

TÜRKİYE VE DÜNYADA ZİRAAT

Editör: Doç.Dr. Bekir ATAR

yaz
yayınları

Türkiye ve Dünyada Ziraat

Editör

Doç.Dr. Bekir ATAR

yaz
yayınları

2025

Türkiye ve Dünyada Ziraat

Editör: Doç.Dr. Bekir ATAR

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8574-41-8

Aralık 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Çok Yıllık Yonca Türleri.....	1
<i>Meliha Feryal SARIKAYA, Muhammad Azhar NADEEM, Kağan KÖKTEN</i>	
The Importance of Integrated Pest Management Techniques in Agricultural Economics	16
<i>Ahmed Wael Sabah THABET, Aysun YENER ÖGÜR</i>	
Socio-Economic Impacts of Regenerative Agriculture: An Assessment in Terms of Farmer Welfare, Rural Development and Food Sovereignty	35
<i>Osman İnanç GÜNEY</i>	
Aronya Meyvesinde Polifonol Oksidaz Enzimi	49
<i>Dudu DEMİR</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

ÇOK YILLIK YONCA TÜRLERİ

Meliha Feryal SARIKAYA¹

Muhammad Azhar NADEEM²

Kağan KÖKTEN³

1. GİRİŞ

Yonca (*Medicago* türleri), *Leguminosae* familyasının *Trifolieae* oymağına ait olup 50'den fazla türü kapsar (Sadeghian ve Hejazi, 2014). Bu türlerden yaklaşık on ikisi tarımsal açıdan önemli kabul edilmektedir. Başlıca yetiştirilen ve tanınan türler şunlardır: *Medicago sativa*, *Medicago varia*, *Medicago hispida*, *Medicago falcata*, *Medicago lupulina*, *Medicago maculata*, *Medicago tuberculata*, *Medicago scutellata*, *Medicago elegans*, *Medicago orbicularis*.

Bu türlerin yanı sıra, yetiştiriciliği yaygın olarak yapılmayan ancak ıslah programları bakımından oldukça önemli olabilecek farklı *Medicago* türleri de bulunmaktadır. En yaygın türler şunlardır: *M. ciliaris*, *M. marina*, *M. litoralis*, *M. minima* ve *M. denticulata* (Avcıoğlu vd., 2009).

Tarımsal açıdan en yaygın ve en çok araştırılan yonca türü *Medicago sativa* L.'dir. Bu türün kromozom sayısı $2n = 4x = 32$ 'dir (Zhang ve Wang, 2025). Transkafkasya bölgesinden gelen *M. sativa*, İran, Anadolu'nun doğu, orta ve batı bölgeleri, İspanya

¹ Araştırma Görevlisi, Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, ORCID: 0000-0001-7277-1128.

² Doçent, Mersin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, ORCID: 0000-0002-0637-9619.

³ Profesör, Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, ORCID: 0000-0001-5403-5629.

ve hem Kuzey hem de Güney Amerika'yı kapsayan geniş bir coğrafi alanda birçok ekotipin gelişmesine yol açmıştır. Hem doğal seçim hem de ıslah programlarının sonucu dünyanın hemen hemen her bölgesine yayılmış ve uyum sağlamıştır.

Tarımsal üretimi kısıtlayan birçok faktör mevcuttur. Özellikle tuzluluk, ağır metaller, kuraklık ve aşırı sıcaklıklar gibi abiyotik stres etkenleri bu faktörler arasında yer almaktadır (Song vd., 2019). Küresel iklimde öngörülen değişikliklerin, bahsedilen streslerden bir veya daha fazlasına maruz kalmanın bir sonucu olarak, bitkisel üretimde ürün kaybına sebep olacağı belirtilmektedir (Haak vd., 2017). Stres koşulları altında, çimlenmeden tohum oluşumuna kadar bitki büyümesinin her aşamasının etkileneceği bildirilmektedir (Song vd., 2019). *Medicago sativa* L. yabancı dölleme fizyolojisine ve ototetraploid karaktere sahip olması, birçok çevresel faktöre karşı hassastan toleranslıya kadar geniş bir genetik çeşitliliğe yol açmıştır. Yonca, farklı stres etkenlerine toleransı da dahil olmak üzere çeşitli temel tarımsal özelliklerini geliştirme çabasıyla yaklaşık bir yüzyıldır yoğun bir şekilde yetiştirilmiştir (Kingston-Smith vd., 2013).

2. YAYGIN YONCA (*Medicago sativa* L.)

Yaygın yonca, dünya genelinde değerli baklagil yem bitkileri arasında yer almaktadır. Aynı zamanda insanlık tarihinde yetiştiriciliği yapılmış en eski bitkilerden biridir. Bitki adını Medya Otu anlamına gelen Herba medica teriminden almaktadır ve kökeni İran, Transkafkasya, Anadolu bölgelerinden aldığı belirtilmektedir (Mikaili ve Shayegh, 2011). Hititler döneminde Anadolu'da yetiştirilen yonca, MÖ 5. yüzyılda Medler ve Persler tarafından Yunanistan'a getirilmiş ve ardından Roma İmparatorluğu'na yayılmıştır (Brough vd., 1977). Osmanlı ve Selçuklu dönemlerinde, özellikle süvari atları için önemli bir yem

kaynağı olarak hizmet etmiştir. Günümüzde ise bu bitki üstün besin içeriği, çeşitli formları ve geniş adaptasyon kabiliyeti nedeniyle dünya çapında 'yem bitkilerinin kraliçesi' olarak kabul edilmektedir (Yaryab ve Çağan, 2022).

Yaygın yonca (Resim 1), kutup bölgeleri hariç hemen hemen her ekolojide gelişebilen çok yıllık bir baklagil yem bitkisidir (Radović vd., 2009). Bitki geniş kazık kök sistemi sayesinde derin toprak katmanlarından su ve besin maddelerine erişebilir ve böylece özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal sürdürülebilirliği artırır (El-Ramady vd., 2020). Yoncayı ürün rotasyonuna dahil etmek, kök nodüllerindeki azot fiksasyonu yoluyla toprak organik maddesini ve azot seviyelerini artırmakta ve bu da sonraki tahıl ürünlerinin veriminde önemli bir artışa neden olmaktadır (Hughes vd., 1951). Ayrıca, yüksek ham protein içeriği (%18-20 civarı) ve mineral bileşimine sahip olan yonca, hayvansal üretimin en önemli girdilerinden biri olan kaliteli kaba yeme katkı sağlayarak işletmelerin verimliliğini artırmaktadır (Radović vd., 2009; Suwignyo vd., 2023). Bununla birlikte evcil hayvan maması, yonca unu, filiz yetiştiriciliği ve biyoplastik hammadde kaynağı olarak da kullanılmaktadır (Zhu vd., 2025).

Yonca iklim ve toprak koşullarına geniş bir uyum kabiliyeti göstermektedir. Bitkinin kuraklığa dayanıklılığı kök derinliğiyle ilişkilendirilmektedir. Kökler genellikle 2-3 metre derinliğe kadar uzanır, ancak optimum koşullar altında 6-10 metreye kadar ulaşabilir. Yetiştirildiği ekolojilere bağlı olarak farklı biçim sayısına sahip olan bitkinin su talebi de farklıdır. Bitki ortalama 1 kilogram kuru madde üretmek için yaklaşık 800 litre suya ihtiyaç duymaktadır (Hsiao ve ark., 1976). Ülkemiz bakımından bir değerlendirme yapıldığında, Orta Anadolu'da tipik olarak 4-5, Ege ve Akdeniz bölgelerinde ise 8-10 hasat yapılabilmektedir Bitkinin ekonomik ömrü, bölgeye bağlı olarak

3 ila 10 yıl arasında değişir ve optimum iklimlerde 20 ila 30 yıl dayanabilir (Avcıoğlu vd., 2009).



Resim 1. *Medicago sativa* L. (Jan vd., 2021)

Yonca genellikle kireçle zenginleştirilmiş, iyi drene edilmiş, tınlı veya kumlu-tınlı topraklarda yetiştirilmektedir. Diğer taraftan pH değeri 6,8 veya üzeri olan topraklarda en iyi şekilde gelişir ve asidik topraklar için kireçleme önerilmektedir (Haby vd., 1997). Durgun yeraltı suyunun neden olduğu kök çürümesini önlemek için, yeraltı suyu seviyesi genellikle toprak yüzeyinden 1,5 ila 2 metre aşağıda tutulmalıdır.

Yaygın yonca dışında da tarımsal ve ekolojik öneme sahip bazı çok yıllık yonca türleri bulunmaktadır. Bu türler arasında *Medicago falcata* L., *Medicago lupulina* L., *Medicago varia* Pers, *Medicago arborea* L. yer almaktadır. Bu türlerin genetik çeşitliliği, yonca ıslah programlarında stres toleransı, yem kalitesi ve adaptasyon kabiliyeti gibi özelliklerin geliştirilmesi için önemli bir genetik kaynak oluşturmaktadır.

3. SARI ÇİÇEKLİ YONCA (*Medicago falcata* L.)

Medicago falcata L., sert hava koşullarına uyumuyla ön plana çıkan çok yıllık bir baklagil yem bitkisidir. Türün doğal dağılımı İskandinavya'dan Asya'daki Baykal Gölü çevresine kadar uzanmaktadır. Hem doğal hem de kültüre alınmış çeşitleri Orta ve Doğu Avrupa'nın soğuk ve yarı kurak bölgeleri ile Kuzey Amerika'da mevcuttur (Small ve Jomphe, 1989). Morfolojik olarak yaygın yoncaya benzemektedir. Ancak çiçek rengi altın sarısından turuncu-sarıya kadar değişir (Resim 2) ve baklaları kavisli, orak benzeri veya hilal şeklindedir (Lesins ve Lesins, 2012). Bitki tipik olarak 90-100 cm yüksekliğindedir. Büyüme şekli ise yatık veya yarı yatık olabilmektedir. Bitkinin bir başka önemli özelliği 2300-4000 m'ye kadar olan yüksek rakımlarda gelişebiliyor olmasıdır. Bu da onu diğer birçok yonca türüne kıyasla iklim farklılıklara karşı daha toleranslı hale getirmektedir (Frame vd., 1998).



Resim 2. *Medicago falcata* (Anonim, 2025)

Sarı çiçekli yonca, soğuğa, kuraklığa, otlatmaya ve çişenmeye karşı önemli genetik dayanıklılık göstermektedir (Humphries vd., 2021). Kök sistemi derin bir kazık kök yapısına sahiptir ve kök tacındaki çok sayıda kardeş nedeniyle güçlü bir

yeniden büyüme kabiliyetine sahiptir (Quiros ve Bauchan, 1988). *M. falcata*, bu özelliklerden dolayı genellikle yonca ıslah programlarında direnç genlerinin kaynağı olarak kullanılır (Brummer, 1999; Annicchiarico vd., 2011). Çok sayıda melez çeşit (*M. sativa* × *M. falcata*) Kanada, Rusya ve Kuzey Avrupa'da yetiştirilmiş ve bu türün genetik kaynakları kullanılarak soğuk toleransı ve uzun ömürlülüğü artırılmıştır (Humphries vd., 2021; Yun vd., 2022). Türkiye'de sarı çiçekli yonca Sivas, Tokat, Erzurum ve Kars illerindeki yüksek rakımlı çayırliklara özgüdür. Anadolu türleri genellikle 30-50 cm yüksekliğinde, kısa saplı, yatay bir morfolojiye sahip ve soluk sarı çiçeklere sahiptir. Bu çeşitler düşük tohum tutma oranına sahiptir. Bununla birlikte, baklaları diğer yabancı popülasyonlara kıyasla çatlamaya daha az duyarlıdır ve bu da onları yerel çevreye uyumlu olarak önemli bir genetik materyal haline getirir. Mera ıslah programlarında *M. falcata* özellikle kurak meraları iyileştirmek için bir bileşen tür olarak kullanılmıştır (Avcıoğlu vd., 2009). Bitki önemli besin değerine sahiptir ve özellikle otçullara karşı dayanıklılığı ve nispeten yumuşak otları nedeniyle doğal meraların kalitesini artırır (Frame vd., 1998). Bununla birlikte sarı çiçekli yonca, bazı özellikler için sahip olduğu direncine rağmen, yaygın yoncaya kıyasla daha düşük yem verimi ve tohum üretimi sergiler (Small ve Jomphe, 1989). Sınırlı sayıda üreme organı, baklaların olgunlaşma sonrası çatlayıp tohum bırakma eğilimi ve düşük tohum tutma oranı, bu türün ekonomik üretim potansiyelini kısıtlamaktadır (Quiros ve Bauchan, 1988). Bununla birlikte, genetik kaynak olarak sağladığı direnç genleri nedeniyle, çağdaş ıslah araştırmalarında önemli bir kaynak olmaya devam etmektedir. Moleküler çalışmalar, *M. falcata*'nın kuraklıkla ilişkili gen loküsleri ve fizyolojik mekanizmalar açısından yaygın yoncaya önemli katkılarda bulunmaktadır (Zhang vd., 2015; Jiang vd., 2022).

4. ŞERBETÇİOTU YONCASI (*Medicago lupulina* L.)

Şerbetçiotu yoncası (*Medicago lupulina* L.), Avrupa'dan Asya'ya ve Kuzey Afrika'nın ılıman bölgelerine kadar yayılmış bir türüdür (Turkington ve Cavers, 1979). Bitki büyüme şekli yatık ya da dik şekilde olabilmektedir. 10-60 cm'ye kadar boylanabilirken, kazık kökü genellikle 10-30 cm kadar toprağın derinliğine inmektedir (Avcıoğlu vd., 2009). Çiçek rengi parlak sarı olup (Resim 3), meyveleri böbrek biçimindedir ve tek tohum içerir (Mifsud, 2002). Bu tür özellikle çorak meralar, taban araziler ve yapay mera sistemi kurulumlarında kullanılabilmekte, yaprakları yumuşak ve besin maddeleri açısından zengin olmasıyla dikkat çekmektedir (Frame, 2019).

Medicago lupulina'nın adaptasyon yeteneği yüksektir. Tamamen güneşli ya da yarı gölgeli ortamlarda, kumlu-killi dokuda ya da taşlı zeminlerde dahi gelişebilmektedir (Wilson, 2005).



Resim 3. *Medicago lupulina* L. (Mifsud, 2002)

Yem bitkisi açısından, *M. lupulina*'nın besin değerleri umut vericidir ancak ticari yonca türleriyle kıyaslandığında

Üretim potansiyeli ve verim açısından sınırlamaları vardır (Kiraz, 2011). Yine de düşük verim ortamlarında ya da düşük bakım şartlarında kullanılabilmesi bakımından doğal meraların ıslahı ve peyzaj amaçlı yemleme sistemlerinde alternatif oluşturabilmektedir (Martin vd., 2020).

5. MELEZ YONCA (*Medicago varia* Pers)

Melez yonca, taksonomik açıdan çoğu literatürde *Medicago varia* olarak tanımlanmakta olup, esasen ebeveyni olan *Medicago sativa* ile *Medicago falcata* türlerinin doğal ya da kültürel şartlar altında melezlenmesi sonucu ortaya çıkan bir yonca kompleksi içerisinde yer alır (Avcıoğlu vd., 2009). Bu türün morfolojik varyasyonu oldukça geniştir. iek rengi sarıdan erguvana kadar değişebilmekte, iek durumu salkım ya da kme biçiminde olup baklaları helikon ya da orak biçimli olabilmektedir. Ebeveynlerden hangisi ile geriye melezlenmişse genotip o ebeveyne daha çok benzemektedir. Bu da melez yoncanın mor iekli yaygın yonca ya da sarı iekli yonca formlarına daha yakın tipleri içerdiği anlamına gelmektedir (Humphries vd., 2021; Wang vd., 2023). Türkiye’de özellikle Doğu Anadolu yörelerinde (yüksek rakımlı meralar) melez yonca formlarının bulunduğu bildirilmiştir.

Melez yonca, üstün adaptasyon kabiliyetiyle ne çıkmaktadır. Soğuk iklim koşullarında, özellikle yaygın yoncanın yetişemediği bölgelerde tarımsal yonca üretimine olanak sağlar. Örneğin, Kanada ve diğer soğuk kuşaklarda yapılan genetik ve popülasyon çalışmaları, melez yonca kompleksinin hem *sativa*-hem *falcata* zelliklerini taşıdığını ve uzun ömürlülük, donma toleransı ile yüksek rakım adaptasyonunda avantajlı olduğunu göstermektedir (Wang vd., 2023). Bu zellikleri nedeniyle tarımsal ıslah programlarında melez yoncadan elde edilen genetik materyaller, vejetasyonun ömrünü uzatma, kış hasarına ve çeşitli

stres faktörlerine dayanıklılığı artırma amaçlı kullanılmıştır (Humphries vd., 2021). Ancak verimi ve bazı agronomik özellikleri tam *sativa* tipi yoncalar kadar yüksek olmamaktadır.

Melez yoncanın tarımsal değeri ve kullanım potansiyeli de dikkat çekicidir. Türkiye’de, yüksek rakımlı ve zorlu koşullardaki mera sistemi içerisinde diğer yonca türlerine kıyasla daha iyi ayakta kalabildiği ve besleme açısından kabul edilebilir düzeyde zenginliği koruyabildiği bildirilmiştir. Islah literatüründe, tetraploid ve diploid kaynakların çaprazlanmasıyla elde edilen melez kombinasyonların verim ve dayanıklılık açısından değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır (Yun vd., 2022). Bu çerçevede melez yonca, geniş adaptasyon havuzu ve genetik çeşitliliği sayesinde geleceğin yonca çeşitleri geliştirilmesinde kilit bir rol oynamaktadır.

6. ÇALIMSI YONCA (*Medicago arborea* L.)

Çalımsı yonca, Akdeniz ve Avrupa’nın güneşli ve kayalık yamaçlarında doğal olarak yaygın birçok yıllık baklagil yem türüdür. Özellikle orman kenarları ve güneşli eğimli alanlarda 2 m’yi aşan boya ulaşabilen çalımsı formu ile öne çıkmaktadır. Taç çapı 1,5-2 m düzeylerinde olabilmektedir. Bitki formu itibarıyla çalı formuna benzer ve herdem yeşil kalabilen bir yapıdadır (Avcıoğlu vd., 2009). Toprak seçiciliği çok yüksek olmayıp; iyi drenajlı, kuraklığa dayanıklı alanlarda başarılı bir şekilde yetişirken, gölgeli, sık ağaç altı ortamları ise tercih etmez (De Koning ve Duncan, 2000; Amato vd., 2004). Yaprakçıkların alt tarafında gümüşü-yeşil tüyler olabilir ve genç sürgünler bu özellikleriyle ayırt edilebilir (De Koning ve Duncan, 2000).

Tarım ve mera sistemlerinde çalımsı yonca kullanım potansiyeli dikkat çekici olmaktadır. İdeal koşullarda ilk yıllarda otlatma ya da biçimle değerlendirilebildiği, ruminantlar tarafından tercih edildiği ve yem olarak kaliteli olduğu

gösterilmiştir (Amato vd., 2004). Ayrıca dekoratif bitki, çit bitkisi ve erozyonu önleyici amaçlarla da kullanımı bulunmaktadır. Güçlü çok dallı gövdesi ve yayılıcı formu ile toprak tutumunu sağlar. Tohumla üretimi kolaydır, ancak sert kabuklu tohum yapısı nedeniyle çimlenme öncesi fiziksel veya kimyasal ön işlemler gerekebilmektedir (Travlos ve Economou, 2006; Kimura ve Islam, 2012). Bu özellikleriyle çalimsı yonca, özellikle Akdeniz tipinde kurak, gevşek ve kayaçlı alanlarda hem yem bitkisi hem de çevresel amaçlı kullanımı açısından değerli bir materyal olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Amato, G., Stringi, L., & Giambalvo, D. (2004). Productivity and canopy modification of *Medicago arborea* as affected by defoliation management and genotype in a Mediterranean environment. *Grass and Forage Science*, 59(1), 20-28.
- Annicchiarico, P., Pecetti, L., Abdelguerfi, A., Bouizgaren, A., Carroni, A. M., Hayek, T., ... & Mezni, M. (2011). Adaptation of landrace and variety germplasm and selection strategies for lucerne in the Mediterranean basin. *Field Crops Research*, 120(2), 283-291.
- Anonim (2025)
<https://pladias.cz/en/taxon/pictures/Medicago%20falcata#image2> (Erişim tarihi: 06.11.2025).
- Avcıoğlu, R., Hatipoğlu, R., Karadağ, Y. (2009). Yem Bitkileri Baklagıl Yem Bitkileri Cilt II, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü.
- Brough, R. C., Robison, L. R., & Jackson, R. H. (1977). The historical diffusion of alfalfa. *Journal of Agronomic Education*, 6(1), 13-19.
- Brummer, E. C. (1999). Capturing heterosis in forage crop cultivar development. *Crop Science*, 39(4), 943-954.
- De Koning, C. T., & Duncan, A. J. (2000). *Medicago arborea* - a leguminous fodder shrub for low rainfall farming systems. In L. Sulas (Ed.), *Legumes for Mediterranean forage crops, pastures and alternative uses* (Cahiers Options Méditerranéennes No. 45, pp. 435-438).
- El-Ramady, H., Abdalla, N., Kovacs, S., Domokos-Szabolcsy, É., Bákonyi, N., Fari, M., & Geilfus, C. M. (2020). Sustainable biorefinery of alfalfa (*Medicago sativa* L.): a review. *Egypt J Bot* 60: 621-639.

- Frame, J. (2019). Forage legumes for temperate grasslands. CRC Press.
- Frame, J., Charlton, J. F. L., & Laidlaw, A. S. (1998). *Temperate forage legumes* (pp. viii+-327).
- Haak, D. C., Fukao, T., Grene, R., Hua, Z., Ivanov, R., Perrella, G., & Li, S. (2017). Multilevel regulation of abiotic stress responses in plants. *Frontiers in plant science*, 8, 1564.
- Haby, V. A., Rouquette Jr, F. M., Leonard, A. T., & Hons, F. M. (1997). Alfalfa production on acid humid-region soils. *Amer. Forage and Grassl. Council Proc.* 6, Fort Worth, TX, 13-15.
- Hsiao, T. C., Acevedo, E., Fereres, E., & Henderson, D. W. (1976). Water stress, growth, and osmotic adjustment.- *Philos. Trans. R. Soc. London Serv. Bull.*, 273, 471-500.
- Hughes, H. D., Heath, M. E., & Metcalfe, D. S. (1951). Forages. *The Science of Grassland Agriculture*.
- Humphries, A. W., Ovalle, C., Hughes, S., del Pozo, A., Inostroza, L., Barahona, V., ... & Kilian, B. (2021). Characterization and pre-breeding of diverse alfalfa wild relatives originating from drought-stressed environments. *Crop Science*, 61(1), 69-88.
- Jan, H. A., Hussain, W., Kunwar, R. M., Bussmann, R. W., & Paniagua-Zambrana, N. Y. (2021). *Medicago sativa* L. Fabaceae. In *Ethnobotany of the Himalayas* (pp. 1257-1263). Cham: Springer International Publishing.
- Jiang, X., Yu, A., Zhang, F., Yang, T., Wang, C., Gao, T., ... & Kang, J. (2022). Identification of QTL and candidate genes associated with biomass yield and Feed Quality in response to water deficit in alfalfa (*Medicago sativa* L.) using linkage mapping and RNA-Seq. *Frontiers in Plant Science*, 13, 996672.

- Kimura, E., & Islam, M. A. (2012). Seed scarification methods and their use in forage legumes. *Research Journal of Seed Science*, 5(2), 38-50.
- Kingston-Smith, A. H., Marshall, A. H., & Moorby, J. M. (2013). Breeding for genetic improvement of forage plants in relation to increasing animal production with reduced environmental footprint. *Animal*, 7(s1), 79-88.
- Kiraz, A. B. (2011). Determination of relative feed value of some legume hays harvested at flowering stage.
- Lesins, K. A., & Lesins, I. (2012). Genus *Medicago* (*Leguminosae*): a taxogenetic study. Springer Science & Business Media.
- Martin, G., Durand, J. L., Duru, M., Gastal, F., Julier, B., Litrico, I., ... & Jeuffroy, M. H. (2020). Role of ley pastures in tomorrow's cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(3), 17.
- Mifsud, S. (2002). *Medicago lupulina* (Black Medick): MaltaWildPlants. com-the online Flora of the Maltese Islands.
- Mikaili, P., & Shayegh, J. (2011). *Medicago sativa*: A historical ethnopharmacology and etymological study of the alfalfa. *Research in Veterinary Science of Journal*, 1(9), 614-618.
- Quiros, C. F., & Bauchan, G. R. (1988). The genus *Medicago* and the origin of the *Medicago sativa* comp. *Alfalfa and Alfalfa Improvement*, 29, 93-124.
- Radović, J., Sokolović, D., & Marković, J. J. B. A. H. (2009). Alfalfa-most important perennial forage legume in animal husbandry. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 25(5-6-1), 465-475.

- Sadeghian, S., & Hejazi, S. H. (2014). Cytogenetic studies in some species of *Medicago* L. in Iran. *European Journal of Biology*, 73(1), 21-30.
- Small, E., & Jomphe, M. (1989). A synopsis of the genus *Medicago* (Leguminosae). *Canadian Journal of Botany*, 67(11), 3260-3294.
- Song, Y., Lv, J., Ma, Z., & Dong, W. (2019). The mechanism of alfalfa (*Medicago sativa* L.) response to abiotic stress. *Plant Growth Regulation*, 89(3), 239-249.
- Suwignyo, B., Rini, E. A., & Helmiyati, S. (2023). The profile of tropical alfalfa in Indonesia: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(1), 103504.
- Travlos, I. S., & Economou, G. (2006). Optimization of seed germination and seedling emergence of *Medicago arborea* L.
- Turkington, R.O.Y., & Cavers, P.B. (1979). The biology of Canadian weeds.: 33. *Medicago lupulina* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 59(1), 99-110.
- Wang, H., Coulman, B., Bai, Y., Taran, B., & Biligetu, B. (2023). Genetic diversity and local adaption of alfalfa populations under long-term grazing. *Scientific Reports*, 13, 1632.
- Wilson, L. C. (2005). Characteristics of black medic (*Medicago lupulina* L.) seed dormancy loss in Western Canada.
- Yaryab, S., & Çağan, E. (2022). Determination of Some Yield Features of Foreign-Origin Alfalfa Cultivars (*Medicago sativa* L.) in Bingöl Conditions. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 11(1), 129-135.
- Yun, A., Shi, S., Gong, W., Zhang, J., Zhang, X., & Zhang, J. (2022). Cross-breeding improvement and performance analysis of dominant production traits in grazing-type

alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Biomed Research International*, 2022, 1252310.

Zhang, T., Yu, L. X., Zheng, P., Li, Y., Rivera, M., Main, D., & Greene, S. L. (2015). Identification of loci associated with drought resistance traits in heterozygous autotetraploid alfalfa (*Medicago sativa* L.) using genome-wide association studies with genotyping by sequencing. *PLoS One*, 10(9), e0138931.

Zhang, Y., & Wang, L. (2025). Advances in basic biology of alfalfa (*Medicago sativa* L.): a comprehensive overview. *Horticulture Research*, 12(7), uhaf081.

Zhu, X., Chen, W., Li, M., Liu, B., Zhao, S., Hu, M., ... & Wang, C. (2025). Comprehensive evaluation of the nutritional value and contaminants of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in China. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1539462.

THE IMPORTANCE OF INTEGRATED PEST MANAGEMENT TECHNIQUES IN AGRICULTURAL ECONOMICS

Ahmed Wael Sabah THABET¹

Aysun YENER ÖGÜR²

1. INTRODUCTION

Agricultural pests pose a major threat to global agricultural production. The rate of crop losses due to pests is estimated to be between 20% and 40% worldwide each year, reaching 40–50% in developing countries and around 25–30% in developed countries. These losses represent a production shortfall equivalent to the annual needs of more than one billion people, highlighting the production gap caused by agricultural pests (Thacker, 2002; Parsa et al., 2014). To overcome this problem, the use of chemical pesticides has increased 15 to 20-fold since the 1960s. However, this has not contributed to an effective reduction in agricultural losses; on the contrary, it has led to additional problems such as soil and water pollution, threats to human health, and the emergence of pest species resistant to pesticides (Oerce, 2006). In addition to these costs, direct and indirect damage caused by arthropod pests, particularly insects and mites, results in an annual economic cost of approximately \$500 billion worldwide (Culliney, 2014).

Therefore, increasing agricultural losses and the environmental and economic disadvantages caused by pesticide

¹ Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü

² Doç. Dr. Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, ORCID: 0000-0002-2764-0759.

use have highlighted the need for more sustainable and cost-effective alternatives in pest control; in this context, integrated pest management has emerged as a prominent approach (Altieri, 1995; Pretty, 2008).

Integrated pest management (IPM) is a management approach that aims to keep pest populations below the economic damage threshold and combines biological, cultural, mechanical, and chemical control methods in line with ecological principles (FAO, 2017a; Kogan, 1998). This approach is critical not only environmentally but also economically, as it strengthens the sustainability of the agroecosystem by reducing pesticide dependency (Dent, 2000). Agricultural economics literature shows that IPM practices significantly reduce pesticide use without causing yield and income losses; on the contrary, they increase producer welfare in the long term (Pretty & Waibel, 2005; Pimentel, 2009). Therefore, integrated control methods occupy a strategic place in agricultural policy design in terms of cost-effectiveness, reduction of externalities, and strengthening of sustainable production structures (Norton et al., 2019).

Integrated Pest Management (IPM) has emerged as an alternative agricultural system that combines biological, agricultural, mechanical, and targeted chemical techniques, aiming to reduce pesticide use and strike a balance between economic efficiency and environmental protection. This system is considered a strategic step towards increasing agricultural sustainability, improving resource use efficiency, and reducing production costs in the long term.

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

2.1. History of Science

The development of scientific thinking in the fight against agricultural pests has been a fundamental process that determined the emergence of modern plant protection approaches. The institutionalization of entomology and plant pathology disciplines in the late 19th century enabled the scientific study of the biology and life cycles of harmful organisms, thereby increasingly grounding control strategies in experimental evidence (Smith, 1969). Although the widespread use of synthetic pesticides in the mid-20th century offered effective short-term solutions, the increasing environmental and economic costs led to significant criticism in scientific circles and highlighted the unsustainability of pesticide dependence (Carson, 1962). This criticism paved the way for a new approach to pest control centered on ecological principles, and by the end of the 1950s, the concept of “Integrated Pest Management (IPM)” began to appear systematically in scientific literature (Stern et al., 1959). Integrated Pest Management (IPM) is an agricultural approach that developed in response to problems arising from the excessive use of chemical pesticides after World War II. Particularly in the United States and Europe, strong resistance to pests emerged and ecological balance was disrupted (FAO, 2024). The first official use of the term “integrated control” appeared in a scientific study prepared in 1959 by four American scientists: Stern, Smith, Van den Bosch, and Hagen. In this study, the term “Integrated Control” was proposed as an approach combining biological control with limited pesticide use (Stern et al., 1959). Later, this term evolved into “Integrated Pest Management (IPM)” in the late 1960s and began to be used more widely by American research institutions and agricultural extension programs. This concept was officially adopted by the United States Department of Agriculture (USDA) in the early 1970s (Kogan, 1998). By the 1980s, the Food and

Agriculture Organization (FAO) and the United States Agency for International Development (USAID) began promoting IPM in developing countries. One of the most notable examples of these programs is the “Farmer Field Schools” (FFS) initiative launched by the FAO in Indonesia in 1989. This initiative was developed as part of a project targeting the rice stem borer and marked a significant turning point in transferring the IPM concept from laboratories to fields. This approach enabled farmers to gain knowledge about pest science and make informed pesticide application decisions based on actual field observations (Van den Berg, 2004).

The emergence of IPM is the result of a multidisciplinary scientific transformation that considers not only the biological but also the economic, environmental, and sociological dimensions of pest management. This historical process provides an important background for understanding why integrated pest management holds a strategic position in today's agricultural economy (Kogan, 1998). IPM programs have expanded worldwide and have been incorporated into the national agricultural policies of many countries. Turkey is among these countries, and IPM practices are supported within the framework of sustainable agriculture and environmental extension programs.

The fundamental reason why integrated pest management approaches have a strong theoretical basis in agricultural economics literature is that pest control is seen not only as biological but also as an economic decision-making process based on cost-benefit analysis. In pest control, the producer's objective function is to establish a balance between marginal damage and marginal control costs (Headley, 1972). In this context, IPM is consistent with neoclassical economic models that seek to define the “optimal” level of pesticide use, because excessive pesticide use is both economically inefficient and increases the cost of negative externalities (Hueth & Regev,

1974). The necessity of internalizing externalities makes IPM a policy tool that reduces market failures. Furthermore, it is emphasized that IPM carries dynamic economic value, as sustainable production and the protection of natural enemy populations ensure long-term productivity and welfare gains (Norton & Mumford, 1993). Thus, IPM provides a framework that maximizes producer profits at the microeconomic level and increases social welfare at the macroeconomic level.

2.2. Historical Development of the Concept of Economic Threshold

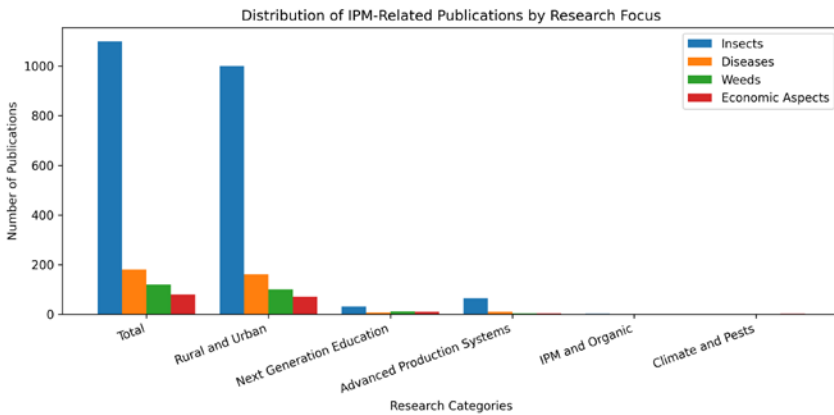
The concept of economic threshold is one of the most important points where the scientific and economic foundations of IPM intersect. First defined in the 1950s, this concept established a scientific criterion for determining when chemical control should be applied by identifying the level at which pest density begins to cause economic loss (Stern et al., 1959). Studies conducted in the 1960s and 1970s made the concept more dynamic by indicating that the threshold is not fixed but varies depending on product prices, control costs, pest biology, and environmental factors (Pedigo et al., 1986). These developments have transformed pesticide use from an automatic reflex into a decision-making process based on economic rationality. Thus, the damage threshold has become the key determinant that enhances both the ecological and economic effectiveness of IPM.

2.3. The Historical Development of IPM in Turkey

The foundations of integrated pest management practices in Turkey were laid in the 1960s with the institutionalization of biological control research. Starting in the 1970s, the work carried out by Agricultural Pest Control Research Institutes developed the biological components of IPM, such as the identification and mass production of local natural enemy species (Kadioğlu & Yoldaş, 1998). In the 1990s, with increasing environmental

awareness and the start of the EU harmonization process, the widespread use of alternative methods to chemical control gained importance at the policy level (Güncan & Efil, 1999). In the 2000s, the publication of “Integrated Control Technical Instructions” and the promotion of certified production models ensured the systematic adoption of IPM in practice (Ministry of Agriculture and Forestry, 2010). In recent years, good agricultural practices, the spread of biotechnical control methods, and more frequent pesticide residue controls show that IPM in Turkey has developed within a market-oriented and sustainability-focused framework.

Graph 1. Distribution of publications related to IPM by year



Kaynak: Young, 2017.

3. RESEARCH FINDINGS

3.1. Definition of Integrated Pest Management (IPM)

Integrated Pest Management (IPM) is a comprehensive pest management system that aims to reduce the damage caused by agricultural pests to acceptable economic levels. This system is implemented through a combination of integrated tools that bring together biological, agricultural, mechanical, and targeted

chemical control methods, and is carried out within a monitoring and observation framework based on an economic threshold decision-making process.

IPM is defined by the Food and Agriculture Organization (FAO) as “a harmonious use of all available control methods—including biological, agronomic, cultural, mechanical, and chemical methods—in pest control; an approach that minimizes environmental damage and provides economic protection for crops” (FAO, 2017b). The United States Environmental Protection Agency (EPA) defines IPM as “a long-term strategy for controlling pests, based on the combination of various control techniques and taking into account the environmental, economic, and social components of the agricultural system” (EPA, 2020). The Turkish Ministry of Agriculture and Forestry defines integrated pest management as “a pest management system that considers the population dynamics of harmful species in agricultural products and their relationship with the environment; aims to use all available appropriate methods in an integrated and coordinated manner; and seeks to keep pest density below the economic damage threshold.” (Ministry of Agriculture and Forestry of the Republic of Turkey, 2010).

3.2. The Importance of Integrated Pest Management (IPM)

IPM is one of the fundamental components of modern sustainable agricultural systems, providing multifaceted benefits in terms of the environment, health, and economy. From an environmental perspective, it is important that IPM reduces soil, water, and air pollution caused by the indiscriminate use of pesticides and contributes to the sustainability of ecosystem balance by protecting natural enemies (Kogan, 1998; Dent, 2000). From a health perspective, IPM reduces risks to consumers, particularly by lowering pesticide residues; it also improves

occupational health and safety by limiting agricultural workers' exposure to toxic chemicals (Pimentel, 2009). From an economic perspective, IPM increases farmer income and productivity by reducing long-term costs associated with pesticide use, increasing market value by improving product quality, and reducing losses through preventive measures (Pretty & Waibel, 2005; Norton & Mumford, 1993).

These multifaceted environmental, health-related, and economic contributions demonstrate that the effectiveness of IPM is based not only on theory but also on a series of complementary practical components; therefore, the IPM implementation process is approached within a holistic system logic, from monitoring and decision-making to chemical control (Kogan, 1998; Dent, 2000).

1. Monitoring, Observation, and Decision Making

The monitoring and decision support process, one of the most critical components of IPM, aims to regularly track pest populations and initiate control at the right time. Regular manual inspection of plants, monitoring population trends using pheromone or sticky traps, and using economic injury level (EIL) and economic threshold (ET) tables form the scientific basis of the decision-making mechanism (Stern et al., 1959; Pedigo et al., 1986). This approach reduces arbitrary pesticide applications, thereby improving both yield and cost efficiency.

2. Cultural Control Methods

Cultural control consists of preventive practices that aim to limit infestation at an early stage by creating conditions unfavorable for pest proliferation. Crop rotation, use of resistant varieties, planning planting time according to the pest population cycle, destruction of plant residues after harvest, and adjusting feeding and irrigation programs to increase plant resistance are considered within this scope (Altieri, 1995; Dent, 2000). These

methods are considered the first line of defense in IPM and often significantly reduce the need for chemical control.

3. Biological Control

Biological control relies on the use of natural enemies—predators, parasitoids, and pathogenic microorganisms—to suppress pest populations. Common examples of this method include the use of ladybug species against aphids, the release of *Trichogramma* species against pest moth eggs, or the application of *Bacillus thuringiensis* preparations against caterpillars (van Lenteren, 2000). Biological control offers a solution that is consistent with sustainability goals by reducing chemical dependency.

4. Mechanical and Physical Control

Mechanical and physical methods aim to control pests by directly removing them or physically altering their living conditions. Examples of these methods include reducing populations by capturing males with pheromone traps, controlling flying pests with yellow sticky traps, using insect nets in greenhouses, or applying heat/cold treatments in storage facilities (Reed, 2001). Within IPM, these methods are highlighted as low-cost alternatives with low environmental risk.

5. Chemical Control

Chemical control is applied in IPM according to the “last resort” principle and is only used when the population exceeds the economic damage threshold. Selective use of pesticides, determining the application time based on monitoring results, and adopting spot treatment techniques are important for reducing both environmental risks and resistance development (Kogan, 1998; EPA, 2020). This approach provides a framework consistent with the basic principles of IPM by controlling chemical use. In IPM applications, control methods follow a

hierarchical structure, starting with preventive and ecological approaches and progressing towards chemical control (FAO, 2017; EPA, 2020).

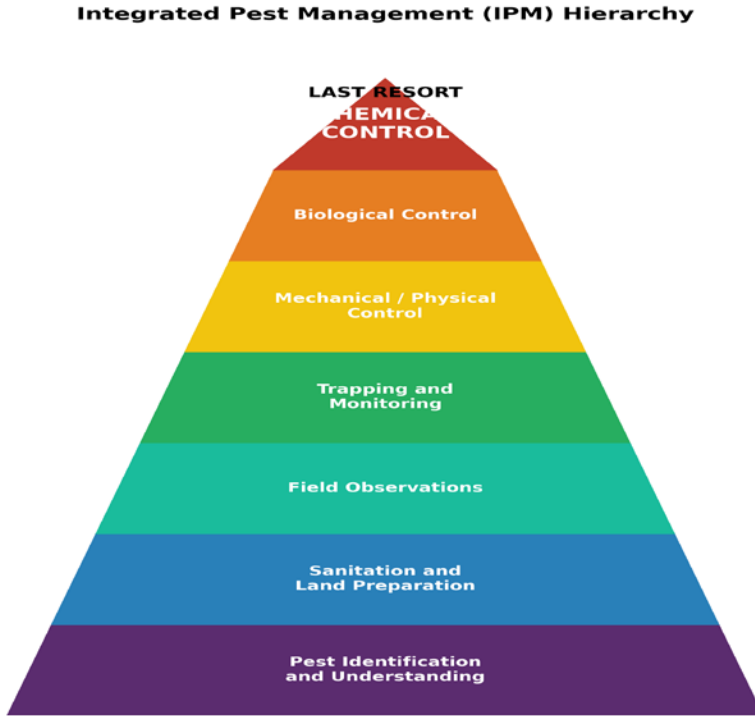
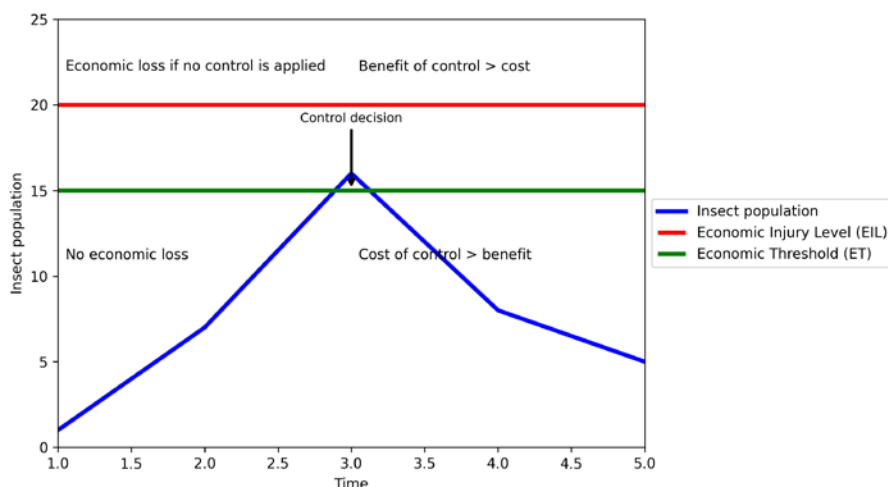


Figure 1. Hierarchical ranking of control methods in the Integrated Pest Management (IPM) approach.

3.3. Economic Injury Threshold and Economic Injury Level in the Context of EYZ

The concepts of Economic Damage Level (EDL) and Economic Damage Threshold (EDT), which form the basis of the economic decision-making process in the Integrated Pest Management (IPM) approach, define the point at which the pest population causes product loss and the critical intensity at which intervention should be initiated to prevent this loss; thus revealing the balance between control benefits and control costs based on

the time-dependent change in pest density (Stern et al., 1959; Pedigo et al., 1986).



Source: Pedigo et al. (1986), Norton & Mumford (1993), Dent (2000)

The fundamental philosophy of Integrated Pest Management (IPM) is to reduce economic damage without completely eliminating pests; this is achieved by keeping pest populations below predetermined critical levels. To this end, two main scientific concepts have been developed that form the basis for control decisions:

Economic Injury Level (EIL)

It is defined as the lowest density at which a pest (pest population) can cause economic loss sufficient to justify control costs (Pedigo et al., 1986). In other words, if the pest density is below this level, the damage caused does not justify any intervention.

Economic Damage Threshold (EDE)

This is the critical point at which control measures should be initiated when the pest density approaches the economic damage level. This concept was systematically developed by

Stern and colleagues in 1959 and is widely used today to determine the timing of intervention (Stern et al., 1959).

The Importance of Population Dynamics in Threshold Determination

Understanding pest population dynamics plays a fundamental role in accurately determining the economic damage threshold and economic damage level within the scope of Integrated Pest Management (IPM). Pest reproduction and mortality rates, seasonal distribution and migration movements, interactions with host plants and natural enemies, and climatic factors such as temperature and humidity directly affect the temporal variation in population density and necessitate a dynamic approach to threshold values (Pedigo et al., 1986; Dent, 2000). Regular monitoring and analysis of these dynamics allows for the initiation of control measures at the most appropriate time, the correct selection of the method to be used (cultural, biological, or chemical), and the prevention of unnecessary and costly interventions when pest density is below the economic threshold level (Stern et al., 1959; Norton & Mumford, 1993).

Problems in the Application of Imported Threshold Values

Although the concepts of economic injury threshold (EIT) and economic injury level (EIL) have a dynamic structure, in many developing countries these threshold values are mostly derived from research conducted in developed countries and applied without being sufficiently adapted to local agroecological and socio-economic conditions. This approach contradicts the fundamental philosophy of the EIL/ELS concepts; because the development of pest populations and the economic losses they cause vary significantly depending on factors such as climatic conditions, crop types, production systems, the economic and social structure of farmers, and the composition of the natural

enemy complex (Pedigo et al., 1986; Dent, 2000). Imported threshold values used without considering local conditions lead to unnecessary and costly interventions on the one hand, and on the other hand, they fail to prevent pest densities from reaching the actual economic damage level, thereby weakening the effectiveness and economic rationality of IPM applications (Norton & Mumford, 1993; Kogan, 1998).

3.4. Challenges Encountered in the Implementation of Integrated Pest Management (IPM) and Proposed Solutions

Farmers' Lack of Awareness and Knowledge

One of the main challenges is that farmers do not have sufficient awareness of the concept of integrated pest management (IPM) and its implementation mechanisms. Many farmers do not have accurate information about the benefits of this system, and some believe that IPM is less effective than traditional chemical pesticides. Agricultural extension programs need to be intensified by organizing educational seminars and awareness campaigns in rural areas. In addition, demonstration projects should be used to convince farmers of the effectiveness of IPM.

Lack of Technical Support and Continuous Monitoring

Many farmers do not receive adequate technical support after starting IPM implementation, which leads to errors or failure to sustain the application. It is important to establish agricultural extension units that will operate continuously in the field and provide regular advisory services through expert agricultural engineers. Additionally, digital tools such as mobile applications or helplines can be utilized to provide emergency support.

High Initial Costs of IPM Implementation

Although IPM is economically advantageous in the long term, the initial investment costs (e.g., trap purchase, diagnostic equipment, technical consulting) can be a barrier for low-income farmers.

Part of the initial costs should be covered by government or cooperative support; in addition, joint financing models among farmers through agricultural cooperatives or associations should be encouraged.

Adherence to Traditional Agricultural Practices

Some farmers, especially those accustomed to using traditional chemical pesticides, tend to continue using them because they are easy to use. Positive examples of farmers who have successfully implemented IPM should be disseminated, highlighting the economic benefits these farmers have achieved. In addition, marketing incentives such as labeling products as “clean agricultural products” should be offered.

Lack of Coordination Among Relevant Institutions

In many cases, the development and dissemination of IPM practices are hampered by the lack of effective coordination between research institutions, agricultural extension services, and the private sector. National-level coordination networks involving stakeholders from research, extension, production, and marketing sectors should be established; IPM should be included as a strategic option in agricultural policies and development plans.

Insufficient Biological Inputs and Supporting Equipment

The inability to adequately supply IPM tools and techniques, such as biological enemies or pheromone traps, poses an obstacle to the widespread adoption of this system, especially

in remote areas. Projects that support the local production of these materials should be encouraged, and the private sector should be incentivized to invest in this area. Additionally, until sufficient local production is achieved, temporary customs facilitation policies can be implemented for the import of these products.

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Modern agriculture is a complex system that must be addressed holistically, not just in terms of pest management. Ensuring agricultural sustainability is possible by reducing chemical inputs, utilizing biological processes, and promoting environmentally friendly practices. Integrated Pest Management (IPM) is the fundamental approach for environmentally friendly and effective pest control. Despite the advantages of IPM, cost and implementation difficulties are significant barriers for small-scale producers. The lack of international knowledge and experience sharing is one of the main factors limiting the spread of IPM. IPM systems should be adapted to each country's ecological conditions and not directly transferred from other regions. Increasing the local production of biological control agents reduces costs in the long term and increases the effectiveness of IPM. Effective implementation of IPM reduces pesticide residue problems and enhances food safety, thereby strengthening export potential. The success of IPM is directly related to the knowledge level and education of producers. Consequently, the widespread adoption of IPM is essential for sustainable and environmentally compatible agriculture.

Publication and education programs should be strengthened to increase farmers' knowledge and awareness of Ezy. The principles of Ezy should be integrated into the curricula of institutions providing agricultural education. Research and development studies on biopesticides and plant

extracts as alternatives to chemical pesticides should be supported. Regional cooperation networks should be established among countries with similar product patterns for pest management. State support and financial incentives should be provided to encourage EYZ practices. The production of local biological control agents should be increased to reduce dependence on imports. Consumer awareness of natural and residue-free products should be increased, and sustainable production should be encouraged. National inspection and laboratory infrastructure should be strengthened to monitor pesticide residues. GIS and remote sensing technologies should be used to monitor pest populations and guide control efforts. Studies containing economic comparisons between EYZ and conventional methods should be disseminated. National EYZ strategies appropriate to the ecological conditions of each region should be developed. Cultural and agricultural control methods should be made fundamental components of EYZ programs. Coordination between research institutions, publishing units, and the private sector should be strengthened. Certification systems (e.g., GlobalGAP) for producers implementing EYZ should be promoted. The effectiveness of EYZ programs should be regularly monitored and updated based on the results obtained.

REFERENCES

- Altieri, M. A. (1995). *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Westview Press.
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Houghton Mifflin.
- Culliney, T. (2014). Crop losses to arthropods. In: Pimentel, D. & Peshin, R. (Eds.), *Integrated Pest Management*. Springer, Dordrecht, 201–225.
- Dent, D. (2000). *Insect Pest Management*. CABI Publishing.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). (2020). *Integrated Pest Management (IPM) Principles*. United States Environmental Protection Agency.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2017a). *Integrated Pest Management Guidelines*. FAO Plant Production and Protection Division, Rome.
- FAO. (2017b). *Integrated Pest Management: Guidelines for Sustainable Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Günçan, A., & Efil, L. (1999). Türkiye’de entegre mücadele çalışmalarının değerlendirilmesi. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 23(2), 125–132.
- Headley, J. C. (1972). Defining the economic threshold. *Proceedings of the Tall Timbers Conference on Ecological Animal Control by Habitat Management*, 3, 67–76.
- Hueth, D., & Regev, U. (1974). Optimal agricultural pest management with increasing pest resistance. *American Journal of Agricultural Economics*, 56(3), 543–551.

- Kadıoğlu, İ., & Yoldaş, Z. (1998). Türkiye’de biyolojik mücadele çalışmaları ve geleceği. *Bitki Koruma Bülteni*, 38(3–4), 151–160.
- Kogan, M. (1998). Integrated Pest Management: Historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43, 243–270.
- Norton, G. A., & Mumford, J. D. (1993). Decision tools for pest management. *CABI Publishing*.
- Norton, G. W., Alwang, J., & Masters, W. A. (2019). *Economics of Agricultural Development*. Routledge.
- Oerce (Oerke), E.C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43.
- Parsa, S., Morse, S., Bonifacio, A., Chancellor, T.C.B., Condori, B., Crespo-Perez, V., ... & Dangles, O. (2014). Obstacles to integrated pest management adoption in developing countries. *PNAS*, 111(10), 3889–3894.
- Pedigo, L. P., Hutchins, S. H., & Higley, L. G. (1986). Economic injury levels in theory and practice. *Annual Review of Entomology*, 31, 341–368.
- Pimentel, D. (2009). Environmental and economic costs of the application of pesticides. *Environment, Development and Sustainability*, 7, 229–252.
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, 447–465.
- Pretty, J., & Waibel, H. (2005). Paying the price: The full cost of pesticides. In *The Pesticide Detox* (pp. 39–54). Earthscan.
- Reed, W. (2001). Mechanical and physical controls in pest management. *Encyclopedia of Pest Management*.

- Smith, R. F. (1969). Integrating biological control into pest control systems. *Biological Control of Insect Pests and Weeds*.
- Stern, V. M., Smith, R. F., van den Bosch, R., & Hagen, K. S. (1959). The integrated control concept. *Hilgardia*, 29(2), 81–101.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2010). *Entegre Mücadele Teknik Talimatları*. Ankara.
- van Lenteren, J. C. (2000). Success in biological control of arthropods. In *Biological Control: Measures of Success*. Springer.
- Young, S.L. (2017). A systematic review of the literature reveals trends and gaps in integrated pest management studies conducted in the United States. *Pest Management Science*, 73(8), 1553–1558.

SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF REGENERATIVE AGRICULTURE: AN ASSESSMENT IN TERMS OF FARMER WELFARE, RURAL DEVELOPMENT AND FOOD SOVEREIGNTY

Osman İnanç GÜNEY¹

1. INTRODUCTION

Today, agricultural systems are no longer limited to production-oriented technical processes such as sowing, planting, growing, and harvesting; they are facing a comprehensive transformation process and crisis that have profound, multidimensional impacts on the planet's ecological balance, social justice, and economic sustainability. This crisis involves environmental damage such as soil degradation, water depletion, biodiversity loss, and contributions to climate change. It is also exacerbated by social problems such as farmers' income insecurity, rural poverty, and social inequalities. Furthermore, economic challenges such as rising input costs, global market dependence, and the marginalization of small-scale producers compound the complexity of the agricultural crisis (Loring, 2022; Bless, 2023; Schattman et al., 2023). This deepening agricultural crisis is adversely affecting ecological balance, economic sustainability, social justice, and rural subsistence lifestyles. In particular, the ecological degradation caused by industrial agriculture is increasingly evident in scientific data, bringing to the forefront globally debated negative impacts such as decreased

¹ Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi Adana Meslek Yüksekokulu, ORCID: 0000-0002-8467-2079.

soil fertility, habitat loss, and increased greenhouse gas emissions (Schattman et al., 2023). Today, food systems fail to provide more than a billion people with access to sufficient, healthy, and equitable food, while increasing farmers' indebtedness and undermining rural subsistence livelihoods (Loring, 2022).

The current crisis facing agricultural production systems highlights not only the need for sustainability but also the need to restore ecological balances and strengthen social structures. In this context, regenerative agriculture stands out as a comprehensive transformational approach that prioritizes not only the development of environmentally sustainable production systems but also the promotion of social justice, economic resilience, and cultural continuity (Newton et al., 2020).

Regenerative agriculture encompasses a range of practices that focus on improving soil health, increasing biodiversity, and restoring soil carbon. However, it is not limited to improving ecological processes; it is also considered a social movement aiming to strengthen intercommunal solidarity and rebuild producer-consumer relationships (Seymour & Connelly, 2023). Consequently, regenerative agriculture aims to improve soil health, restore ecosystem functions, and ensure the environmental and social sustainability of agricultural production. This approach offers a holistic production model based on principles such as reduced use of external inputs, increased biodiversity, and activation of local knowledge systems (Newton et al., 2020; Voisin et al., 2024; Loring, 2022; Schreefel et al., 2022).

In practice, regenerative agriculture includes practices such as cover cropping, no-till production, promotion of organic matter cycling, increased perennial plant diversity, and integrated animal grazing (Voisin et al., 2024). However, these practices should not be evaluated solely on ecological indicators. The social impacts of regenerative systems, such as reducing rural

migration, promoting gender equality, and strengthening the market presence of smallholder farmers, are at least as critical as their environmental benefits. Indeed, research demonstrates that regenerative agriculture has the potential to provide economic stability and increase production security, particularly for smallholder farmers (Alexanderson et al., 2024; Otara et al., 2023). However, significant structural barriers remain to the widespread adoption of these practices. Factors such as lack of political support, market uncertainties, inequality in access to information, and cultural resistance make it difficult to disseminate regenerative agriculture to the public (Schreefel et al., 2022).

Globally, agricultural production systems are responsible for approximately 25% of greenhouse gas emissions and one-third of terrestrial biodiversity loss (Schreefel et al., 2022). Conventional agricultural practices, such as intensive tillage, long-term monocultures, excessive water use, and reliance on synthetic inputs, are both driving climate change and severely weakening ecosystem services (Voisin et al., 2024). In this context, regenerative agriculture goes beyond traditional sustainability approaches, offering a holistic production approach that aims not only to reduce environmental impacts but also to repair degraded ecosystems, rebalance the carbon cycle, and renew natural resources (Newton et al., 2020; Alexanderson et al., 2024).

Recent research has shown that regenerative practices can increase soil organic carbon by up to 15%, improve water-retention capacity, and enhance biodiversity (Schreefel et al., 2022; Voisin et al., 2024). These effects increase the capacity of agricultural ecosystems to adapt to climate change and strengthen their resilience to extreme climate events (Alexanderson et al., 2024). However, regenerative agriculture is not limited to environmental benefits alone; it also plays a critical role in food

security, economic resilience, and social equity. By reducing reliance on external inputs and activating local knowledge systems, income stability among smallholder farmers and food access in rural communities improve significantly (Otara et al., 2023; Seymour & Connelly, 2022).

The global expansion of regenerative agriculture is still limited due to structural barriers at various levels. Lack of political support, inequitable access to information, market uncertainty, and cultural resistance are major factors hindering the widespread adoption of this approach (Dudek & Rosa, 2023; Klauser, 2025). Therefore, to make regenerative agriculture an effective climate-adaptation and food-security strategy, it is critical to redesign agricultural policies, strengthen regional knowledge networks, and ensure integration into global carbon markets.

Examining the socio-economic dimensions of regenerative agriculture allows us to demonstrate whether this approach offers an inclusive transformation model based on principles such as social justice, resilience, and the common good, and whether it extends beyond environmental and technical applications. This section will discuss the impacts of regenerative agriculture on farmer welfare, rural development, social inclusiveness, food sovereignty, and producer-consumer relations within the framework of current academic literature. This will provide a more holistic assessment of its contributions, from local livelihood sustainability to the creation of equitable and resilient food systems globally.

2. FARMER WELFARE AND LIVELIHOODS

Regenerative agriculture has the potential to strengthen the economic resilience of farmers, particularly for small and medium-sized enterprises. This production model contributes to

the diversification of livelihoods by reducing input costs, improving access to local markets, and creating new income models such as carbon markets, local food systems, and value-added products (Voisin et al., 2024; Dudek & Rosa, 2023).

Comparative studies in the UK and US show that regenerative systems offer lower input costs and higher net profits than conventional systems. For example, in the US, regenerative maize farms have been reported to achieve 70% higher net profits than conventional systems; this difference is attributed to lower fertilizer and pesticide use and to diversified production models (Voisin et al., 2024). Similarly, field studies conducted in Poland, the Czech Republic, and Slovakia found that large farms where regenerative practices were widespread achieved higher economic efficiency and incurred lower energy, labor, and chemical input costs (Dudek & Rosa, 2023). These farms are not only economically strong but also readily adaptable to regenerative systems owing to their investments in production technologies and local knowledge.

However, the impact of regenerative agriculture practices is not limited to economic indicators. Research shows that this approach also strengthens farmers' subjective well-being. According to research by Hargreaves-Méndez and Hötzel (2023), most regenerative farmers identify satisfaction with their production, connections with nature, and strengthened relationships with their communities as key components of their well-being. This demonstrates that regenerative agriculture improves not only economic dimensions but also psychosocial dimensions.

Field studies conducted in Australia offer similar results. Farmers who switch to regenerative practices report that the burnout, hopelessness, and economic pressure they experienced in their previous production systems have significantly decreased,

while the personal satisfaction associated with production processes that are more compatible with nature has increased (Gosnell et al., 2019). Similarly, Alexanderson et al.'s (2024) study reveals that regenerative practices strengthen the capacity to adapt to climate change; in particular, the increase in soil organic carbon plays a decisive role in farmers' long-term production security. Field research conducted in Kenya by Otara et al. (2023) suggests that regenerative practices have the potential to increase income diversification and enhance production security for farmers. However, the study also highlights farmers' hesitation to adopt these practices due to factors such as a lack of knowledge, high initial costs, and labor requirements.

3. SOCIAL TRANSFORMATION AND RESILIENCE IN RURAL SOCIETIES

The potential of regenerative agriculture is not limited to ecological indicators such as soil, water, and biodiversity; it also has the power to rebuild the social structure, collective resilience, and cultural continuity of rural communities. In this context, regenerative agriculture represents not only a production technique but also a broader approach that is seen as the restoration of land-related ways of life (Gordon et al., 2022).

Social resilience refers to the capacity not only of individuals but also of entire rural communities to adapt to environmental, economic, and social stresses and to emerge stronger from them. Regenerative agriculture contributes to this process by increasing farmers' self-sufficiency at the individual level and reestablishing shared learning, co-production, and mutual aid at the community level (Gosnell et al., 2019; Massy, 2018).

In particular, field studies conducted in Australia and New Zealand have shown that regenerative agriculture practitioners see the production process not only as an economic activity but also as a practice of “community building” and “reconnecting with nature” (Seymour & Connelly, 2023). These farmers define regenerative agriculture not only as an agricultural transformation but also as a personal and social one. Individuals who reconnect with the land are reported to create collective structures to which they feel a sense of belonging, and these structures, in turn, increase resilience.

However, the adoption of regenerative practices does not always garner community support. Research in Australia has reported that some farmers were excluded from their local producer communities after adopting regenerative practices, resulting in weakened social relationships (Alexanderson et al., 2024). This demonstrates the need for social support for agricultural transformation, indicating that community-level acceptance, not just individual efforts, is crucial.

Community-supported agriculture (CSA), cooperatives, producer associations, and knowledge-sharing networks are social structures that facilitate the integration of regenerative agriculture with rural development. Through such structures, producers are empowered not only economically but also socially. Shared learning, social solidarity, and collective awareness magnify the social impacts of regenerative agriculture (Gordon et al., 2023; Gosnell et al., 2020).

Moreover, some studies emphasize that farmers develop regenerative practices through community-based knowledge systems, with "indigenous knowledge" and "experiential learning" playing a central role in this process. This suggests that regenerative agriculture should be based not only on technical knowledge but also on cultural and social knowledge (Soloviev

& Landua, 2016). In short, the social impacts of regenerative agriculture on rural communities are multifaceted. They encompass a wide spectrum, from individual transformation to collective organization, from resilience to the rebuilding of social bonds. However, for this transformation to be sustainable, social policymakers, rural organizations, and local governments must play a supportive role.

4. FOOD SOVEREIGNTY AND CONSUMER AWARENESS

Regenerative agriculture is not just a mode of production; it is also an approach that promises a radical transformation in producer-consumer relationships. In this context, food sovereignty—people's right to access and produce healthy, culturally appropriate, and environmentally sustainable food—stands out as a fundamental principle of regenerative agriculture (Bless, 2023). Such food sovereignty offers a holistic framework encompassing not only food security but also production processes, local knowledge, land rights, and fair trade.

Consumer awareness is an integral part of this process. Factors such as transparency in production, the preference for local and seasonal products, and the observance of ethical values in regenerative systems directly influence consumer decisions. Especially in the post-pandemic period, consumption models that focus directly on the producer (e.g., Community Supported Agriculture (CSA)) have accelerated the expansion of regenerative production (Loring, 2022). These developments represent a new level of awareness in which consumers evaluate not only the quality of the product but also the social and ecological impacts of the production process.

The impact of regenerative agriculture on consumer behavior is not limited to choice. This system also has the

potential to restore economic justice by disintermediating the relationship between consumers and producers. Through direct sales, producer markets, and digital food networks, farmers increase their incomes, while consumers have access to healthier and more traceable products (Rhodes, 2017; Dudek & Rosa, 2023). Despite these positive developments, one of the main obstacles to the widespread adoption of regenerative products is the uncertainty surrounding their standardization and labeling. Because there is currently no globally recognized "regenerative agriculture certification," consumers may have difficulty verifying whether products are regenerative (Loring, 2022; Bless, 2023).

Ultimately, not only producer motivations but also consumer awareness, accessibility, and ethical values play a decisive role in the widespread adoption of regenerative agriculture. Therefore, regenerative food systems constitute a holistic framework that requires transformation of both supply and demand. True food sovereignty requires a transformation not only of the mode of production but also of the meaning attributed to food.

5. CONCLUSION AND POLICY RECOMMENDATIONS

Regenerative agriculture is considered not only an ecological restoration model but also a powerful framework for social transformation, rural development, and the restoration of justice in food systems. With its multifaceted impacts, such as improving farmer welfare, strengthening rural communities, establishing direct relationships between producers and consumers, and supporting cultural sustainability, regenerative agriculture offers a holistic alternative to current agricultural production systems (Loring, 2022; Bless, 2025). However,

realizing this potential requires multi-layered and comprehensive policies that go beyond individual efforts.

In this regard, cooperative structures, learning networks, and regional information centers should be established to encourage the sharing experiences among farmers, given that regenerative agriculture relies on local knowledge systems (Soloviev & Landua, 2016). Furthermore, to mitigate economic risks during the transition period, microcredit systems accessible to small producers, income-generation opportunities through carbon certificates, and public funds to support the transition should be established (Dudek & Rosa, 2023). Furthermore, a low-cost, accessible, and reliable certification system is needed to enable consumers to distinguish products derived from regenerative production. Such a system would not only increase transparency in the market but also strengthen consumer confidence (Voisin et al., 2024).

To increase social inclusion, special support mechanisms should be developed for women, youth, and indigenous peoples, and the effective participation of these groups in decision-making processes should be ensured (Hargreaves-Méndez & Hötzel, 2023). Meanwhile, educational programs, public service announcements, and community-based initiatives supporting local food chains should be encouraged to raise consumer awareness. This can help build public awareness of food based on food sovereignty, local knowledge, and a production approach in harmony with nature (Loring, 2022).

Ultimately, regenerative agriculture offers not only an approach that improves environmental outcomes but also a holistic transformation model that reshapes social justice, economic resilience, and cultural continuity. However, the success of this model is not limited to changes in agricultural practices; it also necessitates fundamental transformations in

political, economic, and social structures. Therefore, true success in societies that adopt regenerative agriculture will require not only the transformation of farmers but also the active participation of policymakers, researchers, and consumers.

REFERENCES

- Alexanderson, M. S., Luke, H., & Lloyd, D. J. (2024). Regenerative agriculture in Australia: The changing face of farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1402849. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1402849>
- Bless, A., Davila, F., & Plant, R. (2023). A genealogy of sustainable agriculture narratives: Implications for the transformative potential of regenerative agriculture. *Agriculture and Human Values*, 40, 1379–1397. <https://doi.org/10.1007/s10460-023-10444-4>
- Bless, A., Davila, F., & Plant, R. (2025). Commodification and co-benefits: Neoliberalism and the growth of regenerative agriculture in Australia. *Journal of Rural Studies*, 118, 103692. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2025.103692>
- Dudek, M., & Rosa, A. (2023). Regenerative agriculture as a sustainable system of food production: Concepts, conditions, perceptions and initial implementations in Poland, Czechia and Slovakia. *Sustainability*, 15, 15721. <https://doi.org/10.3390/su152215721>
- Gordon, E., Davila, F., & Riedy, C. (2022). Transforming landscapes and mindscapes through regenerative agriculture. *Agriculture and Human Values*, 39, 809–826. <https://doi.org/10.1007/s10460-021-10276-0>
- Gosnell, H., Gill, N., & Voyer, M. (2019). Transformational adaptation on the farm: Processes of change and persistence in transitions to “climate-smart” regenerative agriculture. *Global Environmental Change*, 59, 101965.
- Hargreaves-Méndez, M. J., & Hötzel, M. J. (2023). A systematic review on whether regenerative agriculture improves animal welfare: A qualitative analysis with a One Welfare

- perspective. *Animal Welfare*, 32, e36 (pp. 1–12).
<https://doi.org/10.1017/awf.2023.28>
- Klauser, D., de Candido, J., Clark, A., Leclerc, Y., Drabaek, I., Henry, M., Lockwood, S., Thomson, R., Lawrence, J., Henry, M., Chapot, P., Urbano, L., Cooper, R., & Forster, D. (2025). Giving regenerative agriculture an agronomic perspective: A proposed framework from the food and beverage industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1576611. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1576611>
- Loring, P. A. (2022). Regenerative food systems and the conservation of change. *Agriculture and Human Values*, 39(4), 701–713. <https://doi.org/10.1007/s10460-021-10282-2>
- Massy, C. (2018). *Call of the reed warbler: A new agriculture, a new earth*. Chelsea Green Publishing.
- Newton, P., Civita, N., Frankel-Goldwater, L., Bartel, K., & Johns, C. (2020). What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 577723. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.577723>
- Otara, E. N., Mogaka, H. R., Ndirangu, S. N., & Mugwe, J. N. (2023). Socioeconomic factors influencing uptake of regenerative agriculture technologies in the dry-lands of Embu County, Kenya. *Journal of Agricultural Extension*, 27(1), 1–12. <https://doi.org/10.4314/jae.v27i1.1>
- Rhodes, C. J. (2017). The imperative for regenerative agriculture. *Science Progress*, 100(1), 80–129. <https://doi.org/10.3184/003685017X14876775256165>
- Schattman, R. E., Rowland, D. L., & Kelemen, S. C. (2023). Sustainable and regenerative agriculture: Tools to address

- food insecurity and climate change. *Journal of Soil and Water Conservation*, 78(2), 33A–38A.
<https://doi.org/10.2489/jswc.2023.1202A>
- Schreefel, L., de Boer, I. J. M., Timler, C. J., Groot, J. C. J., Zwetsloot, M. J., Creamer, R. E., Pas Schrijver, A., van Zanten, H. H. E., & Schulte, R. P. O. (2022). How to make regenerative practices work on the farm: A modelling framework. *Agricultural Systems*, 198, 103371.
<https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103371>
- Seymour, M., & Connelly, S. (2023). Regenerative agriculture and a more-than-human ethic of care: A relational approach to understanding transformation. *Agriculture and Human Values*, 40, 231–244.
<https://doi.org/10.1007/s10460-022-10350-1>
- Soloviev, E. R., & Landua, G. (2016). Levels of regenerative agriculture. Terra Genesis International.
- Voisin, R., Horwitz, P., Godrich, S., Sambell, R., Cullerton, K., & Devine, A. (2024). What goes in and what comes out: A scoping review of regenerative agricultural practices. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 48(1), 124–158. <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2270441>

ARONYA MEYVESİNDE POLİFONOL OKSİDAZ ENZİMİ

Dudu DEMİR¹

1. GİRİŞ

Aronya, Rosaceae familyası içinde yer alan ve *Aronia* cinsine ait bir bitkidir. Bu cins içerisinde üç temel tür bulunmaktadır: mor meyveli *Aronia prunifolia* (Marsh.), siyah meyveli *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott ve kırmızı meyveli *Aronia arbutifolia* (L.) Elliott. İngilizcede “chokeberry” olarak adlandırılan aronya, meyve rengine göre farklı türler altında sınıflandırılmaktadır (Hardin, 1973; Kulling ve Rawel, 2008; Baltacı, 2023; Eskimez ve Polat, 2023).

Aronia melanocarpa’nın anavatanı, Kuzey Amerika’nın doğu bölgeleridir (Kulling ve Rawel, 2008; Borowska ve Brzóska, 2016). Bitki, genellikle 1,2–2,4 m arasında değişen bir boya sahiptir ve yaprak ile gövde yüzeyinde ya hiç tüy bulunmaz ya da çok az miktarda tüylenme görülür. Vejetasyon dönemi boyunca koyu yeşil renkte olan yapraklar, sonbahar aylarında turuncu, kırmızı ve sarı tonlarına dönüşerek belirgin bir renklenme göstermektedir. Çiçekleri beyaz renkte olup çoğunlukla Mayıs ayında açmaktadır. Meyveler 0,8–1,3 cm çapında, yuvarlak formda ve koyu renklidir. Olgunlaşma süreci yaz sonuna doğru tamamlanmakta ve meyveler genellikle ağustos ayının sonlarında hasat olgunluğuna ulaşmaktadır. Hasat edilmediği ve yeterli sulama sağlanmadığı durumlarda,

¹ Prof. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, ORCID: 0000-0001-7710-384X.

meyvelerin dal üzerinde buruşarak kurumaya başladığı bildirilmektedir (Brand, 2010; Berlin ve Zuzek, 2017).

Aronia arbutifolia, genellikle 1,8–3,0 m arasında değişen boya ulaşabilen ve dik gelişme gösteren bir çalı formundadır. Yaprakları ters yumurta biçiminde olup, alt yüzeyi gri tonlarda ve belirgin şekilde tüylü, üst yüzeyi ise parlak yeşil renktedir. Vejetasyon dönemi sonunda yapraklar karakteristik olarak kırmızı renge dönüşmektedir. Bitki, yaklaşık 3,5–4,0 cm çapında, salkım yapısında ve beyaz renkli çiçekler oluşturmaktadır. Çiçeklenme dönemi çoğunlukla Mayıs ayına rastlamaktadır. Kırmızı renkli meyveler yaz sonuna doğru gelişimini tamamlamakta ve eylül ayının sonlarına doğru olgunlaşma sürecine girmektedir (Brand, 2010).

Aronia prunifolia'nın, kırmızı meyveli (*A. arbutifolia*) ile siyah meyveli (*A. melanocarpa*) türler arasında doğal bir melez form olduğu kabul edilmektedir. Bu türün meyveleri mor ile siyah arasında değişen koyu tonlara sahiptir. Bitkinin gövde ve yaprak yüzeyindeki tüylenme düzeyi ise, kırmızı ve siyah meyveli türlere kıyasla ara özellikler göstermektedir. Bu yönüyle *A. prunifolia*, morfolojik özellikleri bakımından her iki türün karakteristik özelliklerini kısmen yansıtan bir yapı sergilemektedir (Brand, 2010).

Avrupa'da en yaygın aronya çeşitleri arasında 'Aron' (Danimarka), 'Rubin' (Rusya), 'Nero' (Çek Cumhuriyeti), 'Fertödi' (Macaristan), 'Kurkumachki', 'Viking' (Finlandiya), 'Hugin' (İsveç), 'Albigowa', 'Ahonnen', 'Autum Magic', 'Dabrowice', 'Egerta', 'Kutno', 'Nova' 'Wies', 'Hakkija', 'Serina', 'McKenzie', 'Morton', 'Galicjanka' (Polonya), 'Nero', 'Viking' (Türkiye) yer almaktadır (Šnebergrová vd., 2014; Baltacı, 2023).

Yüksek antioksidan içeriği ve kanserli hücreleri yok etme potansiyeline sahip olduğundan dolayı aronyaya 'süper meyve'

de denilmektedir. Aronya antioksidan, mineral, vitamin ve fenoller (fenolik asitler, flavonoidler ve flavanoller, proantosiyandinler, antosiyantinler) açısından oldukça zengindir (Jurikova vd., 2017; Watrelot ve Bouska, 2022; Melek, 2023). Özellikle, antosiyantinler, flavonoidler ve proantosiyandinler gibi biyoaktif fenolik bileşiklerin önemli bir kaynağıdır (Kulling ve Rawel, 2008). Fenolik bileşiklerin içinde ise özellikle siyanidin türevleri şeklindeki antosiyantinler dikkat çekmektedir (Jurikova vd., 2017).

Polifenolik bileşiklerin ötesinde, aronya meyvelerinin C ve E vitaminleri başta olmak üzere B12 ve D vitamini hariç tüm vitaminleri içerdiği; potasyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum, demir ve çinko gibi mineral elementlerin yanı sıra karotenoidler, pektinler ile tartarik, malik ve sitrik gibi organik asitler ve klorojenik asit ile folik asit, ayrıca daha küçük miktarlarda bulunan karbonhidratlar bakımından da zengin olduğu bildirilmektedir (Borowska ve Brzóška, 2016; Jurikova vd., 2017; Deng vd., 2021; Zhao vd., 2021; Christiansen vd., 2022; Melek, 2023). Bu biyoaktif bileşiklerin zenginliği sayesinde aronya türleri, meyveler arasında besinsel ve fonksiyonel açıdan üst sıralarda yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda aronyanın antiaterosklerotik, hipotansif ve antiplatelet etkiler sergilediği (Borowska ve Brzóška, 2016) ve özellikle kalp ile kardiyovasküler sistem sağlığı üzerinde olumlu sonuçlar ortaya koyduğu bildirilmiştir (Kulling ve Rawel, 2008; Broncel vd., 2010; Sosnowska vd., 2016). Bunun yanı sıra, aronya meyvelerinin içerdiği biyoaktif bileşenler sayesinde kronik hastalıkların önlenmesi ve yönetimiyle ilişkili geniş bir etki alanına sahip olduğu ve bu yönüyle fonksiyonel gıda olarak önemli bir potansiyel taşıdığı vurgulanmaktadır (Jurikova vd., 2017).

Aronya meyveleri hem *in vitro* hem de *in vivo* olarak gastroprotektif (mide ülseri), hepatoprotektif, antiproliferatif

aktiviteler (örneğin kolon kanseri), diyabetin önlenmesi ve tedavisi gibi diğer biyolojik, sağlığı destekleyici etkiler de sergilediği bildirilmiş (Kowalczyk vd., 2004; Valcheva-Kuzmanova vd., 2005; Valcheva-Kuzmanova ve Belcheva, 2006; Jurgoński vd., 2008; Ciocoiu vd., 2013) ve özellikle yüksek fenolik içerikleriyle ilişkili antioksidan özellikleri nedeniyle de çok sayıda klinik araştırmada da incelenmiştir (McGhie ve Walton, 2007; Rodriguez-Mateos vd., 2014; Lee vd., 2014; Bolling vd., 2015; Tolić vd., 2017; Jurikova vd., 2017).

Bu bulgulara ek olarak, aronya meyvelerinin farklı farmakolojik etki mekanizmaları üzerinden geniş bir terapötik potansiyele sahip olduğu çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir. Aronya, anti-diyabetik, anti-enfektif, anti-obezite ve antioksidan etkilerin yanı sıra kalp, karaciğer ve sinir sistemini koruyucu özelliklere de sahiptir. Bu meyvenin tüketimi, kronik hastalık riskini azaltarak genel sağlığı iyileştirebilir (Ren vd., 2022; Öztürk, 2025). Aronya meyvelerinin potansiyel anti-grip özellikleri de bildirilmiştir (Gramza-Michałowska vd., 2017; Öztürk, 2025).

Bunlara ek olarak, bağışıklık sistemini ve metabolizmayı güçlendirici etkisi de bulunmaktadır. Ayrıca, soğuk algınlığı, mide rahatsızlıkları, karaciğer, bağırsak hastalıkları ve radyasyon zehirlenmesi tedavisinde de kullanılmaktadır (Deng vd., 2021; Melek, 2023). Ayrıca, bitkinin ana biyoaktif bileşikleri olan ursolik asit ve kuersetin, anti-COVID-19 aktivitesi göstermiş ve terapötik potansiyelleri klinik çalışmalarda kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Al-Kuraishy vd., 2022; Öztürk, 2025). Aronya meyvesinin hem gıda sanayinde hem de eczacılıkta kullanılarak gelecek vadede bir sağlık meyvesi olduğu söylenmektedir. Aronya meyvesi, çay, meyve suyu, reçel, sos, şurup gibi değişik şekillerde tüketilmektedir. Ayrıca, doğal gıda renklendirici ve besin takviyesi olarak da kullanılmaktadır (Efenberger-Szmechtyk vd., 2021; Melek, 2023).

Yüksek antioksidan özellikleriyle bilinen aronya meyveleri, gıda, endüstriyel ve sağlık sektörlerinde geniş kullanım alanları bulmaları nedeniyle son yıllarda giderek artan bir ilgi görmektedir. Hasat sonrası orta düzeyde dayanıklılık sergilemelerine karşın, meyvelerin yüksek nem içeriği, hassas kabuk yapısı ve hızlı olgunlaşma süreci raf ömürlerinin nispeten kısa olmasına neden olmaktadır. Buna ek olarak, aronya meyveleri işleme süreçlerine veya mekanik hasara (örneğin meyve suyu, püre ya da ekstrakt üretimi sırasında) maruz kaldıklarında, özellikle artan polifenol oksidaz (PPO) aktivitesine bağlı olarak enzimatik esmerleşmeye oldukça duyarlıdır (Wilkes vd., 2014; Öztürk, 2025). Enzimatik esmerleşme, aronya da dahil olmak üzere birçok meyvenin raf ömrünü, lezzetini, görünümünü ve besin değerini azalttığı için bilinen ve önemli bir sorundur. Bu nedenle, esmerleşmeye neden olan PPO enziminin karakterize edilmesi önemlidir (Demir vd., 2023a; Öztürk, 2025).

Enzimatik esmerleşme, gıdalarda doğal olarak bulunan polifenol oksidaz enziminin katalitik etkisiyle meydana gelen bir reaksiyondur. Bu olay özellikle meyve ve sebzelerde hasat, taşıma, depolama ve işleme aşamalarında ortaya çıkar ve ürünün renk, tat, aroma gibi duyuşal özellikleri ile besin değerinde olumsuz değişimlere neden olur. Soyma, kesme, dilimleme, doğrama ve rendeleme gibi mekanik işlemler ile depolama sırasında oluşan ani sıcaklık değişimleri, bitkisel dokularda hücresel bütünlüğün bozulmasına yol açar. Doku hasarı sonrası fenolik bileşikler ve PPO enzimi oksijenle temas eder; bu etkileşim sonucunda fenolik bileşikler kinonlara oksitlenir ve kinonların ardışık reaksiyonlar ile polimerizasyonu, melanin olarak adlandırılan kahverengi pigmentlerin oluşumuna neden olur (Moon vd., 2020). Enzimatik esmerleşme, fenolik endojen bileşiklerin kararsız kinonlara oksidasyonu ve bu kinonların siyah, kahverengi ve kırmızı pigmentlere polimerizasyonu ile ilişkilidir (Demir vd., 2012). Bu süreçte temel rolü üstlenen PPO,

doğada yaygın olarak bulunan bir enzim olup yalnızca bitkilerde esmerleşmeden değil, hayvanlarda melanizasyon sürecinden de sorumludur (Doğan ve Salman, 2007; Nixha vd., 2019).

Enzimatik esmerleşme reaksiyonları, hasat, hasat sonrası işleme ve depolama sırasında ve gıda endüstrisinde sebze, bitki ve meyvelerin işlenmesi sırasında kalite kaybının başlıca nedenleridir. Enzimatik esmerleşme, gıdanın görünümünü, organoleptik özelliklerini ve duyuşal çekiciliğini bozar; bu nedenle, gıda muhafazası için PPO inaktivasyonu tercih edilir. Enzimatik esmerleşme, aynı zamanda hem işleyiciler hem de tüketiciler için ekonomik bir sorundur (Demir vd., 2012). Bu nedenle, gıda teknolojisinde istenmeyen bir süreç olan enzimatik esmerleşmenin engellenmesi gerekir (Yerlitürk vd., 2008; Demir vd., 2023b). Ancak kakao, kahve ve siyah çay işleme gibi bazı diğer süreçlerde, enzimatik esmerleşme, lezzetli ürünler üreterek içeceklerin kalitesini artırdığı için bir dereceye kadar faydalıdır (Yoruk ve Marshall, 2003). Enzimatik esmerleşmenin hızı ve düzeyi polifenol oksidaz enzimlerinin aktivitesi tarafından belirlenmekte olup, enzimatik esmerleşme düzeyleri ayrıca fenolik bileşiklerin sayısı ve yapısı, oksijen, metal iyonları, indirgeyici ajanlar, sıcaklık ve pH aralığına bağlıdır (Yerlitürk vd., 2008; Demir vd., 2013b, Moon vd., 2020).

Polifenol oksidaz enzimleri, bakır içeren metaloproteinler grubuna ait enzimlerdir ve funguslar, bakteriler, hayvanlar ve bitkiler dahil olmak üzere neredeyse tüm canlı organizmalarda bulunurlar (Yerlitürk vd., 2008; Demir vd., 2013b). Bu genel dağılımlarının yanı sıra, özellikle bitki polifenol oksidazlarının enzimatik esmerleşme süreçlerinde, organizmaların biyotik ve abiyotik strese karşı savunmasında, bitkilerin patojen ve zararlılara karşı korunmasında, büyüme ve gelişme ile ilişkili fizyolojik işlevlerde ve ayrıca gıda endüstrisinde önemli roller üstlendiği belirtilmiştir (Mayer ve Harel, 1979; Mayer, 2006; Sahbaz vd., 2009; Demir vd., 2013b).

Polifenol oksidaz enzimleri, substrat özgülükleri ve katalitik etki mekanizmalarındaki farklılıklara bağlı olarak üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Bunlar; *orto*-difenollerini oksitleyen katekolaz (EC 1.10.3.1), geniş bir fenolik bileşik grubuna etki edebilen lakkaz (EC 1.10.3.2) ve hem monofenollerin hidroksilasyonunu hem de *orto*-difenollerin oksidasyonunu katalizleyen tirozinaz (EC 1.14.18.1) enzimleridir (Demir vd., 2021). Bakır içeren oksidoredüktaz enzimi olan polifenol oksidaz, monofenollerin *o*-hidroksilasyonunu *o*-difenollere katalizler ve ayrıca *o*-dihidroksi fenollerin *o*-kinonlara ilave katalitik oksidasyonunu da sergiler (Nixha vd., 2013).

Polifenol oksidaz enzimleri; besinsel, çevresel, biyomedikal ve farmasötik uygulamalarda, örneğin kişisel bakım, kağıt, kozmetik, gıda, tekstil, atık su arıtımı, biyolojik sıvıların analizleri, biyoyakıt hücrelerinin üretimi ve pestisit kalıntılarının tespiti için kullanılan biyosensörler gibi alanlarda tercih edilmektedir (Yıldız vd., 2022). Ayrıca, PPO sağlık ve tıp dahil olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Alzheimer ve Parkinson hastalıklarını tedavi etmek için yeni ilaçlar üretme çabalarının odak noktasıdır. Yenilebilir funguslardan ekstrakte edilen polifenol oksidaz enzimi kullanılarak antikanser potansiyele sahip yeni bir biyolojik ajan geliştirilmiştir. Söz konusu polifenol oksidaz enziminin, yumurtalık, akciğer, meme ve prostat kanseri hücre hatlarına karşı belirgin antikanser etki gösterdiği rapor edilmiştir (Yuan vd., 2022).

Bu genel bilgiler ışığında, aronya meyvesinde bulunan polifenol oksidaz enziminin aktivitesi ve teknolojik önemi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar da araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Bununla birlikte, polifenol oksidaz enzimi pek çok bitkisel ve farklı kaynaktan elde edilerek kapsamlı biçimde incelenmiş olmasına rağmen (Arslan vd., 2004; Yerlitürk vd., 2008; Doğan vd., 2011; Mishra vd., 2012; Doğan vd., 2013;

Ozlem, 2016; Doğan vd., 2016; Gul Guven vd., 2017; Dogan vd., 2018; Yıldız vd., 2022; Sarsenova vd., 2023) aronya meyvesine özgü polifenol oksidaz enziminin özellikleri, aktivitesi ve teknolojik etkileri sınırlı sayıda çalışma ile ele alınmıştır. Bu durum, aronya meyvesindeki PPO enzimine yönelik ayrıntılı araştırmaların bilimsel ve teknolojik açıdan önemini daha da artırmaktadır.

2. ARONYA MEYVESİNDE POLİFENOL OKSİDAZ ENZİMİ ÇALIŞMALARI

Yüksek basınçlı işleme yönteminin, aronya meyvesi püresinin raf ömrü üzerindeki etkileri ticari ölçekte uygulanabilir bir modelde değerlendirilmiştir. Yüksek basınçlı işleme yönteminin mikrobiyolojik (aerobik mezofilik bakteri sayımı, maya ve küfler), fizikokimyasal (renk, Brix, pH, toplam çözünür katı madde, titre edilebilir asitlik, polifenol oksidaz ve peroksidaz (POD) aktiviteleri) ve besinsel (toplam fenolik madde içeriği, fenolik profil, antioksidan aktivite) özellikler üzerindeki etkileri, geleneksel ısıl işlem ile karşılaştırılarak 20 haftalık depolama boyunca kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Geleneksel ısıl işlem ve yüksek basınçlı işlemenin PPO üzerindeki etkilerinin, POD'a kıyasla farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Her iki işlem sonrasında aronya meyve püresinde PPO kalan enzim aktivitesinin anlamlı düzeyde azaldığı (%100,17 $\pm$ 0,90'dan sırasıyla %76,47 $\pm$ 2,61 ve %74,86 $\pm$ 4,13) saptanmıştır. Bu sonuçlar, PPO enziminin hem ısıya hem de basınca duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. İşlem uygulanmış örneklerde PPO kalan enzim aktivitesi, ilk 12 hafta boyunca kademeli olarak azalmış, daha sonra çalışma süresinin sonuna kadar %50–60 seviyelerinde sabit kalmıştır. POD'da gözlenen eğilime benzer şekilde, işlem görmemiş aronya meyve püresinde PPO kalan enzim aktivitesi ilk 6 haftada hızlı bir düşüş göstermiş, izleyen

dönemde ise artış eğilimi sergilemiştir. Bu değişimin, toplam çözünür katı madde içeriğindeki artışla paralellik gösterdiği ve örneklerdeki mikrobiyal gelişimle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu durum, mikrobiyal faaliyetlerin PPO kalan enzim aktivitesi üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, yüksek basınçlı işleme ve geleneksel ısıl işlem yöntemlerinin soğukta depolama koşullarında pürenin raf ömrünü 16 haftaya kadar uzatmada eşit derecede etkili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, yüksek basınçlı işleme yönteminin, geleneksel ısıl işleme kıyasla ürün rengini daha iyi koruduğu, daha yüksek fenolik bileşik miktarı ile antioksidan aktivite sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca yüksek basınçlı işlemenin POD aktivitesinde daha az kayba yol açtığı, buna karşılık PPO aktivitesini geleneksel ısıl işleme göre daha fazla azalttığı görülmüştür. Sonuç olarak, aronya püresinin güvenliği ve kalite özelliklerinin korunması açısından yüksek basınçlı işleme yönteminin, geleneksel ısıl işleme göre daha üstün bir alternatif olduğu değerlendirilmiştir. Bu çalışma, ticari ölçekte uygulanabilir yüksek basınçlı işleme teknolojisinin kullanıldığı aronya bazlı püre ürünlerinin geliştirilmesine yönelik önemli bilimsel veriler sunmaktadır (Yi vd., 2021).

Soğutulmuş ve dondurulmuş depolamanın (4 ± 2 °C ve -20 ± 2 °C’de depolamanın) aronya meyvelerinin bileşimi üzerindeki etkileri, sıcaklık döngülerinin meyvelerin polifenol içeriği, toplam çözünebilir katı madde miktarı, pH, titre edilebilir asitlik, polifenol oksidaz aktivitesi, şeker içeriği, asit içeriği, renk ve hücre yapısının nasıl etkilediği ayrıntılı olarak incelenmiştir. Taze aronya meyvelerinin 4 ± 2 °C’de depolanması sırasında, PPO aktivitesi 2. haftada %49 artmış, ardından 4. haftada azalmış, sonraki 4 hafta boyunca sabit kalmış ve 10. haftada yeniden %65 artış göstermiştir. On iki haftalık depolama boyunca yapılan görsel incelemelerde belirgin bir renk veya fiziksel değişiklik gözlenmemiştir. Aktivitedeki artışın, soğutma nedeniyle

meyvelerde oluşan hasar sonucu PPO aktivitesinin artmasıyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Depolama süresince PPO enzimlerinin polifenol konsantrasyonlarını anlamlı düzeyde etkilemediği veya onlarla ilişki göstermediği belirlenmiş olsa da diğer enzimlerin polifenollerdeki değişimlere neden olmuş olabileceği ve sonuç olarak depolama boyunca PPO aktivitesinin polifenol kaybıyla anlamlı bir ilişki göstermediği ifade edilmiştir (King vd., 2022).

Siyah aronya meyveleri, ardışık kalsiyum ön işlemi ve ultrason/mikrodalga kurutma uygulanarak dehidre edilmiştir. Polifenollerin metabolik yollarıyla ilişkili kalite parametreleri —serbest/bağlı fenolikler, hücre duvarı pektini, polifenol oksidaz ve peroksidaz aktiviteleri ile viskoelastik özellikler— uygulanan kurutma yöntemleri altında kapsamlı biçimde analiz edilmiştir. PPO serbest fenolik bileşiklerin enzimatik olarak parçalanmasından sorumlu temel enzimlerden biridir. Siyah aronya meyvelerinde kurutma işlemleri sırasında PPO aktiviteleri incelenmiş ve kalsiyum ön işlemi uygulanmayan örneklerde, doğrudan sıcak hava ile kurutma PPO aktivitesini $341.8 \text{ Ug}^{-1}\text{dak}^{-1}$ değerinden $254.9 \text{ Ug}^{-1}\text{dak}^{-1}$ değerine düşürmüştür. Ultrasonla kurutulan örneklerde ise PPO aktivitesi büyük ölçüde korunmuştur (Sıcak hava ile kurutma/Ultrasonla kurutma- 131.5 W için $288.0 \text{ Ug}^{-1}\text{dak}^{-1}$, Sıcak hava ile kurutma/Ultrasonla kurutma- 72.3 W için $358.9 \text{ Ug}^{-1}\text{dak}^{-1}$). Buna karşılık, 200 W mikrodalga kurutma PPO aktivitesini %44,2 oranında azaltmıştır. CaCl_2 ön işleminden sonra, PPO aktivitesi yalnızca ön işlemin hemen ardından %31,4 azalmıştır; bu durum muhtemelen enzimin CaCl_2 çözeltisine salınmasından kaynaklanmaktadır. CaCl_2 ön işleminden sonra uygulanan sıcak hava ve ultrason destekli kurutma PPO aktivitesinde belirgin bir değişikliğe yol açmamıştır. Buna karşın, $\text{CaCl}_2 + \text{Mikrodalga kurutma-}200 \text{ W}$ uygulanan örneklerde PPO aktivitesi $82.42 \text{ Ug}^{-1}\text{dak}^{-1}$ seviyesine düşmüştür. Ayrıca, polifenollerin metabolik yollarının

incelenmesi önemli sonuçlara yol açmıştır. İlk olarak, serbest prosiyanidin B2'nin Ca^{2+} içeren çözeltiye daldırılması, PPO'nun rol aldığı oksidasyon süreçlerini kolaylaştırmıştır. Buna ek olarak hem ultrason hem de mikrodalga kurutma, PPO'nun serbest rutin kararlılığı üzerindeki olumsuz etkisini zayıflatmıştır. İkinci olarak, sıcaklık artışı tüm serbest fenoliklerin miktarını azaltmıştır. Korelasyon analizleri, CaCl_2 ön işleminin serbest prosiyanidin B2'nin PPO tarafından oksidasyonunu güçlendirdiğini göstermiştir. Buna karşılık hem ultrason hem de mikrodalga destekli kurutma uygulamalarının, PPO'nun serbest rutinin kararlılığı üzerindeki olumsuz etkisini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Söz konusu çalışma, meyve kurutma süreçlerine ilişkin fiziksel ve kimyasal mekanizmalara dair yeni yaklaşımlar sunmakta; aynı zamanda hibrit kurutma teknolojilerinin kalite korunumu açısından taşıdığı potansiyel avantajları ortaya koymaktadır (Zhu vd., 2023).

Aronya PPO enzimi üzerine kapsamlı bir çalışma yapılmış ve aronyadan PPO enzimi saflaştırılması, temel biyokimyasal özelliklerini karakterize edilmesi ve karbamat türevlerinin inhibitör aktiviteleri, antioksidan kapasitesi değerlendirilmiştir. PPO enzimi, aronya meyvelerinden tek aşamalı Sepharose-4B-L-tirozin-*p*-aminobenzoik asit afinite kromatografisi kullanılarak saflaştırılmıştır. PPO enzimi, %20,83 verimle ve 51,94 kat saflaştırma derecesiyle başarıyla saflaştırılmıştır. Afinite kolonu kullanılarak saflaştırılan aronya PPO enziminin moleküler ağırlığı SDS-PAGE ile belirlenmiş ve protein boyama sonucunda, aronya meyvelerinden elde edilen PPO için yaklaşık 100 kDa moleküler ağırlığa sahip tek bir baskın protein bandı olduğu tespit edilmiştir (Öztürk, 2025). Meyve ve sebzelerden elde edilen polifenol oksidaz enzimlerinin moleküler ağırlığı 27–144 kDa arasında değiştiği bildirilmektedir (Panadare ve Rathod, 2018); bu bağlamda, aronya meyvesindeki PPO

enziminin moleküler ağırlığı bildirilen aralık içerisinde yer almaktadır.

Aronya meyvesinden elde edilen PPO enziminin kinetik parametreleri incelendiğinde, K_m ve V_{max} değerlerinin sırasıyla katekol substratı için 5,43 mM ve 1428,5 EU/mL, 4-metil katekol için ise 7,5 mM ve 1666,6 EU/mL olduğu bulunmuştur. R–O–CO–NH₂ genel yapısını içeren 1'den 7'ye numaralandırılmış yedi karbamat türevi sentezlenmiş ve bu bileşikler PPO inhibisyon çalışmalarında değerlendirilmiştir. Bu bileşikler arasında 7 numaralı bileşik, R grubunun 1-fenetil olduğu karbamat türevine karşılık gelmektedir. İnhibisyon çalışmalarında, benzil pozisyonunda bir karbamat grubu ve elektron verici bir metil grubu içeren 7 numaralı bileşik, 0,018 μ M K_i değeri ile en güçlü PPO inhibitörü olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 7 numaralı bileşik en güçlü antioksidan aktiviteyi göstermiştir. *In silico* moleküler yerleştirme ve bağlanma enerjisi hesaplamaları da bu bulguları destekleyerek, 7 numaralı bileşik ile anahtar aktif bölge kalıntıları arasında güçlü etkileşimler olduğunu ortaya koymuştur. İndüklenmiş uyum yerleştirme simülasyonları, 7 numaralı bileşiğin yüksek bağlanma afinitesi ve düşük IC_{50} değeriyle tutarlı olarak kararlı hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimler oluşturduğunu göstermiştir. Bu hesaplamalı sonuçlar, deneysel verileri doğrulamakta ve rasyonel olarak tasarlanmış karbamat türevlerinin etkili PPO inhibitörleri olarak potansiyelini vurgulamaktadır (Öztürk, 2025).

3. SONUÇ

Son yıllarda aronya meyveleri yüksek fenolik içeriği, güçlü antioksidan kapasitesi ve çok yönlü biyolojik etkileri nedeniyle hem tarımsal hem de beslenme ve sağlık alanlarında giderek artan bir ilgi odağı hâline gelmiştir. Aronya meyvelerinin antosiyaninler, flavonoidler ve proantosiyanidinler başta olmak

üzere zengin polifenolik profili; kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, inflamasyon, kanser ve enfeksiyonlar gibi çok sayıda kronik hastalıkla ilişkili koruyucu ve destekleyici etkilerle doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte, meyvelerin yüksek nem içeriği, hassas yapısı ve işleme sırasında enzimatik reaksiyonlara duyarlılığı, hasat sonrası kalite kayıplarını ve raf ömrü kısıtlarını beraberinde getirmektedir. Özellikle polifenol oksidaz kaynaklı enzimatik esmerleşme, aronya ürünlerinin duyuusal özelliklerini, besin değerini ve ticari değerini olumsuz etkileyen temel faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Bu bağlamda, PPO enziminin aronya meyvelerindeki davranışının anlaşılması hem gıda teknolojisi hem de biyokimyasal uygulamalar açısından kritik öneme sahiptir. Literatürde yer alan çalışmalar, farklı teknolojik uygulamaların PPO aktivitesi üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu; yüksek basınçlı işleme, kontrollü depolama ve hibrit kurutma yöntemlerinin PPO davranışını ve fenolik bileşiklerin stabilitesini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır.

Öte yandan, aronya PPO'sunun saflaştırılması ve biyokimyasal karakterizasyonuna yönelik sınırlı sayıdaki çalışmalar, bu enzimin yaklaşık 100 kDa moleküler ağırlığa sahip olduğunu, katekol ve 4-metilkatekol gibi substratlara yüksek afinite gösterdiğini ve belirli karbamat türevleri tarafından güçlü biçimde inhibe edilebildiğini ortaya koymuştur. Buna karşın, aronya PPO'sunun özellikleri, inhibitör duyarlılığı ve teknolojik süreçler altındaki davranışı, diğer bitkisel PPO'larla karşılaştırıldığında hâlen yeterince aydınlatılmamıştır. Bu durum, aronya gibi yüksek katma değerli bir meyvede PPO'nun kontrolüne yönelik stratejilerin geliştirilmesi açısından önemli bir araştırma boşluğuna işaret etmektedir. Sonuç olarak, aronya PPO enziminin daha kapsamlı biçimde karakterize edilmesi; enzimatik esmerleşmenin kontrolü, ürün kalitesinin korunması ve PPO'nun potansiyel biyoteknolojik uygulamalarının değerlendirilmesi

açısından gelecekte yapılacak çalışmalar için güçlü bir bilimsel temel sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Al-Kuraishy, H. M., Al-Gareeb, A. I., Negm, W. A., Alexiou, A., ve Batiha, G. E. S. (2022). Ursolic acid and SARS-CoV-2 infection: a new horizon and perspective. *Inflammopharmacology*, 30(5), 1493-1501.
- Arslan, O., Erzengin, M., Sinan, S., ve Ozensoy, O. (2004). Purification of mulberry (*Morus alba* L.) polyphenol oxidase by affinity chromatography and investigation of its kinetic and electrophoretic properties. *Food Chemistry*, 88, 479-484.
- Baltacı, P. (2023). Aronya (Chokeberry) Meyvesinin Metabolik Sendromlu Yaşlı Bireylerde Oksidatif, İnflamatuvar ve Aterojenik Biyobelirteçler Üzerine Etkisinin Araştırılması. (Doktora Tezi, İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü)
- Berlin, B., ve Zuzek, K. (2017). Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*). <http://www.extension.umn.edu/garden/yard-garden/trees-shrubs/black-chokeberry/> (Erişim tarihi: 18.12.2025).
- Bolling, B. W., Taheri, R., Pei, R., Kranz, S., Yu, M., Durocher, S. N., ve Brand, M. H. (2015). Harvest date affects aronia juice polyphenols, sugars, and antioxidant activity, but not anthocyanin stability. *Food Chemistry*, 187, 189-196.
- Borowska, S., ve Brzóška, M. M. (2016). Chokeberries (*Aronia melanocarpa*) and their products as a possible means for the prevention and treatment of noncommunicable diseases and unfavorable health effects due to exposure to xenobiotics. *Comprehensive Reviews in Food Science and food safety*, 15(6), 982-1017.
- Brand, M. (2010). *Aronia*: Native shrubs with untapped potential. *Arnoldia*, 67(3), 14-25.
- Broncel, M., Kozirog, M., Duchnowicz, P., Koter-Michalak, M., Sikora, J., ve Chojnowska-Jezierska, J. (2010). *Aronia melanocarpa* extract reduces blood pressure, serum endothelin, lipid, and oxidative stress marker levels in

- patients with metabolic syndrome. *Med. Sci. Monit.*, 16(1), 34.
- Christiansen, C. B., Mellbye, F. B., Hermansen, K., Jeppesen, P. B., ve Gregersen, S. (2022). Effects of *Aronia melanocarpa* on cardiometabolic diseases: A systematic review of quasi-design studies and randomized controlled trials. *The Review of Diabetic Studies: RDS*, 18(2), 76.
- Ciociu, M., Badescu, M., Badulescu, O., Tutunaru, D., ve Badescu, L. (2013). Polyphenolic extract association with renin inhibitors in experimental arterial hypertension. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 6(4), 493-497.
- Demir, D., Gençer, N., Arslan, O., Genç, H., ve Zengin, M. (2012). *In vitro* inhibition of polyphenol oxidase by some new diarylureas. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 27(1), 125-131.
- Demir, D., Eken, C., Çelik, E., ve Alkan, N. (2021). Effect of *Rhizoctonia* spp. on polyphenol oxidase enzyme activity in alfalfa seedling. *Res. J. Biotechnol.* 16, 47–50.
- Demir, D., Kabak, S., ve Çağlayan, K. (2023a). Purification and characterization of polyphenol oxidase in the fruits of *Opuntia ficus-indica*. *Biology*, 12(10), 1339.
- Demir, D., Çağlayan, K., ve Eken, C. (2023b). Polyphenol oxidase activities in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* (Burm.) Nakai) fruit at different development stages. *Biology Bulletin*, 50(6), 1115-1124.
- Deng, H., Zhu, J., Tong, Y., Kong, Y., Tan, C., Wang, M., Wan, M., ve Meng, X. (2021). Antibacterial characteristics and mechanisms of action of *Aronia melanocarpa* anthocyanins against *Escherichia coli*. *Lwt*, 150, 112018.
- Dogan, S., Bozdemir, K., Diken, M. E., ve Alan, U. (2018). Some biochemical properties of polyphenoloxidase from sage (*Sideritis perfoliata* L. subsp. *athoa* (Papan. & Kokkini) Baden.). *Adv. Food Sci.*, 40, 134–141. Bu dogan diğerleri ile aynı ise alta inecek yıl sırası önemli

- Doğan, S., ve Salman, Ü. (2007). Partial characterization of lettuce (*Lactuca sativa* L.) polyphenol oxidase. *European Food Research and Technology*, 226(1), 93-103.
- Doğan, S., Diken, M. E., Turhan, Y., Alan, Ü., Doğan, M., ve Alkan, M. (2011). Characterization and inhibition of *Rosmarinus officinalis* L. polyphenoloxidase. *European Food Research and Technology*, 233(2), 293-301.
- Doğan, S., Ayyildiz, Y., Doğan, M., Alan, Ü., ve Diken, M. E. (2013). Characterisation of polyphenol oxidase from *Melissa officinalis* L. subsp. *officinalis* (lemon balm). *Czech Journal of Food Sciences*, 31(2), 156–165.
- Doğan, S., Diken, M. E., Alan, Ü., Yılmaz, B., Alkan, M., ve Doğan, M. (2016). Some kinetic and inhibition properties of deepwater pink shrimp from aegean sea: ph, temperature, kinetic., inhibition. *Advences in Food Sciences*, 38, 155–164.
- Efenberger-Szmechtyk, M., Nowak, A., Czyżowska, A., Śniadowska, M., Otlewska, A., ve Żyżelewicz, D. (2021). Antibacterial mechanisms of *Aronia melanocarpa* (Michx.), *Chaenomeles superba* Lindl. and *Cornus mas* L. leaf extracts. *Food Chemistry*, 350, 129218.
- Eskimez, İ., ve Polat, M. (2023). Aronya (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott)’nın mikroçoğaltımında bitki büyüme düzenleyicilerinin etkileri. *Meyve Bilimi*, 10(Özel Sayı), 92-99.
- Gramza-Michałowska, A., Sidor, A., ve Kulczyński, B. (2017). Berries as a potential anti-influenza factor–A review. *Journal of Functional Foods*, 37, 116-137.
- Gul Guven, R., Guven, K., Matpan Bekler, F., Acer, O., Alkan, H., ve Dogru, M. (2017). Purification and characterization of polyphenol oxidase from purslane. *Food Science and Technology*, 37(3), 356-362.
- Hardin, J. W. (1973). The enigmatic chokeberries (*Aronia*, Rosaceae). *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 178-184.

- Jurgoński, A., Juśkiewicz, J., ve Zduńczyk, Z. (2008). Ingestion of black chokeberry fruit extract leads to intestinal and systemic changes in a rat model of prediabetes and hyperlipidemia. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(4), 176-182.
- Jurikova, T., Mlcek, J., Skrovankova, S., Sumczynski, D., Sochor, J., Hlavacova, I., Snopek, L., ve Orsavova, J. (2017). Fruits of black chokeberry *Aronia melanocarpa* in the prevention of chronic diseases. *Molecules*, 22(6), 944.
- King, E. S., Noll, A., Glenn, S., ve Bolling, B. W. (2022). Refrigerated and frozen storage impact aronia berry quality. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1), 3.
- Kowalczyk, E., Charyk, K., Fijalkowski, P., Niedworok, J., Blaszczyk, J., ve Kowalski, J. (2004). Protective influence of natural anthocyanins of *Aronia melanocarpa* on selected parameters of antioxidative status in experimental intoxication with sulphide-2-chloroethyl-3-chloropropyl. *Polish Journal of Environmental Studies*, 13(3) 339–341.
- Kulling, S. E., ve Rawel, H. M. (2008). Chokeberry (*Aronia melanocarpa*)—A review on the characteristic components and potential health effects. *Planta medica*, 74(13), 1625-1634.
- Lee, J. E., Kim, G. S., Park, S., Kim, Y. H., Kim, M. B., Lee, W. S., Jeong, S.W., Lee, S.J., Jin, J.S., ve Shin, S. C. (2014). Determination of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) polyphenol components using liquid chromatography–tandem mass spectrometry: Overall contribution to antioxidant activity. *Food chemistry*, 146, 1-5.
- Mayer, A. M. (2006). Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review. *Phytochemistry*, 67(21), 2318-2331.
- Mayer, A.M., ve Harel, E. (1979). Polyphenol oxidases in plants, *Phytochemistry*, 18(2), 193–215.

- McGhie, T. K., ve Walton, M. C. (2007). The bioavailability and absorption of anthocyanins: towards a better understanding. *Molecular nutrition & food research*, 51(6), 702-713.
- Melek, E. (2023). Aronya (*Aronia melanocarpa*) Meyvesi Ekstraktı ile Gümüş Nanopartikül Sentezi, Karakterizasyonu ve *in vitro* Antikanser Aktivitenin Değerlendirilmesi. (Doktora Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Mishra, B. B., Gautam, S., ve Sharma, A. (2012). Purification and characterisation of polyphenol oxidase (PPO) from eggplant (*Solanum melongena*). *Food chemistry*, 134(4), 1855-1861.
- Moon, K. M., Kwon, E. B., Lee, B., ve Kim, C. Y. (2020). Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. *Molecules*, 25(12), 2754.
- Nixha, A.R., Arslan, M., Atalay, Y., Gençer, N., Ergün, A., ve Arslan, O. (2013). Synthesis and theoretical calculations of carbazole substituted chalcone urea derivatives and studies their polyphenol oxidase enzyme activity. *J. Enzym. Inhib. Med. Ch.* 28, 808–815.
- Nixha, A.R., Ergun, A., Gencer, N., Arslan, O., ve Arslan, M. (2019). Development of carbazole-bearing pyridopyrimidine-substituted urea/thiourea as polyphenol oxidase inhibitors: synthesis, biochemistry, and theoretical studies. *Arch. Physiol. Biochem.* 125, 263–269.
- Ozlem, F. (2016). Purification and characterization of a polyphenol oxidase from Cimin grape (*Vitis vinifera* spp., Cimin). *Res. J. Biotechnol.* 11, 87–94.
- Öztürk, C. (2025). Comprehensive *in vitro* and *in silico* analysis of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) polyphenol oxidase: purification and characterization of the enzyme and its inhibition by carbamate derivatives. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-13.

- Panadare, D., ve Rathod, V. K. (2018). Extraction and purification of polyphenol oxidase: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 14, 431-437.
- Ren, Y., Frank, T., Meyer, G., Lei, J., Grebenc, J. R., Slaughter, R., Gao, Y.G., ve Kinghorn, A. D. (2022). Potential benefits of black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) fruits and their constituents in improving human health. *Molecules*, 27(22), 7823.
- Rodriguez-Mateos, A., Heiss, C., Borges, G., ve Crozier, A. (2014). Berry (poly) phenols and cardiovascular health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(18), 3842-3851.
- Sahbaz, R., Lieberei, R., ve Aniszewski, T., (2009). Polyphenol oxidase (PPO, catecholase) activity during germination and early seedling growth of Cicer milkvetch (*Astragalus cicer* L.), *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 82, 163–169.
- Sarsenova, A., Demir, D., Çağlayan, K., Abiyev, S., Darbayeva, T., ve Eken, C. (2023). Purification and properties of polyphenol oxidase of dried *Volvariella bombycina*. *Biology*, 12(1), 53. <https://doi.org/10.3390/biology12010053>
- Šnebergrová J, Cížková H, Neradová E, Kapci B, Rajchl A, ve Voldrich M. (2014). Variability of characteristic components of Aronia. *Czech J. Food Sci.* 32(1), 25–30.
- Sosnowska, D., Podśędek, A., Kucharska, A. Z., Redzynia, M., Opęchowska, M., ve Koziółkiewicz, M. (2016). Comparison of *in vitro* anti-lipase and antioxidant activities, and composition of commercial chokeberry juices. *European Food Research and Technology*, 242(4), 505-515.
- Tolić, M. T., Krbavčić, I. P., Vujević, P., Milinović, B., Jurčević, I. L., ve Vahčić, N. (2017). Effects of weather conditions on phenolic content and antioxidant capacity in juice of

- chokeberries (*Aronia melanocarpa* L.). *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(1), 67-74.
- Valcheva-Kuzmanova, S. V., ve Belcheva, A. (2006). Current knowledge of *Aronia melanocarpa* as a medicinal plant. *Folia Medica*, 48(2), 11-17.
- Valcheva-Kuzmanova, S., Marazova, K., Krasnaliev, I., Galunska, B., Borisova, P., ve Belcheva, A. (2005). Effect of *Aronia melanocarpa* fruit juice on indomethacin-induced gastric mucosal damage and oxidative stress in rats. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 56(6), 385-392.
- Watrelot, A. A., ve Bouska, L. (2022). Optimization of the ultrasound-assisted extraction of polyphenols from *Aronia* and grapes. *Food Chemistry*, 386, 132703.
- Wilkes, K., Howard, L. R., Brownmiller, C., ve Prior, R. L. (2014). Changes in chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) polyphenols during juice processing and storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(18), 4018-4025.
- Yerlitürk, F. Ü., Arslan, O., Sinan, S., Gencer, N., ve Özensoy, G. Ö. (2008). Characterization of polyphenoloxidase from wild pear (*Pyrus elaeagnifolia*). *Journal of Food Biochemistry*, 32(3), 368–383.
- Yıldız, S., Bilen, Ç., ve Karakuş, E. (2022). Purification of Damson plum polyphenol oxidase by affinity chromatography and investigation of metal effects on enzyme activity. *Prep. Biochem. Biotechnol.* 52, 1019–1034.
- Yi, T., Fang, W., Xie, X., Yuan, B., Lu, M., ve Xu, C. (2021). High Pressure Processing (HPP) Improved the safety and quality of aronia berry puree: Validated by a commercially applicable shelf life study. *ACS Food Science & Technology*, 2(3), 382-390.
- Yoruk, R., ve Marshall, M. R. (2003). Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review 1. *Journal of Food Biochemistry*, 27(5), 361-422.

- Yuan, Q., Guo, H., Ding, J., Jiao, C., Qi, Y., Zafar, H., Ma, X., Raza, F., ve Han, J. (2022). Polyphenol oxidase as a promising alternative therapeutic agent for cancer therapy. *Molecules*, 27(5), 1515.
- Zhao, Y., Liu, X., Zheng, Y., Liu, W., ve Ding, C. (2021). *Aronia melanocarpa* polysaccharide ameliorates inflammation and aging in mice by modulating the AMPK/SIRT1/NF- κ B signaling pathway and gut microbiota. *Scientific reports*, 11(1), 20558.
- Zhu, R., Shen, J., Law, C. L., Ma, X., Li, D., Han, Y., Kiani, H., Manickam, S., ve Tao, Y. (2023). Combined calcium pretreatment and ultrasonic/microwave drying to dehydrate black chokeberry: Novel mass transfer modeling and metabolic pathways of polyphenols. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103215.

TÜRKİYE VE DÜNYADA
ZİRAAT

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com