



Bitki Korumada Mikrobiyal Pestisitlerin Kullanım Olanakları ve Etki Mekanizmaları

Çiğdem Işık^{1*}, Aycan Cinar²

^{1*} Bursa Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7916-5438), isik_cigdem@windowslive.com

² Bursa Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2038-725X), aycan.cinar@btu.edu.tr

(1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2022, May 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1113033)

ATIF/REFERENCE: Işık, Ç. & Cinar, A. (2022). Bitki Korumada Mikrobiyal Pestisitlerin Kullanım Olanakları ve Etki Mekanizmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (36), 214-221.

Öz

Bitki zararlıları konusu, dünya çapında önem arz etmektedir. Tarla, bahçe ve seralarda yetiştirilen çeşitli sebze, meyve ve bitki türleri böcekler tarafından zarara uğramaktadır. Böceklerin, bitkileri besin olarak kullanması, bitkilerin zayıflamasına veya ölümüne neden olmaktadır. Günümüzde bu zararlılardan korunmada yaygın olarak kimyasal pestisitler kullanılmaktadır. Ancak uygulanan bu kimyasalların, sebze ve meyvelerde kalıntı olarak tüketimi insan ve hayvanların vücudunda toksik madde birikimine neden olmaktadır. Aynı zamanda bu kimyasallar; toprağa, yer altı sularına, deniz ve göllere taşınarak çevresel kirliliğe de yol açmaktadır. Bu durumun önlenmesi için kimyasal mücadele yerine biyolojik mücadelenin (BM) uygulanması giderek artan bir öneme sahip olmuştur. Bu derlemede, BM'nin bir parçası olan mikrobiyal pestisitlerin (MP) elde edildiği mikroorganizmalar ile etki mekanizmaları ele alınmış, dünya çapındaki market büyüklükleri ve konuyla ilgili çalışmalar incelenmiştir. MP'lerin insan ve hayvanlar üzerinde toksik etkisi olmadığı ve bitki korumada etkili biyoajanlar oldukları bildirilmiştir. Bu alandaki çalışmaların artması ve uygulamaların yaygınlaşmasıyla, çevreye zarar veren kimyasal kullanımının azalması, doğal dengenin bozulmasının önüne geçilmesi, dünyanın her yerinde ulaşılabilir bir hedef olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: *Bacillus thuringiensis*, Bitki koruma, Biyolojik mücadele, Mikrobiyal pestisit.

Possibilities of Use and Effect Mechanisms of Microbial Pesticides in Plant Protection

Abstract

The issue of plant pests has worldwide importance. Various types of vegetables, fruits and plants grown in fields, gardens and greenhouses are damaged by insects. Insects' use of plants as food causes the plants to weaken or die. Today, chemical pesticides are widely used to protect against these pests. However, the consumption of these applied chemicals as residues in vegetables and fruits causes toxic substance accumulation in the body of humans and animals. In addition, these chemicals cause environmental pollution by being carried to the soil, underground waters, seas and lakes. In order to prevent this situation, the application of biological control (BC) instead of chemical control has become increasingly important. In this review, the microorganisms from which microbial pesticides (MP) are obtained and their mechanisms of action are discussed, market sizes around the world and related studies are examined. It has been reported that MPs do not have toxic effects on humans and animals and are effective bioagents in plant protection. With the increase in studies in this field and the spread of applications, reducing the use of chemicals that harm the environment and preventing the deterioration of the natural balance will be an achievable target all over the world.

Keywords: *Bacillus thuringiensis*, Biological control, Microbial pesticides, Plant protection.

* Sorumlu Yazar: isik_cigdem@windowslive.com

1. Giriş

Biyolojik Mücadele (BM), tarım zararlılarının doğal düşmanlar yoluyla etkisiz hale getirildiği güvenilir, ekonomik ve başarılı bir yöntemdir. Bu amaçla, mikroorganizmalar, predatörler, parazitoid böcekler, omurgalılar, omurgasızlar, bitkisel maddeler ve feromonlar gibi canlı organizmalardan yararlanılmaktadır (Özkan, ve diğerleri, 2020).

Mikrobiyal mücadele, BM'nin bir parçası olup bitki zararlılarının mikroorganizmalar veya bunların ürettikleri metabolitler kullanılarak baskılandığı uygulamalardır. Bu uygulamalarda genellikle böcekler için patojen olan mikroorganizmalar kullanılır. Bu biyoajanlar genel olarak böceklerden veya hastalıklı topraklardan elde edilir (Allahverdiyev & Şahin, 2011).

Mikrobiyal pestisitler (MP), toprakta varolan, bitki dokularında simbiyotik bir yaşam sürebilen, azot ve fosfor gibi bazı besin elementlerini bitkilerin kullanımına uygun şekle dönüştürebilen, bitkilerin gelişimini uyarıcı bazı enzimleri üreten mikroorganizmalar veya bu mikroorganizmalar tarafından üretilen metabolitler kullanılarak elde edilmektedir. Bu ürünler; toprağın pH'sını değiştirmez, toksik etki göstermez ve çevre kirliliği oluşturmazlar. Uygulama yöntemi olarak; tohumlar bu ürünlerle kaplanabilir veya direk olarak toprak ya da bitki yapraklarına uygulanabilirler (Okumuş & Alçinkaya, 2019).

MP'ler, belli organizmaları hedef aldıkları için diğer organizmalara (insanlar dahil) karşı zararlı etki göstermezler, kimyasallara göre, daha kısa zamanda, daha az maliyetle üretilebilirler, doğadan kolayca elde edilebilir ve biyolojik olarak parçalanabilirler. Bunlar, organik tarımda da yaygın şekilde kullanılır (Liu, 2021), (Thakur, Kaur, Tomar, Thakur, & Yadav, 2020).

Saksı ve tarlalarda test edilip başarı gösteren mikroorganizmaların ticari üretimi, ısıtmalı biyoreaktörlerde pH ve ısı kontrolüyle besleme yapılarak gerçekleştirilir. Üretilen mikroorganizmalar plastik malzemelerle yarı katı, toz veya sıvı olarak paketlenir. Ambalajlı ürün, 4-12°C sıcaklıkta depolanır veya satışa sunulur (Okumuş & Alçinkaya, 2019). Ayrıca Türkiye'de Tarım ve Orman Bakanlığı Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından doğal düşmanların etkinlik testleri yapılmaktadır (Özaktan, Aysan, Yıldız, & Kinay, 2010).

Üreticilerin, kimyasal pestisit kullanma alışkanlıklarını kolayca bırakmadıkları ve zararlıların direnç geliştirmesi nedeniyle bu kimyasalları gereğinden fazla kullandıkları belirlenmiştir. Bu durum, insan sağlığı ve çevre için tehdit unsuru olmaktadır. Tüm bunların önlenmesi için BM gibi alternatif yöntemlerin araştırılması ve uygulamaya konması için adımlar atılması önemli bir konu haline gelmiştir (Topakcı & Keçeci, 2017).

Yurt dışına ihraç edilen meyve ve sebzelerde kimyasal pestisit kalıntısının olmaması gerekmektedir. Yapılan bir çalışmada 2010 yılından bu yana, pestisit kalıntılılarıyla ilgili yayınlanmış makaleler taranmış ve yayınlara konu olan meyve-sebzelerin çoğunda pestisit kalıntısı olduğu görülmüştür. Bu kalıntıların bazılarının Türk Gıda Kodeksi Pestisitlerin Maksimum Kalıntı Limitleri Yönetmeliği'nde belirlenen maksimum kalıntı düzeylerini aştığı belirlenmiştir. Ayrıca, kullanımı yasaklı olan bazı pestisitlerin de kullanıldığı saptanmıştır. Bu durum, denetim ve cezai işlem uygulamalarının

etkin bir şekilde yapılması gerektiğinin bir kanıtıdır (Tözün & Gökhan, 2022).

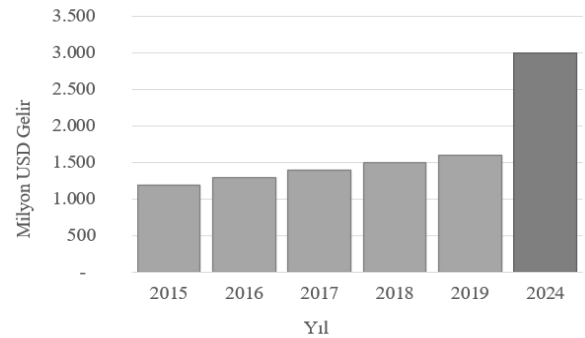
Ülkemizde kimyasal kullanımını azaltmak adına, BM'yi uygulayan üreticilere bu kapsamdaki harcamalarının yaklaşık %50'si kadar destek ödemesi yapılmaktadır. Bu desteklerin artırılmasıyla da çiftçiler BM konusunda teşvik edilebilir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

2. Biyolojik Mücadele Ürünlerinin Dünya Pazarındaki Yeri

Biyopestisitlerin dünya bitki koruma pazarındaki yeri 1993'te yaklaşık %0,4 iken 2016'da %5,6 seviyelerine yükselmiştir (McDougall, 2019). Bu pazardaki en büyük pay Kuzey Amerika'ya aittir. Bunun nedeninin ise, ABD'de gen transferi yoluyla bitkiye aktarılmış koruyucuların kullanımı olduğu düşünülmektedir. Diğer bölgelerde biyopestisit kullanım oranlarının düşük olmasının nedeni, bitkiye aktarılmış koruyucuların biyopestisit olarak değerlendirilmemesi olabilir (Balcı & Durmuşoğlu, 2020). Mikrobiyal mücadelenin dünya çapında gelişme oranları Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'ye göre 2024 yılında MP market gelirinin Dünya çapında 3 milyar USD olması beklenmektedir.



Şekil 1. Dünyadaki mikrobiyal pestisit piyasası dağılımı (Mordor Intelligence 2018, 2021)



Şekil 2. Mikrobiyal pestisit market gelirlerinin yıllara göre değişimi (Mordor Intelligence 2018, 2021)

3. Biyolojik Mücadelede Kullanılan Mikrobiyal Ajanlar ve Etki Mekanizmaları

Bitki korumada böcek veya patojenlere karşı kullanılan fungus, bakteri, nematod, protozoa ve virüslerin çoğunun MP olarak kitle üretimi yapılmıştır. Bu ürünlerin bazı avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de verilmiştir. Üretimi yapılan bu insektisitlerden en başarı göstereni *Bacillus thuringiensis*'tir (Özkan, ve diğerleri, 2020).

2013 yılına ait verilere göre ülkemizde ruhsat alan MP'lerin çoğunda *B. thuringiensis* bakterisi bulunmaktadır. Bunu fungal pestisitler ve *Bacillus subtilis* takip etmektedir (Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2015).

Tablo 1. Mikrobiyal pestisitlerin avantaj ve dezavantajları (Rahul & N., 2020), (Balcı & Durmuşoğlu, 2020)

Avantaj	Dezavantaj
Düşük dozlarda etkili oldukları ve doğada çabuk ayrıştıkları için zararlı kalıntılar bırakmazlar	Her biri belli zararlılara karşı etkili olduğu için birden fazla patojenin bir arada kullanılması gerekebilir.
Yerel üretim yapılırsa kimyasallara göre daha ucuz olabilirler	Etki etme süreleri yavaştır
Uzun vadede kimyasallara göre daha etkili olabilirler	Canlı organizmalar oldukları için çevresel koşullara duyarlıdır
Yalnızca hedef zararlılara karşı baskılayıcı etki gösterirler	Zararlılar bu ajanlara karşı direnç geliştirebilir

3.1. *Bacillus thuringiensis*

Bacillus thuringiensis, *Cry* ve *Cyt* toksinleri sayesinde böcek öldürücü etki yapar (Pardo-Lopez, Soberon, & Bravo, 2013). Fermantasyon tanklarında hızlı bir şekilde çoğalması, kolaylıkla spor oluşturması ve endotoksin içeren biyopestisit üretimine elverişli olması sebebiyle bu bakteri, MP üretiminde en çok kullanılan bakteridir. Ülkemizde de *B. thuringiensis* içeren, ruhsatlı pek çok biyopestisit kullanılmaktadır (Kılınçer, ve diğerleri, 2010).

Etki altına alınmak istenen zararlı, *B. thuringiensis* (sporlar ve kristal toksin) ile muamale edilen yaprakları tüketir. Dakikalar içinde toksin bağırsak duvarına bağlanır ve böcek beslenmeyi bırakır. Saatler içinde bağırsak duvarı parçalanarak sporlar ve normal bağırsak bakterileri vücut boşluğuna girer, toksin çözülür. 1-2 gün içinde zararlı, kanında sporlar ve bağırsak bakterileri çoğaldıkça septisemiden ölür (Rahul & N., 2020), (Ruiu L., 2018). Ayrıca, bu bakteri kitinaz enzimi sayesinde böceklerin kitin tabakasının parçalanmasıyla da etki gösterebilir. Özellikle fungal bitki hastalıklarında bu enzim fayda sağlamaktadır (Mnif & G., 2015).

Elma iç kurduna karşı yapılan bir çalışmada, elma bahçesindeki kontrol parselinde zararlının bulaşı oranı %34 iken, *B. thuringiensis* uygulanmış parseldeki bu oranın %8,33 olduğu gösterilmiştir (Kuyulu & Hanife, 2018).

Castro vd. (Linhares & Gomes, 2018), maun ailesi olan Meliaceae türlerinin başlıca zararlısı *Hypsipyla grandella* Zeller (güve)' in *B. thuringiensis*'e karşı yüksek duyarlılık gösterdiğini belirtmiştir.

Bacillus türleri, spor oluşturmaları sayesinde sıcaklık ve kuruma karşı dayanıklılık kazanır ve bu sebeple de kolayca toz olarak formülize edilebilirler (Okumuş & Alçinkaya, 2019). Hedef böcekler için oldukça spesifikler ve sınırlı sayıda türü öldürürler. *Bacillus* toksinleri insanlar, omurgalılar ve bitkiler için

zararsızdır ve tamamen biyolojik olarak parçalanabilirler (Pardo-Lopez, Soberon, & Bravo, 2013).

Ayrıca, bu bakterinin zararlılara karşı toksik olan kristal protein üreten geni, mısır bitkisine aktarılmış ve mısır koçan kurduna karşı önleyici etki gösterdiği bildirilmiştir (Akpınar & Halkman, 2019).

Geniş bir biyoaktivite spektrumu sayesinde, *B. thuringiensis* bazlı biyopestisitler, haşere kontrolü için kullanılan mikroorganizmaların yaklaşık %95'ini temsil etmiştir (Mnif & G., 2015).

3.2. Virüsler

Böcek patojeni olan virüsler, "bakulovirüs" olarak adlandırılır. Tırtıllar, virüs bulaşmış yaprakları yutar. Orta bağırsakta virüs çözünür ve bağırsak lümenine salınır (Haase, Sciocco-Cap, & Romanowski, 2015). Virüs tarafından oluşan hastalığın ileri aşamalarında virüs diğer vücut dokularına da yayılır, tırtılın iç organları sıvılaşır, kütikülü (vücut kaplaması) renk değiştirir ve sonunda yırtılır. Şekil 3'teki gibi viral enfeksiyon nedeniyle ölen ıslak görümlü tırtıllar genellikle birkaç gün boyunca yapraklara veya dallara bağlı kalırlar ve virüs parçacıklarını serbest bırakırlar. Diğer larvalar da serbest kalan bu virüslerle beslenirler. Bu şekilde hastalık yayılmış olur (Liu, 2021), (Rahul & N., 2020).

Bakulovirüsler, hızlı hareket eder ve elmas sırtlı güve (*Plutella xylostella*), *Heliothis/Helicoverpa* gibi küresel olarak en önemli haşere türlerinin bazılarında karşı patojen etki gösterir. Bu haşereler, kimyasal böcek ilaçlarına karşı yüksek direnç gösterebilmektedir (Grzywacz, 2017). Bakulovirüslerin insektisidal etkinliğini arttırmak için, böceğe özgü toksin hormon ve enzim üretimi sağlayan rekombinant bakulovirüsler geliştirilebilir (Liu, 2021).



Şekil 3. Bakulovirüs enfeksiyonunun çeşitli aşamalarında *Helicoverpa armigera*'nın çizimi. (A) sağlıklı larva, (B) virüsle enfekte olmuş ölü larva, (C) kütikülü yırtılmış ölü larva, (D) ışık mikroskobu altında enfektif parçacıklar (Grzywacz, 2017).

Ayrıca, mahsul koruma özelliği taşıyan mahsüle özgü tasarlanan bazı virüsler de vardır. Bu tür virüs bazlı teknolojilerin avantajları, çoğu virüsün üreme dokusunu enfekte etmemesi ve bu nedenle kodlanmış özelliklerin tohumla iletilemez olmasıdır (Gressel, 2015).

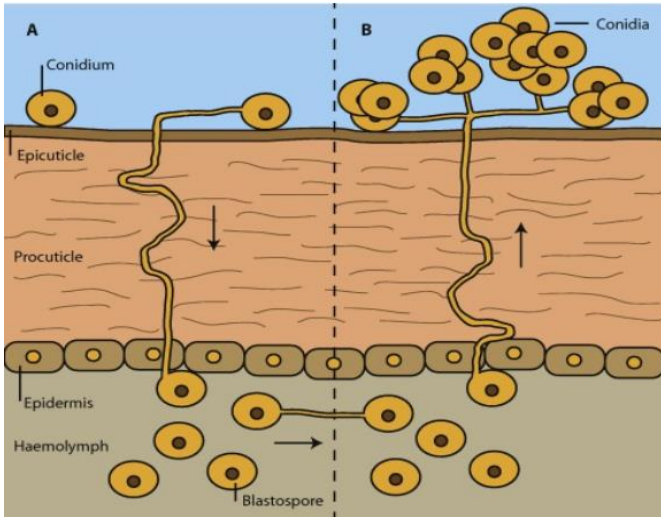
Mantar meşesi zararlılarından *Lymantria dispar* (çingene güvesi)'a karşı türe özgü multikapsid nükleopoliherdovirüs (LdMNPV)'ün etkinliği üzerinde yapılan çalışmada tedavi edilmemiş bitkilere kıyasla diğerlerinde larva ölümünde ciddi artış olduğu belirtilmiştir (Ruiu, Mannu, Olivieri, & Lentini, 2021).

3.3. Funguslar

Böcek hastalıklarına neden olan fungal etkenlerin çoğu, aseksüel sporlar yoluyla yayılır. *Gliocladium*, *Trichoderma*, *Ampelomyces*, *Candida* ve *Coniothyrium* türleri bitki korumada etkili funguslar arasındadır. Mikroorganizma sporları, böcek kütikülü üzerinde vejetatif forma geçer ve böylece mikroorganizma, Şekil 4'te görüldüğü gibi böceğin kütikülünü geçerek vücuduna ulaşabilir.

Fungal enfeksiyonlar ilerledikçe, enfekte olmuş böcekler, mikroorganizmanın toksinleri tarafından öldürülür (Rahul & N., 2020), (Ruiu L., 2018).

Fungal mücadelede en yaygın şekilde yararlanılan cins *Trichoderma*'dır. Bu cins'e ait türlerden pek çoğu, tarımda kullanılan hidrokarbonları, klorofenolik bileşikler, polisakkaritleri ve ksenobiyotik pestisitleri parçalayarak bitki rizosferini (bitki köklerini saran toprak ortamı) çevreleyen toprak ortamını iyileştirebilir (Liu, 2021).



Şekil 4. Mantar sporlarının böceğin vücudunu istilası (Valero-Jiménez, Wieggers, Zwaan, Koenraadt, & van Kan, 2016)

Trichoderma atroviride'nin mısır böceği olan otobur *Spodoptera frugiperda*'ya karşı bitki direncini artırmasıyla ilgili yapılan bir çalışmada *T. atroviride* aşılmasından sonra bitki büyümesinde artış ve böcek popülasyonunda azalma olduğu belirtilmiştir. Kimyasal analizler, *T. atroviride*'nin 1-okten-3-ol ve 6-pentil-2H-piran-2-on uçucularını ürettiğini ortaya çıkarmıştır. Farmakolojik testler, bu bileşiklerin zararlının yaprak tüketiminde azalmaya sebep olduğunu göstermiştir (Contreras-Cornejo, Macías-Rodríguez, del-Val, & Larsen, 2018).

Ayrıca funguslar, aldehitler, ketonlar, benzen türevleri, alkoller, hidrokarbonlar, heterosikler, sikloheksanlar, tiyoalkoller ve tiyoesterlere ait farklı uçucu organik bileşenlerin karışımlarını üretirler. Bu bileşenler, bitki patojenleri ve böcekler için kovucu ve öldürücü etki gösterirler (Karşı & Şahin, 2021).

Mikorizal funguslar, bitkiden gelişimleri için gerekli olan karbon ve esansiyel organik maddeleri alırken, bitkinin de su, besin elementleri, tuz ve metabolitleri almasına yardımcı olur.

Mikorizalar, bitkinin antioksidan enzimlerini çoğaltır ve böylece bitkinin abiyotik ve biyotik faktörlere karşı direnç geliştirmesini sağlar (Öztürk, Basım, & Basım, 2017).

3.4. Protozoalar

Tek hücreli ökaryotlar olan protozoalar, çoğunlukla toprakta ve suda bulunan serbest yaşayan organizmalardır (Seenivasagan & Babalola, 2021).

Protozoan patojenler, genellikle konukçuya özgüdür ve etkileri yavaş gerçekleşir. Protozoanların oluşturduğu sporlar böcekler tarafından yutulur ve orta bağırsakta vejetatif forma geçer. Bu yolla ortaya çıkan enfeksiyon böceklerin beslenmesini, doğurganlığını yavaşlatarak zayıflatıcı etki yapar (Kachhawa, 2017).

Yararlı *Pseudomonas*'ların buğday büyümesi ve sağlığı üzerine etkisinin, *Acanthamoeba castellanii* ile birlikte aşılama yoluyla değişip değişmediğini incelemek için bir çalışma yapılmıştır. Kök patojeni *Pythium ultimum* varlığında ve yokluğunda bu birlikte aşılamanın etkisi incelenmiştir. *A. castellanii* yokluğunda bakteri izolatlarının çok az faydalı etkisi olduğu görülmüştür. *A. castellanii* ile aşılamanın, patojen yokluğunda bitki büyümesini desteklediği, patojen varlığında ise zararlı etkileri azalttığı belirlenmiştir (Weidner, Latz, Agaras, Valverde, & Jousset, 2017).

3.5. Nematodlar

Nematodlar mikrobiyal ajanlar değil, Şekil 5'te görüldüğü gibi çok hücreli yuvarlak solucanlardır. Bununla birlikte, böcek öldürücü ürünlerde kullanılan nematodlar, boyut olarak neredeyse mikroskobiktir ve daha önce tartışılan mikrobiyal ürünlere çok benzer şekilde kullanılırlar (Liu, 2021).



Şekil 5. Nematod enfeksiyonu ile ölen böcek (Greb, 1975)

Heterorhabditis ve *Steinernema* cinslerindeki entomopatogenik nematodlar, böcek patojeni bakterilerle birlikte çalışırlar. Bu nematodlar, ekonomik açıdan önemli böcek zararlılarının kontrolü için yaygın olarak ticarileştirilen güçlü mikrobiyal kontrol ajanlarıdır (Shapiro-Ilan, Hazir, & Glazer, 2017). Konakçıyı arama ve yakalama davranışı gösterirler. Bakterilerin böcek konakçısına iletilmesini sağlarlar. Böylelikle bakteriler, böceğin içine nüfuz eder. Böcek öldükten sonra nematodlar bu böceklerle beslenir ve etrafa bakterilerin yayılmasını sağlar (Dillman, ve diğerleri, 2012).

Brezilya'da kum sineklerinin karnında entomopatogen nematodların bulunması ve ülkemizde Aydın bölgesinde doğadan toplanan ergin kum sineklerinin midelerinde entomopatogen nematodlara rastlanması, bu nematodların kum sinekleri için

parazit etki gösterebileceğinin kanıtı olabilir (Çetin & Özbel, 2017). Nematodlar, hedef olmayan organizmalar için toksisite testlerine tabi tutulmuş, bitkiler ve memeliler için toksik ve patojenik olmadıkları görülmüştür (Rahul & N., 2020).

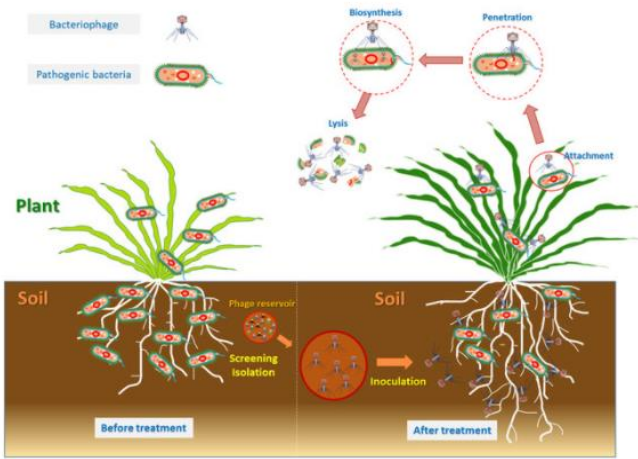
3.6. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis bir rizobakteridir ve ürettiği bakteriyosinlerle bitki patojenlerine karşı antibakteriyel etki gösterir (Caulier, ve diğerleri, 2019). Örneğin, surfaktin sayesinde *Aspergillus flavus* ve *Colletotrichum gloeosporioides*'e karşı antifungal etkiye sahiptir (Mnif & G., 2015). Yapılan bazı çalışmalarda, *B. subtilis*'in bu ajanları üretmek için bitki köklerinde biyofilm oluşumunu kullandığı belirtilmiştir (Bais, Fall, & Vivanco, 2004).

Yapılan bir çalışmada, tarımda kullanılan beş bitki aktivatörü (Crop-Set, ISR-2000, KingBo, Sergomil L60, Turf-Set) ve *B. subtilis* içeren bir biyolojik bitki koruma ürününün (%1,34 *B. subtilis* QST 713) domatestede bakteriyel benek hastalığına karşı etkisi sera koşullarında incelenmiştir. Uygulama sonucunda hastalık belirtilerinin yaprak kısımlarında %16-50, gövde kısımlarında ise %25-50 oranında azaldığı ifade edilmiştir (Aktepe, 2021).

3.7. Fajlar

Bakteriyofajlar, bakteri hücrelerini konakçı olarak kullanarak yeni fajlar üretirler. Daha sonra bakteri hücrelerini parçalayarak etrafa yayılırlar (Esmer, Bayrak, Küçükdoğan, & Akocak, 2021). Şekil 6'da bakteriyofajın bitki koruma mekanizması gösterilmiştir. Fajların, bitki patojeni olan *Erwinia amylovora*'nın ürettiği eksopolisakarit yapı üzerinde gelişebildiği de görülmüştür. Bu durum, patojenin etkisiz hale getirilmesini sağlayabilir. Bakterilerin fajlara karşı direnç geliştirebilmeleri bu biyokontrol yöntemini zorlaştırabilir (Svircev, Roach, & Castle, 2018).



Şekil 6. Bakteriyofajın etki mekanizması (Ye, ve diğerleri, 2019)

İngiltere'nin farklı bölgelerindeki kiraz, erik ve kayısı bahçelerinden alınan toprak örneklerinden izole edilen bakteriyofaj izolatlarının, *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*'nin neden olduğu bakteriyel hastalığa karşı etkisinin incelendiği bir çalışmada, izolatların %66'sının hastalık şiddetini %50'den fazla oranda azalttığı ifade edilmiştir (Akbaba, 2019).

Fajlar, insanların bağırsak ve derilerinde, hayvanlarda, kanalizasyonlarda ve fermente gıdalarda doğal olarak bulunurlar. Fajların, sıcaklık ve nem dalgalanmaları, ultraviyole ışınlar (UV) gibi çevresel faktörlere ve kimyasallara karşı duyarlı

olmalarından dolayı, fajlarla bitki korumada zorluklar yaşanabilir. UV' nin olumsuz etkilerini azaltmak adına bitkilere faj biyopreparatının gün sonunda uygulanması veya mikroenkapsülasyon işlemi yapılması çözüm olabilir. (Esmer, Bayrak, Küçükdoğan, & Akocak, 2021).

4. Bitki Korumada Kullanılan Mikroorganizmaların Antagonistik Etkisi

Çeşitli metabolitler üreterek, hastalık yapan patojenle besin ve yer rekabetine giren antagonist mikroorganizmalar, patojen üzerinde hiperparazit olarak yaşar ve patojeni baskırlar (Özkan, ve diğerleri, 2020). Antagonistlerle yapılan mücadele temelde altı prensibe dayanır.

4.1. Antibiyosis

Bitkiler için patojen olmayan bir mikroorganizmanın, salgıladığı bazı antibiyotikler sayesinde patojenlerin engellenmesidir. Bitki kökenli endofitik *Pseudomonas* türleri, çeşitli bitki patojenlerine karşı önleyici etki göstermiştir (Sheoran, ve diğerleri, 2015).

4.2. Yarışma

Antagonist mikroorganizmalar, patojenlerle besin, ışık, yer ve oksijen için yarışa girerler. Antagonist mikroorganizmanın beslenme sistemi patojeninkine göre daha etkiliyse, ortamdaki besinleri alır ve patojenin beslenmesine engel olur (Özkan, ve diğerleri, 2020). Ayrıca, bitki rizosferinde bulunan mikroorganizmalar, siderofor (demir bağlayıcı) üreterek patojenlerin demirden yararlanmasının önüne geçebilmektedir (Fadiji & Babalola, 2020).

Zeytin ağaçlarında dal kanserine neden olan *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi*'ye karşı farklı kültür bitkilerinden elde edilen ve patojen olmayan *Pseudomonas* izolatlarının önleyici etkisi üzerinde yapılan çalışmada, petrielerde 5-20 mm engelleme alanı olduğu bildirilmiştir (Khavazi, Asgharzadeh, Hosseini-Mazinani, & De Mot, 2008). Bir başka çalışmada antagonist *Fronthabitans* spp. ve *Paenibacillus* spp. izolatları sera koşullarında *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* üzerinde test edilmiş ve uygulamadan 120 gün sonra patojen popülasyonunda azalma görüldüğü ifade edilmiştir (Mina, Alba, Pereira, Lino-Neto, & Baptista, 2017).

4.3. Hiperparazitizm

Antagonist mikroorganizmalar, patojenlerin miselyum ve sporlarını etki altına alarak öldürür (Sarethy & Saharan, 2021). Örneğin, *Ampelomyces* türlerinin bitki için patojen olan diğer mantar türlerine olumsuz etki yarattığı bildirilmiştir. Hifleri konakçının miselleri içinde büyür ve hücre dejenerasyonu yoluyla patojenin külleme hiflerini öldürür (Tollenaere, ve diğerleri, 2014). Aynı zamanda antagonistler, ürettikleri biyoaktif bileşenlerle (örn:enzim) patojeni eritir. Bu duruma örnek olarak, kitinolitik enzim üreten *Pseudomonas fluorescens*'in *Aspergillus flavus*'un gelişimini baskılaması gösterilebilir (Ren, Zhang, Zhang, Mao, & Li, 2020).

4.4. Hipovirülans

Mikovirüsler, hipovirülant etkileriyle bitki patojeni olan fungusların virülans etkisini azaltır (Sharma, ve diğerleri, 2021). Patojen olmayan ya da düşük virülans (hipovirülant) etkiye sahip suşlar, bitkinin enfekte olmuş bölgesinde toplanarak bitki

patojenlerine karşı koruma sağlarlar. Patojenlerle hipovirülant suşlar arasında, yer ve besin için rekabet meydana gelir. Aynı zamanda, hipovirülantlar, *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp. gibi çeşitli patojenlere karşı bitki direncinin uyarılmasına da katkı sağlar. *Pythium* türlerine karşı da mikoparazit etki gösterilmiştir (Sneh, 1998).

4.5. Uyarılmış Dayanıklılık

Bitkiler, geniş spektrumlu patojenlerle karşı karşıya kalarak, bu patojenlere karşı direnç geliştirirler (Karthika, 2020). Ayrıca, bitki köklerinde bulunan *Trichoderma* (fungus), bitkilerin patojenlere karşı direncini artırır (Karslı & Şahin, 2021). Bitki köklerinde bulunan bakteriler, bitkide katalaz ve peroksidaz gibi enzimler sentezlenmesini sağlar, böylelikle bitkiler patojenlere karşı direnç kazanmış olur (Delisoy & Altınok, 2019).

4.6. Çapraz Koruma

Önceden var olan bir viral enfeksiyonun aynı veya yakından ilişkili virüsle ikincil bir enfeksiyonu önlemesi olarak bilinen çapraz koruma, ilk olarak iki Tütün Mozaik Virüsü genotipi arasında gösterilmiştir (Folimonova, 2013). Bu durum, uyarılmış dayanıklılığa benzer bir mekanizma gösterir (Ebadi, Najafipour, Faghihi, Ayazpour, & Salehi, 2020).

5. Sonuç

Tarım zararlılarından korunmak için kullanılan kimyasal pestisitlerin çevreye ve canlılara verdiği zararlar düşünüldüğünde, kimyasala alternatif olabilecek doğal yöntemlerin araştırılması önemli bir konu olmuştur. Bu doğal yöntemlerden biri de çevrede yaygın bir şekilde bulunan mikroorganizmalarla yapılan mikrobiyal mücadelelerdir. Kullanılacak olan mikroorganizmaların insan ve hayvanlara karşı toksik olmayan suşları bu amaç için ürün haline getirilmektedir. Çevreye zararlı olmayışları, haşereye özgü olmalarından dolayı faydalı organizmalar için tehlike arz etmemeleri avantajları arasındadır. MP'ler, birçok böcek zararlısının kontrolü için etkili alternatifler sunar.

Bacillus spp. bu konuda etkili bakteri grubu olarak ortaya çıkmaktadır. Spor oluşturduğu için çevresel koşullara dirençli olması, kitle üretiminin kolay olması, bitkiye direnç kazandırmak için transgenik bitki üretiminde rahatlıkla kullanım olanağına sahip olması sebebiyle en umut vaadeden mikroorganizma *Bacillus thuringiensis*' tir.

MP'lerin haşere yönetiminde giderek daha önemli araçlar haline gelmesi muhtemeldir. Bu konudaki farkındalığın artması, eğitim faaliyetleri yürütülmesi çevreyi ve canlıları korumak adına faydalı olacaktır. Çoğu MP, yalnızca dar bir zararlı yelpazesine karşı etkili olduğu için kullanıcılar hedef zararlıları uygun şekilde tanımlamalı ve en etkili uygulamayı planlamalıdır. Bu dezavantajın önüne geçmek için birkaç suş veya bakteri bir arada kullanılabilir. Canlı organizmaların çevreye karşı duyarlı oluşunun etkinliklerine engel olmaması adına, mikroorganizmanın optimum çalışma koşullarına uygun saatlerde uygulama yapılabilir. Ayrıca, ortamın fiziki şartları da yine buna göre ayarlanabilir. Farklı bitkiler için zararlıların çeşitleri ve ortaya çıktıkları dönemler belirlenebilir, söz konusu zararlıları etkileyebilecek ve o dönemdeki hava koşullarına uyum sağlayabilecek mikroorganizmaların üretimi yapıp mikrobiyal pestisit olarak kullanılabilir. Zararlılara karşı direncin artırılması amacıyla mikroorganizmalardan elde edilebilecek bazı enzim veya farklı metabolitlerin (kitinaz, proteaz inhibitörü, lektinler,

Bacillus thuringiensis geni vb.) bitkilere aktarılması (transgenik bitki) yoluyla da mücadele sağlanması konusunda çalışmalar yürütülebilir.

Ülkemizde MP kullanımı konusuna mesafeli yaklaşıldığı görülmektedir. Bu durum kimyasal kullanımı alışkanlığı ile açıklanabilir. Ayrıca, MP'leri kullanacak bilinçli ve eğitilmiş personel sıkıntısı yaşanmaktadır. Çiftçilerin eğitilmesi ve teşvik edilmesi gerekmektedir. MP'lerin yaygınlaşması için atılacak diğer bir adım da bu pestisitlerin içerikleri, üretim ve kullanma koşulları gibi etkenlerin ayrıntılı bir şekilde tanımlanması ve ruhsatlandırılmasının sağlanması olabilir. Bu pestisitlerin üretimi ve kullanımındaki organizasyonların canlandırılması, iş birliklerinin artması gerekmektedir. Doğal dengeyi yine doğal kaynaklarla korumak için çalışmalar yapılmalı, kimyasalla kirlenmiş topraklarımızın özüne dönmesi sağlanmalıdır.

Kaynakça

- Akbaba, M. (2019). Kirazda bakteriyel kansere neden olan etmenlerin moleküler tanısı ve mücadelesine yönelik biyolojik yaklaşımlar. İzmir.
- Akpınar, M., & Halkman, A. K. (2019). Gıda patojenlerinin biyokontrolünde bakteriyofaj uygulamaları. *Gıda*, 44(6), 1106-1120.
- Aktepe, B. P. (2021). Domateste bakteriyel benek hastalığının biyolojik mücadelesinde farklı bitki aktivatörleri ve biyolojik preparatların etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(2), 355-364.
- Allahverdiyev, A. M., & Şahin, F. (2011, 12 28). Biyoinspektisiz özelliği olan mikrobiyal formülasyonların geliştirilmesi, sera ve tarla koşullarında kullanım olanaklarının araştırılması. İstanbul. 10 2021 tarihinde <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/1318> adresinden alındı
- Bais, H. P., Fall, R., & Vivanco, J. M. (2004). Biocontrol of *Bacillus subtilis* against infection of *Arabidopsis* roots by *Pseudomonas syringae* is facilitated by biofilm formation and surfactin production. *Plant Physiology*, 134(1), 307-319.
- Balcı, H., & Durmuşoğlu, E. (2020). Bitki koruma ürünü olarak biyopestisitler: tanımları, sınıflandırılmaları, mevzuat ve pazarları üzerine bir değerlendirme. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 11(2), 261-274.
- Caulier, S., Nannan, C., Gillis, A., Licciardi, F., Bragard, C., & Mahillon, J. (2019). Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group. *Frontiers In Microbiology*, 302.
- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., del-Val, E., & Larsen, J. (2018). The root endophytic fungus *Trichoderma atroviride* induces foliar herbivory resistance in maize plants. *Applied Soil Ecology*, 124, 45-53.
- Çetin, H., & Özbel, Y. (2017). Kum sinekleri (Yakarca, Tatarcık) ve kontrol yöntemleri. *Türkiye Parazit Derg.*, 41, 102-113.
- Delisoy, K., & Altınok, H. H. (2019). Kavunda *Fusarium solgunluk* hastalığına karşı bazı rizobakterilerin ve bitki aktivatörlerinin etkinliklerinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(2), 135-145.

- Dillman, A. R., Chaston, J. M., Adams, B. J., Ciche, T. A., Goodrich-Blair, H., Stock, S. P., & Sternberg, P. W. (2012). An entomopathogenic nematode by any other name. *PLoS Pathogens*, 8(3), e1002527.
- Ebadı, N., Najafipour, G., Faghihi, M. M., Ayazpour, K., & Salehi, M. (2020). Interaction between 'candidatus phytoplasma australasiae' and tomato yellow leaf curl virus in tomato plants. *European Journal of Plant Pathology*, 158(3), 733-744.
- Esmer, E., Bayrak, R., Küçükdoğan, Y., & Akocak, P. B. (2021). Gıda teknolojilerinde inovatif bir yaklaşım olarak "Bakteriyofajlar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 27, 6-16.
- Fadiji, A. E., & Babalola, O. O. (2020). Elucidating mechanisms of endophytes used in plant protection and other bioactivities with multifunctional prospects. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 467.
- Folimonova, S. Y. (2013). Developing an understanding of cross-protection by Citrus tristeza virus. *Frontiers in Microbiology*, 4, 76.
- Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. (2015). Ülkemizde zirai mücadele girdilerinin değerlendirilmesi. *Teoriden Pratiğe Biyoteknik Mücadele Kitabı* (s. 12-27). içinde Ankara: Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü.
- Greb, P. (1975). Entomopathogenic nematode (*Heterorhabditis bacteriophora*) Poinar, 1975. *USDA Agricultural Research Service*.
- Gressel, J. (2015). Dealing with transgene flow of crop protection traits from crops to their relatives. *Pest Management Science*, 71(5), 658-667.
- Grzywacz, D. (2017). Basic and applied research: Baculovirus. *Microbial Control of Insect And Mite Pests*. Academic Press, 27-46.
- Haase, S., Sciocco-Cap, A., & Romanowski, V. (2015). Baculovirus insecticides in Latin America: historical overview, current status and future perspectives. *Viruses*, 7(5), 2230-2267.
- Kachhawa, D. (2017). Microorganisms as a biopesticides. *J Entomol Zool Stud*, 5(3), 468-473.
- Karlı, A., & Şahin, Y. S. (2021). The role of fungal volatile organic compounds (FVOCs) in biological control. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 12(1), 79-92.
- Karthika, S. S. (2020). Exploring the efficacy of antagonistic rhizobacteria as native biocontrol agents against tomato plant diseases. *3 Biotech*, 10(7), 1-17.
- Khavazi, K., Asgharzadeh, A., Hosseini-Mazinani, M., & De Mot, R. (2008). Biocontrol of *Pseudomonas savastanoi*, causative agent of olive knot disease: antagonistic potential of non-pathogenic rhizosphere isolates of fluorescent *Pseudomonas*. *Communications In Agricultural And Applied Biological Sciences*, 73(1), 199-203.
- Kılınçer, N., Yiğit, A., Kazak, C., Er, M. K., Kurtuluş, A., & Uygun, N. (2010). Teoriden pratiğe zararlılarla biyolojik mücadele. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 1(1), 15-60.
- Kuyulu, A., & Hanife, G. (2018). Çanakkale ili meyve alanlarında elma içkurdu *Cydia pomonella* (L.)(Lepidoptera: Tortricidae)'nın yayılışı üzerine bir araştırma. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6, 85-91.
- Linhares, M. S., & Gomes, M. R. (2018). Susceptibility of *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) to *Bacillus thuringiensis* strains. *Journal of Plant Protection Research*.
- Liu, X. e. (2021). Overview of mechanisms and uses of biopesticides. *International Journal of Pest Management*, 67(1), 65-72.
- McDougall, P. (2019). Evolution of the crop protection industry since 1960. *Pathhead, Scotland*.
- Mina, D., Alba, S., Pereira, J. A., Lino-Neto, T., & Baptista, P. (2017). Biological control of *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* by two bacterial isolated from olive tree phyllosphere. 15th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union, "Plant Health Sustaining Mediterranean Ecosystems. Cordoba, Spain.
- Mnif, I., & G., D. (2015). Potential of bacterial derived biopesticides in pest management. *Crop Protection* 77, 52-64.
- Mordor Intelligence 2018. (2021). Microbial pesticides market - growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2022 - 2027). (Mordor Intelligence) 04 29, 2022 tarihinde <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/microbial-pesticides-market> adresinden alındı
- Okumuş, A., & Alçınkaya, T. (2019). Toprak ve bitki destekleyicileri: biopestisit ve mikrobiyal gübreler. *Soil And Plant Promotors : Biopest And Biofertilizers*. Samsun.
- Özaktan, H., Aysan, Y., Yıldız, F., & Kinay, P. (2010). Fitopatolojide biyolojik mücadele. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 1(1), 61-78.
- Özkan, C., Özpınar, A., Karsavuran, R. U., Özaktan, H., Yücel, N. Ö., Yarpuzlu, F., & Demirel, K. K. (2020). Biyolojik mücadele uygulamalarında mevcut durum ve gelecek. *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-2* (s. 27). içinde Ankara.
- Öztürk, N., Basim, E., & Basim, H. (2017). Tarımda mikorizal fungusların etkinliği. *Mantar Dergisi*, 8(1), 20-34.
- Pardo-Lopez, L., Soberon, M., & Bravo, A. (2013). *Bacillus thuringiensis* insecticidal three-domain Cry toxins: mode of action, insect resistance and consequences for crop protection. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(1), 3-22.
- Rahul, S., & N., S. (2020, 09). Role of microbial insecticides in insect pest management. *Pop Kheti*, 8, 88-92. 10 2021 tarihinde alındı
- Ren, X., Zhang, Q., Zhang, W., Mao, J., & Li, P. (2020). Control of aflatoxigenic molds by antagonistic microorganisms: Inhibitory behaviors, bioactive compounds, related mechanisms, and influencing factors. *Toxins*, 12(1), 24.
- Ruiu, L. (2018). Microbial biopesticides in agroecosystems. *Agronomy*, 8(11), 235.
- Ruiu, L., Mannu, R., Olivieri, M., & Lentini, A. (2021). Gypsy moth management with LdMNPV baculovirus in cork oak forest. *Forests*, 12(4), 495.
- Sarethy, I. P., & Saharan, A. (2021). Genomics, proteomics and transcriptomics in the biological control of plant pathogens: a review. *Indian Phytopathology*, 1-10.

- Seenivasagan, R., & Babalola, O. O. (2021). Utilization of microbial consortia as biofertilizers and biopesticides for the production of feasible agricultural product. *Biology*, 10(11), 1111.
- Shapiro-Ilan, D., Hazir, S., & Glazer, I. (2017). Basic and applied research: entomopathogenic nematodes. *Microbial Control of Insect and Mite Pests*. Academic Press, 91-105.
- Sharma, M., Singh, K., Sharma, S. G., Kumari, S., Chauhan, A., & Kulshrestha, S. (2021). Hypovirulence-associated mycovirus in *Fusarium* sp. isolated from apple orchards of Himachal Pradesh, India. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 54, 19(20), 1864-1875.
- Sheoran, N., Nadakkakath, A. V., Munjal, V., Kundu, A., Subaharan, K., Venugopal, V., & Kumar, A. (2015). Genetic analysis of plant endophytic *Pseudomonas putida* BP25 and chemo-profiling of its antimicrobial volatile organic compounds. *Microbiological Research* 173, 66-78.
- Sneh, B. (1998). Use of non-pathogenic or hypovirulent fungal strains to protect plants against closely related fungal pathogens. *Biotechnology Advances*, 16(1), 1-32.
- Svircev, A., Roach, D., & Castle, A. (2018). Framing the future with bacteriophages in agriculture. *Viruses*, 10(5), 218.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). Bitkisel Üretimde Biyolojik ve/veya Biyoteknik Mücadele Desteklemeleri. https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Bitki_Sagligi/Biyolojik_Mucadele_Desteklemeleri.pdf adresinden alındı
- Thakur, N., Kaur, S., Tomar, P., Thakur, S., & Yadav, A. N. (2020). Microbial biopesticides: current status and advancement for sustainable agriculture and environment. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier, 243-282.
- Tollenaere, C., Pernechele, B., Mäkinen, H. S., Parratt, S. R., Németh, M. Z., Kovács, G. M., & Laine, A. L. (2014). A hyperparasite affects the population dynamics of a wild plant pathogen. *Molecular Ecology*, 23(23), 5877-5887.
- Topakcı, N., & Keçeci, M. (2017). Türkiye’de örtüaltında zararlılara karşı biyolojik mücadele uygulamalarının gelişimi: Araştırmadan pratiğe Antalya örneği. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 8(2), 161-174.
- Tözün, M., & Gökhan, A. K. (2022). Türkiye’de gıda numunelerinde pestisit kalıntıları üzerine 2010 yılı sonrası ulusal literatürün incelenmesi. *ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi*, 7(1), 177-191.
- Valero-Jiménez, C. A., Wieggers, H., Zwaan, B. J., Koenraadt, C. J., & van Kan, J. A. (2016). Genes involved in virulence of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 133, 41-49.
- Weidner, S., Latz, E., Agaras, B., Valverde, C., & Jousset, A. (2017). Protozoa stimulate the plant beneficial activity of rhizospheric pseudomonads. *Plant and Soil*, 410(1), 509-515.
- Ye, M., Sun, M., Huang, D., Zhang, Z., Zhang, H., Zhang, S., & Jiao, W. (2019). A review of bacteriophage therapy for pathogenic bacteria inactivation in the soil environment. *Environment International*, 1(129), 488-496.