

Merhaba,

Toros ARGE Bülteni'nin yeni sayılarında birbirinden farklı ve dopdolu içerikleri sizler için ele almaya devam ediyoruz. Bu sayımızda "Toprak Veritabanı İçgörülerini Kullanarak Mikropların Bitki Sağlığındaki Rolünü Ortaya Çıkarmak"; "Biyogübreler"; "Gübre Endüstrisi Atığı Olan Fosfojipsin Geri Dönüşümünün Önemi"; "Hidrojeller ve Tarımda Uygulama Etkinlikleri" gibi birbirinden farklı konulara yer verdik.

Bülten çalışmaların ile ilgili katkı, soru ve önerileriniz için info.arge@toros.com.tr üzerinden bizlere ulaşabilirsiniz.

Keyifli okumalar dileriz.



Toprak Veritabanı İçgörülerini Kullanarak Mikropların Bitki Sağlığındaki Rolünü Ortaya Çıkarmak

Ali Yetgin
Toros Tarım ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye
Çukurova Üniversitesi, Biyoteknoloji, Adana Türkiye

Özet:

Toprak-mikrop-bitki sistemi, bitki büyümesi ve gelişiminde çok önemli bir rol oynayan karmaşık ve dinamik bir etkileşim ağıdır. Toprak veritabanlarının kullanımı, toprakta bulunan çeşitli mikrobiyal topluluklar ve bunların bitki sağlığı üzerindeki etkileri hakkında fikir edinmemizi sağlamıştır. Bu derlemede, toprak mikroplarının bitki sağlığındaki rolünü ve toprak veritabanı analizinin işlevlerini anlamamızı nasıl kolaylaştırdığını araştırıyoruz. Besin döngüsü, hastalık bastırma ve bitki büyümesinin teşvikinde yer alan temel mikrobiyal grupları ve bunların bitki sağlığına katkılarını tartışıyoruz. Ek olarak, abiyotik ve biyotik stresörlerin toprak mikrobiyal topluluğu üzerindeki etkisini ve daha sonra bitki sağlığı üzerindeki etkilerini inceliyoruz. Son olarak, sürdürülebilir tarım ve bitki sağlığı yönetimi için toprak veritabanı içgörülerinin potansiyel uygulamalarını vurguluyoruz. İncelememiz, toprak mikrobiyal çeşitliliğinin önemini göstermekte ve toprak-mikrop-bitki sistemi içindeki karmaşık etkileşimleri çözmek için bir araç olarak toprak veritabanı analizinin değerini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Toprak-mikrop-bitki sistemi, Toprak veritabanı analizi, Bitki sağlığı, Mikrobiyal çeşitlilik, Besin döngüsü.

Giriş

Toprak-mikrop-bitki sistemi, toprak, toprakta yaşayan mikroorganizmalar ve toprakta yetişen bitkiler arasındaki karmaşık etkileşim ağını ifade eder. Bu sistem, besin maddelerinin döngüsü için gereklidir ve bitki büyümesi ve gelişiminde çok önemli bir rol oynar. Bakteriler, mantarlar ve arkeler gibi toprak mikropları, besin döngüsü, hastalık bastırma ve bitki büyümesinin teşviki gibi bir dizi süreçte yer almaktadır (Yadav ve ark., 2021). Bu mikroplar birbirleriyle ve bitkilerle karmaşık

şekillerde etkileşime girer ve aktiviteleri çeşitli biyotik ve abiyotik faktörlerden etkilenir. Toprak-mikrop-bitki sistemini anlamak, sürdürülebilir tarımı teşvik etmek ve bitki sağlığını geliştirmek için önemlidir.

Toprak-mikrop-bitki sistemi, her bir bileşenin birbirine bağlı olduğu ve hayatta kalmak için diğerine bağımlı olduğu oldukça karmaşık ve dinamik bir ekosistemdir (Palit ve ark., 2022). Toprak, bitki büyümesi için fiziksel ve kimyasal bir ortam sağlar ve aynı zamanda toprak sağlığını ve verimliliğini korumak için çok önemli olan çok sayıda mikroorganizma için bir yaşam alanıdır. Toprak mikropları, besin döngüsünde, organik maddenin parçalanmasında ve bitki büyümesi için gerekli olan besin maddelerinin salınmasında çok önemli bir rol oynar. Ayrıca, bitki patojenlerini baskılayan ve büyümeyi teşvik eden maddelerin üretimi yoluyla bitki büyümesini teşvik eden biyokontrol ajanları olarak da işlev görürler (David ve ark., 2018; Labuschagne ve ark., 2011). Dahası, toprak mikropları, toprak-mikrop-bitki sistemi üzerinde derin etkileri olabilecek iklim değişikliği ve toprak yönetimi uygulamaları da dahil olmak üzere çevresel değişikliklere oldukça duyarlıdır. Bu nedenle, toprak-mikrop-bitki sistemini ve bileşenleri arasındaki etkileşimleri anlamak, sürdürülebilir tarım için etkili stratejiler geliştirmek ve bitki sağlığını iyileştirmek için kritik öneme sahiptir.

Toprak mikrobiyal çeşitliliği, bitki sağlığının korunmasında hayati bir rol oynar. Toprak sağlığını ve verimliliğini teşvik etmek, besin döngüsünü arttırmak ve kimyasal girdilere bağımlılığı azaltmak için çeşitli bir toprak mikrobiyal topluluğu gereklidir. Toprak mikropları, simbiyotik ilişkiler kurmak, organik maddeyi parçalamak ve bitki büyümesi için gerekli olan besinleri serbest bırakmak gibi bitkilerle çeşitli şekillerde etkileşime girer (Powlson ve ark., 2001). Bu mikroplar ayrıca bitki patojenlerini bastırmaya ve bitki büyümesini desteklemeye yardımcı olan metabolitler üretir. Toprak mikroplarının çeşitliliği, faydalı ve zararlı mikroorganizmalar arasındaki dengeyi korumak için de kritik öneme sahiptir. Çeşitlilik eksikliği, patojenik mikroorganizmaların çoğalmasına ve bitki sağlığı üzerinde zararlı etkileri olabilecek faydalı mikroorganizmalarda bir azalmaya yol açabilir (Raaijmakers ve ark., 2009).

Ayrıca, toprak mikrobiyal çeşitliliği, toprak-mikrop-bitki sisteminin esnekliğini korumak için çok önemlidir. Farklı bir mikrobiyal topluluk, kuraklık, ısı ve besin eksikliği gibi çevresel stres faktörlerine karşı daha dirençlidir (Rivero ve ark., 2022). Bu esneklik, bitkilerin çevresel stres faktörlerine dayanmasına yardımcı olabilir, bu da bitki sağlığının iyileşmesine ve daha yüksek mahsul verimine yol açabilir. Toprak mikrobiyal çeşitliliği, tarımsal sistemlerin sağlığını ve verimliliğini korumak için gereklidir. Toprak mikroplarının bitki sağlığındaki rolünü anlamak ve toprak mikrobiyal çeşitliliğini teşvik etmek, tarımın sürdürülebilirliğini artırmaya ve toprak-mikrop-bitki sisteminin esnekliğini artırmaya yardımcı olabilir (Yang ve ark., 2020). Daha önce bahsedilen faydalara ek olarak, toprak mikrobiyal çeşitliliği, bitki kökü gelişimi ve besin alımı için kritik olan toprak yapısını ve stabilitesini arttırmaya da yardımcı olabilir. Farklı bir mikrobiyal topluluk, toprak agregasyonunu iyileştirmeye, toprak erozyonunu azaltmaya ve su infiltrasyonunu ve tutulmasını artırmaya yardımcı olabilir, bunların hepsi sağlıklı toprak ve bitki büyümesini korumak için önemlidir (Sheoran ve ark., 2010). Ayrıca, son zamanlarda yapılan araştırmalar, toprak mikrobiyal çeşitliliğinin zararlılara ve hastalıklara karşı bitki direnci üzerinde de olumlu etkileri olabileceğini göstermiştir. Farklı bir mikrobiyal topluluk, bitkileri patojenlere ve otoburlara karşı korumaya yardımcı olabilecek bir dizi ikincil metabolit, enzim ve diğer maddeleri üretebilir. Bazı çalışmalar ayrıca, çeşitli mikrobiyal topluluğun, su ve besin kullanım verimliliğini artırarak bitkilerin kuraklık ve ısı gibi abiyotik stresi tolere etmelerine yardımcı olabileceğini göstermiştir. Toprak mikrobiyal çeşitliliği, bitki sağlığının ve verimliliğinin korunmasında çok önemli bir rol oynar. Farklı bir mikrobiyal topluluk, toprak verimliliğini, besin döngüsünü, toprak yapısını ve stabilizeyi artırmaya yardımcı olurken, aynı zamanda zararlılara ve hastalıklara karşı koruma sağlar ve abiyotik strese karşı bitki toleransını geliştirir (Hartmann ve Six, 2023).

Toprak veritabanları, toprak mikrobiyal toplulukları hakkında bilgi edinmek ve bitki sağlığındaki rollerini anlamak için önemli bir araçtır (Abdelfattah ve ark., 2018). Bu veritabanları, doku, organik madde içeriği, pH ve besin mevcudiyeti gibi toprak özellikleri hakkında çok miktarda bilginin yanı sıra toprak mikroplarının çeşitliliği ve bolluğu hakkında bilgi içerir. Toprak veritabanlarını analiz ederek, araştırmacılar toprak özellikleri ve mikrobiyal topluluklar arasındaki kalıpları ve ilişkileri tanımlayabilirler. Bu bilgi, mikrobiyal çeşitliliği ve işlevi etkileyen faktörlerin belirlenmesine yardımcı olabilir ve toprak mikroplarının bitkilerle etkileşime girdiği ve bitki sağlığına katkıda bulunduğu mekanizmalar hakkında fikir verebilir.

Ayrıca, toprak veritabanları, toprak mikrobiyal çeşitliliğini teşvik edebilecek ve bitki sağlığını iyileştirebilecek potansiyel yönetim uygulamalarının belirlenmesine de yardımcı olabilir (Bertola ve ark., 2021). Örneğin, toprak veritabanlarını analiz ederek, araştırmacılar toprak işleme, ürün rotasyonu ve gübre uygulaması gibi farklı toprak yönetimi uygulamalarının toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki etkilerini belirleyebilirler. Bu bilgi, toprak sağlığını destekleyen ve bitki büyümesini artıran daha sürdürülebilir ve verimli tarım uygulamalarının geliştirilmesine yardımcı olabilir. Toprak veritabanları, toprak mikrobiyal toplulukları hakkında bilgi edinmek ve bitki sağlığındaki rollerini anlamak için değerli bir araçtır (Kergourlay ve ark., 2015). Toprak özellikleri ve mikrobiyal çeşitlilik hakkında bilgi sağlayarak, toprak veritabanları toprak mikrobiyal topluluklarını etkileyen faktörlerin belirlenmesine ve daha sürdürülebilir ve verimli tarım uygulamalarının geliştirilmesine yardımcı olabilir.

Daha önce bahsedilen avantajlara ek olarak, toprak veritabanlarının kullanımı, geleneksel mikrobiyal ekoloji çalışmaları ile

ilişkili çeşitli sınırlamaların ele alınmasına da yardımcı olabilir (Maron ve ark., 2007). Örneğin, geleneksel mikrobiyal ekoloji çalışmaları tipik olarak tek bir yerden veya kısa bir süre boyunca toplanan bireysel toprak örneklerine odaklanır. Bu yaklaşım, toprak mikrobiyal topluluklarının ve bunların zaman ve mekan boyunca değişkenliklerinin sınırlı bir şekilde anlaşılmasına neden olabilir. Buna karşılık, toprak veritabanları, çeşitli yerlerden uzun süreler boyunca toplanan çok sayıda toprak örneğinden bilgi içerir. Bu geniş kapsam, toprak mikrobiyal topluluklarının çeşitliliği ve dağılımının yanı sıra bolluklarını ve işlevlerini etkileyen faktörlerin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlar.

Ayrıca, toprak veritabanlarının kullanımı, çevre ve yönetim verileri de dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan farklı veri kümelerinin entegrasyonunu kolaylaştırmaya yardımcı olabilir. Bu veri kümelerini entegre ederek, araştırmacılar toprak mikrobiyal toplulukları ile çevresel ve yönetim faktörleri arasındaki ilişkileri tanımlayabilir ve toprak mikrobiyal çeşitliliği ve işlevi için daha doğru öngörücü modeller geliştirebilirler (Hettich ve ark., 2013). Toprak veritabanlarının kullanımı, toprak mikrobiyal toplulukları ve bitki sağlığındaki rolleri hakkında kapsamlı bir anlayış kazanmak için değerli bir araç sağlar. Farklı veri kümelerinin kapsamı ve entegrasyonu, mikrobiyal çeşitliliği ve işlevi etkileyen faktörlerin belirlenmesine ve daha sürdürülebilir ve verimli tarım uygulamalarının geliştirilmesine yardımcı olabilir.

1. Toprakta Mikrobiyal Çeşitlilik ve İşlev

Besin döngüsü, toprak ekosistemlerinde, azot, fosfor ve karbon gibi organik ve inorganik besin maddelerinin dönüşümünü ve devrini içeren kritik bir süreçtir. Toprak mikropları, bu besin maddelerinin bitkilerin kullanabileceği formlara dönüştürülmesini katalize ederek besin döngüsünde merkezi bir rol oynamaktadır (Prasad ve ark., 2021). Birkaç önemli mikrobiyal grup, toprak ekosistemlerinde besin döngüsünde rol oynar. Azot sabitleyici bakteriler, besin döngüsünde rol oynayan en önemli mikrobiyal gruplardan biridir. Bu bakteriler, atmosferik azotu bitkilerin kullanabileceği, amonyum olarak bilinen bir forma dönüştürme konusunda eşsiz bir yeteneğe sahiptir. Azot sabitleyici bakteriler, baklagiller gibi bitkilerle, bitki köklerini kolonize ettikleri ve karbon karşılığında azot sağladıkları simbiyotik ilişkiler kurarlar (Chang ve ark., 2017). Nitrifikasyon bakterileri, besin döngüsünde yer alan, amonyumu nitrite ve daha sonra nitrata dönüştüren bir başka önemli mikrobiyal gruptur. Nitrat, bitki büyümesi için kritik bir azot kaynağıdır ve topraktan kolayca sızabilir. Bu nedenle, nitrifikasyon bakterilerinin aktivitesi, bitki büyümesi için azotun mevcudiyeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir.

Fosforda çözünen bakteriler, besin döngüsünde rol oynayan bir başka önemli mikrobiyal gruptur. Bu bakteriler topraktaki çözünmeyen fosfor formlarını parçalayabilir ve bunları bitkilerin kullanabileceği çözünür formlara dönüştürebilir. Fosfor genellikle topraklarda sınırlayıcı bir besindir ve bitki büyümesi ve gelişimi için kritik öneme sahiptir. Mantarlar ve bakteriler gibi ayrıştırıcı mikroplar, topraktaki organik maddenin parçalanmasında, karbon, azot ve fosfor gibi besin maddelerinin toprağa geri salınmasında önemli bir rol oynar (Zechmeister-Boltenstern ve ark., 2015). Bu mikroplar ayrıca bitki kökü gelişimi ve besin alımı için önemli olan toprak yapısının ve stabilitesinin korunmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Birkaç önemli mikrobiyal grup, toprak ekosistemlerinde besin döngüsünde rol oynar. Azot sabitleyici bakteriler, nitrifikasyon bakterileri, fosforda çözünen bakteriler ve ayrıştırıcı mikropların hepsi toprak verimliliğini korumada ve bitki büyümesi için besin sağlamada kritik roller oynamaktadır (Sánchez ve ark., 2017).

Bu anahtar mikrobiyal gruplara ek olarak, mikorizal mantarlar ve diazotrofik bakteriler gibi diğer mikrobiyal topluluklar da besin döngüsünde önemli roller oynamaktadır. Mikorizal mantarlar, bitki kökleri ile simbiyotik ilişkiler kurarak besinleri, özellikle fosforu alma yeteneklerini artırır. Diazotrofik bakteriler, özellikle besin açısından fakir topraklarda, bitkilere azot kaynağı sağlayabilen başka bir azot sabitleyici bakteri grubudur (Garcias-Bonet ve ark., 2016). Bu mikrobiyal toplulukların aktivitesinin ve çeşitliliğinin, toprak pH'ı, nem, sıcaklık ve besin mevcudiyeti gibi çeşitli çevresel faktörlerden etkilendiğini belirtmek gerekir. Örneğin, nitrifikasyon bakterileri nötr ile alkali toprak pH'ı tarafından tercih edilirken, fosforda çözünen bakteriler asitli topraklarda daha bol miktarda bulunur.

Ayrıca, toprak işleme, ürün rotasyonu ve gübre uygulaması gibi tarımsal yönetim uygulamaları da toprak mikrobiyal toplulukları ve besin döngüsü üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Örneğin, toprak işleme toprak yapısını bozabilir ve mikrobiyal aktiviteyi azaltabilirken, gübre uygulaması besin döngüsü mikrobiyal topluluklarının dengesini değiştirebilir ve bazılarını diğerlerine tercih edebilir (Siedt ve ark., 2021). Besin döngüsünde yer alan temel mikrobiyal grupları anlamak, toprak verimliliğini ve bitki sağlığını korumak için gereklidir. Bu mikrobiyal toplulukların aktivitesi ve çeşitliliği, çeşitli çevresel faktörlerden ve yönetim uygulamalarından etkilenir ve bu ilişkileri anlamak, daha sürdürülebilir ve verimli tarım uygulamaları geliştirmek için esastır.

Tablo 1.Bitki büyümesinin teşvikinde yer alan mikrobiyal gruplar.

Mikrobiyal Grup	Etki Mekanizmaları	Kontrollü Patojen Örnekleri	Tarımda Uygulama	Kaynaklar
<i>Trichoderma spp.</i>	Besin maddeleri ve alan için rekabet, antimikrobiyal bileşiklerin üretimi, bitki savunma tepkilerinin indüklenmesi	Fusarium, Pythium, Rhizoctonia, Sclerotinia	Toprak kaynaklı patojenler için biyokontrol ajanı	Verma ve ark., 2007
<i>Bacillus spp.</i>	Antibiyotik ve diğer antimikrobiyal bileşiklerin üretimi, bitki savunma yanıtlarının indüklenmesi	Botrytis, Fusarium, Phytophthora, Pythium, Rhizoctonia	Toprak kaynaklı ve yaprak patojenleri için biyokontrol ajanı	Choudhary ve Johri, 2009
<i>Pseudomonas spp.</i>	Antibiyotik ve diğer antimikrobiyal bileşiklerin üretimi, bitki savunma yanıtlarının indüklenmesi	Phytophthora, Pseudomonas syringae, Pythium, Rhizoctonia, Xanthomonas	Toprak kaynaklı Ve yaprak patojenleri için biyokontrol ajanı	Dimkić ve ark., 2022
<i>Streptomyces spp.</i>	Antibiyotik ve diğer antimikrobiyal bileşiklerin üretimi, besin maddeleri ve alan için rekabet	Botrytis, Fusarium, Phytophthora, Pythium, Rhizoctonia	Toprak kaynaklı ve yaprak patojenleri için biyokontrol ajanı	Vurukonda ve ark., 2018
<i>Arbuscular mycorrhizal fungi</i>	Sistemik bitki savunma tepkilerinin indüklenmesi, besin maddeleri ve alan için rekabet	Fusarium, Phytophthora, Rhizoctonia	Bitki büyümesi ve stres toleransı için biyolojik arttırıcı	Azcón-Aguilar ve Barea, 1997
<i>Rhizobacteria</i>	Bitki büyümesini teşvik eden maddelerin üretimi, besin maddeleri ve alan için rekabet	Fusarium, Phytophthora, Pythium, Rhizoctonia	Bitki büyümesi ve stres toleransı için biyolojik arttırıcı	Verma ve ark., 2019

Toprakta hastalığın baskılanmasında rol oynayan birkaç mikrobiyal grup vardır (Tablo 1). Bu mikroplar, besin maddeleri ve alan için rekabet, antimikrobiyal bileşiklerin üretimi ve bitki savunma tepkilerinin indüksiyonu gibi çeşitli mekanizmalarla bitki hastalıklarının insidansını ve şiddetini azaltabilir (Berendsen et al. 2012). Ek olarak, toprak kaynaklı ve yaprak patojenleri için biyokontrol ajanları ve bitki büyümesi ve stres toleransı için biyolojik arttırıcılar gibi bu mikropların tarımdaki potansiyel uygulamaları hakkında bilgi içerir. Bu mikrobiyal toplulukların gücünden yararlanarak, çiftçiler kimyasal girdilere olan bağımlılıklarını azaltabilir ve daha sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik edebilir.

2. Abiyotik ve Biyotik Stresörlerin Toprak Mikrobiyal Toplulukları Üzerindeki Etkisi

İklim değişikliği ve toprak yönetimi uygulamalarının her ikisi de toprak mikrobiyal toplulukları üzerinde önemli etkilere sahip olabilir. İklim değişikliği ile ilişkili sıcaklık, yağış ve diğer çevresel faktörlerdeki değişiklikler, toprak mikrobiyal topluluklarının bileşimini ve işlevini değiştirebilir ve toprak sağlığı ve ekosistem işlevi üzerinde potansiyel olarak geniş kapsamlı etkilere neden olabilir (Broadbent ve ark., 2021). Örneğin, kuraklık koşulları toprak mikrobiyal çeşitliliğini azaltabilir ve mikrobiyal topluluk yapısını değiştirebilir, bu da besin döngüsünde ve toprak karbon depolamasında değişikliklere yol açabilir. Yüksek sıcaklıklar ayrıca mikrobiyal aktiviteyi etkileyebilir ve farklı mikrobiyal gruplar arasındaki dengeyi değiştirebilir, potansiyel olarak bitki-mikrop etkileşimlerinde ve diğer ekolojik süreçlerde değişimlere yol açabilir.

Toprak işleme, gübre uygulaması ve ürün rotasyonu gibi toprak yönetimi uygulamalarının da toprak mikrobiyal toplulukları üzerinde önemli etkileri olabilir (Smith ve ark., 2016). Örneğin, toprak işleme toprak yapısını bozabilir ve toprak organik maddesinin kaybına yol açabilir, mikrobiyal çeşitliliği azaltabilir ve mikrobiyal topluluk yapısını değiştirebilir. Gübre uygulaması, farklı mikrobiyal grupları etkileyen farklı gübre türleri ile mikrobiyal toplulukları da değiştirebilir. Ürün rotasyonu, faydalı toprak mikroplarını teşvik etmek ve toprak kaynaklı patojenlerin birikmesini azaltmak, daha sağlıklı topraklara ve daha sürdürülebilir mahsul üretimine yol açmak için kullanılabilir. Sürdürülebilir tarımı teşvik etmek ve sağlıklı toprakları korumak için hem iklim değişikliğinin hem de toprak yönetimi uygulamalarının toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurmak önemlidir. Toprak kaynaklarını mikrobiyal çeşitliliği ve işlevi teşvik edecek şekilde yöneterek, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini hafifletmeye ve daha esnek agroekosistemleri teşvik etmeye yardımcı olabiliriz (Mishra ve ark., 2017).

Toprak mikropları ve bitki patojenleri arasındaki etkileşimler bitki sağlığı ve verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir (Morrissey ve ark., 2004). Toprak mikropları, kaynaklar için rekabet ederek, antimikrobiyal bileşikler üreterek ve bitki savunma mekanizmalarını uyararak bitki patojen popülasyonlarını düzenlemede önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, bazı toprak mikropları bitki patojenlerinin kendileri olarak da hareket edebilir, bitkilerde hastalığa neden olabilir ve mahsul verimini azaltabilir. Toprak mikroplarının bitki patojen popülasyonlarını etkileyebilmesinin en önemli yollarından biri, kaynaklar için rekabettir. Toprak mikropları, besin maddeleri ve alan için bitki patojenleriyle rekabet ederek patojenik mikropların büyümesini ve yayılmasını sınırlar (Köhl ve ark., 2019). Ek olarak, bazı toprak mikropları, bitki patojenlerinin büyümesini doğrudan engelleyebilen antimikrobiyal bileşikler üretir. Bu bileşikler, bitki patojenlerinin bitki dokularını kolonize etme ve enfekte etme kabiliyetine müdahale eden antibiyotikleri, enzimleri ve diğer bileşikleri içerebilir.

Bitki patojenleriyle rekabet etmenin yanı sıra, toprak mikropları bitki savunma mekanizmalarını da uyarabilir ve bitkilerin patojen saldırılarından korunmasına yardımcı olabilir. Toprak mikropları, savunmayla ilgili enzimlerin ve ikincil metabolitlerin üretimi de dahil olmak üzere bitki bağışıklık tepkilerini tetikleyen bileşikler üretebilir. Bu, bitki patojenlerinin mahsul verimi üzerindeki etkisini azaltmaya ve bitki sağlığını geliştirmeye yardımcı olabilir. Bununla birlikte, bazı toprak mikropları bitki patojenleri olarak da hareket edebilir, bitkilerde hastalığa neden olabilir ve mahsul verimini azaltabilir (Ab Rahman ve ark., 2018). Örneğin, *Fusarium* ve *Pythium* gibi toprak kaynaklı mantarlar, çeşitli ürünlerde kök çürümmesine neden olabilir, bu da bodur büyümeye ve verimin düşmesine neden olabilir. Toprak mikropları ve bitki patojenleri arasındaki karmaşık etkileşimleri anlamak, bitki sağlığını geliştirmek ve bitki patojenlerinin mahsul üretimi üzerindeki etkisini azaltmak için stratejiler geliştirmek için gereklidir.

Toprak mikropları ve bitki patojenleri arasındaki etkileşimler, toprak yönetimi uygulamaları, iklim koşulları ve diğer toprak organizmalarının varlığı dahil olmak üzere bir dizi faktörden etkilenebilir. Örneğin, pestisitlerin ve diğer kimyasal işlemlerin kullanımı, toprak mikrobiyal topluluklarını bozabilir ve faydalı mikropların bitki patojenleriyle rekabet etme yeteneğini azaltabilir (Doornbos ve ark., 2012). Benzer şekilde, toprak nemi veya sıcaklığındaki değişiklikler, farklı mikrobiyal gruplar arasındaki dengeyi etkileyebilir ve patojen baskılamaya potansiyelini değiştirebilir. Toprak mikropları ve bitki patojenleri arasındaki etkileşimlerin toprak sağlığı ve ekosistem işlevi üzerinde daha geniş etkileri olabilir. Bitki patojenleri, toprak organik maddesinin parçalanmasına, toprak verimliliğinin ve karbon depolama potansiyelinin azaltılmasına katkıda bulunabilir (Kumar ve ark., 2006). Ek olarak, bitki patojenlerini kontrol etmek için kimyasal işlemlerin kullanılması, toprak mikrobiyal toplulukları üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir, çeşitliliği azaltabilir ve topluluk yapısını değiştirebilir. Sürdürülebilir tarımı teşvik etmek ve sağlıklı toprakları korumak için, toprak mikropları ve bitki patojenleri arasındaki karmaşık etkileşimleri anlamak önemlidir. Yararlı toprak mikroplarını teşvik eden ve bitki patojenlerinin bolluğunu azaltan yönetim uygulamaları, sağlıklı toprakların korunmasına ve sürdürülebilir mahsul üretiminin desteklenmesine yardımcı olabilir. Bu uygulamalar, mahsul rotasyonunu, örtü bitkilerinin kullanımını ve organik değişikliklerin uygulanmasını içerebilir; bunların hepsi topraktaki mikrobiyal çeşitliliğin ve işlevin teşvik edilmesine yardımcı olabilir.

3. Sürdürülebilir Tarım için Toprak Veritabanı İçgörülerini Uygulamaları

Toprak sağlığını ve çeşitliliğini teşvik etmek, tarımsal sistemlerin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini korumak için esastır. Toprak sağlığı, toprakların bitki büyümesini destekleme ve ekosistem işlevini sürdürme yeteneğini ifade eder ve toprak yapısı, besin mevcudiyeti ve mikrobiyal çeşitlilik gibi bir dizi faktörden etkilenir. Toprak sağlığının geliştirilmesinde kilit faktörlerden biri toprak yapısının korunmasıdır. Toprak yapısı, iyi toprak havalandırmasını, su infiltrasyonunu ve besin mevcudiyetini korumak için kritik öneme sahiptir. Toprak yapısı, toprak agregalarının korunmasına ve toprak rahatsızlığının en aza indirilmesine yardımcı olan azaltılmış toprak işleme gibi uygulamalarla korunabilir (Puerta ve ark., 2018). Bu, toprak erozyonunu azaltmaya ve toprak verimliliğini korumaya yardımcı olabilir.

Toprak sağlığının geliştirilmesinde bir diğer önemli faktör, besin mevcudiyetinin korunmasıdır. Toprak besinleri, bitki büyümesini ve verimliliğini desteklemek için kritik öneme sahiptir ve toprak organik maddesinin oluşturulmasına ve topraktaki besin maddelerinin korunmasına yardımcı olan örtü bitkilerinin kullanımı gibi uygulamalarla korunabilir. Mikrobiyal çeşitliliğin korunması, toprak sağlığının geliştirilmesi için de önemlidir. Toprak mikropları, besin döngüsünün düzenlenmesinde, toprak yapısının iyileştirilmesinde ve bitki patojenlerinin baskılanmasında kritik bir rol oynamaktadır (Tahat ve ark., 2020). Ürün rotasyonu, örtü bitkilerinin kullanımı ve organik değişikliklerin uygulanması gibi uygulamalar, topraktaki mikrobiyal çeşitliliğin ve işlevin teşvik edilmesine yardımcı olabilir. Toprak sağlığını ve çeşitliliğini teşvik etmek, tarımsal verimlilik ve sürdürülebilirlik için sayısız faydaya sahip olabilir. Sağlıklı toprakları koruyarak, çiftçiler kimyasal girdilere olan ihtiyacı azaltabilir ve uzun vadede mahsul verimini artırabilir (Shah ve Wu, 2019). Ek olarak, sağlıklı topraklar karbonu tutarak ve sera gazı emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğini hafifletmeye yardımcı olabilir.

Toprak sağlığını ve çeşitliliğini teşvik etmek, ekosistem sağlığı ve biyolojik çeşitlilik için daha geniş faydalara da sahip olabilir. Sağlıklı topraklar, toprak süreçlerinin düzenlenmesinde ve ekosistem fonksiyonunun desteklenmesinde önemli rol oynayan solucanlar, böcekler ve diğer omurgasızlar da dahil olmak üzere bir dizi faydalı organizmayı desteklemektedir (Chagnon ve ark., 2015). Sağlıklı toprakları koruyarak, çiftçiler daha geniş ekosistem sağlığını desteklemeye ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkıda bulunmaya yardımcı olabilirler. Ek olarak, toprak sağlığını ve çeşitliliğini teşvik etmek, iklim değişikliği gibi çevresel streslere karşı dayanıklılık oluşturmaya yardımcı olabilir. Sağlıklı topraklar nemi ve besin maddelerini daha iyi koruyabilir, bu da mahsulleri kuraklığa ve diğer çevresel streslere karşı tamponlamaya yardımcı olabilir. Toprak sağlığını ve çeşitliliğini teşvik ederek, çiftçiler değişen bir iklimin zorluklarına daha iyi dayanabilecek daha esnek tarım sistemleri oluşturmaya yardımcı olabilirler (Altieri ve ark., 2015). Toprak sağlığını ve çeşitliliğini teşvik etmek, tarımsal sistemlerin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini korumak için esastır. Sağlıklı toprakları koruyarak, çiftçiler kimyasal girdilere olan ihtiyacı azaltabilir, mahsul verimini artırabilir, biyolojik çeşitliliği destekleyebilir ve çevresel streslere karşı direnç oluşturabilir.

Kimyasal girdilere olan bağımlılığın azaltılması, tarımda toprak sağlığını ve sürdürülebilirliğini teşvik etmenin önemli bir yönüdür. Sentetik gübreler, böcek ilaçları ve herbisitler gibi kimyasal girdiler, aşırı veya yanlış kullanıldığında toprak sağlığı, biyolojik çeşitlilik ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Kimyasal girdilere olan bağımlılığı azaltmanın bir yolu, entegre haşere yönetimi (IPM) stratejilerinin benimsenmesidir (Barzman ve ark., 2015). IPM, kültürel, mekanik ve biyolojik kontroller de dahil olmak üzere bir dizi haşere kontrol önlemini, kimyasal girdilere bağımlılığı en aza indirecek şekilde entegre eden haşere yönetimine yönelik bir yaklaşımdır. IPM stratejileri belirli mahsul ve haşere durumlarına göre uyarlanabilir ve topraktaki zararlılar ve faydalı organizmalar arasında sağlıklı bir dengenin korunmasına yardımcı olabilir. Kimyasal girdilere olan bağımlılığı azaltmanın bir başka yolu da organik tarım uygulamalarının kullanılmasıdır. Organik tarım, toprak sağlığını oluşturmak ve zararlıları ve hastalıkları kontrol etmek için mahsul rotasyonları, örtü kırma ve kompostlama gibi bir dizi doğal girdi ve uygulamaya dayanır (Nair ve Delate, 2016). Organik tarım uygulamaları, kimyasal girdilerin toprak sağlığı ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yardımcı olurken, daha sürdürülebilir ve esnek tarım sistemlerini teşvik edebilir. Kimyasal girdilere olan bağımlılığın azaltılması, uzaktan algılama, global positioning system (GPS) ve değişken oranlı teknoloji gibi hassas tarım teknolojilerinin kullanımını da içerebilir (Abdullahi ve ark., 2015). Bu teknolojiler, çiftçilerin gübre ve böcek ilacı gibi girdileri daha hassas bir şekilde uygulamalarına, uygulanan toplam kimyasal miktarını azaltmalarına ve toprak sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmelerine yardımcı olabilir. Kimyasal girdilere olan bağımlılığın azaltılması, tarımda toprak sağlığını ve sürdürülebilirliğini teşvik etmenin önemli bir yönüdür. Entegre haşere yönetimi stratejilerini benimseyerek, organik tarım uygulamalarını kullanarak ve hassas tarım teknolojilerini kullanarak, çiftçiler daha sürdürülebilir ve esnek tarım sistemleri inşa ederken toprak sağlığı, biyolojik çeşitlilik ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri azaltabilirler (Paas ve ark., 2021).

Kimyasal girdilere olan bağımlılığın azaltılması, çiftçiler için ekonomik faydalara da yol açabilir. Kimyasal girdiler maliyetli olabilir ve kullanımlarını azaltmak, girdi maliyetlerini azaltmaya ve karlılığı artırmaya yardımcı olabilir. Daha sürdürülebilir ve rejeneratif tarım uygulamalarını benimseyerek, çiftçiler uzun vadeli toprak sağlığı ve verimliliği de oluşturabilir, pahalı girdilere olan ihtiyacı azaltabilir ve zamanla mahsul verimini artırabilir. Ayrıca, kimyasal girdilere olan bağımlılığın azaltılması, gıda güvenliği ve insan sağlığı ile ilgili endişelerin giderilmesine yardımcı olabilir. Kimyasal girdiler, ürünler üzerinde kalıntılar bırakabilir ve bu da yüksek miktarlarda tüketilirse insan sağlığına zararlı olabilir. Kimyasal girdileri azaltarak, çiftçiler

ürettikleri gıdaların güvenliğini ve kalitesini sağlamaya yardımcı olurken, aynı zamanda çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri de azaltabilirler. Kimyasal girdilere olan bağımlılığın azaltılması, tarımda toprak sağlığını ve sürdürülebilirliği teşvik etmenin önemli bir yönüdür (Doran ve ark., 2002). Entegre haşere yönetimi stratejilerini benimseyerek, organik tarım uygulamalarını kullanarak ve hassas tarım teknolojilerini kullanarak, çiftçiler daha sürdürülebilir ve karlı tarım sistemleri inşa ederken toprak sağlığı, biyolojik çeşitlilik ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri azaltabilirler.

Toprak-mikrop-bitki sisteminin esnekliğini artırmak, sürdürülebilir ve esnek tarım sistemleri oluşturmak için çok önemlidir. Esneklik, sistemin kuraklık, hastalık veya iklim değişikliği gibi rahatsızlıklara veya streslere dayanma ve bunlardan kurtulma yeteneğini ifade eder. Esnekliği artırarak, tarımsal sistemlerin uzun vadeli verimliliğini ve sağlığını sağlamaya yardımcı olabiliriz (Bullock ve ark., 2017). Esnekliği arttırmanın bir yolu, mahsul rotasyonlarının kullanılması ve mahsullerin örtülmesidir. Ürün rotasyonları, toprak sağlığı ve verimliliğinin artmasına yardımcı olurken, aynı zamanda zararlıların ve hastalıkların birikmesini de azaltabilir. Baklagiller gibi örtü bitkileri, topraktaki azotun sabitlenmesine, erozyonun azaltılmasına ve tozlayıcılar ve faydalı böcekler gibi faydalı organizmalar için yaşam alanı sağlanmasına yardımcı olabilir.

Esnekliği arttırmanın bir başka yolu da rejeneratif tarım uygulamalarının kullanılmasıdır. Rejeneratif tarım, toprak sağlığını ve biyolojik çeşitliliği inşa etmeyi ve aynı zamanda sürdürülebilir ve karlı bir şekilde gıda üretmeyi amaçlayan bir tarım yaklaşımıdır. Rejeneratif tarım uygulamaları arasında ürün rotasyonları, örtü kırpması, koruma toprak işleme ve kompost ve gübre gibi doğal girdilerin kullanımı yer almaktadır (Giller ve ark., 2021). Ek olarak, esnekliğin artırılması, iklim açısından akıllı tarım uygulamalarının kullanılmasını içerebilir. İklim-akıllı tarım, tarımsal üretkenliği ve gelirleri artırmayı, aynı zamanda sera gazı emisyonlarını azaltmayı ve iklim değişikliğine karşı direnç oluşturmayı amaçlamaktadır. İklim akıllı tarım uygulamaları, koruma tarımı, tarımsal ormancılık ve kuraklığa dayanıklı ürün çeşitlerinin kullanımını içerir. Esnekliğin artırılması, hassas tarım teknolojilerinin kullanılmasını içerebilir. Hassas tarım teknolojileri, çiftçilerin gübre ve böcek ilacı gibi girdileri daha hassas bir şekilde uygulamalarına, uygulanan toplam kimyasal miktarını azaltmalarına ve toprak sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmelerine yardımcı olabilir. Toprak-mikrop-bitki sisteminin esnekliğini artırmak, sürdürülebilir ve esnek tarım sistemleri oluşturmak için çok önemlidir (Sani ve ark., 2022). Mahsul rotasyonlarını kullanarak ve mahsulleri örtterek, rejeneratif tarım uygulamalarını benimseyerek, iklim açısından akıllı tarım uygulamalarını kullanarak ve hassas tarım teknolojilerini kullanarak, çiftçiler tarımsal sistemlerinin esnekliğini artırabilir, uzun vadeli verimlilik ve sağlık sağlayabilirler.

Esnekliği arttırmanın sadece olumsuz etkileri azaltmakla ilgili değil, aynı zamanda olumlu etkiler yaratmakla da ilgili olduğunu belirtmek önemlidir. Örneğin, toprak sağlığını ve biyolojik çeşitliliği geliştirerek, streslere ve rahatsızlıklara daha iyi dayanabilen ve bunlardan kurtulabilen daha esnek tarım sistemleri inşa edebiliriz (Brussaard ve ark., 2004). Toprak mikrobiyal çeşitliliği, toprak sağlığının önemli bir bileşenidir ve mikrobiyal çeşitliliği teşvik ederek, toprak-mikrop-bitki sisteminin esnekliğini artırabiliriz. Ayrıca, esnekliğin artırılması, tarımın çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yardımcı olabilir. Örneğin, kimyasal girdilerin kullanımını azaltarak ve toprak sağlığını inşa ederek, su yollarının kirliliğini ve mahsuller üzerinde pestisit kalıntılarının birikmesini azaltabiliriz. Biyolojik çeşitliliği teşvik ederek ve toprak erozyonunu azaltarak, vahşi yaşam habitatlarının korunmasına ve tozlaşma ve haşere kontrolü gibi ekosistem hizmetlerinin desteklenmesine de yardımcı olabiliriz (Colding ve Folke, 2009). Toprak-mikrop-bitki sisteminin esnekliğini artırmak, sürdürülebilir ve esnek tarım sistemleri oluşturmak için çok önemlidir. Bu, mahsul rotasyonları ve örtü bitkileri, rejeneratif tarım uygulamaları, iklim akıllı tarım uygulamaları ve hassas tarım teknolojileri dahil olmak üzere bir dizi stratejinin kullanılmasını içerir. Esnekliği artırarak, tarımsal sistemlerin uzun vadeli üretkenliğini ve sağlığını sağlamaya yardımcı olurken, aynı zamanda çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri de azaltabiliriz.

Sonuç

Toprak-mikrop-bitki sistemi, bitki sağlığında çok önemli bir rol oynayan karmaşık ve çok yönlü bir sistemdir. Toprak veritabanlarının kullanımı sayesinde, toprak mikroplarının çeşitliliğini ve işlevini ve bitki sağlığı üzerindeki etkilerini daha iyi anladık. Besin döngüsü, hastalık bastırma ve bitki büyümesinin teşviki ile ilgili anahtar mikrobiyal grupları ve bunların bitki sağlığına katkılarını belirledik. Bununla birlikte, toprak mikrobiyal topluluğunun son derece dinamik ve çevresel değişikliklere duyarlı olduğunu ve toprak-mikrop-bitki etkileşimlerini yöneten mekanizmaların hala tam olarak anlaşılmadığını da kabul ediyoruz. Bu zorluklara rağmen, toprak veritabanı analizinden elde edilen bilgiler, sürdürülebilir tarım ve bitki sağlığı yönetimi için değerli bilgiler sağlar. Toprak sağlığını ve çeşitliliğini teşvik ederek, toprak-mikrop-bitki sisteminin esnekliğini artırabilir, besin döngüsünü iyileştirebilir ve kimyasal girdilere olan bağımlılığı azaltabiliriz. Bu nedenle, toprak-mikrop-bitki sistemi ve toprak veritabanlarının kullanımı üzerine devam eden araştırmalar, bitki sağlığını ve sürdürülebilir tarımı teşvik etmek için etkili stratejiler geliştirmek için çok önemli olacaktır.

Kaynaklar:

- Yadav, A. N., Kour, D., Kaur, T., Devi, R., Yadav, A., Dikilitas, M., ... & Saxena, A. K. (2021). Biodiversity, and biotechnological contribution of beneficial soil microbiomes for nutrient cycling, plant growth improvement and nutrient uptake. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 102009.
- Palit, K., Rath, S., Chatterjee, S., & Das, S. (2022). Microbial diversity and ecological interactions of microorganisms in the mangrove ecosystem: Threats, vulnerability, and adaptations. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(22), 32467-32512.
- David, B. V., Chandrasehar, G., & Selvam, P. N. (2018). *Pseudomonas fluorescens*: a plant-growth-promoting rhizobacterium (PGPR) with potential role in biocontrol of pests of crops. In *Crop improvement through microbial biotechnology* (pp. 221-243). Elsevier.
- Labuschagne, N., Pretorius, T., & Idris, A. H. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria as biocontrol agents against soil-borne plant diseases. *Plant growth and health promoting bacteria*, 211-230.
- Powelson, D. S., Hirsch, P. R., & Brookes, P. C. (2001). The role of soil microorganisms in soil organic matter conservation in the tropics. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 61, 41-51.
- Raaijmakers, J. M., Paulitz, T. C., Steinberg, C., Alabouvette, C., & Moënne-Loccoz, Y. (2009). The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. *Plant growth and health promoting bacteria*, 211-230.
- Rivero, R. M., Mittler, R., Blumwald, E., & Zandalinas, S. I. (2022). Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *The Plant Journal*, 109(2), 373-389.
- Yang, T., Siddique, K. H., & Liu, K. (2020). Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01118.
- Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. *International journal of soil, sediment and water*, 3(2), 13.
- Hartmann, M., & Six, J. (2023). Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(1), 4-18.
- Abdelfattah, A., Malacrino, A., Wisniewski, M., Cacciola, S. O., & Schena, L. (2018). Metabarcoding: A powerful tool to investigate microbial communities and shape future plant protection strategies. *Biological Control*, 120, 1-10.
- Bertola, M., Ferrarini, A., & Visioli, G. (2021). Improvement of soil microbial diversity through sustainable agricultural practices and its evaluation by-omics approaches: A perspective for the environment, food quality and human safety. *Microorganisms*, 9(7), 1400.
- Kergourlay, G., Taminiau, B., Daube, G., & Vergès, M. C. C. (2015). Metagenomic insights into the dynamics of microbial communities in food. *International journal of food microbiology*, 213, 31-39.
- Maron, P. A., Ranjard, L., Mougel, C., & Lemanceau, P. (2007). Metaproteomics: a new approach for studying functional microbial ecology. *Microbial ecology*, 53, 486-493.
- Hettich, R. L., Pan, C., Chourey, K., & Giannone, R. J. (2013). Metaproteomics: harnessing the power of high performance mass spectrometry to identify the suite of proteins that control metabolic activities in microbial communities. *Analytical chemistry*, 85(9), 4203-4214.
- Prasad, S., Malav, L. C., Choudhary, J., Kannojiya, S., Kundu, M., Kumar, S., & Yadav, A. N. (2021). Soil microbiomes for healthy nutrient recycling. *Current trends in microbial biotechnology for sustainable agriculture*, 1-21.
- Chang, C., Nasir, F., Ma, L., & Tian, C. (2017). Molecular communication and nutrient transfer of arbuscular mycorrhizal fungi, symbiotic nitrogen-fixing bacteria, and host plant in tripartite symbiosis. *Legume Nitrogen Fixation in Soils with Low Phosphorus Availability: Adaptation and Regulatory Implication*, 169-183.
- Zechmeister-Boltenstern, S., Keiblinger, K. M., Mooshammer, M., Peñuelas, J., Richter, A., Sardans, J., & Wanek, W. (2015). The application of ecological stoichiometry to plant-microbial-soil organic matter transformations. *Ecological Monographs*, 85(2), 133-155.
- Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste management*, 69, 136-153.
- Garcias-Bonet, N., Arieta, J. M., Duarte, C. M., & Marbà, N. (2016). Nitrogen-fixing bacteria in Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) roots. *Aquatic Botany*, 131, 57-60.
- Siedt, M., Schäffer, A., Smith, K. E., Nabel, M., Roß-Nickoll, M., & van Dongen, J. T. (2021). Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides. *Science of the Total Environment*, 751, 141607.
- Verma, B., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Surampalli, R. N., & Valero, J. R. (2007). Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*, 37(1), 1-20.
- Choudhary, D. K., & Johri, B. N. (2009). Interactions of *Bacillus* spp. and plants-with special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microbiological research*, 164(5), 493-513.
- Dimkić, I., Janakiev, T., Petrović, M., Degraasi, G., & Fira, D. (2022). Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms-A review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 117, 101754.
- Vurukonda, S. S. K. P., Giovanardi, D., & Stefani, E. (2018). Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International journal of molecular sciences*, 19(4), 952.
- Azcón-Aguilar, C., & Barea, J. M. (1997). Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens—an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza*, 6, 457-464.
- Verma, P. P., Shelake, R. M., Das, S., Sharma, P., & Kim, J. Y. (2019). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and fungi (PGPF): potential biological control agents of diseases and pests. *Microbial Interventions in Agriculture and Environment: Volume 1: Research Trends, Priorities and Prospects*, 281-311.
- Berendsen, R. L., Pieterse, C. M., & Bakker, P. A. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in plant science*, 17(8), 478-486.
- Broadbent, A. A., Snell, H. S., Michas, A., Pritchard, W. J., Newbold, L., Cordero, I., ... & Bardgett, R. D. (2021). Climate change alters temporal dynamics of alpine soil microbial functioning and biogeochemical cycling via earlier snowmelt. *The ISME journal*, 15(8), 2264-2275.
- Smith, C. R., Blair, P. L., Boyd, C., Cody, B., Hazel, A., Hedrick, A., ... & Wolfe, Z. (2016). Microbial community responses to soil tillage and crop rotation in a corn/soybean agroecosystem. *Ecology and Evolution*, 6(22), 8075-8084.
- Mishra, J., Singh, R., & Arora, N. K. (2017). Plant growth-promoting microbes: diverse roles in agriculture and environmental sustainability. *Probiotics and plant health*, 71-111.
- Morrissey, J. P., Dow, J. M., Mark, G. L., & O'Gara, F. (2004). Are microbes at the root of a solution to world food production? Rational exploitation of interactions between microbes and plants can help to transform agriculture. *EMBO reports*, 5(10), 922-926.
- Köhl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. *Frontiers in plant science*, 845.
- Ab Rahman, S. F. S., Singh, E., Pieterse, C. M., & Schenk, P. M. (2018). Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens. *Plant Science*, 267, 102-111.
- Doombos, R. F., van Loon, L. C., & Bakker, P. A. (2012). Impact of root exudates and plant defense signaling on bacterial communities in the rhizosphere. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 227-243.
- Kumar, R., Pandey, S., & Pandey, A. (2006). Plant roots and carbon sequestration. *Current Science*, 885-890.
- Puerta, V. L., Pereira, E. I. P., Wittwer, R., Van Der Heijden, M., & Six, J. (2018). Improvement of soil structure through organic crop management, conservation tillage and grass-clover ley. *Soil and Tillage Research*, 180, 1-9.
- M. Tahat, M., M. Alananbeh, K., A. Othman, Y., & I. Leskovar, D. (2020). Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 12(12), 4859.
- Shah, F., & Wu, W. (2019). Soil and crop management strategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. *Sustainability*, 11(5), 1485.
- Chagnon, M., Kreutzweiser, D., Mitchell, E. A., Morrissey, C. A., Noome, D. A., & Van der Sluijs, J. P. (2015). Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environmental science and pollution research*, 22, 119-134.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for sustainable development*, 35(3), 869-890.
- Barzman, M., Bärberi, P., Birch, A. N. E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., ... & Sattin, M. (2015). Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for sustainable development*, 35, 1199-1215.
- Nair, A., & Delate, K. (2016). Composting, crop rotation, and cover crop practices in organic vegetable production. *organic farming for sustainable agriculture*, 231-257.
- Abdullahi, H. S., Mahieddine, F., & Sheriff, R. E. (2015). Technology impact on agricultural productivity: A review of precision agriculture using unmanned aerial vehicles. In *Wireless and Satellite Systems: 7th International Conference, WISATS 2015, Bradford, UK, July 6-7, 2015. Revised Selected Papers 7* (pp. 388-400). Springer International Publishing.
- Paas, W. H., Coopmans, I., Severini, S., Van Ittersum, M. K., Meuwissen, M. P., & Reidsma, P. (2021). Participatory assessment of sustainability and resilience of three specialized farming systems. *Ecology and Society*, 26(2).
- Doran, J. W. (2002). Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, ecosystems & environment*, 88(2), 119-127.
- Bullock, J. M., Dhanjal-Adams, K. L., Milne, A., Oliver, T. H., Todman, L. C., Whitmore, A. P., & Pywell, R. F. (2017). Resilience and food security: rethinking an ecological concept. *Journal of Ecology*, 105(4), 880-884.
- Giller, K. E., Hijbeek, R., Andersson, J. A., & Sumberg, J. (2021). Regenerative agriculture: an agronomic perspective. *Outlook on agriculture*, 50(1), 13-25.
- Sani, M., Hossain, N., & Yong, J. W. (2022). Harnessing synergistic biostimulatory processes: A plausible approach for enhanced crop growth and resilience in organic farming. *Biology*, 11(1), 41.
- Brussaard, L., Kuypers, T. W., Didden, W. A. M., Goede, R. D., & Bloem, J. (2004). Biological soil quality from biomass to biodiversity-importance and resilience to management stress and disturbance. In *Managing soil quality: Challenges in modern agriculture* (pp. 139-161). Wallingford UK: CABI Publishing.
- Colding, J., & Folke, C. (2009). The role of golf courses in biodiversity conservation and ecosystem management. *Ecosystems*, 12, 191-206.



BİYOGÜBRELER

Prof. Dr. Recep ÖZEN
Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi,
Kimya Bölümü, Öğretim Üyesi

Giriş

Uygarlığın başlangıcından beri tarım, hem istihdam hem de geçim sağlayan kilit sektör olmaya devam etmektedir. Ancak dünya çapındaki nüfus artışı ve dolayısıyla gıda talebi, mahsul üretim oranlarında bir artışı zorunlu hale getirdi. Bu nedenle, küresel gıda talebi ihtiyacını karşılamak için akıllı tarım stratejilerinin benimsenmesi gerekliliği zorunlu hale gelmiştir.

Doğru ürüne, doğru zaman ve ortamda, doğru oranda gübre kullanımı, yüksek verim ve kalite artışı sağlar. Bununla birlikte, son yıllarda, gübre tüketimi, dünyanın dört bir yanında katlanarak artmakta, uzun vadede toprak kalitesinde bozulma ve ağır metallerin gıdalarda birikmesi gibi ciddi çevresel tehditlere neden olmaktadır. Özellikle azotlu gübrelerin üretimi yüksek enerji ve büyük miktarda para kaybına neden olurken, bu süreçte küresel ısınmada da baş belası olan sera gazları üretilmekte, su kaynaklarında ciddi kirlilik sorunlarına yol açmaktadır. Bu yüzden tarımsal uygulamalarda kimyasal gübre yerine, verimliliğin artırılması, toprakların fiziksel ve kimyasal yapısının iyileştirilmesi, insan sağlığının korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi, toprağa ekolojik besin kaynağı takviyesi gibi amaçlarla organik atıklar ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteri uygulamalarını içeren organik gübre kullanımı gibi, etkili bir alternatif arayışına girilmiştir. Bitkilerin toprakta bulunan besin maddelerinden yararlanabilmeleri ancak toprakta bulunan çeşitli mikroorganizma gruplarının da görev aldığı biyolojik azot fiksasyonu ve besin maddelerinin sulama suyunda çözünerek köklere ulaşması ile mümkün olabilmektedir. Burada baklagiller için Rhizobium, çeşitli ürünler için; P çözücüler, kükürt oksitleyiciler, vesiküler arbusküler mikoriza (VAM) ve organik ayrıştırıcılar gibi fosfat emiciler tarımda çok önemli rol oynamaktadır (1).

Biyogübre kavramı, ilk olarak 1888 yılında Hollandalı bir bilim adamı tarafından tanımlanmıştır. Mikroorganizmaların toprak gübrelemesi için bilinçli bir şekilde kullanılması çalışmalarına ise, ondokuzuncu yüzyılda başlanmış, ilk ticari biyogübre Nobbe ve Hiltner tarafından 1895 yılında ABD’de “Nitrogin” ticari adı ile üretilmiştir.

Azot, fosfor ve potasyum üç ana bitki besin maddesi olup, gübrelerin uygulanması tarımsal faaliyetlerde verimliliği arttırmak için önemli ve hayati bir seçenektir. Üretim yapabilmek için tohum ne kadar önemli ise, gübre kullanımı da o kadar önemlidir. Gübreler veya gübreler yoluyla uygulanan azot, bitki N alımında ana katkı maddesidir (2). Ancak ticari gübreler, bitkinin azot ihtiyacının % 40’ından daha da az bir oranda karşılayabilmektedir. Bitki tarafından kullanılmayan azot, mikrobiyal etki ile mineralize hale dönüştürülerek, toprak organik maddesinde tutulur ve bitki alımı için uygun hale getirilir. Tarımsal uygulamalarda biyogübre kullanılması, çevresel kirliliğin zararlı etkilerini azaltmada önemli olup, Azotobacter, sahip olduğu birden fazla nitrojenaz enzimi türü ile biyogübreler arasında benzersiz özelliklere sahiptir.

Biyogübre ürünleri genellikle bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmalara (PGPM) dayanır. PGPM’ler; Arbusküler Mikorizal Funguslar (AMF), bitki büyümesini destekleyen rizobakteriler (PGPR), bitki büyümesi için yararlı olduğu düşünülen azot fikse eden rizobi olmak üzere üç dominant mikroorganizma grubu olarak sınıflandırılabilir (3).

Biyogübre Çeşitleri

Biyogübre terimi, atmosferik N₂ molekülünün toprağa fikse edilmesine yardımcı olan veya büyümeyi teşvik eden maddelerin salgılanmasının yanı sıra toprak besinlerini çözen/harekete geçirebilen özelliklere sahip bakteri, fungus, aktinomiset ve algler gibi mikroorganizmaları içeren ürünleri tanımlamada kullanılan geniş anlamalı bir terimdir. Biyogübreler, “yeşil gübre” olarak kullanılan Azolla örneğinde olduğu gibi içeriğinde bulunan besin maddelerini sağlamak

için kullanılmazlar. Biyogübreler; bitki büyüme teşvik edici rizobakteriler (PGPR), kompost hızlandırıcı fungusları içeren biyogübreler, P- çözücü mikroorganizmaları içeren biyogübreler ve azot fikse edici mikroorganizmaları içeren biyogübreler olarak gruplandırılabilirler (4).

1. Bitki Büyüme Teşvik Edici Rizobakteriler (PGPR)

Bitki büyümesini destekleyen rizobakteriler (PGPR) terimi, Kloepper ve Schroth tarafından tanımlanmış olup bitki büyümesini arttıran ve bitkinin köklerini (rizosfer) kolonize eden bakterileri ifade eder. Rizosfer, bitki köklerini çevreleyen makro ve mikro temel besin maddelerinin ekstrakte edildiği, maksimum mikrobiyal aktivitenin gerçekleştiği bölgedir. Bitkilerin köklerini çevreleyen bölgede genellikle yığın toprağa kıyasla 10 ile 100 kat daha yüksek miktarda mikrobiyal populasyon bulunmaktadır.

2. Kompost Hızlandırıcı Fungusları İçeren Biyogübreler

Kompostlama, organik biyolojik olarak parçalanabilir atıkların, toprak düzenleyici ve organik gübre olarak kullanılmak üzere hijyenik, humus bakımından zengin bir ürüne dönüştürüldüğü kontrollü bir mikrobiyal biyooksidatif işlemdir. Katı atıklar için ucuz, verimli ve sürdürülebilir bir işlemler sürecidir. Bu süreç, sıcaklık, nem (tipik olarak ağırlıkça% 40-60), aerobik ortamı (tipik olarak % 5 veya daha fazla) desteklemek için yeterli oksijen, parçacık boyutu, C / N oranı ve derecesi dahil olmak üzere bir dizi faktöre bağlıdır.

3. P- çözücü Mikroorganizmaları İçeren Biyogübreler

Toprakta bulunan fosfor, çoğunlukla, bitkiler tarafından emilemeyen çözünmez fosfat formundadır. Birkaç toprak bakterisi ve fungus (*Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp. ve *Aspergillus* spp.vb.), bu çözünmeyen fosfatları çözünür formlarına dönüştürme yeteneğine sahiptir.

4. Azot Fikse Edici Mikroorganizmaları İçeren Biyogübreler

Bütün canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için, azot başta olmak üzere birçok elemente ihtiyaç duymaktadır. Azot, organik maddelerin yapısında, amino asitlerle, bunlardan türeyen proteinler başta olmak üzere, amin, amid, nitro bileşikler şeklinde bulunurken, doğada tümü gaz halinde bulunan; NH_3 , N_2 , N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_5 gibi inorganik azot bileşikler halinde de bulunabilmekte ve bunların içerisinde, NH_3 , NO_2 , N_2O_3 , ve N_2O_5 gibi bileşikler, organik azotlu bileşiklere dönüştürülebilmektedirler.

Bu bağlamda, sürdürülebilir bir tarım sistemini benimsemek için, yüksek verimli transgenik mahsullerin kullanımı ve biyogübrelerin uygulanmasıyla elde edilebilecek gelişmiş, çevre dostu ve bilimsel tarım teknolojisinin uygulanması gerekmektedir.

Kaynaklar:

1. Borkar, S.G., 2015, Microbes as Biofertilizers and Their Production Technology, Woodhead Publishing India Pvt. Ltd., 218p
2. Dwivedi, B.S., Singh, V.K., Meena, M.C., 2017, Efficient Nitrogen Management Under Predominant Cropping Systems of India, Elsevier Inc.98s.
3. Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., Boyce, A., 2016, Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability—A Review, Molecules, 21,573.
4. Tekeli, K. R., 2019, Biyogübre Olarak AZOTOBACTER Türlerinin Üretim Optimizasyonu, Yüksek Lisan Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İZMİR.



GÜBRE ENDÜSTRİSİ ATIĞI OLAN FOSFOJİPSİN GERİ DÖNÜŞÜMÜNÜN ÖNEMİ

Cemre AVŞAR
Toros Tarım ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye

Fosfojips Nedir?

Fosfojips (PG) yaş proses fosforik asit üretimi esnasında yüksek miktarda oluşan ve genellikle herhangi bir işleme tabi tutulmadan depolanan, kimyasal içeriği çeşitli parametrelere bağlı olan ve tek bir formülasyonla tanımlanamayan saf olmayan (kütleye > %95 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) alçı olarak tanımlanmaktadır (Jia vd., 2021; Amrani vd., 2020). PG, yapısında fosfat kayası kaynaklı safsızlıklar (artık asitler, florürler, nadir toprak elementleri ağır metaller ve radyonüklidler) bulundurmaktadır.

PG toz yapıda ve gözenekli bir malzemedir. Gözenekler içerisinde reaksiyon artığı H_3PO_4 ve H_2SO_4 bulundurması sebebiyle asidik- zayıf asidik özellik göstermektedir. Proses sonucu açığa çıkan PG filtrelendikten sonra içeriğindeki nem miktarı yaklaşık %20-30 arasındadır, fakat yığın halinde depolama koşulları sebebiyle PG'nin nem miktarı değişkenlik gösterebilmektedir. Tipik bir PG numunesinin fiziksel özellikleri Çizelge 1'de özetlenmiştir:

Çizelge 1 Fosfojipsin fiziksel özellikleri (Tayibi vd. 2009)

Fiziksel Özellik	Değer
pH	3-7
Çözünürlük (pH'a bağlı)	Tuzlu suda yüksek çözünürlük (4.1 g/L)
Partikül yoğunluğu	2,27-2,40 g/cm ³
Yığın yoğunluğu	0,9-1,7 g/cm ³
Partikül boyutu	0,250-0,045 mm

PG'nin kimyasal içeriği proste kullanılan fosfat kayasına göre değişiklik göstermekle birlikte, genel olarak CaO, SO₄, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, P₂O₅ ve eser miktarda As, Ag, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg ve Se içermektedir (Kandil vd., 2016, Wu vd., 2018). Elementler ppm seviyesinde olmalarına rağmen, USEPA (United States Environmental Protection Agency) tarafından "potansiyel toksik kimyasallar" olarak sınıflandırılmaktadır. Farklı lokasyonlardan temin edilen fosfat kayası ile H₃PO₄ üretimi sonucu oluşan farklı PG numunesinin kimyasal içerikleri Çizelge 2'de verilmiştir:

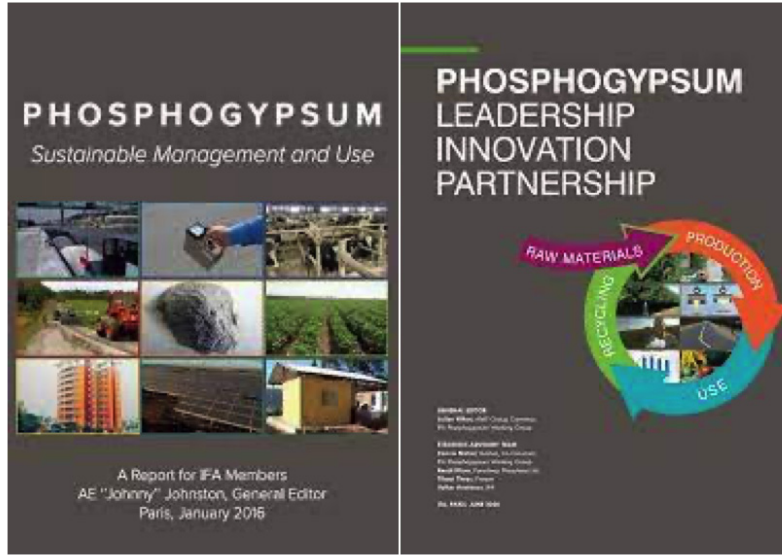
Köken	Bileşen (%)								
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅	F
Cezayir	31,18	0,88	0,1	0,03	0,06	40,9	1,32	0,87	1,2
Mısır	32,13	8,78	0,29	0,35	0,09	37,6	(-)	1,82	0,8
Hindistan	31,09	0,29	0,54	(-)	1,31	43,21	0,29	0,47	0,86
Türkiye	32,04	3,44	0,88	0,32	(-)	44,67	0,13	0,5	0,79
Çin	30,79	1,88	2,1	(-)	0,8	42,56	(-)	(-)	(-)
Fas	30,5	9,5	2,8	0,9	0,3	42,9	(-)	0,5	0,15
Tunus	31-32	(-)	0,1	0,1	0,4	46	0,3	1,2	1,2
ABD	25-31	3-18	0,3	0,2	(-)	55-58	(-)	0,5-4	(-)
Ürdün	28,31	8,29	0,17	0,31	0,21	40,45	0,29	1,98	0,26

Çizelge 2'ye göre, PG kimyasal yapısının ana bileşenlerinin CaO ve SO₃ olduğu gözlemlenmektedir. Diğer bileşenler (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, P₂O₅, F) proste kullanılan fosfat kayasının kimyasal yapısına göre farklılıklar göstermektedir. PG yığınları genellikle kıyı bölgelerine yakın konumlandırılmıştır, uzun süreli depolama süreleri sebebiyle yeraltı suyunu sülfat, flor, ağır metal vb. sızıntılara sebep olabilmektedir (Saadaoui vd., 2017; Hernandez-Ceballos vd., 2015; Abdelhadi vd., 2018). PG, kullanım oranının düşük olmasına sebep olan bazı safsızlıklar içermesine rağmen, malzemenin doğal alçıya alternatif olabilecek yüksek potansiyeli bulunmaktadır (Chen vd., 2022; Zhang vd., 2022; Taher ve Damarany, 2019).

PG'nin Geri Dönüşümünün Önemi

PG'nin döngüsellikini arttırmak, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında ikincil bir kaynak olarak verimli geri dönüşümünün ve malzemenin değerlendirilmesini sağlamak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Kanwal vd., 2021; Zmema vd., 2021).

Uluslararası Gübre Birliği (IFA) tarafından PG yönetimi, geri kullanım çalışmaları ve tarımsal faaliyetlerde kullanılarak değerlendirilmesi gibi farklı alternatif kullanım alanlarını ele alan 2 farklı rapor yayınlanmıştır. 2016 yılında yayınlanan "Phosphogypsum: Sustainable Management and Use (PG 1)" raporunda döngüsel ekonomi hedefleri kapsamında PG'nin bertaraf işleminin tercih edilmemesi gerektiği ve geri dönüştürülebilir bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. 2020 yılında yayınlanan "Phosphogypsum: Leadership, Innovation, Partnership (PG 2)" raporunda ise sürdürülebilir kalkınma ve sosyal ihtiyaçları karşılayabilme hedefleri kapsamında PG'nin tarım ve farklı türlerdeki yapı malzemesi sektörlerinde hammadde olarak kullanılabilme potansiyeli vurgulanmaktadır. Raporda dünyada önde gelen çeşitli endüstriyel kurumlar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiş olup, yenilikçi yöntemler üzerinde araştırmaların sürdürülmekte olduğu ve bu konunun gün geçtikçe daha fazla önem kazandığı belirtilmiştir. Fakat, bu çalışmalar henüz araştırma aşamasındadır ve ulusal/uluslararası otoritelerin onayladığı bir uygulama henüz mevcut değildir. PG yönetimi, bertarafı ve geri kazanımı gibi konularda yönetmelik bazında da güncellemelerin yapılacağı öngörülmektedir.



Şekil 1. IFA tarafından yayınlanan PG1 ve PG2 raporları

Geleneksel ekonomi stratejisi, sınırlı olan küresel kaynakların sürekli tüketilmesini ve etkili bir şekilde yönetilmediği takdirde ekosistemi önemli ölçüde etkileyen atıkların üretilmesine olanak sağlayan doğrusal bir akış sistemine dayanmaktadır (Wang vd., 2021). Bununla birlikte, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma kavramları, ekonomik kalkınma, kaynakların sürdürülebilir tüketimi, yeniden üretim ve çevre koruma konseptlerine odaklanan, hammadde ve enerji tüketiminin döngüsel akışı olarak tasarlanan modellerdir (Lahane ve Kant, 2022; Suarez-Eiroa vd. 2019; Schroeder vd. 2018). Kaynakların korunması, yenilenebilir kaynakların kullanımının yaygınlaştırılması ve atıkların ikincil bir hammadde kaynağı olarak yeniden kullanılması döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma kavramlarının kilit noktalarıdır (Chojnacka vd., 2021; Silva vd., 2022).

Döngüsel ekonomi modelinde atık yönetiminin rolü, geri dönüşüm süreçleri aracılığıyla malzemenin döngüsellliğini teşvik etmektir. Bu nedenle, atık yönetimi uygulamaları daha fazla çeşitlendirilmeli, yani sanayiye özel çözümler sunulmalı ve döngüsel ekonomi hedeflerinin etkin bir şekilde uygulanması sağlanmalıdır (Salmenperä vd., 2021; Pires ve Martinho, 2019; Hidalgo vd., 2019).

Fosfatlı gübre endüstrisi, yaş proses H_3PO_4 üretimi esnasında büyük miktarda oluşan atığın (PG) değerlendirilmesi konusunda zorluklarla karşı karşıya kalan endüstrilerden biridir (Wu vd., 2022a; Xiao vd., 2022). AB, PG'yi belirli bir uygulama alanı için tehlike sınıfı kodu gereksinimlerini karşıladığında tehlikeli olmayan atık olarak etiketlenebilmesine rağmen, tehlikeli atık olarak sınıflandırmıştır (Silva vd., 2022; Rosales vd., 2021; Cao vd., 2021). PG'nin atık sınıflandırması kullanım alanlarını etkilemektedir, sadece %15'lik geri dönüşüm oranı oluşum hızına göre çok düşüktür ve geri dönüştürülemeyen kısım yığınlar halinde depolanmaktadır (Canovas vd., 2017). Depolama alanlarında biriken PG yığınının yönetiminde fazla miktarda arazi işgal etmesi, yüksek bakım ve çevre düzenlemesi maliyetleri gerektirmesi, güvenlik tehlikeleri ve potansiyel çevre kirliliği sorunları gibi zorluklarla karşılaşmaktadır (Wu vd., 2022b).

Yapısında bulunan safsızlıklar sebebiyle PG'nin yığın halinde depolanması ileri vadede önemli çevresel sorunlara neden olabilir ve PG'nin geri dönüşümü ve ikincil bir hammadde kaynağı olarak kullanılmasına yönelik herhangi bir çalışmanın yapılmaması döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile çakışmaktadır (Ren vd., 2021; Wei vd., 2022). PG'nin çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılıp değerlendirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve PG için çevre dostu, kapsamlı ve yığın tüketimini sağlayacak stratejilerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Xu vd., 2019).

Kaynaklar:

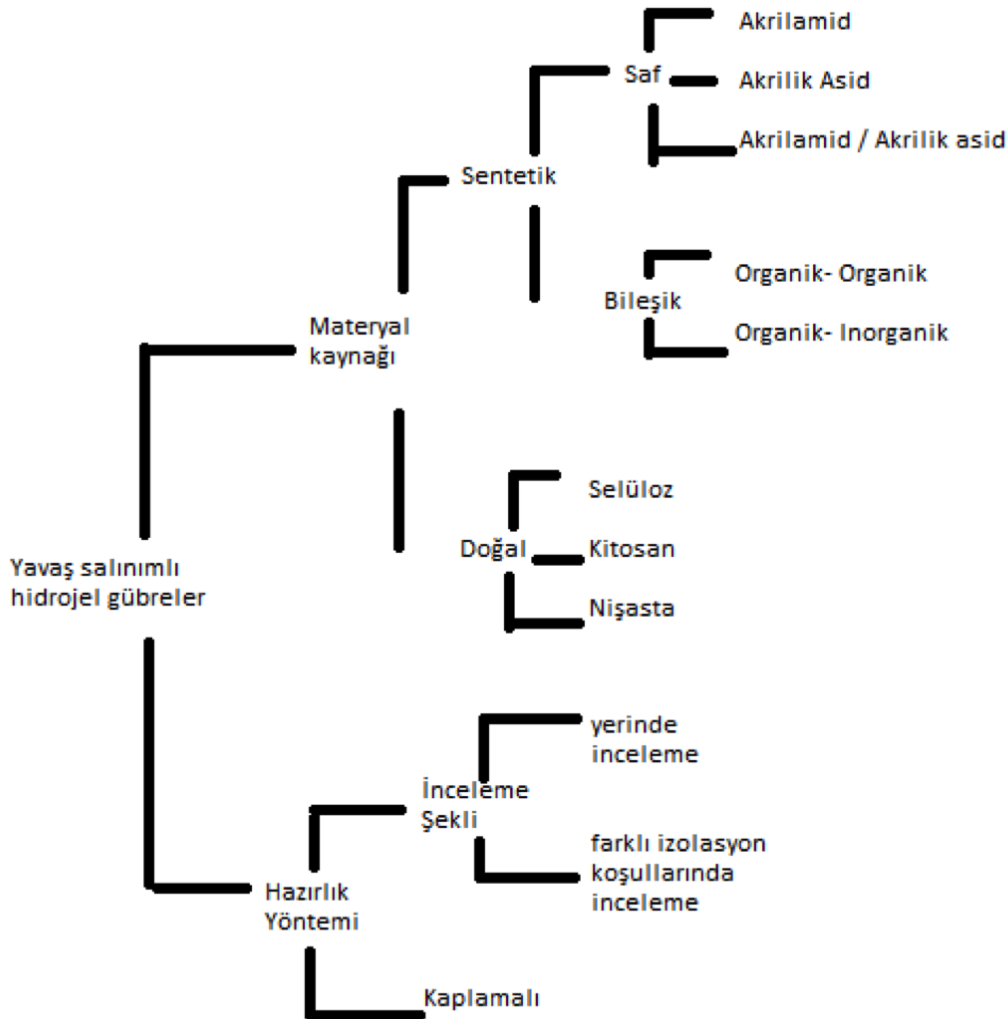
1. Jia, R., Wang, Q., Luo, T. 2021. "Re-use of phosphogypsum as hemihydrate gypsum: The negative effect and content control of H_3PO_4 ", *Resources, Conservation & Recycling*, 174, 105830.
2. Amrani, M., Taha, Y., Ichikach, A., Benzaazoua, M., Hakkou, R. 2020. Phosphogypsum recycling: New horizons for a more sustainable road material application, *Journal of Building Engineering*, 30, 101267.
3. Tayibi, H., Choura, M., Lopez, A.F., Alguacil, F. J., Lopez- Delgado, A. 2009. Environmental Impact and Management of Phosphogypsum, *Journal of Environmental Management*, 90, 2377-2386.
4. Kandil, A., Cheira, M. F., Gado, H. S., Soliman, M. H., Akl, H. M. 2017. Ammonium sulfate preparation from phosphogypsum waste, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10, 24-33.
5. Wu, S., Wang, L., Zhao, L., Zhang, P., El-Shall, H., Moudgil, B., Huang, X., Zhang, L. 2018. Recovery of Rare Earth Elements from Phosphate Rock by Hydrometallurgical Process: A Critical Review. *Chemical Engineering Journal*, 335, 774-800.
6. Saadaoui, E., Ghazel, N., Romdhane, C. B., Massoudi, N. 2017. Phosphogypsum: potential uses and problems- a review, *International Journal of Environmental Studies*, 74 (4), 558-567.
7. Hernandez-Ceballos, M. A., Vargas, A., Arnold, D., Bolivar, J. P. 2015. The role of mesoscale meteorology in modulating the ^{222}Rn concentrations in Huelva (Spain)- impact of phosphogypsum piles, *Journal of Environmental Radioactivity*, 145, 1-9.
8. Abdelhadi, M., Abdelhadi, N., El-Hasan, T. 2018. Optimization of phosphogypsum by-production using orthophosphoric acid as leaching solvent with different temperatures and leaching time periods, *Earth Science Research*, 7 (2), 28-41.
9. Chen, X., Wang, Q., Wu, Q., Xie, X., Tang, S., Yang, G., Luo, L., Yuan, H. 2022. Hydration reaction and microstructural characteristics of hemihydrate phosphogypsum with variable pH, *Construction and Building Materials*, 316, 125891.
10. Zhang, H., Chai, W., Cao, Y. 2022. Flotation separation of quartz from gypsum using benzyl quaternary ammonium salt as collector, *Applied Surface Science*, 576-B, 151834.
11. Taher, M. A., Damarany, B. K. 2019. Effect of partial substitution of raw gypsum with thermally treated phosphogypsum on the properties of Portland pozzolanic cement, *Advanced Journal of Chemistry- Section A*, 2 (4), 296-315.
12. Kanwal, Q., Li, J., Zeng, X. 2021. Mapping recyclability of industrial waste for anthropogenic circularity: A circular economy approach, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9 (35), 11927-11936.
13. Zmella, R., Benjiddia, M., Naifar, I., Sadik, C., Elleuch, B., Sdiri, A. 2021. A phosphogypsum-based road material with enhanced mechanical properties for sustainable environmental remediation, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 41 (1), e13732.
14. Wang, Y., Yuan, Z., Tang, Y. 2021. Enhancing food security and environmental sustainability: A critical review of food loss and waste management, *Resources, Environment and Sustainability*, 4, 100023.
15. Lahane, S., Kant, R. 2022. Investigating the sustainable development goals derived due to adoption of circular economy practices, *Waste Management*, 143, 1-14.
16. Suarez-Eiroa, B., Fernandez, E., Mendez-Martinez, G., Soto-Onate, D. 2019. Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice, *Journal of Cleaner Production*, 214, 952-961.
17. Schroeder, P., Anggraeni, K., Weber, U. 2018. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals, *Journal of Industrial Ecology*, 23 (1), 77-95.
18. Chojnacka, K., Skrzypczak, D., Mikula, K., Wittek-Krowiak, A., Izydorczyk, G., Kuligowski, K., Bandrow, P., Kulazynski, M. 2021. Progress in sustainable Technologies of leather wastes valorization as solutions for the circular economy, *Journal of Cleaner Production*, 313, 127902.
19. Silva, F. O. L., Oliveira, M. L. S., Crissien, T. J., Santosh, M., Bolivar, J., Shao, L., Dotto, G. L., Gasparotto, J., Schindler, M. 2022. A review on the environmental impact of phosphogypsum and potential health impacts through release of nanoparticles, *Chemosphere*, 286-1, 131513.
20. Salmerperá, H., Pitkanen, K., Kautto, P., Saikku, L. 2021. Critical factors for enhancing the circular economy in waste management, *Journal of Cleaner Production*, 280 (1), 124339.
21. Pires, A., Martinho, G. 2019. Waste hierarchy index for circular economy in waste management, *Waste Management*, 95, 298-305.
22. Hidalgo, D., Martin-Marroquin, J. M., Corona, F. 2019. A multi-waste management concept as a basis towards a circular economy model, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 481-489.
23. Wu, F., Liu, X., Wang, C., Qu, G., Liu, L., Chen, B., Zhao, C., Liu, S., Li, J. 2022. New dawn of solid waste resource treatment: Preparation of high-performance building materials from waste-gypsum by mechanical technology, *Construction and Building Materials*, 318, 126204.
24. Xiao, J., Lu, T., Zhuang, Y., Jin, H. 2022. A novel process to recover gypsum from phosphogypsum, *Materials*, 15 (5), 1944.
25. Rosales, J., Gazquez, M., Cabrera, M., Bolivar, J. P., Agrela, F. 2021. Application of phosphogypsum for the improvement of eco-efficient cements, *Waste and Byproducts in Cement-Based Materials, Innovative Sustainable Materials for a Circular economy*, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 153-189.
26. Cao, W., Yi, W., Li, J., Peng, J., Yin, S. 2021. A facile approach for large-scale recovery of phosphogypsum: An insight from its performance, *Construction and Building Materials*, 309, 125190.
27. Canovas, C.R., Perez-Lopez, R., Macias, F., Chapron, S., Nieto, J. M., Pellet-Rostaing, S. 2017. Exploration of fertilizer industry wastes as potential source of critical raw materials, *Journal of Cleaner Production*, 143, 497-505.
28. b. Wu, F., Liu, S., Qu, G., Chen, B., Zhao, C., Liu, L., Li, J., Ren, Y. 2022. Highly targeted solidification behavior of hazardous components in phosphogypsum, *Chemical Engineering Journal Advances*, 9, 100227.
29. Ren, K., Cui, N., Zhao, S., Zheng, K., Ji, X., Feng, L., Cheng, X., Xie, N. 2022. Low-carbon sustainable composites from waste phosphogypsum and their environmental impacts, *Crystals*, 11 (7), 719.
30. Wei, Z., Deng, Z. 2022. Research hotspots and trends of comprehensive utilization of phosphogypsum: Bibliometric analysis, *Journal of Environmental Radioactivity*, 242, 106778.
31. Xu, J., Fan, L., Xie, Y., Wu, G. 2019. Recycling-equilibrium strategy for phosphogypsum pollution control in phosphate fertilizer plants, *Journal of Cleaner Production*, 215, 175-197.



Hidrojeller ve Tarımda Uygulama Etkinlikleri

Ahmet Ozan Gezerman
Toros Tarım ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye

Tarımda toprakların yüksek gözenekliliği, suyun yüksek sulanması ve düşük gübre tutma gibi sorunlar vardır. Bu nedenle, yüksek miktarda suyu emme ve uzun bir süre boyunca salma kabiliyetine sahip malzemeler, bir gübre ile birlikte olası bir çözüm olabilir. Bu talepleri karşılamak için yavaş salınımlı gübre hidrojelleri (SRFH) geliştirilmiştir. SRFH'ler, süper emici bir hidrojel (SAH) ile hem su tutma hem de yavaş salma özelliklerine sahip bir gübrenin birleşimidir. Araştırmacılar tarafından, SRFH'lerin tanımları, sınıflandırmaları ve özellikleri gibi temel ilkeler araştırılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Farklı parametrelere göre yavaş salınımlı hidrojellerin sınıflandırılması

Süper emici polimerler (SAP'ler) olarak da bilinen süper emici hidrojel (SAH'ler), büyük miktarlarda suyu emebilen ve bunları ozmotik basınç altında yavaşça tutabilen ve serbest bırakabilen çapraz bağlı polielektrolit polimerik malzemelerdir.¹⁻⁴ Bu özelliklere dayanarak, SAH'lar tarım ve bahçecilik alanlarında sulama sıklığını azaltmak ve toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmek için kullanılır.⁵ Bununla birlikte, SAH'ların bu alanda uygulanması bazı sorunlarla karşılaşmıştır, çünkü çoğu SAH, pahalı ve tuzlu su için uygun olmayan tamamen sentetik polimerlere dayanmaktadır.⁶ SAH'lar ayrıca çiftçiler için ekonomik yükü artırır ve gübre olmadan tek başına uygulandığında mahsul verimini önemli ölçüde iyileştirmez.⁷

Tarım alanlarında su ve gübrenin uygun dağılımı, toprak verimliliğinin korunmasında, hasat kalitesinin iyileştirilmesinde ve üretim veriminin artırılmasında önemli rol oynamaktadır. Ancak buharlaşma ve süzüntü yoluyla önemli miktarda gübre ve su kaybedilmekte, bu da tarımsal maliyetleri artırmakta ve çevre kirliliğine yol açmaktadır.⁸⁻¹⁰ Bu nedenle, su ve gübre salınımını yavaşlatmak için daha iyi bir teknoloji bulmak çok önemlidir. Yavaş salınlı gübreler (SRF) veya kontrollü salınlı gübreler (CRF), besinleri çevreye düşük oranda salan gübrelerdir.^{11,12} Kontrollü salınlı ve yavaş salınlı gübreler arasında standardize edilmiş bir ayrım yoktur.¹¹ The Association of American Plant Gıda Kontrol Yetkilileri (AAPFCO), SRF'nin uygulama sonrası bitki alımı ve kullanımı için besin maddelerinin mevcudiyetini geciktiren bir gübre olduğunu belirtmiştir.¹³

Günümüzde, SAH ve gübre kombinasyonu, hidrojel ile ilgili araştırmalarda en yeni trend¹⁴⁻¹⁶ ve besinleri ve suyu tek bir malzemede düzenlemek için artan bir eğilim bulunmaktadır.¹⁷ Bu kombinasyon, esas olarak iyileştirmek için oluşturulan yavaş salınlı gübre hidrojel (SRFH'ler) üretir. Hidrojel gübreler bu yönüyle, bitki besleme ve geleneksel gübrelerin çevresel etkisini azaltmak, buharlaşma kayıplarını ve sulama sıklığını azaltmak amacıyla kullanılır.¹⁸

SRFH'ler, bazı su ve besin maddelerini emerek, onları sıkıca tutarak ve yavaşça serbest bırakarak hareket eder. Bu, ozmotik basınç farkı yoluyla bitkilere su ve gübre sağlayan bir "mini rezervuar" olarak tanımlanabilir.^{19,20} Sonuç olarak, bitkiler hala suya ve gübreye uzun süreler boyunca erişebilir, bu da performans oranlarının ve büyümenin artmasıyla sonuçlanır.²¹ Bir harmanlama ve yerinde polimerizasyon yöntemiyle SAH'ların gübre ile birleştirilmesi, yüksek bir salınım hızına yol açar.²² Gübre ayrıca, SAH'ları hazırlamak için en yaygın olarak kullanılan monomer olan akrilik aside maruz kaldığında ayrışır. Ayrıca, gübrenin çözünmesinden kaynaklanan yüksek iyonik konsantrasyon, monomerin polimerizasyonunu engeller ve SAH'ların su emilimini azaltır. Geleneksel gübre kimyasal olarak parçalanabilir, ancak poli(akrilik asit), poli(akrilamid) ve kopolimer gibi SRFH bazlı sentetik polimerlerin çoğu biyolojik olarak parçalanamaz, yani çevre kirliliğine katkıda bulunurlar. Hidrojelilerin yarı ömrü, karbon dioksit, amonyum ve suya dönüşmelerinin beş ila yedi yıl sürmesi anlamına gelir.²⁴ Sonuç olarak, doğal polimerlerin tarım uygulamaları için yavaş salınlı bir sistemde kullanılması, araştırmaların odak noktası haline gelmiştir. Bu araştırmalar esas olarak biyolojik olarak parçalanabilirlikleri, bol/yenilenebilir kaynakları ve düşük maliyetleri çevresinde odaklanmıştır.^{20,25,26} SAH'lar nişasta,²⁷ kitosan,²⁸ selüloz,²⁹ yağ palmyesi boş meyve demetleri,^{3,30} buğday kepeği gibi doğal polimerlerle karıştırılabilir, kaplanabilir veya aşılabilir^{31,32,33} ve yeni hidrojel oluşturmak için diğer malzemeler olarak sınıflandırılabilir.

Sonuç

Son birkaç on yılda bir dizi yavaş salınlı gübre (SRF) ticarileştirilmiştir. Üç tip SRF vardır: matris tipi formülasyonlar, basit imalatları nedeniyle en büyük SRF kategorisini oluşturur. Aktif içerik bir matris içinde dağıtılır ve taşıyıcı fazda gözenekler yoluyla yayılır. Kaplanmış gübreler, bir gübre çekirdeğinin inert malzemelerle çevrelendiği SRF'lerin ikinci ana kategorisidir. Gübre besinlerinin salınımı bir kabuktan difüzyonla kontrol edilir. SRF'lerin üçüncü ana kategorisi, üre-formaldehit ve polifosfatlar gibi kimyasal olarak kontrol edilen salınım ürünleridir. Gübre salınımı, sıcaklık, pH, iyonlar, polimerin moleküler ağırlığı ve yağdaki mikroorganizmalar gibi birçok faktörden etkilenen bozunma hızı tarafından kontrol edilir. SRFH'ler malzeme kaynaklarına göre doğal ve sentetik polimerler ve kullanılan hazırlama yöntemlerine bağlı olarak matris ve kaplamalı tipler olarak sınıflandırılabilir. Doğal polimerler SRFH'ler selüloz, kitosan, nişasta, aljinat olarak ayrılabilir. Sentetik polimer SRFH'ler tamamen sentetik ve kombine sentetik-doğal malzemelere ayrılabilir. Tamamen sentetik SRFH'ler, petrol bazlı hidrofilik monomerlerden yapılır ve kombine sentetik-doğal SRFH'ler, sentetik ve doğal/inorganik malzemelerden yapılır.

Kaynaklar:

1. N. Seetapan, J. Wongsawaeng and S. Kiatkamjornwong, *Polym. Adv. Technol.*, 2011, 22, 1685–1695.
2. D. Feng, B. Bai, C. Ding, H. Wang and Y. Suo, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2014, 53, 12760–12769.
3. W. A. Laftah and S. Hashim, *J. Compos. Mater.*, 2014, 48, 555–569.
4. N. Peng, Y. Wang, Q. Ye, L. Liang, Y. An, Q. Li and C. Chang, *Carbohydr. Polym.*, 2016, 137, 59–64.
5. L. Xie, M. Liu, B. Ni and Y. Wang, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2012, 51, 3855–3862.
6. S. J. Kohls, D. D. Baker, D. A. Kremer and J. O. Dawson, *Plant Soil*, 1999, 214, 105–115.
7. X. Li, Q. Li, Y. Su, Q. Yue, B. Gao and Y. Su, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 2015, 55, 170–179.
8. B. Ni, M. Liu and S. Lü, *Chem. Eng. J.*, 2009, 155, 892–898.
9. B. Ni, M. Liu and S. Lü, *Chem. Eng. J.*, 2009, 155, 892–898.
10. J. Chen, S. Lü, Z. Zhang, X. Zhao, X. Li, P. Ning and M. Liu, *Sci. Total Environ.*, 2018, 613, 829–839.
11. M. E. Trenkel, *Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture*, International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997.
12. A. Shaviv, *Adv. Agron.*, 2000, 71, 79.
13. Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO), *Official Publication*, 1995, No. 48.
14. A. Pourjavadi, M. Doulabi, R. Soleyman, S. Sharif and S. A. Eghtesadi, *React. Funct. Polym.*, 2012, 72, 667–672.
15. S. Jin, Y. Wang, J. He, Y. Yang, X. Yu and G. Yue, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2013, 128, 407–415.
16. E. I. Pereira, F. B. Minussi, C. C. T. D. Cruz, A. C. C. Bernardi and C. Ribeiro, *J. Agric. Food Chem.*, 2012, 60, 5267–5272.
17. R. Liang, H. Yuan, G. Xi and Q. Zhou, *Carbohydr. Polym.*, 2009, 77, 181–187.
18. R. Liang, H. Yuan, G. Xi and Q. Zhou, *Carbohydr. Polym.*, 2009, 1–7, DOI: 10.1016/j.carbpol.2008.12.018.
19. Saruchi, B. S. Kaith, R. Jindal, G. Kapur and V. Kumar, *J. Chin. Adv. Mater. Soc.*, 2014, 2, 40–52.
20. A. I. Raafat, M. Eid and M. B. El-Arnaouty, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B*, 2012, 283, 71–76.
21. H. A. A. El-Rehim, E.-S. A. Hegazy and H. L. A. El-Mohdy, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2004, 93, 1360–1371.
22. L. Wu, M. Liu and R. Liang, *Bioresour. Technol.*, 2008, 99, 547–554.
23. K. Zhong, Z.-T. Lin, X.-L. Zheng, G.-B. Jiang, Y.-S. Fang, X.-Y. Mao and Z.-W. Liao, *Carbohydr. Polym.*, 2013, 92, 1367–1376.
24. R. Liang and M. Liu, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2007, 106, 3007–3015.
25. L. Chen, Z. Xie, X. Zhuang, X. Chen and X. Jing, *Carbohydr. Polym.*, 2008, 72, 342–348.
26. J. Gao, Q. Yang, F. Ran, G. Ma and Z. Lei, *Appl. Clay Sci.*, 2016, 132, 739–747.
27. S. Zhang, W. Wang, H. Wang, W. Qi, L. Yue and Q. Ye, *Carbohydr. Polym.*, 2014, 101, 798–803.
28. H. Ge and S. Wang, *Carbohydr. Polym.*, 2014, 113, 296–303.
29. T. Fekete, J. Borsa, E. Takács and L. Wojnárovits, *Radiat. Phys. Chem.*, 2016, 118, 114–119.
30. N. E. Rabat, S. Hashim and R. A. Majid, *Adv. Mater. Res.*, 2014, 980, 18–22.
31. X. Yan, R. Ye and Y. Chen, *Food Chem.*, 2015, 180, 106–115.
32. R. Liang, M. Liu and L. Wu, *React. Funct. Polym.*, 2007, 67, 769–779.
33. A. Jarosiewicz and M. Tomaszewska, *J. Agric. Food Chem.*, 2003, 51, 413–417.