

Balık Parazitlerinin Biyoizlemedeki (Biyomonitöring) Önemi

Arzu GÜVEN, Türkay ÖZTÜRK*

Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Sinop

Geliş : 29.06.2017

Kabul : 16.08.2017

Derleme / Review

*Sorumlu yazar: turkay.ozturk@gmail.com

E-Dergi ISSN: 1308-7517

Özet

Balık parazitlerinin sucul ekosistemde biyomonitör ve biyoindikatör türler olarak kullanılması son yıllarda ekologların ilgisini çekmiş ve biyoizlemedeki (biyomonitöring) öneminin artmasını sağlamıştır. Balık parazitleri tür çeşitliliği ve bolluğu bakımından sucul ekosistemin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Sucul ortamdaki çevresel değişimlere hızlı bir şekilde tepki verdikleri için biyoizlemede indikatör tür olarak kullanılmaktadır. Balık parazitleri konaklarının filogenetik yapısı, populasyon biyolojisi, stokların ayrılması, göçü ve beslenmesinde biyolojik indikatörler olarak, konağından ve sucul ortamdakinden daha fazla ağır metali dokusunda biriktirmesinden dolayı birikim indikatörü olarak ve çevresel kirlilik araştırmalarında balık parazitlerinin biyokütle, topluluk yapısı, tür çeşitliliği, zenginliği, bolluğu üzerinde olası değişiklikler nedeniyle etki - ekosistem indikatörleri olarak kullanılmaktadır. Ayrıca balık parazitleri aracılığıyla konak biyolojisi ve çevresel değişimler hakkında daha uzun vadeli gözlem gerçekleştirilebilirken, bu gözlem diğer fiziksel ve kimyasal gözlem metodlarını da tamamlayıcı niteliktedir.

Anahtar kelimeler: Balık parazitleri, biyoizlem, biyomonitör, biyoindikatör

The Importance of Fish Parasites in Biomonitoring

Abstract

The use of fish parasites as a biomonitor and bioindicator species in the aquatic ecosystem has attracted ecologists' interest in recent years and has provided an increase of their importance in biomonitoring. Fish parasites are an important part of the aquatic ecosystem in terms of species diversity and abundance. They are used as indicator species in biomonitoring, because they are quickly respond to environmental changes in the aquatic environment. Fish parasites are used as biological indicators due to information about the phylogenetic structure of hosts, population biology, stock removal, migration and feeding; as accumulation indicators due to they can accumulate more heavy metals than in the aquatic environment; and as effect ecosystem indicators due to possible changes in biomass, community structure, species diversity, richness, abundance of fish parasites in environmental pollution surveys. It can also complement other physical and chemical monitoring methods, while longer-term monitoring can be made about host biology and environmental changes via fish parasites.

Keywords: Fish parasites, biomonitoring, biomonitor, bioindicator

GİRİŞ

Sucul biyoizlem, suda yaşayan organizmaları inceleyerek bir su kütesinin ekolojik durumunu ortaya çıkaran bir bilimdir (Rosenberg ve Resh, 1993). 19. yüzyılın ortalarına kadar su kalitesini izleme yöntemleri geleneksel olarak, su kütesinin bazı fiziksel ve kimyasal parametrelerinin temel alınmasına dayandırılırken, ilk kez Kolenati (1848) ve Cohn (1853) bazı organizmaların su kalitesi ile ilişkili olduğunu açıklamıştır. Ardından, Kolkwitz ve Marsson (1902, 1908, 1909) lotik ekosistemlerin kendi kendini temizlediğini

tespit etmiş ve buna bağlı olarak da sucul organizmalar ile kirlilik arasında bir ilişki olduğunu savunmuştur (Washington, 1984; Nachev, 2010). Böylece biyomonitör ve biyoindikatör olarak etiketlenmiş organizma topluluklarına dayalı bir hidrobiyolojik gözlem metodu ilk kez oluşturulmuş ve bu amaçla bir dizi ekolojik indeksler geliştirilmiştir. Doğrudan canlının dokusundaki değişimlerin belirlenmesine ya da canlılar arasındaki ilişkileri belirleyerek ekolojik dengenin gözlemlenmesine dayalı metodlar su kalitesini belirlemede daha sık uygulanmaya başlanmıştır. Bu kapsamda, makrofitler, algler, mantarlar, balıklar hatta siliyatlar biyoindikatör ve biyomonitör türler olarak çalışılmıştır. Sucul ekosistemin ayrılmaz birer parçası olan temel ve yaygın bu grupların pek çoğunun değeri fark edilmiş olmakla birlikte bazıları hala yeterli ölçüde araştırılmamıştır. Bu gruplardan biri de balık parazitleridir (Beeby, 2001; Nachev, 2010). Parazitlerin spesifik biyolojileri ile ilgili ilk araştırmalarda parazitlerin çevre koşulları ile bir ilişkisinin olmadığı varsayılmıştır. Bu varsayımın temeli ise balık parazitlerinin doğrudan sucul çevre ile bağlantılı olamaması ve bulunduğu canlının (konak faktörünün) var olmasına dayandırılmıştır. Balık parazitlerinin bir konağa bağlı olması ve konağın sürekli hareket halinde bulunması ve parazitin direkt olarak çevresel kirlilikten değil de dolaylı olarak konağın immün sistemi yoluyla kirlilikten etkilenebileceği olasılığı parazitlerin biyoindikatör olarak kullanılabilirliğinin sorgulanmasına neden olmuştur. Fakat çoğunlukla kirlilik ve bunu takiben de çevre koşullarındaki bozulma sonucunda bazı hastalık salgınları ile bazı parazit türlerindeki bolluk ve yoğunluğun değişimi balık parazitlerinin değişen koşullara farklı tepkiler verdiğini göstermiştir. Dahası bu değişikliklere verdikleri tepkilerin serbest hareket edebilen canlı organizmalarla benzer olduğu görülmüştür. Bu çalışma, balık parazitlerinin biyoizlemde kullanımı ile ilgili genel bir fikir vermek amacı ile derlenmiştir.

Balık Parazitlerinin Biyoizlemde Kullanılması

Parazitler farklı pek çok konak ve çevre şartlarında yaşayabildiklerinden dolayı biyolojik indikatörler olarak artan bir biçimde ilgi görmektedirler (Poulin, 1992; Sures vd., 1997a; 2006; Marcogliese, 2005; Sasal vd., 2007; Vidal-Martinez vd., 2009). Parazitler kompleks yaşam döngüleri ile ekosistem içindeki farklı biyotopların biyolojik özellikleri hakkında bilgi sağlayarak ekosistemdeki fonksiyonel bozuklukları belirlemede, dokularında ağır metalleri biriktirmeleri ve çevresel kirlilikle etkileşim halinde olması gibi özellikleriyle, kimyasal analizlerin veya geleneksel biyolojik araştırmaların tamamlayıcı biyoindikatörleri olarak ilgi çekmektedirler. Bununla birlikte; konak populasyon dinamiğine şekil verme, türler arası rekabeti ve enerji akışını etkileme, biyoçeşitliliğin önemli bir parçası olma gibi oldukça önemli etkilere de sahiptirler (Hudson vd., 2006; Lefevre vd., 2008). Ayrıca parazitler çevresel stres, besin ağı yapısı ve işleyişi, biyolojik çeşitlilik, kendi konaklarının göçü, üremesi ve filogenisi gibi biyolojik özellikleri hakkında da önemli bilgiler görmektedirler (Williams vd., 1992; Marcogliese, 2003, 2004).

Biyoizlemde balık parazitlerinin kullanımını; biyolojik, birikim ve etki-ekosistem indikatörleri olarak 3 ana başlık altında incelemek mümkündür (Palm, 2011). Balık parazitlerinin biyoizlemde kullanılabilmesi için taşıması gereken özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Balık parazitlerinin biyolojik, birikim ve etki-ekosistem indikatörleri olarak kullanılabilmesi için taşıması gereken özellikleri (Palm, 2011'den uyarlanmıştır)

Parazit özellikleri	Biyolojik indikatör	Birikim indikatörü	Etki-Ekosistem indikatörü
Konak popülasyonu için patojen olmamalı	✓	✓	✓
Konağa tutunabilmeli ve inceleme esnasında kısa sürede konaktan alınabilmeli	✓	✓	✓
Boyutu, ulaşılabilirliği, izole edilmesi vb. bakımından kolayca toplanabilir olmalı	✓	✓	✓
Kolaylıkla yaygınlık, yoğunluk, bolluk vb. nicel veriler elde edilebilmeli	✓	✓	✓
Tür seviyesinde tanımlanabilir olmalı	✓	✓	-
En az cins düzeyinde belirlenebilmeli	(✓) ^a	-	✓
Enfeksiyon verileri analiz edilebilir olmalı (yaygınlık, yoğunluk ve bolluk)	✓	-	✓
Yaşam süresi uzun olmalı	✓	✓	-
Farklı lokalitelerde bollukları değişken olmalı	✓	-	✓
Farklı yaş ve alanlardaki balıkları enfekte edebilmeli	✓	(✓) ^b	-
Yaygın olmalı (alanlar arasında kolaylıkla karşılaştırma yapabilmek için)	-	✓	(✓) ^c
Birikim potansiyeli yüksek ve kirleticilere karşı dirençli olmalı	-	✓	-
Yaşam döngüsü ve fizyolojisi bilinmeli	-	✓	✓
Değişen çevre koşullarına tepki göstermeli	-	-	✓
Çalışma alanı ile ilgili detaylı bilgi vermeli	-	-	✓
Deneysel çalışmalarda etkinin izlenmesinde bilgi ve metodun birleştirilmesine izin vermeli	-	-	✓

✓: uygun özellik barındıran

(✓)^a: aynı cinsin tüm türleri için değil, sp. olarak tanımlanmış tek bir türü için uygun özellik barındırmalı

(✓)^b: deneysel ortamlar için de uygun özellik barındırmalı

(✓)^c: farklı coğrafik alanlar için uygun özellik barındırmalı

-: uygun özellik barındırmayan

Biyozilemde yararlanılan parazit grupları Ciliophora, Monogenea, Digenea, Cestoda, Nematoda, Acanthacephala ve Crustacea olup, bu türler konaklarının biyolojik, birikim ve etki-ekosistem indikatörleri olarak kullanılmaktadırlar. Bu parazit grupları ile yapılan çalışmalar, bu grupların her birinin indikatör olarak kullanıldığı alanlar ve faydalanılma seviyelerinin birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Biyolojik, birikim ve etki indikatörleri olarak balık parazitlerinden faydalanılması (Palm, 2011'den uyarlanmıştır)

	Biyozilemde kullanılan Parazit Grupları						
	Ciliophora/ Myxosporidea	Monogenea	Digenea	Cestoda	Nematoda	Acanthocephala	Crustacea
<i>Biyolojik indikatör</i>							
Popülasyon biyolojisi/göç	+	+	+	+	+	+	+
Konak bolluğu/yoğunluğu	+	+	+	+	+	+	n
Beslenme ekolojisi	=	=	=	+	+	+	=
Konağın tanımlanması/filogeni	n	+/-	+/-	-/+	-/+	-/+	+/-
<i>Birikim indikatörü</i>							
Biyoakümülyasyon (ağır metal)	n	n	=/+	+	=/+	+	n
<i>Etki ve ekosistem indikatörü</i>							
Ötrifikasyon/ bakteriyel biyokütle	+	=	+	+	+	+	-
Endüstriyel atık	+	+/-	-/+	-/+	-/+	=/-	-
Termal kirlilik	+	+/-	-	=	+	+/-	n
Kağıt ve kağıt hamuru atığı	+	+/=	-/+	=	-	+	-
Çamur	n	=	-/+	+	=	-	n
PCB/ Pestisit	+	=	=/-	-	-	=/-	-
Ağır metal atıkları	+/-	+/-	-	-	=	+	-
Petrol	+/=	-	-	=	-	=	=
Asit yağmuru	n	-	-	-	n	+	n
İnsan etkisi	n	-/=	-	-	+/-	n	-/+
(+): Bolluk da artış veya etkili	(+/-): artışa yönelim		(=): etki yok				
(-): etkili değil,	(-/+): azalışa yönelim		(n): yeterli veri mevcut değil laboratuvar ve alan çalışmalarından				

Balık Parazitlerinin Biyolojik İndikatör Olarak Kullanılması

Balık parazitleri enfekte ettikleri konaklarının beslenme, göç, stok, filogenetik yapısı ve bolluğu hakkında bilgi vermektedir (Kim vd., 2007).

Beslenme

Yaşam döngülerinin belli bir evresinde ara konağa ihtiyaç duyan ve bu ara konağın balık tarafından tüketilmesi yoluyla balığa geçen parazitlerin balıkta bulunması balığın yem olarak tükettiği canlı ve beslenme rejimi hakkında bilgi vermektedir. Bu anlamda biyoizlem çalışmalarında kullanılan; digenea, cestoda, nematoda, acanthacephala türlerinin balıkta bulunması balığın hangi tür ara konak ile beslendiği, ortamda o ara konağın var olup olmadığı, yeni bir ara konak ya da son konağın ortama girip girmediği hakkında bilgi vermektedir (Marcogliese, 2002; 2005).

Göç

Herhangi bir bölgede daha önce var olmayan bazı parazit türlerinin görülmeye başlaması bu bölgeye farklı balık türlerinin geldiğinin bir göstergesi olabilir. Ya da aynı bölgeden alınarak incelenen aynı balık türlerinin farklı parazit türleri ile enfekte oluşu bu balıkların farklı bölgelerden geldiklerinin bir göstergesi olabilir. Örneğin; Kuzey denizinde bulunan Ringa balığında *Anisakis simplex* nematodu tespit edilmiştir. Ringa balığının Baltık denizinin Polonya kıyılarına göç etmesiyle *Anisakis simplex* nematodunu buradaki farklı balık türlerinde de görülmeye başlamıştır. Almanya'da yapılan bir çalışmada ise bir cestod türünün anadrom salmonid balıklar tarafından okyanuslardan Rhine, Elbe, Weser nehirlerine taşındığı bildirilmiştir. Bu da balıkların hangi bölgeler arasında göç yaptığının bir göstergesidir (Palm, 2011).

Stok

Balıklarda bulunan parazit türlerine bakılarak, o bölgede bulunan balıkların stokları ayırt edilebilmektedir. Çünkü bazı parazit türleri balıkları farklı yaş, farklı çevresel koşullar da enfekte etmekle birlikte, farklı dokularda enfeksiyona neden olmaktadır. Margolis (1982), Kanada'da yaptığı bir çalışmada; *Oncorhynchus nerka* juvenillerinin beyininde bulunan *Myxobolus arcticus* ve kas sisteminde bulunan *Henneguya salmonicola* türlerine bakarak bu balığın Great Central, Sproat ve Henderson gölleri olmak üzere 3 farklı stoktan geldiğini tespit etmiştir. Farklı göllere üreme göçü yapan bu balıkların her iki parazit türü ile de enfekte olan juvenillerin Henderson gölünden, her iki türle de enfekte olmayan juvenillerin Great Cenral gölünden yalnızca *Myxobolus arcticus* ile enfekte olanların ise Sproat gölünden geldiği tespit edilmiştir. Bu durum göllerde farklı ara konak türlerinin var olması ve tüketilmesinden kaynaklı parazit enfeksiyonları ile açıklanabilmiştir.

Filogenetik yapı

Bazı parazit türleri konak seçiciliğine sahip olup yalnızca bir veya birbirine sistematik olarak yakın birkaç balık türünde bulunmaktadır. Bu da yapılacak sistematik çalışmalarda konakların filogenetik ilişkilerinin belirlenmesinde parazitlerden de faydalanılabileceğini göstermektedir. Özellikle biyolojik gözlem çalışmalarında kullanılan monogenea'nın tür seçiciliğine sahip olduğu ve bazı türlerin spesifik konaklarda bulunduğu bilinmektedir.

Örneğin; *Gyrodactylus proterorhini* monogenean parazit türü Gobiidae familyasının birçok üyesinin tipik paraziti olduğu bildirilmiştir (Ondračková, 2016).

Bolluk

Epidemiyolojik çalışmalar, çevresel faktörlerde önemli bir değişim olmadığı sürece parazit popülasyonundaki artış veya azalışın konak, ara konak ve son konak yoğunluğundaki artış ve azalış ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir (Palm, 2011). Yapılan çalışmalarda özellikle çevresel kirlilikteki artışın endo parazitlerde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ise kirliliğe bağlı olarak konak ve ara konak popülasyonundaki azalmaya bağlanmaktadır (Bergey vd., 2002). Sucul ortamdaki parazit yoğunluğunun konak bolluğu ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır.

Balık Parazitlerinin Birikim İndikatörü Olarak Kullanılması

Balık parazitlerinin bünyelerinde toksin biriktirme özellikleri fark edilmiş ve bununla ilgili çalışmalarda son yıllarda artış görülmeye başlanmıştır. Yapılan birçok çalışmada parazitlerin ‘birikim indikatörleri’ olarak değerlendirilebileceği vurgulanmıştır (Sures, 2001; Sures vd., 1997a, 1999; Nachev, 2010). Balık parazitlerinin, çevre sağlığının korunmasında önceden belirlenen bazı organizmalardan daha iyi olduğu ve toksik kimyasalları ciddi anlamda yoğun ve hızlı biriktirme kapasitesine sahip oldukları görülmüştür. Birikim indikatörü olarak belirlenen parazitlerin ortamda bulunan ağır metaller gibi toksik kimyasalların varlığını erkenden belirlenmesi çevresel çalışmalarda oldukça önemli bir yere sahip olmasına neden olmuştur.

Balıklar, metal ve pestisit gibi kirleticileri deri ve solungaçları ile sudan pasif difüzyon ya da besin yolu ile alırlar. Metaller solungaç ve sindirim sistemi ile vücudun diğer doku ve organlarına kan dolaşımı ile dağılmaktadır. Kan dolaşımına geçen ağır metaller eritrosit membranlarına bağlandıktan sonra eritrositler yoluyla dolaşım sistemine geçer. Dolaşım sistemi yolu ile karaciğere geçen ağır metallerin büyük bir kısmı burada kandan uzaklaştırılır ve safra yoluyla bağırsağa geçer. Steroid bir birleşik olan safra sıvısı; organometalik kompleksler şeklindeki ağır metal iyonlarının steroid ile birlikte safra kanalından ince bağırsağa geçmesini sağlar. İnce bağırsaktaki bu organometalik kompleksler bağırsak duvarı tarafından ya yeniden absorbe edilir ve dolaşıma geri döner ya da balığın dışkıyla dışarı atılır. Yapılan çalışmalarda intestinal parazitlerin safra tuzları ile birlikte organometalik kompleksleri bağırsakta bünyelerine aldığı ve safra tuzları ile bu metalleri bünyesine alan parazitlerin konağın intestinal boşluğunda metalleri biriktirme oranını düşürdüğü görülmüştür (Sures ve Siddal, 1999; Sures, 2001).

Balık parazitlerinin kirleticiler için biyoindikatör olarak kullanımı ve parazitlerin vücutlarında metalleri biriktirmesi konusunda değişik çalışmalar yapılmıştır (Gelner vd., 1997; Dusek vd., 1998). Farklı helmint türlerinin ağır metal biriktirme kapasitelerini belirlemeye yönelik çalışmalar özellikle acanthocephala grubu üzerine yoğunlaşmıştır (Sures vd., 1999; Sures, 2003). Bunun yanında cestodların da ağır metalleri oldukça yüksek düzeyde biriktirebildikleri de bildirilmektedir (Sures vd. 1999a; Sures, 2001; 2004). Dolayısıyla cestoda ve acanthocephala grubu parazitler yüksek metal biriktirme kapasitelerinden dolayı metal kirliliklerinin biyoindikatörü olarak en çok çalışılan parazitler olmuş ve ümit verici bulunmuşlardır. Yapılan çalışmalarda genel olarak balık helmintlerinin konaktan ve bulunduğu ortamdan daha fazla ağır metal biriktirebildikleri ortaya konulmuştur (Sures vd., 1999; Sures, 2001; 2003; 2004). Ağır metal birikimi ile ilgili yapılan çalışmalarda hem konak balık türünün solungaç, kas, karaciğer, bağırsak

olmak üzere farklı organlarına, hem suya, hem de parazit dokusuna bakılarak birbirleri arasındaki birikim oranları kıyaslanmıştır. Ayrıca bazı çalışmalarda diğer bazı birikim indikatörü olan sucul omurgasızlar ile balık parazitlerinin birikim oranları da kıyaslanmıştır. Böylece yapılan pek çok çalışmada parazitlerin ağır metali konaklarından daha fazla oranda biriktirdiğini göstermiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Çeşitli çalışmalarda parazitlerin ağır metali konakları

Balık türü	Parazit türü	Balık dokusundaki ağır metal birikimi ($\mu\text{g/g}^{-1}$)							Referans	
		Ağır metal	Deri	Solungaç	Kas	Karaciğer	Safra	Bağırsak		Parazit ($\mu\text{g/g}^{-1}$)
<i>Leuciscus cephalus</i>	<i>Pomphorhynchus leavis</i>	Pb			0,02	0,07		0,19	54,0	Sures vd., 1994a
<i>Leuciscus cephalus</i>	<i>Pomphorhynchus leavis</i>	Pb			0,01	0,16		0,46	9,3	Sures ve Siddall 1999
<i>Leuciscus cephalus</i>	<i>Acanthocephalus anguillae</i>	Pb				0,21			43,31	Galli vd., 1998
		Cr				0,33			21,93	
<i>Leuciscus cephalus</i>	<i>Pomphorhynchus leavis</i>	Cd			0,01	0,13		0,06	4,27	Sures ve Taraschewski
<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Acanthocephala lucii</i>	Cd			0,03	1,19		0,22	3,53	1995
<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Acanthocephala lucii</i>	Pb			0,05	0,14		0,30	16,0	Sures vd., 1994c
<i>Anguilla anguilla</i>	<i>Paratenuisentis ambiguus</i>	Pb				0,18	0,03	0,09	3,7	Sures vd., 1994b
		<i>Anguillicola crassus</i>							0,02	
<i>Anguilla anguilla</i>	<i>Anguillicola crassus</i>	Cd	0,10		0,06	0,07			1,45	Genç vd., 2008
		Cr	0,09		0,09	0,09			1,30	
		Cu	2,76		1,53	8,83			3,72	
		Fe	6,72		10,51	132,46			268,08	
		Hg	0,17		0,19	0,27			0,03	
		Mn	1,39		0,91	1,76			1,49	
		Pb	0,43		0,53	0,48			2,47	
		Zn	10,85		10,20	16,32			12,10	
<i>Tinca tinca</i>	<i>Ligula intestinalis</i>	Fe		0,058	0,008	0,13			0,32	Tekin-Özan ve Kır 2005
		Zn		0,014	0,007	0,019			0,048	
		Mn		0,005		0,003			0,008	
<i>Tinca tinca</i>	<i>Monobothrium wagneri</i>	Pb			0,02	0,11		0,11	3,00	Sures vd., 1997b
		Cd			0,011	0,13		0,09	0,47	
<i>Scophthalmus maximus</i>	<i>Bothriocephalus scorpi</i>	Pb			0,05	0,10		0,09	0,08	
		Cd			0,002	0,03		0,02	0,10	

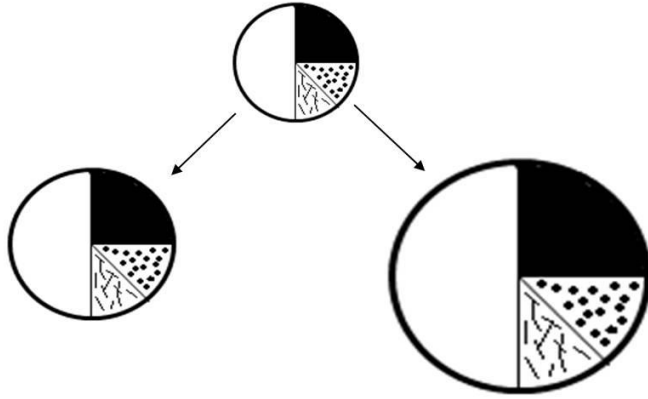
Balık Parazitlerinin Etki ve Ekosistem İndikatörü Olarak Kullanılması

Son yıllarda yapılan çalışmalarda özellikle parazitlerin çevresel kirlilikle etkileşim halinde olduğu ve insan kökenli (antropojenik) kirliliğe çeşitli şekillerde tepki gösterdiği belirlenmiştir (Sures, 2004). Kirliliğin söz konusu olduğu ortamlarda ekosistem dengesinin bozulmasına ortamdaki canlı organizmalar çeşitli tepkiler gösterirler. Bu tepkiler arasında oldukça kolay gözlemlenebilen bazı ekolojik özellikler vardır. Bu özelliklerin en tipik olanları, dağılım özellikleri olarak adlandırabilen tür çeşitliliği, tür zenginliği, bolluk ve benzerlik değerleridir.

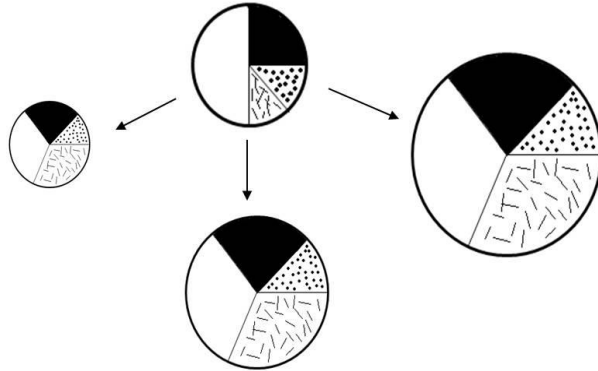
Sucul ekosistemde kirlilik, bir grup organizmanın ortamı terk etmeleri veya yok olmalarına neden olabilese de bazı organizmalar direnerek ortamdaki varlıklarını sürdürebilir. Direnen türler ortam koşulları uygun olsa bile koşullardan birinin eksikliğine karşı duyarlılık gösterebilir veya başka türlerin gelişmesinde sınırlayıcı rol oynayabilir. Bir türün bir bölgedeki varlığı ve bolluğu belirli ekolojik koşullara bağlı olup o ortamın göstergesi olabilir. Bu organizmalar duyarlı veya hassas organizma olarak ya da ekosistem indikatörleri olarak adlandırılmaktadır.

Sucul ekosistemde çeşitli kirleticilerin etkisiyle parazitlerin tür çeşitliliğinde, parazit topluluğu yapısında, enfeksiyon oranında, bolluğunda ve patojenitesinde doğrudan (paraziti etkileyerek) veya dolaylı olarak (konakları etkileyerek) değişimler belirlenmiştir (Khan ve Thulin 1991; Poulin, 1992; Mackenzie vd., 1995; Lafferty, 1997; Sures, 2004). Parazitlerin tür çeşitliliği, biyokütle ve topluluk yapısındaki değişimler Şekil 1 de gösterilmiştir.

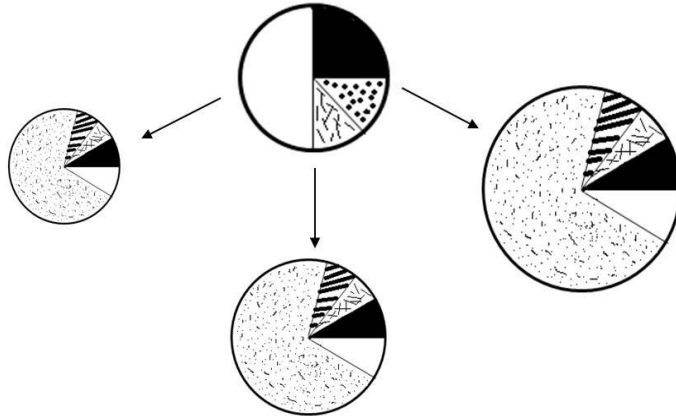
Parazitlerin, farklı coğrafik alanlarda birden fazla konağı enfekte edebilmeleri ve bazı parazit türlerin konaklarına karşı yüksek özgüllük göstermeleri, değişen çevresel şartlara genellikle kolay uyum sağlayamamaları, sucul ekosistemdeki çeşitli kirleticilerin etkilerini izlemeye parazitlerin etki indikatörleri olarak tercih edilmesini sağlamıştır (Sures, 2004). Özellikle metazoan parazitler kırılğan, bağımsız ve çevresel değişimlere karşı oldukça duyarlı farklı gelişim evreleri içeren yaşam döngüsüne sahiptir. Bu nedenle, parazitler çok küçük çevresel değişimlerden bile olumsuz yönde etkilenebilirler ve bu durum bu organizmaların yaşam döngülerinin zayıf halkaları olarak görülürler. Yapılan pek çok araştırmada hem konak hem de parazitlerinin kirleticilerden önemli ölçüde etkilendiği ve sucul çevredeki hastalıklar ile kirlilik arasında önemli bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Çevresel kirlilikten direkt olarak ya da çevresel kirliliğin son konak ve ara konak üzerindeki etkisi nedeniyle dolaylı olarak etkilenen parazitler çevresel kalitenin potansiyel indikatörleri olarak yoğun bir şekilde ilgi görmeye başlamıştır (Bergey vd., 2002; Nachev, 2010). Özellikle ektoparazitik monogenean trematodlarla yapılan bazı çalışmalarda monogenean parazitlerin kirliliğe serbest hareket eden canlılarla benzer tepkiler verdikleri gösterilmiştir (Sures, 2001; Nachev, 2010). Kirliliğin çevre üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda ise özellikle ciliata, nematoda, cestoda, acanthacephala, monogenea ve digenea türleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Lafferty, 1997). Çeşitli kirlilik faktörlerinin, farklı konaklardaki balık parazitleri üzerine etkisi ile ilgili yapılan bazı araştırmalar Tablo 4’de verilmiştir



a) Biyokütle değişir fakat topluluk yapısı değişmez



b) Aynı türler mevcuttur fakat biyokütle ve topluluk yapısında değişiklikler olabilir



c) Biyokütüde , topluluk yapısında ve tür sayısında değişiklikler olabilir

Şekil 1. Çevresel uyarıcıların etkisiyle popülasyon yapısında ve total biyokütüdeki değişimler. Şekillerin büyüklükleri biyokütleyi, şekil içerisindeki farklı gölgelendirmeler ise topluluk yapısını temsil etmektedir (Phillips ve Rainbow 1993'den uyarlanmıştır)

Tablo 4. Çeşitli kirlilik faktörlerinin, farklı konaklardaki balık parazitleri üzerine etkisi

Parazit Grubu	Konak	Kirlilik/ Kontaminasyon	Parazite Etkisi	Referans
<i>Dactylogyrus</i> sp. <i>Paradiplozoon homoion</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	Kağıt hamuru atığı	Enfeksiyon oranı ve yoğunluğunda azalma	Thulin vd., 1988
<i>Dactylogyrus</i> grup	<i>Rutilus rutilus</i>	Ötrifikasyon Kağıt hamuru ve kağıt fabrika atıkları	Enfeksiyon yoğunluğunda artış	Koskivaara vd., 1991
<i>Trichodina</i> spp.	<i>Myoxocephalus scorpius</i> , <i>M. octodecemspinus</i>	Kağıt hamuru ve kağıt fabrika atıkları	Enfeksiyon yoğunluğunda önemli artış	Khan vd., 1994
<i>Glugea stephani</i> <i>Cryptocotyle lingua</i> Anisakid nematode larvae	<i>Pseudopleuronectes americanus</i>	Kağıt hamuru ve kağıt fabrika atıkları	Enfeksiyon oranı ve yoğunluğunda artış	Barker vd., 1994
<i>Echinorhynchus gadi</i>	<i>Pseudopleuronectes americanus</i>	Kağıt hamuru ve kağıt fabrika atıkları	Enfeksiyon oranı ve yoğunluğunda azalma	Barker vd., 1994
<i>Trichodina</i> sp., <i>Apiosoma</i> <i>Ichtiophthirius multifiliis</i> <i>Trichodina domerguei</i> <i>Chilonodella cyprini</i> <i>Dactylogyrus longicirrus</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	Kağıt hamuru ve kağıt fabrika atıkları	Enfeksiyon oranında artış	Mackenzie vd., 1995
<i>Argulus foliaceus</i>	<i>Puntius</i> sp.	Endüstriyel atık, deterjan, evsel atık, erozyondan kaynaklı alüvyon	Enfeksiyon yoğunluğunda artış	Mackenzie vd., 1995
Dactylogyrids <i>Echinorhynchus gadi</i> <i>Cryptobia</i> sp.	<i>Rutilus rutilus</i> <i>Perca fluviatilis</i> <i>Rutilus rutilus</i>	Ötrifikasyon Kağıt hamuru ve kağıt fabrika atıkları Kağıt hamuru ve kağıt fabrika atıkları	Prevelans da artış Tür çeşitliliği ve bolluğunda azalma Parazit bolluğunda önemli düşüş	Mackenzie vd., 1995 Siddall vd., 1997 Khan ve Payne 1997
Metazoan parazit grup <i>Trichodina</i> sp. <i>Gyrodactylus</i> sp. İntestinal digenealar <i>Steringophorus furciger</i> <i>Lamproglana pulchella</i> <i>Gyrodactylus</i> sp. <i>Ligula pavlovskii</i> <i>Rhipidocotyle fennica</i> Acanthacephalans <i>Eustrongylides ignotus</i>	<i>Leuciscus cephalus</i> <i>Hippoglossoide platessoides</i> <i>Pseudopleuronectes americanus</i> Cyprinid balıklar <i>Ammodytes hexapterus</i> <i>Neogobius fluviatilis</i> <i>Rutilus rutilus</i> <i>Tautoglabrus adspersus</i> <i>Gambusia holbrooki</i>	Endüstriyel ve kentsel atıklar Sedimentte kirlilik, Hidrokarbon Sedimentteki yağ kontaminasyonu Akuatik kirlilik Hidrokarbon Evsel, endüstriyel ve tarımsal atık Kağıt hamuru ve kağıt fabrika atıkları Kentsel ve endüstriyel atıklar Kanalizasyon atığı	Tür baskınlığında ve yoğunlukta azalma, türler arasındaki dağılımda değişim Azalma Bollukta artış Etki görülmedi Prevelans ve yoğunlukta azalış Enfeksiyon oranı ve yoğunluğunda artış Enfeksiyon yoğunluğunda artış Enfeksiyon yoğunluğunda artış Bolluk ve yoğunlukta artış Enfeksiyon oranı ve yoğunluğunda artış Enfeksiyon oranında artış	Dusek vd., 1998 Marcogliese vd., 1998 Khan, 1998 Galli vd., 2001 Moles ve Wade 2001 Kvach, 2001 Jeney vd., 2002 Billiard ve Khan 2003 Coyner vd., 2003

SONUÇ

Sonuç olarak; sucul ekosistemin ayrılmaz bir parçası olan ve son onbeş yıldır biyoindikatör ve biyomonitör türler olarak etiketlenen balık parazitleri, sucul biyoizlemede dikkat çekici organizmalar arasında yer almaktadır. Özellikle çevresel kirlilikte parazitlerin konaklarından daha hassas organizmalar olmalarından dolayı ortamda çeşitli kirletici maddelerin varlığını test eden tanı araçları olarak, konaklarına göre kirliliği daha fazla biriktirebilme özelliklerinden dolayı da değişen çevresel koşulları izlemede biyomonitör ve biyoakümülatör türler olarak sucul ekosistemin biyoizleminde çok önemli rol oynamaktadırlar. Ayrıca kirleticinin konak dokusu üzerindeki seviyesini ve etkisini azalttığı ile ilgili çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda balık parazitlerinin konaklarına zararlı etkilerini göz ardı etmeksizin fayda sağladığı gibi ilginç bir çıkarıma ulaşmak da mümkündür. Parazitler sayesinde çevresel değişikliklerin daha uzun süreli gözlemlenebilmesi mümkün olmakla birlikte bu biyoizlem metodu yapılan diğer fiziksel ve kimyasal testleri de tamamlayıcı niteliktedir.

KAYNAKLAR

- Barker, D. E., Khan, R. A. & Hooper, R. (1994). Bioindicators of stress in winter flounder, *Pleuronectes americanus*, captured adjacent to a pulp and paper mill in St. George's Bay, Newfoundland. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51, 2203-2209.
- Beeby, A. (2001). What do sentinels stand for? *Environmental pollution*, 112, 285-298.
- Bergey, L., Weis, J. S. & Weis, P. (2002). Mercury uptake by the estuarine species *Palaemonetes pugio* and *Fundulus heteroclitus* compared with their parasites, *Probopyrus pandalicola* and *Eustrongylides* sp. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 1046-1050.
- Billiard, S. M. & Khan, R. A. (2003). Chronic stress in cunner, *Tautoglabrus adspersus*, exposed to municipal and industrial effluents. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 55, 9-18.
- Coyner, D. F., Spalding, M. & Forrester, D. J. (2003). Influence of treated sewage on infections of eustrongylides ignotus (Nematoda: Dioctophymatoidea) in eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) in an urban watershed. *Comparative Parasitology*, 70(2), 205-210
- Dusek, L. M., Gelnar M. & Sebelova, S. (1998). Biodiversity of parasites in a freshwater environment with respect to pollution: metazoan parasites of chub (*Leuciscus cephalus* L.) as a model for statistical evaluation. *International Journal for Parasitology*, 28(10), 1555-1571.
- Galli, P., Crosa, G. & Occhipinti Ambrogi, A. (1998). Heavy metals concentrations in Acanthocephalans parasites compared to their fish host. *Chemosphere*, 37(14-15), 2983-2988.
- Galli, P., Crosa, G., Mariniello, L., Ortis, M. & D'Amelio, S. (2001). Water quality as a determinant of the composition of fish parasite communities. *Hydrobiologia*, 452, 173-179.
- Gelnar, M., Sebelová, S., Dusek, L., Koubková, B., Jurajda, P. & Zahrádková S. (1997). Biodiversity of parasites in freshwater environment in relation to pollution. *Parasitology*, 39, 189-199.
- Genç, E., Sangun, M. K., Dural, M., Can, M. F. & Altunhan, C. (2008). Element concentrations in the swimbladder parasite *Anguillicola crassus* (Nematoda) and its host the European eel, *Anguilla anguilla* from Asi River (Hatay-Turkey). *Environmental Monitoring Assessment*, 141, 59-65. doi: 10.1007/s10661-007-9878-9
- Hudson, P. J., Dobson, A. P. & Lafferty, K. D. (2006). Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(7), 381-385. doi:10.1016/j.tree.2006.04.007
- Koskivaara, M., Valtonen, E. T. & Prost, M. (1991) Dactylogyrids on the gills of roach in Central Finland: features of infection and species composition. *International Journal for Parasitology*, 21(5), 565-572.

- Jeney, Z., Valtonen, E. T., Jeney, G. & Jokinen, E. I. (2002). Effect of pulp and paper mill effluent (BKME) on physiological parameters of roach (*Rutilus rutilus*) infected by the digenean *Rhipidocotyle fennica*. *Folia Parasitologica*, 49, 103-108.
- Kim, J. H., Lee, C. H. & Lee, C. S. (2007). Preliminary studies of metazoan parasites of Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) in Korea. *North Pasific Anadromous Fish Commision Bulletin*, 4, 155-157.
- Khan, R. A. (1998). Fish Parasites as indicators of environmental stress. *Parasitology Internutional*, 47 (Suppl.)-2348
- Khan, R. A. & Thulin, J. (1991). Influence of pollution on parasites of aquatic animals. *Parasitology*, 30, 201– 238.
- Khan, R. A. & Payne, J. F. (1997). A multidisciplinary approach using several biomarkers including a parasite, as indicators of pollution: a case history from a paper mill in Newfoundland. *Parassitologia*, 39, 183-188.
- Khan, R. A., Barker, D. E., Williams-Ryan, K. & Hooper, R. G. (1994). Influence of crude oil and pulp and paper mill effluent on mixed infections of *Trichodina cottidarium* and *T. saintjohnsi* (Ciliophora) parasitizing *Myoxocephalus octodecemspinosus* and *M. Scorpius*. *Canadian Journal of Zoology*, 72(2), 247-251.
- Kvach, Y. U. V. (2001). *Ligula* invasion of monkey goby (*Neogobius fluviatilis*) in some estuaries of north western Black Sea region. *Vestnik Zoologii*, 35, 85–88.
- Lafferty, K. D. 1997. Environmental parasitology: What can parasites tell us about human impacts on the environment. *Parasitology Today*, 13(7), 251-255.
- Lefevre, T., Lebarbenchon, C., Gauthier-Clerc, M., Misse, D., Poulin, R. & Thomas, F. (2008). The ecological significance of manipulative parasites. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(1), 41-48. doi:10.1016/j.tree.2008.08.007
- MacKenzie, K., Williams, H. H., Williams, B., McVicar A.H. & Siddall, R. (1995). Parasites as indicators of water quality and the potential use of helminth transmission in marine pollution studies. *Advance in Parasitology*, 35, 85–114
- Margolis, L. (1982). Pacific salmon and their parasites. A century of study. *The Bulletin of the Canadian Society of Zoologists*, 13, 7-11.
- Marcogliese, D. J. (2002). Food webs and the transmission of parasites to marine fish. *Parasitology*, 124, S83-S99.
- Marcogliese, D. J. (2003). Food webs and biodiversity: are parasites the missing link? *Journal of Parasitology*, 89, S106-S113.
- Marcogliese, D. J. (2004). Parasites: small players with crucial roles in the ecological theatre. *EcoHealth*, 1, 151-164.
- Marcogliese, D. J. (2005). Parasites of the superorganism: Are they indicators of ecosystem health? *International Journal for Parasitology*, 35, 705–716.
- Marcogliese, D. J., Nagler, J. J. & Cyr, D. G. (1998). Effects of exposure to contaminated sediments on the parasite fauna of American plaice (*Hippoglossoides platessoides*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61, 88–95.
- Moles, A. & Wade, T. L. (2001). Parasitism and phagocytic function among sand lance *Ammodytes hexapterus* Pallas exposed to crude oil-laden sediments. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66, 528–535.
- Nachev, M. (2010). Bioindication capacity of fish parasites for the assessment of water quality in the Danube River. Erlangung des Doktorgrades, Universität Duisburg-Essen, Sofia, 122.
- Ondračková, M. (2016). Gyrodactylus proterorhini in its non-native range: distribution and ability to host-switch in freshwaters. *Parasitology Research*, 115, 3153–3162. doi:10.1007/s00436-016-5073-7
- Palm, H. V. (2011). Fish Parasites as biological indicators in a changing world: Can we monitor environmental impact and climate change? *Progress in Parasitology, Parasitology Research*

- Monographs 2*, pp. 223-250. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-21396-0_12.
- Phillips, D. J. H., & Rainbow, P. S. (1993). Biomonitoring of trace aquatic contaminants. London, 1-6.
- Poulin, R. (1992). Toxic pollution and parasitism in freshwater fish. *Parasitology Today*, 8(2), 58-61.
- Rosenberg, D.M. & Resh, H. (1993). Introduction to Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York. 488pp.
- Sasal, P., Mouillot, D., Fichez, R. Chifflet, S. & Kulbicki, M. (2007). The use of fish parasites as biological indicators of anthropogenic influences in coral-reef lagoons: A case study of Apogonidae parasites in New-Caledonia. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1697-1706. doi:10.1016/j.marpolbul.2007.06.014
- Siddal, R., Koskivaara, M. & Valtonen, E. T. (1997). *Dactylogyrus* (Monogenea) infections on the gills of roach (*Rutilus rutilus* L.) experimentally exposed to pulp and paper mill effluent. *Parasitology*, 114(5), 439-446.
- Sures, B. (2001). The use of fish parasites as bioindicators of heavy metals in aquatic ecosystems: a review. *Aquatic Ecology* 35, 245–255.
- Sures, B. (2003). Accumulation of heavy metals by intestinal helminths in fish: an overview and perspective. *Parasitology*, 126, 53–60.
- Sures, B. (2004). Environmental parasitology: relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. *Trends in Parasitology*, 20, 170–177.
- Sures, B. & Taraschewski, H. (1995) Cadmium concentrations of two adult acanthocephalans (*Pomphorhynchus laevis*, *Acanthocephalus lucii*) compared to their fish hosts and cadmium and lead levels in larvae of *A. lucii* compared to their crustacean host. *Parasitology Research*, 81, 494–497
- Sures B. & Siddall, R. (1999). *Pomphorhynchus laevis*: the intestinal Acanthocephalan as a lead sink for its fish host, chub (*Leuciscus cephalus*). *Experimental Parasitology*, 93, 66–72.
- Sures, B., Taraschewski, H. & Jackwerth, E. (1994a) Lead accumulation in *Pomphorhynchus Laevis* and its host. *J. Parasitol*, 80, 355–357.
- Sures, B., Taraschewski, H. & Jackwerth, E. (1994b) Lead content of *Paratenuisentis ambiguus* (Acanthocephala), *Anguillicola crassus* (Nematodes) and their host *Anguilla anguilla*. *Dis. Aquat. Org.*, 19, 105–107.
- Sures, B., Taraschewski, H. & Jackwerth, E. (1994c) Comparative study of lead accumulation in different organs of perch (*Perca fluviatilis*) and in its intestinal parasite *Acanthocephalus lucii*. *Bull Environ Contam Toxicol.*, 52, 269–273
- Sures, B., Taraschewski, H. & Siddall, R. (1997a). Heavy metal concentrations in adult acanthocephalans and cestodes compared to their fish hosts and to established free-living bioindicators. *Parassitologia*, 39, 213–218.
- Sures, B., Taraschewski, H. & Rokicki, J. (1997b). Lead and cadmium content of two cestodes *Monobothrium wageneri*, and *Bothriocephalus scorpii*, and their fish hosts. *Parasitol Res*, 83, 618–623.
- Sures, B., Siddall, R. & Taraschewski, H. (1999). Parasites as accumulation indicators of heavy metal pollution. *Parasitol Today*, 15, 16–21.
- Sures, B., Lutz, I. & Kloas, W. (2006). Effects of infection with *Anguillicola crassus* and simultaneous exposure with Cd and 3,3',4,4',5-pentachlorobiphenyl (PCB 126) on the levels of cortisol and glucose in European eel (*Anguilla anguilla*). *Parasitology*, 132, 281–288. doi:10.1017/S0031182005009017
- Tekin-Özan, S. & Kır, İ. (2005). Comparative study on the accumulation of heavy metals in different organs of tench (*Tinca tinca* L. 1758) and plerocercoids of its endoparasite *Ligula intestinalis*. *Parasitol Res*, 97, 156–159. doi:10.1007/s00436-005-1412-9

- Thulin, J., Höglund, J. & Lindesjö, E. (1988). Diseases and parasites of fish in bleached Kraft mill effluent. *Wet. Sci. Tech.*, 20(2), 179-180.
- Vidal-Martinez, V. M., Pech, D., Sures, B., Prucker, S. T. & Poulin, R. (2009). Can parasites really reveal environmental impact? *Trends in Parasitology*, 26(1), 44-51. doi :10.1016/j.pt.2009.11.001
- Washington, H.G. (1984). Diversity, biotic and similarity indices. A review with special reference to aquatic ecosystems. *Water Research*, 18, 653-694.
- Williams, H. H., MacKenzie, K. & MacCarthy, A. M. (1992). Parasites as biological indicators of the population biology, migration, diet and phylogenetics of fish. *Fish Biology*, 2, 144-176.