

## BÖLÜM 5

# ORGANİK TARIMDA BİTKİ GELİŞİMİNİ TEŞVİK EDEN BAKTERİLERDEN GELİŞTİRİLEN BİYOFORMÜLASYONLAR

Dr. Öğr. Üyesi Merve ŞENOL KOTAN\*

---

\*Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Erzurum, Türkiye. Orcid: 0000-0003-3582-3376      merves@atauni.edu.tr



## GİRİŞ

Organik tarım, tarımsal ekosistemin sağlıklı ilerlemesini destekleyen ve geliştiren bütüncül bir üretim yönetimi sistemidir. Organik Tarım Araştırma Enstitüsü (FiBL) 186 ülkeden alınan veriler sonucu 2018 yılında toplam 71,5 milyon hektar alan ile dünya üzerinde bulunan toplam tarım arazilerinin %1,5'lik kısmında organik tarım faaliyetlerinin yürütüldüğünü, bir önceki yıla göre %2,9'luk bir artış gösterdiğini belirtmiştir (Anonim, 2021).

Organik tarım faaliyetlerine eğilim gün geçtikçe daha çok artarken dünya nüfusu da giderek artmaktadır. Dünya ekonomi formu (WEF) verilerine göre dünya nüfusunun 2050 yılında 9,8 milyar insanı aşacağı tahmin edilmektedir (Anonim, 2020). Artan nüfus ve sanayileşme sebebiyle azalan tarım arazileri, gıda üretiminde verim artışını elzem bir hale getirmiştir. Bu nedenle günümüzde tarımsal faaliyetlerde yüksek oranlarda kimyasal girdiler kullanılmaktadır. Tarımsal üretimde uygulanan yoğun veya hatalı kimyasal gübre ve pestisit kullanımı sebebi ile insan sağlığı ve toprak canlılığı olumsuz yönde etkilenmekte ve organik tarım mümkün olmamakta ve sürdürülebilir tarımın önüne geçilmektedir (Aksoy ve Yılmaz, 2008).

Toprak sağlığını ve tarım ekosistemini etkilemeden mahsul verimliliğini artırmak için organik tarım faaliyetlerini destekleyen kimyasal gübrelere alternatifler üzerinde odaklanılmıştır. Bu yüzden son yıllarda çevreyle dost, toksik etki göstermeyen biyolojik ürünlerin kullanımına yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. Gelişmiş ve

gelişmekte olan ülkelerde kimyasal pestisit ve gübre tüketimi azaltılmakta, hastalık-zararlı mücadelesinde ve bitki beslenmesinde kullanılan biyolojik ürünlerin miktarı hızla arttırılmaktadır (Rosell ve ark., 2008; Glare ve ark., 2012; Şenol Kotan, 2020).

Yapılan pek çok bilimsel çalışmada çeşitli mikroorganizmalar, biyopestisit ve mikrobiyal gübre olarak organik tarım hareketi için uygun adaylar olma potansiyellerini kanıtlamıştır. Bu tür mikroorganizmalar, büyümesini teşvik etmek için ve pek çok zararlıyla mücadele yöntemlerinde kullanılmakta ve çok başarılı sonuçlar alınmaktadır (Kotan ve ark., 1999; Huang ve ark., 2011; Knöbel ve ark., 2012; Kotan ve Çelik, 2014; Şenol Kotan, 2020).

Son zamanlarda birçok çalışma, mikroorganizmalardan üretilen organik gübreleri kimyasal gübrelere göre güvenli ve etkili alternatifler olarak önermektedir Tarımda en çok kullanılan mikroorganizmalar bakterilerdir (Wu ve ark., 2018). Bakteriler içerisinde de Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bakterilerin (Plant Growth Promoting Bacteria-PGPB) kullanılması oldukça yaygındır (Kotan, 2020). Bakterilerin sıvı kültürlerinin organik tarım sektöründe herhangi bir taşıyıcı ile muamele edilmeden kullanılması, raf ömrünün kısalması ve stabilizasyonunun zor olması gibi durumlara sebep olmaktadır. Bu nedenle tarım sektöründe PGPB'lerin biyoformülasyon haline dönüştürülerek kullanılması elzem bir durumu gün yüzene çıkarmıştır. Bu yüzden yüksek kaliteli PGPB kültürlerini korumak için biyoformülasyonlar geliştirilmektedir (Lee ve ark., 2016). Bu kadar önemli işleri başaran bakterilerin biyoformülasyona

dönüştürülmesi ve organik tarımda kullanımını günümüzde oldukça önemli ve kıymetli bir konu haline gelmiştir. Türkiye’de Organik Tarım ve Agro-Ekolojik Gelişmeler kitabının bu bölümünde organik tarım uygulamalarında PGPB’lerin önemi ve PGPB’lerin biyoformülasyonlarının geliştirilmesi konuları ele alınmıştır.

### **BİTKİ GELİŞİMİNİ TEŞVİK EDEN BAKTERİLER (PGPB)**

Mikroorganizmalar sürdürülebilir tarımın olmazsa olmaz bir parçasıdır. Dünya üzerinde tanılanmış mikroorganizmaların yaklaşık %2’lik bir kısmının zararlı mikroorganizmalardan oluştuğu, geri kalan kısmının ise evrenin yararına işler başardığı belirtilmiştir (Kotan, 2020). Özellikle toprak mikrobiyotası organik tarım için çok önemli bir yer tutmaktadır (Antoun ve Prevost, 2005; Karapire ve Özgönen, 2013). Tarımda mikroorganizmalar özellikle de toprak kaynaklı bakteriler biyolojik mücadelede ve bitki beslenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kotan ve ark., 2009). Serbest olarak yaşayan, bitki gelişimini teşvik eden, mikrobiyal gübre veya biyolojik mücadele amacıyla kullanılan toprak, rizosfer, rizoplan ve filosfer bakterilerine “Bitki Gelişimini Teşvik Eden (Plant Growth Promoting Bacteria=PGPB) Bakteriler” adı verilmektedir. PGPB'nin faaliyetlerinin çoğu rizosferde, daha azı ise yaprak yüzeyinde incelenmiştir. Bitkinin içinde bulunan endofitik olarak adlandırılan PGPB’ler de bulunmaktadır (Bashan ve de-Bashan, 2005). PGPB’ler kullanılarak bitki besleme sorununun yanında bitki sistemik dayanıklılığının teşvik edilmesi, pek çok hastalık ve stres koşullarına

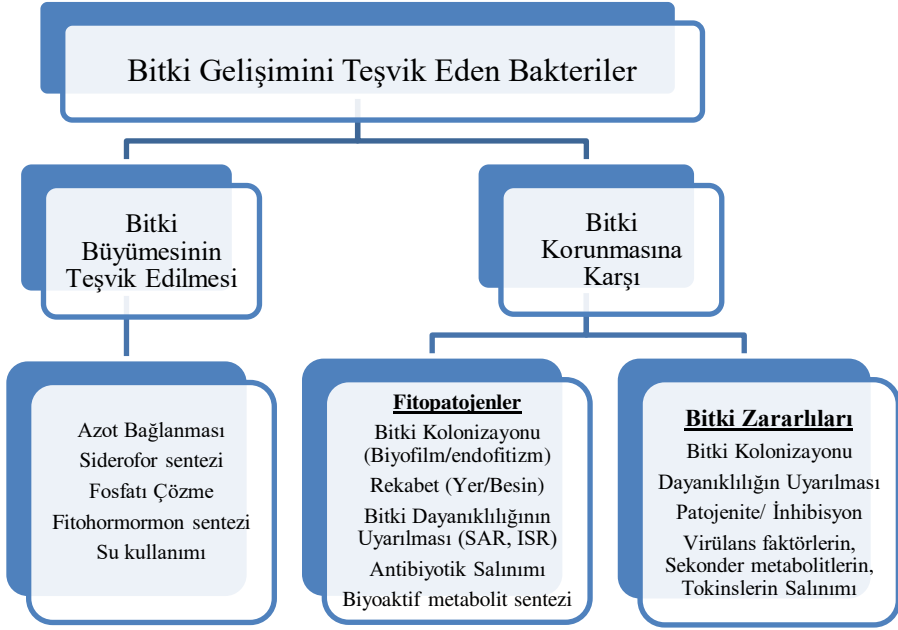
karşı bitkilerin korunması önemli bir avantajdır (Bashan ve Holguin, 1998; Şenol Kotan, 2020).

Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler daha çok *Aereobacter*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Artrobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodobacter*, *Rhodosprillum*, *Serratia* ve *Xanthomonas* cinslerine aittir (Dandurand ve ark., 1994; Daza ve ark., 2000; Dadasoğlu ve ark., 2013). Ülkemizde en çok çalışılan PGPB türleri, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas* ve *Azospirillum* cinslerine aittir (Çakmakçı ve ark., 2006; Sezen, 2012) Bu cinsler arasında özellikle *Bacillus* ve *Pseudomonas* patojenler açısından çok iyi antagonistik özelliklere sahip olmaları ve bitki gelişimini uyarıcı etkilerinin nedeniyle de dikkat çekmektedir (Altın ve Bora, 2015).

### **Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bakterilerin Etki Mekanizması**

Bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin etki mekanizmaları doğrudan ve dolaylı (biyolojik kontrol) bitki gelişiminin teşvik edilmesi olarak iki gruba ayrılmaktadır (Glick, 1995). Doğrudan uyarı mekanizması; uyarıcı bakteriyel uçucular ve fitohormonların üretimi, bitkide etilen seviyesinin azalması, bitki besin elementlerinin alımının kolaylaştırılması, bitkisel gelişime yardımcı salgı maddelerini üretilmesi gibi doğrudan bitki gelişimini teşvik eder. Dolaylı etki mekanizması ise bitki patojenlerinin zararlı etkilerini azaltır (Sezen,

2012; Karapire ve Özgönen, 2013). Şekil 1'de PGPB'lerin genel etki mekanizmaları gösterilmiştir.



Şekil 1. PGPB'lerin genel etki mekanizmaları (Ruiu, 2020)

Bitki büyümesini teşvik eden bakterilerin etkinliği, toprak organik madde içeriği başta olmak üzere toprak özellikleri, bitki ve bakteri çeşidi, ele alınan bitki parametreleri ve yetiştirilme koşullarına göre değişmektedir (Çakmakçı ve ark., 2006). Pek çok toprak bakterisinin bitkiler üzerindeki olumlu etkisine, mineral beslemenin iyileştirilmesi, biyotik ve abiyotik strese karşı bitki toleransının arttırılması, kök gelişiminin değiştirilmesi ve toprak kaynaklı hastalıkların baskılanması gibi bir dizi mekanizma aracılık etmektedir (Glick,

1995; Glick ve ark., 1999; Kloepper ve ark., 1989; Gamalero ve Glick, 2011).

PGPB bakterilerinin oksin, giberallin, sitokinin, etilen gibi bitkisel hormon üretebildiği, simbiyotik veya asimbiyotik azotu fikse edebildiği, organik fosfatı ve diğer besin elementlerini minarelize ettiği, mineral fosfat ve demiri çözebildiği, bitki enzim aktivitesini arttırdığı (Timmusk ve ark., 1999; Garcia de Salamone ve ark., 2001; Gutierrez-Manero ve ark., 2001; Sahin ve ark., 2004; Jeon ve ark., 2003; Canbolat ve ark., 2006; Çakmakçı ve ark., 2007; Karagöz ve ark., 2016a; Dadaşoglu ve ark., 2017), toksik kimyasalları parçaladıkları (Karagöz ve ark., 2016b) belirtilmiştir. Ayrıca bakterilerin antibiyotik, siderofor, vitamin, enzim ve fungusit gibi bileşikler sentezleyerek veya rekabet gibi mekanizmalarla patojenlere karşı antagonistik etki gösterdiği de bilinmektedir (Karagöz, 2009).

## **BİTKİ GELİŞİMİNİ TEŞVİK EDEN BAKTERİLERDEN GELİŞTİRİLEN BİYOFORMÜLASYONLAR**

Tarımda bitki gelişimini teşvik eden bakteriler mikrobiyal gübre, bitki gelişim düzenleyicisi, biyopestisit ve toprak düzenleyicisi olarak temelde 4 grupta kullanılmaktadır. Özellikle PGPB'lerin mikrobiyal gübre ve biyopestisit olarak kullanımı oldukça yaygındır (Kotan, 2020). Tarımda PGPB'ler biyoförmülasyonlar haline dönüştürülerek kullanılmaktadır. Biyoförmülasyon; kök, tohum ve toprağa uygulanarak, bitki büyümesini ve mikroflorasını iyileştirebilen, bitkileri hastalıklardan ve zararlılardan koruyan faydalı mikroorganizmalardan oluşturulmuş canlı preparasyonlardır.



Biyoförmülasyon aşamasında bakteri hücre süspansiyonları bazı taşıyıcılarda immobilize edilerek kolay uygulama, depolama, ticarileştirme ve tarla kullanımına uygun hale getirilir. Biyoförmülasyon içeriğinde kullanılan PGPB'ler sayesinde bitki hastalık ve zararlıları kontrol edilmekte, bitki büyümesi teşvik edilmekte, bitkinin stres koşullarına dirençli ve dayanıklı olabilmesi için bitki sistemik dayanıklılığı teşvik edilmekte, topraktaki organik ve inorganik maddeleri parçalayarak bitkinin almasını kolaylaştırabilmektedir (Mohammadi ve Kotan, 2014). PGPB'lerin biyoförmülasyon olarak kullanılmasıyla, bitkilere toksik etki göstermeyen, yer altı sularını kirletmeyen, toprak asitliğini arttırmayan ve daha ekonomik avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir (Lobo ve ark., 2019).

Biyoförmülasyon geliştirmede raf ömrü uzun, bitkiler için fitotoksik olmayan, suda çözünme kabiliyeti yüksek, olumsuz çevre koşullarında dahi etkinliğini sürdürebilen, maliyeti düşük, diğer tarım girdileriyle uyumlu, ucuz ve bulunabilir taşıyıcı kullanma gibi amaçlar hedeflenmektedir (Jeyarajan and Nakkeeran, 2000; Şenol Kotan, 2020).

### **Biyoförmülasyon Taşıyıcılarının Özellikleri**

Taşıyıcı, canlı PGPB'nin fabrikadan sahaya teslimi için bir araçtır. Taşıyıcılar ile oluşturulacak herhangi bir biyoförmülasyon olmadan, birçok gelecek vaat eden PGPB'nin pazara ulaşması neredeyse imkansızdır (Bashan ve de-Bashan, 2005). Biyoförmülasyon

geliştirilirken ana taşıyıcı olarak gözenekli birçok ürün kullanılmaktadır. PGPB'ler için taşıyıcılar genel olarak 4 gruba ayrılır;

- 1) Toprak kaynaklı taşıyıcılar: Torf, kömür, kil ve inorganik toprak,
- 2) Bitkisel kaynaklı taşıyıcılar: Kompostlar, hayvan gübresi, soya küspesi, soya ve yerfıstığı yağları, buğday kepeği, şeker fabrikası atıkları, harcanan mantar kompostu şlempe, tarım artığı materyaller,
- 3) Cansız materyaller (vermikülit, perlit, kaya fosfatı, poliakrilamid, kalsiyum sulfat ve alginat),
- 4) Liyofilize mikrobiyal kültürler (Bashan, 1998; Bashan ve de-Bashan, 2005).

Biyoförmülasyonda kullanılacak taşıyıcının düşük maliyetli, çevreye zararsız, kolay steril edilebilen, üretim esnası ve uygulamada kullanılabilir, kolay ulaşılabilir ve uzun süre depolanabilme özelliğine sahip olması gerekmektedir. Taşıyıcı istenilen zamanda, iyi fizyolojik durumda yeterli sayıda canlı bakteri hücresi sağlama kapasitesine sahip olmalıdır. (Bashan, 1998; Lobo ve ark., 2016). Seçilen taşıyıcı madde fazla sayıda hedef organizmanın gelişmesini sağlamalıdır. Uygun taşıyıcı optimum azot ve yüksek organik madde içermelidir (Rivera-Cruz ve ark., 2008). Biyoförmülasyonlar için kullanılan taşıyıcılar, bakterileri hücre ölümlerinden korurlar ve yaşam oranlarını yüksek tutarlar (Vidhyasekaran ve Muthamilan, 1995).

## **PGPB İçerikli Biyoformülasyonlar**

Yapılan çalışmalarda PGPB bakterileri kullanılarak geliştirilen 4 formda mikrobiyal içerikli biyoformülasyon bulunmaktadır. Bu biyoformülasyonlar sıvı, bulamaç, toz (0,075 – 0,25 mm) ve granüler (0,35 – 1,18 mm) olarak sınıflandırılabilir (Bashan ve de-Bashan, 2005).

Sıvı formülasyonlar, yapışma, stabilite, yüzey aktif madde ve dispersiyon kapasitesini artırabilen su, yağ veya polimerik maddeler gibi farklı bileşiklerle birleştirilmiş tam kültürler veya mikrobiyal süspansiyonlardır (Lee ve ark., 2016). Sıvı formülasyonların temel avantajları, katı bazlı formülasyonlara kıyasla daha kolay işlenmesi ve daha düşük maliyetlerle üretilmeleridir (Kumaresan ve Reetha, 2011). Bu nedenle sıvı formülasyonlar, aşılama pazarının önemli bir yüzdesini oluşturur.

Organik ve inorganik taşıyıcılara dayalı olarak granül veya toz halinde katı formülasyonlar hazırlanabilmektedir. Parçacık boyutlarına veya uygulamalarına göre sınıflandırılırlar (Bashan ve de-Bashan, 2005; Lee ve ark., 2016; Lobo ve ark., 2019). Biyoformülasyonlarda su içeriği ne kadar azalır ise içerisindeki mikroorganizmaların yüksek sıcaklığa dayanma ve hayatta kalma süreleri artmaktadır. Bu nedenle düşük su içeriğine sahip granüler ve toz formdaki formülasyonlar, pazarlamada esnasında daha düşük maliyetlere taşındıkları için oldukça avantajlıdır (Melin ve ark., 2006). Tamamen kuru formülasyonlarda, bakteriler hareketsiz bir formda kaldığından

çevresel streslere karşı dirençli ve gübre uygulamalarına daha uyumludur (Bashan, 2014). Katı formdaki formülasyonların sıvılara göre tek farkı tekrardan rehidre edilmeleridir. Kuru formülasyonlar, tohumları örtmek, kökleri daldırmak veya toprağa dağıtılmak üzere hücre süspansiyonları elde etmek için rehidre edilebilir. Sıvı formülasyonlar gerekli olduğu zamanlarda sulandırılmaktadır (Malusa ve ark., 2012; Beringer ve ark., 2017; Lobo ve ark., 2019).

PGPB'lerin biyoformülasyon haline getirilmesinde kullanılan birçok metod vardır. Bakterilerin biyolojik ürün olarak kullanılabilmesi sürecinde mikrokapsülasyon tekniği önemli bir biyoformülasyon metodudur. Aljinat ve zeolit gibi maddeler kullanılarak bakteriler mikrokapsülleme ile başarılı bir şekilde hareketsizleştirilir (Jeyarajan ve Nakkeeran, 2000; Campos ve ark., 2014; Berninger ve ark., 2016). Mikrokapsülasyon işlemi, asidik pH'da yağ içinde süspansiyon olmuş bakterilerle jelatin fosfat polimer çiftinin karışımını içermektedir (Charpenter ve ark., 1999). Yarı katı formülasyonların çoğunda, PGPB'ler katı taşıyıcılar üzerinde yapışma / biyofilm oluşumu veya aljinat boncuklarda yakalama gibi farklı yöntemler kullanılarak immobilize edilir. İmmobilizasyon işlemleri, bakteri hücrelerini çeşitli zorlu çevresel koşullara karşı korur (Rabin ve ark., 2015).

Katı formülasyonların bazıları, diğer teknolojilerin yanı sıra havayla kurutma, kurutma, dondurarak kurutma (liyofilizasyon) ve püskürtmeli kurutma kullanılarak üretilebilir (Ruíz-Valdiviezo ve ark., 2015; Berninger ve ark., 2017; Prasad ve Babu, 2017; Basheer ve ark., 2018). Dondurarak kurutma, PGPR formülasyonlarının mikrobiyal

canlılığını korumak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Cabrefiga ve ark., 2014; Berninger ve ark., 2016; Tamreihao ve ark., 2016). Ancak havayla kurutma ve gölgede kurtumanın aksine dondurarak kurutma ve püskürtmeli kurutma yöntemleri maaliyetli yöntemlerdir (Berninger ve ark., 2017). Ayrıca biyoformülasyon metodları ile birlikte koruyucu ajanların kültür ortamında bulunması veya bakteriyel büyümeden sonra eklenmesi depolama sırasında hücre canlılığı uzatabilmektedir (Lee ve ark., 2016; Anith ve ark., 2016; Valetti ve ark., 2016; Pastor-Bueis ve ark., 2017; Bernabeu ve ark., 2018; Lobo ve ark., 2019).

## SONUÇ

Artan nüfus, beraberinde bitkisel üretiminde verim artışlarını zorunlu hale getirmiştir. Bunun yanında verimli tarım arazileri azalmış ve pek çok hastalık ve zararlı ile daha çok mücadele edilmek zorunda kalınmıştır. Günümüzdeki en büyük problemlerden bir diğeri ise su kaynaklarının giderek azalmasıdır. Bu problemlerin yanı sıra tarım uygulamalarında bilinçsiz kimyasal girdilerin kullanımı çevrenin kirlenmesine, toprak verimliliğinin kaybolmasına, zararlı popülasyonlarının artmasına ve zararlıların daha dirençli hale gelmesine sebep olmuştur.

Tüm bu problemlerin önüne geçebilmek adına, sürdürülebilir tarım uygulamaları yapılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir tarım, doğal kaynakların korunmasını, ekolojik dengenin sağlanmasını, biyolojik çeşitliliğin devamını, kimyasal girdi

kalıntılarının ortadan kaldırılmasını, sosyal ve ekonomik refahı geliştirecek uygulamaları içermektedir. Sürdürülebilir tarım uygulamaları içerisinde çevre dostu organik tarım uygulamaları, çevre kirliliğinin önüne geçilmesini, kaynakların geri dönüşümle kazanımını, güvenli gıda üretimini olanaklı ve sürekli kılmaktadır. Organik tarım uygulamalarında etkinliğini kanıtlamış ve pek çok çalışmada başarılı sonuçlar alınmış bitki gelişimini teşvik edici bakterilerin kullanımı, geleceğe yönelik ekolojik dengenin yeniden sağlanması ve sağlıklı gıda üretimini desteklemektedir.

PGPB'lerin sürdürülebilir tarım sektöründeki pazarda yer alabilmesi için geliştirilecek biyoformülasyonlar, çevre ve insan sağlığı için çok kıymetli ürünlerdir. Gelecekte; temiz bir doğa, güvenilir gıda ve sağlıklı nesiller için bu çalışmaların yapılması ümit vericidir. Organik tarım uygulamalarında PGPB içerikli biyoformülasyonların kullanımıyla toprak verimliliği arttırılacak, bitki gelişimi ve büyümesi teşvik edilecek, hastalık ve zararlıların önüne geçilecek, dolayısıyla sağlıklı nesiller yetiştirilecektir.

Sonuç olarak, organik tarım faaliyetlerinde PGPB içerikli biyoformülasyon çalışmalarının yapılması ve uygulamaya aktarılması sürdürülebilir tarım açısından oldukça faydalı olacaktır.

**KAYNAKLAR**

- Aksoy, H.M., Yılmaz, N.D.K., 2008. Antagonistic effects of natural *Pseudomonas putida* biotypes on *Polymyxa betae* Keskin, the vector of Beet necrotic yellow vein virüs in sugar beet. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 115 (6): 241-246.
- Altın, N., Bora, T., 2015. Serada hıyar *Fusarium* solgunluğu (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)'na karşı floresan *Pseudomonas*ların etkinliğinin belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 3 (1): 63-71.
- Anith, K.N., Vaishakhi, A.S., Viswanathan, A. Varkey, S., Aswini, S., 2016. Population dynamics and efficiency of coconut water based liquid formulation of *Pseudomonas fluorescens* AMB-8. *Journal of Tropical Agriculture* 54: 184-189
- Anonim, 2020. Sürdürülebilir Bir Dünya için Kurumsal Çözümler, [http://www.skdturkiye.org/files/yayin/surdurulebilir-tarim-ilkeleri-iyi-uygulamalar-rehberi\\_4.pdf](http://www.skdturkiye.org/files/yayin/surdurulebilir-tarim-ilkeleri-iyi-uygulamalar-rehberi_4.pdf), (Erişim Tarihi: 28.10.2020).
- Anonim, 2021. The World of Organic Agriculture (FiBL), <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/2020-organic-world-2019.pdf> (Erişim Tarihi:25.04.2021)
- Antoun, H., Pre'vost, D., 2005. Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. In: Siddiqui ZA (ed) *PGPR: biocontrol and biofertilization*. Springer, Dordrecht, pp 1–38
- Bashan, Y., 1998. Inoculants of Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Use in Agriculture. *Biotechnology Advances* 16: 729-770.
- Bashan, Y., de-Bashan, L., E., 2005. Plant Growth-Promoting: *Encyclopedia of soils in the environment*. Elsevier, Oxford, U.K. Vol. 1., pp. 103-115. 2200 p.
- Bashan, Y., de-Bashan, L.E., Prabhu, S.R., Hernandez, J.P., 2014. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). *Plant Soil* 378: 1-33.
- Bashan, Y., Holguin, G., 1998. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-

- promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biology and Biochemistry* 30:1225–1228
- Basheer, J., Ravi, A., Mathew, J., Krishnankutty, R.E., 2018. Assessment of plant-probiotic performance of novel endophytic *Bacillus* sp. in talc-based formulation. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* <https://doi.org/10.1007/s12602-018-9386-y>.
- Bernabeu, P.R., García, S.S., López, A.C., Vio, S.A., Carrasco, N., Boiardi, J.L., Luna, M.F., 2018. Assessment of bacterial inoculant formulated with *Paraburkholderia tropica* to enhance wheat productivity. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 34, 81. <https://doi.org/10.1007/s11274-018-2461-4>.
- Berninger, T., Mitter, B., Preininger, C., 2016. The smaller, the better? The size effect of alginate beads carrying plant growth-promoting bacteria for seed coating. *Journal of Microencapsulation* 33: 127-136.
- Berninger, T., Mitter, B., Preininger, C., 2017. Zeolite-based, dry formulations for conservation and practical application of *Paraburkholderia phytofirmans* PsJN. *Journal of Applied Microbiology* 122 (4): 974-986.
- Cabrefiga, J., Frances, J., Montesinos, E., Bonaterra, A., 2014. Improvement of a dry formulation of *Pseudomonas fluorescens* EPS62e for fire blight disease biocontrol by combination of culture osmoadaptation with a freeze-drying lyoprotectant. *Journal of Applied Microbiology* 117: 1122-1131.
- Campos, D.C., Acevedo, F., Morales, E., Aravena, J., Amiard, V., Jorquera, M.A., Inostroza, N.G., Rubilar, M., 2014. Microencapsulation by spray drying of nitrogen-fixing bacteria associated with lupin nodules. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* DOI 10.1007/s11274-014-1662-8.
- Canbolat, M., Bilen, S., Çakmakçı, R., Sahin, F., Aydın, A., 2006. Effect of plant growth promoting rhizobacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. *Biology and Fertility of Soils* 42: 350-357.



- Charpenter, C.A., Gadille, P., Benoit, J.P., 1999. Rhizobacteria microcapsulation: properties microparticles obtained by spray drying. *Journal of Microencapsulation* 16 (2): 215-229.
- Çakmakçı, R., Dönmez, M.F., Erdoğan, Ü., 2007. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 31: 189-199.
- Çakmakçı, R., Dönmez, F., Aydın, A., Sahin, F., 2006. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 38 (6): 1482-1487.
- Dadasoglu, F., Karagöz, K., Kotan, R., Sarihan, F., Yildirim, E., Saraç, S., Harmantepe, F.B., 2013. Biolarvicidal effects of nine *bacillus strains* against larvae of *culex pipiens linnaeus*, 1758 (diptera: culicidae) and nontarget organisms. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 23 (1): 35-42.
- Dadaşoğlu, E., Öztekin, A., Dadaşoğlu, F., Çakmakçı, R., Kotan, R., Çomaklı, V., 2017. Enzyme activities and effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth in mountain tea. *Romanian Biotechnological Letters*. 22 (3): 12538-12545.
- Dandurand, L.M., Morra, M.J., Cahaverra, M.H., Orser, C.S., 1994. Survival of *Pseudomonas spp.* In air dried mineral powders. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 1423-1430.
- Daza, A., Santamaría, C., Rodríguez-Navarro, D.N., Camacho, M., Orive, R., Temprano F., 2000. Perlite as a carrier for bacterial inoculants. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 567-572.
- Gamalero, E., Glick, B. R., 2011. Mechanisms Used by Plant Growth-Promoting Bacteria. *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Nutrient Management*, DOI 10.1007/978-3-642-21061-7\_2,
- Garcia de Salamone, I.E., Hynes, R.K., Nelson, L.M., 2001. Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. *Canadian Journal of Microbiology* 47: 404-411.

- Glare, T.R., Caradus, J., Gelernter, W.D., 2012. Have biopesticides come of age?, Trends Biotechnology, 30: 250-258.
- Glick, B. R, Patten, C. L., Holguin, G., Penrose, D. M., 1999. Biochemical and Genetic Mechanisms Used by Plant Growth Promoting Bacteria, London: Imperial College Press.
- Glick, B. R., 1995. The enhancement of plant growth by freeliving bacteria. Canadian Journal of Microbiology 41: 109-117.
- Gutierrez-Manero, F.J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouchi, J., Tadeo, F.R., Talon, M., 2001. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. Physiologia Plantarum 111: 206- 211.
- Huang, P., He, Z., Ji, S., Sun, H., Liu, C., Hu, Y., Wang, X., Hui, L., 2011. Induction of functional hepatocyte-like cells from mouse fibroblasts by defined factors. Nature 475: 386-389.
- Jeon, J.S., Lee, S.S., Kim, H.Y., Ahn, T.S., Song, H.G., 2003. Plant growth promotion in soil by some inoculated microorganisms. Journal of Microbiology 41: 271-276.
- Jeyarajan, R., Nakkeeran, S., 2000. Exploitation of Microorganisms and Viruses as Biocontrol Agents for Crop Disease Management. In: Biocontrol Potential and its Exploitation in Sustainable Agriculture Biocontrol Potential and Their Exploitation in Sustainable Agriculture. Kluwer Academic/Plenum Publishers pp. 95-116, USA.
- Karagöz, F.P., Dursun, A., Kotan, R., Ekinci, M., Yıldırım, E., Mohammadi, P., 2016a. Assessment of the effects of some bacterial isolates and hormones on corn formation and some plant properties in saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agricultural Science 22: 500-511.
- Karagöz, K., 2009. Bazı PGPR ve Biyoajan Bakterilerin Marulun Gelişimi ve Marul Yaprak Lekesi Hastalığı Üzerine Etkileri (Yüksek Lisans Tezi) Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Karagöz, K. Dadaşoğlu, F., Kotan, R., 2016b. Effect of some plant growth promoting and bioagent bacteria on degradation of organochlorine pesticides. *Fresenius Environmental Bulletin* 25 (5): 1348-1353.
- Karapire, M., Özgönen H., 2013. Doğada Yararlı Mikroorganizmalar Arasındaki Etkileşimler ve Tarımsal Üretimde Önemi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 6 (2): 149-157, 2013
- Kloepper, J. W., Lifschitz, R., Zablutowicz, R. M., 1989. Freelifving bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnology* 7:39-44
- Knöbel, M., Busser, F.J.M., Rico-Rico, A., Kramer, N.I., Hermens, J.L.M., Hafner, C., Tanneberger, K., Schirmer, K., Scholz, S., 2012. Predicting adult fish acute lethality with the zebrafish embryo: relevance of test duration, endpoints, compound properties, and exposure concentration analysis. *Environmental Science and Technology* 46: 9690-9700.
- Kotan, R., 2020. Tarımda biyolojik çözümler. Harman Yayıncılık, İstanbul.
- Kotan, R., Çelik, S., 2014. Mikrobiyal gübre ve biyopestisitlerin kullanımında dikkat edilmesi gereken hususlar. *Harman Time* 14: 64-68.
- Kotan, R., Sahin, F., Demirci, E., Eken, C., 2009. Biological control of the potato dry rot caused by *Fusarium* species using PGPR strains. *Biological Control* 50: 194-198.
- Kotan, R., Sahin, F., Demirci, E., Ozbek, A., Eken, C., Miller, S.A., 1999. Evaluation of antagonistic bacteria for biological control of *Fusarium* dry rot of potato. *Phytopathology* **89**, p 41.
- Kumaresan, G., Reetha, D., 2011. Survival of *Azospirillum brasilense* in liquid formulation amended with different chemical additives. *The Journal of Pathology* 3: 48-51.
- Lee, S-K., Lur, H-S., Lo, K-J., Cheng, K-C., Chuang, C-C., Tang, S-J., Yang, Z-W., Liu, C-T., 2016. Evaluation of the effects of different liquid inoculant formulations on the survival and plant-growth-promoting efficiency of *Rhodopseudomonas palustris* strain PS3. *Biotechnological Products and Process Engineering* 100: 7977-87.

- Lobo, C.B., TomásTomas, M., S., J., Viruel, E., Ferrero, M., A., Lucca, M., E., 2019. Development of low-cost formulations of plant growth-promoting bacteria to be used as inoculants in beneficial agricultural Technologies,. Microbiological Research 2019: 12-25.
- Malusa, E., Sas-Paszt, L., Ciesielska, J., 2012. Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers. The Scientific World Journal Article ID 491206, doi:10.1100/2012/491206.
- Melin, P., Hakansson, S., Eberhard, T.H., Schnüirer, J., 2006. Survival of the biocontrol yeast *Pichia anomala* afterlong-term storage in liquid formulations at differenttemperatures, assessed by flow cytometry. Journal of Applied Microbiology ISSN 1364-5072.
- Mohammadi, P., Kotan, R., 2014. Biberde bakteriyel leke hastalığının etmeni *xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*'nın kontrolünde kullanılabilecek ve bitki gelişimi üzerine de etkili olan bakteriyel biyopestisitini geliştirilmesi. Türkiye V. Bitki Koruma Kongresi, Antalya, Türkiye.
- Pastor-Bueis, R., Mulas, R., Gomez, X., Gonzalez-Andres, F., 2017. Innovative liquid formulation of digestates for producing a biofertilizer based on *Bacillus siamensis*: field testing on sweet pepper. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 180: 748-758.
- Prasad, A.A., Babu, S., 2017. Compatibility of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in growth promotion of groundnut (*Arachis hypogea* L.). Anais da Academia Brasileira de Ciencias 89 (2): 1027-1040.
- Rabin, N., Zheng, Y., Opoku-Temeng, C., Du, Y., Bonsu, E., Sintim, H.O., 2015. Biofilm formation mechanisms and targets for developing antibiofilm agents. Future Medicinal Chemistry 7, 493-512. <https://doi.org/10.4155/fmc.15.6>.
- Rivera-Cruz, M.D.C., Narcia, A.T., Ballona, G.C., Kohler, J., Caravaca, F., Roldan, A., 2008. Poultry manure and banana waste are effective biofertilizer carriers for promoting plant growth and soil sustainability in banana crops. Soil Biolog and Biochemistry 40: 3092-3095.

- Rosell, G., Quero, C., Coll, J., Guerrero, A., 2008. Biorational insecticides in pest management. *Journal of Pesticide Science* 33: 103-121.
- Ruiu, L., 2020. Plant-Growth-Promoting Bacteria (PGPB) against Insects and Other Agricultural Pests. *Agronomy* 10: 861; doi:10.3390/agronomy10060861
- Ruiz-Valdiviezo, V.M., Canseco, L.M.C.V., Suarez, L.A.C., Gutierrez-Miceli, F.A., Dendooven, L., Rincon-Rosales, R., 2015. Symbiotic potential and survival of native rhizobia kept on different carriers. *Brazilian Journal of Microbiology* 46: 735-742. <https://doi.org/10.1590/S1517-838246320140541>.
- Sahin, F., Çakmakçı, R., Kantar, F., 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N<sub>2</sub>-fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Plant Soil* 265: 123-129.
- Sezen, A., 2012. Bitki Büyümesini Teşvik Edici Bakterilerin İzolasyonu, İdentifikasyonu ve Nohut (*Cicer arietinum* L. cv. Aziziye-94) Bitkisinde Biyogübre Ajanı Olarak Kullanılabilme Potansiyellerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi) Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Şenol Kotan, M., 2020. *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum*'a Karşı Etkili Bakteri İçerikli Biyolojik Ürün Geliştirilmesi (Doktora Tezi) Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Tamreihao, K., Ningthoujam, D.S., Nimaichand, S., Singh, E.S., Reena, P., Singh, S.H., Nongthomba, U., 2016. Biocontrol and plant growth promoting activities of a *Streptomyces corchorusii* strain UCR3-16 and preparation of powder formulation for application as biofertilizer agents for rice plant. *Microbiological Research* 192: 260-270.
- Timmusk, S., Nicander, B., Granhall, U., Tillberg, E., 1999. Cytokinin production by *Paenibacillus polymyxa*. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 1847-1852.
- Valetti, L., Angelini, J.G., Taurian, T., Ibanez, F.J., Munoz, V.L., Anzuay, M.S., Ludueña, L.M., Fabra, A., 2016. Development and field evaluation of liquid inoculants with native *Bradyrhizobial* strains for peanut production.

African Crop Science Journal 24: 1-13.

<https://doi.org/10.4314/acsj.v24i1.1>.

Vidhyasekaran, P., Muthamilan, M., 1995. Development of formulations of *Pseudomonas fluorescens* for control of chickpea Wilt. *Plant Disease* 79: 782-786.

Wu, S., Zhuang, G., Bai, Z., Cen, Y., Xu, S., Sun, H., Zhuang, X., 2018. Mitigation of nitrous oxide emissions from acidic soils by *Bacillus amyloliquefaciens*, a plant growth-promoting bacterium. *Global Change Biology* 24: 2352–2365.