



RİZOSFERDE BİYOÇEŞİTLİLİK KAYBI

BIODIVERSITY LOSS IN THE RHIZOSPHERE

Semra DEMİR

RİZOSFERDE BİYOÇEŞİTLİLİK KAYBI

Semra DEMİR

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Özet

Karasal ekosistemlerdeki çeşitli organizmaların büyük bir kısmı toprak altında bulunur ve ekosistem hizmetlerinde önemli rol oynarlar. Bitki ekosisteminde, rizosfer bölgesi zengin mikrobiyal bileşime sahip bir bölgedir. Tarımsal uygulamalar bütüncül olarak, bitki büyümesini ve hastalıkların bastırılmasını kolaylaştıran rizosfer süreçlerinin daha iyi anlaşılmasını gerektirmektedir. Bundan dolayıdır ki rizosferdeki toprak ve mikroorganizmalar arasındaki karmaşık ilişkiyi incelemek, sağlıklı ve yüksek verimli üretim sistemlerini sürdürmek için önemli bir unsurdur. Bu nedenle rizosfer çeşitliliği, toprağa en yakın ve önemli oranda bitki köklerinden etkilenen, toprakta yaşayan çok sayıda organizmanın anlaşılması ve çözümlenmesi için kullanılan bir terimdir. Rizosfer biyoçeşitliliğinin sürdürülebilir biyokütle üretimini teşvik etmede yadsınamaz bir rolü vardır. Söz konusu işlevlerin yerine getirilmesinde rizosfer biyoçeşitliliği bileşenlerinin (kök ve kök salgısı, mikroorganizmalar) etkisi oldukça önemlidir. Dolayısıyla bu biyoçeşitlilikteki kayıp doğal ve tarımsal ekosistemler için farklı yönlerden olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu derlemede; rizosfer biyoçeşitliliğin bileşenleri, önemi ve rizosferdeki biyoçeşitliliğin kaybında etkin olan faktörler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Toprak, Rizosfer, Biyoçeşitlilik, Bitki, Mikroorganizma, Biyoçeşitlilik kaybı

BIODIVERSITY LOSS IN THE RHIZOSPHERE

Semra DEMİR

Van Yüzüncü Yıl University

Abstract

A large proportion of various organisms in terrestrial ecosystems are found under the soil and play an important role in ecosystem services. In plant ecosystems, the rhizosphere is a region of rich microbial composition. Agricultural practices holistically require a better understanding of rhizosphere processes that facilitate plant growth and disease suppression. Studying the complex relationship between soil and microorganisms in the rhizosphere is therefore integral to maintaining healthy and highly productive production systems. For this reason, rhizosphere diversity is a term used to understand and analyse the large number of soil-dwelling organisms closest to the soil and significantly influenced by plant roots. Rhizosphere biodiversity has an undeniable role in promoting sustainable biomass production. The influence of the components of rhizosphere biodiversity (root and root secretion microorganisms) is crucial in the fulfilment of these functions. Therefore, the loss of this biodiversity causes negativities in different aspects for natural and agricultural ecosystems. In this review; the components and importance of rhizosphere biodiversity, and the factors that are effective in the loss of rhizosphere biodiversity are evaluated.

Keywords

Soil, Rhizosphere, Biodiversity, Plant, Microorganism, Biodiversity loss

Rizosferdeki temel etken karbon döngüsüdür. Bu bakımdan bitki köklerinden sızan veya salınan kök salgıları çok önemli bir enerji kaynağı oluşturmaktadır (Andrade & Linderman, 1998; Lugtenberg & Dekkers, 1999; Barea vd., 2002). Kök salgıları; yüksek ve düşük molekül ağırlığına sahip yapılardan oluşurlar. Müsilaj ve ektoenzimler yüksek molekül ağırlığına sahip, organik asitler, şekerler, fenolikler ve amino asitler (fitosidereforları da içerirler) düşük molekül ağırlığına sahip en önemli kök salgı komponentleridir (Marschner ve Dell, 1994). Bu yapılar mikroorganizmalar için bir enerji kaynağı oldukları gibi uyarıcı veya engelleyici de olabilirler. Bu etkiler sonucu kök çevresinde mikroorganizma popülasyonu artmaktadır. Buna bağlı olarak artan mikroorganizma faaliyeti ile, toprakta bulunan organik ve inorganik maddelerin, bitkinin kullanabileceği forma dönüşmesi sağlanmış olur. Bu karşılıklı etkileşimler sonucu toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı da doğal olarak değişmektedir.

Rizosfer mikroorganizmaları kök ortamını çeşitli şekillerde etkileyebilirler. Oksidasyon-redüksiyon potansiyelini değiştirebilir, nem ve besin maddelerinin kullanılabilirliğini etkileyebilir, kök eksudasyonları büyümeyi engelleyici veya büyümeyi teşvik edici özellikte olabilirler, rekabet sağlayabilir ve daha birçok etkiye neden olabilirler (Singh & Mukerji, 2006).

Yukarıda belirtilen etkinliklerin (faaliyetler ve değişimler) toplamı olan ve kendine has karakterler oluşturan Rizosfer, bu özellikleri ile toprağın en aktif kısmını oluşturur ve toprağın geri kalan kısımlarından büyük farklılıklar gösterir. Bunun yanı sıra rizosferik etki; bitki sağlığı, verimliliği ve toprak kalitesi üzerine kompleks bir yapı içinde birçok şekilde etkide bulunur. Rizosferdeki mikroorganizmalar bitki gelişimini engelleyebilir, teşvik edebilir veya etkisiz kalabilir. Bu durum, mikroorganizmanın tipine, bitkinin türüne ve çevresel durumlara bağlı olarak değişim gösterir (Lugtenberg & Dekkers, 1999; Barea vd., 2002 ; Whipps, 2002).

Bu derlemede, rizosferdeki biyoçeşitlilik, biyoçeşitliliğin azalmasına neden olan faktörler ve bu faktörlerin tarıma nasıl yansdığı özetlenmeye çalışılmıştır.

2. RİZOSFER BİYOÇEŞİTLİLİĞİNİN ANA BİLEŞENLERİ

2.1. Kök Salgıları

Kök salgılarının varlığı rizosfer toprağının fiziksel ve kimyasal özelliklerini önemli ölçüde etkiler (Hinsinger vd., 2005; Bais vd., 2006). Bitkiler tarafından toprağa salınan kök salgıları rizosfer ortamını aktif bir şekilde düzenleyerek rizosferi karasal ekosistemlerdeki

en dinamik ve canlı ara yüzlerden biri ve bitki-toprak-mikroorganizma etkileşimleri ve materyal döngüsü için sıcak bir nokta haline getirir (Hinsinger vd., 2005). Bu da karasal ekosistemlerde de materyal döngüsünde önemli bir rol oynar. Toprak su, hava, mineraller, organik madde ve canlı organizmaların bir karışımı olduğundan, kök ve toprak arasındaki ara yüzeyde bulunan kök salgıları, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra toprakta bulunan mikroorganizmalar ve bitkiler üzerinde de birincil etkiye sahip olmaktadır (Ma vd., 2022).

Bitkiler topraktaki besin maddesi eksikliğine kök morfolojisini değiştirerek, bazı toprak mikroorganizmalarının yardımını alarak ve rizosfer bölgesinin kimyasal yapısını değiştirerek yanıt verirler. Kök salgılarının içerdiği bileşenler, rizosferdeki redoks koşullarını asitleştirerek veya değiştirerek ya da doğrudan besinle şelat oluşturarak bitkilerin besin maddelerine erişmesine yardımcı olurlar. Bu kök salgıları, çözünmeyen mineral fazların çözünmesi veya kil minerallerinden veya organik maddeden desorpsiyon yoluyla besin maddelerini serbest bırakabilir, bunlar toprak çözeltisine salınır ve daha sonra bitki tarafından alınabilir forma dönüşebilir (Bashir vd., 2016).

Bitki kök salgıları bir yandan yeni toprak agregatlarının oluşumunu ve stabilizasyonunu teşvik ederken, diğer yandan da eski agregatların yıkımına da neden olabilen agregatların dönüşümünü hızlandırır. Kök salgıları ayrıca, bitki-mikroorganizma ve bitki-bitki etkileşimine de aracılık eder.

Bitki türleri, büyüme evresi, çevresel faktörler ve mikroorganizmalar kök salgılarının bileşimini, miktarını ve üretim mekanizmasını belirleyen temel faktörlerdir. Bu nedenle, kök salgıları toprak fiziko kimyasal özellikleri, bitki besin maddesi alımı, dönüşümü ve kullanımı, allelopati ve çevresel stresin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Ma vd., 2022).

2.2. Mikroorganizmalar

Rizosfer, bitkinin toprak mikroorganizmaları üzerindeki etkileri ile mikroorganizmaların bitki üzerindeki etkilerinin etkileşim içinde olduğu ve birbirine bağlı olduğu çok karmaşık bir ortamdır. Bitki kök salgıları ve parçalanma ürünleri mikroorganizmaları çeker ve onların besin ihtiyacını karşılar, karşılığında bitkiler de mikroorganizmalardan faydalanırlar. Mikroorganizmalar ve bitki kökleri arasındaki etkileşimler, bitkinin beslenme gereksinimleri için gereklidir. Bitki büyümesi, gelişimi ve üretkenliği büyük ölçüde kök

bölgesi rizosferindeki toprak ortamına bağlıdır. Bunun yanı sıra toprak ve iklim özellikleri mikrobiyal topluluk kompozisyonu, çeşitliliği ve metabolik potansiyeli üzerinde önemli etkiye sahiptirler (Dlamini vd., 2022).

Mikroorganizmalar ekosistemin işleyişinde ve sürdürülebilirliğinde önemli etkenlerdir. Toprakta yaşayan organizmaların çeşitliliği son derece fazladır ve rolleri de aynı şekilde çeşitlidir (Uzoh & Babalola, 2018). Sürdürülebilir ve artan ürün verimine yönelik son talep, toprakta yaşayan mikropların incelenmesini yeniden canlandırmıştır (Hawkes vd., 2007). Rizosfer, bitkiler ve toprak dahil çevreleri arasındaki materyal alışverişini sürdüren önemli bir niş alanıdır. Bu alışverişte birçok organizma yer alır ve bu da bitkiler ile hem topraktaki hem de bitkideki destekleyici ve patojen mikroplar arasında sayısız etkileşime neden olur (Iiehon & Babalola, 2017; Uzoh & Babalola, 2018).

Mikroorganizmaların abiyotik ve biyotik etkilere karşı verdikleri hızlı tepki, onların toprak verimliliği ve kalitesinin belirlenmesinde işaretçi görevi üstlenmelerini sağlamaktadır (Enagbonma vd., 2020).

Bitkinin rizosfer bölgesi, kök sisteminin fitopatojenlere karşı direncine dayanan mikrobiyal aktivitenin bir nişidir. Bu bölge, bitki sağlığına hem doğrudan hem de dolaylı olarak çeşitli faydalar sağlar (Gupta vd., 2019). Toprak mikroorganizmalarının, bitkinin gelişimini etkileyen azot döngüsü, organik madde ayrışması ve mineral ayrışması gibi besin döngüsü süreçlerine aktif katılımları yoluyla bitkiler için birincil besin rezervuarı görevi gördüğü kabul edilmektedir (Jilling vd., 2018). Bu nedenle, bitki kökleri ve mikroorganizma etkileşimleri, bitkilerin ekosistemin işleyişine katılımı için kritik öneme sahiptir. Değişen ortamlara karşı ekosistem tepkilerini anlamak, mikrobiyal çeşitlilik dağılımı ve işlevleri hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirir (Dlamini vd., 2022). Ayrıca, kök salgıları, mikrobiyal topluluğun faaliyetlerini güçlendirebilen ve bitki türüne ve genotipine bağlı olarak rizosferik mikrobiyal topluluğun yapısını önemli ölçüde değiştirebilen amino asitler, karbonhidratlar, sideroforlar ve enzimler dahil olmak üzere çok çeşitli kimyasallar içerir (Wei vd., 2017).

Rizosfer bölgesinde bulunan birçok mikroorganizma, doğrudan veya dolaylı yollarla bitkilerin büyüme ve gelişmesine aracılık ederler. Bu mikroorganizmaların içerisinde bulunan bitki gelişimini destekleyen funguslar (PGPF) ve bitki gelişimini teşvik eden bakteriler (PGPB) bitkiyi patojen saldırılarına karşı korurlar. PGPF ve PGPB bitkilerin

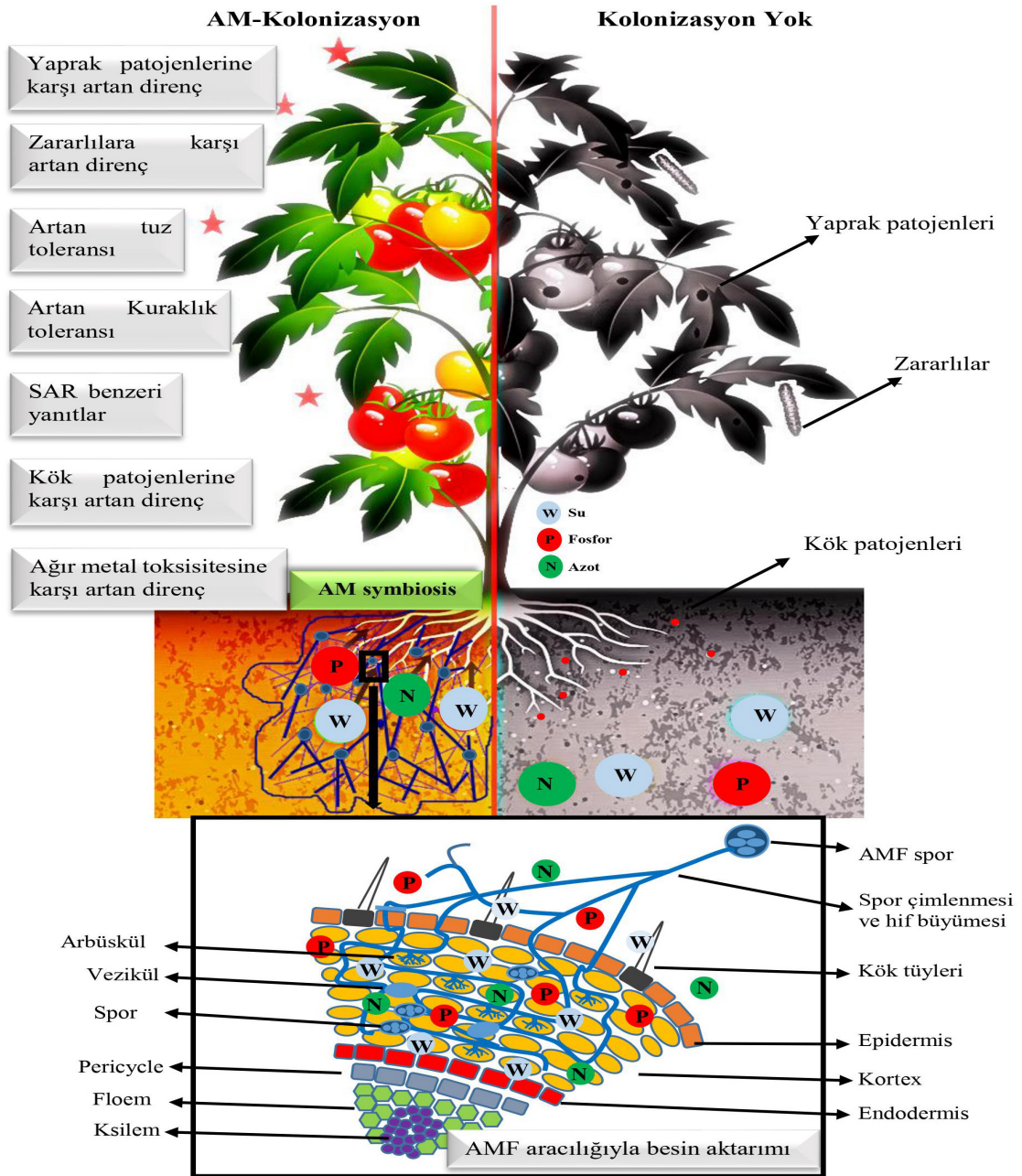
mekanik dokusunu (hücre duvarı, kallus ve lignin birikimi) güçlendirerek fitopatojenlerin girişini önlemektedirler. Bunun sonucunda sistemik direnç yol açan savunma ile ilgili reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini uyarmaktadır (Chakraborty vd., 2019).

Rizosfer sıklıkla saprofit mikroorganizmaların faaliyetini artırdığı bir alan olmasına rağmen, özel simbiyotik gruplarının seçimini de sağlayabilir (örneğin; mutualistik simbiyotiklerden Rhizobiumlar ile legüminase bitkileri ya da mikorhizal funguslar ve konukçu bitkileri. Bununla birlikte bitki kökleri ve patojenleri arasındaki antagonistik ilişki sonucu hastalığın oluşması da bu kapsam içinde yer alır (Whipps, 2001).

2.2.1. Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF)

Kök fungusu anlamına gelen mikorhizal funguslar karasal bitkiler ile yaygın bir şekilde simbiyotik yaşam sürdürmektedirler. Bu simbiyotik yaşam mikorhizal funguslarının sporları ve hifleri ile bitkinin köklerine yönelmesi ile başlar. Mikorhizal simbiyozis ektomikorhiza ve endomikorhiza olarak iki gruba ayrılır. Ektomikorhiza grubuna ait fungusların hifleri bitkinin kök yüzeyini, hücreler arasına yerleşmek suretiyle sararak mantoya benzer bir yapıda misellerden oluşan bir tabaka meydana getirirler. Bu simbiozis başta orman ağaçları olmak üzere bazı meyve ağaçlarında da görülmektedir. Endomikoriza grubuna ait funguslarda ise, hiflerin bir kısmı bitkinin kök yüzeyinden hücreler içine girerek ağaca benzer dallanmalar gösterirken, diğer kalan kısmı ise kökün toprakla temas eden yüzeyinde hifsel ağ meydana getirmesi suretiyle oluşur. Bu şekilde oluşan simbiozis ise ektomikorizanın aksine, birçok kültür bitkilerinde ve meyve ağaçlarında görülmektedir. Bununla birlikte mikoriza üzerine yapılan araştırmalar, endomikoriza yaşam şekilleri içerisinde yer alan ve özellikle de bitkiye sağladıkları olumlu katkılarından dolayı Arbusküler Mikorizal (AM) oluşumuna odaklanmıştır (Demir, 1998).

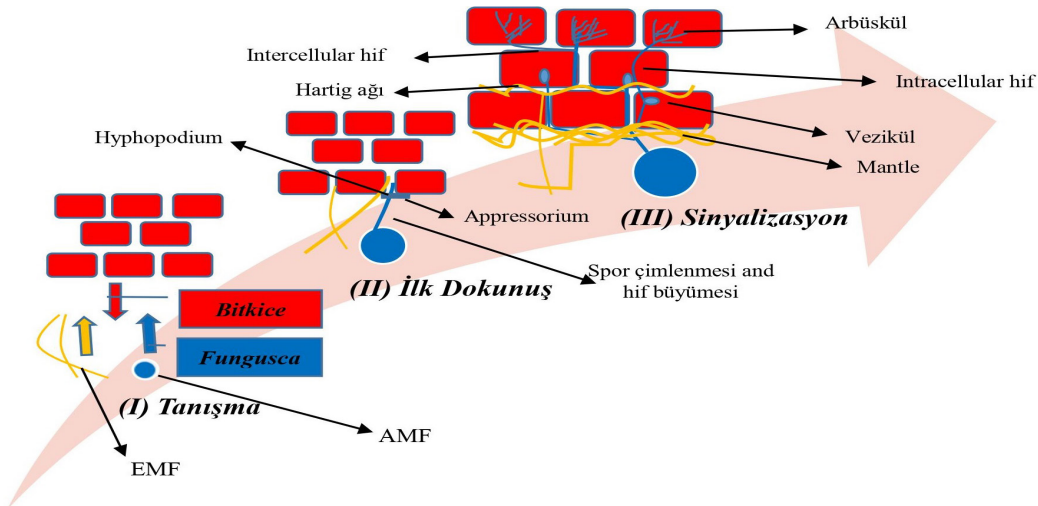
AMF ve simbiozis oluşturdıkları bitkiler, belirli koşullar altında birbirlerinden fayda sağlamaktadırlar. Rizosfer bölgesinde yaygınca bulunan AMF, özellikle de bitki besin maddeleri bakımından fakir olan marjinal topraklarda bitkilerin gelişimi için oldukça önemli katkı sağlar ve bazı mikro ve makro besin maddelerinin yanı sıra özellikle de fosfor alımında önemli rol alır. Buna karşın AMF ise, bitkinin ürettiği karbonhidratlardan ve bazı organik maddelerden faydalanmaktadır (Demir & Akköprü, 2007; Smith & Read, 2008). Bitki ile mikorhizal fungus arasındaki simbiyotik ilişki sonucunda konukçu bitkinin köklerinde morfolojik ve fizyolojik değişiklikler meydana gelir. Böylece kök salgılarının kalite ve kantitesinde ve kök çevresindeki fiziksel yapıda değişikliklere neden olurlar (Şekil 2) (Manteghi vd., 2022).



Şekil 2. Arbusküler mikorizal funguslar (AMF) ile konukçu bitki arasındaki etkileşimin ve işlevlerinin şematik gösterimi (Manteghi vd., 2022).

Bu arada fungus, kendi işlev ve hayatietini sürdürebilmek için konukçusundan aldığı asimilasyon ürünlerinin bir kısmını eksüdatları yardımı ile toprağa kazandırır. Salınan eksüdatlar toprak mikroorganizmaları için karbon kaynağı görevi yaparlar. Bu etkilerin sonucu olarak, konukçu bitkilerin rizosferindeki mikrobial populasyonun kalite ve kantitesini etkileyerek değişikliğe uğrayan rizosfer alanına Mikorizosfer denir. Mikorizosferde, AMF'ların miselyumlarının mikro çevresinde de spesifik değişiklikler meydana getirdikleri bilinmektedir, sebep oldukları bu etkiye ise Hifosfer denir. Mikorizosfer etki, toprak pH'sını, nemini, fiziksel yapılarını, besin ve organik materyal içeriğini etkilediği gibi diğer toprak mikroorganizmalarını da direkt veya dolaylı olarak etkiler (Akköprü & Demir, 2005).

Mikorhizal funguslar yukarıda bahsedilen madde akışına önemli ölçüde katkıda bulunur (Smith & Read, 2008). Bu miselyumlar morfolojik olarak oldukça büyüktür; tipik olarak fungus türleri ve konukçu bitkiler arasında dağılarak mikorhizal ağlar oluştururlar. Mikorizal ağlar, birden fazla fungus türünün tek bir konukçu bitkide kolonize olduğu, fungusun birkaç konukçu bitki türüyle etkileşime girdiği ve bitkileri birbirine bağladığı karmaşık ağlardır (Boyno & Demir, 2022). Besin maddelerinin (karbon, fosfat, azot veya mikro besinler), suyun, stres hormonlarının ve allelo kimyasalların uzun mesafeli hareketinin yanı sıra aynı veya farklı bitki türlerine ve gelişim aşamalarına sahip bitkilerin birbirine bağlanması bu ağlar tarafından kolaylaştırılmaktadır. Bitki-mikorizal fungus ve mikorizal ağlar aracılığıyla bitkiler arası iletişimde kaynakların ve sinyal moleküllerinin değişimini/akışını incelemek, doğanın dili hakkında bilgi edinmemizi sağlar (Şekil 3). Karasal bitkilerin büyük çoğunluğu, evrimsel konumlarından bağımsız olarak mikorizal simbiyozu sürdürür ve bu da korunmuş bir iletişim mekanizmasının varlığına işaret eder (Moscatiello vd., 2014). Bitki ve mikoriza arasındaki "bitkimsi" veya "fungusumsu" iletişim tam olarak bilinmese de, kullandıkları ortak dil "simbiyotik" olarak tanımlanabilir. Simbiyotik ortaklar bu dil sayesinde "tanışır"; bir anlaşma yapılırsa, fungus "ilk dokunuş" gerçekleştirir (Boyno & Demir, 2022).



Şekil 3. Bitkiler ve mikorizal funguslar arasındaki iletişim süreci (Boyno & Demir, 2022).

“Kablolu iletişime” benzeyen mikorizal ağlar, bitkiler arasında iletişim kurmak için kullanılır. Topraktaki bitki köklerinin birbirleriyle rekabet ettiği bilinmesine rağmen, araştırmalar stres altında komşu bitkilerin mikorizal ağlar aracılığıyla önemli kaynakları paylaştığını göstermektedir. Bitkiler, mikorizal ağ üzerinden bilgi akışı sayesinde komşularıyla bağlantı kurabilir, hızla değişen çevreye uyum sağlayabilir ve harekete geçebilir (Boyno & Demir, 2022).

2.2.1.1. Mikorizosferde besin döngüsü

Tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve verimliliği için temel bir konu olan besin maddelerinin devir ve geri dönüşümünün optimize edilmesi, mikroorganizma popülasyonların bulunduğu bitki-toprak etkileşimlerinin işlevselliğine bağlıdır. Kök-toprak ara yüzlerinde, rizosferde veya bitki ile ilişkili olarak toprakta yaşayan hem mutualistik simbiyontlar hem de saprofitik mikroorganizmalar, besin döngüsünün, temel ve fonksiyonel güçleri olarak kabul edilmektedir. Mutualistik simbiyontlar arasında, arbusküler mikorizal funguslar (AMF) topraktaki biyolojik çeşitliliğinin en etkili gruplarından biridir çünkü birçok bitki ile AMF arasında mikorhizal yaşam kurulduktan sonra bitkinin besin alım özellikleri gelişmektedir. Saprofitik mikroorganizmalar, bitki verimliliğinin sürdürülmesi için iki temel süreç olan azot (N) fiksasyonu ve/veya fosfor (P) mobilizasyonunu teşvik etme yetenekleriyle öne çıkmaktadırlar. Yukarıda da ifade edildiği üzere mikorhizal simbiyozis rizosferin biyolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek mikorizosfer olarak adlandırılan yapıyı geliştirir. Mikorizosfer bölgesi azot fiksasyonu yapan rizobiyal bakterilerle simbiyozu da içerdiği için bu bölge baklagil bitkileri açısından da önemlidir (Azcón-Aguilar & Barea, 2015).

Rizosfer bölgesinin önemli bileşenleri arasında yer alan PGPR’lar azot fiksasyonu ve fosfor mobilizasyonu dahil olmak üzere besin döngüsü ve bitki patojenlerinin biyolojik kontrolü gibi bitki yararına birçok faaliyette yer almaktadırlar (Martínez-Viveros vd., 2010). Bu nedenle N₂ bağlayan rizobiyum bakterileri ve AMF besin döngüsüyle ilgili faydalı bitki simbiyontlarının en önemli temsilcileridir (Akköprü & Demir, 2005). AMF’ların bitki köklerini kolonizasyonu, başta kök salgıları olmak üzere bitkinin çeşitli fizyolojik özelliklerini değiştirir. Bu da rizosferin biyolojik ve kimyasal özelliklerini değiştirir. Sonuç olarak, AMF simbiyozunun kurulması, mikroorganizma topluluklarının yapısını ve çeşitliliğini sadece rizosferde değil, aynı zamanda rizosferin dışındaki diğer toprak mikrohabitatlarında da etkiler. Ayrıca AMF, azot fikse eden rizobiyum bakterileri diğer faydalı saprofitik mikroorganizma-bitki etkileşimlerini de etkileyerek bitki gelişiminin ve sağlığının sürdürülebilirliğinin yanı sıra toprak kalitesinin iyileştirilmesinde de önemli rol oynamaktadır (Barea vd., 2013).

2.2.2. Kök Bakterileri (KB)

Rizosferin en önemli bileşenlerinden biri olan kök bakterilerinin doğal habitatları genellikle topraktır, fakat özellikle rizosfer ve organik materyaller üzerinde daha yoğun olarak bulunurlar. Bitki hastalıklarının biyolojik savaşımında etkin rol üstlenen kök bakterileri geniş bir besin yelpazesine sahiptirler ve birçok kök eksudat komponentini besin kaynağı olarak kullanabilirler. Adaptasyon özellikleri yüksektir. Besini hızlı alır ve hızlı bir şekilde kullanırlar. Agresiv bir kolonizasyon yeteneğine sahiptirler. Özel kolonizasyon yetenekleri ile rizosferde bulunan diğer bakterilere göre daha hızlı gelişirler. Bu gibi özellikleri kök bakterileri (KB)'nin biyolojik savaş ajanı olarak seçilmelerinde belirleyici kriterler olarak kullanılır (Sood, 2003; Akköprü & Demir, 2005).

Yukarıda bahsedilen özellikleri ile iyi bir biyolojik savaş elemanı olan KB'ler, toprak kökenli bitki patojenlerine karşı konukçusunu koruyabilme yeteneğine sahiptir. Bu etkinlik alanları tam olarak açıklığa kavuşmasa da olası bazı mekanizmalar ortaya konabilmiştir:

Antibiyosis; bir mikroorganizmanın, başka bir mikroorganizma tarafından üretilen metabolitler ile engellenmesi ya da yıkıma uğratılmasına denir (Bora vd., 2004). Biyolojik savaş elemanı bakteriler çeşitli enzim ve metabolitler içeren antifungal komponentler üretirler. Kök bakterileri ise birçok ikincil metabolit üretme yeteneğine sahiptir örneğin; lipidler ve ilişkili komponentleri, pseudomonic asit, phenazine, pyrrolnitrin, peptitler, amino asitler, enzimler ve Floresant pigmentler (Chin-A-Woeng vd., 2000; Akköprü & Demir, 2005).

Rekabet; konukçu bitki rizosferinde bitki patojeni mikroorganizmalar ile biyolojik savaş elemanı kök bakterileri arasında sınırlı olan yer ve besin için rekabet oluşabilir. Rizosfer *yüzeyinde kolonizasyon için uygun yerler, özellikle epidermal hücrelerin kesiştikleri bölgeler, için rekabet halinde tespit edilmiş fakat KB'lerin agresif kolonizasyon yeteneği ile üstünlük sağlayabildikleri* belirtilmiştir (Chin-A-Woeng vd., 2000; Lagopodi vd., 2002).

KB'ler ihtiyaç duydukları besini bulundukları uygun yer ve güçlü rekabet yetenekleri ile elde ederler ve besin rekabetinde avantajlıdırlar. Karbon, nitrojen ve demir gibi ihtiyaç duydukları besinler için rekabetleri, fungal patojenlerin toprak propagüllerinin çimlenme ve gelişme yeteneklerini azaltarak, genel biyokontrol özelliği gösterebilir (Akköprü & Demir, 2005).

Dayanıklılık sistemlerinin uyarılması; bitkilerin patojenlere karşı sahip oldukları savunma mekanizmaları, spesifik bir uyarıcı tarafından tetiklenmesi ile aktive olurlar. Patojen olmayan kök bakterilerinin bazı strainleri, bitkide Uyarılmış Sistemik Dayanıklılık (ISR= Induced Systemic Resistance) adı verilen bir dayanıklılığın ortaya çıkmasına neden olur.

PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria)'ların konukçu bitki fizyolojisi üzerindeki bu etkisi sonucu, konukçu savunması ile ilişkili kompanantların üretimini arttırabilir. Bitkideki jasmonik asit ve etilen uyarılması ile NPR1 geninin aktivasyonu sonucu ISR'nin oluştuğu belirlenmiştir (Kloepper vd., 1993). Uyarılmış dayanıklılık her zaman sistemik olarak meydana gelmez, Lokal Kazanılmış Dayanıklılık (LAR= Local Acquired Resistance) ise sadece uyarılan dokularda ortaya çıkan dayanıklılık tipidir. Uyarılmış dayanıklılık, bazı kimyasallar, avirulent patojen ırkları, non-patojenler tarafından ya da çevre koşulları yolu ile enfeksiyon durdurulduğu durumlarda virulent patojenler tarafından başlatılıyorsa Sistemik Kazanılmış Dayanıklılık (SAR= Systemic Acquired Resistance) diye adlandırılır. SAR'da salisilik asit ve hastalık oluşumu ile ilgili proteinler (PR= Pathogenesis Related)'in birikmesi karakteristiktir (Bora vd., 2004). Bitkideki bu dayanıklılık mekanizmalarının aktivasyonu sonucu pek çok fungal, bakteriyel ve viral etmene karşı etkinlik saptanmıştır. Bu mekanizmaları uyarda kök bakterileri önemli bir yere sahiptirler.

Bitki Gelişimini Uyarma (PGPR) Etkisi; bazı kök bakterileri aynı zamanda bitki gelişimini uyaran ve hastalıklara dayanıklılık sağlayan PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) grubu içinde de yer alırlar. PGPR'lar bitki gelişimini düzenler ve bitki patojenlerinin biyolojik kontrolünü sağlayabilirler. Bunu direkt olarak bitki hormonlarının üreterek veya birikimini sağlayarak ya da dolaylı olarak, farklı kompostları sentezlemek yoluyla patojenleri engelleyerek bitki gelişimini uyarabilirler (Kloepper, 2003; Hassan vd., 2019).

Rizosferde bilinen kök patojenlerinin dışında, gözle görülür bir semptomu sebep olmayan fakat bitki gelişimini engelleyen ve zararlı mikroorganizmalar (deleterious rhizobacteria-DRB) diye adlandırılan rizosfer üyeleri de mevcuttur. Kök bakterileri çeşitli antagonistik etkileri (kolonizasyon yetenekleri, antibiyosis, rekabet) ile DRB'leri baskı altına alarak bitki gelişimini teşvik ederler (Akköprü & Demir, 2005).

2.2.3. PGPF (Plant Growth Promoting Fungi) Mikroorganizmalar

Son yıllarda tarımsal ekosistemlerde önemli yer tutan yeni ve yerleşik uygulamalar tarım ürünlerinin verimini arttırmaktadır. Bununla beraber özellikle konvansiyonel tarımın kurgusu çevre üzerinde yıkıcı bir etki yaratmaktadır. Günümüzde modern tarımın karşı karşıya olduğu en önemli zorluk, verim, kalite ve kantite artışını çevre dostu anlayışa paralel bir şekilde sağlamak kaygısından ileri gelmektedir. Bu kaygı, çevre dostu çözümler bulma konusunda hızlı hareket edilmesini gerektirmektedir (Adedoya & Babalola, 2023).

Çeşitli kültür bitkilerinin rizosfer topraklarında yaşayan bitki büyümesini teşvik eden funguslar (PGPF), bitki hastalıklarını engellemede etkili ve ekoloji dostu mikroorganizma gruplarından biridir. Bu mikroorganizmaların bitkilerde savunma mekanizmalarını ve büyümeyi geliştirdikleri bilinmektedir. PGPF uygulamaları bitkisel üretim alanlarındaki

tarımsal alanlarda kullanılan kimyasalların kullanımını baskılar ve aynı şekilde bitkileri biyotik ve abiyotik streslerden korur. *Trichoderma Gliocladium, Penicillium, Phoma, Phytophthora, Talaromyces*, önemli PGPF cinsleri arasındadır. PGPF bitkilerde; patojen mikroorganizmalar ile yer ve besin rekabetine girerek, onlara karşı antagonistik veya biyokontrol etkisi göstererek, büyüme hormonu üreterek, mineral madde çözünürlüğünü artırarak ve bitkilerde uyarılmış sistemik direnç (ISR) oluşturarak dolaylı veya direkt yollardan bitkiye katkı sağlarlar (Malgioglio vd., 2022; Adedoya & Babalola, 2023).

***Trichoderma* spp.**

Trichoderma türleri, dünya'nın her tarafında geniş bir şekilde yayılmış olup, hemen hemen tüm toprak ve doğal habitatlarda bulunur ve rizosfer mikrobiyal çeşitliliğinde önemli yer tutan PGPF grubu mikroorganizmaların başında gelmektedir (Aydın, 2015; Zin & Badaluddin, 2020). *Trichoderma* spp. bitki patojeni mikroorganizmaların büyümesini önemli ölçüde baskılayarak bitki büyüme oranını düzenlemektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar kök çürüklüğü, çökerten, solgunluk, meyve çürüklüğü gibi yaygın bitki hastalıklarının *Trichoderma* spp. tarafından kontrol edilebileceğini göstermiştir (Benítez vd., 2004; El Komy vd., 2015). *Trichoderma* spp. tarafından salgılanan ikincil metabolitler, patojen mikroorganizmaların büyümesini baskılayarak bitki büyümesini teşvik etmede rol oynamaktadır (Contreras-Cornejo vd., 2016). Söz konusu hastalıkların baskılanmasında antibiyotikler, mikoparazitizm, besin maddeleri için rekabet ve bitkilerde sistemik direncin uyarılması mekanizmalarının etkin olduğu bilinmektedir. Ayrıca, bitki ve *Trichoderma* spp. arasındaki etkileşim kök mimarisini başarılı bir şekilde düzenleyerek, yan ve birincil kök uzunluğunu artırmaya bunu takiben de bitki tarafından daha fazla besin alımına etki etmektedir (Zin & Badaluddin, 2020).

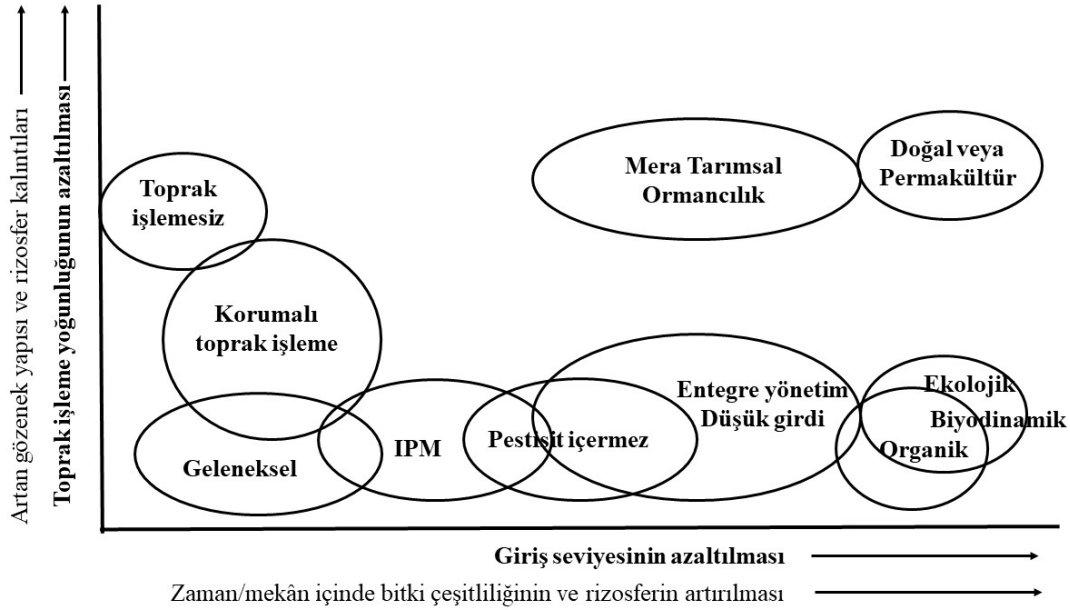
Trichoderma spp. hastalıkların azaltılması ve bitki gelişiminin iyileştirilmesindeki rolünün yanı sıra atık/organik maddelerin ayrıştırılmasında ve kirli alanların detoksifikasyonunda da (biyoremediasyon) kullanılmaktadır (Ahlawat vd., 2010; Didwania vd., 2019).

3. RİZOSFER BİYOÇEŞİTLİLİĞİNİN AZALMASINA NEDEN OLAN FAKTÖRLER

Rizosfer biyoçeşitliliği, toprak sağlığının korunmasında ve tarımsal verimliliğin desteklenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, çeşitli faktörler rizosfer biyoçeşitliliğinin azalmasına neden olabilir ve bu azalmaların tarım üzerinde önemli etkileri olabilir.

3.1. Tarımsal Uygulamalar

Yoğun tarımsal faaliyetlerin toprak biyoçeşitliliğinin kaybına yol açtığı bildirilmekte ve çevresel bozulmanın kaynağı olarak gösterilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Tarımsal yönetim yoğunluğundaki varyasyon ve rizosferdeki sonuçları (Drinkwater & Snapp, 2007).

Geleneksel tarım uygulamaları; istenmeyen bitki örtüsünün yangınlar, toprak işleme ve sürme yoluyla ortadan kaldırılması; bilinçsiz ve orantısız herbisit, gübre ve pestisit kullanımı ve bu uygulamaların son yarım yüzyılda yoğunlaşması, en önemli çevresel tehditlerden biri olan biyolojik çeşitliliğin büyük ölçüde kaybına yol açmıştır (Barros-Rodríguez vd., 2021). Söz konusu kayıplar toprak ekosisteminin en önemli kısmını temsil eden rizosferde de kendini göstermiştir.

3.1.1. Monokültür Tarım

Aynı ürünün aynı toprağa tekrar tekrar ekilmesi, belirli besin maddelerinin tükenmesine ve rizosfer mikrobiyomunda dengesizliğe yol açarak biyoçeşitliliği azaltabilir. Monokültür bir ürün saldırılara karşı savunmasızdır, çünkü bir tarlaya giren zararlı ve/veya patojenlerden biri (veya bir çifti), arada hiçbir taşıma mesafesi olmadan sürekli yüksek bir besin konsantrasyonuna sahip olacaktır (Andrén & Kätterer, 2008). Bitki türlerinin çeşitliliği sonradan yetişen bitki türlerinin rizosferlerinde bir araya gelen toprak mikroorganizmalarının çeşitliliğini artıran bir miras bırakmaktadır. Dolayısı ile monokültür bitkiler ve toprak mikrobiyal toplulukları tarlada uzun süre birlikte geliştiğinde, daha sonra yetiştirilen bitkilerle ilişkili rizosfer mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği ve bileşiminin farklılaşabileceği ifade edilmektedir (Schmid vd., 2019; Cappelli vd., 2022).

3.1.2. Yoğun Toprak İşleme

Agresif toprak işleme uygulamaları toprağın fiziksel yapısını bozar, mikrobiyal toplulukları rahatsız eder ve onları olumsuz koşullara maruz bırakarak biyoçeşitliliğin azalmasına neden olur.

Yabancı otları ve diğer istenmeyen bitkileri ortadan kaldırmak ve ekim alanında tohum yatağı hazırlamak için toprağın yüzey katmanlarının alt üst edilmesi yaygın bir tarımsal uygulamadır. Her iki uygulama da toprağın havalandırılmasına ve gübre eklendiğinde karıştırılmasına katkıda bulunan toprak işleme veya sürme ile gerçekleştirilir. Ancak, toprak işleme ve çift sürme toprağın biyolojik ve kimyasal özelliklerini değiştirerek toprak nemini ve organik madde içeriğini azaltır ve toprak mikroorganizmalarının popülasyonunu olumsuz etkiler (Drinkwater & Snapp, 2007; Barros-Rodríguez vd., 2021).

3.1.3. Sulama

Sulama sistemleri ekosistemleri sellere benzer bir şekilde değiştirir, ancak sulamanın bitkiler üzerindeki etkileri, suyun bitkileri örtmesini engelleyen oluklar veya sırtlar kullanılarak hafifletilmiştir. Kurak ve yarı kurak bölgeler gibi yağmur suyunun tarım için yetersiz olduğu bölgeler sulama sistemlerine bağlıdır ve bunların toprak mikrobiyotası üzerinde önemli bir etkisi vardır. Sürekli ve düzensiz sulama toprakta besin maddelerinin kaybına neden olduğu ve depolanan karbonun %16'sının $\text{NH}_4\text{-N}$ 'nin ise yaklaşık olarak üçte birinin topraktan kayıp olduğu ifade edilmektedir. Toprağın özellikle rizosfer bölgesinin besin içeriğindeki bu değişiklikler mikrobiyal (bakteri ve fungus) topluluğu da etkilemektedir. Besin maddesi azalmasına rağmen, mikrobiyal zenginlik ve çeşitlilik, su kullanılabilirliğindeki artış nedeniyle genel olarak artar. Günümüzde, çeşitli sulama sistemleri atık su arıtma tesisleriyle ilişkilendirilmekte ve bu da topraktaki toplam azot ve organik maddenin artmasına neden olmaktadır. Ancak, besin maddelerindeki bu artışa rağmen, bu toprakların mikrobiyotası, cıva dahil ağır metaller gibi bazı kirleticilerin varlığı ve insan kaynaklı mikroorganizmaların girişi nedeniyle azalmaktadır (Sorensen vd., 2013; Barros-Rodríguez vd., 2021).

3.2. Yangınlar

Yangınlar, ekosistemi temelden etkileyerek hem bitki hem de hayvan biyolojik çeşitliliğinde önemli bir kayba neden olmaktadır. Ayrıca bu yangınlar, yangın şiddeti ve toprak türünün bir fonksiyonu olarak toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişikliklere yol açmaktadır. Toprak özelliklerindeki bu değişikliklere, toprak organik maddesinin kimyasal oksidasyonunu tetikleyen ve dolayısıyla toprağın mikrobiyal bileşimini etkileyen ısı neden olmaktadır. Anız yakma işleminde meydana gelen bu durum orman yangınları sırasında da görülebilmektedir. Tarlalarda anız yakma işlemi, özellikle üst toprak katmanında toprak sıcaklığını, nemini ve organik madde içeriğini önemli ölçüde değiştirirken, bu değişiklik

mikrobiyal biyokütle ve çeşitlilikte de ani bir düşüşe neden olmaktadır (Arunrat vd., 2023). Orman yangınlarının ise, azot döngüsünde yer alan bakteri toplulukları üzerinde etkisi olduğu ve nitrojenaz redüktaz enzimini kodlayan nifH geninin çeşitliliğinde bir kayba neden olduğu ve azot döngüsü üzerindeki bu etkinin, orman yangınından önce toprakta bulunan bitkilerin türüne bağlı olduğu da ifade edilmektedir (Cobo-Díaz vd., 2015).

3.3. Toprak erozyonu

Toprak erozyonu organik madde ve mikrobiyal yaşam açısından zengin olan üst toprak tabakasını ortadan kaldırarak biyoçeşitlilik kaybına yol açabilir. Organik maddelerin ayrışmasında önemli rol oynayan mikroorganizmaların ana yaşam alanlarından biri olan toprak aynı zamanda karbon, azot, fosfor ve kükürt içeren toprak besin maddelerinin döngüsüne ve dönüşümüne yardımcı olan mikroorganizmalar da ev sahipliği yapmaktadır. Bu besin maddeleri, toprak erozyonu nedeniyle bozulmadıkları sürece tarımsal verimliliğin artışına katkı sağlarlar. Tarım arazilerinden toprak kaybı, toprak verimliliğini azaltmanın yanı sıra çevresel etkilere de neden olabilir. Toprak verimliliği, topraktaki organik madde, bitki köklenme derinliği ve bitki tarafından kullanılabilir su rezervleri toprak erozyonu nedeniyle azalırken, toprağın fiziksel olarak bozulması, kök derinliğini, su varlığını ve besin rezervlerini azaltarak bitkinin büyümesini ve verimini etkiler. Böylece, toprağın organik karbon, azot, fosfor ve potasyum içeriklerini ve toprak pH'ını etkileyerek verim kaybına yol açar (Asuoha vd., 2019; Qiu vd., 2021).

3.4. Kimyasal Girdiler

3.4.1. Pestisitler ve Herbisitler

Sentetik kimyasalların kullanımı, yararlı toprak organizmalarına doğrudan zarar vererek veya besin zincirini bozarak dolaylı olarak etkileyerek rizosfer biyoçeşitliliği üzerinde zararlı etkilere sebep olabilir. Herbisitler, tarımsal üretim alanlarında istenmeyen yabancı otlara ve kendi gelen bitkilere karşı yoğun olarak kullanılmaktadır. Genel ve seçici özelliklere sahip olan herbisitler yapılarındaki klor, fosforik asit, hidroksit, oksijen, sülfonil, aminler vb. dahil olmak üzere çok sayıda elektronegatif kalıntı nedeniyle yüksek oksidatif potansiyele sahiptir. Bu artan oksidatif potansiyel ve diğer moleküler etkileşimler, diğer fotosentetik organizmalar, parçalayıcılar, birincil ve ikincil avcılar, çeşitli toprak mikroorganizmaları ve ayrıştırıcılar da dahil olmak üzere hedef olmayan organizmaları da etkilemektedir. Bunun yanı sıra bitkisel üretimi sınırlandıran ve azaltan bitki patojeni fungus, nematod, zararlı böcek ve kemirgenleri öldürmek için kullanılan pestisitler, kullanıldıkları alanın biyolojik çeşitliliğini değiştirerek, özellikle toprak mikroorganizmaları üzerinde radikal ve geri dönüşmez olumsuz etkilere sebep olmaktadır (Barros-Rodríguez vd., 2021).

3.4.2. Sentetik Gübreler

Sentetik gübrelerin aşırı kullanımı topraktaki besin dengesini değiştirebilir, bazı mikrobiyal türleri desteklerken diğerlerini engelleyerek biyoçeşitliliğin azalmasına yol açabilir. Sentetik gübrelerin kullanılması tarım tarihindeki önemli dönüm noktalarından biridir. Toprağa gübre ilavesiyle topraktaki bazı kimyasal elementlerin konsantrasyonu artmış ve bu da bitkilerin büyümesine yardımcı olmuştur. Gübrelerde bulunan en yaygın elementler, farklı oranlarda azot, fosfor ve potasyumdur. Birçok toprakta bu elementlerin eksikliği ya da azlığı bitkilerin verimliliğini sınırlamaktadır. Bununla birlikte, gübre ilavesiyle bitkilerin büyüme performansındaki artış, işlenen alandaki bitki biyoçeşitliliğinde azalmaya da neden olmaktadır. Gübre ilavesi nedeniyle bitki biyoçeşitliliğindeki azalma, rizosfer bölgesindeki mikroorganizma biyoçeşitliliğinde de (bakteri ve fungus) azalmaya neden olur. Ayrıca, bu gübrelerin ilavesi topraktaki mevcut karbon oranını, pH'ı ve toprak ozmolaritesini etkilerken, belirli iyonların varlığı nedeniyle toksisite yaratarak bazı mikroorganizmaların popülasyonunda azalmaya veya artışa neden olmaktadır (Barros-Rodríguez vd., 2021).

3.5. İklim Değişikliği

Günümüzde iklim değişikliği küresel olarak artmakta ve ekosistemde önemli değişikliklere neden olmaktadır. Bu değişikliklerin başlıca sonuçları arasında atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun artması, yüksek sıcaklıklar ve dünyanın çeşitli bölgelerinde yağış düzeninin değişmesi yer almaktadır. İklimsel sapmalar ilerledikçe, tarımsal ürünler için zararlı olan çeşitli biyotik ve abiyotik streslerde artış görülmektedir. Ayrıca, değişen iklim modelleri hidrolojik döngüyü ve su mevcudiyetini bozarak tarımsal üretim üzerinde olumsuz etkiye neden olmaktadır (Kashyap vd., 2018). Sıcaklık ve ışık değişiklikleri fotosentetik hızı ve fotosentatların translokasyonunu azaltırken transpirasyonu artırmaktadır. Yüksek CO₂ konsantrasyonu da farklı bitki türleri üzerinde değişken etkilere sahiptir. Ayrıca, azalan veya artan yağış, hücre büyümesi ve protein sentezi üzerinde yapmış olduğu etkilerle bitkinin metabolik faaliyetlerinin azalmasına ve patojen mikroorganizmaların bitki üzerinde baskı kurmasına neden olur. Değişen iklim koşullarının uzun vadede bitkiler üzerinde radikal etkilere sahip olacağı kaçınılmaz bir durumdur. Dolayısıyla bu etkiler toprak mikroorganizmaları üzerinde de belirleyici olmaya devam edecektir (Classen vd., 2015). Bu etkileri sıralayacak olursak;

- Sıcaklık ve yağış düzenindeki değişiklikler rizosfer topluluklarının bileşimini ve faaliyetlerini etkileyerek biyoçeşitlilikte değişimlere yol açabilir. Toprak ısınması ve kuraklık koşulları, AFM gibi önemli simbiyontların rizosferdeki bitki besin maddesi alımı ve karbonhidrat değişimi üzerinde dolaylı bir etki oluşturmaktadır.
- Yüksek CO₂ seviyeleri bitki fizyolojisini ve metabolizmasını değiştirir ve ayrıca rizosferik ve filosferik koşullarda mikrobiyal topluluk üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiyi uyarır. Atmosferik CO₂, toprak ortamındaki kök salgılarının karbon dağılımını ve bileşimini düzenlemede çok önemlidir.

- Artan UV radyasyonları atmosferdeki stratosferik ozon içeriğini azaltarak iklim değişikliğine etki etmektedir. Bu değişiklikler de bitkiler ve ilgili mikroorganizmalar üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir.
- Abiyotik stresleri de içeren iklimsel değişiklikleri, bitki büyümesi ve üretimi üzerinde etkiye sahiptir ve bu durum ayrıca hastalık gelişimini de etkilemektedir (Glick vd., 2007).
- Rizosferik bölgede yaşayan mikroorganizmalar, temelde bitkilerde biyotik ve abiyotik stres artışına neden olan iklim değişikliğinin zararlı etkilerini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır (Rodriguez & Durán, 2020). Bu nedenle, iklim değişikliğinin olası olumsuz etkilerini azaltma yaklaşımları çevresel sürdürülebilirlik, üretim ve bitkilerin iklimsel sapmalardan korunması için önemli bir adımdır.

İklim değişikliği, küresel endişe yaratan eşzamanlı bir olgudur. İklimsel olumsuzluklardaki artış ve mevcut iklim modellerindeki değişiklik bitki ve mikrobiyal büyümeyi olumsuz etkilediğinden, küresel bazda gıda güvenliği açısından endişe yaratmaktadır. İklim değişikliğinin olumsuz etkisi, ekolojik nişlerdeki mikrobiyal yapı ve işleyiş için de bir risk faktörüdür. Dolayısıyla çevre dostu bir ortamı koruyarak sürdürülebilir tarımsal verimi artırmak için rizosfer biyoçeşitliliğinin ne ölçüde manipüle edebileceğinin araştırılması gerekmektedir (Sharma vd., 2022).

4. SONUÇ

Tarım; bitki, hayvan ve mikrobiyal biyoçeşitliliğin azaltılması ve çevrenin değiştirilmesi açısından önemli bir mekanizmayı temsil etmektedir. Nüfus artışı, artan nüfusun taleplerini karşılamak için tarımsal üretimde sürekli bir artış gerektiği anlamına da gelmektedir. İnsan nüfusunun artan gıda talebiyle başa çıkma baskısı çevresel etkiyi yoğunlaştırmıştır ve biyoçeşitlilikteki azalmayı da maalesef hızlandırmıştır. Yoğun tarımsal uygulamalar, biyolojik çeşitliliğin daha fazla kaybına yol açarken, bu durum kendi içinde bir paradoks oluşturup biyoçeşitlilik kaybı tarımsal üretim üzerine de olumsuz yansımaktadır. Bu olumsuzluklar; besin döngüsü süreçlerinin bozulması veya aksaması, bitkilerde patojen mikroorganizma baskısının artması, toprak yapısı ve sağlığının bozulması ve bitkilerin abiyotik stres faktörlerine toleransının azalması olarak sayılabilir.

Sonuç olarak, rizosfer biyoçeşitliliğinin çeşitli faktörlere bağlı olarak azalmasının tarım üzerinde derin etkileri olabilir; toprak sağlığını, ürün kalite ve kantitesini, verimi ve tarım sistemlerinin sürdürülebilirliğini etkileyebilir. Ürün rotasyonu, azaltılmış toprak işleme, organik tarım ve kimyasal girdilerin akılcı kullanımı gibi rizosfer biyoçeşitliliğini koruyan ve geliştiren uygulamaların teşvik edilmesi, çevresel zorluklar karşısında toprak verimliliğinin ve tarımsal direncin korunması için çok önemlidir.

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Adedoya, A., & Babalola, O. O. (2023). Fungi That Promote Plant Growth in the Rhizosphere Boost Crop Growth. *Journal of Fungi*(9), 239-263.
- Ahlawat, O., Gupta, P., Kumar, S. S., & Ahlawat, K. (2010). Bioremediation of fungicides by spent mushrooms substrate and its associated microflora. *Indian Journal of Microbiology*(50), 390-395.
- Akköprü, A., & Demir, S. (2005). Biological Control of *Fusarium Wilt in Tomato Caused by Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* by AMF *Glomus intraradices* and some Rhizobacteria. *Journal of Phytopathology*(153), 544-550.
- Andrade, G., & Linderman, R. B. (1998). Bacterial associations with the mycorrhizosphere and hyphosphere of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Plant Soil*(202), 79-87.
- Andrén, O., & Kätterer, T. (2008). Agriculture Systems. *Encyclopedia of Ecology*, 96-101.
- Arunrat, N., Sereenonchai, S., Sansupa, C., Kongsurakan, P., & Hatanao, R. (2023). Effect of rice straw and stubble burning on soil physicochemical properties and bacterial communities in Central Thailand. *Biology*(12), 501-523.
- Asuoha, G. C., Uchenna, P. O., Phil-Eze, P. O., & Ayadiuno, R. U. (2019). The Impact of Soil Erosion on Biodiversity Conservation in Isiala Ngwa North LGA, Southeastern Nigeria. *Sustainability*(11), 7192.
- Aydın, M. H. (2015). Bitki Fungal Hastalıklarıyla Biyolojik Savaşta Trichoderma'lar. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*(2), 135-148.
- Azcón-Aguilar, C., & Barea, J. (2015). Nutrient cycling in the mycorrhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25(2), 372-396.
- Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review Plant Biology*, 233-266.
- Barea, J., Azcon, R., & Azcon-Aguilar, C. (2002). Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Antonie van Leeuwenhoek*(81), 343-351.
- Barea, J., Pozo, M., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2013). Microbial interactions in the rhizosphere. *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, 1, 29-44.
- Barros-Rodríguez, A., Rangseekaew, P., Lasudee, K., Pathom-aree, W., & Manzanera, M. (2021). Impacts on the Environment and Soil Microbial Biodiversity. *Plants*(10), 2325.
- Bashir, O., Khan, K., Hakeem, K., Mir, N. A., Rather, G. H., & Mohiuddin, R. (2016). Soil Microbe Diversity and Root Exudates as Important Aspects of Rhizosphere Ecosystem. *Plant, Soil and Microbes*, 337-359.

- Benítez, T., Rincón, A., Limón, M., & Codon, A. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology* (7), 249-260.
- Bora, T., Ozaktan, H., Gore, E., & E., A. (2004). Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* by wettable powder formulations of the two strains of *Pseudomonas putida*. *Journal of Phytopathology*(152), 471-475.
- Boyno, G., & Demir, S. (2022). Plantmycorrhiza communication and mycorrhizae in interplant communication. *Symbiosis* (86), 155-168.
- Cappelli, S. L., Domeignoz-Horta, L. A., Loaiza, W., & A., L. (2022). Plant biodiversity promotes sustainable agriculture directly and via belowground effects. *Trends in Plant Science*, 27(7), 675-687.
- Chakraborty, N., Mukherjee, K., Sarkar, A., & Acharya, K. (2019). Interaction between Bean and *Colletotrichum gloeosporioides*: Understanding Through a Biochemical Approach. *Plants*(8), 345-267.
- Chin-A-Woeng, T. F., Bloemberg, G. V., Mulders, H. M., Dekkers, L. C., & Ben Lugtenberg, J. J. (2000). Root colonization by phenazine-1- carboxamide-producing bacterium *Pseudomonas chlororaphis* PCL1391 is essential for biocontrol of tomato foot and root rot. *Molecular Plant Microbe Interactions*(13), 1340-1345.
- Cobo-Díaz, J., Fernández-González, A., Villadas, P., Robles, A., Toro, N., & Fernández-López, M. (2015). Metagenomic assessment of the potential microbial nitrogen pathways in the rhizosphere of a Mediterranean forest after a wildfire. *Microbial Ecology*(69), 895-904.
- Contreras-Cornejo, H., Macías-Rodríguez, L., del-Val, E., & Larsen, J. (2016). Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. *FEMS Microbiology Ecology*(92), 25-38.
- Demir, S. (1998). Bzi kültür bitkilerinde vesiküler arbusküler mikorhiza (VAM) oluşumu ve bunun bitki gelişimi ve dayanıklılıktaki rolü üzerinde araştırmalar. *Ege Üniv. Fen Bilimleri Ens.*, Doktora Tezi, 1-31.
- Demir, S., & A., A. (2007). Using of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for biocontrol of soil-borne fungal plant pathogens. S.B. Chincholkar & K.G. Mukerji in, *Biological Control of Plant Diseases* (17-37). New York: Haworth Press
- Dessaux, Y., Hinsinger, P., & Lemanceau, P. (tarih yok). Rhizosphere: so many achievements and even more challenges. *Plant Soil*(321), 1-3.
- Didwania, N., Gupta, K., Gupta, S., & Bisen, R. (2019). Bio-intensive approaches in the management of fungal diseases of oil yielding crops. *Bio-intensive Approaches - Application and Effectiveness in Plant Disease Management*, 333-356.
- Dlamini, S. P., Akanmu, A. O., & Babalola, O. O. (2022). Rhizospheric microorganisms: The gateway to a sustainable plant health. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 1-17.

- Drinkwater, L. E., & Snapp, S. (2007). Understanding and managing the rhizosphere in agroecosystems. *The Rhizosphere: An Ecological Perspective*, 127-154.
- El Komy, M., Saleh, A., Eranthodi, A., & Molan, Y. (2015). Characterization of novel *Trichoderma asperellum* isolates to select effective biocontrol agents against tomato Fusarium wilt. *Plant Pathology Journal*(31), 50-60.
- Enagbonma, B. J., Ajilogba, C. F., & Babalola, O. O. (2020). Metagenomic profiling of bacterial diversity and community structure in termite mounds and surrounding soils. *Arch. Microbiol.*(202), 2697-2709.
- Gupta, R., Singh, A., Srivastava, M., Shanker, K., & Pandey, R. (2019). Plant-microbe interactions endorse growth by uplifting microbial community structure of *Bacopa monnieri* rhizosphere under nematode stress. *Microbiology Research*(218), 87-96.
- Hartmann, A., Rothballer, M., & Schmid, M. (2008). Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. *Plant Soil*, 312, 7-14.
- Hawkes, C. V., DeAngelis, K. M., & Firestone, M. K. (2007). Root interaction with soil microbial communities and processes. Z. G. Cardon & J. L. Whitbeck in *The Rhizosphere: An Ecological Perspective*, (1-30). London: Elsevier.
- Hinsinger, P., Gobran, G., R., G., J., P., & Wenzel, W. W. (2005). Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. *New Phytologist*, 293-303.
- Hou, M. P., & Oluranti, B. O. (tarih yok). Evaluation of plant growth promoting potential of four rhizobacterial species for indigenous system. *J. Central South Univ.*(1), 164-171.
- Igiehon, N. O., & Babalola, O. (tarih yok). Biofertilizers and sustainable agriculture: exploring arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 1-11.
- Igiehon, N., & Babalola, O. (2017). Biofertilizers and sustainable agriculture: exploring arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied of Microbial Biotechnology*, 1-17.
- Jilling, A. K., & al., e. (2018). Minerals in the rhizosphere: overlooked mediators of soil nitrogen availability to plants and microbes. *Biogeochemistry*(139), 103-122.
- K., H. M., McInroy, J. A., & Kloepper, J. W. (2019). The Interactions of Rhizodeposits with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria in the Rhizosphere: A Review. *Agriculture*(142), 1-13.
- Kloepper, J. W. (2003). Review of Mechanisms for Plant Growth Promotion by PGPR. *PGPR Workshop, 5-10 October 2003, Calcutta, India, 2003.*, 10-21.
- Kloepper, J. W., Tuzun, S., Liu, L., & Wei, G. (1993). Plant growth-promoting rhizobacteria as inducers of systemic disease resistance. *Pest Management: Biologically Based Technologies*, 156-165.
- Lagopodi, A. L., Ram, A. F., & Lamers, G. E. (2002). Novel aspects of tomato root colonization and infection by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* revealed by confocal laser scanning microscopic analysis using the green fluorescent protein as a marker. *Molecular Plant Microbe Interactions*(15), 172-179.

- Lugtenberg, B., & Dekkers, L. C. (1999). What makes Pseudomonas Bacteria Rhizosphere Compepent? *Environmental Microbiology*, 1(1), 9-13.
- Lynch, J., & Whipps, J. (1990). Substrate flow in the rhizosphere. *Plant Soil*(129), 1-10.
- Ma, W., Tang, S., Dengzeng, A., Zhang, D., Zgang, T., & Ma, X. (2022). Root exudates contribute to belowground ecosystem hotspots: A review. *Frontiers in Microbiology*, 1-19.
- Malgioglio, G., Rizzo, G., Nigro, S., Lefebvre Du Prey, V., Herforth-Rahmé, J., Catara, V., & Branca, F. (2022). Plant-Microbe Interaction in Sustainable Agriculture: The Factors That May Influence the Efficacy of PGPM Application. *Sustainability*(14), 2253.
- Manoharachary, C., & Mukerji, K. (2006). Rhizosphere Biology – an Overview. K.G. Mukerji, C. Manoharachary & J. Singh in *Microbial Activity in the Rhizosphere* (1-16). Berlin: Springer.
- Manteghi, A., Rezaee Danesh, Y., Hesar, A. M., Demir, S., Boyno, G., Catani, L., & Semprucci, F. (2022). Is the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Funneliformis mosseae* a Suitable Agent to Control *Criconeematid* Populations? *Diversity*(14), 898.
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil*(159), 89-102.
- Martinez-Viveros, O., Jorquera, M., Crowley, D., Gajardo, G., & Mora, M. (2010). Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*(10), 293-319.
- Moscatiello, R., Sello, S. N., Negro, A., Bonfante, P., & Navazio, L. (2014). The intracellular delivery of TAT-aequorin reveals calcium- mediated sensing of environmental and symbiotic signals by the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita*. *New Phytologist*(203), 1012-1020.
- Mukerji, K., Manoharachary, C., & Singh. (2006). Rhizosphere Biology - an Overview. *Microbial Activity in the Rhizosphere*, 1-12.
- Nicolitch, O., Colin, Y., Turpault, M. P., & Uroz, S. (tarih yok). Soil type determines the distribution of nutrient mobilizing bacterial communities in the rhizosphere of beech trees. *Soil Biology and Biochemistry*(103), 429-445.
- Pascual, J., Blanco, S., Garcia-Lopez, M., Garcia-Salamanca, A., Bursakov, S. S., Genilloud, O., van Dillewijn, P. (2016). Assessing bacterial diversity in the rhizosphere of *Thymus zygis* growing Sierra Nevada National Park (Spain) through culture-dependent and independent approaches. *PLoS One*(11), 46-56.
- Qiu, L., Zhang, Q., Zhu, H., Reich, P. B., Banerjee, S., van der Heijden, M. G., & Wei, X. (2021). Erosion reduces soil microbial diversity, network complexity and multifunctionality. *The ISME Journal*(15), 2474-2489.
- Schmid, M. V., Terhi, H., van Moorsel, S. J., Wagg, C., B., D. D., & Schmid, B. (2019). Feedbacks of plant identity and diversity on the diversity and community composition of rhizosphere microbiomes from a long-term biodiversity experiment. *Molecular Ecology*(28), 863-878.

- Schmid, M. W., Hahl, T., van Moorsel, S. J., Wagg, C., De Deyn, G. B., & Schmid, B. (2019). Feedbacks of plant identity and diversity on the diversity and community composition of rhizosphere microbiomes from a long-term biodiversity experiment. *Molecular Ecology*(28), 863-878.
- Singh, G., & Mukerji, K. G. (2006). Root exudates as determinant of rhizospheric microbial biodiversity. *Microbial Activity in the Rhizosphere*, 39-54.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). Arbuscular Mycorrhizas. S. E. Smith & D. J. Read in *Mycorrhizal Symbiosis*, (11-188). New York: Elsevier
- Sood, S. (2003). Chemotactic response of plant-growth-promoting bacteria towards roots of vesicular-arbuscular mycorrhizal tomato plants. . *FEMS Microbiology Ecology*(45), 219-227.
- Sorensen, P., Germino, M., & Feris, K. (2013). Microbial community responses to 17 years of altered precipitation are seasonally dependent and coupled to co-varying effects of water content on vegetation and soil C. *Soil Biology and Biochemistry*(64), 155-163.
- Uzoh, I., & Babalola, O. (2018). Rhizosphere biodiversity as a premise for application in bio-economy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*(265), 524-534.
- Walker, T. S., Bais, H. P., Grotewold, E., & Vivanco, J. M. (2003). Root Exudation and Rhizosphere Biology. *Plant Physiology*(132), 44-51.
- Wei, Z., Hu, X., Li, X., Zhang, Y., Jiang, L., Li, J., & al., e. (2017). The rhizospheric microbial community structure and diversity of deciduous and evergreen forests in Taihu Lake area, China. *PLoS ONE*(12), 1-18.
- Whipps, J. M. (2002). Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*(52), 487-511.
- Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*(65), 168-178.

Yazar Hakkında / About Author

**Prof. Dr. Semra DEMİR | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
semrademir[at]yyu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0177-7677**

Prof. Dr. Semra DEMİR Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü'nden 1991 yılında mezun olmuştur. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bitki Koruma Anabilim Dalı ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bitki Koruma Anabilim Dalında sırasıyla 1994 ve 1998 yıllarında Yüksek Lisans ve Doktora çalışmalarını tamamlamıştır. Semra DEMİR Arbusküler Mikorhizal Fungus (AMF)'lar ile ilgili Türkiye'de ilk doktora çalışmasını yürütmüştür. AMF'ların sürdürülebilir tarım sistemlerinde kullanılması, bitki gelişimi ve dayanıklılığı üzerindeki etkisi ve biyolojik mücadele olanakları üzerinde ulusal ve uluslararası platformlarda birçok faaliyeti bulunan Semra DEMİR konu ile ilgili olarak ayrıca otuza yakın yüksek lisans ve doktora tezinde danışmanlık yapmıştır. 2011 yılında Prof. Dr. unvanını almıştır. 2005-2020 yılları arasında Ziraat Fakültesi dekan yardımcılığı ve dekanlık, 2017-2022 yılları arasında ÜAK Üniversite temsilcisi, 2021-2023 yılları arasında ise TÜBİTAK-TOVAG Danışma Kurulu üyesi görevlerinde bulunmuştur. Ayrıca Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından gönderilen yurtdışından ithal edilen mikrobiyal gübre içeriklerindeki mikroorganizma analizi Türkiye'de sadece Prof. Dr. Semra DEMİR ve ekibi tarafından yapılmaktadır.

**Prof. Dr. Semra DEMİR | Van Yüzüncü Yıl University |
semrademir[at]yyu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0177-7677**

Prof. Dr. Semra DEMİR graduated from Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection in 1991. She completed her MSc and PhD studies at Van Yüzüncü Yıl University, Institute of Science, Department of Plant Protection and Ege University, Institute of Science, Department of Plant Protection in 1994 and 1998, respectively. Semra DEMİR conducted the first PhD study on Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Turkey. Semra DEMİR, who has many activities in national and international platforms on the use of AMFs in sustainable agricultural systems, their effects on plant development and resistance and biological control possibilities, has also supervised nearly thirty master's and doctoral theses on the subject. In 2011, she received the title of Prof. Dr. She served as vice dean and dean of the Faculty of Agriculture between 2005-2020, ÜAK University representative between 2017-2022, and TÜBİTAK-TOVAG Advisory Board member between 2021-2023. In addition, the analysis of microorganisms in the contents of microbial fertilisers imported from abroad sent by the Turkish Standards Institute (TSE) is carried out only by Prof. Dr. Semra DEMİR and her team in Turkey.