



Bitki Paraziti Nematodlarla Mücadelede Kullanılan Nematisitlerin Etki Mekanizmaları^A

İbrahim MISTANOĞLU¹, Gülsüm UYSAL², Zübeyir DEVRAN^{3*}

Öz: Bitki paraziti nematodlar, özellikle tropikal ve subtropikal bölgelerde, birçok bitkide zararlara neden olan ve ekonomik kayba yol açan obligat parazitlerdir. Bu zararlıların neden olduğu kayıpları önlemek için kimyasal nematisitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte artan çevre bilinci sonucu birçok nematisit yasaklanmış ya da kullanımı sınırlandırılmıştır. Tarımsal endüstride daha güvenli, daha az toksik ve daha seçici ürünlere yönelik talep artmakta ve son yıllarda yeni nesil nematisitlerin geliştirilmesi konusunda yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu derlemede kullanım miktarı ve tarımsal üretimdeki önemi gün geçtikçe artan kimyasal nematisitlerin etki mekanizmaları hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır. IRAC'ın yapmış olduğu sınıflandırma temel alınarak kimyasal nematisitler; Acetylcholinesterase (AChE) inhibitörleri, Glutamat reseptörü klor kanalı üzerinde etkili olanlar, Mitokondriyal kompleks II elektron taşıyıcı inhibitörleri, Acetyl CoA carboxylase inhibitörleri, etkinliği bilinmeyen bileşikler ve etkinliği bilinmeyen çoklu bölge inhibitörleri olmak üzere 6 başlıkta incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitki paraziti nematodlar, etki mekanizması, IRAC, kimyasal mücadele, nematisit.

^A Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir.

* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ³ Zübeyir DEVRAN, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya, Türkiye, zdevran@akdeniz.edu.tr, [OrcID 0000-0001-7150-284X](https://orcid.org/0000-0001-7150-284X)

¹ İbrahim MISTANOĞLU, Bolvadin İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Afyonkarahisar, Türkiye, i_mistanoglu@hotmail.com, [OrcID 0000-0002-8635-0321](https://orcid.org/0000-0002-8635-0321)

² Gülsüm UYSAL, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitü Müdürlüğü, Antalya, Türkiye, gulsumuysal.gu@gmail.com, [OrcID 0000-0003-1722-2518](https://orcid.org/0000-0003-1722-2518)

Mode of Action of Nematicides Used in the Management of Plant Parasitic Nematodes

Abstract: Plant parasitic nematodes are obligate parasitic pests that cause damage to many plants and cause economic loss, especially in tropical and subtropical regions. Chemical nematicides are widely used to prevent losses caused by these pests. However, as a result of increased environmental awareness, many nematicides have been banned or their use has been restricted. In recent years, there is a demand for safer, less toxic and more selective products in the agricultural industry and intensive research has been carried out on the development of new generation nematicides. In this review, it is aimed to give information about the mode of action of chemical nematicides, which increase the amount of use and importance in agricultural production day by day. Chemical nematicides based on the classification made by IRAC have been examined under 6 titles as Acetylcholinesterase (AChE) inhibitors, Glutamate-gated chloride channel (GluCl) allosteric modulators, Mitochondrial complex II electron transport inhibitors, Inhibitors of acetyl CoA carboxylase, Unknown and Presumed multi-site inhibitor.

Keywords: Plant parasitic nematodes, mode of action, IRAC, chemical management, nematicide.

Giriş

Bitki paraziti nematodlar; obligat parazit canlılar olup günümüze kadar yaklaşık 4100 türü tanımlanmıştır (Decraemer ve Hunt, 2013). Ülkemizde de farklı bitki gruplarında birçok bitki paraziti nematod türünün bulunduğu bildirilmiştir (Aydınlı ve ark., 2013; Mıstanoğlu ve ark., 2015; Aydınlı ve Mennan, 2016; Devran ve ark., 2017; Uysal ve ark., 2017; Yağcı ve Kaşkavalcı, 2018; Behmand ve ark., 2019; Özalp ve ark., 2020). Bitki paraziti nematodlar sebze, meyve, endüstri bitkileri ve süs bitkilerinde önemli verim ve kalite kaybına yol açmaktadır (Karssen ve ark., 2013; Mıstanoğlu ve Devran, 2015; Göze Özdemir, 2018). Bunların neden olduğu ürünlerdeki zarar oranı ve ekonomik kayıplar nematod türüne, konukçu bitkiye ve ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Tropik ve subtropik ülkelerde ürün kaybı %14.6 iken ılıman iklim kuşağına sahip gelişmiş ülkelerde bu oran %8.8 olarak tahmin edilmektedir (Nicol ve ark., 2011). Bitki paraziti nematodların ekonomik öneme sahip tarımsal ürünlerdeki zararı %3-90 oranında değişmektedir. Dünyadaki ortalama ürün kaybı ise %12.6 olarak rapor edilmiştir (Chitwood, 2003; Lopes-Caitar ve ark., 2019). Bitki paraziti nematodların dünya genelinde oluşturdukları yıllık ekonomik kayıp miktarının 173 milyar \$ olduğu belirtilmiştir (Elling, 2013). Bu kayıplar Hindistan'da yıllık yaklaşık 40,3 milyon \$, Avustralya'da 400 milyon \$, Güney Afrika'da 216 milyon \$, Amerika'da ise 13 milyar \$ olarak rapor edilmiştir (Singh ve ark., 2015; Elling, 2013; Hassan ve ark., 2013).

Bitki paraziti nematodların mücadelesinde kültürel yöntemler, karantina önlemleri, fiziksel uygulamalar, biyolojik mikroorganizmalar ve kimyasallar kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en sık başvurulan

kimyasal mücadele, önerilere uygun yapıldığında kısa sürede etkinlik göstermesi ve uygulama kolaylığı gibi nedenlerden dolayı üreticiler tarafından tercih edilmektedir. Tarımsal üretimde genel olarak hastalık etmenleri ve zararlılarla yapılan mücadele kapsamında kullanılan ve diğer maddelerle formüle edilmiş bir ya da daha fazla aktif maddeden oluşan kimyasallara (preparat veya organizmaya) *pestisit* adı verilmektedir (Haydock ve ark., 2013). Nematodlarla mücadelede kullanılan kimyasallar ise *nematisit* olarak adlandırılmaktadır. Bu kimyasallardan bazıları nematodları direk öldürebildikleri gibi, bazıları da larvaları belli bir süre boyunca felce (paralize) uğratarak etkili olabilmektedir. Nematodları paralyze ederek etki eden kimyasallara ise *nematisitik* veya *nematisit* adı verilmektedir. Ancak nematisitlerin ölümcül olmayan bu etkilerinden dolayı ilerleyen dönemlerde nematodların zararlarına devam etmesi mümkün olabilmektedir (Haydock ve ark., 2013). Farklı özelliklere sahip olan bu nematisitler, genel olarak nematod popülasyonlarının yoğunluklarını düşürerek neden oldukları zararı azaltmak için kullanılmaktadır. Böylelikle uygulandığı alanlarda yetiştirilen bitkilerde verim kaybında azalma ve kalitede artışa neden olabilmektedirler (Haydock ve ark., 2013).

Bitki paraziti nematodlarla mücadelede kullanılan nematisitler öncelikle kimyasallar ve biyolojik kökenliler [biyonematisitler (bakteri, fungus ve bitkisel/hayvansal kökenliler)] olarak iki gruba ayrılmaktadır (Ebene ve ark., 2019, IRAC, 2019; Sparks ve ark., 2020). Bu derlemede kimyasal kökenli nematisitler ve bunların etki mekanizmaları hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

1. Kimyasal Nematisitler

Nematodlarla mücadelede kullanılan ve 1881 yılında nematisidal etkileri tespit edilen ilk kimyasal Carbon disulphide'dir (Rich ve ark., 2004). Bunu 1960'lı yılların ortalarından 1990'lara kadar fumigant aktivitelerden yoksun, yeni nesil nematisitler olan carbamate'lar (aldicarb 1966'da tanımlandı), organophosphate'lar (fenamiphos 1967'de tanımlandı) ve fosthiazate'ın keşfi izlemiştir (Çizelge 1) (Chitwood, 2003; Jones, 2017).

Çizelge 1. Nematositlerin gelişiminin kronolojik süreci (Rich ve ark., 2004; Desaeger ve ark., 2020).

Yaygın Adı	Kimyasal Ad(lar)ı	İlk Kullanım Yılı	Ürün Tipi/Kimyası
Carbon disulfide	Carbon disulfide; Carbon bisulfide	1881	Fumigant
Chloropicrin	Trichloronitromethane	1920	Fumigant
Formaldehyde	Formalin	1930	Fumigant
Methyl bromide	Bromomethane	1932	Fumigant
D-D mixture	1,2-dichloropropane; 1,3-dichloropropene	1943	Fumigant
DBCP	1,2-dibromo-3-chloropropane	1954	Fumigant
1,3-Dichloropropene	1,3-Dichloro-1-propene	1954	Fumigant
Metham	Sodium N-methyl dithiocarbamate	1954	MIT generator
V-C 13*	Dichlofenthion	1955	Organophosphate
Fensulfothion	0,0-diethyl 0-4-(methylsulfinyl) Phenylphosphorothioate	1957	Organophosphate
Ethoprop(hos)	0-ethyl S,S-dipropyl phosphorodithioate	1963	Organophosphate
Aldicarb	2-methyl-2-(methylthio) propionaldehyde 0-(methylcarbamoyl) oxime	1965	Carbamate
Dazomet	3,5-Dimethyl-1,3,5-thiadiazinane-2-thione	1967	MIT generator
Fenamiphos (Phenamiphos)	Ethyl 3-methyl-4-(methylthio) phenyl (1-methyl) phosphoramidate	1968	Organophosphate
Carbofuran	2,3-dihydro-2,2-dimethyl-7-benzofuranyl methylcarbamate	1969	Carbamate
Oxamyl	S-methyl N'N'-dimethyl-N-[(methyl Carbamoyl)oxy]-1-thio-oxamimidate	1972	Carbamate
Enzone	Sodium tetrathiocarbamate	1978	Fumigant
Ivermectin / Abamectin	Avermectin B1	1981	Lakton
Cadusafos	S,S-di-sec-butyl 0-ethyl phosphorodithioate	1990	Organophosphate
Fosthiazate	S-(RS)-sec-butyl 0-ethyl (RS)-(2-oxothiazolidin-3-yl) phosphothioate	1992	Organophosphate
Methyl iodide	Iodomethane	2007	Fumigant
Spirotetramat	(5s,8s)-3-(2,5-Dimethylphenyl)-8-methoxy-2-oxo-1-azaspiro[4.5]dec-3-en-4-yl ethyl carbonate	2008	Tetramik asit
Dimethyl disulfide	Methyl Disulfide	2010	Fumigant
Imicyafos	(E)-[1-[ethoxy(propylsulfanyl)phosphoryl]-3-ethylimidazolidin-2-ylidene]cyanamide	2010	Organophosphate
Allyl isothiocyanate	3-isothiocyanatoprop-1-ene	2013	Fumigant
Fluopyram	N-[2-[3-chloro-5-(trifluoromethyl)-2-pyridyl]ethyl]-2-(trifluoromethyl)benzamide	2013	Benzamide
Fluensulfone	5-chloro-2-[(3,4,4-trifluorobut-3-enyl)sulfonyl]thiazole	2014	Thiazol
Tioxazafen	3-phenyl-5-(2-thienyl)-1,2,4-oxadiazole	2017	Oxadiazol
Fluazaindolizine	8-chloro-N-[(2-chloro-5-methoxyphenyl)sulfonyl]-6-(trifluoromethyl)imidazo[1,2-a]pyridine-2-carboxamide	2020	Carboxamid
Cyclobutrifluram	rel-N-[(1R,2R)-2-(2,4-dichlorophenyl)cyclobutyl]-2-(trifluoromethyl)-3-pyridinecarboxamide	**	Benzamide

MIT: Metil izotiyosiyanat üreticisi (Methyl isothiocyanate generators), *Fumigant olmayan (non-fumigant) ilk nematist; ** 2021 den sonra kullanılmaya başlanması beklenmekte.

Dünyada tarımsal üretimde kullanılan bitki koruma ürünlerinin oransal dağılımı %48 herbisitler, %30 insektisitler, %18 fungusitler ve nematistlerin de içinde yer aldığı %7'lik diğer kimyasalları içermektedir (Kang ve ark., 2016). Türkiye'de tarımsal ilaç kullanım miktarları sırasıyla fungusitler (19.698 ton), herbisitler (12.644 ton), insektisitler (11.609 ton), nematistler, bitki aktivatörleri, bitki gelişim düzenleyiciler, böcek cezbedicileri ve fumigantları içeren grup (4.958 ton), akarisitler (2.124 ton) ve rodentisit-mollusisitler (264 ton)'dur (TUIK,

2019). Nematositlerin kullanımı dünyada olduğu gibi Türkiye’de de sürekli artmaktadır. ABD’de nematisit kullanım miktarı 84.000 ton ve Batı Avrupa’da ise 48.000 ton’dur (Haydock ve ark., 2013). Global ilaç şirketleri yeni nematisitlerin keşfi üzerine önemli yatırımlar yapmakta ve her yıl yaklaşık 250.000 ton aktif madde nematisit pazarında kullanılmaktadır (Haydock ve ark., 2013). Dünyada tarımsal üretimde kullanılan kimyasal pazar değerleri; herbisitler 32.6 milyar \$, insektisitler 16.4 milyar \$ ve fungusitler 13.4 milyar \$ ile sıralanmaktadır (Mordor Intelligence, 2020; Oka, 2020). Nematositler ise yıllık 200 milyon \$ civarında bir geliştirme maliyetine sahip olmasına rağmen küresel pazardaki payı diğer gruplardan oldukça geride olup 1.3 milyar \$ civarındadır (Mordor Intelligence, 2020; Oka, 2020). ABD’deki nematisit pazarı yılda yaklaşık 300 milyon \$ (231 milyon €) değerindedir (Haydock ve ark., 2013; Oka, 2020). Nematositlerin tarımsal üretimdeki önemi ve pestisit pazarındaki payı her geçen gün artmaktadır. Ancak dünyada çevre ve insan sağlığı açısından sorunlara neden olan bazı nematisitlerin kullanımı sınırlandırılmış ya da yasaklanmıştır. Bazı nematisitlerin dünyadaki ve Türkiye’deki durumları Çizelge 2’de listelenmiştir.

Çizelge 2. Dünyada ve Türkiye’de nematodlarla mücadelede kullanılan kimyasalların durumlarının karşılaştırılması (CIRS, 2021; TOB, 2021; Acharya, 2020; PAN, 2021; EU pesticides databases, 2021).

Grup Adı	Kimyasal İsmi	Dünyadaki Kullanımı				Grup Adı	Kimyasal İsmi	Dünyadaki Kullanımı			
		1	2	3	4			1	2	3	4
N-1A: Carbamates	Aldicarb	+	-	-	-	N-UN: Çeşitli kimyasallar	Fluazaindolizine	+	*	*	*
	Benfuracarb	+	-	+	-		Fluensulfone	+	*	*	*
	Carbofuran	+	-	+	-		Furfural	c,d	-	+	-
	Carbosulfan	+	-	-	-		Iprodione	c	-	*	-
	Thiodicarb	+	-	+	-		Tioxazafen	+	-	*	-
	Oxamyl	+	+	+	-		Carbon Disulfide	*	-	*	-
N1B: Organophosphates	Ethoprophos	+	-	-	a	N-UNX: Çeşitli fumigantlar	DMDS (dimethyl disulfide)	+	a	*	+
	Fenamiphos	+	-	-	+		Sodium tetrathiocarbonate	*	-	*	*
	Fosthiazate		+		+		Methyl bromide	-	-	-	b
	Phorate	+	-	-	-		Methyl Iodide (Iodomethane)	*	*	*	+
	Imicyafos	*	-	*	-		DBCP	-	-	*	-
	Cadusafos	+	-	-	-		1,3- Dichloropropene	+	a	*	-
	Terbufos	+	-	-			Chloropicrin	c	a	+	-
N-2: Avermectins	Abamectin	d	+	*	+	Allyl isothiocyanate	+	*	*	+	
	Emamectin Benzoat	*	d	*	d	Dazomet	+	+	+	+	
N-3: Pyridylmethylbenzamides	Fluopyram	+	+	+	+	Metam Potassium	+	+	*	+	
N-4: Tetronic ve Tetramic acid Türevleri	Spirotetramat	+	d	+	d	Metam Sodium	+	a	+	+	

1: Amerika’daki kullanım; 2: Avrupa’daki Kullanım; 3: Çin’deki kullanım; 4: Ülkemizdeki kullanımı; a: Beklemede; b: Depolanmış ürünlerde fumigant; c: Fungusit ruhsatlı; d: İnsektisit ruhsatlı; (+: kullanımı mevcut, -:kullanımı yok, *: Herhangi bir bilgi bulunmamakta)

Tarımsal mücadelede kullanılan kimyasalların etki mekanizmalarının bilinmesi yapılacak mücadelenin etkin ve sürdürülebilir olmasını sağlayabilmektedir. Dolayısıyla kimyasal mücadelede kullanılacak nematisitlerin etki mekanizmalarının bilinmesi, başarı şansının ve mücadele masraflarının azaltılması açısından önemlidir. Nematisitler için etki mekanizmalarına göre yapılan en önemli ve kabul gören gruplandırma ise IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) tarafından gerçekleştirilmiştir (IRAC, 2019). Bu gruplandırmada nematisitler 10 farklı gruba ayrılmıştır (Çizelge 3). Bu derlemede kimyasal özelliklere sahip grupların özellikleri incelenmiştir.

Çizelge 3. Etki mekanizmaları ve kimyasal yapılarına göre nematisit grupları (IRAC, 2019)

Grup Adı	Etki Mekanizması	Kimyasal Grup	Etkili Madde	IRAC /FRAC Grupları
N-1A N-1B	Acetylcholinesterase (AChE) inhibitörleri	A: Carbamates B: Organophosphates	A: Aldicarb, Carbosulfan, Carbofuran, Oxamyl B: Cadusafos, Fenamiphos, Ethoprophos, Fosthiazate	IRAC: 1A; 1B
N-2	Glutamat reseptörü klor kanalı (GluCl _s) modülatörleri	Avermectins	Abamectin	IRAC: 6
N-3	Mitokondriyal kompleks II elektron taşıyıcı inhibitörleri	Pyridylmethyl-benzamides	Fluopyram	FRAC: C2
N-4	Acetyl CoA carboxylase inhibitörleri	Tetronic ve Tetramic acid türevleri	Spirotetramat	IRAC:23
N-UN	Etki mekanizması bilinmeyen bileşikler	Çeşitli kimyasallar	Furfural, Iprodione, Tioxafen, Fluosulfone, Fluoazaindolizine	
N-UNX	Etki mekanizması bilinmeyen ya da emin olunmayan bileşikler (Çoklu bölge inhibitörleri)	Çeşitli fumigantlar	Carbon Disulfide, DMDS, Methyl bromide, Methyl Iodide, 1,3-Dichloropropene, Chloropicrin, Dazomet, Metam sodyum, Metam Potasyum, Allyl isothiocyanate	IRAC: 8
N-UNB	Bakteriyel ajanlar veya ürünleri	Bakteri ve bakteri türevleri	<i>Bacillus</i> spp. <i>Pasteuria</i> spp.	
N-UNF	Fungal ajanlar veya ürünleri	Fungus ve fungus türevleri	<i>Arthrobotrys</i> spp. <i>Paecilomyces</i> spp.	
N-UNE	Bitkiler veya hayvanlardan elde edilen etkisi bilinmeyen ajanlar	Bitki ve hayvan türevleri	Azadirachtin <i>Quillaja saponaria</i>	

1.1. Acetylcholinesterase (AChE) inhibitörleri (IRAC:1A; 1B / N:1A; 1B)

Carbamate'lar (N:1A) ve Organophosphate'lar (N:1B), sinir sistemi üzerinde etkili olan kimyasal gruplardır (IRAC, 2019). Bu gruplardaki kimyasallar sinir sistemindeki sinaptik boşluklarda uyarıların iletiminden sorumlu asetilkolinin hidrolizini yapan asetilkolinesteraz (AChE) enzimine bağlanarak inhibe etmekte ve sinir sisteminin işleyişini bozmaktadır (Opperman ve Chang, 1990; Haydock ve ark., 2013). Carbamate'lar (Aldicarb, Carbosulfan, Oxamyl vb.) ve Organophosphate'lar (Fenamiphos, Ethoprophos, Imicyafos vb.) toprağa granüler veya sıvı formda uygulanabilmektedir. Bu kimyasallar düşük konsantrasyonlarda nematodların kimyasal

yönelim ve konukçuyu bulma yeteneğini, yüksek konsantrasyonlarda ise nematod yumurta açılımı ve hareketliliğini bozabilmektedir (Haydock ve ark., 2013). Ancak alkyl organofosfatlar haricinde bu gruptaki nematodların biyokimyasal etkileri geriye dönüşümlüdür (nematostat ya da nematostatik etki) (Sánchez-Bayo ve ark., 2013; Haydock ve ark., 2013). Dolayısıyla rizosferdeki kimyasalların etkinliğinin geçmesinden sonra nematodlar konukçuda zarara neden olabilmektedirler (Sikora ve Hartwig, 1991). Ancak bu kimyasalların uygun bir süre (4-8 hafta) nematodlarla temas halinde kalması nematod enfeksiyonunun önlenmesi ve erken dönemde iyi bir konukçu kök gelişiminin oluşmasını sağlayabilmektedir (Rich ve ark., 2004).

1.2. Glutamat reseptörü klor kanalı (GluCl) modülatörleri (IRAC: 6 / N:2)

Glutamat reseptörü klor kanalı (GluCl) modülatörleri [Glutamate-gated chloride channel (GluCl) allosteric modulators] omurgasız organizmalarda hareketi kontrol ederek ve beslenmeyi düzenleyerek omurgasız sinir sistemlerinde önemli rollere sahiptirler. Nematodlar ve eklembacaklılara ait bu yapı (GluCl)'ları, pestisitlerin makrosiklik lakton ailesi (macrocyclic lactone family) tarafından hedeflenmektedir (Wolstenholme, 2012). Söz konusu grup avermectin'ler olarak adlandırılmakta ve bir toprak mikroorganizması olan *Streptomyces avermitilis* MA-4680'den üretilen (A1_a, A1_b, A2_a, A2_b, B1_a, B1_b, B2_a, B2_b gibi) 16 farklı kimyasaldan oluşmaktadır (Faske and Starr, 2006). Bu kimyasalların en önemlileri ise B1_a ve B1_b'dir (Khalil, 2013). Farklı oranlarda birleşerek [avermectin B1_a (≥80%) ve avermectin B1_b (≤20%)] abamectin adını alan bu kimyasallar hem toprak hem de yaprağa uygulanabilmektedir (Khalil, 2013; Qiao ve ark., 2011). Avermectin'lerin, eklembacaklıların nöromusküler bağlantı noktalarında sinirsel iletimi engelleyerek etki ettiği, avermectin B1_a'nın ise nematodlarda sinir hücreleri arasındaki sinyal iletimini engellediği tahmin edilmektedir (Putter ve ark., 1981). Dolayısıyla avermectin ve homologlarının nematodlar, böcekler ve akarlar gibi farklı zararlılar üzerinde etkili oldukları da bilinmektedir (Khalil, 2013; Faske ve Starr, 2006; Qiao ve ark., 2011). Ayrıca abamectinin toprakta yarılanma ömrünün ise 2 haftadan 2 aya kadar değiştiği ve bu kimyasalın etkinliğinin doğal bozulma nedeniyle azalabildiği bildirilmektedir (Qiao ve ark., 2011).

1.3. Mitokondriyal kompleks II elektron taşıma inhibitörleri (FRAC: C2 / N:3)

Bu gruptaki kimyasallar fenil-benzamid kimyasal grubunda olup, solunum zincirindeki en küçük kompleks olan süksinat dehidrogenaz'ın inhibitörüdür (Succinate Dehydrogenase Inhibitor-SDHI) (Avenot ve Michailides, 2010; IRAC, 2019). Hem fungusit, hem de nematosis özelliği olan bu kimyasallar hücrelerdeki enerji üretimini engellemektedir. Bunu da mitokondri içinde solunum zincirindeki elektronların taşınmasını engelleyen süksinat dehidrogenaz (SDH) kompleksine bağlanması sonucu canlı organizmalarda enerji için gerekli bir molekül olan adozin trifosfat (ATP) üretimini durdurarak yapmaktadır (Avenot ve Michailides, 2010; Hawk, 2019). Bu etkinlikleri nedeniyle söz konusu kimyasallar fungusların ve nematodların hücresel solunumunu engellemektedir (Avenot ve Michailides, 2010). Yapılan çalışmalarda nemastatik etkiye sahip oldukları belirlenen bu kimyasalların nematodların yumurta açılımlarını azaltarak popülasyon yoğunluklarını düşürdüğü, hareketleri

üzerinde etkili olarak infeksiyon yeteneklerini azalttığı böylece bitkide verim artışına neden oldukları belirlenmiştir (Faske ve Hurd, 2015; Hajihassani ve ark., 2019; Feist ve ark., 2020).

1.4. Acetyl CoA carboxylase inhibitörleri (IRAC:23 / N:4)

Tetronik ve tetramik asit türevi kimyasallardan oluşan bu gruptaki tek nematisit spirotetramat'tır (IRAC, 2019). Spirotetramat bitkiye uygulandıktan sonra doku içerisinde hidrolize olmakta ve spirotetramat-enol'e dönüşmektedir (Smiley ve ark., 2011). Bu ise iletim (vasküler) sistemi vasıtasıyla yukarı (ksilemle) ve aşağı (floem) doğru taşınabilen tam sistemik (ambimobility ya da two-way systemicity) özellikte bir kimyasaldır (Nauen ve ark., 2008; Brück ve ark., 2009; Salazar-Lopez ve ark., 2016). İlk başta, sistemik etkili bir insektisit olarak üretilen spirotetramat'ın sonraki yapılan çalışmalarda bitki paraziti nematodları da baskıladığı tespit edilmiştir (McKenry ve ark., 2009). Spirotetramat özellikle lipit içeriğinin azaltılması, kütikula atımının ve acetyl-CoA carboxylase'ın engellenmesi ve yumurta üretiminin azaltılması gibi konularda lipit biyosentez inhibitörü olarak etkili olmaktadır (Gutbrod ve ark., 2018; Waisen ve ark., 2019). Spirotetramat'ın toprak uygulamalarında kalıntı aktivitesi, 1-4 gün ve yaklaşık %90'lık bir azalma ile çok kısa ömürlüdür. Buna karşın bitkilerde 2 haftadan fazla süreyle yüksek toksik seviyeleri koruduğu tespit edilmiştir (Brück ve ark., 2009; Smiley ve ark., 2011).

1.5. Etki mekanizması bilinmeyen bileşikler (N:UN)

IRAC tarafından yapılan sınıflandırmada bu grup içerisinde furfural, iprodione, tiozazafen, fluensulfone ve fluazaindolizine bulunmaktadır (IRAC, 2019). Örneğin furfural'ın herbisit, insektisit, bakterisit ve fungusit etkileri bilinmektedir. Nematisidal etkisi ise ilk kez 1990'lı yıllarda tespit edilmiş olup nematod kütikula tabakasının yıkımında etkili olabileceği tahmin edilmektedir (Zasada ve ark., 2010; Osman ve ark., 2017). Iprodione, birçok fungus (*Botrytis* spp., *Alternaria* spp., *Sclerotinia* spp.) karşı kullanılan kontak etkili bir fungusittir (d'Errico ve ark., 2017). Ancak yapılan çalışmalarda iprodion'un özellikle nematodların larvaları üzerinde nematostat etkilere sahip olduğu böylelikle de bireylerin konukçularını bulma ve beslenme gibi yeteneklerinde azalmaya neden olduğu gözlenmiştir (d'Errico ve ark., 2017). Ayrıca bu etkili maddenin kök-ur ve kist nematodlarında yumurta kümesi ve kist oluşumunu azalttığı dolayısıyla popülasyon artışını baskıladığı da belirlenmiştir (Cui ve ark., 2017). Bu grup içerisindeki bir diğer kimyasal olan tiozazafen hakkında çok az veri olmasına rağmen etki mekanizmasının nematodların ribozomal aktivitesinin bozulmasıyla bağlantılı olabileceği düşünülmektedir (Desaeger ve ark., 2020). Etki mekanizması bilinmeyen bileşikler grubundaki bu kimyasallardan bazılarının etki mekanizmalarının anlaşılabilmesi amacıyla son yıllarda bazı çalışmalar yapılmıştır. Yeni nesil nematisitlerden 3-F olarak adlandırılan fluopyram, fluensulfone ve fluazaindolizine'in etki mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla farklı bitki gruplarında özellikle kök-ur nematodları üzerine etkinlik çalışmaları yapılmaktadır (Desaeger ve ark., 2020, Oka ve Saroya, 2019). Fluensulfone ile yapılan çalışmalarda söz konusu kimyasalın nematodların hareket yeteneğinin ve lipit metabolizmasının bozulmasına, sonrasında da nematodların ölümüne neden olduğu belirlenmiştir (Kearn ve ark., 2017; Feist ve

ark., 2020). Fluazaindolizine ise en son geliştirilen nematisitlerden biridir (Lahm ve ark., 2017). Etki mekanizması henüz bilinmemekle birlikte sistemik bir etki göstermediği, özellikle etkisinin yavaş olduğu, ovisidal ya da yumurta açılımı üzerinde etkili olmadığı belirtilmiştir (Lahm ve ark., 2017; Thoden ve ark., 2019).

1.6. Etki mekanizması bilinmeyen ya da emin olunmayan bileşikler (IRAC:8 / N:UNX)

Bu gruptaki kimyasallar IRAC tarafından uçucu kükürt üretenler (volatile sulphur generator), karbon disülfid salımı yapanlar (karbon disulfide liberator), alkil halojenürler (alkyl halides), halojenli hidrokarbonlar (halogenated hydrocarbon), kloropikrin (chloropicrin) ve metil izotiyosiyanat üretenler (methyl isothiocyanate generator) olarak gruplandırılmıştır (IRAC, 2019). Bu gruplardan uçucu kükürt üretenler içerisinde yer alan carbon disulfide ve dimethyl disulfide-DMDS nematodlarla mücadelede önemli kimyasallardır. Carbon disulfide (CS₂) bakteriyostatik, fungisidal, nematisidal ve insektisidal özelliklere sahip uçucu, yanıcı, kötü kokulu bir sıvıdır ve ticarileşen ilk nematisittir (Hartel ve Haines, 1991; Chitwood, 2003). Özellikle *Alliaceae* (sarımsak, soğan ve pırasa) ve *Brassicaceae* (brokoli, hardal, lahana vs.) üyelerinden elde edilen önemli bir biyofumigant olan DMDS'nin *Fusarium* spp. ve *Verticillium* spp. gibi toprak kökenli patojenlerin kontrolünde etkin bir şekilde kullanıldığı belirtilmiştir (Arnault ve ark., 2013). Fakat sonrasında yapılan çalışmalarla nematisidal aktivitesi de tespit edilmiş ve tarımsal üretimde bitki paraziti nematodlarla mücadelede kullanılmaya başlanmıştır (Arnault ve ark., 2013). Carbon disulfide salımı yapan kimyasal grubu içerisinde yer alan tek kimyasal sodyum tetrathiocarbonate'tır. Bu kimyasal funguslara, böceklerle ve nematodlara karşı aktiftir ve bitki dikim öncesi toprak fumigantı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca nematodlarda birden fazla bölge üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Chitwood, 2003; Desaegeer ve ark., 2020). Bitki paraziti nematodlara karşı etkili olabilen bir diğer grup ise alkil halojenürler (alkyl halides)'dir. Bu grupta değerlendirilen kimyasallar ise Methyl bromide (MeBr) ve Methyl iodide (Iodomethane)'dir (IRAC, 2019). Fumigant özellikte olan bu kimyasalların protein sentezinde ve solunumda doğrudan biyokimyasal yolları etkilediği düşünülmektedir (Haydock ve ark., 2013). Methyl bromide, toprak kökenli funguslarla, nematodlarla, böceklerle ve yabancı otlarla mücadelede etkin şekilde kullanılan kimyasallardandır (Chitwood, 2003). Bu kimyasalın nematisidal etkileri ilk kez 1940 yılında tespit edilmiştir (Christie ve Cobb, 1940). Fakat sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda MeBr gibi fumigantların insan sağlığına, çevreye ve özellikle ozon tabakasına büyük zararlar verdiği belirlenmiştir. Birleşmiş Milletler Montreal protokolüne göre gelişmiş ülkelerde 2005, gelişmekte olan ülkelerde ise 2015 yılında kullanımı sonlandırılmıştır (UNEP, 1995; Barry ve ark., 2012). Türkiye'de ise MeBr'in taşıma öncesi ve karantina amaçlı uygulamalar dışında, 2004 yılında tütün ve depolanmış ürünlerde, 2007 yılında ise toprakta kullanımı tamamen sonlandırılmıştır (Anonim, 2021). Bu gruptaki bir diğer kimyasal olan Methyl iodide bir toprak fumigantıdır (Becker ve ark., 1998; Chitwood, 2003). Bu kimyasal MeBr'e göre bazı üstün özelliklere sahiptir. Örneğin Methyl iodide, ortam sıcaklığında ve atmosfer basıncında bir sıvıdır ve ozon tabakasını etkilemeden önce UV radyasyonu ile atmosferde hızla bozulabilmektedir (Ohr ve ark., 1996). IRAC sınıflandırılmasında nematodların birçok bölgesinde etki gösterebilen bir diğer grup halojenli hidrokarbonlar (halogenated hydrocarbon)'dır. 1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP) ve 1,3-Dichloropropene (1,3-D) ise bu grup içerisinde değerlendirilmektedir (IRAC, 2019). Fumigant özellikteki DBCP'nin insanlarda yol açtığı sağlık sorunlarından dolayı 1980'lerin

sonlarında tüm kullanımları yasaklanmıştır (Hwang ve ark., 2013). Bu gruptaki 1,3-D ise fumigant özellikte etkili bir maddedir (Zhang ve ark., 2019). 1,3-D'nin farklı tarımsal ürünlerde nematodlara, funguslara ve böceklere karşı etkili olduğu belirlenmiştir. Fakat bu kimyasalın da insanda kanserojen etkilere neden olabileceği nedeniyle kullanımı sınırlandırılmıştır (Chitwood, 2003). Kloropikrin (Chloropicrin-CP) ekim/dikim öncesi toprak fumigantı olan en eski kimyasallardan birisidir. Tarımsal üretimde öncelikle toprak kökenli funguslar üzerindeki etkileri nedeniyle kullanılan kloropikrinin, sonraki yıllarda yabancı otlar ve nematodlar üzerindeki etkileri de tespit edilmiştir (Duniway, 2002; Chitwood, 2003). Bu başlık altında incelenen son grup ise Metil izotiyosiyanat üretenler (methyl isothiocyanate generator) olarak adlandırılmıştır. Dazomet, Allyl isothiocyanate, Metam potassium ve Metam sodium bu grup içerisinde yer alan kimyasallardır (IRAC, 2019). Bu kimyasallar nematod, fungus ve yabancı ot kontrolünde kullanılabilir. Nematod mücadelesinde bu kimyasallardan bazıları oksijen taşınımını ve solunumu engelleyerek etkili olmaktadır (Haydock ve ark., 2013).

2. Biyolojik Nematisitler

Biyopestisitler, biyokontrol ajanları ya da mikrobiyal ürünler olarak adlandırılan bu grubun dünya bitki koruma pazarındaki yeri 1993'te yaklaşık %0.4 iken 2016'da %5.6 seviyelerine yükselmiştir (McDougall, 2019). Söz konusu grup içerisinde değerlendirilen biyonematisitler ise bakteri, fungus ve bitkisel/hayvansal ürünlerin türevleri olarak 3 gruba ayrılmaktadır (Çizelge 3). Son yıllarda yapılan çalışmalarla ön plana çıkan bu grup hakkında başka bir derlemede detaylı bilgi verilmesi planlanmaktadır.

Sonuç

Tarımsal üretimde kullanılan kimyasalların etkinlikleri çeşitli nedenlerden dolayı değişkenlik gösterebilmektedir. Özellikle bitki paraziti nematodlar gibi toprak kökenli organizmalarla mücadelede bu faktörlerin sayısı artmaktadır. Kimyasalların topraktaki aktiviteleri, ürünün nematod türüne karşı seçiciliği, uygulamalarda farklı etki mekanizmalarına sahip kimyasalların kullanılması, nematod popülasyonu yoğunluğu, beslenme davranışları (ekto, endo, yarı endoparazitlik gibi), uygulama metodu (damlama, yaprak ve toprağa karıştırma), uygulama zamanı, çevresel faktörler (toprak yapısı, sıcaklık ve nem) olarak sıralanabilir. Nematisitlerin etki mekanizmalarının iyi anlaşılması başarısını arttıran temel noktadır. Belirli pestisit gruplarında gözlemlenen direnç gelişiminin nedeninin sürekli aynı etki mekanizmasına sahip grupların kullanımı olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla etkili bir direnç yönetimi metodunun uygulanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Borel, 2017). Fakat nematisitlerle ilgili olarak şu ana kadar direnç durumları bildirilmemiştir (IRAC, 2019). Buna karşın IRM (Insecticide Resistance Management) mevcut ve yeni kimyasalların uzun vadeli etkinliklerini ve faydalarını korumak için entegre mücadele (IPM) içerisinde rasyonel bir şekilde kullanılmasının önemli olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca sürdürülebilir ve etkin bir mücadele amacıyla yürütülen çalışmalar sonucunda yeni etkili maddeler de geliştirilmiştir. Trifluoromethyl (-CF₃) içeren ve 3F (florlanmış nematisitler) olarak

adlandırılan bu yeni kimyasallar fluopyram, fluensulfone ve fluazaindolizine'dir (Oka, 2020; Umetsu ve Shirai, 2020). Bu nematisitler düşük toksik özelliklere sahip olması, tohum uygulamaları gibi yeni yöntemlere imkan sunmaları gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır (Faske ve Brown, 2019). Dolayısıyla bu özellikleriyle söz konusu kimyasallar uygulama dozunun ve maliyetinin düşmesine ve bitkiler için hassas bir dönemde etkili bir korumaya olanak tanımaktadır.

Nematodlarla kimyasal mücadelede bir diğer konu ise bitki toprak üst aksamına uygulanan bazı sistemik özelliğe sahip kimyasalların (spiroetramat gibi) nematodlar üzerinde de etkili olabilmeleridir (McKenry ve ark., 2009; Gutbrod ve ark., 2018; Waisen ve ark., 2019). Sistemik etkili bu kimyasallar, toprak kaynaklı olumsuzlukların ortadan kaldırılmasında etkili bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca bitkinin üst kısım uygulamalarının etki sürelerinin, toprak uygulamalarından daha uzun süre olması da mücadelede bir avantaj olarak kabul edilmektedir. Etkili maddelerin bu sistemik özelliğinin yanında bitkilere ya da nematodlara ulaştırılması ve girişlerinin daha etkin bir şekilde olması amacıyla yenilikçi çalışmalar da yapılmaktadır. Örneğin geliştirilen nanotaşıyıcı (nanocarrier) teknolojisi vasıtasıyla etkili maddenin yarılanma ömrünün uzadığı, bitki ya da nematoda girişlerinin daha kolay gerçekleştiği ve nematodlar üzerindeki etkinliklerinin arttığı tespit edilmiştir (Zhang ve ark., 2020).

Sonuç olarak, nematodlarla mücadelede kimyasal nematisitlerin tek başına değil entegre mücadele yöntemleriyle birlikte kullanımının başarıyı arttıracak unutulmamalıdır. İdeal bir nematisitin ise maliyetinin uygun, düşük dozda geniş etki spektrumu göstermesi, hedef dışı organizmalarda toksik etkilere neden olmaması, kolay uygulanabilir olması ve insanlar ile çevre için güvenilir olması gerekmektedir. Son yıllarda bu özelliklere sahip yeni nematisitlerin geliştirilmesi için yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Teşekkür Bilgi notu

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar çalışmaya ortak katkı sağlamış ve yazarlar arasında her hangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Acharya, P. 2020. Alıntı adresi: <https://thecounter.org/the-us-still-uses-many-pesticides-banned-in-other-countries/> (Erişim tarihi: 17.04.2021).
- Anonim, 2021. Alıntı adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/04/20040408.htm#4>. (Erişim tarihi: 17.04.2021).
- Arnault, I., Fleurance, C., Vey, F., Du Fretay, G. and Auger, J. 2013. Use of Alliaceae residues to control soil-borne pathogens. *Industrial Crops and Products*, 49: 265-272.
- Avenot, H.F., and Michailides, T.J. 2010. Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi. *Crop Protection*, 29: 643-651.

- Aydınlı, G., Mennan, S., Devran, Z., Sirca, S. and Urek, G. 2013. First report of root-knot nematode *Meloidogyne ethiopica* on tomato and cucumber in Turkey. *Plant Disease*, 97:1262.
- Aydınlı, G. and Mennan, S. 2016. Identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) from greenhouses in the Middle Black Sea Region of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 40 (5): 675-685.
- Barry, K.H., Koutros, S., Lubin, J.H., Coble, J.B., Barone-Adesi, F., Freeman, L.E.B., Sandler, D.P., Hoppin, J.A., Ma, X., Zheng, T. and Alavanja, M.C.R. 2012. Methyl bromide exposure and cancer risk in the agricultural health study. *Cancer Causes Control*, 23(6): 807-818.
- Becker, J.O., Ohr, H.D., Grech, N.M., McGiffen M.E. and Sims, J.J. 1998. Evaluation of Methyl iodide as a soil fumigant in container and small field plot studies. *Pest Management Science*, 52(1): 58-62.
- Behmand, T., Elekcioglu, N.Z., Berger, J., Can, C. and Elekcioglu, İ. H. 2019. Determination of plant parasitic nematodes associated with chickpea in Turkey. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 43(4): 357-366.
- Borel, B. 2017. When the pesticides run out. *Nature*, 543: 302–304.
- Brück, E., Elbert, A., Fischer, R., Krueger, S., Kühnhold, J., Kleuken, A.M., Nauen, R., Niebes, J.F., Reckman, U., Schnorbach, H.J., Steffens, R. and Waetermeulen, X. 2009. Movento®, an innovative ambimobile insecticide for sucking insect pest control in agriculture: biological profile and field performance. *Crop Protection*, 28: 838–844.
- Chitwood, D.J. 2003. Nematicides: Encyclopedia of Agrochemicals, Ed.: Plimmer, J.R., Ragsdale, N.N. and Gammon, D., John Wiley & Sons, New York, pp: 1104-1115.
- Christie, J.R. and Cobb, G.S. 1940. The inefficiency of methyl bromide fumigation against the chrysanthemum foliar nematode. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, 7: 62.
- CIRS, 2021. List of banned end restricted pesticide products in China. Türkiye Veri Servisi. <http://www.cirs-reach.com/news-and-articles/List-of-Banned-and-Restricted-Pesticide-Products-in-China.html>. (Erişim tarihi: 17.04.2021).
- Cui, J.K., Huang, W.K., Peng, H., Lv, Y., Kong, L.-A., Li, H.X., Luo, S.J., Wang, Y. and Peng, D.L. 2017. Efficacy evaluation of seed-coating compounds against cereal cyst nematodes and root lesion nematodes on wheat. *Plant Disease*, 101: 428-433.
- Decraemer, W. and Hunt, D.J. 2013. Structure and Classification: Plant Nematology, Ed.: Perry, R.N. and Moens, M., CAB International, Wallingford, Oxfordshire, pp.: 3–39.
- d’Errico, G., Giacometti, R., Roversi, P.F., d’Errico, F.P. and Woo, S.L. 2017. Mode of action and efficacy of iprodione against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Annals of Applied Biology*, 171(3): 506-510.
- Desaeger, J., Wram, C. and Zasada, I. 2020. New reduced-risk agricultural nematicides—Rationale and review. *Journal of Nematology*, 52: 1-16.
- Devran, Z., Mıstanoğlu, İ. and Özalp, T. 2017. Occurrence of mixed populations of root-knot nematodes in vegetable greenhouses in Turkey, as determined by PCR screening. *Journal of Plant Disease and Protection*, 124: 617-630.

- Duniway, J.M. 2002. Status of chemical alternatives to methyl bromide for pre-plant fumigation of soil. *Journal of Phytopathology*, 92: 1337–1343.
- Ebone, L.A., Kovaleski, M. and Deuner, C.C. 2019. Nematicides: History, mode, and mechanism action. *Plant Science Today*, 6(2): 91-97.
- Elling, A.A. 2013. Major emerging problems with minor *Meloidogyne* species. *Phytopathology*, 103(11): 1092-1102.
- EU Pesticide Database 2021. Türkiye Veri Servisi: <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database> (Erişim tarihi: 21.01.2021).
- Faske, T.R. and Starr, J.L. 2006. Sensitivity of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* to abamectin. *Journal of Nematology*, 38(2): 240.
- Faske, T.R. and Hurd, K. 2015. Sensitivity of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* to Fluopyram. *Journal of Nematology*, 47(4): 316-321.
- Faske, T.R. and Brown, K. 2019. Movement of seed- and soil-applied fluopyram in soil columns. *Journal of Nematology*, 51: 1–8.
- Feist, E., Kearn, J., Gaihre, Y., O'Connor, V. and Holden-Dye, L. 2020. The distinct profiles of the inhibitory effects of fluensulfone, abamectin, aldicarb and fluopyram on *Globodera pallida* hatching. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 165: 104541.
- Gutbrod, P., Gutbrod, K., Nauen, R., Elashry, A., Siddique, S., Benting, J., Dormann, P. and Grundler, F.M.W. 2018. Inhibition of acetyl-CoA carboxylase by spirotetramat causes lipid depletion and surface coat deficiency in nematodes. *bioRxiv*, 278093.
- Göze Özdemir, F.G. 2018. Bitkilerde Kök-ur (*Meloidogyne* spp.) ve Kist nematodları (*Heterodera* ve *Globodera* spp.)'nin kanser oluşum mekanizmaları. *Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 32(1): 165-183.
- Hajihassani, A., Davis, R.F. and Timper, P. 2019. Evaluation of selected nonfumigant nematicides on increasing inoculation densities of *Meloidogyne incognita* on cucumber. *Plant Disease*, 103(12): 3161-3165.
- Hartel, P.G. and Haines, B.L. 1991. Effects of potential plant CS Emissions on bacterial growth in the rhizosphere. *Soil Biology & Biochemistry*, 24(3): 219-224.
- Hassan, M.A., Pham, T.H., Shi, H. and Zheng, J. 2013. Nematodes threats to global food security. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil & Plant Science*, 63(5): 420-425.
- Haydock, P.P.J., Woods, S.R., Grove, I.G. and Hare, M.C. 2013. Chemical Control of Nematodes: Plant Nematology, 2nd Edition, Ed.: Perry, R.N. and Moens, M., CABI, Wallingford, Oxfordshire, pp: 459-481.
- Hawk, T. 2019. The Effects of Seed-Applied Fluopyram on Root Penetration and Development of *Meloidogyne incognita* on Cotton and Soybean. MS Theses and Dissertations, University of Arkansas, Dept. of Plant pathology.
- Hwang, K., Eisenberg, M.L., Walters, R.C. and Lipshultz, L.I. 2013. Gonadotoxic effects of DBCP: A historical review and current concepts. *The Open Urology & Nephrology Journal*, 6: 26-30.
- IRAC, 2019. IRAC nematicide MoA classification now available. Türkiye Veri Servisi.: <https://irac-online.org/irac-nematicide-moa-classification-now-available/>.(Erişim tarihi: 02.02.2021).

- Jones, R.K. 2017. Nematode control and nematicides: developments since 1982 and future trends: Nematology in South Africa: A view from the 21st century, Ed.: Vaughan H.F., Spaul Robin, W., Jones, K., Mieke S., De Waele, D.D., Springer, Cham, pp: 129-150.
- Kang, A., Kang, J., Kaur, J. and Kaur, N. 2016. Herbicides are escalating severe public health problems but unavoidable for food security. *International Journal of Medicine and Pharmaceutical Science*, 6: 1–12.
- Karssen, G., Wesemael, W. and Moens, M. 2013. Root-knot nematodes: Plant Nematology, 2nd Edition, Ed.: Perry, R.N. and Moens, M., CAB International, Wallingford, Oxfordshire, pp: 73-109.
- Kearn, J., Lilley, C., Urwin, P., Connor, V.O. and Holden-dye, L. 2017. Progressive metabolic impairment underlies the novel nematicidal action of fluensulfone on the potato cyst nematode *Globodera pallida*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 142: 83–90.
- Khalil, M.S. 2013. Abamectin and Azadirachtin as eco-friendly promising biorational tools in integrated nematodes management programs. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 4: 174.
- Lahm, G.P., Desaegeer, J., Smith, B.K., Pahutskia, T.F., Rivera, M.A., Meloro, T., Kucharczyka, R., Letta, R.M., Daly, A. and Smith, B. 2017. The discovery of fluazaindolizine: A new product for the control of plant parasitic nematodes. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 27: 1572–1575.
- Lopes-Caitar, V.S., Pinheiro, J.B. and Marcelino-Guimaraes, F.C. 2019. Nematodes in horticulture: An overview. *Journal of Horticultural Science and Crop Research*, 1(1): 106.
- McDougall, P. 2019. Evolution of the Crop Protection Industry Since 1960, Pathhead, Scotland, pp: 18.
- McKenry, M., Kaku, S. and Buzo, T. 2009. Evaluation of Movento (spirotetramat) for efficacy against nematodes infesting perennial crops. *Journal of Nematology*, 41: 355.
- Mıstanoğlu, İ. ve Devran, Z. 2015. Kök-ur nematodları ve konukçuları arasındaki ilişkiler. *Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 29(1): 37-46.
- Mıstanoğlu, İ., Kaşkavalcı, G. and Devran, Z. 2015. Identification of the economically important plant parasitic nematodes in vineyards areas of Izmir and Manisa provinces by morphological and molecular techniques. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 39(3): 297-309.
- Mordor Intelligence, 2020. Global Nematicides Market: Growth, Trends and Forecast Türkiye Veri Servisi. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/nematicides-market>. (Erişim tarihi: 17.04.2021)
- Nauen, R., Reckmann, U., Thomzik, J. and Thielert, W. 2008. Biological profile of spirotetramat (Movento)– a new two-way systemic (ambimobile) insecticide against sucking pest species. *Bayer Crop Science Journal*, 61: 245–278.
- Nicol, J.M., Turner, S.J., Coyne, D.L., den Nijs, L., Hockl, S. and Tahna-Maafi, Z. 2011. Current nematode threats to world agriculture: Genomics and Molecular Genetics of Plant Nematode Interactions, Ed.: Jones, J. et al., Springer International Publishing AG, Switzerland, pp: 2223.
- Ohr, H.D., Sims, J.J., Grech, N.M., Becker, J.O. and Jr. McGiffen, M.E. 1996. Methyl iodide, an ozone safe alternative to methyl bromide as a soil fumigant. *Plant Disease*, 80: 731-735.
- Oka, Y. and Saroya, Y. 2019. Effect of fluensulfone and fluopyram on the mobility and infection of second-stage juveniles of *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. *Pest Management Science*, 75(8): 2095-2106.

- Oka, Y. 2020. From old-generation to next-generation nematicides. *Agronomy*, 10(9): 1387.
- Opperman, C.H. and Chang, S. 1990. Plant-parasitic nematode acetylcholinesterase inhibition by carbamate and organophosphate nematicides. *Journal of Nematology*, 22(4): 481-488.
- Osman, H.A., Ameen, H.H., Mohamed, M.M., Gaweesh, S.S., Elgayar, S.H. and Elkelany, U.S. 2017. Integrated control of the nematode *Meloidogyne incognita* infecting eggplant and effects on associated weeds and crop yield; a field study. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 125–131.
- Özalp, T., Könül, G., Ayyıldız, O. Tülek, A. and Devran, Z. 2020. First report of root-knot nematode, *Meloidogyne arenaria*, on lavender in Turkey. *Journal of Nematology*, 52: 1-3.
- PAN, International Consolidated List of Banned Pesticides 2021. 5th Edition March, 2021. Türkiye Veri Servisi. <http://pan-international.org/pan-international-consolidated-list-of-banned-pesticides/> (Erişim tarihi: 31.01.2021).
- Putter, I., Maconnel, J.G., Preiser, F.A., Haidri, A.A., Ristich, S.S. and Dybas, R.A. 1981. Avermectins: novel insecticides, acaricides and nematicides from a soil microorganism. *Experientia*, 37: 963–964.
- Qiao, K., Liu, X., Wang, H., Xia, X., Ji, X. and Wang, K. 2011. Effect of abamectin on root-knot nematodes and tomato yield. *Pest Management Science*, 68(6): 853-857.
- Rich, J.R., Dunn, R.A. and Noling, J.W. 2004. Nematicides: Past And Present Uses: Nematology – Advances And Perspectives, Volume II, Nematode Management And Utilization, Ed.: Chen, Z.X., Chen, S.Y. and Dickson, D.W., CAB International, Wallingford, pp: 1179-1200.
- Salazar-Lopez, N.J., Aldana-Madrid, M.L., Silveira-Gramont, M.I. and Aguiar, J.L. 2016. Spirotetramat-An Alternative for The Control of Parasitic Sucking Insects and Fate in The Environment: Insecticide Resistance, Ed.: Tradan, S., Intech, Croatia, pp. 41-54.
- Sánchez-Bayo, F., Tennekes, H.A. and Goka, K. 2013. Impact of Systemic Insecticides on Organisms and Ecosystems: Insecticides-Development of Safer and More Effective Technologies, Ed.: Stanislav, T., InTech, Croatia, pp: 365–414.
- Sikora, R.A. and Hartwig, J. 1991. Mode-of-action of the carbamate nematicides cloethocarb, aldicarb and carbofuran on *Heterodera schachtii* 2. systemic activity. *Revue de Nematologie*, 14(4): 531-536.
- Singh, S., Singh, B. and Singh, A.P. 2015. Nematodes: A threat to sustainability of agriculture. *Procedia Environmental Sciences*, 29: 215-216.
- Smiley, R.W., Marshall, J.M. and Yan, G.P. 2011. Effect of foliarly applied spirotetramat on reproduction of *Heterodera avenae* on wheat roots. *Plant Disease*, 95: 983-989.
- Sparks, T.C., Crossthwaite, A.J., Nauen, R., Banba, S., Cordova, D., Earley, F. and Wessels, F.J. 2020. Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC’s mode of action classification-a tool for resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 167: 104587.
- Thoden, T., Pardavella, I.V. and Tzortzakakis, E. 2019. In vitro sensitivity of different populations of *Meloidogyne javanica* and *M. incognita* to the nematicides Salibro and Vydate. *Nematology*, 21: 889–893.
- TOB, 2021. Yasaklanan bitki koruma ürünleri aktif madde listesi. Türkiye Veri Servisi. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konu/934/Yasaklanan-Bitki-Koruma-Urunleri-Aktif-Madde-Listesi>. (Erişim tarihi: 17.04.2021)

- TUIK, 2019. Türkiye İstatistik Kurumu, Tarımsal ilaç kullanım verileri. Türkiye Veri servisi. <https://tuikweb.tuik.gov.tr> (Erişim tarihi:17.04.2021).
- Umetsu, N. and Shirai, Y. 2020. Development of novel pesticides in the 21st century. *Journal of Pesticide Science*, 45(2): 54-74.
- UNEP, 1995. Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. 1994 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. 1995 Assessment. Nairobi, Kenya, p: 304.
- Uysal, G., Söğüt, M.A. and Elekçioğlu, İ.H. 2017. Identification and distribution of root-knot nematode species (*Meloidogyne* spp.) in vegetable growing areas of Lakes Region in Turkey. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 41(1): 105-122.
- Waisen, P., Wang, K.H. and Sipes, B.S. 2019. Effect of spirotetramat (Movento®) on hatch, penetration, and reproduction of *Rotylenchulus reniformis*. *Nematropica*, 49: 194-199.
- Wolstenholme, A.J. 2012. Glutamate-gated chloride channels. *The Journal of Biological Chemistry*, 287(47): 40232-40238.
- Yağcı, M. ve Kaşkavalcı, G. 2018. Ege bölgesi şeftali alanlarında görülen kök-ur nematodu türleri (*Meloidogyne* spp.)'nin belirlenmesi ve yayılışının saptanması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 55(3): 305-310.
- Zasada, I.A., Halbrecht, J.M., Kokalis-Burelle, N., LaMondia, J., McKenry, M.V. and Noling, J.W. 2010. Managing nematodes without methyl bromide. *Annual review of phytopathology*, 48: 311-328.
- Zhang, D., Ji, X., Meng, Z., Qi, W. and Qiao, K. 2019. Effects of fumigation with 1, 3-dichloropropene on soil enzyme activities and microbial communities in continuous-cropping soil. *Ecotoxicology and environmental safety*, 169: 730-736.
- Zhang, D.X., Liu, G., Jing, T.F., Luo, J., Wei, G., Mu, W. and Liu, F. 2020. Lignin-modified electronegative epoxy resin nanocarriers effectively deliver pesticides against plant Root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(47): 13562-13572.