

İnsektisitlerin Doğadaki Döngüsü ve Sucul Çevreye Etkileri

Figen Esin KAYHAN ^{1*}

*Sorumlu yazar: fekayhan@marmara.edu.tr

¹ Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, İSTANBUL
Orcid No: 0000-0001-7754-1356

Öz: Pestisitlerin neden olduğu çevre kirliliği, dünyadaki en önemli sorunlardan biridir. Pestisitlerin ekosistem seviyesi üzerindeki etkileri doğrudan ve dolaylı etkilerin ve geri bildirim mekanizmalarının bir kombinasyonudur. Bu derlemede temel sorunlar ve gelecek perspektifleri irdelenmiştir. Bununla birlikte, ekosistemdeki potansiyel toksisitenin öngörülmesinde sucul organizmalarda pestisit biyoakümülyasyon mekanizmasının anlaşılması hala kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Pestisitler, Sucul organizmalar, İnsektisitler

The Cycle of Insecticides on Nature and Its Effects on the Aquatic Environment

Abstract: Environmental pollution caused by pesticides is global problem in the World. The effects of pesticides on the level of ecosystems is a combination of direct and indirect effects and feedback mechanisms. The major problems and future perspectives are summerized in this review. However, understanding the mechanism of bioaccumulation of pesticides in aquatic organisms is still critical in predicting the potential toxicity in ecosystem.

Keywords: Pesticides, Aquatic organisms, Insecticides

1. Giriş

Yirminci yüzyıl ortalarından itibaren pestisit kullanımının artması sonucu, doğal çevre ve insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etki ortaya çıkmıştır. Pestisitler; ev, bahçe, sanayi ve tarım alanlarında çeşitli zararlıların kontrol edilmesinde kullanılan kimyasal maddelerdir. Pestisitler, ekonomik tarım ürünlerine zarar veren spesifik hedef organizmalara veya organizma gruplarına zararlı olacak şekilde üretilmiştir (Koç ve ark., 2009; Karaismailoğlu, 2016). Pestisitler genel bir terimdir ve insektisit (böcek öldürücüler), acarisit (akar öldürücüler),

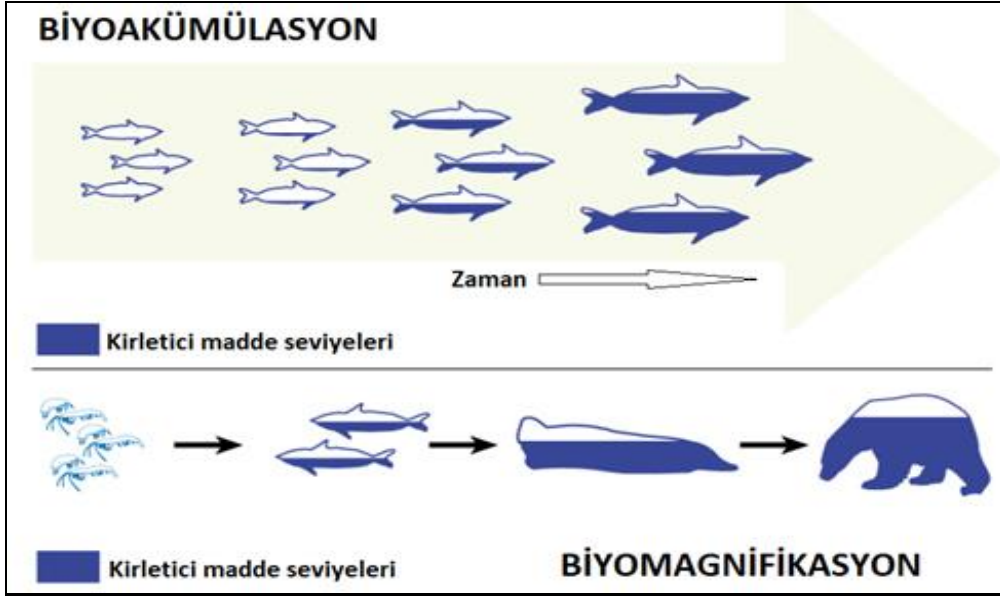
fungusit (mantar öldürücüler), nematosit (parazit öldürücüler), rodentisit (kemirgen öldürücüler), mollusisit (mollusk öldürücüler), bakterisit (bakteri öldürücüler) ve herbisit (ot öldürücüler) vs. gibi çeşitli gruplara ayrılırlar. Pestisitlerin etkileri, sahip oldukları kimyasal formülasyonlarına, uygulama miktarı ve süresine, ortamın sıcaklık, pH vs. gibi özelliklerine bağlı olarak değişir (Arisekar ve ark., 2019; Kapsi ve ark., 2019; Buah-Kwofie ve ark., 2018). Pestisitlerin kimyasal dayanıklılıkları, absorpsiyonları, yarılanma ömürleri ve toksisite dereceleri ekotoksikolojik yönden

önemlidir (Tiryaki ve ark., 2010). Pestisitlerin toprakta ve suda biriken kimyasal kalıntıları ise çevresel kirleticiler olarak adlandırılır. Pestisitler, kimyasal açıdan içerdikleri etken maddeye göre ayrılırlar. Bunlar; inorganik madde içerenler, organik madde içerenler, doğal organik pestisitler ve sentetik organik pestisitler olarak sınıflandırılabilir. Bu etken maddelerin özellikleri, ortamda kalıcı veya geçici olmalarıdır. Buna göre; organik fosforular (kalıcı olmayanlar), genellikle herbisit grubuna ait olan orta derecede kalıcı olanlar, uzun kalıcı olanlar (genellikle klorlu hidrokarbonlar) ve son olarak sürekli kalıcı (içeriğinde arsenik, kurşun veya civa) olanlardır (El-Nahas ve ark., 2017).

1.1. İnsektisitlerin Biyokonsantrasyonu, Biyoakümülyasyonu ve Biyomagnifikasyonu

Çevresel kirleticiler doğal ortamlarda canlılarla etkileşime girdikleri zaman bazı kavramlardan söz etmek gerekir. Bunlar; biyokonsantrasyon, biyoakümülyasyon ve biyomagnifikasyon gibi kavramlardır. Biyokonsantrasyon sucul ortamda bulunan bir kimyasal bileşiğin organizmaya geçerek, birikmesidir. Biyoakümülyasyon ise giren bu kimyasalın giriş hızının atılma hızından daha yavaş olması sonucu kimyasal birikimi

olarak tanımlanabilir (Gaaied ve ark., 2019; Koç ve ark., 2009). Biyomagnifikasyon ise, canlıda biriken kimyasal bir maddenin besin zinciri yoluyla diğer türlere geçmesi ve konsantrasyonunun katlanarak fazlaşmasıdır. Sucul ortamda bulunan bir pestisit öncelikle sucul omurgasız ve omurgalı türlerin deri, solungaç ve sindirim sisteminden girerek vücutta hedef bir organda birikir. Bu sırada pestisitler birçok biyolojik membrandan geçerler. Eğer pestisit küçük bir molekül yapısına sahip ise pasif difüzyon yolu ile bünyeye alınır. Özellikle biyomagnifikasyon olayında sucul organizmanın yaşı, metabolizma hızı, büyüklüğü ve beslenme şekli pasif difüzyonu etkileyen faktörlerden sayılır (Atmaca, 2016; Wanga ve ark., 2019). Kimyasal bileşik vücuda alındığı zaman vücut sıvılarının yardımıyla metabolize olur ve atılır. Eğer vücuttan atılamamış ise yağ içeriği yüksek olan dokularda birikir ve bu dokularda uzun yıllar kalabilirler (Madej ve ark., 2018; Buah-Kwofie ve ark., 2018; Barbieri ve ark., 2019). Pestisitler biyokonsantrasyon yoluyla canlıların vücutlarında yoğunlaşabilir ve besin zinciri yoluyla daha üst trofik basamaklara aktarılabilir (Şekil 1).



Şekil 1. Biyoakümülyasyon ve Biyomagnifikasyon (<https://cimioutdoored.org/bioaccumulation-and-biomagnification-increasingly-concentrated-problems/>)

Bu birikimler besin zincirinde hareket ederken her aşamada daha büyük bir konsantrasyona ulaşmaktadır (Strungaru ve ark., 2019). Örneğin; organoklorlu insektisitler, DDT (dikloro difenil trikloretan), dieldrin ve aldrin bu şekilde besin zincirine girerler. Bu bileşikler yağda çözünmeleri nedeniyle kolayca dokulara nüfuz ederler ve orada kalırlar. Bazı organizmalarda besin zincirinin son halkasında normalin 80.000 katına kadar artış görülmüştür (Chawla ve ark., 2018). İngiltere’de yapılan bir araştırmada Avrupa Yılan balığı’nda (*Anguilla anguilla*) bu insektisitlerin varlığı tespit edilmiştir (Jurgens ve ark., 2015). Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kimyasallar, yüzey akıntıları, atmosferik birikim ve yağışlar yoluyla sucul ortama girer ve özellikle sedimentte ve çeşitli sucul organizmalarda birikir. Dünyanın her

yerindeki sucul ekosistemlerde çok çeşitli pestisitler bulunur ve bu kimyasalların formülyasyonlarının ortamda yaşayan organizmaları nasıl etkilediğiyle ilgili bilgi halâ eksiktir. Yapılan araştırmalarda, sucul ekosistemlerde en sık atrazin, ametrin ve bromasil tespit edilirken, büyük miktarda DDE (dikloro difenildikloro etilen) ve DDD’de (dikloro difenil dikloroetan) sedimentte bulunmuştur (Perez-Parada ve ark., 2018). İnsektisitlerin bazıları normal sıcaklıkta gaz formuna dönerler ve atmosfere karışırlar. Bu sayede etki alanından daha uzak yerlere de taşınabilirler. DDT ve toksafen gibi bazı pestisitlerin kullanımı uzun süreden beri yasaklı olmasına rağmen, kutupların yüksek kısımları gibi yeryüzünün ücra bölgelerinde bile hala tespit edilebilmektedir. Bu durum pestisitlerin global hava sirkülasyonu ile taşındığını göstermektedir (Arisekar ve ark., 2019). Toprağa kuvvetle bağlanan

insektisitler daha kalıcıdır. Bir kimyasalın toksisitesi, organizmadaki kimyasal konsantrasyonuna ve organizmadaki hedef reseptör konsantrasyonuna da bağlıdır. Doğada organizmaya giren insektisit gerçek miktarı bu nedenle kritik öneme sahiptir ve biyolojik sonuçları belirlemektedir (Varol ve Sünbül, 2017). Canlı tarafından alınan doz ve çevre konsantrasyonu bu nedenle her zaman doğrudan doğruya orantılı değildir veya türlerden türlere karşılaştırılabilir değildir (Chawla ve ark., 2018). İnsektisitlerin toksik özellikleri nedeniyle sadece hedeflenen organizmalara değil uygulama alanına yakın ve uzak bölgelerdeki farklı türler üzerinde de etkili olabileceği yönünde önemli riskler mevcuttur. Hedef olmayan organizmalar; mikroorganizmalar, omurgasız türler, amfibiler ve balıklar gibi farklı trofik düzeylerde bulunan ve sucul ekosistemlerin besin ağlarını oluşturan türler sayılabilir. Buldukları ortamda dayanıklı olan insektisitler (biyolojik olarak yavaş parçalanan) ve lipofilik insektisitler biyolojik ekosistemde daha uzun süre kaldıkları için daha uzun süre etkili olurlar (Beers ve ark., 2016). Kirleticilerin yayılması genişledikçe yüzey ve yeraltı suları kontamine olmakta, tatlısu ekosistemleri ve balıkçılık zarar görmekte ve denizlerde ölü bölgeler yaratmaktadır. Ekosistemde bulunan pestisit kalıntıları önceden kontamine olmuş bir canlının av

olarak tüketilmesiyle, sedimentteki birikim nedeniyle ve su kolonundaki süspansiyon halinde bulunan kalıntıların solungaçlar ve ağızla alınmaları nedeniyle de sucul türlerde yayılım gösterirler (Kayhan ve ark., 2017). Organizmalardaki dağılımları ise pestisit kimyasal yapısına ve formülasyonuna bağlıdır. Bazı pestisitler suda doğrudan erirler. Bazı pestisitler ise çözünmeden çökerler. Pestisit kalıntılarının sudaki konsantrasyonu, ortamın sıcaklığı, bünyede daha önceden ilaç kalıntısının olup olmaması ve organizmanın fizyolojisi ve metabolizma özellikleri absorpsiyonda önemli kriterlerdir (Perez-Parada ve ark., 2018). Organoklorlu bileşikler (OCP), sadece karbon-hidrojen içeren organik maddelerin klorlanmasıyla elde edilmektedir. Organoklorlu pestisitler genellikle insan ve hayvan dokularında birikmeye meyillidir. Pestisitlerle kontamine olmuş sulara yaşayan türler bu kalıntıları solungaç, deri ve ağız yolu ile absorbe ederler ve kas dokularında uzun süreli biriktirebilirler. OCP'ler özellikle deniz suyunda yüksek oktanol/su oranı sabitiyle yüksek lipofilik karakterde oldukları için balık ve kabuklu türlerin (molluska, krustaseler, ekinodermiler gibi) deniz suyundan bu maddeleri absorbe etme ve yağlı dokularında biriktirme riskleri yüksektir (Gupta ve ark., 2018). OCP'ler bünyelerinde karbon, hidrojen ve klorin buldukları için lipoproteinlere

bağlanırlar ve bu nedenle enzimatik işlemlerle dokudan uzaklaştırılmaları zordur. OCP'lerin biyolojik yıkımları uzun sürer ve bu nedenle organizmalarda daha uzun süre kalırlar (Madej ve ark., 2018). Ayrıca sularda bol bulunurlar ve buldukları yerden daha uzaklara taşınmalarına imkan veren uçuculuğa da sahiptirler. Birikimde maddenin lipofilik karakteri ve nasıl metabolize edileceği rol oynar. Halk sağlığı açısından su ürünlerindeki pestisit kirliliği önemlidir. Sucul türlerin yaşı, cinsiyeti, boyutu ve yağ içeriği gibi faktörlerde biyobirikimde rol oynar. Özellikle midyeler ortamdaki suyu filtreleme özellikleri nedeniyle sudaki çevresel kirleticilerin tespiti açısından biyoindikatör türlerdir. Pestisit kimyasal yapısı, tüketim süresi ve miktarı, organizmanın yağ dokusunda birikimini etkiler. Kimyasal yapısında yüksek klorin barındıran pestisitler, daha az klorin içeren pestisitlere oranla daha fazla absorbe edilirler ve birikirler. Düşük oranda klorin içeren pestisitler organizmadan daha çabuk atılırlar. Bir balıktaki pestisit konsantrasyonu, aynı pestisit sudaki konsantrasyonundan 1000-10.000 kat daha fazla olabilir. OCP'ler genellikle kronik toksisite gösterirler. Bunun sebebi bu bileşiklerin hidrofobik yapıda olmaları, kalıcılıklarının sağlam olması, yavaş metabolize olmaları ve düşük çözünürlük göstermeleridir (McHugha ve ark., 2010; Clasen ve ark., 2018; Gupta ve ark., 2018;

Barbieri ve ark., 2019). OCP grubunda en yaygın kullanılan insektisitler şunlardır: DDT, Aldrin, Dieldrin, Lindan, Heptaklor, Klordan, Endrin, Hezoklorobenzen, Toksofen ve Mireks.

1.2. İnsektisitlerin Biyolojik Zararları

Sucul türlerde organoklorlu pestisitlerin dağılımında ve birikiminde, organizmanın yağ içeriği, kimyasal kalıcılığı ve çözünürlüğü gibi özellikleri önemlidir. Örneğin midyelerde pestisitlerin kimyasal özellikleri biyobirikimde etkilidir. Midye örneklerinde en sık rastlanan pestisit DDT'dir. Günümüzde halen DDT'ye rastlanıyor olmasının sebebi DDT'nin su ekosisteminde yarılanma ömrü 5 yıl iken, midyelerde bunun on-yirmi yıl gibi uzun sürelerle çıkıyor olmasıdır. Bunun sebebi DDT türevi olan DDE'nin klorunu en az altı yılda kaybetmesi, yüksek metabolizmaya sahip organizmalarda parçalanma işleminin nispeten yavaş olması, antifouling boya kullanımının artması ve yasadışı pestisit kullanımının sürekli devam ediyor olmasıdır (Storelli ve ark., 2004; Licata ve ark., 2004; Liu ve ark., 2007; Kalyoncu ve ark., 2009). İzmir Körfezi'nde yapılan bir araştırmada avlanan barbun, dil, çipura ve kefal balıklarında organoklorlu insektisitlerden olan DDE'yi tespit etmişlerdir. Çalışmada pestisit birikiminin tarımsal faaliyetler sonucu genellikle kış ve ilkbahar aylarında arttığını ve balıkların yaşlarına göre farklı oranlarda pestisit kalıntısı bulduklarını rapor

etmişlerdir (Uluocak ve Egemen, 2005). Erkmek ve Kolankaya (2006) sazan balıkları ile yaptıkları bir çalışmada sırasıyla α , β -HCH, p,p'-DDT, p,p'-DDE, β -endosulfan, heptachlor epoksida ve endrin keton organoklorlu bileşiklerini en fazla içerdiklerini tespit etmişlerdir. Meriç Delta'sında yapılan bu çalışmada kullanılması yasak olan bu pestisitlerin balıklarda bulunması yasal olmayan kullanımı akla getirmektedir (Erkmek ve Kolankaya, 2006). Bulgaristan'ın Karadeniz kıyısında yapılan bir araştırmada ise barbun balıklarında yüksek DDT seviyeleri rapor edilmiştir. Barbun balığının bentik bir balık türü olması da bu sonuçlarda etkili olabilir. Elde edilen yüksek DDT seviyeleri Bulgaristan'da yasadışı pestisit kullanımının yaygın olabileceğini ve Karadeniz'e kirlilik yükü taşıdığını göstermektedir (Georgieva ve ark., 2012). Ülkemiz denizlerinden Marmara Denizi, Prens adaları çevresi ve İstanbul Boğazı'nda yapılan bir araştırmada elde edilen *Mytilus galloprovincialis* türü midyelerde (Kara midye) yüksek seviyelerde DDT bulunmuştur. Aslında midyelerde yağ doku fazla miktarda bulunmamasına rağmen ölçülen yüksek içerik tarım ilaçlarına yüksek miktarda maruziyeti göstermektedir. Çünkü organoklorlu bileşikler suda değil, yağda çözünürler (Okay ve ark., 2011). Pestisit konsantrasyonlarının sucul organizmalarda farklı düzeylerde çıkması, o canlının doku oluşum safhalarında tükettiği enerjiye ve

yağ içeriğinin yumurtlama zamanı gibi dönemlerde azalmasına da bağlı olduğu zannedilmektedir (Chromcova ve ark., 2015). Organoklorlu pestisit derişimleri ile yağ oranları arasında pozitif bir ilişki vardır. Bu durum sucul türün metabolizma hızına ve beslenme alışkanlıklarına bağlıdır (Clasen ve ark., 2018; Kayhan, 2008). Pestisitler gibi çevresel kirleticiler kimyasallar ergin balıklara direkt olarak öldürme dışında üremeyi durdurma, hastalığa yatkınlık, immün sistemi ve antioksidan sistemleri baskılama gibi farklı şekillerde etki ederler (Kotil ve Yön, 2015; Pfeiffer ve ark., 2018). Bu durumda balıklar mevsimsel sıcaklık ve açlık durumları gibi doğal değişimlerden daha yoğun etkilenirler (Atamanalp ve Yanık, 2001; Gobas ve ark., 2018). Larvalar ve yavru balıklar ise pestisit maruziyetinden daha fazla olumsuz etkilenirler (Bertucci ve ark., 2018). Örneğin; Somon balıklarının çevresel kirleticilere yoğun şekilde maruz kalan bölgelerden geçtikten sonra göç davranışlarının ve yumurtlama zamanlarının değiştiği gözlenmiştir (Taylor ve ark., 2016). Pestisitlerin histopatolojik ve biyokimyasal parametreler üzerine de olumsuz etkileri çalışmalarda mevcuttur (Clasen ve ark., 2018; Gaaied ve ark., 2019; Volschenka ve ark., 2019). Boran ve ark. (2010), gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) juvenilleri üzerine, maneb ve karbaril'in akut etkilerini araştırdıkları çalışmalarında balıkların solungaç lamellerinde ödem gözlemişler ve

lamellar füzyon, epitel şişmesi ve nekrozlar gözlediklerini rapor etmişlerdir. *Cyprinus carpio*'nun solungaç ve böbrek dokuları üzerine deltametrimin akut uygulanması sonucu histopatolojik etkilerinin araştırıldığı çalışmada, balıkların solungaçlarında nekroz, dökülmeler, anevrizma, kanamalar, ödem ve hiperplazi rapor edilmiştir (Cengiz, 2006). Balıklar solunumlarında oksijeni tüketirler ve tüm canlılar gibi reaktif oksijen türlerinin (ROS) zararlı etkilerine karşı antioksidan savunma sistemlerini kullanırlar. Oksijen, elektron çekme gücü sebebiyle reaktif bir moleküldür. Aerobik canlıların metabolizma olayları için gerekli olan oksijen aynı zamanda toksik bir form olan serbest radikallere dönüşürler (Clasen ve ark., 2018; El Nahas ve ark., 2017). Fagositik hücreler, en aktif serbest radikal üretici hücrelerdir. Serbest radikaller için çekici hedefler, fosfo ve glikolipitler, DNA, doymamış yağ asitleri ve membran proteinleridir. Herhangi bir stres durumunda oksidan moleküller çok artar ve antioksidan savunma sistemi buna yetişemez. Bu durumda hücreler ROS'ların zararlı etkilerini bertaraf etmek için bazı savunma sistemlerini devreye sokarlar. Süperoksit dismutaz (SOD), Katalaz (CAT) ve Glutasyon S transferans (GST) gibi defans sistemleri ROS'lara karşı savaşırlar. Balıklarda bulunan başlıca savunma sistemleri; CAT, SOD ve GSH-Px enzimleridir. Çevresel kirleticilerde

balıklarda oksidatif stres oluşturur ve normal halini tehlikeye sokarlar (Kaymak ve ark., 2014; Plhalova ve ark., 2018). Sepici ve ark. (2009)'na göre cyfluthrin'in (piretroit grubu) subletal dozlarına 48 saat süreyle maruz kalan sazan balığı (*Cyprinus carpio*) yavrularının beyin dokularında malondialdehit seviyeleri artmıştır. Benzer şekilde dianizon'un toksik etkisine maruz bırakılan *Rutilus rutilus* (Kızılgöz balığı) balığında CAT seviyesinde önce artış daha sonra azalma gözlenmiştir (Keramati ve ark., 2010). Balık dokularında bulunan çevresel kirleticiler histopatolojik yöntemlerle de izlenebilir. Özellikle solungaçlar ortamdaki kirlenici ile ilk karşılaşan organ olmaları sebebiyle önemli biyobelirteçlerdir (Akbulut ve ark., 2014). Keza karaciğer ve böbreklerde histopatolojik ve biyokimyasal parametrelerin incelenmesi açısından hedef organlardır (Akbulut ve ark., 2017). Nwani ve ark. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada klorpirifos bazlı termifos pestisitinin farklı dozları *Clarias gariepinus* (Afrika kedi balığı) balıklarına 5, 10 ve 15 gün süreyle uygulanmıştır. Balıkların beyaz kan hücre sayılarında artma, eritrosit sayılarında ve hematokrit seviyelerinde ise azalma gözlenmiştir.

Sonuç

Her ne kadar kaliteli tarımsal üretimin ayrılmaz bir parçası olsa da pestisitlerin neden olduğu kirlilik, dünyadaki en önemli ekolojik sorunlardan biridir.

Pestisit ve ağır metaller gibi kimyasal orjinli çevresel kirleticiler hedef olan veya olmayan tüm sucul türleri maruziyetin süresi ve konsantrasyon seviyelerine bağlı olarak mutlaka etkiler. Bu tip kirleticilerin sucul türlerde birikimi, besin zincirinde üst trofik seviyelere aktarılması ve ekosistem üzerindeki etkileri toplumun her kesimi tarafından ciddiye alınması gereken bir durumdur. Bununla birlikte, suda yaşayan organizmalarda pestisitlerin biyoakümülyasyon mekanizmasının anlaşılması ve ekosistemdeki potansiyel toksisite hasarının öngörülmesi de kritik öneme sahiptir. Risk oranı yüksek olan pestisit çeşitlerinin kullanımı ciddi şekilde kontrol edilmeli ve kısıtlanmalıdır. En azından doğru miktarlarda uygulanması ve aşırı doza sebep olunmaması için denetlenmelidir. Gelecekte pestisit kirliliğine bağlı sorunların devam etmemesi için sulak alanlara yakın bölgelerde mevcut

kirlilik durumunun belirlenmesi ve su kalitesi izleme çalışmalarının rutin olarak yapılması sağlanabilir. Sulak alanların pestisitler tarafından kirlenmesi sadece sucul türler için değil içme sularına karışmaları halinde insanlar için de ciddi sağlık problemlerine neden olabilmektedir. Bazı ülkelerde uygulanmakta olan “pestisit haritası” ülkemiz tarımsal alanları için de çıkartılarak yaygın şekilde kullanılan pestisit türlerinin bir tablosu elde edilebilir. Çeşitli kimyasallar kullanılarak yapılan tarımsal faaliyetlerde kimyasal kullanmadan zararlılarla mücadele yöntemleri yaygınlaştırılabilir. Çevre dostu pestisit formülasyonlarının geliştirilmesi ve uygulanması teşvik edilebilir. Bu derlemede kimyasal orjinli kirleticilerden olan pestisitlerin sucul türler üzerinde meydana getirdiği temel sorunlar irdelenmeye çalışılmıştır.

Kaynaklar

- Akbulut C, Kaymak G, Esmer H.E, Yön N.D, Kayhan FE (2014). Balıklarda ağır metal ve pestisitler tarafından indüklenen oksidatif stres mekanizmaları. *Ege J. Fish Aqua Sci.* 31(3): 155–160.
- Akbulut C, Öztürk B, Uzun A, Yon ND (2017). Tribenuron methyl exposure inhibits oogenesis in zebrafish *Danio rerio* (Hamilton, 1822). *Indian Journal of Fisheries* 3: 127–131.
- Arisekar U, Shakila RJ, Jeyasekaran G, Shalini R, Rani V (2019). Accumulation of organochlorine and pyrethroid pesticide residues in fish, water, and sediments in the Thamirabarani river system of southern peninsular India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 11: 100194.
- Atamanalp M, Yanık T (2001). The toxic effects of pesticides on Cyprinidae. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 18: 3–8.

- Atmaca E (2016). Pestisitlerin su canlıları üzerine etkileri. *Türkiye Klinikleri J. Vet. Sci. Pharmacol. Toxicol.-Special Topics* 2(2): 50–57.
- Barbieri MV, Postigo C, Guillem-Argiles N, Monllor-Alcaraz LS, Lopez de Alda M (2019). Analysis of 52 pesticides in fresh fish muscle by QuEChERS extraction followed by LC-MS/MS determination. *Science of The Total Environment* 653: 958–967.
- Beers EH, Mills NJ, Shearer PW, Horton DR, Gontijo LM (2016). Nontarget effects of pesticides on natural enemies: Lessons from the field and laboratory. *Biological Control* 102: 44–52.
- Bertucci F, Jacoba H, Mignucci A, Gache C, Roux N, Besson M, Berthe C, Metian M, Lecchini D (2018). Decreased retention of olfactory predator recognition in juvenile surgeon fish exposed to pesticide. *Chemosphere* 208: 469–475.
- Boran H, Altinok I, Capkin E (2010). Histopathological changes induced by maneb and carbaryl on some tissues of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Tissue and Cell* 42(3): 158–164.
- Buah-Kwofie A, Humphries MS, Pillay L (2018). Bioaccumulation and risk assessment of organochlorine pesticides in fish from a global biodiversity hotspot: Simangaliso Wetland Park, South Africa. *Science of The Total Environment* 621: 273–281.
- Cengiz EI (2006). Gill and kidney histopathology in the freshwater fish *Cyprinus carpio* after acute exposure to deltamethrin. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 22(2): 200–204.
- Chawla P, Kaushik R, Swaraj VJS, Kumar N (2018). Organophosphorus pesticides residues in food and their colorimetric detection. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 10: 292–307.
- Chromcova L, Blahova J, Zivna D, Plhalova L, Casascelli Di Tocco F, Divisova L, Prokes M, Faggio C, Tichy F, Svobodova Z (2015). NeemAzal T/S toxicity to early-life stages of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Veterinarni Medicina* 60(1): 23–30.
- Clasen B, Loro VL, Murussi CR, Tiecher TL, Moraes B, Zanella R (2018). Bioaccumulation and oxidative stress caused by pesticides in *Cyprinus carpio* reared in a rice-fish system. *Science of The Total Environment* 626(1): 737–743.
- El Nahas EF, Abdel-Razek AS, Helmy NM, Mahmoud S, Ghazy HA (2017). Impaired antioxidant gene expression by pesticide residues and its relation with other cellular biomarkers in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) from Lake Burullus. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 137: 202–209.
- Erkmen B, Kolankaya D (2006). Determination of organochlorine pesticide residues in water, sediment and fish samples from the Meriç Delta, Turkey. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 86: 161–169.
- Gaaied S, Oliveira M, Le Bihanic F, Cachot J, Banni M (2019). Gene expression patterns and related enzymatic activities of detoxification and oxidative stress systems in zebrafish larvae exposed to the 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid herbicide. *Chemosphere* <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.125>
- Georgieva S, Stancheva M, Makedonski L (2012). Organochlorine pesticides and PCBs in marine fish. *Ovidius University Annals of Chemistry* 23: 92–98.
- Gobas FAPC, Lai HF, Mackay D, Padilla LE, Jackson SH (2018). AGRO-2014: A time dependent model for assessing the fate and food-web bioaccumulation of organic

- pesticides in farm ponds: Model testing and performance analysis. *Science of The Total Environment* 639: 1324–1333.
- Gupta RC, Sachanalda M, Mukherjee M, Doss RB, Malik JK, Milatovic D (2018). Organophosphates and Carbamates. *Veterinary Toxicology (Third Edition)* 495–508.
<https://cimioutdoored.org/bioaccumulation-and-biomagnification-increasingly-concentrated-problems/>
- Jurgens MD, Chaemfa C, Hughes D, Johnson AC, Jones KC (2015). PCB and organochlorine pesticide burden in eels in the lower Thames River (United Kingdom). *Chemosphere* 118: 103–111.
- Kalyoncu L, Ağca İ, Aktümsek A (2009). Some organochlorine pesticide residues in fish species in Konya, Turkey. *Chemosphere* 74: 885–889.
- Kapsi M, Tsoutsis C, Paschalidou A, Albanis T (2019). Environmental monitoring and risk assessment of pesticide residues in surface waters of the Louros River (N.W. Greece). *Science of The Total Environment* 650: 2188–2198.
- Karaismailoğlu MC (2016). The evaluation of the genotoxic and cytotoxic effects of Pyriproxyfen insecticide on *Allium cepa* somatic chromosomes with mitotic activity, chromosome abnormality and micronucleus frequency. *Turkish Journal of Life Sciences* 1(2): 65–69.
- Kayhan FE (2008). Biochemical evidence of free radical-induced lipid peroxidation for chronic toxicity of endosulfan and malathion in liver, kidney and gonadal tissues of wistar albino rats. *Fresenius Environmental Bulletin* 17: 1340–1343.
- Kayhan FE, Kaymak G, Akbulut C, Yön Ertuğ ND (2017). 2,4-D (Diklorofenoksi asetikasit)'in zebra balığı (*Danio rerio* Hamilton, 1822) solungaçlarında antioksidan enzimler ve lipid peroksidasyon seviyesi üzerine akut etkilerinin belirlenmesi. *Trakya University Journal of Natural Sciences* 18(2): 143–148.
- Kaymak G, Kayhan FE, Yön ND, Sesal NC, Akbulut C (2014). Evaluation of oxidative stress after exposure to different doses of deltamethrin and cadmium in swordtail fish gills. *Pakistan Journal of Zoology* 46(5): 1471–1474.
- Keramati V, Jamili S, Ramin M (2010). Effect of diazinon on catalase antioxidant enzyme activity in liver tissue of *Rutilus rutilus*. *Journal of Fisheries and Aquatic Science* 5(5): 368–376.
- Koç ND, Kayhan FE, Sesal C, Muslu MN (2009). Dose dependent effects of endosulfan and malathion on adult Wistar albino rat ovaries. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 12(6): 498–501.
- Koç ND, Muslu MN, Kayhan FE, Çolak S (2009). Histopathological changes in ovaries of zebrafish (*Danio rerio*) following administration of deltamethrin. *Fresenius Environmental Bulletin* 18(10): 1872–1878.
- Kotil T, Yön ND (2015). The effects of permethrin on rat ovarian tissue morphology. *Experimental and Toxicologic Pathology* 67: 279–285.
- Licata P, Trombetta D, Cristani M, Martino D, Naccari F (2004). Organochlorine compounds and heavy metals in the soft tissue of the mussel *Mytilus galloprovincialis* collected from Lake Faro (Sicily, Italy). *Environment International* 30: 805–810.

- Liu W, Chen J, Lin X, Fan Y, Tao S (2007). Residual concentrations of micropollutants in benthic mussels in the coastal areas of Bohai Sea, North China. *Environmental Pollution* 146: 470–477.
- Madej K, Kalenik TK, Piekoszewski W (2018). Sample preparation and determination of pesticides in fat-containing foods. *Food Chemistry* 269: 527–541.
- McHugha B, Poole R, Corcoran J, Anninou P, Boyle B, Joyce E, Foley MB, Mc Govern E (2010). The occurrence of persistent chlorinated and brominated organic contaminants in the European eel (*Anguilla anguilla*) in Irish waters. *Chemosphere* 79(3): 305–313.
- Nwani CD, Ugwu DO, Okeke OC, Onyishi GC, Ekeh FN, Atama C, Eneje LO (2013). Toxicity of the chlorpyrifos-based pesticide Termifos: effects on behaviour and biochemical and haematological parameters of African catfish *Clarias gariepinus*. *African Journal of Aquatic Science* 38(3): 255–262.
- Okay OS, Karacık B, Henkelmann B, Schramm KW (2011). Distribution of organochlorine pesticides in sediments and mussels from the stanbul Strait. *Environmental Monitoring and Assessment* 176: 51–65.
- Perez-Parada A, Goyenola G, Mello FT, Heinzen H (2018). Recent advances and open questions around pesticide dynamics and effects on freshwater fishes. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 4: 38–44.
- Pheiffer W, Wolmarans N.J, Gerber R, Yohannes YB, Pieters R (2018). Fish consumption from urban impoundments: What are the health risks associated with DDTs and other organochlorine pesticides in fish to township residents of a major inland city. *Science of The Total Environment* 628(629): 517–527.
- Plhalova P, Blahova J, Divisova L, Enevova V, Casuscelli di Tocco F, Faggio C, Tichy F, Vecerek V, Svobodova Z (2018). The effects of subchronic exposure to NeemAzal T/S on zebrafish (*Danio rerio*). *Chemistry and Ecology* 34(3): 199–210.
- Sepici-Dinçel A, Benli A.Ç.K, Selvi M, Sarıkaya R, Şahin D, Özkul IA, Erkoç, F (2009). Sublethal cyfluthrin toxicity to carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings: biochemical, hematological, histopathological alterations. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72(5): 1433–1439.
- Storelli MM, Storelli A, Barone G, Marcotrigiano GO (2004). Polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide residues in *Lophius budegassa* from the Mediterranean Sea (Italy). *Marine Pollution Bulletin* 48: 743–748.
- Strungaru SA, Plavan G, Ciobica A, Nicoara M, Robea MA, Solcan C, Petrovici A (2019). Toxicity and chronic effects of deltamethrin exposure on zebrafish (*Danio rerio*) as a reference model for freshwater fish community. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 171: 854–862.
- Taylor JJ, Sopinka NM, Wilson SM, Hinch SG, Pattersone DA, Cooke SJ, Willmore WG (2016). Examining the relationships between egg cortisol and oxidative stress indeveloping wild sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 200: 87–93.
- Tiryaki O, Canhilal R, Horuz S (2010) Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 26(2):154–169.
- Uluocak BH, Egemen Ö (2005). İzmir ve Aliğa Körfezi'nde mevsimsel olarak avlanan bazı ekonomik balık türlerinde organik klorlu pestisit kalıntılarının araştırılması. *EÜ Su Ürünleri Dergisi* 22: 149–160.

- Varol M, Sünbül MR (2017). Organochlorine pesticide, antibiotic and heavy metal residues in mussel, crayfish and fish species from a reservoir on the Euphrates River, Turkey. *Environmental Pollution* 230: 311–319.
- Volschenka CM, Ikenak Y, Yohannes YB, Nakayama SM, Ishizuka M, Smith E, Van Vuren JMJ, Greenfield R (2019). Baseline bio-accumulation concentrations and resulting oxidative stress in *Synodontis zambezensis* after an acute laboratory exposure to 4,4'-DDT. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 156: 44–55.
- Wanga X, Zhonga W, Xiaoa B, Liua Q, LYanga L, Covacib A, Zhu L (2019). Bioavailability and biomagnification of organophosphate esters in the food web of Taihu Lake, China: Impacts of chemical properties and metabolism. *Environment International* 125: 25–32.