

AKTİNOMİSETLERİN BİTKİ GELİŞİMİNDEKİ ÖNEMİ

Meral Ödemiş^{1,a}, Çiğdem Küçük^{2,b,*}



¹Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şanlıurfa, Türkiye

²Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Şanlıurfa, Türkiye

*Corresponding Author:

E-mail: cdmkucuk@yahoo.com

(Received 08th October 2020; accepted 13th June 2021)

a:  ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8750-8154>, b:  ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5688-5440>

ÖZET

Aktinomisetler aerobik, sporlu, gram-pozitif bakteriler olup, substrat ve hava miselyumu oluşturmaları ile karakterize edilirler. Organik maddenin üretiminde rol oynarlar; rizosferdeki çeşitli bitki patojenlerinin büyümesini inhibe edip; ölü bitki, hayvan ve mantar materyallerinin kompleks karışımlarını parçalayarak, birçok hücre dışı enzim üretirler. Toprakların biyolojik tamponlanmasına, toprakta azot fiksasyonu ile biyolojik kontrole ve kirlenmiş topraklarda hidrokarbonlar gibi yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin parçalanmasına, besin maddelerinin, minerallerin bitkilerce kullanımına katkıda bulunurlar. Ayrıca aktinomisetler çevreyi kirletmez, kompost yığınlarının oluşumu ve stabilizasyonu, selüloz ve hayvan kalıntıları gibi parçalanması zor kalıntıların ayrışmasında diğer toprak mikroorganizmaları ile birleşerek toprak sağlığının iyileştirilmesinde yardımcı olurlar. Besin döngüsüne katkıda bulunarak toprağın biyotik dengesinin korumasını sağlarlar. Bu derlemede aktinomisetlerin bitki sağlığındaki etkileri özetlenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Aktinomiset, toprak, bitki sağlığı, etki mekanizmaları, metabolitler*

THE IMPORTANCE OF ACTINOMYCETES IN PLANT GROWTH

ABSTRACT

Actinomycetes are aerobic, sporulated, gram-positive bacteria and are characterized by forming substrate and air mycelium. They play a role in the production of organic matter; inhibiting the growth of various plant pathogens in the rhizosphere; they cause the production of many extracellular enzymes by breaking down complex mixtures of dead plant, animal and fungal materials. They contribute to biological buffering of soils, biological control by nitrogen fixation in the soil, and the degradation of high molecular weight compounds such as hydrocarbons in contaminated soils. In addition, they help plants use nutrients and minerals. Actinomycetes do not pollute the environment, they help to improve soil health by combining with other soil microorganisms in the formation and stabilization of compost piles, decomposition of hard-to-break residues such as cellulose and animal residues. By contributing to the nutrient cycle, they ensure the preservation of the biotic balance of the soil. In this review, the effects of actinomycetes on plant health are summarized.

Keywords: *Actinomycetes, soil, plant health, mechanisms of action, metabolites*

GİRİŞ

Aktinomisetler, funguslar gibi filamentli olup, gerçek havasal hiflere sahiptirler. Aktinomisetler gram pozitif bakterilerdir [1], karasal ve sucul ekosistemlerde yaygın olarak bulunmakla birlikte, ölü fungal, bitki ve hayvan materyallerindeki polimerlerin

kompleks karışımlarının parçalanmasında, biyomateryallerin ayrışmasında önemli rollere sahip oldukları açıklanmıştır [2]. Ayrıca toprağın biyolojik parçalanmasında önemli olup, humus oluşumunda da rol oynadıkları bildirilmiştir [2]. Mikroorganizmalar tarafından üretilen biyoaktif sekonder metabolitlerin, 23.000 civarında olduğu, bu rakamın yaklaşık 10.000'nin aktinomisetler tarafından üretildiği açıklanmıştır [3]. Bu rakamın keşfedilen biyoaktif mikrobiyal metabolitlerin % 45' ini oluşturduğu yapılan bir çalışmada da rapor edilmiştir [3]. Rizosfer toprağı bitki kök bölgesi olup, bu bölgede köklerden salgılanan çok sayıda amino asit, yağ asitleri, organik asitler, fenoller, bitki büyüme düzenleyicileri/promotörleri, steroller, şekerler ve vitaminler bakımından zengindir [4]. Rizosferik aktinomisetler, doğadaki en baskın filumlar arasında olup, toprak sistemlerine önemli katkıları nedeniyle insanlar için büyük ekonomik öneme sahiptir. *Frankia*, *Kocuria*, *Nocardia*, *Nocardioides* ve *Streptomyces* gibi rizosferik aktinobakteriler, nohut [5], fasulye [6], pamuk [7], mısır [8], çeltik [9-11], şeker kamışı [12], ayçiçeği [13], buğday [14-17] ve tıbbi bitkiler [18-20] rizosferinden izole edilmiştir. Farklı ürünlerle ilişkili aktinobakterilerin, bitki büyümesini destekleyen hormonların (indol-3-asetik asit, sitokininler, gibberellinler ve absisik asit) üretimi, biyolojik azot fiksasyonu, fosfor, potasyum ve çinkonun çözündürülmesi veya dolaylı olarak ACC deaminaz, amonyak, antibiyotik (2,4-diasetilfloroglucinol, kanosamin, neomycin A, fenazin-1-karboksilik asit, piosiyenin, piroleorin, pirolnitritin), hidrosiyamik asit (HCN), litik enzimler (kitinaz, lipaz proteaz, β -1,3-glukonaz) ve sideroforlar gibi çok fonksiyonlu bitki büyümesini teşvik eden özelliklere sahip oldukları yapılan çalışmalarda da açıklanmıştır [2].

Aktinomisetlerin, hücre dışına amilaz sentezledikleri bildirilmiştir. α -amilaz, nişasta parçalayıcı amilolitik enzim olup; kağıt endüstrisi, tekstil, fermentasyon, gıda endüstrisi gibi biyoteknolojik uygulamalarda önem kazanmıştır [21,22]. Aktinomisetler en iyi sellülaz üreticileri olarak tanımlanmıştır [23]. Sellülaz, selülozun glukozidik bağlarını hidrolize eden hidrolitik enzimlerdendir. Lipazlar; farklı aktinomiset, bakteri ve fungi tarafından üretilmektedir [24]. Lipazlar, ilaç,kimya, gıda, deterjan endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [25]. Aktinomisetlerin farklı ekstrasellüler hidrolitik enzimleri üretmeleri veya salgılamaları onları önemli mikroorganizmalardan kılmıştır [26]. Aktinomisetlerin çoğu, bitki dokuları, rizosferik toprak gibi farklı doğal kaynaklardan izole edilmiştir [2]. Aktinomisetlerin biyolojik fonksiyonlarının, izole edildikleri kaynağa bağlı olduğu açıklanmıştır [2]. Rizosfer toprağından izole edilen aktinomisetlerin, sekonder metabolitler, katalaz, kitinaz ve üreaz enzimlerini üretebildikleri tespit edilmiştir [27,28].

Aktinomisetler toprakta bol olarak bulunmakta olup, kitin ve sellülo gibi zor parçalanan karbonhidratları çok iyi parçaladıkları bildirilmiştir [28]. Birçok aktinomisetin toksik materyalleri parçalayabildiği ve biyoremediasyonda dakullanıldığı bilinmektedir [29]. Aktinomisetlerin kuru, alkali topraklarda kalıcı ve stabil popülasyon oluşturdukları Renve Wang [30] tarafından açıklanmıştır.

Aktinomisetler, biyoteknolojik olarak önemli organizmalar olup, antibiyotik, antifungal, antiprotozoal, antiviral, antikolesterol, antihelminth, antikanser ve immunosupresan gibi çeşitli ilaçlardaki sekonder metabolitlerin üretiminde kullanılmaktadır. Streptomisin, gentamisin, rifampisin, eritromisin gibi antibiyotikler aktinomisetlerden elde edilmiştir [30]. Aktinomisetlerin sadece ilaç endüstrisinde değil, tarım için de önemli organizmalar olduğu açıklanmıştır. Birçok bitki patojenlerinin neden olduğu hastalıkların aktinomisetler tarafından engellendiği Zhang ve ark. [21] tarafından bildirilmiştir. Zhang ve ark. [21] ve Manna ve ark. [31] tarafından yapılan çalışmalarda, aktinomisetlerin amonyum fiksasyonu, hücresel

dokunun ayrışması, humus sentezi ve ayrışmasında önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Bu derlemede aktinomisetlerin sürdürülebilir tarım için biyoinokulant olarak kullanılabilirliği ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

2. Dağılımları

Biyoeçitlilik, ekolojideki türler, türler arası ve türler arası düzeylerde yaşayan organizmaların çeşitliliği olarak tanımlanmaktadır. 3900 farklı aktinobakteri türü arasında *Actinomyces*, *Actinomadura*, *Actinoplanes*, *Agromyces*, *Amycolatopsis*, *Arthrobacter*, *Bifidobacterium*, *Brachybacterium*, *Brevibacterium*, *Selülomonas*, *Corynebacterium*, *Geodermatophilus*, *Gordonia*, *Kitasatospora*, *Kocuria*, *Kribbella*, *Leucobacter*, *Microbacterium*, *Mikromonospora*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Nocardioides*, *Nocardiosis*, *Nonomuraea*, *Pseudonocardia*, *Rhodococcus*, *Saccharopolyspora*, *Saccharothrix*, *Streptomyces* ve *Streptosporangium*'un 21 farklı türe sahip olduğu bildirilmiştir [2, 32].

Tüm cinsler arasında en baskın *Streptomyces* (961 farklı tür), ardından *Mycobacterium* (186 tür) olarak belirlenmiştir. Farklı bitkilerin rizosferindeki Aktinobakterilerin çeşitliliğinin incelenmesinde filogenetik araştırmalar esas olarak 16S rRNA sekansları kullanılarak değerlendirilmiştir [32,33]. Rizosferik toprakta, aktinomisetlerin mikrobiyal biyokütlenin yüksek bir oranını temsil ettiği, populasyonları toprağın gram başına 10^6 - 10^9 bakteri arasında bulunduğu ve toprak mikrobiyomlarının toplam popülasyonunun % 30'undan fazlasını temsil ettiği açıklanmıştır [2, 16]. Farklı aktinobakteriler arasında iki tür, yani *Streptomyces* ve *Nocardia*, rizosferik toprakta oldukça baskın olarak belirlenmiştir, *Streptomyces*'in tüm toprak aktinobakteriyel mikrobiyomların yaklaşık % 0.95'ini temsil edebileceği bildirilmiştir [1].

Topraklarda aktinomisetlerin yaygınlığını ve aktivitesini kontrol eden önemli faktörlerin; besin maddeleri, organik maddenin miktarı, tuzluluk, nem içeriği, sıcaklık, pH ve topraktaki vejetasyonun varlığı olduğu ileri sürülmüştür [29]. Aktinomisetlerin alkali topraklarda bol olarak bulunduğu açıklanmıştır [34]. Aktinomisetlerin ortamdaki karbon kaynağından etkilendiği, özellikle organik madde içeriği yüksek olan topraklarda bol miktarda bulunduğu saptanmıştır [34]. Bitkisel atıklar ve hayvan gübresinin topraklara ilavesinin topraktaki aktinomiset sayısını artırdığı tespit edilmiştir [2]. Ayrıca kil ve humik kolloidler topraklardaki aktinomisetlerin dağılımını ve aktivitesini farklı olarak etkilemişlerdir [2]. Yapılan bir çalışmada, *Streptomyces* sporlarının kaoline kolayca adsorbe olduğu, fakat montmorillonit killerine adsorbe olamadığı belirlenmiştir [28]. Buna karşın, kültür ortamına kalsiyum montmorillonitin eklenmesi; *Streptomyces*, *Mikromonospora* ve *Nocardia*'nın gelişme ve solunumunu stimüle etmiştir [35].

3. Biyoteknolojik uygulamaları

Aktinobakteriler, azot fiksasyonu, fosfor, potasyum ve çinkonun çözünürlüğü indol asidik asit, gibberellik asit ve zeatin gibi doğrudan bitki büyümesini teşvik eden mekanizmalar ve siyanofor ve ACC deaminaz aktivitesi veya amonyak, hidrojen siyanid, antibiyotikler, litik enzimler gibi dolaylı mekanizmalarla ile bitki üretimi ve bitki büyümesini arttırabildikleri için tarımsal açıdan önemlidir. Birçok çalışma, aktinobakteri kolonizasyonunun aynı zamanda bitki canlılığında artışa neden olabileceğini, biyotik ve

abiyotik streslere tolerans, kuraklık toleransı ve fosfor kullanımını sağladığını göstermiştir [16,36].

4. Aktinomisetlerin bitkiler üzerine etki mekanizmaları

Aktinomisetlerin, bitki gelişimini destekleyen direk veya dolaylı mekanizmalara sahip olduğu açıklanmıştır [36,37]. Aktinomisetlerin farklı izolatları ile yapılan çalışmalarda topraklardaki besin maddelerinin çözünürlüğünü etkiledikleri, sentezledikleri bitki büyüme düzenleyicileri ile bitki gelişimini teşvik ettikleri ve bitki patojeni fungusların gelişimlerini inhibe edebilmeleri gibi potansiyellere sahip oldukları açıklanmıştır [36]. Aktinomisetlerin topraklardaki diğer patojenik olmayan toprak mikroorganizmaları arasındaki direk veya dolaylı etkileşimlerin, bitki büyümesi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir [37]. Aktinomisetler topraktaki mikorizal popülasyonu uyarılmış ve sonuçta bitki gelişiminin artmasını desteklemiştir [36]. İndol asetik asitin (IAA), bitki büyüme düzenleyicisi ve aktif oksin formu olup, bitkinin yaşam döngüsü boyunca önemli rol oynadığı, kök uzamasına etki eden apikal meristemin lateral köklerinin gelişimi ile büyümeyi uyardığı yapılan bir çalışmada açıklanmıştır [38]. Bu durum, topraktaki besin maddelerinin bitkiye erişimini arttırmıştır [2, 36]. IAA üretimi aktinomisetler üzerinde de yaygın olarak çalışılmıştır [4,37].

Streptomyces sp., *Frankia* spp., *Nocardia* sp., *Kitasatospora* sp.. IAA üreticisi olarak tanımlanmıştır [39]. *Streptomyces* türlerinin biyokontrol etmeni olarak kullanıldığı yapılan çalışmalarda açıklanmıştır [40,41]. Aktinomiset izolatları; *Alternaria brassicola* (schw.) Wiltsh, *Botrytis cinerea* Pers., *Fusarium avenaceum* Sacc. gibi çeşitli bitki patojenlerinin gelişmelerini inhibe etmişlerdir [3]. *S.griseoviridis*' ten elde edilen aktif madde olan miyoztop isimli biyofungusidin serada çeşitli sebze ve süs bitkilerinin patojen kontrollerinde etkili olarak kullanıldığı bildirilmiştir [28]. Bazı aktinomiset türlerinin biyokontrol etmeni olarak kullanımı Çizelge 1'de verilmiştir. Birçok *Streptomyces* cinsine ait olan izolatların *Alternaria* sp., *Phytium aphanidermatum*, *Colletrichum higginsianum*, *Acremonium lactucum* ve *Fusarium oxysporum*' un neden olduğu hastalıkları önlemede etkili olduğu saptanmıştır [2]. Domateste bakteriyel yumuşak çürüklük hastalığı etmeni olan *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliensis*'e (*Erwinia carotovora*) karşı *Streptomyces* spp. izolatlarının antagonistik aktivite göstererek domateste hastalık şiddetini azalttığı Dias ve ark. [42] tarafından açıklanmıştır.

Holta ve ark. [43] ise, çeltik bitkilerinin rizosferinden izole ettikleri 92 aktinomiset izolatlarının *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola*' ya karşı antagonistik aktivitelerini incelemiştirler. İzolatların patojen bakteriye karşı antagonistik aktivite göstererek patojenin gelişmesini yavaşlattıkları sonucuna ulaşmışlardır. Sheik ve ark. [44] tarafından yapılan bir çalışmada; topraktan izole edilen aktinomiset izolatlarının *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus*'a karşı antibakteriyel aktiviteleri incelenmiştir. Araştırmacılar, aktinomiset izolatlarının patojen bakterileri farklı oranlarda inhibe ettikleri sonucuna ulaşmışlardır. Duraipandiyar ve ark. [45] ise Himalaya topraklarından izole ettikleri aktinomisetlerin; *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Botrytis cinerea* ve *Trichophyton mentagrophytes*'e karşı antifungal ve antibakteriyel aktivitelerini araştırmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarının sonucunda; aktinomiset izolatlarının test ettikleri patojenlere karşı biyokontrolde kullanabileceğini

saptamışlardır. Han ve ark. (2018) tarafından, sarmaşık (*Mikania micrantha*) bitkisinin rizosferinden izole ettikleri aktinomiset izolatlarını *Streptomyces rochei* ve *Streptomyces sundarbansensis* olarak tanımlamışlardır. Han ve ark. (2018) yaptıkları bu çalışmalarında tanımlanan iki aktinomiset izolatının buğday üretiminde önemli azalmalara neden olan *Fusarium graminearum*'un gelişmesini önemli olarak inhibe ettiklerini tespit etmişlerdir.

Çizelge 1. Bazı aktinomiset izolatlarının bazı fungal bitki patojenlerine karşı biyokontrolü

Aktinomiset	Patojen	Bitki	Kaynaklar
<i>Streptomyces rochei</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	Buğday	Han ve ark. [46]
<i>S. sunolarbansensis</i>	<i>F.graminearum</i>	Buğday	Han ve ark. [46]
<i>Streptomyces spp.</i>	<i>Pectobacterium carotovorum subsp. brasiliensis</i>	Domates	Dias ve ark. [42]
<i>Streptomyces griseus</i>	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Fusarium solani</i>	Domates	Anitha ve Rebeeth [47]
<i>Streptomyces hygroscopicus</i>	<i>Sclerotium rolfsii</i>	Biber	Pattanapitpais al ve Kamlandharn [48]
<i>Actinomycetes sp.</i>	<i>Pythium ultimum</i> <i>F. oxysporum f.sp. melonis</i>	Marul	Crawford ve ark. [27]
<i>Actinomycetes sp.</i> izolatları	<i>Phytophthora cinnamani</i> <i>Sclerotinia sclerotium</i> <i>Phytium debaryanum</i>	Çeşitli sebzeler	Cuesta ve ark. [2,19,40]

Zakalyukina ve Zenova [37] tarafından yapılan bir çalışmada, topraklardan izole edilen aktinomisetlerin *Fusarium sporotrichiella*, *F. gibbosum*, *F.graminearum*, *F.solani*, *F.oxysporum*'un gelişmesini pH 5 ve pH 7'e ayarlanmış ortamlarda inhibe ettikleri açıklanmıştır. Yapılan birçok çalışmada da, *Alternaria*, *Fusarium*, *Macrophomina*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Verticillium* gibi farklı patojenlere karşı, aktinomiset izolatlarının antagonistik aktivitelerini tespit etmişlerdir [28].

5. Aktinomisetler tarafından üretilen metabolitler

Aktinomisetlerin biyoaktif metabolitlerin üreticisi oldukları, 1988-1992 yılları arasında aktinomisetlerden üretilen 1000'den fazla sekonder metabolit elde edildiği Sharma ve ark. [2] tarafından açıklanmıştır. Araştırmacılar, elde edilen metabolitlerin çoğunun *Streptomyces*'in farklı izolatlarından üretildiğini bildirmişlerdir

[2]. Aktinomisetlerin antifungal, antitümör aktiviteli sekonder metabolitler ile, peptidler, b-laktamlar, poliketler gibi farklı kimyasal yapıları ürettikleri rapor edilmiştir [49]. Kasugamisin'in *Streptomyces kasugaensis* tarafından üretilen bakterisidal ve fungisidal metabolit olduğu, mikroorganizmaların protein biyosentezini inhibe ettiği belirlenmiştir [2].

Amphotericin, nystatin, chloramphenicol, gentamisin, eritromisin, vankomisin, tetrasiklin, novobiocin, neomisin gibi önemli antibiyotiklerin aktinomisetlerden üretildiği açıklanmıştır [2]. Aktinomisetlerden izole edilen birçok antifungal bileşiğin fungal türler üzerinde de etkili olduğu tespit edilmiştir [50]. *Streptoverticillium rimofaciens nida*'dan antifungal metabolit olan mildiomycin izole edilmiş ve birçok üründe küllenme hastalığına karşı etkili olduğu belirlenmiştir. Bu metabolitin fungal patojenin fungal protein biyosentezini inhibe ettiği bildirilmiştir [51]. *Streptomyces cacaoivar asoensis*'in metaboliti olarak izole edilen Polyoxin B ve D'nin; kitin sentezini inhibe ederek fungal hücre duvarı sentezi üzerine olumsuz etkileri incelenmiş, birçok sebze ve meyvede hastalık oluşturan fungal patojenlerinin kontrolünde kullanılmıştır [2]. Toprakta izole edilen *Streptomyces*'in fungal patojenlerin gelişmesini inhibe ettiği, *Streptomyces diastatochromogenes* izolat PonsII tarafından üretilen antibiyotik patates hastalıklarına karşı etkili olduğu incelenmiştir [52]. Benzer olarak *S. nigrifaciens* ve *S. longisporus*'un *Sclerotium rolfsii*, *Helminthosporium oryzae* gibi bitki patojenlerini kontrol ettiği de belirlenmiştir [52]. Toprakta izole edilen bazı *Streptomyces* türlerinin ürettikleri antibiyotikler ve etkiledikleri fungal türler Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Toprakta izole edilen *Streptomyces* türlerinin bazı fungal türlere inhibitör etkileri [52]

Aktinomiset	Ürettikleri Antibiyotikler	Fungal türlerin inhibisyonu	
		Gelişme	Çimlenme
<i>S. resistomycificus</i>	Resistomisin	<i>Trichoderma</i> <i>Penicillium</i> <i>Cephalosporium</i>	<i>Penicillium</i> <i>Sporotrichium</i>
<i>S. misionensis</i>	Polien	<i>Trichoderma</i> <i>Penicillium</i> <i>Cladosporium</i> <i>Mucor</i>	-
<i>S. colombiensis</i> <i>S. virginiae</i> <i>S. purpeofuscus</i>	Actithiazik asit	<i>Trichoderma</i> sp. <i>Fusarium</i> sp. <i>Penicillium</i> sp.	<i>Sporotrichum</i> <i>Aleurisma</i> <i>Cylindrocarpon</i> <i>Penicillium</i> <i>Aleurisma</i> <i>Cylindrocarpon</i> <i>Sporotrichum</i>

6. Biyodegradasyon/ Biyoremidasyon ajanları olarak aktinomisetler

Aktinomisetler ayrıca organoklorinler, S-triazinler, triazinonlar, karbamatlar, organofosfatlar, organofosfonatlar, asetanitler ve sülfonilüreler dahil olmak üzere çeşitli kimyasal yapılardaki pestisitlerin bozulmasına neden olmuştur [53]. Toprak aktinomisetlerinin toprakta bulunan herbisit Diuron'u parçaladığı bildirilmiştir [54].

Diuron, bir tür fenilüre olup, ekinsiz alanlardaki yabancı ot kontrolü ve düşük konsantrasyonda pamuk, ananas, narenciye ve şeker kamışı gibi ürünlerde yabancı ot kontrolünü sağlamak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. In vitro'da, aktinomisetler yedi gün içinde Diuron içeren ortam içindeki miktarını %37 oranına kadar parçalama yeteneği göstermişlerdir [54]. Aktinomisetler, organik kirleticilerle kirlenmiş toprakların biyoremidasyonu için iyi birer rekabetçi özelliğe sahiptir. Organik karbonun geri dönüşümünde önemli rol oynar ve kompleks polimerleri degrade edebilmişlerdir [55]. Bu nedenle bu mikroorganizmaların petrol kirletici maddelerini gidermek için biyoremidasyonda kullanılabilmesi açıklanmıştır. Mikroorganizmalar tarafından üretilen yaklaşık 23.000 biyoaktif ikincil metabolit bildirilmiş ve bu bileşiklerin 10.000'inden fazlası aktinomisetler tarafından üretilmiştir.

SONUÇ

Aktinomisetler, bazı baklagil olmayan bitkilerle ortaklık kurarak azotu fikse ederler, fikse edilen azot hem konukçu bitki hem de diğer bitkiler için kullanılabilir. Bunlar, ürettikleri hidrolitik enzimler ile organik maddelerin geri dönüşümünde büyük rol oynayan ana toprak mikroorganizma grubudur. Besin maddelerinin ve minerallerin çözünmesine yardımcı olurlar, bitki büyüme düzenleyicilerini sentezler ve özel olarak, fitopatojenleri inhibe edebilirler. Fosfatı çözme, siderofor üretimi ve azot fiksasyonu gibi işlevleri yerine getirirler. Ayrıca, aktinomisetler çevreyi kirlenmez; bunun yerine besin maddelerinin çözünürlüğünü artırarak toprağın biyotik dengesini korumaya yardımcı olurlar. Aktinomisetler, organik kirleticilerle kirlenmiş toprakların biyoremidasyonu için kullanılabilir birçok özelliğe sahiptir. Organik karbonun geri dönüşümünde önemli bir rol oynarlar ve karmaşık polimeri bozabildikleri açıklanmıştır. Açıklanan tüm özellikler ile aktinomisetleri toprak ve bitki sağlığında kullanılabilmesi aktinomisetler ile hazırlanan preparatların kimyasal gübre kullanımına alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim dalında Prof. Dr. Çiğdem Küçük danışmanlığı altında Meral Ödemiş tarafından yapılan “*Mısır yetiştirilen topraklardan aktinomisetlerin izolasyonu, karakterizasyonu ve bitki gelişimini teşvik eden özelliklerinin belirlenmesi*” adlı Yüksek lisans tezinin literatür özeti bölümüdür.

KAYNAKLAR

- [1] Ventura, M., Canchaya, C., Tauch, A., Chandra, G., Fitzgerald, G.F., Chater, K.F., van Sinderen, D. (2007): Genomics of actinobacteria: tracing the evolutionary history of an ancient phylum. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 71:495-548.
- [2] Sharma, M., Dangi, D., Choudhary, M. (2014): Actinomycetes: Source, Identification, and Their Applications. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 3: 801-832
- [3] Berdy, J. (2005): Bioactive microbial metabolites. *J. Antibiot.*, 58: 1-26

- [4] Anwar, S., Ali, B., Sajid, I. (2016): Screening of rhizospheric actinomycetes for various *in-vitro* and *in-vivo* plant growth promoting (PGP) traits and for agroactive compounds. *Front Microbiol.* 7: 1334.
- [5] Srivastava, S., Patel, J.S., Singh, H.B., Sinha, A., Sarma, B.K. (2015): *Streptomyces rochei* SM3 induces stress tolerance in chickpea against *Sclerotinia sclerotiorum* and NaCl. *J. Phytopathol.* 163: 583-592
- [6] Zhang, N.N., Sun, Y.M., Li, L., Wang, E.T., Chen, W.X., Yuan, H.L. (2010): Effects of intercropping and *Rhizobium* inoculation on yield and rhizo- sphere bacterial community of faba bean (*Vicia faba* L.). *Biol. Fert. Soils* 46: 625-639.
- [7] Tarafdar, J.C., Rathore, I., Shiva, V. (2012): Effect of Bt-transgenic cotton on soil biological health. *Appl. Biol. Res.* 14: 15-23.
- [8] Oliveira, C., Alves, V., Marriel, I., Gomes, E., Scotti, M., Carneiro, N. (2009): Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. *Soil. Biol. Biochem.* 41: 1782—1787.
- [9] Chin, K.J., Hahn, D., Hengstmann, U., Liesack, W., Janssen, P.H. (1999): Characterization and identification of numerically abundant culturable bacteria from the anoxic bulk soil of rice paddy microcosms. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 5042-5049.
- [10] Hardoim, P.R., Andreote, F.D., Reinhold-Hurek, B., Sessitsch, A., van Overbeek, L.S., van Elsas, J.D. (2011): Rice root-associated bacteria: insights into community structures across 10 cultivars. *FEMS Microbiol. Ecol.* 77:154-164.
- [11] Ludemann, H., Conrad, R. (2000): Molecular retrieval of large 16S rRNA gene fragments from an Italian rice paddy soil affiliated with the class Actinobacteria. *Syst. Appl. Microbiol.* 23: 582-584.
- [12] Mehnaz, S., Baig, D.N., Lazarovits, G. (2010): Genetic and phenotypic diversity of plant growth promoting rhizobacteria isolated from sugarcane plants growing in Pakistan. *J. Microbiol. Biotechnol.* 20:1614-1623.
- [13] Ambrosini, A., Beneduzi, A., Stefanski, T., Pinheiro, F.G., Vargas, L.K., Passaglia, L.M. (2012): Screening of plant growth promoting rhizobacteria isolated from sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Soil* 356: 245-264.
- [14] Verma, P., Yadav, A.N., Kazy, S.K., Saxena, A.K., Suman, A. (2013): Elucidating the diversity and plant growth promoting attributes of wheat (*Triticum aestivum*) associated acidotolerant bacteria from southern hills zone of India. *Natl. J. Life Sci.* 10: 219-227.
- [15] Verma, P., Yadav, A.N., Kazy, S.K., Saxena, A.K., Suman, A. (2014): Evaluating the diversity and phylogeny of plant growth promoting bacteria associated with wheat (*Triticum aestivum*) growing in central zone of India. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 3:432-447.
- [16] Verma, P., Yadav, A.N., Khannam, K.S., Panjiar, N., Kumar, S., Saxena, A.K. (2015c): Assessment of genetic diversity and plant growth promoting attributes of psychrotolerant bacteria allied with wheat (*Triticum aestivum*) from the northern hills zone of India. *Ann. Microbiol.* 65: 1885-1899.
- [17] Verma, P., Yadav, A.N., Khannam, K.S., Mishra, S., Kumar, S., Saxena, A.K. (2016b): Appraisal of diversity and functional attributes of thermo- tolerant wheat associated bacteria from the peninsular zone of India. *Saudi J. Biol. Sci.*
- [18] Qin, S., Li, J., Chen, H.-H., Zhao, G.Z., Zhu, W.Y., Jiang, C.L. (2009): Isolation, diversity, and antimicrobial activity of rare actinobacteria from medicinal plants of tropical rain forests in Xishuangbanna, China. *Appl. Environ. Microbiol.* 75:6176-6186.
- [19] Singh, S.P., Gaur, R. (2016): Evaluation of antagonistic and plant growth promoting activities of chitinolytic endophytic actinomycetes associated with medicinal plants against *Sclerotium rolfsii* in chickpea. *J. Appl. Microbiol.* 121: 506—518

- [20] Qin, S., Feng, W.W., Wang, T.T., Ding, P., Xing, K., Jiang, J.H. (2017): Plant growth-promoting effect and genomic analysis of the beneficial endo-phyte *Streptomyces* sp. KLBMP 5084 isolated from halophyte *Limonium sinense*. *Plant. Soil.* 1:1-16.
- [21] Zhang, M.M., Wang, Y., Anga, E.L., Zhao, H. (2016): Engineering microbial host for production of bacterial natural products, *Nat. Prod. Rep.* 33:963-987.
- [22] Pandey, A., Nigam, P., Soccol, C.R., Soccol, V.T., Singh, D., Mohan, R. (2000): Advances in microbial analysis. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 31: 135-152.
- [23] Arunachalam, R., Wesley, E.G., Annadurai, G.J. (2010): Novel approaches for Identification of *Streptomyces nobortoensis* TBGH-V20 with cellulase production. *Curr. Res, Bacteriol.* 3(1): 15-26.
- [24] Kulkarni, N., Gadre, R.V. (2002): Production and properties of an alkaline, thermophilic lipase from *Pseudomonas fluorescens* NS2W. *J. Ind. Food. Microbiol* 28: 344-348.
- [25] Schmid, R.D., Verger, R. (1998). Lipases: Interfacial enzymes with attractive applications. *Angew. Chem. Int. Ed.* 37: 1608-1633
- [26] Tan, H., Deng, Z., Cao, L. (2009): Isolation and characterization of actinomycetes from healthy goat faeces. *Letters in Applied Microbiology*, 49:248–253.
- [27] Crawford, D.L., Lynch, J.M., Whipps, J.M., Ousley, M.A. (1993): Isolation and characterization of actinomycete antagonists of a fungal root pathogen. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:3899-3905.
- [28] El-Tarabily, K.A., Nassar, A.H., Sivasithampam, K. (2008): Promotion of growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in a calcareous soil by a phosphate- solubilizing, rhizosphere-competent isolate of *Micromonospora endolithica*. *Appl. Soil. Ecol.* 39: 161-171.
- [29] McCarthy, A.J., Williams, S.T. (1992): Actinomycetes as agents of biodegradation in the environment a review. *Gene*, 115: 1 89-192.
- [30] Ren, J.G., Wang J.I. (2015): On Isolation, screening and identification of nitrogen-fixing bacteria and potassium-solubilizing bacteria from rhizosphere soil of *Radix-pseudostellarise*. *J. Southwest Chin. Normal Univ. (Nat. Sci.)*, 40: 59-65.
- [31] Manna, M.C., Singh, M.V., Adhikari, T. (2001): Effect of cadmium and lead contamination with and without wheat straw on microbial activity in a swell shrink soil, *J. Indian Soc. Soil. Sci.* 49:266-271.
- [32] Passari, A.K., Chandra, P., Zothanpuia, Mishra, V.K., Leo, V.V., Gupta, V.K., (2016a): Detection of biosynthetic gene and phytohormone production by endophytic actinobacteria associated with *Solanum lycopersicum* and their plant-growth-promoting effect. *Res. Microbiol.* 167: 692—705.
- [33] Passari, A.K., Mishra, V.K., Yadav, M.K., Gupta, V.K., Saikia, R., Singh, B.P., (2016b): Distribution and identification of endophytic *Streptomyces* species from *Schima wallichii* as potential. *Pol. J. Microbiol.* 65 (3): 319—329.
- [34] Abdulla, H., May, E., Bahgat, M., Dewedar, A. (2008): Characterization of actinomycetes isolated from ancient stone and their potential for deterioration. *Polish J. Microbiol.* 57: 213-220.
- [35] Mara, D., Oragui, J.I. (1981): Occurrence of *Rhodococcus coprophilus* and associated actinomycetes in feces, sewage, and freshwater. *Applied and Environmental Microbiology.* 42(6):1037-42
- [36] Bhatti, A.A., Haq, S., Bhat, R.A. (2017): Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. *Microbial Pathogenesis.* 111: 458-467
- [37] Zakalyukina, Y., Biryukov, M.V., Golichenkov, M.V., Netrusov, A. I. (2017): Phenotypic and Phylogenetic Characterization of actinomycetes isolated from *Lasius niger* and *Formica cunicularia* Ants. *Moscow Univ. Biological Sciences Bulletin*, 72(1): 13–19

- [38] Solans M., Vobis G., Cassan F., Luna V., Wall L. G. (2011): Production of phytohormones by root-associated saprophytic actinomycetes isolated from the actinorhizal plant *Ochetophila trinervis*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 27: 2195–2202.
- [39] Sreevidya, M., Gopalakrishnan, S., Kudapa, H., Varshney, R.K. (2016): Exploring plant growth-promotion actinomycetes from vermicompost and rhizosphere soil for yield enhancement in chickpea. *Braz J Microbiol.* 47(1):85–95.
- [40] Wang, Q., Duan, B., Duan, B., Yang, R., Zhao, Y., Zhang, L. (2015): Screening and identification of chitinolytic actinomycetes and study on the inhibitory activity against turfgrass root rot disease fungi. *J. Biosci. Med.* 3: 56.
- [41] Kanini, G.S., Katsifas, E.A., Savvides, A.L., Karagouni, A.D. (2013): *Streptomyces rochei* ACTA 1551, an indigenous Greek isolate studied as a potential biocontrol agent against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *BioMed. Res. Int.* 12: 387230.
- [42] Dias, L.R.L., Bastos, D.K.L., Lima, N.S., Silva, M.R.C., Miranda, R.C.M. (2017): Bioprospecting of Microorganisms with Biotechnological Interest Isolated in Mangrove Ecosystem. *Rev. Investig. Biomed.* 9:24-30.
- [43] Hata, E.M., Sijam, K., Ahmad, Z.A.M., Yusof, M.T. (2015): In vitro Antimicrobial Assay of Actinomycetes in Rice Against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* and as Potential Plant Growth Promoter. *Brazilian Archives of Biology and Technol.* 58: 821-832
- [44] Sheik, G.B., Maqbul, M.S., Shankar S.G., Ranjith M.S. (2017): Isolation and characterization of actinomycetes from soil of Ad-Dawadmi, Saudi Arabia and screening their antibacterial activities. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 9(10): 276-279.
- [45] Duraipandiyan, V., Sasi, A.H., Islam, V.I.H., Valanarasu, M., Ignacimuthu, S. (2010): Antimicrobial properties of actinomycetes from the soil of Himalaya. *Journal of Medi Mycol.* 20:15-20
- [46] Han, Z.Y., Xu, O., McConnell, L., Liu, Y., Li, S.QI. (2018): Two antimycin a analogues from marine derived actinomycete *Streptomyces lusitanus*. *Mar. Drugs* 10: 668-676.
- [47] Anitha, A., Rebeeth, M. (2009): In vitro Antifungal activity of *Streptomyces griseus* against phytopathogenic fungi of tomato field. *Aca. J. Plant Sciences* 2(2): 119 123
- [48] Pattanapitpaisal, P., Kamlandharn, R. (2012): Screening of chitinolytic actinomycetes for biological control of *Sclerotium rolfsii* stem rot disease of chilli. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology* 34(4):383-389
- [49] Behal, V. (2000): Bioactive products from *Streptomyces*. *Advanced of Applied Microbiology* 47:113-157
- [50] Barke, J., Seipke, R.F., Gruschow, S. (2010): A mixed community of actinomycetes produce multiple antibiotics for the fungus farming ant *Acromyrmex octospinosus*. *BMC Biology*, 8:109
- [51] Feduchi, E., Cosin, M., Carrasco, L. (1985): Mildiomycin: a nucleoside antibiotic that inhibits protein synthesis. *Journal of Antibiotics* 38: 415-419
- [52] Ray, R.C., Edison, S. (2005). Microbial biotechnology in agriculture and aquaculture an overview. In: *Microbial Biotechnology in agriculture and Aquaculture*, Vol. I (ed.) R.C. Ray, Science Publishers, Enfield, New Hampshire, USA, pp. 1-30.
- [53] Sanchez, C., Mendez, C., Salas, J.A. (2006): Engineering biosynthetic pathways to generate antitumor indolocarbazole derivatives. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology.* 33: 560–568
- [54] De Schrijver, A., De Mot, E. (2008): Degradation of Pesticides by Actinomycetes. *Journal of Critical Reviews in Microbiology.* 25: 85-119.
- [55] Goodfellow, M., Williams, S.T. (1983): Ecology of actinomycetes. *Annals of Review Microbiology* 37:189-215.