P. M., Val, V., Barbosa, L. P., & Mccune, N. (2021). Agroecology and La Vía Campesina II. Peasant agroecology schools and the formation of a sociohistorical and political subject. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 58. <https://doi.org/10.5380/dma.v58i0.81357>
- Sethi, S., Dhakad, S., & Arora, S. (2022). The Use of Biopesticides for Sustainable Farming: Way Forward toward Sustainable Development Goals (SDGs). *Çinde Biotechnological Innovations for Environmental Bioremediation*. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9001-3_24
- Seufert, V. (2012). Organic Agriculture as an Opportunity for Sustainable Agricultural Development. *Research to Practice Policy Briefs*, (13).
- Shang, H., He, D., Li, B., Chen, X., Luo, K., & Li, G. (2024, Ağustos 1). Environmentally Friendly and Effective Alternative Approaches to Pest Management: Recent Advances and Challenges. *Agronomy*, C. 14. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/agronomy14081807>
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., ... Thukral, A. K. (2019, Kasım 1). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, C. 1. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
- Sharma, N., & Singhvi, R. (2017). Effects of Chemical Fertilizers and Pesticides on Human Health and Environment: A Review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 10(6). <https://doi.org/10.5958/2230-732x.2017.00083.3>
- Shekhar, C., Khosya, R., Thakur, K., Mahajan, D., Kumar, R., Kumar, S., & Sharma, A. K. (2024, Aralık 1). A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. *Toxicology Reports*, C. 13. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101840>
- Sishu, F. K., Tilahun, S. A., Schmitter, P., Assefa, G., & Steenhuis, T. S. (2022). Pesticide Contamination of Surface and Groundwater in an Ethiopian Highlands' Watershed. *Water (Switzerland)*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/w14213446>
- Srivastava, A., Srivastava, A. K., Pandeya, A., & Pant, A. B. (2023). Pesticide mediated silent neurotoxicity and its unmasking: An update on recent progress. *Toxicology*, C. 500. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2023.153665>
- Syafrudin, M., Kristanti, R. A., Yuniarto, A., Hadibarata, T., Rhee, J., Al-Onazi, W. A., ... Al-Mohaimeed, A. M. (2021, Ocak 2). Pesticides in drinking water-a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, C. 18, ss. 1-15. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020468>
- Teng, J., Hou, R., Dungait, J. A. J., Zhou, G., Kuzyakov, Y., Zhang, J., ... Delgado-Baquerizo, M. (2024). Conservation agriculture improves soil health and sustains crop yields after long-term warming. *Nature communications*, 15(1), 8785. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53169-6>
- Tırnk, S. (2021). Environmental effects and diffuse pollution load calculation of animal wastes in Iğdır province and districts. *BSJ Eng Sci*, 4(2): 4350.

- Tırınk, S. (2025). Diffuse pollutant load and environmental impacts of animal waste in Türkiye. *BSJ Env Sci*, 1(1): 8-13.
- Tırınk, S., & Özkoç, H. B. (2021). Effects of toxic heavy metals on the environment and human health. *Highly Interconnected & Endless Puzzle: Agriculture*. Ankara: Iksad Publishing House, p99.
- Tırınk, S., Böke Özkoç, H., Arıman, S. *et al.* (2025). Unlocking complex water quality dynamics: principal component analysis and multivariate adaptive regression splines integration for predicting water quality index in the Kızılırmak river. *Environ Geochem Health* **47**, 434 <https://doi.org/10.1007/s10653-025-02735-y>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, C. 418. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Tom, A. P., Jayakumar, J. S., Biju, M., Somarajan, J., & Ibrahim, M. A. (2021). Aquaculture wastewater treatment technologies and their sustainability: A review. *Energy Nexus*, C. 4. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100022>
- Tongo, I., Onokpasa, A., Emerure, F., Balogun, P. T., Enuneku, A. A., Erhunmwunse, N., ... Ezemonye, L. (2022). Levels, bioaccumulation and biomagnification of pesticide residues in a tropical freshwater food web. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(3). <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03212-6>
- Torres, J. B., & Bueno, A. de F. (2018, Kasım 1). Conservation biological control using selective insecticides – A valuable tool for IPM. *Biological Control*, C. 126, ss. 53-64. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.012>
- Turhan, Ş. (2005). TARIMDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ORGANİK TARIM. *İçinde Tarım Ekonomisi Dergisi* (C. 11).
- TÜİK. (2023). TÜİK. Geliş tarihi 15 Haziran 2025, gönderen <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2023-49535&dil=2>
- Usta, C. (2013). Microorganisms in Biological Pest Control — A Review (Bacterial Toxin Application and Effect of Environmental Factors). *Current Progress in Biological Research*. <https://doi.org/10.5772/55786>
- van der Werf, H. M. G., Knudsen, M. T., & Cederberg, C. (2020). Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability* 2020 3:6, 3(6), 419-425. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>
- van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl*, 63(1). <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4>
- Vessa, B., Perlman, B., McGovern, P. G., & Morelli, S. S. (2022). Endocrine disruptors and female fertility: a review of pesticide and plasticizer effects. *F and S Reports*, 3(2). <https://doi.org/10.1016/j.xfre.2022.04.003>
- Vikas, & Ranjan, R. (2024). Agroecological approaches to sustainable development. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, C. 8. Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1405409>
- Volakakis, N., Kabourakis, E., Kiritsakis, A., Rempelos, L., & Leifert, C. (2022). Effect of Production System (Organic versus Conventional) on Olive Fruit and Oil Yields and Oil Quality Parameters in the Messara Valley, Crete, Greece; Results from a 3-Year Farm Survey. *Agronomy*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy12071484>
- von Cossel, M., Scordia, D., Altieri, M., & Gresta, F. (2025). Spotlight on agroecological cropping practices to improve the resilience of farming systems: a qualitative review of meta-analytic studies. *Frontiers in Agronomy*, 7. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1495846>
- Vukicevich, E., Lowery, T., Bowen, P., Úrbez-Torres, J. R., & Hart, M. (2016, Eylül 1). Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, C. 36. Springer-Verlag France. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0385-7>

- Wan, N. F., Fu, L., Dainese, M., Kiær, L. P., Hu, Y. Q., Xin, F., ... Scherber, C. (2025). Pesticides have negative effects on non-target organisms. *Nature Communications*, 16(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56732-x>
- Wang, J., Chen, T., Zhang, Z., Song, M., Shen, T., Wang, X., ... Liu, Y. (2025). Remodelling autoactive NLRs for broad-spectrum immunity in plants. *Nature* 2025, 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09252-z>
- Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Gonçalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, C. 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- WHO (World Health Organization). (1999). Microbial pest control agent: *Bacillus thuringiensis*. World Health Organization.
- Willer, Helga; Trávníček, Jan and Schlatter, Bernhard (Eds.) (2025) The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2025. Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM - Organics International, Frick and Bonn.
- Wolińska, A., Kuźniar, A., Zielenkiewicz, U., Banach, A., & Błaszczuk, M. (2018). Indicators of arable soils fatigue – Bacterial families and genera: A metagenomic approach. *Ecological Indicators*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.033>
- Yeni, O., & Teoman, Ö. (2023). Agroekolojik Bakış Açısından Türkiye’de Tarımsal Sürdürülebilirlik. *Fiscaoeconomia*, 7(Özel Sayı), 120-151. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1355937>
- Zhang, L., Yan, C., Guo, Q., Zhang, J., & Ruiz-Menjivar, J. (2018). The impact of agricultural chemical inputs on environment: Global evidence from informetrics analysis and visualization. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 13(4). <https://doi.org/10.1093/ijlct/cty039>
- Zhang, Q. F. (2024). From Sustainable Agriculture to Sustainable Agrifood Systems: A Comparative Review of Alternative Models. *Sustainability (Switzerland)*, C. 16. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su16229675>
- Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, C. 528. <https://doi.org/10.1038/nature15743>
- Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2025). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, C. 11. KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>