

İklim Değişikliğinin Bitki Koruma Yöntemleri Üzerindeki Etkisi: Sorunlar ve Çözümler

Rojbin Çevik¹

Semra Demir²

Özet

*İklim değişikliği, tarımsal ekosistemlerdeki dengeleri bozarak bitki sağlığını, gıda güvenliğini ve ekosistem sürdürülebilirliğini tehdit eden önemli bir çevresel sorun haline gelmiştir. Artan sıcaklık, değişen yağış rejimleri ve aşırı hava olayları, bitki hastalıklarının ve zararlıların yayılma alanlarını genişletirken, bitkilerin abiyotik ve biyotik stres koşullarına karşı direncini zayıflatmaktadır. Bu bağlamda, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlamak ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için yenilikçi bitki koruma stratejilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Makale, bitki koruma yöntemlerini kimyasal, biyolojik ve entegre yaklaşımlar çerçevesinde ele almakta ve biyolojik mücadele ajanlarının, özellikle Arbusküler mikorizal fungus (AMF) ve *Clonostachys rosea* gibi mikroorganizmaların, iklim değişikliği koşullarında sağladığı avantajlara odaklanmaktadır. Bu mikroorganizmalar, bitkilerin stres koşullarına adaptasyonunu artırırken, toprak sağlığını iyileştirerek ekosistemlerin karbon sekestrasyon kapasitesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, genetik mühendislik ve hassas tarım teknolojilerinin, dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ve zararlıların etkili bir şekilde izlenmesi yoluyla sunduğu yenilikçi çözümler vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, iklim değişikliği ile mücadelede bütüncül bir yaklaşım benimsenmesi gerektiği ifade edilmektedir. Sürdürülebilir tarım uygulamaları, biyolojik çeşitliliğin korunması ve çiftçilerin bu yeniliklere adaptasyonunun sağlanması, tarımsal üretimin geleceği için kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, bitki koruma stratejilerinin yeniden yapılandırılmasına yönelik öneriler sunulmaktadır, tarımın iklim değişikliğine uyum sağlaması ve gıda güvenliğinin korunması için etkili çözümler tartışılmaktadır.*

1 Doktora Öğrencisi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi
ORCID: 0000-0003-3064-8345, rojbincevik63@gmail.com

2 Prof. Dr., Öğretim Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi
ORCID: 0000-0002-0177-7677, semrademir@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği, son yüzyılda insan faaliyetleri kaynaklı sera gazı emisyonlarının artmasıyla birlikte hızlanmış ve bu durum, çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan derin etkiler yaratmıştır. Tarımsal üretim sistemleri, iklim değişikliğinin doğrudan ve dolaylı etkilerine karşı özellikle hassastır. Artan sıcaklıklar, değişen yağış desenleri, sıklaşan kuraklık ve aşırı hava olayları, dünya genelinde bitki sağlığını ve tarım ürünlerinin verimliliğini ciddi şekilde tehdit etmektedir (IPCC, 2021). Özellikle tropikal ve subtropikal bölgelerde, iklim değişikliğinin etkileri nedeniyle gıda güvenliğinin tehlikeye girdiği bilinmektedir. Bunun sonucunda, sürdürülebilir tarım uygulamaları ve bitki koruma stratejilerinin geliştirilmesi küresel bir öncelik haline gelmiştir.

İklim değişikliği, tarımsal üretim sistemlerini yalnızca meteorolojik değişiklikler yoluyla değil, aynı zamanda toprak sağlığı, bitki-mikroorganizma etkileşimleri ve bitki zararlılarının dinamikleri gibi temel biyolojik süreçler üzerinde etkili olarak da şekillendirmektedir. Örneğin, artan sıcaklıklar ve nem koşullarındaki değişiklikler, bitki patojenlerinin daha geniş coğrafi alanlara yayılmasına neden olurken, aşırı hava olayları bitki direncini zayıflatmakta ve zararlıların popülasyonlarının kontrolsüz bir şekilde artmasına yol açmaktadır (Chakraborty & Newton, 2011). Bu durum, geleneksel bitki koruma yöntemlerinin etkinliğini sorgulamakta ve yeni yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Geleneksel kimyasal mücadele yöntemleri, hızlı sonuçlar sunmalarına rağmen, çevresel bozulmaya ve patojenlerin direnç geliştirmesine yol açmaktadır (Carvalho, 2017). İklim değişikliğinin getirdiği zorluklar, çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden biyolojik mücadele stratejilerine olan ilgiyi artırmıştır. Biyolojik mücadele, patojenleri ve zararlıları kontrol altına almak için doğal düşmanların ve yararlı mikroorganizmaların kullanılmasını içermektedir. Özellikle Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) ve *Clonostachys rosea* gibi biyolojik ajanlar, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı umut vaat eden çözümler olarak öne çıkmaktadır (Rillig et al., 2019; Jensen et al., 2016; Demir, 1998; Çevik ve ark.,2022).

Bununla birlikte, iklim değişikliğinin sadece bir tehdit olmadığı, aynı zamanda tarımda daha dirençli ve sürdürülebilir sistemlerin geliştirilmesi için bir fırsat sunduğu unutulmamalıdır. Yenilikçi teknolojiler, genetik mühendislik, sürdürülebilir tarım uygulamaları ve biyolojik mücadele stratejilerinin entegrasyonu, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmada önemli rol oynayabilir (Henry et al., 2014). Bu kitap bölümü, iklim değişikliğinin bitki koruma üzerindeki etkilerini ele alarak, yenilikçi biyolojik

mücadele yöntemlerini ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını tartışmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda, bu yöntemlerin iklim değişikliğine uyum sağlama ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini artırma potansiyelini değerlendirmektedir. Bu bağlamda, temel amaç, iklim değişikliğinin bitki koruma uygulamalarındaki yansımalarını, mevcut sorunları ve bu sorunlara yönelik çözüm önerilerini derinlemesine incelemektir. İklim değişikliğinin doğurduğu risklerin yanı sıra, bitki koruma stratejilerinin yeniden şekillendirilmesindeki fırsatlar da vurgulanmaktadır.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TARIMSAL EKOSİSTEMLER

Küresel ısınma, tarımsal üretim sistemlerini çok boyutlu bir şekilde etkilemekte ve tarımsal ekosistemlerin dengesini bozarak küresel gıda güvenliği üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. İklim değişikliğinin tarımsal ekosistemler üzerindeki etkileri, doğrudan fiziksel değişikliklerden dolaylı biyolojik süreçlere kadar geniş bir yelpazede incelenmektedir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri, kuraklık, sel ve diğer aşırı hava olayları gibi fiziksel etkiler tarımsal üretim sistemlerinde belirgin kayıplara neden olmaktadır (Allen et al., 2015).

Artan sıcaklıklar, bitkilerin büyüme, gelişme ve metabolik aktiviteleri üzerinde doğrudan bir etki yaratmaktadır. Sıcaklığın bitki fizyolojisi üzerindeki etkisi, özellikle fotosentez ve solunum gibi temel süreçlerin dengelenmesini zorlaştırmaktadır. Örneğin, yüksek sıcaklık koşulları, fotosentetik verimliliği düşürerek bitki büyümesini yavaşlatabilir ve bu da verim kaybına yol açabilir (Hatfield & Prueger, 2015). Ayrıca, sıcaklık artışı bitki patojenleri için uygun bir ortam sağlayarak, bu organizmaların yayılma alanlarını genişletebilir ve hastalık insidansını artırabilir (Pautasso et al., 2012). Değişen yağış rejimleri ve sıklaşan kuraklık olayları, su kaynaklarının azalmasına ve su kullanımının daha stratejik bir şekilde planlanmasını zorunlu hale getirmektedir. Kuraklık, bitkilerin su alımını sınırlayarak büyüme ve gelişmelerini olumsuz yönde etkilerken, aşırı yağış ise toprak erozyonuna neden olarak tarım arazilerinin uzun vadeli verimliliğini tehlikeye atmaktadır (Schmidt et al., 2016). Özellikle eğimli tarım arazilerinde, sel ve şiddetli yağışlar toprağın üst katmanlarının taşınmasına neden olmakta ve organik madde kaybını artırmaktadır. Bunun sonucunda, tarımsal üretimde kullanılan toprakların besin döngüsü bozulmakla birlikte ve uzun vadeli sürdürülebilirlik riske girmektedir.

Karbon Döngüsü ve Sera Gazları

İklim değişikliği, karbon döngüsündeki dengesizlikleri artırarak tarımsal ekosistemler üzerinde dolaylı etkiler yaratmaktadır. Tarım alanlarında artan

sera gazı emisyonları, atmosferdeki karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) gibi gazların konsantrasyonlarını artırarak küresel ısınmayı hızlandırmaktadır. Özellikle toprakta organik madde birikiminin azalması ve tarımsal faaliyetler nedeniyle sera gazlarının salınımı, tarımın iklim değişikliğine katkı sağlayan bir sektör haline gelmesine neden olmuştur (Smith et al., 2014).

Karbon döngüsündeki bu değişiklikler, bitki patojenlerinin virülansını artırabilir ve bitkilerin bağışıklık sistemlerini zayıflatabilir. Örneğin, artan CO₂ konsantrasyonu, bazı bitki zararlılarının besin kaynaklarına daha kolay ulaşmasına neden olarak popülasyonlarını artırabilir (Ziska et al., 2011). Bununla birlikte, artan sera gazları toprak mikrobiyotası üzerinde de baskı oluşturmakta, simbiyotik ilişkilerin bozulmasına ve toprak sağlığının zayıflamasına neden olmaktadır.

Toprak Sağlığı ve Mikrobiyota Üzerindeki Etkiler

Toprak, tarımsal üretimin temel taşıdır ve toprak mikrobiyotası, tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliğinde kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, iklim değişikliği, toprakta bulunan mikroorganizmaların çeşitliliği ve işlevselliği üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Örneğin, kuraklık koşulları ve sıcaklık artışı, toprak mikrobiyotasının metabolik aktivitelerini azaltarak bitki-mikroorganizma simbiyozunu olumsuz yönde etkileyebilir (van der Heijden et al., 2008).

Toprak mikrobiyotasının işlevselliğinin azalması, bitkilerin besin maddelerine erişimini sınırlayabilir ve bu da bitkilerin büyüme performansını düşürebilir. Özellikle Arbusküler mikorizal fungus (AMF) gibi simbiyotik organizmalar, iklim değişikliğinden büyük ölçüde etkilenmekte ve bitkilerle kurdukları simbiyotik ilişkilerin etkinliği azalmaktadır. AMF, toprakta besin elementlerinin bitkiler tarafından alınmasını kolaylaştırırken, aynı zamanda bitkilerin kuraklık stresine karşı dayanıklılığını artırır (Rillig et al., 2019). Ancak, değişen iklim koşulları altında bu simbiyotik ilişkiler zarar görebilir ve bu durum, tarımsal verimliliği doğrudan etkileyebilir. İklim değişikliği, aynı zamanda toprak karbon depolama kapasitesini azaltarak, tarımsal alanların uzun vadeli sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Toprak organik maddesindeki azalma, mikroorganizmaların habitatını bozarak toprak sağlığını daha da kötüleştirebilir. Bu bağlamda, iklim değişikliğine uyum sağlayabilecek tarım uygulamalarının geliştirilmesi ve toprak sağlığının korunması için yenilikçi stratejilerin benimsenmesi gereklidir (Lal, 2020).

Ekolojik Dengeler ve Adaptasyon Gereksinimleri

İklim değişikliği, tarımsal ekosistemlerin ekolojik dengesini bozmaktadır. Zararlı ve hastalık etkenlerinin dağılım alanlarında yaşanan değişiklikler, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve tarımsal üretimde kayıplara neden olmaktadır (Bebber et al., 2013). Aynı zamanda, doğal düşmanların popülasyon dinamiklerinin bozulması, biyolojik mücadele stratejilerinin etkinliğini sınırlayabilir. Bu durum, zararlı popülasyonlarını kontrol etmek için kullanılan entegre mücadele yöntemlerinin yeniden değerlendirilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Tarımsal ekosistemlerin iklim değişikliğine adaptasyonu, sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmeyi gerektirir. Örneğin, toprak yönetimi ve su kullanım stratejilerinin optimize edilmesi, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için hayati bir gerekliliktir. Ayrıca, biyolojik mücadele stratejilerinin, özellikle simbiyotik mikroorganizmaların, tarımsal üretimde daha fazla kullanılması, ekosistem dengesini korumada etkili bir yol olarak görülmektedir.

BİTKİ KORUMA YÖNTEMLERİNİN TANITIMI

Tarımsal üretimin sürdürülebilirliği ve gıda güvenliğinin sağlanması için bitki koruma yöntemleri hayati bir öneme sahiptir. Bitki koruma stratejileri genel olarak kimyasal mücadele, biyolojik mücadele ve entegre mücadele yöntemleri olmak üzere üç ana kategoride incelenmektedir. Her bir yöntemin kendine özgü avantajları ve sınırlamaları bulunmaktadır. İklim değişikliğinin yarattığı zorluklarla başa çıkmak ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için bu yöntemlerin yeniden değerlendirilmesi gereklidir.

Kimyasal Mücadele

Kimyasal mücadele, zararlı ve patojen popülasyonlarını kontrol altına almak için pestisit, fungusit, herbisit gibi kimyasal maddelerin kullanılmasını içerir. Bu yöntem, hızlı ve etkili bir çözüm sunması nedeniyle tarımsal üretimde uzun yıllardır yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle geniş alanlarda ve kısa sürede sonuç alınması gereken durumlarda kimyasal mücadele etkili bir seçenek olarak görülmektedir (Carvalho, 2017). Bununla birlikte, kimyasal mücadele yöntemleri, çevresel etkiler ve patojenlerde direnç gelişimi gibi ciddi sorunlara yol açabilmektedir.

Kimyasal mücadele, toprak, su ve hava kirliliği gibi çevresel sorunlara katkıda bulunurken, tarımsal alanlarda biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, pestisitlerin aşırı ve bilinçsiz kullanımı, hedef olmayan organizmalar üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta ve ekolojik dengenin bozulmasına yol açmaktadır. Bunun yanı sıra, bazı patojenlerin

kimyasal maddelere karşı direnç geliştirmesi, kimyasal mücadelenin uzun vadeli etkinliğini sınırlamaktadır (Carvalho, 2017). Bu nedenle, kimyasal mücadele yöntemlerinin kullanımında daha dikkatli ve sürdürülebilir yaklaşımlara ihtiyaç vardır.

Biyolojik Mücadele

Biyolojik mücadele, bitki zararlılarını ve patojenlerini kontrol altına almak için doğal düşmanların, faydalı mikroorganizmaların veya biyokontrol ajanlarının kullanımını içermektedir. Bu yöntem, çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Biyolojik mücadelede kullanılan organizmalar arasında, predatörler, parazitoidler, mikrobiyal antagonistler ve simbiyotik mikroorganizmalar yer almaktadır (Berg et al., 2013).

Örneğin, *Clonostachys rosea* gibi biyokontrol ajanları, bitki patojenlerinin yaşam döngüsünü bozarak enfeksiyonları önleyebilmekte ve bitki sağlığını iyileştirebilmektedir (Jensen et al., 2016). Benzer şekilde, Arbüsküler mikorizal fungus (AMF), bitki kökleri ile simbiyotik ilişkiler kurarak bitkilerin besin alımını artırmakta ve stres koşullarına dayanıklılığını geliştirmektedir (Rillig et al., 2019). Bu ajanların kullanımı, aynı zamanda toprak yapısını iyileştirmekte ve tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır.

Biyolojik mücadelenin bir diğer önemli avantajı, kimyasal pestisitlerin aksine, hedef dışı organizmalar üzerindeki olumsuz etkilerinin minimum düzeyde olmasıdır. Ancak, bu yöntemin etkinliği, kullanılan biyokontrol ajanlarının çevresel koşullara uyum yeteneğine ve uygulama stratejilerinin doğru bir şekilde planlanmasına bağlıdır. İklim değişikliği, biyolojik mücadele yöntemlerinin etkinliğini doğrudan etkileyebileceğinden, biyokontrol ajanlarının adaptasyon yetenekleri üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Berg et al., 2013).

Entegre Mücadele

Entegre mücadele (Integrated Pest Management - IPM), kimyasal ve biyolojik mücadele yöntemlerini bir araya getirerek, zararlıların ve patojenlerin etkili bir şekilde kontrol altına alınmasını amaçlayan bir stratejidir. Bu yöntem, ekolojik dengeyi korumayı ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmeyi hedefler. IPM, zararlı popülasyonlarını ekonomik zarar eşiği seviyesinin altında tutmayı amaçlayan, çeşitli kültürel, biyolojik ve kimyasal kontrol yöntemlerini harmanlayan bir yaklaşımdır (Pretty & Bharucha, 2015).

Entegre mücadele, pestisit kullanımını minimuma indirirken, biyolojik ve mekanik yöntemlerin etkinliğini artırmayı hedefler. Bu yöntem, çiftçilerin

eğitimini ve bilinçlendirilmesini gerektirir; çünkü entegre mücadele stratejilerinin doğru bir şekilde uygulanması, bilgi ve deneyim gerektirir. Özellikle iklim değişikliği koşulları altında, IPM'nin çevresel değişimlere uyum sağlamada ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemede önemli bir rol oynayabileceği öne sürülmektedir (Lobell et al., 2013).

Yeni Yaklaşımlar ve Gelecekteki Perspektifler

Geleneksel mücadele yöntemlerinin sınırlamalarını aşmak için yenilikçi yaklaşımlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Genetik mühendislik ile dayanıklı bitki türlerinin geliştirilmesi, sensör teknolojileri ve yapay zekâ destekli izleme sistemlerinin kullanımı, bitki koruma stratejilerinde devrim niteliğinde değişikliklere yol açmıştır (Zhang et al., 2020). Bununla birlikte, mikrobiyal çeşitliliği teşvik eden ve toprağın biyolojik kapasitesini artıran sürdürülebilir tarım uygulamaları, gelecekte bitki koruma stratejilerinin temelini oluşturabilir.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HASTALIK VE ZARARLILARA ETKİSİ

İklim değişikliği, tarımsal üretim sistemlerini çeşitli şekillerde etkilerken, bitki hastalıkları ve zararlılar üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri de giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Artan sıcaklıklar, değişen nem oranları ve çevresel stres koşulları, patojenlerin yaşam döngüsü, dağılım alanı ve bulaşıcılık potansiyelini önemli ölçüde değiştirebilmektedir (Bebber et al., 2013). Bu durum, yalnızca tarımsal üretimdeki verim kayıplarını artırmakla kalmamakta, aynı zamanda küresel gıda güvenliğini tehdit eden bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Patojenlerin Yaşam Döngüsündeki Değişiklikler

Artan sıcaklıklar, patojenlerin yaşam döngüsünü hızlandırarak enfeksiyon sürecinin daha erken başlamasına neden olmaktadır. Örneğin, sıcaklık artışı bazı fungal patojenlerde sporlanma hızını artırmakta ve bu da bulaşıcılığı önemli ölçüde artırmaktadır (Chakraborty & Newton, 2011). Ayrıca, sıcaklık değişiklikleri, patojenlerin biyocoğrafyasını etkileyerek, tropikal ve subtropikal bölgelerde yoğunlaşmış olan bazı zararlıların daha ılıman bölgelere yayılmasına neden olmuştur (Bebber et al., 2013).

Değişen çevresel koşullar, viral hastalıkların taşıyıcıları olan vektörlerin popülasyon dinamiklerini de etkilemektedir. Örneğin, sıcaklık artışları, virüs taşıyıcısı böceklerin yaşam süresini uzatmakta ve onların yayılma kapasitelerini artırmaktadır (Jones, 2016). Bu durum, özellikle sebze ve tahıl ürünlerinde

viral enfeksiyonların yaygınlaşmasına neden olabilir. İklim değişikliği, yalnızca sıcaklık artışını değil, aynı zamanda nem oranlarındaki değişiklikleri de beraberinde getirerek, bazı fungal patojenlerin (örneğin, *Fusarium* türleri) sporlanma yeteneklerini artırabilir ve bu da bitki hastalıklarının insidansını yükseltebilir (Pautasso et al., 2012).

Kuraklık ve Çevresel Stresin Hastalıklar Üzerindeki Etkisi

Kuraklık, bitkiler üzerinde önemli bir çevresel stres kaynağıdır ve bitkilerin bağışıklık sistemini zayıflatarak patojenlere karşı direncini azaltır. Özellikle su stresine maruz kalan bitkiler, fotosentez ve metabolik aktivitelerinde düşüş yaşayarak hastalıklara karşı daha savunmasız hale gelmektedir (Ramegowda & Senthil-Kumar, 2015). Kuraklık stresi altında, bazı fungal patojenlerin (örneğin, *Verticillium dahliae*) enfeksiyon yeteneklerinde artış gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, düşük nem koşulları bazı patojenlerin toprakta daha uzun süre hayatta kalmasını ve sporlarının yayılmasını kolaylaştırabilir.

Kuraklığın yanı sıra, ani ve yoğun yağış olayları da bitki hastalıklarını artırabilir. Örneğin, aşırı yağış nedeniyle oluşan su birikintileri, kök çürüklüğü ve mantar enfeksiyonlarının yayılmasını kolaylaştırır. Ayrıca, yoğun yağışlar sırasında bitkiler üzerinde biriken su damlacıkları, bakteriyel patojenlerin yayılmasına uygun bir ortam oluşturabilir (Scherm et al., 2000). Bu durum, özellikle pirinç, buğday ve soya fasulyesi gibi suya duyarlı mahsuller için ciddi bir risk oluşturmaktadır.

Hastalıklara Karşı Direnç Mekanizmalarındaki Zayıflamalar

İklim değişikliğinin getirdiği stres koşulları, bitkilerin doğal bağışıklık sistemini olumsuz etkileyerek hastalıklara karşı savunma mekanizmalarını zayıflatmaktadır. Yüksek sıcaklık koşulları, bitkilerin savunma moleküllerinin üretimini sınırlayarak patojenlerin daha kolay yayılmasına yol açabilir (Zandalinas et al., 2018). Ayrıca, çevresel stres altındaki bitkilerde hormon dengesizlikleri gözlemlenebilir. Örneğin, abiyotik stres koşulları altında jasmonat ve salisilat gibi bitki savunma hormonlarının üretimi azalabilir ve bu durum, patojen enfeksiyonlarına karşı duyarlılığı artırabilir.

Zararlıların Popülasyon Dinamiklerindeki Değişiklikler

İklim değişikliği, bitki zararlılarının popülasyon dinamiklerini de önemli ölçüde değiştirmektedir. Zararlılar, çevresel değişimlere genellikle bitkilerden daha hızlı uyum sağlayabilir ve bu durum, onların coğrafi dağılım alanlarının genişlemesine neden olabilir (Deutsch et al., 2018). Örneğin, sıcaklık

artışları, bazı böcek zararlılarının yaşam döngüsünü hızlandırarak bir yıl içinde birden fazla neslin oluşmasına imkân tanımaktadır.

Ayrıca, artan sıcaklık ve nem, zararlıların daha yüksek irtifalara yayılmasını da mümkün kılmıştır. Örneğin, önceden sadece tropikal bölgelerde görülen *Helicoverpa armigera* gibi zararlılar, ılıman bölgelerde de yaygınlaşmış ve bu durum yeni tarım alanlarında ciddi kayıplara yol açmıştır (Bebber et al., 2013).

Küresel Gıda Güvenliği Üzerine Etkiler

İklim değişikliği kaynaklı hastalık ve zararlı artışı, tarımsal üretim sistemlerini tehdit ederek küresel gıda güvenliği üzerinde doğrudan bir etki yaratmaktadır. Özellikle temel gıda ürünlerinde yaşanan verim kayıpları, dünya çapında gıda fiyatlarının artmasına ve kıtlık riskinin yükselmesine yol açabilir (Foley et al., 2011). Hastalıkların ve zararlıların yayılmasını kontrol altına almak için daha fazla kimyasal kullanımı hem ekonomik maliyetleri artırmakta hem de çevresel sürdürülebilirliği tehlikeye sokmaktadır.

Adaptasyon Stratejileri ve Çözüm Önerileri

İklim değişikliğinin hastalık ve zararlılar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için yenilikçi adaptasyon stratejilerine ihtiyaç vardır. Hastalıklara dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi, entegre mücadele yöntemlerinin yaygınlaştırılması ve biyolojik mücadele ajanlarının iklim değişikliği koşullarına uygun hale getirilmesi bu stratejiler arasında sayılabilir (Pretty & Bharucha, 2015). Ayrıca, hastalık ve zararlıların izlenmesi için gelişmiş sensör ve dijital tarım teknolojilerinin kullanılması, erken müdahale imkanlarını artırabilir.

BİYOLOJİK MÜCADELE AJANLARI: YENİ STRATEJİLER

Biyolojik mücadele, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen ve kimyasal mücadele yöntemlerinin olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik önemli bir bitki koruma stratejisi olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. İklim değişikliğinin tarımsal ekosistemler üzerinde oluşturduğu baskı, biyolojik mücadele yöntemlerinin etkinliğini ve kullanımını artıracak şekilde yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, biyokontrol ajanları, bitki-patojen ilişkilerinde denge sağlama, zararlıların kontrolü ve bitkilerin stres koşullarına adaptasyonu gibi kritik rollere sahiptir.

Arbüsküler mikorizal fungus (AMF)

Arbüsküler mikorizal fungus (AMF), bitki kökleri ile simbiyotik bir ilişki kurarak bitkilerin besin alımını artıran ve stres koşullarına karşı dayanıklılığını

geliştiren önemli bir biyolojik mücadele ajanıdır. AMF, özellikle fosfor gibi bitki büyümesi için hayati öneme sahip besin maddelerinin topraktan alınmasını kolaylaştırır (Smith & Read, 2008). Bu simbiyotik ilişki, bitkilerin kök bölgesinde daha geniş bir toprak alanına erişmesini sağlarken, su stresine karşı direncini de artırmaktadır. AMF'ler ve simbiozis oluşturdıkları bitkiler, belirli koşullar altında birbirlerinden fayda sağlamaktadırlar (Demir, 1998; Rhodes, 1980; Bolan ve ark., 1987; Li ve ark., 1991). Rizosfer bölgesinde yaygınca bulunan AMF, özellikle de bitki besin maddeleri bakımından fakir olan marjinal topraklarda bitkilerin gelişimi için oldukça önemli katkı sağlar ve bazı mikro ve makro besin maddelerinin yanı sıra özellikle de fosfor alımında önemli rol alır. Buna karşın AMF ise, bitkinin ürettiği karbondihidratlardan ve bazı organik maddelerden faydalanmaktadır.

İklim değişikliği bağlamında, AMF'nin karbon sekestrasyonu üzerindeki etkisi dikkat çekmektedir. AMF, toprak organik karbon seviyelerini artırarak sera gazlarının azaltılmasına katkıda bulunabilir (Rillig et al., 2019). Ayrıca, AMF'nin toprak yapısını iyileştirici etkileri, özellikle kuraklık ve toprak erozyonu gibi iklim değişikliği kaynaklı sorunlarla mücadelede kritik bir rol oynamaktadır.

***Clonostachys rosea* (Sch.) Schroers & Samuels**

Bugüne kadar, *Clonostachys rosea* da pek çok fungus bitki patojenlerine karşı hareket bildirilmiştir, bunlar; *Alternaria dauci*, *A. solani*, *A. radicina*, *Botrytis cinerea*, *B. aclada*, *Bipolaris sorokiniana*, *Drechslera teres*, *Verticillium dahliae*, *Fusarium graminearum*, *F. verticillioides*, *F. croohvellense*, *F. culmorum*, *H. solani*, *Moniliophthora roreri*, *Phytophthora palmivora*, *Rhizoctonia solani*, *Rhynchosporium commune* ve *Sclerotinia sclerotiorum* gibi önemli patojenler olmakla birlikte (Krauss ve Soberanis, 2001; Jensen ve ark., 2004; Yohalem ve ark., 2004 ; Çevik ve ark. 2022; Aydın ve Turhan, 2009; Kosawang ve ark., 2014; Schöneberg ve ark., 2015; Sun ve ark., 2015a; 2015b; Jensen ve ark., 2016; Lysøe ve ark., 2017; Samsudin ve ark., 2017) *C. rosea*, özellikle toprak kökenli patojenlerle mücadelede etkili bir biyokontrol ajanı olarak tanınmaktadır. Bu fungus, patojenlerin yaşam döngüsünü bozarak, sporlanma ve enfeksiyon süreçlerini engeller. *Clonostachys rosea*'nın etkisi, sadece patojenleri kontrol altına almakla sınırlı kalmaz; aynı zamanda bitkilerin savunma mekanizmalarını aktive ederek sistemik direnç oluşturmalarına yardımcı olur (Jensen et al., 2016).

Ayrıca, *Clonostachys rosea*, diğer biyokontrol ajanlarıyla birlikte kullanıldığında sinerjik bir etki yaratabilir. Örneğin, AMF ile uygulandığında hem kök sistemi sağlığını artırabilir hem de patojen baskısını önemli ölçüde

azaltabilir. Bu tür kombinasyonlar, iklim değişikliğinin zorlu koşullarında tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için etkili çözümler sunmaktadır.

Mikrobiyal Çeşitlilik ve Kombinasyon Yaklaşımları

Mikrobiyal çeşitlilik, biyolojik mücadelenin etkinliğini artıran önemli bir faktördür. Farklı mikroorganizmaların kombinasyonlarının kullanılması, patojenlere karşı geniş kapsamlı bir koruma sağlayabilir ve ekosistem dengesinin korunmasına yardımcı olabilir (Verbruggen et al., 2013). Örneğin, faydalı bakterilerin (örneğin, *Pseudomonas* ve *Bacillus* türleri) ve mantarların (örneğin, AMF ve *Trichoderma* spp.) bir arada kullanılması, bitkilerin hem biyotik hem de abiyotik stres koşullarına adaptasyonunu artırabilir.

Bu tür kombinasyon yaklaşımları, toprak mikrobiyotasının çeşitliliğini teşvik ederek, uzun vadeli toprak sağlığını ve tarımsal verimliliği artırabilir. Ayrıca, iklim değişikliğine uyum sağlamada biyolojik mücadelenin başarısını destekleyen önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Biyolojik Mücadelede Yeni Araştırma Alanları

İklim değişikliği bağlamında biyolojik mücadele yöntemlerinin etkinliğini artırmak için yeni araştırma alanları giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, genomik ve metagenomik teknolojiler, biyokontrol ajanlarının genetik yapılarının anlaşılmasını ve çevresel değişimlere adaptasyon mekanizmalarının belirlenmesini kolaylaştırmaktadır (Cheng et al., 2021). Örneğin, AMF ve *Clonostachys rosea* gibi organizmaların genetik çeşitliliğinin araştırılması, iklim değişikliğine dayanıklı biyokontrol suşlarının seçilmesine olanak tanıyabilir.

Bunun yanı sıra, biyolojik mücadelenin etkinliğini artırmak için biyolojik ajanların uygulama yöntemlerinde yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmelidir. Özellikle nanoteknoloji ve hassas tarım uygulamaları, biyokontrol ajanlarının daha etkin bir şekilde uygulanmasını ve dağıtılmasını mümkün kılmaktadır (Kumar et al., 2020). Bu teknolojiler, biyokontrol ajanlarının hedefe yönelik uygulanmasını sağlayarak hem etkinliği artırmakta hem de maliyetleri düşürmektedir.

Sürdürülebilir Tarım ve Biyolojik Mücadele

Biyolojik mücadele yöntemleri, sürdürülebilir tarım uygulamalarının önemli bir bileşenidir. Kimyasal pestisitlerin kullanımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden bu yöntemler, aynı zamanda tarımsal ekosistemlerin biyolojik çeşitliliğini desteklemektedir. İklim değişikliği koşullarında, biyolojik mücadele yöntemlerinin tarım sistemlerine

entegrasyonu, sürdürülebilir gıda üretiminin sağlanması için kritik bir öneme sahiptir (Pretty & Bharucha, 2015).

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE MÜCADELEDE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

İklim değişikliği, tarımsal üretim sistemleri ve gıda güvenliği üzerinde büyük bir tehdit oluştururken, bu zorluklara yanıt vermek için yenilikçi yaklaşımlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlamak ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek için yeni teknolojiler, genetik mühendislik ve entegre stratejiler temel çözümler olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımlar, sadece bitki koruma ve üretim kapasitesini artırmayı değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı da hedeflemektedir.

Genetik mühendislik, iklim değişikliğine dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesinde önemli bir araç haline gelmiştir. Özellikle kuraklık, sıcaklık stresi ve toprak tuzluluğu gibi abiyotik stres faktörlerine karşı dayanıklı bitkilerin geliştirilmesi, tarımsal üretimi güvence altına almak için kritik bir adımdır (Henry et al., 2014). Bu süreçte, bitkilerin stres koşullarında verimliliğini artıran genetik özellikler belirlenmekte ve bu özellikler modern biyoteknoloji yöntemleri ile ticari bitkilere entegre edilmektedir. Örneğin, bazı gen düzenleme teknikleri, bitkilerin su kullanım verimliliğini artırarak kuraklık stresine karşı dayanıklılık kazandırmaktadır. Bu tür genetik yenilikler, tarımsal ekosistemlerin iklim değişikliği etkilerine karşı daha dirençli hale gelmesine katkıda bulunmaktadır.

Teknoloji destekli izleme ve akıllı tarım uygulamaları, iklim değişikliğiyle mücadelede bir diğer önemli alanı temsil etmektedir. Hassas tarım teknolojileri, uydu görüntüleme, sensör tabanlı izleme ve drone kullanımı gibi yöntemlerle entegre edilerek, tarımsal üretim süreçlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve optimize edilmesini sağlamaktadır (Zhang et al., 2020). Örneğin, bitki hastalıklarının erken teşhis edilmesi ve zararlı popülasyonlarının dinamiklerinin izlenmesi, pestisit kullanımını optimize etmek ve çevresel etkiyi azaltmak açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknolojiler, ayrıca çiftçilere daha bilinçli ve veriye dayalı karar alma imkânı sunarak, kaynakların daha verimli kullanılmasını teşvik etmektedir. Böylece hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik desteklenmektedir.

Sürdürülebilir tarım uygulamaları, iklim değişikliğine uyum sağlama stratejilerinde temel bir yere sahiptir. Özellikle toprak sağlığını iyileştiren, biyolojik çeşitliliği artıran ve karbon sekestrasyonunu destekleyen tarım uygulamaları, uzun vadeli sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda büyük

bir potansiyel taşımaktadır. Organik tarım, minimum toprak işleme teknikleri ve örtü bitkisi kullanımı gibi yöntemler, toprakta organik madde birikimini artırarak hem verimliliği desteklemekte hem de sera gazı emisyonlarını azaltmaktadır. Ayrıca, tarımsal ormancılık gibi uygulamalar, karbon depolama kapasitesini artırırken aynı zamanda iklim değişikliği ile mücadelede katkıda bulunmaktadır (Tilman et al., 2011).

Bu yaklaşımların etkin bir şekilde uygulanabilmesi için, çiftçilerin eğitilmesi ve bilinçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. İklim değişikliğine karşı sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesi, yalnızca teknolojik yeniliklerin geliştirilmesiyle değil, aynı zamanda bu yeniliklerin yerel bağlamlarda benimsenmesi ve adaptasyonu ile mümkündür. Bu noktada, çiftçilere yönelik eğitim programları, iklim değişikliği farkındalığını artırmanın yanı sıra yeni teknolojilerin ve uygulamaların kullanımını teşvik etmek için kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Aynı şekilde, hükümetlerin ve uluslararası kuruluşların desteklediği uygun tarım politikalarının geliştirilmesi ve uygulanması, bu süreçte önemli bir role sahiptir. Örneğin, yenilikçi tarım uygulamalarını teşvik eden sübvansiyonlar ve eğitim programları, çiftçilerin bu teknolojilere erişimini kolaylaştırabilir ve iklim değişikliğiyle mücadelede küresel ölçekte bir etki yaratabilir.

Son olarak, iklim değişikliğiyle mücadelede bilimsel araştırmalar ve yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi için çok paydaşlı bir iş birliği yaklaşımı benimsenmelidir. Akademik araştırmalar, özel sektör yatırımları ve kamu politikalarının entegrasyonu, tarımsal üretim sistemlerini daha dayanıklı hale getirecek çözümlerin hızla uygulanmasını sağlayabilir. Bu kapsamda, yerel, bölgesel ve küresel düzeyde koordinasyon sağlanarak, tarımsal üretim sistemlerinin iklim değişikliği bağlamında sürdürülebilirliğine yönelik daha geniş kapsamlı bir dönüşüm sağlanabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim değişikliğinin etkileri, tarımsal ekosistemlerde hastalık ve zararlıların artışı, bitki stresinin yoğunlaşması ve toprak sağlığının bozulması gibi çok yönlü zorluklar yaratmaktadır. Bu etkiler, gıda güvenliğini doğrudan tehdit ederken, aynı zamanda ekosistem dengesinin korunmasını da güçleştirmektedir. Tarımsal üretim sistemleri, yalnızca bu değişen koşullara uyum sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda küresel gıda taleplerini karşılamak için daha sürdürülebilir ve dirençli hale getirilmek zorundadır. Bu bağlamda, mevcut bitki koruma stratejilerinin gözden geçirilmesi ve iklim değişikliği bağlamında yeniden yapılandırılması bir zorunluluk haline gelmiştir.

Sürdürülebilir ve çevre dostu mücadele yöntemlerinin benimsenmesi, tarımın iklim değişikliğine uyum sağlayabilmesi için kilit bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Özellikle biyolojik mücadele yöntemleri, kimyasal pestisitlere kıyasla daha az çevresel etki yaratarak zararlı ve hastalık popülasyonlarının kontrol altına alınmasına olanak tanır. AMF ve *C. rosea* gibi biyokontrol ajanlarının kullanımı, sadece bitki sağlığını desteklemekle kalmaz, aynı zamanda toprak sağlığını iyileştirerek ekosistem dengesini korumada da etkili bir rol oynar. Bu tür yöntemlerin yaygınlaştırılması ve çiftçiler tarafından benimsenmesi, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini artırabilir.

Ancak, sürdürülebilir tarım uygulamalarının başarısı, sadece biyolojik yöntemlerle sınırlı değildir. Genetik mühendislik, iklim değişikliğine dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu tür yenilikçi yaklaşımlar, tarımsal üretimdeki stres faktörlerini hafifletmekte ve bitkilerin zorlu çevre koşullarına adaptasyonunu artırmaktadır. Özellikle kuraklık, sıcaklık stresi ve toprak tuzluluğu gibi sorunlarla başa çıkmada genetik müdahaleler önemli bir araç haline gelmiştir. Bununla birlikte, bu yeniliklerin etkili bir şekilde uygulanabilmesi için, yerel bağlamlara uygun stratejilerin geliştirilmesi gereklidir. Teknoloji destekli izleme ve hassas tarım uygulamaları, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç olarak kullanılabilir. Hastalık ve zararlıların erken teşhisi, pestisit kullanımını optimize edebilir ve gereksiz kimyasal tüketimini önleyebilir. Uydu görüntüleme, sensör teknolojileri ve yapay zekâ tabanlı analizler gibi yenilikçi araçlar, çiftçilere anlık bilgi sağlayarak karar alma süreçlerini iyileştirebilir. Bu tür teknolojilerin yaygınlaşması, yalnızca verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel etkileri de azaltır. Politikalar ve yönetim stratejileri, tarımsal üretimin iklim değişikliği bağlamında dönüşümünü desteklemek için kritik bir rol oynamaktadır. Çiftçilerin sürdürülebilir tarım uygulamalarını benimsemesini teşvik etmek amacıyla eğitim programlarının ve mali destek mekanizmalarının geliştirilmesi önemlidir. Özellikle küçük ölçekli çiftçilerin yeni teknolojilere ve biyolojik mücadele yöntemlerine erişimini artıracak teşvikler, tarım sektörünün iklim değişikliği etkilerine karşı dayanıklılığını güçlendirebilir. Ayrıca, uluslararası iş birliği ve bilgi paylaşımı, iklim değişikliğine karşı küresel bir yanıt geliştirilmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, iklim değişikliğinin tarımsal ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri, bütüncül bir yaklaşım ile ele alınmalıdır. Sürdürülebilir bitki koruma stratejileri, biyolojik mücadele yöntemleri, genetik yenilikler ve teknoloji destekli uygulamalar gibi farklı araçların bir arada kullanılması, tarımsal üretimin dayanıklılığını artırabilir. Bununla birlikte, bu stratejilerin başarıya ulaşması için çiftçiler, araştırmacılar, politika yapımcılar ve özel

sektör arasında güçlü bir iş birliği gereklidir. Gelecekteki araştırmalar, iklim değişikliği bağlamında etkili ve uygulanabilir çözümler geliştirmeye odaklanmalı; bu çözümler hem yerel hem de küresel düzeyde tarımsal sürdürülebilirliği desteklemelidir. Bu şekilde, tarımsal üretim sistemleri, iklim değişikliğinin getirdiği zorluklara uyum sağlayarak hem insanlık hem de ekosistemler için daha sürdürülebilir bir gelecek sunabilir.

Kaynakça

- Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6(8), 1–55. <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140(1), 33–45. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y>
- Bebber, D. P., Holmes, T., & Gurr, S. J. (2013). The global spread of crop pests and pathogens. *Global Ecology and Biogeography*, 23(12), 1398–1407. <https://doi.org/10.1111/geb.12214>
- Berg, G., Köberl, M., Rybakova, D., Müller, H., Grosch, R., & Smalla, K. (2013). Plant microbial diversity is suggested as the key to future biocontrol and health trends. *FEMS Microbiology Ecology*, 84(3), 228–237. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12187>
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- Chakraborty, S., & Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases, and food security: An overview. *Plant Pathology*, 60(1), 2–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>
- Cheng, J., Sun, Y., Niu, Y., Fu, X., & Wu, Y. (2021). Advances in molecular and genomic research on arbuscular mycorrhizal fungi. *Frontiers in Plant Science*, 12, 617824. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.617824>
- Çevik, R., Demir, S., Türkölmez, Ş., & Boyno, G. (2022). The effect of *Clonostachys rosea* (sch.) schroers and samuels against verticillium wilt (*Verticillium dahliae* Kleb.) and early blight [*Alternaria solani* (Ell. and G. Martin) Sor.] diseases in tomato plants. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 32(2), 372-382.
- Demir, S., ŞENSOY, S., Ocak, E., TÜFENKÇİ, Ş., Durak, E. D., Erdinc, C., & ÜNSAL, H. (2015). Effects of arbuscular mycorrhizal fungus, humic acid, and whey on wilt disease caused by *Verticillium dahliae* Kleb. in three solanaceous crops. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(2), 300-309.
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., & Snyder, P. K. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>

- Henry, R. J., Nevo, E., & Fahima, T. (2014). Adaptation of wild barley to climate change: The potential use of untapped genetic diversity. *Plant Breeding*, 133(6), 703–710. <https://doi.org/10.1111/pbr.12195>
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Jensen, B., Knudsen, I. M. B., Madsen, M., & Jensen, D. F. (2016). Biocontrol of seedling diseases of barley and wheat caused by *Fusarium culmorum* and *Bipolaris sorokiniana* using *Clonostachys rosea* under field conditions. *BioControl*, 61(4), 453–466. <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9731-y>
- Kumar, P., Raghavendra, V. B., & Dubey, S. (2020). Role of nanotechnology in sustainable agriculture. *Materials Today: Proceedings*, 39, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.441>
- Palta, Ş., Demir, S., Şengönül, K., Kara, Ö., & Şensoy, H. (2010). ARBÜS-KÜLER MIKORİZAL FUNGUSLAR (AMF), BİTKİ VE TOPRAKLA İLİŞKİLERİ, MERA ISLAHINDAKİ ÖNEMLERİ. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 12(18), 87-98.
- Pautasso, M., Döring, T. F., Garbelotto, M., Pellis, L., & Jeger, M. J. (2012). Impacts of climate change on plant diseases: Opinions and trends. *European Journal of Plant Pathology*, 133(1), 295–313. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-9936-1>
- Pretty, J., & Bharucha, Z. P. (2015). Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. *Insects*, 6(1), 152–182. <https://doi.org/10.3390/insects6010152>
- Ramegowda, V., & Senthil-Kumar, M. (2015). The interactive effects of simultaneous biotic and abiotic stresses on plants: Mechanistic understanding from drought and pathogen combination. *Journal of Plant Physiology*, 176, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.11.008>
- Rillig, M. C., Aguilar-Trigueros, C. A., Camenzind, T., & Richter, A. (2019). Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 222(3), 1171–1175. <https://doi.org/10.1111/nph.15602>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260–20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Zhang, Y., Wang, Y., & Wei, G. (2020). Smart farming technologies for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 570733. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.570733>