

İklim Değişikliğinin Bitki Fungal Patojenleri Üzerindeki Etkileri

Gürkan BAŞBAĞCI ¹ ¹ Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Bölümü ANTALYA-TÜRKİYE

Öz

Son yıllarda etkilerinin daha çok hissedildiği iklim değişikliği tüm dünyada farklı sorunlara neden olmaktadır. Tüm canlılar gibi bitkiler de bu değişiklikten ciddi şekilde etkilenmektedir. Sıcaklık, nem ve karbondioksit gibi mikroorganizma gelişimini direkt olarak etkileyen faktörler göz önüne alındığında, bitki ve toprak mikroorganizma florasında değişkenlik gözlemlenebilmesi muhtemeldir. Funguslar, bitki patojenleri arasında en baskın gruptur ve atmosferik koşullardan oldukça etkilenirler. Ayrıca fungusların ortam koşullarına hızlı bir şekilde adapte olabilmesi ile yeni ya da daha virulent/tolerant ırklar ortaya çıkabilmektedir. Bu konuda tüm dünyada iklim değişikliği senaryoları oluşturularak gelecekteki durum tahmin edilmekte ve önlem alma trendi bulunmaktadır. Bu derleme makalenin amacı, iklim değişikliğinin bitki fungal patojenleri üzerindeki etkileri konusunda yürütülen ve bilgi içeren çalışmaları bir araya getirmek, bu konuda çalışan araştırmacılara ışık tutmak, farkındalık yaratmak ve kaynak oluşturmaktır.

Article Info

Received:24.12.2024

Accepted:16.05.2025

Anahtar Kelimeler

Fungus
İklim değişikliği
Karbondioksit
Nem
Yüksek sıcaklık

Effects of Climate Change on Plant Fungal Pathogens

Abstract

Climate change, the effects of which have been felt more in recent years, causes different problems all over the world. Like all living things, plants are seriously affected by this change. Considering the factors that directly affect microorganism development, such as temperature, humidity and carbon dioxide, it is possible to observe variability in the plant and soil microorganism flora. Fungi are the most dominant group among plant pathogens and are highly affected by atmospheric conditions. In addition, new or more virulent/tolerant strains may emerge as fungi can quickly adapt to environmental conditions. In this regard, climate change scenarios are created all over the world to predict the future situation and there is a trend to take precautions. The purpose of this review article is to bring together informative studies on the effects of climate change on plant fungal pathogens, to shed light on researchers working on this subject, to raise awareness and to create resources.

Keywords

Carbon dioxide
Climate change
Fungus
High temperature
Humidity



Corresponding Author

gurkanbasbagci07@hotmail.com

Giriş

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi (2002)'ne göre, "karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan değişiklikler" olarak tanımlanan iklim değişikliğinin etkileri son yıllarda tüm dünyada etkisini daha fazla hissettirmektedir. Sanayi devrimi sonrasında fosil yakıt kullanımının artmasıyla birlikte karbondioksit (CO₂) salınımları da hızlı bir şekilde artmaktadır (Can ve Baygüven, 2004). Bu artış, küresel iklim değişikliğini insan hayatını ve tüm ekosistemi etkileyecek boyutlara getirmiştir (Baştas, 2021). İklim değişikliğinin sonuçlarını yüksek sıcaklık, orman yangınları, kuraklık, deniz seviyesinde yükselme, asit yağmurları, fırtınalar ve kasırgalar olarak sıralamak mümkündür (Aydoğdu, 2020).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPPC, 2007)'ne göre 21. Yüzyıla ilişkin tahminler hava sıcaklığının arttığını göstermektedir. Günümüz tahminlerine göre iklim değişikliği 2025 yılında sıcaklıkların 1°C, 2050 yılında ise 3°C artacağı (Anderson vd., 2020), bunun da kuraklık patojenlerinin hayatta kalmasını ve yayılmasını arttıracacağı tahmin edilmektedir (Pandey ve Basandrai, 2021). Küresel sıcaklık son 100 yılda 0.8°C yükselmiştir ve bu değer 2100 yılında 0.9-3.5°C arasında olması beklenmektedir. Atmosferik CO₂ konsantrasyonunun ise 21. yüzyılın sonunda 410 ppm'den 800 ppm'e kadar yükselebileceği öngörülmektedir (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). Sıcaklık ve atmosferdeki CO₂

seviyesindeki artış ve kuraklık ve sel gibi doğa olayları konukçu bitkinin patojenlere karşı dayanıklılığını etkilemektedir. İklim değişikliği, konukçu-patojen etkileşimini değiştirme ve sonuçta hastalık epidemilerinin gelişimi üzerinde büyük bir etki yaratma potansiyeline sahiptir (Kaur vd., 2023).

Küresel gıda güvenliği, hem doğrudan ürün fizyolojisi ve verimliliği yoluyla, hem de dolaylı olarak bitki patojenleri de dahil olmak üzere bitkilerle ilişkili mikrobiyotanın tepkileri yoluyla iklim değişikliği tarafından tehdit edilmektedir (Raza ve Bebbber, 2022). Avrupa’da değişen iklim ile ilgili olarak, mikotoksinler ve pestisit kalıntısı gıda güvenliği açısından en önemli sorunlardır (Miraglia vd., 2009). Birçok patojen, uluslararası ticaret ve pazara erişim açısından önemli sonuçlar doğuracak şekilde, insan ve hayvan sağlığına zararlı toksinler ve diğer bileşikler üretir. Mikotoksinlerin, hasat sonrası depolama ve yönetim kapasitesi zayıf olan ülkeler için iklim değişikliği nedeniyle gıda güvenliği açısından endişe yaratabileceği belirtilmektedir (Paterson ve Lima, 2010).

İklim değişikliğinin bitki patojenleri üzerindeki etkileri

İklim değişikliğinin bitki patojenleri üzerindeki etkisini tahmin etmek zordur, ancak patojenlerin konukçulardan çok daha geniş bir uyum mekanizması olduğundan, uyum sağlama/evrimleşme fırsatları muhtemelen artacaktır (Santini ve Ghelardini, 2015). Bitki gelişimi ve üretiminin, yüksek atmosferik CO₂ konsantrasyonu, sıcaklık, yağış desenindeki değişiklikler ve ekstrem hava olaylarının sıklığı gibi nedenlerden dolayı önemli oranda etkilenebileceği ve bu durumda hastalık varlığının da değişeceği düşünülmektedir (Rosenzweig ve Tubiello, 2007; Ghini vd., 2008; Chakraborty ve Newton, 2011). İklim değişikliğinin, patojen evrimini ve konukçu-patojen etkileşimini değiştirerek ve yeni ırkların ortaya çıkmasını sağlayarak salgın riskini artırabileceği ve hastalıkların yeni alanlarda yayılmasına neden olabileceği bildirilmektedir (Singh vd., 2023). Ayrıca mevcut tarımsal ekosistemdeki patojenlerin daha agresif ve iklime dayanıklı türlerinin de ortaya çıkabileceği düşünülmektedir (Hunjan ve Lore, 2020). Çevre koşullarındaki değişikliklerin bitki hastalığı semptomlarını da şiddetlendirdiği bilinmektedir (Boyer, 1995; McElrone vd., 2001) ve yeni hastalıkların ortaya çıkışında %44 oranında bu değişikliklerin rolü bulunmaktadır (Anderson vd., 2004). Küresel ısınma sonucu buzulların erimesi nedeniyle, günümüz patojenleri ve diğer organizmalarla etkileşime geçebilecek tarih öncesi genotiplerin serbest kalacağı, bunun da potansiyel olarak patojenlerde yeni ve öngörülemeyen varyasyonlara neden olabileceği öngörülmektedir (Chakraborty, 2013). Dünyada hasat edilen ürünlerin %20-25'i hasat öncesi ve sonrası hastalıklar nedeniyle kaybolmakta ve iklim değişikliğinin bu oranı arttırması beklenmektedir. Bazı patojenlerin, iklim değişikliğinin bir sonucu olarak coğrafi dağılım alanlarının genişlemesi nedeniyle daha aktif ve zarar verici hale geldiği belirtilmiştir (Dixon, 2012).

Bitki hastalıkları, hassas konukçu, virulent patojen ve uygun çevre koşullarının bir arada bulunması sonucu ortaya çıkmaktadır (Agrios, 2004; Klopfenstein vd., 2009; Grulke 2011). Hastalık gelişimi için çevre koşulları en önemli faktörlerden biridir ve buradaki değişimler hastalık şiddetindeki değişikliklerle ve verim kayıplarıyla ilişkilidir (Elad ve Pertot, 2014). Ayrıca bu değişimler konukçu fizyolojisini ve patojen saldırganlığını da değiştirerek, konukçunun patojenlere karşı dayanıklılık durumunu da değiştirebilmektedir (Hunjan ve Lore, 2020). Bitkilerde zarara neden olan bazı türlerin son yıllardaki çevresel koşullardaki dalgalanma nedeniyle artmasıyla, Hindistan da dahil olmak üzere Güney Asya’da 2100 yılında tarımsal verim kayıplarının %40’a kadar çıkabileceği bildirilmiştir (IPCC, 2008).

Genel olarak iklim değişikliği hastalıklarda şu değişikliklere yol açabilir: patojenlerin coğrafi dağılımında genişleme, patojenlerin popülasyon büyüme oranlarında değişimler, biyokontrol ajanlarının yoğunluğunun ve etkinliklerinin değişmesi, patojen-böcek-konukçu interaksiyonundaki değişimler ve sıcaklığa hassas genleri içeren çeşitlerdeki dayanıklılığın azalması, yeni hastalıkların çıkışı ve göçlerle beraber istila riskinin artması ve hastalıkla mücadele için faydalı bileşenlerin etkinliklerinin azalması (Sharma, 2016). Bitki patojenleri ise iklim değişikliğine 3 şekilde tepki vermektedir. Bu tepkiler mevcut fenotipik esneklikten faydalanmak, iklimi daha uygun olan bölgelere göç etmek ya da yeni nitelikler geliştirmektir. Esnek genotipler çok çeşitli çevresel koşullara hızla uyum sağlayabilir, ancak fenotipik esneklik yetersizse göç ya

da evrim tek seçenektir (Santini ve Ghelardini, 2015). İklim değişikliğinde, patojenler bitkiler gibi, çevresel koşullar değiştikçe hızla göç edemeyebilir ya da uyum sağlayamayabilir. Ancak birçok patojen kısa jenerasyon süresi ve rüzgarla kolayca taşınmaları nedeniyle bitkilere göre avantajlıdır (Garrett vd., 2006). Bitki patojeni funguslar, hızla değişen iklim koşulları nedeniyle stres altında kalan konukçulara fırsatçı olarak saldırabilir (Jurossek vd., 2020; Desaint vd., 2021).

Yüksek sıcaklığın, fırtınaların veya kuraklığın daha sık yaşanması, pestisit kullanımında büyük bir sıçrama, virülenslik durumlarında değişiklik ve yeni alanlarda patojenlerin ortaya çıkması beklenmektedir (Pathak vd., 2018). ProMED-mail görüntüleme servisi 2015 yılından bu yana 142 yeni bitki hastalığı kaydı ortaya koymuştur. Bunların %37'si virüs, %32'si bakteri ve %25'i fungus olarak kayıtlara geçmiştir (Raza ve Bebbler, 2022).

İklim değişikliğinin fungal patojenler üzerindeki etkileri

Funguslar, bitki patojenleri içinde en baskın gruptur. Fungal patogenesis, özellikle sıcaklık ve nem gibi mevcut atmosferik koşullardan büyük ölçüde etkilenmektedir. Sıcaklık fungal patojenin farklı yaşam aşamalarında kritik bir faktördür ve sıcaklıktaki değişimler fungal üremeyi, enfeksiyon oranını, enfeksiyon döngü sayısını, uzun ve kısa mesafelere dağılımını önemli oranda etkilemektedir. Sıcaklık değişimi, dormant halde olan patojen ırklarını tetikleyebilmekte, bu nedenle de ani epidemilere neden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca sıcaklık artışı daha uzun üreme sezonu nedeniyle fungusların hızlı bir şekilde evrimleşmesine neden olacağı düşünülmektedir. Yüksek sıcaklık topraktaki nemle birleştiğinde toprak kökenli patojenlere elverişli ortam yaratmaktadır (Hunjan ve Lore, 2020). Ortam sıcaklıkları arttıkça birçok fungusun çoğalma mevsiminin arttığı, 1950-2000 arası 50 yıllık dönemde fungusların üreme dönemini ikiye katlayarak 33 günden 74 gün çıktığı rapor edilmiştir (Gange vd., 2007). Fungusların büyüme mevsiminde görülen değişikliklerin dünya üzerindeki herhangi bir organizma grubu için en önemli değişiklikler olduğu ileri sürülmektedir (Gange vd., 2007).

Artan termal sürenin sonbahar ve kış aylarında kök ve gövdeyi enfekte eden toprak kökenli patojenlerin gelişimindeki artıştan sorumlu olduğu düşünülmektedir (Evans vd., 2008; Butterworth vd., 2010). Avrupa'nın soğuk bölgelerinde, ısınmadan dolayı toprak kökenli patojenlerin arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, 2020-2030 yılları arası öngörülen artışın, 2000-2020 yılları arası öngörülenden daha fazla olacağı tahmin edilmektedir (Manici vd., 2014).

Çevresel faktörler arasında nem ve toprak sıcaklığı kök çürüklüğü etmenlerinin şiddeti ve yaygınlığında önemli rol oynamaktadır (Jat ve Ahir, 2013). Tam tersi olarak kuraklık yeni patojenlerin çıkmasına da neden olabilmektedir. Diğer yandan, yüksek CO₂ konsantrasyonunun da bitki patojeni fungusların sporulasyonunu hızlandırdığı rapor edilmiştir (Vary vd., 2015). Tedersoo vd. (2014) ise toprak pH'sının fungal oluşum için en önemli faktör olduğunu belirtmiştir.

Dünya'da iklim değişikliği ile ilgili fungal etmenler üzerinde yürütülen çalışmalar

Tüm dünyada iklim değişikliğinin bitki patojeni funguslar üzerindeki etkilerini ele alan birçok çalışma bulunmaktadır. Sıcaklık, nem ve karbondioksit gibi mikroorganizma gelişimini direkt olarak etkileyen faktörler göz önüne alındığında, bitki ve toprak mikroorganizma etkileşimlerinde değişkenlik gözlemlenebilmesi muhtemeldir. Özellikle toprak kökenli fungal patojenler konusunda çalışmaların daha yoğun olması bu teoriyi destekler niteliktedir. Peng vd. (2023), Çin'de mısır üretim alanlarında toprak örneklerinde bulunan fungal patojenlerinin iklim değişikliğine tepkilerini araştırmışlar ve *Fusarium oxysporum* ve *F. equiseti* türü fungusların mevcut dağılımlarının iklim değişikliği tarafından düzenlendiğini tespit etmişlerdir. Singh vd. (2023)'ne göre, bazı hastalıklarda, örneğin bezelyede kök çürüklüğü (*Aphanomyces euteiches*), soğan beyaz çürüklüğü (*Sclerotium cepivorum*), buğdayda take-all (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*), buğdayda kahverengi çürüklük (*Fusarium* spp.), lahanada karabacak (*Leptosphaeria maculans*) ve bağda siyah ayak (*Ilyonectria/Dactylonectria* spp.) gibi fungal patojenlerde hastalık şiddetinin kuraklığın uzaması ve sıklığı ile arttığı rapor edilmiştir.

Yüksek sıcaklık ve nemin etkisiyle fungal patojen varlığında ve şiddetinde artış göze çarpmaktadır. Rienth vd. (2021)'ne göre, iklim değişikliğinin fungal hastalık baskısına etkisinin bölge ve patojene bağlı olarak değişkenlik gösterdiği, özellikle bağda mildiyö (*Plasmopara viticola*) külleme (*Erysiphe necator*) etmenlerinin geniş sıcaklık toleransları nedeniyle çok büyük tehditler olarak kalmaya devam edeceği öngörülmektedir. Buna paralel olarak, Rai vd. (2021)'ne göre, nohutta kuru kök çürüklüğüne neden olan *Macrophomina phaseolina* fungal etmeninin kuraklık ve yüksek sıcaklık gibi faktörlerden etkilenebileceği ve bu faktörlerin hastalık şiddetini arttırdığını belirtmişlerdir. Lodha ve Mawar (2020) da yine bu fungal patojenin sıcaklık ve nem stresinin artışıyla birlikte daha yoğun görülmeye başladığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, Sharma vd. (2010), *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium* ve *Phytophthora* gibi toprak kökenli fungal patojenlerin artan nispi nemde yüksek oranda aktivite gösterdiklerini rapor etmişlerdir. Alkhalifah vd. (2023)'ne göre, 2050 ve 2070 yılı iklim değişikliği senaryolarına göre, önemli bitki patojeni *Fusarium oxysporum* fungal etmeninin yüksek sıcaklığın etkisiyle özellikle Avrupa'daki mevcut ve gelecekteki dağılımları arasında habitat uygunluğu açısından farklılıklara neden olacağı öngörülmektedir. Serrano vd. (2022), İspanya'da Akdeniz iklim tipi ormanlarda ciddi sorun olan *Phytophthora cinnamomi* etmenine, sıcaklık ve yağış faktörlerinin kapsayan farklı iklim değişikliği senaryolarının etkilerini araştırmışlar ve her iki faktör bakımından patojen baskısı yüksek olduğunda önemli düzeyde etkiye neden olduğunu tespit etmişlerdir. Siebold ve von Tiedemann (2012) tarafından Almanya'da yürütülen bir çalışmada, yüksek sıcaklığın kolzanın 5 önemli fungal hastalığının (*Verticillium longisporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Alternaria brassicae*, *Phoma lingam*, *Pyrenopeziza brassicae*) yaşam döngüsüne etkileri araştırılmış ve araştırmacılar ısınmanın bu fungal etmenlerin gelecekteki yaygınlığında değişikliklere yol açabileceğini öngördüklerini bildirmişlerdir. Araştırmada ayrıca bu patojenlerin 2100 yılında daha sıcak koşulları tercih edecekleri tahmin edilmektedir.

Yüksek CO₂ seviyesinin de fungal patojen artışında önemli rol oynadığı yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. Vary vd. (2015), İrlanda'da arttırılmış CO₂ seviyesinin buğdayın önemli fungal hastalıkları olan *Fusarium* başak yanıklığı (*Fusarium graminearum*) ve Septorya Yaprak Lekesi (*Septoria tritici*) etmenlerine etkilerini araştırmışlar ve yüksek CO₂ seviyesinin her iki etmende de hastalık şiddetini arttırdığını tespit etmişlerdir. Watt vd. (2011), tüm Dünya'da çam türlerinde sorun olan çam çıralı kanseri (*Fusarium circinatum*) ve Dothistroma iğne yanıklığı (*Dothistroma septosporum* ve *Dothistroma pini*) etmenleri üzerinde, 2080 yılı iklim değişikliği senaryolarının etkilerini 3 farklı model ve orta ve yüksek CO₂ emisyonları uygulayarak araştırmışlardır. Araştırmacılar, her iki hastalık etmeni için de, dünya çapında gelişimleri için uygun olabilecek alanlarda azalma yaşanacağını öngöröldüğü belirtmişlerdir. Eastburn vd. (2010), ABD'de yükseltilmiş CO₂ ve O₃'ün soyanın en önemli fungal hastalıkları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, yükseltilmiş CO₂'in tek başına ya da O₃ ile birlikte uygulandığında külleme etmeni *Peronospora manshurica*'nın hastalık şiddetini azalttığını, bunun aksine kahverengi leke etmeni *Septoria glycines*'in hastalık şiddetini arttırdığını ve bu hastalıklara verilen tepkilerin önemli ölçüde önemli bulunduğunu belirtmişlerdir. Chitarra vd. (2015), İtalya'da iklim değişikliği simülasyonları ile roka bitkisinde *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* fungal etmeninin hastalık şiddeti seviyelerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, yüksek sıcaklık ve CO₂ seviyelerinin önemli oranda hastalık indeksini etkilediğini ve bu parametrelerin fungal çeşitlilik üzerinde etkili olduklarını rapor etmişlerdir.

Diğer yandan fungusların ortam koşullarına hızlı bir şekilde adapte olabilmesi ile yeni ya da daha virülent ırklar ortaya çıkabilmektedir. Wahdan vd. (2020)'e göre, günümüzden 50-70 yıl sonrasını tahmin eden iklim değişikliği modellemeleri ile buğdayın önemli fungal patojenleri olan *Fusarium graminearum*, *Fusarium tricinctum* ve *Zymoseptoria tritici* etmenlerinin o dönemde de tespit edileceği, ayrıca bu senaryolara göre yeni bitki patojenlerinin de ortaya çıkacağı öngörülmektedir. Nnadi ve Carter (2021) ise iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan yeni fungus türlerini ortaya koymak amacıyla yürüttükleri çalışmada, *Candida auris* türünün tamamen yeni bir tür olarak ortaya çıktığını, *Batrachochytrium dendrobatidis* ve *Cryptococcus deuterogattii* türlerinin önemli düzeyde epidemilere neden olabilecek türlere dönüştüğünü, *Puccinia striiformis* ve *Fusarium graminearum* türlerinin ise yeni virülent ırklarının ortaya çıktığını bildirmişlerdir.

İklim değişikliğinin bitki fungal patojenleri üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik önlemler ve stratejiler

Mevcut modelleme sistemlerinin geliştirilerek çoklu model ya da diğer yaklaşımların da kullanılarak uygulanmasının iyi bir başlangıç noktası olacağı düşünülmektedir. Bitki fungal patojenleri için önerilen yaklaşımların geniş bir yelpazede senaryo ve vaka çalışması yapılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Ekolojik desenleri ve süreçleri, mekansal ve zamansal ölçeklerde birbirine bağlayan diğer yaklaşımlar da test edilmelidir. Patojen gelişiminin kapsamlı araştırılmasının, mevcut ve gelecekteki bitki hastalıkları ile mücadele seçeneklerinin değerlendirilmesi için önemli bir araç olacağı düşünülmektedir. Ayrıca uzun vadeli veri edinme ihtiyacı bulunmaktadır. Sanayileşme sonrası dönemde Antarktika buz çekirdeklerinde sıkışmış atmosferik gaz örnekleri bulunmaktadır ve bu örnekler bitki patojenlerinin DNA'ları da dahil olmak üzere, mükemmel ancak henüz keşfedilmemiş tarihsel bir veri kaynağı içermektedir. Yeni moleküler tekniklerin, bu mikroorganizmaların evrimsel ilişkilerini tanımlamaya ve anlamaya yardımcı olacağı muhtemeldir (Chakraborty 2013).

Sonuç

Tüm dünyada yürütülen çalışmalar göstermektedir ki, iklim değişikliğinin bitki fungal patojenleri üzerinde etkisi son derece önemlidir. Atmosferik faktörler fungal patojenlerin bolluklarında ya da virülensliklerinde çarpıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Sonuç olarak, tüm bu iklim değişikliği faktörleri ve bunların bitki fungal patojenlerine etkileri göz önüne alındığında, ülkemizde de mevcut patojen varlığının ve virülenslik durumlarının da değişebileceği kaçınılmazdır. Ayrıca yeni türlerin ya da ırkların ortaya çıkmış olabileceği de muhtemeldir. İklim değişikliği senaryolarının ülkemizde önemli tarım ürünlerinde verim kaybına neden olan fungal patojenleri üzerinde de uygulanarak, gelecekteki olası epidemi, pandemi ya da farklı olumsuz etkilere karşı önlem alma konusunda bilinçli olmak son derece önemlidir.

Yazar Katkı Oranları

Yazar olarak bu çalışmanın tamamının tarafımdan hazırlandığını beyan ederim.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmanın yazarı olarak herhangi bir çıkar çatışması beyanım bulunmadığını bildiririm.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışmanın yazarı olarak herhangi bir etik kurul onay bilgisi beyanı bulunmadığını bildiririm.

Kaynaklar

- Agrios, G. N. (2004). Plant pathology, 5th edn. Elsevier, London, 922p.
- Alkhalifah, D. H. M., Damra, E., Melhem, M. B., & Hozzein, W. N. (2023). Fungus under a changing climate: modeling the current and future global distribution of *Fusarium oxysporum* using geographical information system data. *Microorganisms*, 11(2), 468. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms11020468>
- Anderson, P. K., Cunningham, A. A., Patel, N. G., Morales, F. J., Epstein, P. R., & Daszak, P. (2004). Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 19, 535–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2004.07.021>
- Anderson, R., Bayer, P. E., & Edwards, D. (2020). Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 197-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2019.12.006>
- Aydoğdu, G. (2020). İklim Değişikliği ve Tarımsal Uygulamalar Etkileşimi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnsan Bilimleri Dergisi*, 1(1), 43 – 61.
- Baştaş, K. K. (2021). Impacts of Climate Changes on Plant-Beneficial Microorganism Interactions. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9, 2594-2603.
- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, (2002). <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/BMIDCS.aspx?sflang=tr> (Erişim: 01.10. 2024).
- Boyer, J.S. (1995). Biochemical and biophysical aspects of water deficits and the predisposition to disease. *Annual Review of Phytopathology*, 33, 251–74. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.py.33.090195.001343>

- Butterworth, M.H., Semenov, M.A., Barnes, A., Moran, D., West, J.S., & Fitt, B.D.L. (2010). North-South divide; contrasting impacts of climate change on crop yields in Scotland and England. *Journal of the Royal Society Interface*, 7, 123-130. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2009.0111>
- Can, A. & Baygüven, B. (2004). Sera Gazları Emisyon Envanteri Çalışma Grubu Taslak Raporu. TÜİK, Çevre İstatistikleri Şubesi, Ankara.
- Chakraborty, S. & Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, 60, 2–14. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>
- Chakraborty, S. (2013). Migrate or evolve: options for plant pathogens under climate change. *Global Change Biology*, 19(7), 1985-2000
- IPCC (2007) Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12205>
- Chitarra, W., Siciliano, I., Ferrocino, I., Gullino, M.L., & Garibaldi, A. (2015). Effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on the disease severity of rocket plants caused by Fusarium wilt under phytotron conditions. *PLoS ONE*, 10(10):e0140769. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0140769>
- Desaint, H., Aoun, N., Deslandes, L., Vailleau, F., Roux, F., & Berthomé, R. (2021). Fight hard or die trying: when plants face pathogens under heat stress. *New Phytologist*, 229(2), 712-734. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.16965>
- Dixon, G. R. (2012). Climate change–impact on crop growth and food production, and plant pathogens. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 34(3), 362-379. <http://dx.doi.org/10.1080/07060661.2012.701233>
- Eastburn, D. M., Degennaro, M. M., Delucia, E. H., Dermody, O., & Mcelrone, A. J. (2010). Elevated atmospheric carbon dioxide and ozone alter soybean diseases at SoyFACE. *Global Change Biology*, 16, 320-330. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01978.x>
- Elad, Y., & Pertot, I. (2014). Climate change impacts on plant pathogens and plant diseases. *Journal of Crop Improvement*, 28, 99-139. <http://dx.doi.org/10.1080/15427528.2014.865412>
- Evans, N., Baierl, A., Semenov, M.A., Gladders, P., & Fitt, B.D.L. (2008). Range and severity of a plant disease increased by global warming. *Journal of Royal Society Interface*, 5, 525-531. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2007.1136>
- Gange, A.C., Ganage, E.G., Spvd.,s, T.H., & Boddy, L. (2007). Rapid and recent changes in fungal fruiting patterns. *Science*, 316 (5821), 71. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1137489>
- Garrett, K. A., Dendy, S. P., Frank, E. E., Rouse, M. N., & Travers, S. E. (2006). Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. *Annual Review Of Phytopathology*, 44, 489-509. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143420>
- Ghini, R., Hamada, E., & Bettiol, W. (2008). Climate change and plant disease. *Scientia Agricola* (Piracicaba, Brazil), 65, 98-107. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000700015>
- Grulke, N. E. (2011). The nexus of host and pathogen phenology: understanding the disease triangle with climate change. *New Phytologist* 189, 8–11. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03568.x>
- Hunjan, M. S., & Lore, J. S. (2020). Climate change: Impact on plant pathogens, diseases, and their management. *Crop Protection Under Changing Climate*, 85-100. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-46111-9_4
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2007). Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. (2008). Climate change and water, Intergovernmental panel on climate change technical report IV.
- Jat, M. K., & Ahir, R. R. (2013). Effect of temperature, relative humidity and pH on mycelial growth and sporulation of *Fusarium solani* causing root rot of Indian Aloe (*Aloe barbadensis* MILL.). *Journal of Plant Science Research*, 29 (2), 181.
- Juroszek, P., Racca, P., Link, S., Farhumand, J., & Kleinhenz, B. (2020). Overview on the review articles published during the past 30 years relating to the potential climate change effects on plant pathogens and crop disease risks. *Plant Pathology*, 69(2), 179-193. <http://dx.doi.org/10.1111/ppa.13119>
- Kaur, G., Singh, H., Maurya, S., Kumar, C., & Kumar, A. (2023). Current scenario of climate change and its impact on plant diseases. *Plant Science Today*, 10(4), 163-171. <http://dx.doi.org/10.14719/pst.2479>
- Klopfenstein, N. B., Kim, M.-S., Hanna, J. W., Richardson, B.A., & Lundquist, J. (2009). Approaches to predicting potential impacts of climate change on forest disease: an example with Armillaria root disease. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, RMRS-RP-76, pp.
- Lodha, S., & Mawar. R. (2020). Population dynamics of *Macrophomina phaseolina* in relation to disease management: A review. *Journal of Phytopathology*, 168, 1–17. <http://dx.doi.org/10.1111/jph.12854>

- Manici, L. M., Bregaglio, S., Fumagalli, D., & Donatelli, M. (2014). Modelling soil borne fungal pathogens of arable crops under climate change. *International Journal of Biometeorology*, 58, 2071-2083. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-014-0808-6>
- McElrone, A.J., Sherald J.L., & Forseth, I.N. (2001). Effects of water stress on symptomatology and growth of *Parthenocissus quinquefolia* infected by *Xylella fastidiosa*. *Plant Disease* 85, 1160-4. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.11.1160>
- Miraglia, M., Marvin, H. J. P., Kleter, G. A., Battilani, P., Brera, C., Coni, E., ... & Vespermann, A. (2009). Climate change and food safety: an emerging issue with special focus on Europe. *Food and Chemical Toxicology*, 47(5), 1009-1021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2009.02.005>
- Nnadi, N. E., & Carter, D. A. (2021). Climate change and the emergence of fungal pathogens. *PLoS Pathogens*, 17(4), e1009503. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.ppat.1009503>
- Pandey, A. K., & Basandrai, A. K. (2021). Will *Macrophomina phaseolina* spread in legumes due to climate change? A critical review of current knowledge. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(1), 9-18. <http://dx.doi.org/10.1007/s41348-020-00374-2>
- Paterson, R. R. M., & Lima, N. (2010). How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International* 43, 1902-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.010>
- Pathak, R., Singh, S. K., Tak, A., & Gehlot, P. (2018). Impact of climate change on host, pathogen and plant disease adaptation regime: a review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 15(3), 529-540. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2658>
- Peng, Z., Liu, Y., Qi, J., Gao, H., Li, X., Tian, Q., ... & Jiao, S. (2023). The climate-driven distribution and response to global change of soil-borne pathogens in agroecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 32(5), 766-779. <http://dx.doi.org/10.1111/geb.13662>
- Rai, A., Irulappan, V., & Senthil-Kumar, M. (2022). Dry root rot of chickpea: a disease favored by drought. *Plant Disease*, 106(2), 346-356. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-07-21-1410-FE>
- Raza, M. M., & Bebbler, D. P. (2022). Climate change and plant pathogens. *Current Opinion in Microbiology*, 70, 102233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mib.2022.102233>
- Rienth, M., Vigneron, N., Walker, R. P., Castellarin, S. D., Sweetman, C., Burbidge, C. A., ... & Darriet, P. (2021). Modifications of grapevine berry composition induced by main viral and fungal pathogens in a climate change scenario. *Frontiers in Plant Science*, 12, 717223. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2021.717223>
- Rosenzweig, C. & Tubiello, F. N. (2007). Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, 855-873. <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-007-9103-8>
- Santini, A., & Ghelardini, L. (2015). Plant pathogen evolution and climate change. *CABI Reviews*, 1-8. <http://dx.doi.org/10.1079/PAVSNNR201510035>
- Serrano, M. S., Romero, M. Á., Homet, P., & Gómez-Aparicio, L. (2022). Climate change impact on the population dynamics of exotic pathogens: The case of the worldwide pathogen *Phytophthora cinnamomi*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 322, 109002. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109002>
- Sharma, M. (2016). Emerging disease scenario in pulses under climate change. *Pulses Challenges and Opportunities under Changing Climatic Scenario*. [Dixit, GP, Singh, J. and Singh, NP (ed.)], ISPRD, Kanpur, Uttar Pradesh, India, 138-146.
- Sharma, M., Mangala, U.N., Krishnamurthy, M., Vadez, V., & Pande, S. (2010). Drought and dry root of chickpea. In: Proceedings of the 5th International Food Legumes Research Conference (IFLRC V) and 7th European Conference on Grain Legumes (AEP VII), Antalya, Turkey.
- Siebold, M., & von Tiedemann, A. (2012). Potential effects of global warming on oilseed rape pathogens in Northern Germany. *Fungal Ecology*, 5, 62-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funeco.2011.04.003>
- Singh, B. K., Delgado-Baquerizo, M., Egidio, E., Guirado, E., Leach, J. E., Liu, H., & Trivedi, P. (2023). Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology*, 21(10), 640-656. <http://dx.doi.org/10.1038/s41579-023-00900-7>
- Tedersoo, L., Bahram, M., Pölme, S., Kõljalg, U., Yorou, N. S., Wijesundera, R., ... & Abarenkov, K. (2014). Global diversity and geography of soil fungi. *Science*, 346(6213), 1256688. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1256688>
- Vary, Z., Mullins, E., McElwain, J. C., & Doohan, F. M. (2015). The severity of wheat diseases increases when plants and pathogens are acclimatized to elevated carbon dioxide. *Global Change Biology*, 21(7), 2661-2669. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12899>
- Wahdan, S. F. M., Hossen, S., Tanunchai, B., Schädler, M., Buscot, F., & Purahong, W. (2020). Future climate significantly alters fungal plant pathogen dynamics during the early phase of wheat litter decomposition. *Microorganisms*, 8, 908. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms8060908>

Watt, M. S., Ganley, R. J., Kriticos, D. J., & Manning, L. K. (2011). Dothistroma needle blight and pitch canker: the current and future potential distribution of two important diseases of Pinus species. *Canadian Journal of Forest Research*, 41, 412–424. <http://dx.doi.org/10.1139/X10-204>