

Mevcut sayıya ait içindekiler listesine [DergiPark](#) üzerinden ulaşılabilir

Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi

Dergi web sayfası: dergipark.org.tr/tr/pub/sufefd

Derleme Makale

Toprak Solarizasyonu ve Bitki Paraziti Nematodlarla Mücadelede Kullanımı

İbrahim Mıstanoğlu ^{a,1}, Gülsüm Uysal ^{b,2}, Zübeyir Devran ^{c,3,*}^a Bolvadin İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Afyonkarahisar^b Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitü Müdürlüğü, Antalya^c Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Geliş 18 Mart 2022

Revizyon 13 Nisan 2022

Kabul 14 Mayıs 2022

Anahtar Kelimeler

Bitki paraziti nematodlar

Entegre mücadele

Fiziksel mücadele

Solarizasyon

ÖZ

Tarımsal üretimi sınırlandıran toprak kökenli birçok hastalık etmeni ve zararlı bulunmaktadır. Bitki paraziti nematodlar, gerek bitkilerde beslenmeleri ile yaptıkları direk zararlar gerekse diğer hastalık etmenleriyle oluşturdukları kompleks ilişkileri nedeniyle tarımsal üretim yapılan alanlarda önemli kayıplara neden olabilmektedir. Bu zararlılarla mücadelede birçok yöntem kullanılmakta olup bunlardan en sık başvurulan kimyasal mücadeledir. Özellikle son yıllarda çevre bilinci konusunda artan farkındalık nedeniyle birçok kimyasalın kullanımı yasaklanmıştır. Buna karşın nematodlarla mücadelede kullanılan kimyasalların hem etkinliğini arttırmak hem de kullanım miktarlarını azaltabilmek için solarizasyon kullanılmaktadır. Dolayısıyla toprak solarizasyonu hem çevre ve insan sağlığı hem de etkili ve sürdürülebilir bir mücadele açısından önemli bir yöntemdir. Bu derlemede toprak solarizasyonu ve bitki paraziti nematodlara karşı kullanımı hakkında bilgi verilmiştir.

Review Article

Soil Solarization and Its Use in Management of Plant Parasitic Nematodes

ARTICLE INFO

Article History

Received 18 March 2022

Revised 13 April 2022

Accepted 14 May 2022

Keywords

Plant parasitic nematodes

Integrated management

Physical management

Solarization

ABSTRACT

There are many soil-borne diseases and pests that limit agricultural production. Plant parasitic nematodes can cause significant losses in agricultural production areas due to their direct damage by feeding on plants and their complex relationships with other diseases. While there are many different techniques to manage these pests, the most common one is chemical control. Many chemicals have been banned due to increasing awareness of environmental concerns especially in recent years. However, solarization is used both increase the effectiveness and reduce the amount of the chemicals used in the management against nematodes. Therefore, soil solarization is an important method that can facilitate an effective and sustainable management both in terms of environment and human health. In this review, information is given about soil solarization and its importance in the management of plant parasitic nematodes.

1. Giriş

Bitki paraziti nematodlar, birçok tarımsal üründe yapmış oldukları önemli zararlarla verim ve kalitede kayıplara neden olmaktadır. Toprakta yaşayan bu nematodlarla mücadele, bitkilerin toprak üstü kısımlarında zarar oluşturan diğer hastalık etmenlerine ve zararlılara göre daha zordur. Nematodlarla mücadelede birçok yöntem kullanılabilir. Kimyasal mücadele en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Bununla birlikte kimyasal mücadelede çeşitli alet ve ekipman gereksinimi, yetişmiş personele ihtiyaç duyulması, yüksek maliyet, pestisit

kalıntısı, bitkilerde fitotoksik etki ve toprakta yıkanma gibi olumsuz etkiler gözlemlenebilmektedir. Bu olumsuz etkilerin önlenmesi ve özellikle çevre, insan ve bitki sağlığına olan etkilerin azaltılabilmesi için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler içerisinde toprak solarizasyonu uygulanmasının kolay olması, nispeten daha az kimyasal kullanılması, farklı mücadele yöntemleriyle birleştirilebilmesi (kombine olabilmesi) ve daha ekonomik bir maliyete sahip olması gibi özelliklerinden dolayı ön plana çıkmaktadır (Katan, 2014).

Bitki paraziti nematodlar, toprakta bitkilerle ve çok farklı mikroorganizmalarla birlikte bulunmaktadır. Dolayısıyla

* Sorumlu Yazar

E-posta adresleri: i_mistanoglu@hotmail.com (İ. Mıstanoğlu), gulsumuysal.gu@gmail.com (G. Uysal), zdevran@akdeniz.edu.tr (Z. Devran)¹ ORCID: 0000-0002-8635-0321² ORCID: 0000-0003-1722-2518³ ORCID: 0000-0001-7150-284X

yapılan solarizasyon uygulamalarının bu canlılar üzerinde de etkili olduğu bilinmektedir (Stapleton ve DeVay, 1995; D'Addabbo ve ark., 2010; Pokharel, 2011). Toprakta, bitkilerde hastalıklara neden olabilen funguslar ve bakteriler, yaşamlarının belirli dönemlerini (yumurta, pupa, larva gibi) toprakta geçiren zararlı böcekler ve kültür bitkileriyle rekabete girebilen yabancı otlar bulunmaktadır. Bu tarımsal hastalık etmenleri ve zararlılara karşı mücadelede solarizasyon kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu derlemede tarımsal üretimde önemli bir yere sahip olan solarizasyonu ve bitki paraziti nematodlarla mücadelede kullanımı hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

2. Toprak Solarizasyonu

Tarımsal üretimde zararlı ve hastalık etmenleriyle mücadelede önemli bir yere sahip olan solarizasyon tekniği ilk kez 1976 yılında İsrail'de geliştirilmiş ve günümüze kadar 70'in üzerinde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede çalışılmıştır (Katan, 1987; 2014). Güneş enerjisi kullanılarak toprakta yapılan bu dezenfeksiyon işlemi için "toprak solarizasyonu" ifadesi daha yaygın kullanılmaktadır. Ancak toprağın güneş enerjisiyle ısıtılması, plastik malçlama (tarping), güneş pastörizasyonu ve güneş enerjisiyle arındırma gibi diğer terimler de bu işlemin tanımlanmasında kullanılmaktadır (Katan, 2014). Geniş anlamda toprak solarizasyonu, böcekler, toprak kaynaklı bitki patojenleri, nematodlar ve yabancı otlar için elverişsiz koşullar (fiziksel, biyolojik ve kimyasal) oluşturmak amacıyla uygun bir zaman periyodunda şeffaf plastik örtüler kullanılarak güneş enerjisi vasıtasıyla toprak sıcaklığının artırıldığı hidrotermal bir dezenfeksiyon yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Stapleton ve DeVay, 1986; Katan, 1987; Sasanelli ve ark., 2021; Şekil 1).



Şekil 1. Solarizasyon yapılan seranın görünümü.

Doğal koşullarda gün boyunca güneş ışınlarına maruz kalan toprak ısı biriktirmektedir. Ancak bu enerji gerek ışınimsal (radiative) gerekse konvektif (convective) süreçlerle serbest bırakılmaktadır. Fakat toprak sıcaklığı, iklim ve toprak yapısı gibi bazı çevresel nedenlerden dolayı bu salınım belirli seviyelerde tutulmaktadır (Hasing, 2002; Kapoor, 2013). Solarizasyon işleminde kullanılan şeffaf malç, güneş enerjisinin toprak tarafından emilimine önemli ölçüde etki etmemekte ve ısı kaybını azaltarak toprak sıcaklığının artmasını sağlamaktadır (Hasing, 2002). Solarizasyonun oluşturmuş olduğu bu etki ise derinlik arttıkça azalmaktadır (Kapoor, 2013). Toprak tipine ve toprak işlemesine bağlı olarak 4-6 hafta süreyle uygulanan solarizasyonun 30 cm derinliğe kadar olan toprak katmanında sıcaklığı yaklaşık 35-50°C'ye kadar çıkarabildiği belirtilmiştir (Viaene ve ark., 2013). Oluşturulan bu yüksek sıcaklıklarla öncelikli olarak toprak patojenlerini kontrol etmek amaçlanmış ancak bu

yöntemin aynı zamanda tarımsal ürünlerin performansını etkileyebilecek besin konsantrasyonu ya da çözünür organik madde içeriği gibi toprak özellikleri üzerinde de etkileri olduğu tespit edilmiştir (Katan ve ark., 1976; Chen ve ark., 1991; 2000).

2.1. Toprak solarizasyonu sürecinde gözlemlenen mekanizmalar

Toprak solarizasyonunun etkinliğinin oluşmasında birçok mekanizma meydana gelmektedir (Katan, 1987; Stapleton ve DeVay, 1995). Ancak bu mekanizmalar içerisinde en önemli olanları solarizasyonun termal etkisi ve bunun sonucunda oluşan biyolojik ve kimyasal etkilerdir (D'Addabbo ve ark., 2010).

2.1.1. Termal mekanizmalar

Toprak sıcaklığının yükseltilmesi amacıyla toprak yüzeyinin şeffaf polietilen bir örtüyle kaplanması olarak tanımlanan solarizasyon özelliği bitki patojeni mikroorganizmalar ile mücadelede etkin bir şekilde kullanılabilir. Bunun nedeni ise solarizasyon sürecinde toprakta ulaşılan yüksek sıcaklıklar ve bu sıcaklıklara mikroorganizmaların maruz kalma süreleridir (Singh ve ark., 2012). Örneğin 40-50°C gibi sıcaklıklar fungal organizmaların popülasyonlarını büyük ölçüde azaltmaktadır. Bitki paraziti nematodlarda ise 41-47°C sıcaklıkların öldürücü olduğu veya nematodların enfeksiyon güçlerini azalttığı ayrıca nematodların biyotik ve abiyotik streslere karşı daha savunmasız kaldıkları ifade edilmektedir (Heald ve Robinson, 1987; D'Addabbo ve ark., 2010). Fakat bu etkiler nematod türlerine göre değişebilmektedir. Ancak istenilen etkinin elde edilebilmesi için sıcaklığın maruz kalma süreleri yüksek sıcaklıklarda dakikalar ya da saatlerle ifade edilirken düşük sıcaklıklarda ise günlerle ifade edilmektedir (Baker ve Cook, 1974; Pokharel, 2011; Singh ve ark., 2012). Toprakta solarizasyonla oluşturulan bu sıcaklığın etkinliği maruz kalma süresinin yanında toprak nemi ile de artırılabilir. Toprak nemi, özellikle sıcaklığın toprak içerisindeki iletiminde önemli bir rol oynamaktadır. Nem ayrıca topraktaki mikroorganizmaların hücresel aktiviteleri ve yabancı ot tohumlarının gelişimini desteklemektedir. Böylece söz konusu organizmalar sıcaklığa daha hassas hale gelmektedir. Dolayısıyla gelişimlerinin desteklenmediği kuru koşullarda ise mikroorganizmalar ısıya daha dayanıklı olabilmektedirler (Pokharel, 2011). Bitki paraziti nematodlar, nem ve suyun etkisiyle yumurtadan çıkışları teşvik edilerek sıcaklığa karşı daha korunaksız hale gelebilmektedirler. Bu nedenle solarizasyon süresince nemin varlığı etkinlik açısından çok önemli bir faktördür (Katan, 1987; D'Addabbo ve ark., 2010).

2.1.2. Biyolojik mekanizmalar

Solarizasyon sonrası topraktaki organik ve mineral besin maddelerinin artmasıyla bu topraklarda genellikle bitki patojenlerine antagonistik etkide bulunan mikroorganizmaların varlığında artışlar gözlemlenmektedir (Stapleton ve DeVay, 1995; D'Addabbo ve ark., 2010). Bu da birçok bitki patojeni hastalık etmeni ve zararlı solarize edilmiş topraklarda hızlı bir şekilde çoğalmasına engel olmaktadır. Özellikle *Bacillus* spp., floresan pseudomonadlar ve serbest yaşayan nematodlar gibi yüksek sıcaklıklara dayanabilen ve dolayısıyla solarizasyon sonrası toprakta hızlı bir şekilde çoğalabilen bazı mikroorganizmalar bitki

patojenlerinin çoğalmalarına engel olmakta ve böylelikle bitkilerin daha iyi gelişmelerini sağlayabilmektedir (Katan, 1987; Stapleton ve DeVay, 1995).

2.1.3. Kimyasal mekanizmalar

Solarizasyon esnasında toprakta oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle bu süreçte ve sonrasında meydana gelen kimyasal değişiklikler farklı mekanizmaların oluşmasına neden olabilmektedir (Chen ve Katan, 1980; Chen ve ark., 1991). Özellikle solarizasyon sonrasında topraktaki çözülebilir mineral besin maddelerinin miktarı artmaktadır (Katan, 1987; Stapleton ve DeVay, 1995). Örneğin bu maddelerden azotun (N) solarizasyon koşullarında toksik özelliğe sahip amonyak azotu şeklinde birikiminin, nitrifikasyon yapan mikroorganizmaların faaliyetlerini etkilediği ve bu nedenle nitrat olarak gerçekleşen azot kaybını azalttığı tespit edilmiştir (Hasson ve ark., 1987). Ayrıca solarizasyon sonrası oluşan ortam, toprak pH'sının düşmesine neden olmaktadır. Bu da özellikle nitrifikasyon için uygun olmayan bir ortama neden olduğundan dolayı nitrat olarak azot kaybının azalmasını ve bitki gelişimi için gerekli olan en önemli besin maddelerinden olan azotun daha uzun süre toprakta bulunmasını sağlamaktadır (Hasson ve ark., 1987; D'Addabbo ve ark., 2010). Solarizasyonda bir diğer önemli kimyasal süreç organik maddeler üzerinde gerçekleşmektedir. Solarizasyon sırasında oluşan yüksek sıcaklık organik maddelerdeki parçalanmayı hızlandırmaktadır. Ayrıca bu etki sonucu toprak faunası için toksik olan uçucu bileşikler de üretilebilmektedir. Oluşan bu bileşikler ise toprağın daha az patojen ve farklı bir mikroflora içermesini sağlamakta, bu da patojenlerin toprakta yeniden yerleşmesini baskılayabilmektedir (Gamliel ve ark., 2000).

2.2. Toprak solarizasyonunun başarısını etkileyen faktörler

Toprak kökenli birçok hastalık ve zararlı ile mücadelede gerek çevre ve insan sağlığına herhangi bir olumsuz etkisinin olmaması, gerekse sürdürülebilir olması nedeniyle toprak solarizasyonu önemli bir yere sahiptir. Temel olarak, su ile doyurulmuş bir toprak, güneş enerjisi ve polietilen bir örtü kullanılarak yapılan bu işlem basit bir teknoloji gibi görünse de başarısında çok sayıda çevresel ve teknik faktörler etkili olmaktadır (D'Addabbo ve ark., 2010; Pokharel, 2011; Katan, 2014). Dolayısıyla etkin ve sürdürülebilir bir solarizasyon uygulaması için bazı temel konulara dikkat edilmesi gerekmektedir. Toprak solarizasyonu sürecinde mücadelenin etkinliğini artıracak noktalar aşağıda belirtilmiştir.

2.2.1. Uygulama zamanı

Toprağın malçlanması, yüksek sıcaklık ve özellikle yoğun güneş ışınımının olduğu yaz dönemlerinde yapılmalıdır. Bu dönemler bölgesel olarak değiştiği için yetiştiricilik yapılan bölgeye en uygun solarizasyon döneminin belirlenmesi gerekmektedir. Toprak solarizasyon işlemi esnasında üst toprak tabakasında daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilirken, alt tabakalarda bu sıcaklıklar düşmektedir. Dolayısıyla solarizasyon işleminin 4-8 hafta aralığında devam ettirilmesi gerekmektedir (Pokharel, 2011; Singh ve ark., 2012).

2.2.2. Toprak nemi ve sıcaklık

Hedeflenen hastalık etmenleri ve zararlıların sıcaklık hassasiyetlerini arttırmak ve topraktaki ısı iletimini

iyileştirmek için solarizasyon süresince toprağın nemli kalması sağlanmalıdır. Solarizasyon, tekrarlanan günlük döngüler yoluyla toprağı ısıtmaktadır. Artan derinliklerde ise ulaşılabilen maksimum sıcaklıklar düşmektedir. 10 ve 20 cm derinliklerde sıcaklıklar sırasıyla 45-50°C ve 38-45°C aralığında değişebilmektedir (Stapleton, 2000; D'Addabbo ve ark., 2010; Pokharel, 2011). Ayrıca solarize edilen alanlar, edilmeyen alanlara göre 5-15°C daha yüksek sıcaklıklara sahip olabilmektedir (Gamliel ve Katan, 1991).

2.2.3. Kullanılan örtü materyali

Başarılı ve etkili bir solarizasyon işlemi için 25-50 µm kalınlıkta polietilen malç materyali kullanılmalıdır (Sharma ve Sharma, 2002; Singh ve ark., 2012). Solarizasyonda kullanılan malç materyali şeffaf olmalıdır. Siyah ya da diğer renklerin kullanılması durumunda bu materyaller güneş ışınlarının iletimine mâni olabilmektedir. Dolayısıyla toprak sıcaklığı hedeflenen düzeylere ulaşamamaktadır.

2.2.4. Uygulama şekli

Solarizasyon işleminde hava boşluklarını ve rüzgârdan kaynaklı zararları en aza indirmek için polietilen malç materyali toprak yüzeyine sıkı bir şekilde uygulanmalıdır. Özellikle sera kenar şeritlerinin polietilen materyal ile dikkatlice kapatıldığından emin olunmalı ve üzerinde herhangi bir toprak parçası bırakılmamalıdır.

2.2.5. Toprak hazırlığı

Toprak solarizasyonunun etkinliğinin daha uzun süre devam edebilmesi için solarizasyon işlemi öncesinde toprağın ekim ve dikime hazır hale getirilmesi, sulama sistemlerinin de yerleştirilmesi önemlidir. Ayrıca kullanılacak üretim materyallerinin ve sulama suyunun hastalık etmenleri ve zararlılar açısından temiz olması gerekmektedir (Stapleton, 2000; Kapoor, 2013; Katan, 2014). Solarizasyon işleminden sonra toprağı işlemekten kaçınılmalı, toprağı sürmek gerekirse de derin sürülmemeli ya da 10-20 cm geçmeyecek şekilde yapılmalıdır.

2.3. Toprak solarizasyonunun avantajları ve dezavantajları

Toprak solarizasyonu birçok hastalık etmeni, zararlı ve yabancı otlar eş zamanlı mücadelenin yapılabildiği kısa ve uzun vadede avantajlara sahip olan ve tarımsal üretimdeki diğer uygulamalara göre daha düşük bir maliyeti olan önemli bir mücadele yöntemidir (Singh ve ark., 2012; Kumar ve ark., 2017). Bu teknik gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde makineli ya da makinesiz olarak uygulanabilmektedir. Toprak solarizasyonu özellikle birden fazla hastalık ya da zararlının bulunduğu üretim alanlarında etkin bir mücadele sunabilmektedir. Ayrıca kimyasal kullanılmadan gerçekleştirilen uygulamaların çevre ve insan sağlığına herhangi bir olumsuz etkisi bulunmamakta ve kalıntı sorunu oluşturmamaktadır. Uygulama sonrası topraktaki hastalık ya da zararlı yoğunluğunun düşük olması özellikle bitkilerin hassas olduğu fide dönemlerinde daha sağlıklı gelişmelerine imkân sunmaktadır. Böylelikle söz konusu alanlardan sonraki üretim dönemlerinde daha fazla verim elde edilebilmektedir. Solarizasyonun elde edilen verimin artmasına neden olan bir diğer olumlu yanı ise toprak yapısının iyileşmesine imkân sunması ve bitkiler için gerekli olan birçok besin maddesinin toprakta yararlı formda dönüştürülebilmesidir (Elmore, 1991; Singh ve ark., 2012). Fakat toprak solarizasyonu, çeşitli sınırlamalar, zorluklar ve

bazı olumsuz yan etkiler de içerebilmektedir (Singh ve ark., 2012; Kumar ve ark., 2017). Bilindiği üzere toprak solarizasyonuna güneş enerjisinin kullanımı nedeniyle belirli iklim bölgelerinde ve yılın belirli aylarında yaklaşık 6-8 hafta boyunca uygulamanın sürmesi gerekmektedir. Bu da arazinin uzun bir süre kullanılmamasına neden olmaktadır (Kapoor, 2013; Kumar ve ark., 2017). Ayrıca daha serin bölgelerde solarizasyonun etkinliği düşebilmekte ve daha yüksek bir maliyete neden olabilmektedir (D'addabbo ve ark., 2010). Toprak solarizasyonu açık alanda yetiştiricilik yapılan bazı ürünler için oldukça pahalıdır. Ayrıca bu uygulama bazı hastalık etmenleri ve zararlılara karşı etkisiz olabilmektedir. Diğer yandan üst üste tekrarlanan uygulamalar toprakta bazı ısıya dayanıklı patojenlerin gelişmesine de neden olabilmektedir. Bir diğer olumsuz etkisi ise antagonistler üzerindeki zararlı etki nedeniyle patojen popülasyonunda bir artış olabilmektedir (Kumar ve ark., 2017). Ayrıca bu işlem esnasında kullanılan plastik materyaller uygulama sonrasında çevre kirliliği gibi bazı sorunlara yol açmaktadır (Singh ve ark., 2012). Bu sorun ise solarizasyonda kullanılan plastik materyalin doğada biyolojik olarak toprakta ayrışabilir özellikte olanlarının tercih edilmesi ile çözülebilmektedir (D'addabbo ve ark., 2010).

3. Toprak Solarizasyonunun Bitki Paraziti Nematodlara Karşı Mücadelede Kullanılması

3.1. Bitki paraziti nematodlar üzerine etkileri

Bitki paraziti nematodlar tarımsal üretimde doğrudan ya da dolaylı olarak neden oldukları zararlarla önemli bir yere sahiptir (Jones ve ark., 2013). Bununla birlikte günümüze kadar sadece yaklaşık 4100 bitki paraziti nematod türü (bilinen toplam nematod türlerinin yaklaşık %15'i) tanımlanmıştır (Decraemer ve Hunt, 2013). Özellikle *Meloidogyne* spp. (kök-ur nematodları) içinde yer alan türlerin, iletim sistemine sahip bitkilerin neredeyse tamamını enfekte edebildiği ve dünya genelinde yaklaşık 3000 kadar konukçusunun olduğu belirlenmiştir (Hussey, 1985; Karssen ve ark., 2013; Jones ve ark., 2013). Yapılan çalışmalarda bitki paraziti nematodların neden olduğu yıllık ekonomik kaybın yaklaşık 215.77 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir (Subedi ve ark., 2020). Bu nedenle bitki paraziti nematodlarla mücadele oldukça önemlidir. Bu zararlıların popülasyon yoğunluklarını ekonomik zarar eşiği (EZE)'nin altında tutmak için çeşitli mücadele yöntemlerini tek ya da birlikte kullanmak gerekmektedir. Bu mücadele yöntemleri içerisinde karantina önlemleri, kültürel yöntemler, fiziksel mücadele, biyolojik mücadele ve kimyasal mücadele yer almaktadır. Fiziksel mücadele içinde yer alan toprak solarizasyonunun bitki paraziti nematodlara karşı etkinliği ilk olarak İsrail'de gösterilmiştir (Hadar ve ark., 1983). Ardından Avustralya, Amerika, İtalya, Güney Afrika, Suriye ve Türkiye gibi birçok ülkede de solarizasyonun bitki paraziti nematodlar üzerindeki etkinliği ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Porter ve Merriman, 1983; LaMondia ve Brodie, 1984; Greco ve ark., 1985; Barbercheck ve Von Broenbsen, 1986; Sauerborn ve ark., 1990; Elekçioğlu ve ark., 1995; Göçmen ve Elekçioğlu, 1996). Yapılan çalışmalarda toprak solarizasyonunun patojenler ve bitki paraziti nematodlar üzerindeki etkinliğinin büyük ölçüde ulaşılan sıcaklık ve zamana bağlı olduğu belirtilmektedir (Kapoor, 2013; Sasanelli ve ark., 2021). Ayrıca tüm bitki paraziti nematod gruplarının toprak solarizasyonuna aynı hassasiyeti göstermedikleri de tespit edilmiştir (Stapleton ve DeVay, 1995; D'Addabbo ve ark., 2010). Yürütülen çalışmalarda 73

°C gibi yüksek toprak sıcaklıklarında serbest yaşayan ya da bitki paraziti nematod türlerinin tamamının yok edildiği (eradike), bununla birlikte 42-46 °C gibi toprak sıcaklığında ise yalnızca söz konusu nematod türlerinin popülasyon yoğunluklarının azaldığı belirtilmektedir. Ayrıca 42-46 °C toprak sıcaklıklarına serbest yaşayan nematod türlerinin bitki paraziti türlerden daha tolerant oldukları tespit edilmiştir (Heald ve Robinson, 1987; Stapleton ve ark., 2006; Wang ve McSorley, 2008). Ancak mücadelenin yapıldığı bölge için en uygun tarihte, yeterli sürede (4-8 hafta) ve gerekli koşullarla yapılan toprak solarizasyonunun çok sayıda serbest yaşayan ve bitki paraziti nematod türüne karşı etkili olduğu da tespit edilmiştir. Örneğin 2 saat süreyle 47,5-52,5 °C'lere ulaşabilen sıcaklıkların *Heterodera carotae* Jones, (1950)'nin yumurta açılımlarını önemli derecede etkilediği belirtilmiştir (Greco ve ark., 1998). *Globodera rosthochiensis* (Wollenweber, 1923)'de ise bu etkinin 50 °C'de 4 saat ya da 59 °C'de 30 dakika da gerçekleştiği bildirilmiştir (Evans, 1991). *Rotylenchulus reniformis* (Linford and Oliveira, 1940) ile yapılan bir çalışmada da 41-47 °C arasındaki sıcaklıklarda yaklaşık 24 saatlik bir sürede %90'lık bir ölüm oranına ulaşıldığı rapor edilmiştir (Heald ve Robinson, 1987). Giblin-Davis ve Verkade (1988)'de yaptıkları çalışmada *Belonolaimus longicaudatus* Rau ve *Hoplolaimus galeatus* (Cobb) Thorne türlerinin 48±2 °C sıcaklıkta 2 saatlik süre içerisinde öldüklerini belirtmişlerdir. *Helicotylenchus* spp., *Tylenchorhynchus* spp. *Tylenchus* spp., *Heterodera ciceri* Vovlas, Greco & Di Vito, 1985 ve *Pratylenchus thornei* Sher & Allen, 1953 gibi nematodlarla bulaşık bir alanda iki yıl üst üste yapılan ve 48-55 °C gibi yüksek toprak sıcaklıklarına ulaşılan bir başka çalışmada söz konusu nematodların 40 gün süreyle yapılan solarizasyon işleminden nematod cinsine göre değişmekle birlikte %83-100 oranlarında etkilendikleri tespit edilmiştir (Sauerborn ve ark., 1990). Kök-ur nematodlarıyla sera koşullarında 3 yıl üst üste yapılan solarizasyon ile söz konusu nematodların önemli oranda (%99) baskılandığı belirtilmiştir (Candido ve ark., 2008). Kök-ur nematodlarının farklı biyolojik dönemleri (yumurta, larva ya da ergin) için solarizasyon ile mücadelede gerekli olan etkili sıcaklık derecelerinin de farklı olduğu tespit edilmiştir (Wang ve McSorley, 2008; Tablo 1).

Tablo 1
Meloidogyne incognita'nın farklı biyolojik dönemlerinin ölümü için gerekli olan sıcaklık dereceleri ve süreleri (Wang ve McSorley, 2008).

| Sıcaklık (°C) | Süre (saat) | |
|---------------|-------------|-------|
| | Yumurta | Larva |
| 38 | 389,8 | - |
| 39 | 164,5 | 47,9 |
| 40 | 32,9 | 46,2 |
| 41 | 19,7 | 17,5 |
| 42 | 13,1 | 13,8 |

Toprak solarizasyonu özellikle sebze alanlarında zararlılara neden olan kök-ur nematodlarına karşı yaygın şekilde kullanılsa da farklı cinslere ait nematod türlerinde de etkili olmaktadır (Stapleton ve DeVay, 1986; 1995; Giblin-Davis ve Verkade, 1988; Sauerborn ve ark. 1990; Chellemi ve ark. 1993; Greco ve ark., 1998; Oštrec ve Grubišič, 2003; Tablo 2).

Tablo 2

Toprak solarizasyonunun nematod türleri üzerindeki etkisi (Chellemi ve ark., 1993; Stapleton ve DeVay, 1995; Lamberti ve ark., 2000; Östrec ve Grubišič, 2003; D'Addabbo ve ark., 2010; Pokharel, 2011).

| Solarizasyonla kontrol edilebilen nematod türleri | |
|---|----------------------------------|
| <i>Aphelenchus</i> spp. | <i>Meloidogyne arenaria</i> |
| <i>Belonolaimus longicaudatus</i> | <i>Meloidogyne hapla</i> |
| <i>Criconemella xenoplax</i> | <i>Paratrichodorus porosus</i> |
| <i>Ditylenchus dipsaci</i> | <i>Paratrichodorus minor</i> |
| <i>Dolichodorus heterocephalus</i> | <i>Pratylenchus hamatus</i> |
| <i>Globodera rosthochiensis</i> | <i>Pratylenchus penetrans</i> |
| <i>Helicotylenchus digonicus</i> | <i>Pratylenchus thornei</i> |
| <i>Heterodera schachtii</i> | <i>Pratylenchus vulnus</i> |
| <i>Heterodera carotae</i> | <i>Radopholus similis</i> |
| <i>Hirschmanniella mucronata</i> | <i>Rotylenchulus reniformis</i> |
| <i>Hoplolaimus galeatus</i> | <i>Tylenchorhynchus</i> spp. |
| <i>Meloidogyne incognita</i> | <i>Tylenchulus semipenetrans</i> |
| <i>Meloidogyne javanica</i> | <i>Xiphinema</i> spp. |

Solarizasyonun birçok bitki paraziti nematod türü üzerindeki bu etkisi özellikle toprağın üst kısmındaki belirli bir derinlikte (0-22,5 cm) gerçekleşmektedir (Heald ve Robinson, 1987). Ancak nematodların hareketli dönemleri toprağın daha derinlerine inerek solarizasyonun etkilerinden kurtulabilmektedir. Solarizasyonun etkisinin azalmasıyla tekrar bitki kök bölgesine gelen nematodlar bitkilerde yeniden zarar oluşturabilmektedirler (Kapoor, 2013; Çatalkaya ve Devran, 2019). Bu nedenle solarizasyon periyodunun uzunluğu bitki paraziti nematodların baskılanmasında önem taşımaktadır. Sıcaklığın toprağın derin profillerine ulaştırılabilmesi solarizasyonun etkinliği ve sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir (Wang ve McSorley, 2008). Ayrıca solarizasyonun bitki paraziti nematodlara karşı her yıl uygulanması da gerekmektedir (Candido ve ark., 2008). Bununla birlikte ısı iletimi ve muhafazası yüksek olan plastik örtülerin kullanımı, düşük dozlarda kimyasal kullanımı veya kimyasal olmayan diğer yöntemlerle (biyolojik etmelerin, dayanıklı çeşitler vb.) birlikte yapılan uygulamalar solarizasyonun bitki paraziti nematodlar üzerindeki etkilerini arttırabilmekte ve süresini uzatabilmektedir (Söğüt ve Elekçioğlu, 2007; Candido ve ark., 2008; Çatalkaya ve Devran, 2019).

3.1.1. Solarizasyonun açık alanlarda bitki paraziti nematodlara karşı kullanımı

Solarizasyonun açık alanlarda kullanımı örtü altı alanlara göre daha sınırlı kalmaktadır. Dünyanın farklı ülkelerinde konuyla ilgili çalışmalar yürütülmüştür. İtalya'nın güneyinde bitki paraziti nematodlarla (*Ditylenchus dipsaci* (Kuhn, 1857), *Heterodera carotae* ve *Meloidogyne javanica*) bulaşık alanlarda yapılan çalışmalarda toprak solarizasyonunun bu nematod türlerini etkili bir şekilde kontrol edebildiği tespit edilmiştir (Greco ve ark., 1985). Suriye'de *Heterodera ciceri* ve *Pratylenchus thornei* ile bulaşık nohut üretim alanlarında yapılan solarizasyon uygulamalarının verimliliği arttırdığı, bitki paraziti nematodların popülasyon yoğunluklarını düşürdüğü ve bu zararlılarla mücadelede pestisit kullanımını azaltabileceği belirtilmiştir (Di Vito ve ark., 1991). Doğu Akdeniz Bölgesinde yerfıstığı üretim alanlarında yapılan bir çalışmada 6 hafta süreli solarizasyon uygulamasının bitki paraziti nematodların popülasyon yoğunluklarında %50-96 oranında azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (Elekçioğlu ve ark., 1995). Patates kist nematodu (*Globodera rosthochiensis*) ile bulaşık alanlarda 4, 6 ve 8 hafta süreyle yapılan solarizasyon uygulamalarının nematod popülasyonunu azalttığı ve elde edilen ürünlerin kalitelerini arttırdığı tespit edilmiştir (Greco ve ark. 2000). İspanya'nın güneyinde zeytin fidanlıklarında 3 hafta süreyle kök-ur

nematodlarına karşı yapılan toprak solarizasyonunun bu nematodların kontrolünde etkili olduğu belirtilmiştir (Nico ve ark., 2003). Batı Anadolu bölgesinde açık alan çilek yetiştiriciliğinde solarizasyon, tavuk gübresi, metril bromid ve diğer bazı kimyasalların (1,3-dichloropropene + chloropicrin ve metam sodyum) tek ya da kombine olarak yabancıotlar ve toprak kökenli patojenlere karşı kullanımlarının karşılaştırıldığı çalışmada özellikle solarizasyonun tek ya da tavuk gübresi ile veya metam sodyum ile birlikte uygulanmasının metil bromid kadar verimde artışlara neden olduğu tespit edilmiştir (Benlioğlu ve ark., 2005). Yapılan çalışmalar, toprak solarizasyonunun açık alanlarda yetiştiriciliği yapılan gerek tek yıllık gerekse çok yıllık bitkilerde zararlara neden olan farklı bitki paraziti nematod türlerine karşı etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

3.1.2. Solarizasyonun örtü altı alanlarda bitki paraziti nematodlara karşı kullanımı

Toprak solarizasyonu örtü altı üretim alanlarında bitki paraziti nematodlarla alternatif ve etkili bir mücadele şekli olarak tercih edilmektedir. Bitki paraziti nematodların zararlarına karşı tek başına ya da kombine şekilde solarizasyon uygulamaları yapılabilmektedir. Antalya'da örtü altı patlıcan üretiminde sorun olan kök-ur nematodu ve diğer bitki paraziti nematodlara karşı uygulanan toprak solarizasyonunun bitkilerdeki nematod kaynaklı zararların ve topraktaki nematod popülasyonlarının önemli oranlarda azalmasına neden olduğu belirlenmiştir (Göçmen ve Elekçioğlu, 1996). Kıbrıs'ta kök-ur nematodları ile (*Meloidogyne* spp.) bulaşık örtü altı domates üretim alanlarında yapılan bir çalışmada solarizasyonun methyl bromide (MB)'e alternatif olabileceği ve etkin bir şekilde kullanılabilceği belirtilmiştir (Ioannou, 2000). Hırvatistan'da yapılan bir çalışmada hem açık hem de örtü altı üretiminde farklı bitki paraziti nematodlarla (*Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Paratylenchus*, *Tylenchus*, *Tylenchorhynchus* spp.) bulaşık olduğu bilinen üretim alanlarında solarizasyon uygulamaları sonrası söz konusu zararlıların farklı toprak derinliklerindeki popülasyon yoğunluklarını %89-100 oranlarında azalttığı belirtilmiştir (Östrec ve Grubišič, 2003). Türkiye'nin Batı Anadolu Bölgesi'ndeki domates üretimi yapılan seralarda, *Meloidogyne incognita*'ya karşı toprak solarizasyonu, dazomet, tavuk gübresi, zeytin karasuyu ile bunların kombine uygulamalarıyla yapılan çalışmada solarizasyonun tek başına ya da organik katkı maddeleri ile birlikte uygulamalarının nematod zararını azalttığı, verimde ise artışlara neden olduğu tespit edilmiştir (Kaşkavalı, 2007). Doğu Akdeniz Bölgesinde örtü altı biber yetiştiriciliğinde solarizasyonun *Trichoderma* spp., farklı dozlarda dazomet (300, 400 ve 500 kg ha⁻¹ dozlarında) ve yaş tavuk gübresi (12.5 t ha⁻¹) ile kombine uygulamalarının kök-ur nematodlarıyla mücadelede başarılı bir şekilde kullanıldığı ve metil bromüre alternatif olabileceği belirtilmiştir (Söğüt ve Elekçioğlu, 2007). Doğu Akdeniz Bölgesinde plastik sera ve tünellerde biber ve patlıcanda, açıkta ise çilek yetiştiriciliğinde solarizasyon+yaş sığır gübresi, solarizasyon+düşük doz kimyasal (dazomet) ve antagonist mikroorganizma (*Trichoderma harzianum*) uygulamalarının toprak kökenli patojenler ve bitki paraziti nematodlara karşı etkinliği belirlenmiş ve bu yöntemlerin metil bromüre alternatif olabilecekleri rapor edilmiştir (Yücel ve ark., 2007). İtalya'da örtüaltı domates ve kavun üretiminde kök-ur nematodlarına karşı tek yıl yapılan solarizasyon uygulamalarının sınırlı bir etkinliğe sahip olduğu ancak iki ya

da üç yıl üst üste yapılan uygulamaların nematod popülasyonlarını neredeyse tamamen baskıladığı belirtilmiştir (Candido ve ark., 2008). Libya'da *Meloidogyne javanica*, *Aphelenchus avenae* Bastian, 1865, *Trichodorus* sp. gibi bitki paraziti nematodlarla bulaşık olduğu bilinen ve sebze üretimi yapılan iki farklı serada farklı süreler boyunca (30 ve 45 gün) gerçekleştirilen solarizasyon uygulamaları sonrası söz konusu zararlıların etkili bir şekilde kontrol edildiği rapor edilmiştir (Zaid ve ark., 2014). Mersin'de kök-ur nematodları ve toprak kökenli patojenlerle (*Fusarium* spp., *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. (1947) ve *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, 1858) bulaşık olduğu bilinen domates serası ve çilek tarlalarında dikim öncesi solarizasyon ve düşük doz fumigant uygulamalarının hastalık çıkışı, ırlanma ve verime etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, kombine uygulamaların hastalık çıkışını ve ırlanma oranını azaltmada etkin olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir (Yücel ve ark., 2015). Suudi Arabistan'da örtü altı taze fasulye üretiminde zararlara neden olan kök-ur nematodlarına [*M. incognita* (Irk-2)] karşı farklı mücadele tekniklerinin [kimyasal (fumigant-Dazomet, fumigant olmayan-Fenamifos), biyolojik (yumurta paraziti fungus, *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson (1974) ve mikorizal fungus *Glomus* sp.), fiziksel (toprak solarizasyonu), ve kültürel (tavuk gübresi ve üre)] karşılaştırıldığı çalışmada ise fumigant olmayan kimyasal (Fenamifos) uygulamaları ya da toprak solarizasyonunun en etkili tekniklerin olduğu tespit edilmiştir (Al-Hazmi ve ark., 2017). Ülkemizde örtü altı biber yetiştiriciliğinde solarizasyonun azaltılmış metam-sodyum ile birlikte kök-ur nematodlarına karşı uygulanması sonucunda %98,8-234,5 oranında verim artışı sağlandığı belirlenmiştir (Özarslandan ve ark., 2019). Bu çalışmalardan da anlaşılacağı üzere örtü altı üretiminin açık alanlardaki tarımsal üretime göre daha kontrollü koşullar sunması bitki paraziti nematodlara karşı toprak solarizasyonunun daha etkin bir şekilde kullanılmasına imkân sunmaktadır. Bu nedenle toprak solarizasyonu bitki paraziti nematodlarla mücadelede önemli bir teknik olarak kabul edilmektedir.

3.2. Bitki paraziti nematodlarla etkileşimde olan organizmalara etkileri

Toprak solarizasyonunda öncelikli hedef tarımsal üretimde önemli zararlara neden olan hastalık etmenleri, zararlılar ve yabancı otlardır. Toprakta, toprak kalitesinin sürekliliği için gerekli olan ve yapısının oluşumunda kritik rol oynayan çok çeşitli mikroorganizmalar bulunmaktadır (Scopa ve Dumontet, 2007). Bu canlılar toprak organik maddesinin yaklaşık %1-5'ini oluşturmaktadır. Ancak mineral madde döngüsünde ve organik maddelerin ayrışmasında önemli görevlere sahiptirler (Raison ve McGarity, 1979; Palese ve ark., 2004; Scopa ve Dumontet, 2007). Her ne kadar solarizasyonda asıl hedef olmasalar da özellikle bu süreçte ulaşılan 60°C gibi yüksek sıcaklıkların mikrobiyal biyokütle için zararlı olduğu tespit edilmiştir (Palese ve ark., 2004). Ancak toprak solarizasyonu diğer toprak ilaçlama yöntemlerine kıyasla toprak mikroflorası üzerinde daha seçici olabilmektedir (Gamliel ve Katan, 1991). Ayrıca mikorizal funguslar, bitki patojenlerini infekte edebilen fungus ve bakteriler gibi birçok faydalı organizmanın solarizasyondan etkilenmediği ya da daha sonra toprakta çok hızlı kolonize olabildikleri bildirilmiştir (Katan, 1981; Chen ve ark., 1991; Stapleton ve ark., 2019). Özellikle *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* türü funguslar, bakteri ve aktinomiset kolonilerinin termofilik ve termotolerant mikroorganizma türlerinin solarize olmayan topraklara kıyasla solarize topraklarda önemli ölçüde arttığı

belirtilmektedir (Gamliel ve Katan, 1991; Sharma ve Sharma, 2002). Dolayısıyla solarizasyon sonrası baskın hale gelebilen bu saprofit organizmalar bitki patojenlerini önemli ölçüde baskılayabilmektedir (DeVay ve Katan, 1991). Toprak solarizasyonu serbest yaşayan nematodların popülasyonlarını da önemli ölçüde azaltabilmektedir (D'Addabbo ve ark., 2010; Marahatta ve ark., 2012). Ancak tıpkı diğer saprofit olmayan toprak mikroorganizmaları gibi bu nematodların da solarizasyon sürecinde hayatta kalma ve sonrasında tekrardan kolonize olma durumlarının bitki paraziti nematodlara göre daha iyi olduğu belirtilmektedir (D'Addabbo ve ark., 2010). Ayrıca solarizasyonla birlikte uygulanan organik madde takviyelerinin bu canlıların gelişimlerine önemli derecede katkıda bulunduğu da tespit edilmiştir (Scopa ve Dumontet, 2007). Dolayısıyla solarizasyonda yapılacak olan bu gibi uygulamalarla hedef dışı canlıların en az düzeyde etkilenmesi ve solarizasyon sonrası oluşan toprak ortamında hızlı bir şekilde kolonize olmaları sağlanabilmektedir. Böylelikle oluşabilecek olan olumsuzlukların en az düzeye indirilmesi hedeflenmektedir.

3.3. Bitki paraziti nematodların yaşadığı ortam üzerine etkileri

Solarizasyon topraktaki birçok biyotik ve abiyotik etmen üzerinde etkilidir. Bitki gelişimine de doğrudan ve dolaylı olarak olumlu etkide bulunmaktadır (Katan, 1981; Chen ve ark., 1991). Bu etki ise artan büyüme tepkisi [Increased Growth Response (IGR)] olarak tanımlanmaktadır (Katan, 1981). Bu etkinin solarizasyonun özellikle bitki besin maddeleri üzerinde neden olduğu farklı süreçlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Solarizasyon uygulamasıyla bitkilerde gözlemlenen artan büyüme tepkisi, nematodların neden olduğu zararların bitkiler tarafından tolere edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu uygulamanın bitki besin maddelerinin bitkiler tarafından alınabilir formlarının daha uzun süre toprakta bulunmasına imkân sunması bitkilerin daha sağlıklı gelişmelerini sağlamaktadır. Bilindiği gibi toprağa uygulanan birçok besin maddesi toprak partikülleri tarafından tutulmakta ve bitkiler için kullanılamaz hale gelmektedir. Ayrıca gübre maliyetlerinin yüksekliği, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri ve aynı zamanda toprak sağlığı ve kalitesine olan etkileri nedeniyle bitki besleme amacıyla toprağa uygulanan her bir maddenin önemi artmaktadır. Bu nedenle solarizasyon sürecinde rizosfer bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklar, toprak partikülleri tarafından tutulan ve bitkiler için kullanılamaz hale getirilen bu besin maddelerinin salınımına ve dolayısıyla bitkiler için kullanılabilir forma geçmesine yardımcı olmaktadır (Chen ve Katan, 1980; Ahmad ve ark., 1996; Yan ve ark., 2012). Solarizasyonun toprağın kimyasal bileşimi üzerindeki bu etkisi özellikle bitkilerin gelişimi için önemli olan NO₃⁻, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ ve Cl⁻ gibi elementlerin topraktaki konsantrasyonlarının artmasında veya söz konusu kimyasalların bitki için yararlı forma dönüştürülmesinde gözlenmektedir (Chen ve Katan, 1980; Ahmad ve ark., 1996). Ancak S, Mn, Zn, Fe ve Cu gibi elementlerin ise solarizasyon sonrası topraktaki konsantrasyonlarının düştüğü belirtilmektedir (Grünzweig ve ark., 1999). Solarizasyonun toprak kimyasal bileşenleri üzerindeki bu etkilerinin yanında toprak pH'sı ve toprağın elektriksel iletkenliği [electrical conductivity (EC)] üzerinde de etkileri olabilmektedir. Özellikle solarizasyon müddetince çözünen ya da bitkiler için alınabilir forma dönüşen bitki besin maddeleri (NO₃⁻, Mg²⁺, Cl⁻ vs.) nedeniyle elektriksel iletkenlik artarken, organik madde ve diğer toprak bileşenlerinde gözlenen değişimler nedeniyle de pH

düşebilmektedir (Grünzweig ve ark., 1999). Ayrıca solarizasyon organik maddelerin parçalanmasını hızlandırmakta bu da toprak yapısının iyileşmesini sağlamaktadır (Koçar ve ark., 2006; Kapoor, 2013). Öte yandan toprağa solarizasyonla birlikte uygulanan organik maddeler (hayvan gübrelere ya da bitki artıkları) bozulma işlemleri esnasında hem ısı oluşum hızını hem de toprağın ısı taşıma kapasitesini (the heat-carrying capacity) artırmaktadır (Kapoor, 2013). Bu da daha etkin bir solarizasyon uygulamasına imkân sunmaktadır (Grünzweig ve ark. 1999; Gelsomino ve ark., 2006). Sonuç olarak solarizasyonun topraktaki besin maddelerini bitkilerin alabileceği forma dönüştürmesi ya da toprak yapısını bitki gelişimi için daha uygun hale getirmesi bitki verimliliğinde olumlu etkilere neden olmaktadır (Kurt ve Emir, 2004; Zayed ve ark., 2013). Bu nedenle solarizasyon sonrası rizosfer bölgesinde oluşan ortamın bitkilerin gelişmesinde ve verimlerinin artmasında etkili olduğu belirtilmektedir (Safdar ve ark., 2021).

3.4. Toprak solarizasyonunun etkinliğini arttıran uygulamalar

Toprak solarizasyonunun etkinliği, uygulama esnasında daha yüksek sıcaklık derecelerine ulaşılabilmesi ve bu sıcaklık değerlerinde toprağın daha uzun süre kalması ile sağlanmaktadır. Bu durum solarizasyonla birlikte yapılan bazı uygulamalarla gerçekleştirilebilmektedir. Bunlardan ilki toprağa solarizasyon öncesinde uygulanan çeşitli organik (hayvan gübresi, bitki artıkları vs.) maddelerdir. Bu maddelerin uygulanması normal solarizasyon uygulamalarına göre toprak sıcaklığını 1-3°C yükseltebilmekte, ulaşılan sıcaklıklarda daha uzun sürelerde kalınmasına imkan sağlanmakta ve ayrıca organik maddelerin bozulmasıyla salınan biyotoksik özellikteki çeşitli gazlarla da etkinlik arttırılabilmektedir (Stapleton, 1997; Gamliel ve ark., 2000; Rubin ve ark., 2007; Pokharel, 2011). Özellikle toprağa uygulanan hayvan gübrelere ya da bitki kalıntılarının biyolojik çözümleri sonucunda oluşan amonyak, Metantiyol (methanethiol), dimetil sülfür, alil izotiyosiyanat (allylisothiocyanate), fenil izotiyosiyanat (phenylisothiocyanate) ve aldehit (aldehyde) gibi biyosidal özellikteki bu gazlar solarizasyonun etkinliği için çok önemlidir. Çünkü toprak nemi ile birlikte oluşan sıcaklığın yeterli etkinliği gösteremediği ya da ulaşmadığı noktalarda üretilen bu biyosidal gazlar vasıtasıyla solarizasyonun etkisi artmaktadır (Gamliel ve ark., 2000; Pokharel, 2011). Amonyakın nematodlar başta olmak üzere birçok mikrobiyal etmenin toprakta gelişimini ve hayatta kalmasını olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir (Rodriguez-Kabana, 1986; Gamliel ve ark., 2000). Bununla birlikte *Meloidogyne* spp. *Heterodera* spp. ve *Helicotylenchus* spp. gibi bitki paraziti nematodlara karşı karanj, neem, hint fasulyesi, yabani hardal, pamuk tohumu ve susam gibi bazı azotlu bitkilerin solarizasyonda kullanımı ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Rodriguez-Kabana, 1986). Ayrıca hayvan gübrelere ile (tavuk, inek gübrelere vs.) yapılan çalışmalarda söz konusu uygulamaların sadece toprak kökenli hastalık etmenlerinin (*Fusarium* spp., *Streptomyces scabies* Lambert and Loria, *Verticillium dahliae* Kleb., (1913) gibi) değil ayrıca bitki paraziti nematodların popülasyonlarını önemli derecede azalttığı tespit edilmiştir (Conn ve Lazarovits, 1999). Solarizasyonla uygulanan bu organik maddelerin birçok yararlı toprak mikroorganizmasını ve enzimatik aktivitelerini sıcaklığın zararlı etkilerinden koruduğu da belirtilmektedir (Pokharel, 2011). Solarizasyonun etkinliğini arttıran diğer bir uygulama ise solarizasyona çeşitli kimyasalların dahil edilmesidir. Bu kimyasallar özellikle

solarizasyonun yeterli etkiyi gösteremediği toprak kökenli hastalık ve zararlılardaki etkisini ve solarizasyonun etki edeceği toprak derinliğini arttırabilmektedir (McSorley ve ark., 1999). Bu amaçla kullanılan pek çok kimyasal olsa da özellikle fumigant özellikte olan kloropikrin (chloropicrin), dazomet, dimetil disülfür (dimethyl disulfide), metam potasyum (metam potassium), metam sodyum (metam sodium), 1,3 dikloropropen (1,3-dichloropropene) gibi kimyasallar solarizasyonda etkili bir şekilde kullanılabilir (Benlioğlu ve ark., 2005; D'Addabbo ve ark., 2010; Özarslandan ve ark., 2019; Yücel ve Günaçtı, 2019). Ayrıca fumigant özelliği olmayan granüler formdaki kimyasalların da solarizasyonla birlikte etkili olabilecekleri belirlenmiştir (Lamberti ve ark., 2000). Ayrıca solarizasyonla birlikte kullanılan bazı biyolojik preparatların solarizasyonun etkisinin artmasında önemli olduğu belirtilmektedir. Özellikle solarizasyon sonrası uygulamalarda *Trichoderma harzianum* Rifai, (1969), *Streptomyces* spp., *Bacillus firmus* Bredemann and Werner 1933, *Purpureocillium lilacinum* (*Paecilomyces lilacinus*) ve floresan *Pseudomonas* strainlerinin toprak kökenli birçok hastalık ve zararlı etmene (*Pythium* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* ve *Meloidogyne* spp. gibi) karşı etkin bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir (McGovern ve ark., 2002; Giannakou ve ark., 2007; D'Addabbo ve ark., 2010). Solarizasyon sonrası bu biyokontrol ajanları ile yapılan uygulamalar bitki patojeni hastalık ve zararlı etmenlerin topraktaki kolonizasyonlarını baskılayabilmekte ve solarizasyonun topraktaki etkisinin daha uzun süre devam etmesine imkan sunmaktadır (D'Addabbo ve ark., 2010; Çatalıkaya ve Devran, 2019). Dolayısıyla bu şekildeki entegre uygulamalar toprak solarizasyonu ile birlikte tercih edilmektedir.

4. Sonuç

Bitki paraziti nematodlar, tarımsal ürünlerde verim ve kaliteyi önemli ölçüde düşürmekte ve kimi durumlarda tarımsal üretimi sürdürülemez hale getirebilmektedir. Ayrıca toprakta yaşamaları nedeniyle bunlara karşı mücadele diğer zararlılara göre daha zor ve maliyetli olabilmektedir. Bu nedenle bitki paraziti nematodlar gibi toprak altı zararlıları ile yapılacak mücadelelerde en uygun yöntemlerin entegre bir şekilde kullanımı gerekmektedir. Toprak solarizasyonu tek başına uygulanabileceği gibi, kimyasallar ve biyolojik kontrol ajanlarıyla veya başka mücadele yöntemleriyle de entegre olabilmektedir. Toprak solarizasyonun başarılı olması için belirlenen prensipler çerçevesinde, üreticiler tarafından uygulamalar yapılmalıdır. Toprak solarizasyonunun ekim-dikim öncesi ve sonrası, tarla, meyve bahçesi, fidanlık, sera ve bahçe üretimlerinde kullanımı mümkündür. Bu da solarizasyonun çok geniş bir etkinliğe sahip olduğunu göstermektedir (D'Addabbo ve ark., 2010). Ayrıca birçok hastalık ve zararlıyla etkili bir mücadele imkanı sunmasıyla sürdürülebilir bir üretim yapılmasını sağlamaktadır (Giannakou ve ark., 2007). Özellikle toprak içerisinde dikey yönlü hareket edebilme özelliğine sahip olan bitki paraziti nematodlarla mücadelede solarizasyon, entegre mücadele içerisinde uygulandığında etkili ve sürdürülebilir sonuçlar elde edilebilmektedir (Sauerborn ve ark., 1990; Candido ve ark., 2008; Çatalıkaya ve Devran, 2019). Buna karşın toprak solarizasyonu bitki paraziti nematodlarla mücadelede sihirli bir çözüm değildir. Ancak uygun koşullar altında ve yeterli bir sürede uygulanmasıyla, hastalık etmeni ve zararlı kontrolü için etkili, bitkilerin büyümesini ve verimini artırabilen, ekonomik olarak kabul edilebilir ve çevresel olarak güvenli bir yöntemdir. Fakat

toprak solarizasyonunun bazı coğrafik bölgelerle sınırlı ve yılın belirli dönemlerinde uygulanabilir olması, ayrıca geniş alanlardaki uygulamalarının çok ekonomik olmaması gibi bazı olumsuzlukları bulunmaktadır. Dolayısıyla yapılan uygulamalarda bu olumsuzlukları en aza indirilebilecek entegre zararlı yönetim planlamalarının yapılmasıyla solarizasyon uygulamalarından elde edilen faydanın artırılması sağlanabilecektir.

Kaynaklar

- Ahmad, Y., Hameed, A., Aslam, M., 1996, Effect of soil solarization on corn stalk rot, *Plant and Soil*, 179, 17-24.
- Al-Hazmi, A. S., Dawabeh, A. A. M., Al-Nadhari, S. N., Al-Yahya, F. A. 2017, Comparative efficacy of different approaches to managing *Meloidogyne incognita* on green bean, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24, 149-154.
- Baker, K. F. and Cook, R. J., 1974, Biological control of plant pathogens. *W.H. Freeman & Co. Ltd.*, San Francisco, California, pp 433.
- Barbercheck, M. E. and Von Broembsen, S. L., 1986, Effects of soil solarization on plant-parasitic nematodes and *Phytophthora cinnamomi* in South Africa, *Plant Disease*, 70, 945-950.
- Benlioğlu, S., Boz, Ö., Yıldız, A., Kaşkavalcı, G. and Benlioğlu, K., 2005, Alternative soil solarization treatments for the control of soil-borne disease and weeds of strawberry in the western Anatolia of Turkey, *Journal of Phytopathology*, 153, 423-430.
- Candido, V., D'Addabbo, T., Basile, M., Castronuovo, D. and Miccolis, V., 2008, Greenhouse soil solarization: Effect on weeds, nematodes and yield of tomato and melon. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 221-230.
- Chellemi, D. O., Olson, S. M., Scott, J. W., Mitchell, D. J., and McSorley, R., 1993, Reduction of phytoparasitic nematodes on tomato by soil solarization and genotype, *Journal of Nematology*, 25(4S), 800-805.
- Chen, Y. and Katan, J., 1980, Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties, *Soil Science*, 130(5), 271-277.
- Chen, Y., Gamliel, A., Stapleton, J. J., and Aviad, T., 1991, Chemical, physical and microbial changes related to plant growth in disinfested soils, Katan, J., and DeVay, J. E. (Eds.). *CRC Press*, Boca Raton, Florida, pp 103-129.
- Chen, Y., Katan, J., Gamliel, A., Aviad, T., and Schnitzer, M., 2000, Involvement of soluble organic matter in increased plant growth in solarized soils, *Biology and Fertility of Soils*, 32, 28-34.
- Conn, K. L. and Lazarovits, G., 1999, Impact of animal manures on verticillium wilt, potato scab, and soil microbial populations, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 21, 81-92.
- Çatalkaya, M. and Devran, Z., 2019, Integrated management of *Mi-1* virulent *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 (Tylenchida: Meloidogynidae) in greenhouse tomatoes, *Turkish Journal of Entomology*, 43(2), 157-169.
- D'Addabbo, T., Miccolis, V., Basile, M., and Candido, V., 2010. Soil solarization and sustainable agriculture, In: Lichtfouse, E., (Eds.), *Sociology, organic farming, climate change and soil science, sustainable agriculture reviews 3*, Springer Science+Business Media B.V., London, pp. 217-274.
- Decreamer, W. and Hunt, D. J., 2013, Structure and classification, In: Perry, R. N. and Moens, M., (Eds), *Plant Nematology*, 2nd edition. *CAB International: Boston, MA, USA* pp. 3-37.
- DeVay, J. E., and Katan, J., 1991, Mechanisms of pathogen control in solarized soils, In: DeVay, J. E. and Katan, J., (Eds), *Soil solarization*, *CRC Press*, Boca Raton, Florida, pp. 87-101.
- Di Vito, M., Greco, N., and Saxena, M. C., 1991, Effectiveness of soil solarization for control of *Heterodera ciceri* and *Pratylenchus thornei* on chickpea in Syria, *Nematologia Mediterranea*, 19(1), 109-111.
- Elekçioğlu, İ. H., Gözel, U., Uygun, N., and Erkiş, A., 1995, Toprak solarizasyonunun nematodlar üzerindeki etkilerinin araştırılması, *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 19(3), 185-192.
- Elmore, C. L., 1991, Cost of soil solarization, In: DeVay, J. E., Stapleton, J. J. and Elmore, C. L. (Eds), *Soil solarization*, Proceedings of the 1st International Conference Soil Solarization, Aman, Jordan, FAO plant production and protection paper, 19-25 February 1990, 109, 351-360.
- Evans, K., 1991, Lethal temperatures for eggs of *Globodera rostochiensis*, determined by staining with New Blue R, *Nematologica*, 37, 225-229.
- Gamliel, A., and Katan, J., 1991, Involvement of fluorescent pseudomonads and other microorganisms in increased growth response of plants in solarized soils, *Phytopathology*, 81, 494-502.
- Gamliel, A., Austerweil, M., and Kritzman, G., 2000, Non-chemical approach to soilborne pest management-organic amendments, *Crop Protection*, 19, 847-853.
- Gelsomino, A., Badalucco, L., Landi, L., and Cacco, G., 2006, Soil carbon, nitrogen and phosphorus dynamics as affected by solarization alone or combined with organic amendment, *Plant and Soil*, 279(1-2), 307-325.
- Giannakou, I. O., Anastasiadis, I. A., Gowen, S. R., and Prophetou-Athanasiadou, D. A., 2007, Effects of a non-chemical nematicide combined with soil solarization for the control of root-knot nematodes, *Crop Protection*, 26(11), 1644-1654.
- Giblin-Davis, R. M., and Verkade, S. D., 1988, Solarization for nematode disinfestation of small volumes of soil, *Journal of Nematology*, 2, 41-45.
- Göçmen, H. ve Elekçioğlu, İ. H., 1996, Antalya'da toprak solarizasyonunun seralarda *Meloidogyne Goeldi*, 1887 (Tylenchida, Meloidogynidae) türleri üzerindeki etkilerinin araştırılması, *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 20(1), 81-86.
- Greco, N., Brandonisio, A., and Elia, F., 1985, Control of *Ditylenchus dipsaci*, *Heterodera carotae* and *Meloidogyne javanica* by solarization, *Nematologia Mediterranea*, 13, 191-197.
- Greco, N., D'Addabbo, T., Sasanelli, N., Senhorst, J. W., Stea, V., and Brandonisio, A., 1998, Effect of temperature and exposure times on the mortality of the carrot cyst nematode *Heterodera carotae*, *International Journal of Pest Management*, 44, 99-107.
- Greco, N., Brandonisio, A., and Dangelico, A., 2000, Control of the potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis*, with soil solarization and nematicides, *Nematologia Mediterranea*, 28, 93-99.
- Grünzweig, J. M., Katan, J., Ben-Tal, Y., and Rabinowitch, H. D., 1999, The role of mineral nutrients in the increased growth response of tomato plants in solarized soil, *Plant and Soil*, 206, 21-27.
- Hadar, E., Sofer, S., Brosh, S., Mordechai, M., Cohn, E., and Katan, Y., 1983, Control of clover cyst nematode on carnation, *Hadasseh*, 63, 1698-1700.
- Hasing, J. E., 2002, Agroeconomic effect of soil solarization on fall-planted lettuce, Master's Thesis, *Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College*, 70 p.,

- https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_theses/2362
- Hasson, A. M., Hassaballah, T., Hussain, R., and Abbass, L., 1987, Effect of solar sterilization on nitrification in soil. *Journal of Plant Nutrition*, *Journal of Plant Nutrition*, 10, 1805-1809.
- Heald, C. M. and Robinson, A. F. 1987, Effect of soil solarization on *Rotylenchulus reniformis* in the lower Rio Grande Valley of Texas, *Journal of Nematology*, 19, 93-103.
- Hussey, R. S., 1985, Host parasite relationship and associated physiological changes, In: Sasser, J. N. and Carter, C. C. (Eds). An advanced treatise on Meloidogyne, Vol. I. biology and control. *North Carolina State University Graphics*, Raleigh, North Carolina, pp 143-153.
- Ioannou, N., 2000, Soil solarization as a substitute for methyl bromide fumigation in greenhouse tomato production in Cyprus, *Phytoparasitica*, 28, 248-256.
- Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G. J., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G. K., Kikuchi, T., Manzanilla-López, R., Palomares-Rius, J. E., Wesemael, W. M. L., and Perry, R. N., 2013, Top 10 plant parasitic nematodes in molecular plant pathology, *Molecular Plant Pathology*, 14(9), 946-961.
- Kapoor, R. T., 2013, Soil Solarization: Eco-friendly technology for farmers in agriculture for pest management, *2nd International Conference on Advances in Biological and Pharmaceutical Sciences*, ICABPS 2013, Hong Kong, 17-18.
- Karssen, G., Decraemer, W., and Moens, M. 2013, Root-knot nematodes, In: Perry, R. N. and Moens, M., (Eds), *Plant Nematology*, 2nd edition, *CAB International: Boston*, MA, USA pp. 73-108.
- Kaşkavalcı, G., 2007, Effects of soil solarization and organic amendment treatments for controlling *Meloidogyne incognita* in tomato cultivars in Western Anatolia, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31, 159-167.
- Katan, J., Greenberger, A., Alon, H., and Grinstein, A., 1976, Solar heating by polyethylene mulching for the control of disease caused by soil-borne pathogens, *Phytopathology*, 66, 683-688.
- Katan, J., 1981, Solar heating (solarization) of soil for control soilborne pests, *Annual review of phytopathology*, 19, 211-236.
- Katan, J., 1987, Soil solarization. In: Chet, I. (Eds), *Innovative approaches to plant disease control*, *New York: John Wiley & Sons*, pp. 77-105.
- Katan, J., 2014, Three decades of soil solarization: achievements and limitations, *Acta horticulturae*, 1015, 69-78.
- Koçar, G., Okur, B., ve Şafak, S., 2006, Toprak solarizasyonunda kullanılan değişik örtü malzemelerinin toprak sıcaklığı ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine olan etkileri, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(2), 109-120.
- Kumar, A., Azad, C. S., Kumar, R., Kumar, R., and Imran, M., 2017, Soil solarization: An eco-friendly and effective disease management approach for soil borne disease, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, SP1, 513-515.
- Kurt, S., and Emir, B., 2004, Effect of soil solarization, chicken litter and viscera on populations of soilborne fungal pathogen and pepper growth, *Plant Pathology*, 13, 118-124.
- Lamberti, F., D'addabbo, T., Greco, P., Carella, A., and De Cosmis, P., 2000, Management of root-knot nematodes by combination of soil solarization and fenamiphos in southern Italy. *Nematologia Mediterranea*, 28, 31-45.
- LaMondia, J. A., and Brodie, B. B., 1984, Control of *Globodera rostochiensis* by solar heat, *Plant Disease*, 68, 474-476.
- Linford, M. B., and Oliveria, J. M., 1940. *Rotylenchulus reniformis* nov. gen., n.sp., a nematode parasite of roots. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, 7, 35-42.
- Marahatta, S. P., Wang, K. H., Sipes, B. S., and Hooks, C. R. R., 2012, Effects of integration of sunn hemp and soil solarization on plant-parasitic and free-living nematodes, *Journal of Nematology*, 44(1), 72-79.
- McGovern, R. J., McSorley, R., and Bell, M. L., 2002, Reduction of landscape pathogens in Florida by soil solarization, *Plant Disease*, 86, 1388-1395.
- McSorley, R., Ozores-Hampton, M., Stansly, P. A., and Conner, J. M., 1999, Nematode management, soil fertility, and yield in organic vegetable production, *Nematropica*, 29, 205-13.
- Nico, A. I., Jiménez-Díaz, R. M., and Castillo, P., 2003, Solarization of soil in piles for the control of *Meloidogyne incognita* in olive nurseries in southern Spain, *Plant Pathology*, 52, 770-778.
- Oštrec, L., and Grubišič, D., 2003, Effects of soil solarization on nematodes in Croatia, *Journal of Pesticide Sciences*, 76, 139-144.
- Özarslandan, A., Dinçer, D., and Bozbuğa, R., 2019, Effect of combination of solarization and soil fumigation on root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) (Nematoda: Meloidogynidae) in greenhouses, *KSU Journal of Agriculture and Nature*, 22(1), 45-51.
- Palese, A. M., Giovannini, G., Lucchese, S., and Dumontet, S., 2004, Effect of fire on soil C, N, and microbial biomass, *Agronomie*, 24, 47-53.
- Pokharel, R., 2011, Soil solarization, an alternative to soil fumigants. *Colorado State University, Western Colorado Research Center*, Crop series, Soils, Fact sheet no, 0.505.
- Porter, I. J. and Merriman, P. R., 1983, Effect of solarization of soil on nematode and fungal pathogens at two sites in Victoria, *Soil Biology and Biochemistry*, 15, 39-44.
- Raison, R. J. and McGarity, J. W., 1979, Changes in carbon and nitrogen fractions of graminaceous straws after burning, *Plant and Soil*, 51, 311-318.
- Rodriguez-Kabana, R., 1986, Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants, *Journal of Nematology*, 18, 129-135.
- Rubin, B., Cohen, O., and Gamliel, A., 2007, Soil solarization: An environmentally-friendly alternative, *Technical Workshop on non-chemical alternatives to replace methyl bromide as a soil fumigant*, Budapest, Hungary, 71-78.
- Safdar, M. E., Safdar, M., Ali, A., Farooq, N., Sarwar, G., Hassan, I., Nadeem, M. A., and Abbas, T., 2021, Soil solarization improves soil fertility in addition to weed management in sesame under subtropical conditions of Pakistan, *Advances in Weed Science*, 39, e020219464.
- Sasanelli, N., Konrat, A., Migunova, V., Toderas, I., Iurcu-Straistaru, E., Rusu, S., Bivol, A., Andoni, C., and Veronico, P., 2021, Review on control methods against plant parasitic nematodes applied in southern member states (C Zone) of the European Union, *Agriculture*, 11, 602.
- Sauerborn, J., Saxena, M. C., and Masri, H., 1990, Control of faba bean nematodes by soil solarization in Syria, *Arab Journal of Plant Protection*, 8(1), 38-40.
- Scopa, A. and Dumontet, S., 2007, Soil solarization: Effects on soil microbiological parameters, *Journal of Plant Nutrition*, 30, 537-547.

- Sharma, M. and Sharma, S. K., 2002, Effect of soil solarization on soil microflora with special reference to *Dematophora necatrix* in apple nurseries, *Indian Phytopathology*, 55(2), 158-162.
- Singh, Y., Ojha, R. K., and Chawla, S., 2012, Soil solarization: An ecofriendly disease management strategy, In: Singh, V. K., Singh, Y., and Singh, A. (Eds), *Eco-friendly innovative approaches in plant disease management*, IBD Publishers & Distributors, India, pp. 55-70.
- Stapleton, J. J. and DeVay, J. E., 1986, Soil solarization: A non-chemical approach for management of plant pathogens and pests, *Crop Protection*, 5, 190-198.
- Stapleton, J. J. and DeVay, J. E., 1995, Soil solarization: A natural mechanism of integrated pest management, In: Reuveni, R. (Eds), *Novel Approaches to Integrated Pest Management*, Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 309-322.
- Stapleton, J. J., 1997, Soil Solarization: An alternative soil disinfection strategy comes of age, *UC Plant Protection Quarterly*, 7, 1-5.
- Stapleton, J. J., 2000, Soil solarization in various agricultural production systems, *Crop Protection*, 19, 837-841.
- Stapleton, J. J., Marshall, M. N., VanderGheynst, J. S., 2006, Response of phytoparasitic nematodes and microbial soil community structure to high-temperature tent solarization for disinfecting container nursery soil, California Conference on Biological Control V (CCBC V), Riverside, California, USA, 25 - 27 July, pp. 184-187.
- Stapleton, J. J., Wilen, C. A., Molinar, M. H., 2019, UC IPM notes: Soil solarization for gardens and landscapes, *UC ANR Publication*, 74145, Oakland, CA.
- Söğüt, M. A. and Elekçioğlu, İ. H., 2007, Methyl bromide alternatives for controlling *Meloidogyne incognita* in pepper cultivars in the Eastern Mediterranean Region of Turkey, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31, 31-40.
- Subedi, P., Gattoni, K., Liu, W., Lawrence, K. S., Park, S. W., 2020, Current utility of plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents towards plant-parasitic nematodes, *Plants*, 9(9), 1167.
- Viaene, N., Coyne, D. L., and Davies, K. G. 2013, Biological and cultural management, In: Perry, R.N. and Moens, M., (Eds), *Plant Nematology*, CAB International, Wallingford, Oxfordshire, pp. 384-404.
- Wang, K. H. and McSorley, R., 2008, Exposure time to lethal temperature for *Meloidogyne incognita* suppression and its implication for soil solarization, *Journal of Nematology*, 40, 7-12.
- Yan, Q., Duan, Z., Mao, J., Li, X., and Dong, F., 2012, Effect of root-zone temperature and N, P, and K, supplies on nutrient uptake of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings in hydroponics, *Soil Science and Plant Nutrition*, 58(6), 707-717.
- Yücel, S., Elekçioğlu, İ. H., Can, C., Söğüt, M. A., and Özarslandan, A., 2007 Alternative treatments to Methyl Bromide in the Eastern Mediterranean Region of Turkey, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(1), 47-53.
- Yücel, S., Özarslandan, A., ve Can, C., 2015, Örtü Altı sebze ve çilek yetiştiriciliğinde toprak dezenfeksiyonu uygulamaları, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19(3), 144-150.
- Yücel, S. ve Günaçtı, H., 2019, Toprak solarizasyonu ve fumigant uygulamalarının domates ve çilek seralarında fungal kök hastalıklarına etkisi, *Toprak Su Dergisi*, 8(2), 107-113.
- Zaid, A. M., Esmael, W., Bashie, F., and Gajeam, M., 2014, Control of plant parasitic nematodes and soil borne fungal pathogens by soil solarization in northern region of Libya, *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 16(1), 303-310.
- Zayed, M. S., Hassanein, M. K. K., Esa, N. H., and Abdallah, M. M. F., 2013, Productivity of pepper crop (*Capsicum annum* L.) as affected by organic fertilizer, soil, and endomycorrhizae, *Annals of Agricultural Sciences*, 58(2), 131-137.