



Uluabat Gölü Su Kirliliğine Bağlı Olarak *Cyprinus carpio* ve *Silurus glanis*'teki Genetik Hasar Düzeyinin Belirlenmesi

Ali Ahmet BERBER¹ , Nesrin EMRE² , Merve GÜNEŞ³ , Burçin YALÇIN³ , Faruk PAK⁴
Özgür AKTAŞ⁴ , Cafer BULUT⁵ , Hüseyin AKSOY⁶ , Yılmaz EMRE³ , Bülent KAYA^{3*}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, 17100 Çanakkale, Türkiye

² Akdeniz Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, 07058 Konyaaltı, Antalya, Türkiye

³ Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, 07058 Konyaaltı, Antalya, Türkiye

⁴ T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Akdeniz Su Ürünleri Araştırma, Üretim ve Eğitim Enst. Müdürlüğü, 07570 Demre, Antalya

⁵ T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Eğirdir Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 32500 Eğirdir, Isparta, Türkiye

⁶ Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, 54187 Serdivan, Sakarya, Türkiye

Ö Z

Veryüzünde gerek insan gerekse suda yaşayan organizmaların yaşamlarının devamlılığı açısından temiz su kaynakları giderek azalmaktadır. Tarımsal faaliyetler, sanayi atıkları ve evsel atıklardan kaynaklı gibi birçok kirletici suların kirlenmesine neden olmaktadır. Farklı kaynaklardan sulara karışan toksikantlar nedeniyle sulara yaşayan organizmalarda çeşitli genetik hasarlar ortaya çıkabilmektedir. Genetik materyaldeki hasarlar, sucül organizmaların adaptasyon kapasitesinde düşüş ve avcıdan kaçış gibi davranışlarda yetersizlik gibi yaşamsal önemde sorun yaratabilmektedir. Bu nedenle, organizmanın hayatta kalabilme yeterliliğinin korunabilmesi için genetik materyalin stabilitesi önemlidir. Bu çalışmada Uluabat Gölü'ndeki genotoksik potansiyel, farklı lokaliteden toplanan *Cyprinus carpio* (Sazan balığı) ve *Silurus glanis* (Yayın balığı) üzerinde tek hücre alkali jel elektroforezi (KOMET) ve mikronukleus (MN) teknikleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Uluabat Gölü'nde ilkbahar ve yaz mevsimlerinde alınan kan örneklerindeki genotoksikite potansiyeli kış mevsimine göre yüksek bulunmuştur. Ayrıca su ve sedimente ait 9 farklı ağır metalin (Pb, Cd, Hg, As, Ni, Cr, Cu, Zn ve Mn) birikim düzeyleri analiz edilmiştir. Balık dokularında yapılan analiz sonuçlarına göre Hg kasta, As ve Zn böbrekte, Pb, Cd, Ni, Cr, Cu ve Mn karaciğerde daha fazla birikim gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Uluabat Gölü, *Cyprinus carpio*, *Silurus glanis*, genotoksikite, ağır metal

MAKALE BİLGİSİ

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş : 11.11.2020

Düzeltilme : 02.03.2021

Kabul : 13.03.2021

Yayın : 30.12.2021



DOI:10.17216/LimnoFish.821628

* SORUMLU YAZAR

bkaya@akdeniz.edu.tr

Tel : +90 242 310 23 50

Determination of Genetic Damage Level in *Cyprinus carpio* and *Silurus glanis* Depending on Uluabat Lake Water Pollution

Abstract: The clean water resources necessary for human and aquatic organisms for the continuity of their lives are gradually decreasing. Agricultural activities, industrial wastes and domestic wastes cause pollution in waters. Genetic damages can occur in aquatic organisms due to toxicants that enter the water from different sources. Damage to genetic material can cause vital problems such as a decrease in the adaptation capacity of aquatic organisms, and inability to escape from predators. Therefore, the stability of the genetic material is important in order to maintain the survival of the organism. In this study, the genotoxic potential in Lake Uluabat was evaluated by the alkaline single cell gel electrophoresis (COMET) and micronucleus (MN) techniques on *Cyprinus carpio* (common carp) and *Silurus glanis* (European catfish) collected from five different locality. According to the results, the genotoxicity potential in the blood samples taken was found to be higher in the spring and summer seasons than in the winter season of the lake. In addition, the accumulation levels of 9 different heavy metals (Pb, Cd, Hg, As, Ni, Cr, Cu, Zn and Mn) in water and sediment were analyzed. It was determined that in the samples taken from fish tissues, the highest Hg accumulation was found in muscle, As and Zn in kidney, Pb, Cd, Ni, Cr, Cu and Mn in liver.

Keywords: Lake Uluabat, *Cyprinus carpio*, *Silurus glanis*, genotoxicity, heavy metal

Alıntılama

Berber AA, Emre N, Güneş M, Yalçın B, Pak F, Aktaş Ö, Bulut C, Aksoy H, Emre Y, Kaya B. 2021. Uluabat Gölü Su Kirliliğine Bağlı Olarak *Cyprinus carpio* ve *Silurus glanis*'teki Genetik Hasar Düzeyinin Belirlenmesi. LimnoFish. 7(3): 219-232. doi: 10.17216/LimnoFish.821628

Giriş

Nüfus artışı ve endüstrinin gelişmesi ile birlikte oluşan pek çok çevre sorunlarından bir tanesi insan sağlığı ve sucul ekosistemde yaşayan canlıları etkileyen su kirliliğidir (Ohe vd. 2004; Schwarzenbach vd. 2010). İlaçlar, deterjanlar, dezenfektanlar, biyositler, kömür ve petrol suların kirlenmesine neden olmaktadır (Ahuja 2013). Balıklar, kirleticilerin bulunduğu ekosistemlerinden kaçamamaktadır. Sucul sistemdeki ölümlerin ve zararlı etkilerin sebebi besin zincirinde bulunan bu kirleticilerdir (Squadrone vd. 2013). Balıkların sucul ortamdaki kirliliğe bağlı olarak, büyümenin ve üremenin inhibisyonuna, zararlı bileşenlerin dokularda birikimi ve dokuların zarar görmesi, genetik hasara ve ölüme neden olabilmektedir (De Andrade vd. 2004). DNA hasarının belirlenmesi, yaşayan organizmalarda kirlilik kaynaklı stresin belirlenmesinde ve anlaşılmasında önem taşımaktadır (Klobucar vd. 2012).

Sulak alanlar endüstriyel evsel atıklar sonucu ağır metallerce kirlenmeye açık bir durumdadır (Hu vd. 2015). Sudaki kirleticilerin konsantrasyonlarının ölçümü, biyotanın maruz kaldığı toksisitenin görüntülenmesine yarar sağlamaktadır (Rajaguru vd. 2003). Suda yaşayan organizmalarda (özellikle balıklarda) metallerin biyolojik birikimleri ilgili sucul ortamların kirliliği hakkında bilgi vermesi açısından bir araç olarak kullanılmaktadır (Squadrone vd. 2013). Balıklar yaşamları boyunca ağır metalleri vücutlarında biriktirebilmekte ve bu sebeple yaşadıkları ortamın kirliliğini ve hidrokimyasal koşullarını yansıtarak bir biyobelirteç olarak kullanılabilir (Al-Sabti ve Metcalfe 1995; Ateeq vd. 2005; Klobucar vd. 2010). Ağır metaller, çeşitli balık dokularında, her bir dokunun fizyolojik işlevine bağlı olarak, farklı toksik etki göstermektedirler (Has-Schön vd. 2015).

DNA ve kromozom düzeyinde gerçekleşen genetik materyaldeki hasarları belirlemek için farklı testler mevcuttur. Uluslararası kabul edilebilirliği ve yüksek hassasiyet derecesi nedeniyle kromozom düzeyindeki hasarların belirlenmesinde mikronukleus (MN) ile DNA düzeyindeki hasarların tespitinde de tek hücre alkali jel elektroforezi (SCGE veya KOMET) teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çevresel kirleticiler tarafından oluşturulan etkinin belirlenmesi amacıyla mikronukleus (MN) testi (Hayashi vd. 1998; Linde-Arias vd. 2008; Galindo ve Moreira 2009; Grisolia vd. 2009; Arslan vd. 2010; Barsiene vd. 2012; Omar vd. 2012) ve tek hücre alkali jel elektroforezi (SCGE veya diğer adıyla KOMET) testi (Grisolia vd. 2009; Cok vd. 2011; Klobucar vd. 2012; Osman vd. 2012; Otter vd. 2012; Penders vd. 2012; Vincent-Hubert vd.

2012) gibi sitogenetik ve genotoksik testler ile kromozom ve DNA düzeyindeki muhtemel hasarlar incelenabilmektedir.

Bu çalışmada Uluabat Gölü'nde çevresel kirleticilerin potansiyeli genotoksik etkileri *C. carpio* ve *S. glanis* kan hücrelerinde MN ve KOMET teknikleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında suda, sedimentte ve çalışılan model organizmaların farklı dokularındaki ağır metal birikimi de incelenmiştir.

Materyal ve Metot

Araştırma Sahası

Çalışma kapsamında, mevsimsel bazda; balıklara ait örneklemeler, 4 farklı mevsimde (Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında) yapılmıştır. *C. carpio* balık örnekleri potansiyel kirlilik ve balıkların yakalanma potansiyelleri de dikkate alınarak Uluabat Gölü'nün deşarjına yakın kıyılarından, *S. glanis* balık örnekleri ise Çapraz Çayı'ndan temin edilmiştir (Şekil 1).

Uluabat Gölü Türkiye'nin kuzeybatısında bulunan Marmara Bölgesi'nde, 40° 10' kuzey ve 28° 35' doğu koordinatları arasında yer alan, sucul ekosistem yönünden Türkiye'nin en zengin göllerinden biridir. Marmara Bölgesi'nde yer alan gerek plankton ve dip canlıları gerek sucul bitkileri gerekse balık ve kuş popülasyonları açısından ülkenin en zengin göllerinden birisidir (Bulut vd. 2010). 1998 yılında Çevre Bakanlığı tarafından RAMSAR koruma bölgesi olarak belirlenip koruma altına alınmış, ardından 4. Uluslararası EXPO 2000 konferansında Uluslararası yaşayan göller arasına dahil edilmiştir (Aksoy ve Özsoy 2002; Dalkıran vd. 2016).

Balıklardan Kan Alımı

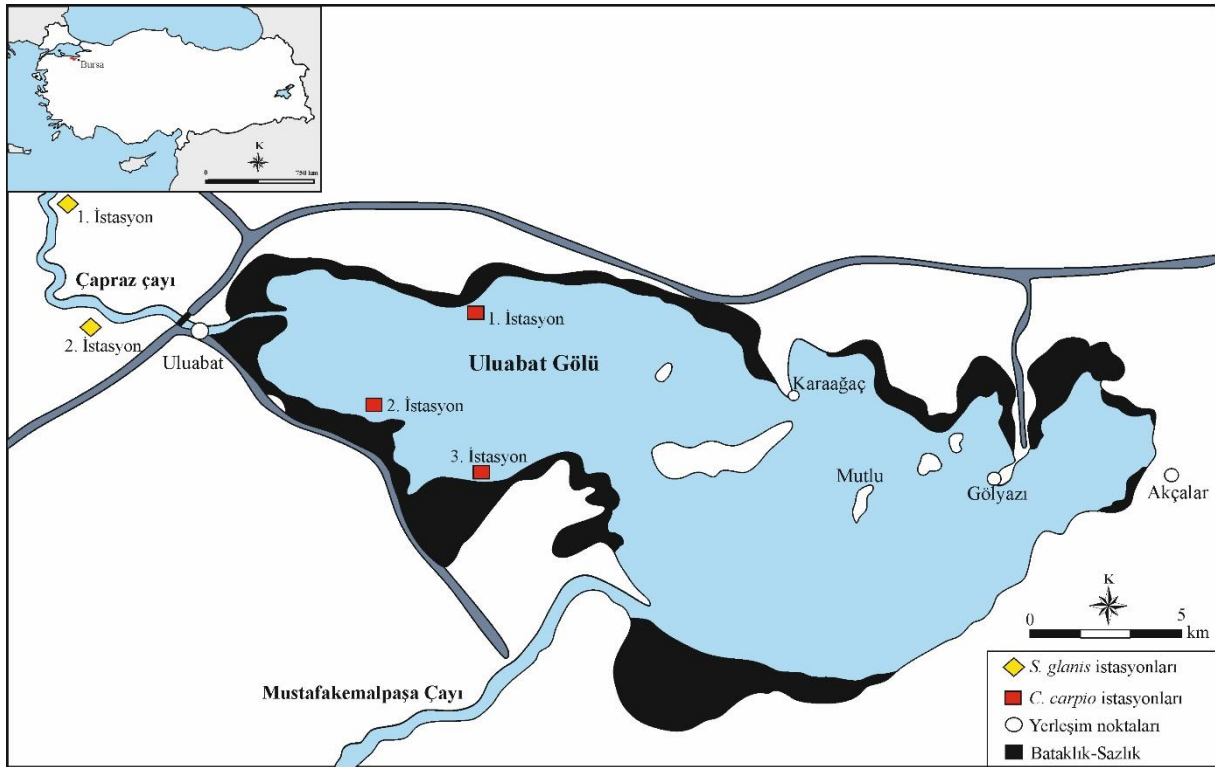
Analizler için istasyonlardan her mevsimde balıkçılar tarafından avlanan balıklardan (5-10 sayıda) örneklem yapılmıştır. Toplanan balıklar, fenoksi etanol ve etanol karışımı (1:1) ile bayıltıldıktan sonra dorsal yüzgecin sonundaki sırt bölgesinden 5 mL'lik steril şırınga ile yaklaşık 2 mL kan heparinli enjektör ile alınmıştır. Doku örnekleri (kas, karaciğer, böbrek) alınırken sonuçların etkilenmemesi için plastik bıçak kullanılmıştır.

KOMET Testi

İzole edilen balık periferik kan eritrositlerindeki muhtemel DNA hasarı hassas ve güvenilir bir test olması nedeniyle, KOMET testi (Singh vd. 1988; Demir vd. 2010, 2011, 2014; Demir ve Kaya 2013) ile belirlenmiştir. Kan örneklerinden eritrositler izole edildikten sonra standart KOMET prosedürü uygulanarak tek iplik kırık potansiyelleri (Singh vd. 1988; Tice vd. 1990) değerlendirilmiştir. Hücreler fosfat tamponu (PBS) ile süspanse edilerek düşük

erime ısıasına sahip agaroz (LMA) ile karıştırılmış ve normal erime ısıasına sahip agaroz (NMA) ile kaplanmış lamalar üzerine yayılmıştır. Preparatlar lizing solüsyonunda (2.5 M NaCl, 100 mM Na₂EDTA, 10 mM Tris, %1 Triton X-100 ve %1 N-lauroylsarcosine sodium salt solution, pH = 10) etrafı ışık almayan şalelerde 1 saat bekletilmiştir. Lizing işlemi sonrasında preparatlar elektroforez tankında yürütme tamponunda (1 mM Na₂EDTA ve 300 mM NaOH, pH = 13) 30 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda 30 dakika boyunca 300mA, 25V'da elektroforez yürütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elektroforezden

sonra preparatlar, içerisinde nötralizasyon solüsyonu (400 mM Tris buffer, pH = 7.5) bulunan şale içerisinde 5 dakika bekletilmiştir. İşlemler sonunda her bir lama 50 µl Etidyum bromür (EtBr) eklenmiş ve lamelle kapatılmıştır. Her bir örnek için 100 hücre 40X büyütmede Floresan mikroskopta (Nikon Eclipse E200) incelenmiştir. Değerlendirme parametresi olarak % DNA (Tail Intensity, Kuyruk Yoğunluğu), Tail Moment (Kuyruk Momenti) ve Tail Length (Kuyruk Uzunluğu (µm)) kullanılmış ve ölçümler COMET-IV (Version 4.11) programı ile otomatik ölçüm şeklinde yapılmıştır.



Şekil 1. Uluabat Gölü'nün genel görünümü ve örnekleme istasyonları (Elmacı vd. 2010'dan modifiye edilmiştir)

Figure 1. General view of Uluabat Lake and sampling stations (Modified from Elmacı et al. 2010)

KOMET testinde indüklenen oksidatif DNA hasarının analizi

Escherichia coli bakterisinden izole edilen Endonükleaz III (Endo III) ve Formamidopirimidin-DNA glikosilaz (Fpg) bakteriyel enzimleri kullanılarak okside olmuş pürin ve pirimidin bazlarının seviyesi KOMET testi modifiye edilerek tespit edilmiştir. Endo III spesifik olarak okside olmuş pirimidin bazlarındaki oksidatif hasarı gösterirken Fpg spesifik olarak okside olmuş pürin bazlarındaki oksidatif hasarı göstermektedir (Collins 2005).

Enzim uygulamasında, KOMET testi sırasında balık periferik kan eritrositleri üzerinde gerçekleştirilen uygulamalar sonucu hazırlanan preparatlar lizing solüsyonundan çıkartıldıktan sonra

uygulamaya aşağıdaki basamaklar ile devam edilmiştir. Lizing sonrası preparatlar içerisinde enzim solüsyonu bulunan şalelere alınmıştır. Bu şekilde 10 dakika buzdolabında bekletilmiştir. Süre sonunda şalelerdeki enzim solüsyonu dökülüp, şalelere tekrar yeni enzim solüsyonu eklenerek yine 10 dakika +4°C de buzdolabında bekletilmiştir. İkinci 10 dakika enzim solüsyonunda bekletmeden sonra preparatlar şalelerden alınarak her bir enzim uygulaması için hazırlanmış ayrı ayrı preparatların üzerine 100 µl Fpg ve Endo III enzimleri eklenmiştir. Kontrol grubu olarak hazırlanmış preparatın üzerine ise 100 µl enzim solüsyonu eklenerek preparatların üzeri lamelle kapatılmıştır. Daha sonra enzim solüsyonu, Fpg ve Endo III preparatları bir kap içerisine alınarak 30 dakika

37°C'lik etüve kaldırılmıştır. Bu aşamadan sonraki işlemler KOMET prosedürü ile aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Mikronukleus (MN) Testi

Çalışmada 1 yıl içerisinde mevsimsel olarak farklı lokalitelerden yakalanan ortalama 25-30 cm büyüklükteki *C. carpio* ve 50-60 cm büyüklükteki *S. glanis* balıklarından heparinli tüplere kan alınmıştır. MN testi Schmid (1976) tarafından belirlenen prosedürün modifiye edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Toplanan kanlardan 50 µl alınıp 200 µl PBS ile karıştırılmış ve süspanse edilmiştir. Süspanse kan örnekleri lam üzerine yayılarak kurumaya bırakılmış ve 20 dk boyunca etanol ile fiks edilmiştir. Fiksasyondan sonra preparatlar 20 dk boyunca %5'lik Giemsa ile boyanmış ve kurumaya bırakılmıştır. Hazırlanan preparatlar ışık mikroskopunda 100X büyütmede incelenmiş ve her bir grup için 2000 hücre değerlendirilmiştir.

Ağır Metal Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

Örnekleme yapılan istasyonlardan su ve sediment örneklerinde ve çalışılan balıklardan alınan kas, karaciğer ve böbrek dokularından ağır metal analizleri T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Antalya Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü tarafından Perkin-Elmer ICP-MS cihazında hizmet alımı ile gerçekleştirilmiştir.

Su örneklerinde ağır metal analizlerinin gerçekleştirilmesi

Mevsimsel bazda Uluabat Gölü'nden balıkların alındığı istasyonlardan alınan su örnekleri hizmet alınan laboratuvara gönderilirken su numunelerinde suyun özelliğinin korunması amacıyla nitrik asit ilavesi ile pH değerleri 2'nin altına düşürülerek +4°C'de muhafaza edilmiştir. Su örnekleri 0,45 µl'lik filtreden geçirildikten sonra 3 tekrarlı olacak şekilde ICP-MS ile analiz edilmiştir (APHA 1993; EPA 1994)

Sediment örneklerinde ağır metal analizlerinin gerçekleştirilmesi

Mevsimsel bazda Uluabat Gölü'nden balıkların yakalandığı istasyonlardan Ekman kepçesi ile sediment örnekleme yapılmıştır. Alınan sediment örnekleri numune kaplarına aktarıldıktan sonra analiz yapılana kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir. Sediment örneklerinin çözünürleştirme işlemleri, nitrik asit ve hidrojen peroksit (8 ml:2 ml) kullanılarak mikrodalga fırında belirli sıcaklık ve basınç altında yapılmıştır. Yakma işleminden sonra numuneler 0,5 µl'lik filtreden geçirildikten sonra

uygun tüplere alınarak deiyonize su ile 15 ml'ye tamamlanmıştır. 3 tekrarlı olacak şekilde ICP-MS ile analiz edilmiştir (EPA 1998).

Balık doku örneklerinde ağır metal analizlerinin gerçekleştirilmesi

Balıklar fenoksi etanol ve etanol karışımı (1:1-200 L) kullanılarak bayıltıldıktan sonra, doku örnekleri (kas, karaciğer, böbrek) plastik bıçak kullanılarak alınmıştır. Doku örnekleri çözünürleştirme işlemine kadar -20°C'de muhafaza edilmiştir. Çözünürleştirme işlemleri, nitrik asit ve hidrojen peroksit (8 ml:2 ml) kullanılarak mikrodalga fırında belirli sıcaklık ve basınç altında yapılmıştır. Yakma işleminden sonra numuneler uygun tüplere alınarak deiyonize su ile 15 ml'ye tamamlanmıştır. Çözünürleştirilen örneklerden metal analizleri 3 tekrarlı olacak şekilde ICP-MS ile analiz edilmiştir (ASTM 1985).

İstatistiksel Analiz

Elde edilen KOMET sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi IBM SPSS paket programında One-way ANOVA (Tukey) testi kullanılarak yapılmıştır. MN frekanslarının istatistiksel değerlendirilmesinde ise z-test yöntemi kullanılmıştır.

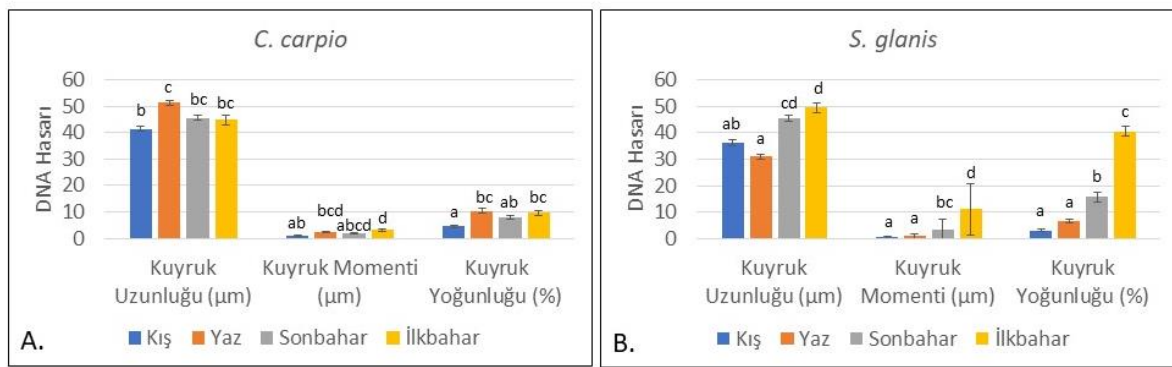
Bulgular

KOMET Testi

Elde edilen sonuçlara göre; *C. carpio* yaz mevsiminde diğer mevsimlere kıyık uzunluğu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark göstermiştir. İncelenen tüm parametrelerde en düşük DNA hasarı kış mevsiminde gözlenmiştir ancak oluşan fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. *S. glanis*'de meydana gelen DNA hasarı ilkbahar mevsiminde tüm parametrelerde (kıyık uzunluğu, kıyık momenti ve kıyık yoğunluğu) artış göstermiştir. Meydana gelen bu değişim kış ve yaz aylarından istatistiksel olarak farklı bulunmuştur (Şekil 2).

KOMET Testinde İndüklenen Oksidatif DNA Hasarının Analizi

Elde edilen sonuçlara göre; *C. carpio*'da kış mevsiminde Endo III uygulaması tüm parametreler açısından enzim kontrolüne göre istatistiki anlamlılığa sahiptir. *S. glanis*'de elde edilen veriler enzim kontrole göre istatistiki bir öneme sahip değildir (Tablo 1). FPG enzimi ile yapılan uygulamalarda pürin bazlarında oksidatif hasar kaynaklı genotoksisite olmadığı belirlenmiştir.



(Tukey post hoc testine göre farklı harf kodu bulunan ortalamalar birbirinden anlamlı olarak farklıdır ($p < 0,05$). Deneyden elde edilen ortalama $\pm$ standart hata (deney setinde toplam en az 100 hücre sayılmıştır)).

Şekil 2. Uluabat Gölü'nde *C. carpio* (A) ve *S. glanis* (B) periferik kan eritrositlerinde KOMET testi ile belirlenen DNA hasarı

Figure 2. DNA damage determined by COMET test in *C. carpio* (A) and *S. glanis* (B) peripheral blood erythrocytes in Uluabat Lake

Tablo 1. Uluabat Gölünden yakalanan *C. carpio* ve *S. glanis* balıklarının periferik kan eritrositlerinde ENDO III ve FPG uygulaması sonuçları

Table 1. Results of Endo III and FPG enzymes treatments in peripheral blood erythrocytes of *C. carpio* ve *S. glanis* caught from Uluabat Lake

		<i>C. carpio</i>			<i>S. glanis</i>		
		Kuyruk Uzunluğu (μm)	Kuyruk Momenti (μm)	Kuyruk Yoğunluğu (%)	Kuyruk Uzunluğu (μm)	Kuyruk Momenti (μm)	Kuyruk Yoğunluğu (%)
Kış	Endo III	58,66 $\pm$ 1,35 ^g	3,74 $\pm$ 0,30 ^{bcdef}	12,60 $\pm$ 0,76 ^{defghi}	26,05 $\pm$ 0,72 ^{bcde}	0,26 $\pm$ 0,05 ^a	1,85 $\pm$ 0,35 ^{ab}
	Fpg	40,62 $\pm$ 0,88 ^{bcd}	0,66 $\pm$ 0,06 ^a	3,01 $\pm$ 0,28 ^{ab}	34,49 $\pm$ 0,95 ^{fgh}	0,93 $\pm$ 0,10 ^{abcd}	5,41 $\pm$ 0,60 ^{abcd}
	Kontrol	34,56 $\pm$ 0,84 ^b	0,86 $\pm$ 0,09 ^a	4,28 $\pm$ 0,42 ^{abc}	40,37 $\pm$ 0,81 ^{hijk}	0,34 $\pm$ 0,07 ^a	1,58 $\pm$ 0,31 ^a
Yaz	Endo III	19,76 $\pm$ 0,76 ^a	1,00 $\pm$ 0,12 ^a	9,37 $\pm$ 1,30 ^{bcdef}	18,21 $\pm$ 0,70 ^a	3,26 $\pm$ 0,54 ^{defg}	25,10 $\pm$ 3,85 ^{gh}
	Fpg	37,67 $\pm$ 0,78 ^{bc}	0,94 $\pm$ 0,10 ^a	4,38 $\pm$ 0,48 ^{abc}	24,5 $\pm$ 0,70 ^{abcd}	0,54 $\pm$ 0,09 ^{ab}	3,56 $\pm$ 0,54 ^{abc}
	Kontrol	36,95 $\pm$ 1,08 ^{bc}	1,65 $\pm$ 0,21 ^{abc}	8,67 $\pm$ 1,19 ^{abcdef}	22,74 $\pm$ 0,60 ^{abc}	2,94 $\pm$ 0,47 ^{cdefg}	22,18 $\pm$ 3,28 ^{fg}
Sonbahar	Endo III	57,68 $\pm$ 1,34 ^{fg}	4,59 $\pm$ 0,40 ^{def}	15,74 $\pm$ 1,24 ^{fghij}	49,81 $\pm$ 1,35 ^{lm}	3,20 $\pm$ 0,48 ^{defg}	12,03 $\pm$ 1,18 ^{cde}
	Fpg	43,30 $\pm$ 1,23 ^{bcd}	2,45 $\pm$ 0,24 ^{abcd}	9,59 $\pm$ 0,83 ^{bcdefg}	36,91 $\pm$ 1,04 ^{fghi}	1,43 $\pm$ 0,39 ^{abcde}	5,79 $\pm$ 1,26 ^{abcd}
	Kontrol	45,64 $\pm$ 1,21 ^{cde}	2,47 $\pm$ 0,25 ^{abcde}	9,91 $\pm$ 0,95 ^{bcdefg}	43,88 $\pm$ 1,10 ^{ijkl}	2,40 $\pm$ 0,18 ^{abcdef}	10,81 $\pm$ 0,82 ^{bcde}
İlkbahar	Endo III	44,36 $\pm$ 2,00 ^{cde}	8,69 $\pm$ 0,75 ^g	31,22 $\pm$ 1,72 ^l	38,26 $\pm$ 1,42 ^{ghij}	3,27 $\pm$ 0,34 ^{defg}	12,01 $\pm$ 1,13 ^{cde}
	Fpg	53,23 $\pm$ 2,34 ^{efg}	8,91 $\pm$ 0,62 ^g	27,77 $\pm$ 1,46 ^{kl}	37,00 $\pm$ 1,39 ^{fghi}	5,24 $\pm$ 0,45 ^{gh}	22,70 $\pm$ 1,48 ^g
	Kontrol	70,68 $\pm$ 2,27 ^h	16,14 $\pm$ 0,74 ^h	42,91 $\pm$ 1,37 ^m	40,63 $\pm$ 0,35 ^{hijk}	8,10 $\pm$ 0,44 ^{ij}	36,20 $\pm$ 1,62 ⁱ

(Tukey post hoc testine göre farklı harf kodu bulunan ortalamalar birbirinden anlamlı olarak farklıdır ($p < 0,05$). Deneyden elde edilen ortalama $\pm$ standart hata (deney setinde toplam en az 100 hücre sayılmıştır)).

Mikronukleus (MN) Testi

MN testinde *C. carpio* ve *S. glanis*'den izole edilen periferik eritrositlerindeki kromozom hasarının mevsimsel sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre MN frekansları bakımından mevsimlere göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Mevsimsel değerlendirmelere göre en fazla

mikronukleus sayısı *C. carpio*'da yaz mevsiminde gözlenirken, *S. glanis*'te sonbaharda gözlenmiştir. Diğer yandan sonbahar döneminde *C. carpio*'da 2 mikronukleuslu bir hücre de gözlenmiştir. Genel olarak *C. carpio*'da gözlenen mikronukleus frekansı *S. glanis*'te gözlenen mikronukleus frekansına göre daha yüksek olsa da bu farklılık istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Tablo 2. Uluabat Gölü'nde yakalanan *C. carpio* ve *S. glanis* balıklarının periferik kan eritrositlerinde mevsimsel olarak gözlenen mikronukleus frekansları

Table 2. Seasonally observed micronucleus frequencies in peripheral blood erythrocytes of *C. carpio* and *S. glanis* Fishes caught in Uluabat Lake

Tür	Mevsim	İncelenen Hücre Sayısı	MN sayısına göre hücrelerin dağılımı		MN (%)
			-1	-2	
<i>C. carpio</i>	Kış	2000	9	-	0,45±0,15
	Yaz	2000	10	-	0,50±0,16
	Sonbahar	2000	7	1	0,45±0,15
	İlkbahar	2000	9	-	0,45±0,15
<i>S. glanis</i>	Kış	2000	4	-	0,20±0,10
	Yaz	2000	6	-	0,30±0,12
	Sonbahar	2000	7	-	0,35±0,13
	İlkbahar	2000	5	-	0,25±0,11

Su Örneklerinde Ağır Metal Analizleri

Ağır metal çalışmalarında bölgede yoğun olduğu düşünülen ve önceki çalışmalar dikkate alınarak 9 farklı metal (Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Cıva (Hg), Arsenik (As), Nikel (Ni), krom (Cr), Bakır (Cu), Çinko (Zn) ve Mangan (Mn)) düzeyinin tespiti yapılmıştır.

Göl suları çözünmüş metaller yönünden

incelendiğinde kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve cıva (Hg) metallerinin tüm mevsimlerde tayin sınırının altında olduğu tespit edilmiştir (<0,05 µg/L). Arsenik (As), bakır (Cu) ve nikel (Ni) en fazla sonbaharda mevsiminde tespit edilirken, mangan (Mn) en fazla yaz mevsiminde, çinko (Zn) ilkbaharda, Cr ise kış mevsiminde tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Uluabat Göl suyu ağır Metal analizleri

Table 3. Heavy metal analysis of Uluabat Lake water

Mevsim	Pb (µg/L)	Cd (µg/L)	Hg (µg/L)	As (µg/L)	Ni (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Mn (µg/L)
Kış	<0,05	<0,05	<0,05	8,106 ± 1,248	1,88 ± 0,215	0,53 ± 0,018	0,27 ± 0,009	0,63 ± 0,018	2,35 ± 0,316
İlkbahar	<0,05	<0,05	<0,05	7,946 ± 1,137	1,50 ± 0,214	0,25 ± 0,013	0,86 ± 0,026	6,13 ± 0,764	1,68 ± 0,178
Yaz	<0,05	<0,05	<0,05	11,313 ± 1,548	2,37 ± 0,357	0,47 ± 0,022	0,76 ± 0,025	4,91 ± 0,587	4,72 ± 0,550
Sonbahar	<0,05	<0,05	<0,05	19,34 ± 2,258	2,74 ± 0,048	0,41 ± 0,014	2,17 ± 0,314	2,82 ± 0,314	3,67 ± 0,445

Analizler sonucu elde edilen en yüksek (yeşil) ve en düşük değerler (kırmızı) renklendirilmiştir.

Sediment Örneklerinde Ağır Metal Analizleri

Bu çalışma kapsamında sediment örnekleme

yalnızca yaz mevsiminde olmak üzere bir kez yapılmıştır ve sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Uluabat Gölü sediment örneklerinde ağır metal analizleri

Table 4. Heavy metal analysis of Uluabat Lake sediment

Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	As (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)
26,525 ± 2,524	0,284 ± 0,036	0,070 ± 0,016	39,680 ± 4,124	236,080 ± 31,628	105,280 ± 11,423	28,289 ± 3,127	75,210 ± 8,055	862,900 ± 91,236

Balık Doku Örneklerinde Ağır Metal Analizleri

C. carpio ve *S. glanis* dokularındaki (kas, karaciğer ve böbrek) metal birikimleri Tablo 5 ve 6'da verilmiştir.

C. carpio'da yapılan doku analizlerinde Pb, Ni, Cr, Cu ve Mn 4 mevsimde karaciğerde, As ve Zn ise

4 mevsimde böbrekte gözlenmiştir. Hg kış mevsimi en fazla böbrekte belirlenirken diğer mevsimlerde en yüksek kas dokusunda belirlenmiştir. Cd kış ve ilkbahar aylarında en yüksek kas dokusunda, yaz ve sonbahar aylarında ise karaciğer dokusunda tespit edilmiştir.

Tablo 5. *C. carpio* dokularındaki (kas, karaciğer ve böbrek) metal birikimleri

Table 5. Metal accumulation in *C. carpio* tissues (muscle, liver and kidney)

Mevsim	Doku	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	As (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Kış	Kas	0,483 ± 0,054	0,107 ± 0,023	0,030 ± 0,008	0,067 ± 0,015	0,834 ± 0,094	0,404 ± 0,054	0,326 ± 0,045	5,728 ± 0,854	0,249 ± 0,036
	Karaciğer	1,188 ± 0,125	0,397 ± 0,049	0,015 ± 0,003	0,081 ± 0,015	1,045 ± 0,098	0,715 ± 0,084	10,894 ± 1,125	86,135 ± 8,124	1,207 ± 0,112
	Böbrek	0,780 ± 0,084	0,247 ± 0,026	0,033 ± 0,009	0,107 ± 0,015	0,937 ± 0,096	0,635 ± 0,058	1,953 ± 0,158	97,325 ± 9,721	0,701 ± 0,684
İlkbahar	Kas	0,440 ± 0,051	0,096 ± 0,015	0,049 ± 0,007	0,049 ± 0,008	0,814 ± 0,088	0,343 ± 0,041	0,323 ± 0,039	5,368 ± 0,568	0,271 ± 0,034
	Karaciğer	1,112 ± 0,0115	0,362 ± 0,042	0,012 ± 0,004	0,068 ± 0,010	1,011 ± 0,099	0,514 ± 0,059	9,412 ± 0,925	86,478 ± 7,885	1,218 ± 0,132
	Böbrek	0,724 ± 0,078	0,215 ± 0,026	0,015 ± 0,004	0,079 ± 0,010	0,896 ± 0,096	0,454 ± 0,051	1,891 ± 0,195	97,817 ± 8,785	0,778 ± 0,085
Yaz	Kas	0,364 ± 0,045	0,077 ± 0,013	0,055 ± 0,009	0,078 ± 0,012	0,761 ± 0,088	0,322 ± 0,041	0,314 ± 0,045	5,615 ± 0,612	0,225 ± 0,032
	Karaciğer	0,986 ± 0,115	0,311 ± 0,042	0,015 ± 0,003	0,095 ± 0,011	0,945 ± 0,111	0,496 ± 0,059	9,161 ± 1,102	86,834 ± 7,678	1,204 ± 0,125
	Böbrek	0,642 ± 0,074	0,175 ± 0,025	0,023 ± 0,005	0,100 ± 0,019	0,813 ± 0,095	0,435 ± 0,052	1,772 ± 0,182	98,262 ± 8,743	0,714 ± 0,082
Sonbahar	Kas	0,388 ± 0,044	0,088 ± 0,016	0,040 ± 0,007	0,081 ± 0,010	0,784 ± 0,093	0,454 ± 0,055	0,258 ± 0,032	5,841 ± 0,624	0,209 ± 0,029
	Karaciğer	1,044 ± 0,151	0,341 ± 0,042	0,010 ± 0,003	0,084 ± 0,011	0,965 ± 0,126	0,718 ± 0,085	9,045 ± 1,109	87,027 ± 8,125	1,191 ± 0,128
	Böbrek	0,686 ± 0,082	0,196 ± 0,026	0,018 ± 0,005	0,099 ± 0,017	0,849 ± 0,113	0,600 ± 0,072	1,735 ± 0,184	98,804 ± 9,231	0,771 ± 0,086

Analizler sonucunda elde edilen en yüksek değerler her bir mevsim için Kış (yeşil), İlkbahar (sarı), Yaz (kırmızı) ve Sonbahar (mavi) renklendirilmiştir.

Tablo 6. *S. glanis* dokularındaki (kas, karaciğer ve böbrek) metal birikimleri**Table 6.** Metal accumulation in *S. glanis* tissues (muscle, liver and kidney)

Mevsim	Doku	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	As (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Kış	Kas	0,368 ± 0,025	0,085 ± 0,011	0,112 ± 0,022	0,016 ± 0,005	0,771 ± 0,122	0,2475 ± 0,056	0,211 ± 0,044	3,669 ± 0,524	0,189 ± 0,021
	Karaciğer	1,008 ± 0,115	0,242 ± 0,032	0,067 ± 0,012	0,018 ± 0,004	1,238 ± 0,126	0,707 ± 0,084	5,362 ± 0,865	15,245 ± 1,125	1,411 ± 0,284
	Böbrek	0,655 ± 0,096	0,1758 ± 0,026	0,032 ± 0,011	0,024 ± 0,008	0,836 ± 0,065	0,528 ± 0,048	1,390 ± 0,168	17,500 ± 1,286	0,603 ± 0,095
İlkbahar	Kas	0,342 ± 0,041	0,072 ± 0,011	0,120 ± 0,015	0,018 ± 0,006	0,747 ± 0,085	0,301 ± 0,035	0,206 ± 0,028	3,471 ± 0,355	0,199 ± 0,024
	Karaciğer	0,945 ± 0,108	0,210 ± 0,026	0,076 ± 0,012	0,024 ± 0,008	1,201 ± 0,135	0,724 ± 0,084	5,132 ± 0,525	15,463 ± 1,645	1,436 ± 0,155
	Böbrek	0,612 ± 0,068	0,165 ± 0,020	0,087 ± 0,011	0,042 ± 0,010	0,815 ± 0,095	0,566 ± 0,062	1,333 ± 0,125	17,793 ± 1,654	0,633 ± 0,069
Yaz	Kas	0,286 ± 0,035	0,055 ± 0,009	0,118 ± 0,018	0,020 ± 0,004	0,688 ± 0,076	0,251 ± 0,036	0,203 ± 0,029	3,512 ± 0,348	0,163 ± 0,023
	Karaciğer	0,844 ± 0,094	0,162 ± 0,024	0,071 ± 0,012	0,022 ± 0,004	1,056 ± 0,111	0,694 ± 0,078	5,111 ± 0,522	15,671 ± 1,684	1,378 ± 0,145
	Böbrek	0,557 ± 0,058	0,134 ± 0,018	0,085 ± 0,012	0,036 ± 0,005	0,765 ± 0,088	0,516 ± 0,062	1,195 ± 0,125	17,965 ± 1,864	0,615 ± 0,074
Sonbahar	Kas	0,312 ± 0,042	0,063 ± 0,009	0,103 ± 0,015	0,018 ± 0,004	0,715 ± 0,082	0,288 ± 0,036	0,201 ± 0,029	3,361 ± 0,364	0,213 ± 0,029
	Karaciğer	0,884 ± 1,105	0,195 ± 0,027	0,068 ± 0,011	0,026 ± 0,005	1,167 ± 0,125	0,718 ± 0,088	4,648 ± 0,512	15,796 ± 1,631	1,353 ± 0,141
	Böbrek	0,585 ± 0,065	0,148 ± 0,022	0,076 ± 0,015	0,034 ± 0,006	0,793 ± 0,092	0,536 ± 0,067	1,181 ± 0,121	17,420 ± 1,836	0,627 ± 0,075

Analizler sonucunda elde edilen en yüksek değerler her bir mevsim için Kış (yeşil), İlkbahar (sarı), Yaz (kırmızı) ve Sonbahar (mavi) renklendirilmiştir.

S. glanis'de yapılan doku analizlerinde ilkbahar mevsiminde ölçüm yapılan Hg haricinde tüm ağır metaller, mevsimler ve dokular açısından *C. carpio* ile benzerlik göstermektedir.

Tartışma ve Sonuç

Antropojenik etkiler sonucu suya karışan maddelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek, "su kirliliği" olarak adlandırılan olguyu ortaya çıkarırlar. Artan nüfus ve gelişen endüstrileşme sonucunda yoğunlaşan su kullanımı, su kirliliğini hızlandıran bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır (Uslu ve Türkman 1987; Çalıseki vd. 2016). Sucul canlıların yaşamını

olumsuz yönde etkileyen çok çeşitli toksik maddeler mevcuttur. Bu maddeler organizmanın fizyolojik büyüklüğüne bağlı olarak, belirli maksimum ve minimum sınırları altında veya üzerinde; olgunluğa erişme, döllenme, yumurta ve yavru gelişiminde bozukluklara sebep olabilirler. Ayrıca fizyolojik, biyokimyasal, sitolojik anormalliklere veya ani ölümlere de neden olmaktadır. Bu toksik etkiler besin zinciri yolu ile insanlara kadar ulaşarak, hayati çevre problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Goldberg 1976).

Uluabat Gölü nüfus ve sanayi yoğunluğunun yüksek olduğu bir konumda yer almaktadır. Göl çevresindeki yerleşim ve tarım alanları, mezbahalar,

süt ve balık ürünleri işleyen çeşitli tesisler Uluabat Gölü'nün kirletici kaynaklarını oluşturmaktadır (Elmacı vd. 2008). Ayrıca gölü besleyen en önemli su kaynağı olan Mustafakemalpaşa Çayı ile taşınan evsel atık sularının besi maddesi taşınımı ile ötrofikasyon problemine gittikçe artan bir şekilde katkı sağladığı belirtilmiştir (Salihoğlu ve Karaer 2005). Tarımsal faaliyetler gölün su seviyesinin azalmasına sebep olmasının yanında kullanılan gübreler gölün sediment yükünü de artırmaktadır (Anonim 2016).

MN ve KOMET testleri çeşitli kontaminantların indüklediği genotoksik hasarın incelenmesinde kullanılmaktadır (Russo vd. 2004; Grisolia vd. 2009; Bianchi vd. 2013; Deutschmann vd. 2016). Ulutaş vd. (2008) Mogan Gölü'nde *C. carpio* üzerinde yaptıkları KOMET testi ile genotoksik hasar gözlemlemiştir. Summak vd. (2010) Bursa Nilüfer Çayı'ndan alınan ve daha sonra laboratuvarda kültüre edilen Nil Tilapyası (*Oreochromis niloticus*)'nda ağır metal birikimini ve MN indüklenmesini tespit etmişlerdir. Brezilya Sinos Nehri'nde yapılan araştırmalarda *Astyanax jacuhiensis*'ta MN ve KOMET testi ile genotoksik hasar belirlenmiştir (Bianchi vd. 2013). Aynı bölgede yapılan analizlerde nehrin evsel ve endüstriyel atıkların genotoksisiteye neden olduğu belirlenmiştir (Blume vd. 2010; Nunes vd. 2011). Sanchez-Galan vd. (2001) Kuzey İspanya'daki Avusturya Nehri'nden *Salmo trutta* böbrek eritrositlerinde MN ve morfolojik bozukluklar tespit etmişlerdir. Deutschmann vd. (2016) Tuna Nehri'nde bulunan 21 bölgede *Alburnus alburnus*'ta DNA hasarı ve MN frekansının arttığını rapor etmişlerdir. Brezilya'da Tramandai ve Mampituba Nehirleri'nde 4 mevsim yapılan çalışmada kefal ve kedi balıklarında KOMET ve MN testleri ile genotoksitenin ilkbahar ve yaz aylarında kirlilik düzeyine bağlı olarak arttığı belirlenmiştir (De Andrade vd. 2004). Yukarıdaki çalışmalarda da görüldüğü gibi sucul ortamda meydana gelen kirlilik o ortamda yaşayan balıklar üzerinde direkt etkiye sahip olmaktadır. Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre Uluabat Gölü'nden yakalanan balıklardan alınan kan örneklerinde KOMET testinde ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ortaya çıkan genotoksiste kış mevsimine göre anlamlı olarak yüksek gözlenmiştir. Endo III enzimi ile yapılan KOMET testinden elde edilen sonuçlar meydana gelen DNA hasarının pirimidinlerin oksidasyonu sonucu DNA kırıklarının oluştuğunu göstermektedir. Diğer yandan, mevsimsel değerlendirmelere göre en fazla mikronukleus sayısı *C. carpio*'da yaz mevsiminde gözlenirken, *S. glanis*'te sonbaharda gözlenmiş, yaz mevsimi ikinci sırada yer almıştır. Genel olarak *C. carpio*'da

gözlenen mikronukleus frekansı *S. glanis*'te gözlenen mikronukleus frekansına göre daha yüksektir. Bu farklılık istatistiksel olarak anlamlı olmasa da referans değerlere çok yakındır ($z=1,956$). Bu sonuçlar bize *C. carpio*'nun *S. glanis*'e göre çevresel kirliliğe karşı daha hassas olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlarda *C. carpio*'nun *S. glanis*'e göre daha yüksek MN frekansına sahip olması muhtemelen dip balığı olması nedeni ile hem sucul kirlilikten hem de sediment kirliliğinden daha fazla etkilenmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Saleh ve Alshehri (2011) Uluabat Gölü'nden alınan örneklerde *C. carpio*'nun periferik eritrositlerinde MN oluşumu tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmalarda mevsimsel çeşitliliğin balıklarda yapılan KOMET testinde DNA hasarında farklılık yaratabileceği belirtilmiştir (Buschini vd. 2003).

Sedimentler sucul biyotanın yaşanabilirliğini ve sağlığını tehdit eden sucul sistemdeki kontaminantların biriktiği bir ortamdır (Chen vd. 2004). Sedimentler deniz ve göl kalitesinin belirlenmesinde çevresel gösterge olarak kullanılmaktadır (Deng vd. 2016; Yang vd. 2016). Sedimentlerde biriken kirleticiler sucul ortamda bulunan canlıları doğrudan etkilemektedir (Saydam Eker ve Özkan 2017). Sedimentte yapılan analizler suda konsantrasyonu belirlenemeyen metallerin de tespit edilmesine olanak sağlamaktadır (Ünlü vd. 2010). Kosmehl vd. (2008) bakır ve perilen ile kontamine olan sediment örneklerinin zebra balığında KOMET testi ile DNA hasarı meydana getirdiğini tespit etmişlerdir. Barlas vd. (2005) Uluabat Gölü'nde 6 istasyondan alınan su ve sediment örneklerinde Pb, Cd, Zn, Fe seviyelerinin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Barlas vd. 2006'da yaptıkları çalışmada organoklorlu pestisitlerin (HCB, p,p'-DDT, p,p'-DDE, α -, β - and γ -BHC, Aldrin, Heptachlor epoxide, Endrin, Endosulfan I and II) sudaki kirliliğin kaynağı olabileceğini belirtmişlerdir. Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın 2016 yılında yayınladığı Uluabat Gölü Alt Havzası Su Kalitesi Eylem Planı'nda tarımsal faaliyetler, evsel ve endüstriyel atık sular, düzensiz katı atık toplama alanları, ağır metal kirliliği, erozyon ve avlanmanın Uluabat Gölü'nü kirleten unsurlar olarak belirtilmiştir (Anonim 2016).

Sucul ekosistemlerde metal iyonları direkt olarak su tarafından çevrelenmelerinden veya indirekt olarak besin kaynaklarından dolayı, sucul canlıların bünyelerinde birikebilmektedirler (Tunca ve Atasagun 2012). Balık ve çeşitli omurgasız hayvanlarla yapılan çalışmalarla ağır metallerin böbrek ve karaciğer gibi metabolik olarak aktif organlarda birikebildiği gözlenmiştir (Squadrone vd.

2013). Karaciğer ağır metalleri bağlayarak detoksifikasyonunda görev alan metallothionein gibi metal bağlayıcı proteinlerin başlıca sentez yeri olduğundan fazla maruziyet sonucunda karaciğerde ağır metal birikimi gözlenebilmektedir (Kaoud ve El-Dahshan 2010). Homeostazda etkin görevi bulunan ve ksenobiyotiklerin atılım amacıyla taşındığı organ olan böbrekte ağır metal birikimi gerçekleşebilmektedir. Balıklarda ve bazı omurgasızlarda kas dokusu ağır metal birikiminde etkin bir doku değildir ancak bu dokuda biriken metallerin besin zincirine katılarak insana ulaşabilmesi endişesi ile araştırmalar yapılmaktadır (Wang vd. 2010). Çalışmamızda analizini yaptığımız ağır metallerden Hg kasta, As ve Zn böbrekte, Pb, Cd, Ni, Cr, Cu ve Mn karaciğerde en fazla birikimi yapılan organlar olarak belirlenmiştir.

Uluabat Gölü evsel atıklar ve tarımda kullanılan farklı kimyasalların (pestisit ve gübre gibi) da baskısı altında kirlendiği farklı araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Çevrede metal birikimi büyük ölçüde volkanik aktivite ve erozyon gibi doğal süreçlerden meydana geldiği bilinse de bunların çoğu endüstriyel tesislerin atıkları sonucunda çevreye salınmaktadır (Çiçek vd. 2008). Suyu kirlüten ağır metaller rafineler, entegre kimya tesisleri, kâğıt sanayi, demir-çelik sanayi, çimento sanayi ve gübre sanayidir (Anonim 2004). Bunun yanında evsel atık ve kanalizasyon gibi kaynağı belirlenemeyen kirlilik de etki etmektedir (Çiçek vd. 2008). Emet Çayı, Uluabat Gölü'nü besleyen önemli nehirlerden bir tanesidir. Tokatlı vd. (2014) Harmancık Krom çıkarma alanından kaynaklanan kirlilik ile stres altında olan Emet Çayı'nda yaptıkları çalışmada suda ve sedimentte yüksek Cr ve Ni birikimini tespit etmişlerdir. Ağır metaller DNA molekülünün yapı ve fonksiyonlarına değişiklikler meydana getirerek genotoksositeye ve sitogenetik değişikliklere neden olabilmektedir (Kontaş ve Bostancı 2020). Kirlilik baskısı altındaki çayların beslediği göl sularında yaşayan organizmalar ve sucul organizmaları besin olarak kullanan diğer organizmaları ciddi düzeyde tehdit altındadır. Yaz ve bahar aylarında genotoksosite potansiyelinin yüksek çıkması; balıklardaki ksenobiyotik metabolizması enzimlerinin sıcaklık, stres, beslenme, üreme aktivitesi ve kirlenme varlığı gibi pek çok faktörden etkilenmesinden kaynaklanabilir (Huuskonen vd. 1995; Mitchelmore ve Chipman 1998).

Türkiye İstatistik Kurumu 2025 yılı için nüfusumuzun yaklaşık 85 milyon olacağını öngörmüştür (TÜİK 2013). Bu durumda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının düşeceği söylenebilmektedir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin

etkisiyle su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Ayrıca tüm bu tahminler mevcut kaynakların 25 yıl sonrasına hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla Türkiye'nin gelecek nesillerine sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynaklarını çok iyi koruyup, akılcı kullanması gerekmektedir (Anonim 2004).

Artan nüfus artışı ve beraberinde tarım ve endüstrideki artan yoğunluk ekosisteme zarar vermektedir. Göller çevre kirliliğinden en çok etkilenen ortam olduğundan ve temiz su kaynaklarına olan gereksinimin artmasından dolayı su kalitesini belirleyen çalışmalar önem kazanmaktadır (Minareci ve Sungur 2019; Gümüş ve Akköz 2020). Balıklar sucul ekosistemde besin zincirinin en üst basamağında yer aldığından suda bulunan toksikantları biriktirebilmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin önemli göllerinden biri olan Uluabat Gölü'ndeki ekonomik değere sahip olan ve avcılığı yapılan iki farklı balık türünden alınan örneklerle yapılan ağır metal analizleri ve genotoksosite çalışmasında elde edilen veriler göllerin kirlilik düzeyi hakkında endişe verici bilgiler sunmaktadır. Su kaynaklarının korunması bizler ve gelecek nesiller için hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda çevre politikaları geliştirilerek arıtma sistemlerinin kurulması, denetimlerin artırılması ve halkın bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından TAGEM/HAYSUD/2014/A01/P-03/1 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ahuja S. 2013. Monitoring water quality: Pollution assessment, analysis, and remediation. Oxford: Elsevier 379 p.
- Aksoy E, Özsoy G. 2002. Investigation of multi-temporal land use/cover and shoreline changes of the Uluabat Lake Ramsar Site using RS and GIS. Paper presented at: International Conference on Sustainable Land Use and Management; Çanakkale, Turkey. Proceedings Book. 318-325.
- Al-Sabti K, Metcalfe CD. 1995. Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. *Mutat Res-Genet Tox.* 343(2-3):121-135.
doi: [10.1016/0165-1218\(95\)90078-0](https://doi.org/10.1016/0165-1218(95)90078-0)
- Anonim 2004. Türkiye Çevre Atlası. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü, Ankara; [Erişim tarihi: 01.10.2020]. Erişim Adresi: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/turk-yecevatlas--20180514084340.pdf>

- Anonim 2016. Uluabat Gölü alt havzası su kalitesi eylem planı. Ankara: Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Su Kalitesi Yönetimi Dairesi Başkanlığı 38 s.
- APHA. 1993. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington StatSoft Inc. 1993. CSS (Complete Statistica System): Statistica, References for statistical procedures DOS and Windows version), Release 3.1. StatSoft Inc., Tulsa, OK.
- Arslan OC, Parlak, H, Katalay S, Boyacıoğlu M, Karaaslan MA, Güner H. 2010. Detecting micronuclei frequency in some aquatic organisms for monitoring pollution of Izmir Bay (Western Turkey). *Environ Monit Assess.* 165(1-4):55-66. doi: 10.1007/s10661-009-0926-5
- ASTM 1985. Preparation of biological samples for inorganic chemical analysis 1, Annual Book of ASTM Standards, D-19.
- Ateeq B, Abul Farah M, Ahmad W. 2005. Detection of DNA damage by alkaline single cell gel electrophoresis in 2,4-dichlorophenoxyacetic-acid- and butachlorexposed erythrocytes of *Clarias batrachus*. *Ecotox Environ Safe.* 62(3):348–354. doi: 10.1016/j.ecoenv.2004.12.011
- Barlas N, Aköz N, Aydoğan M. 2005. Assessment of heavy metal residues in the sediment and water samples of Uluabat Lake, Turkey. *B Environ Contam Toxic.* 74(2):286-293. doi: 10.1007/s00128-004-0582-y
- Barlas N, Çok İ, Akbulut N. 2006. The contamination levels of organochlorine pesticides in water and sediment samples in Uluabat Lake, Turkey. *Environ Monit Assess.* 118(1-3):383–391. doi: 10.1007/s10661-006-1504-8
- Barsiene J, Rybakovas A, Lang T, Grygiel W, Andreikenaite L, Michailovas A. 2012. Risk of environmental genotoxicity in the Baltic Sea over the period of 2009-201 assessed by micronuclei frequencies in blood erythrocytes of flounder (*Platichthys flesus*), herring (*Clupea harengus*) and eelpout (*Zoarces viviparus*). *Marine Environ Res.* 77:35-42. doi: 10.1016/j.marenvres.2012.01.004
- Bianchi E, Goldoni A, Trintinaglia L, Lessing G, Silva CEM, Nascimento CA, Ziulkoski AL, Spilki FR, Silva LB. 2013. Evaluation of genotoxicity and cytotoxicity of water samples from the Sinos River Basin, southern Brazil. *Braz J Biol.* 75(2):68-74. doi: 10.1590/1519-6984.1913
- Blume KK, Macedo JC, Meneguzzi A, Silva LB, Quevedo DM, Rodrigues MAS. 2010. Water quality assessment of the Sinos River, Southern Brazil. *Braz J Biol.* 70(4):1185-1193. doi: 10.1590/1519-6984.01613suppl
- Bulut C, Atay R, Uysal K, Köse E, Çınar S. 2010. Uluabat Gölü yüzey suyu kalitesinin değerlendirilmesi. *Istanbul University Journal of Fisheries Aquatic Sciences.* 25(1):9-18.
- Buschini A, Carboni P, Martino A, Poli P, Rossi C. 2003. Effects of temperature on baseline and genotoxicant-induced DNA damage in haemocytes of *Dreissena polymorpha*. *Mutat Res-Gen Tox En.* 537(1):81-92. doi: 10.1016/S1383-5718(03)00050-0
- Chen G, Paul A, White PA. 2004. The mutagenic hazards of aquatic sediments: a review. *Mutat Res-Rev Mutat.* 567(2-3):151-225. doi: 10.1016/j.mrrev.2004.08.005
- Cok I, Ulutas OK, Okusluk O, Durmaz E, Demir N. 2011. Evaluation of DNA damage in common carp (*Cyprinus carpio* L.) by comet assay for determination of possible pollution in Lake Mogan (Ankara). *The Scientific World Journal.* 11:1455-1461. doi: 10.1100/tsw.2011.140
- Collins AR. 2005. Assays for oxidative stress and antioxidant status: Applications to research into the biological effectiveness of polyphenols. *Am J Clin Nutr.* 81(1):261S-267S. doi: 10.1093/ajcn/81.1.261S
- Çalışkeci M, Işık G, Leblebici S. 2016. Porsuk Nehri suyunun *Cucumis Sativus* (L.) tohumlarının fide gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C- Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji.* 4(2):77-80.
- Çiçek A, Arslan N, Koç B, Malkoç S, Emiroğlu Ö. 2008. Determination of lead levels in lake water, sediment, meiobenthos (Chironomidae) and three fish species from Lake Uluabat (A Ramsar Site in Turkey). *The 12th World Lake Conference (Taal 2007); Rajasthan, Hindistan.*
- Dalkıran N, Zünbülçil B, Karacaoğlu D, Dere Ş. 2016. Uluabat Gölü epifitik diatomlarının uzun dönemdeki değişimi. *LimnoFish* 2(3):153-163. doi: 10.17216/limnofish.279724
- De Andrade VM, Da Silva J, Da Silva FR, Heuser VD, Dias JF, Yoneama ML, De Freitas TRO. 2004. Fish as bioindicators to assess the effects of pollution in two southern Brazilian rivers using the comet assay and micronucleus test. *Environ Mol Mutagen.* 44(5):459-468. doi: 10.1002/em.20070
- Demir E, Kaya B. 2013. Studies on the genotoxic properties of four benzyl derivatives in the *In vivo* comet assay using haemocytes of *Drosophila melanogaster*. *Fresen Environ Bull.* 22(5):1590-1596.
- Demir E, Kaya N, Kaya B. 2011. Evaluation of DNA damage in *Capsicum annuum* L. exposed to spinosad in the comet assay. *Fresen Environ Bull.* 20(8):1926-1930.
- Demir E, Kaya N, Kaya B. 2014. Genotoxic effects of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles on root meristem cells of *Allium cepa* by comet assay. *Turk J Biol.* 38(1):31-39. doi: 10.3906/biy-1306-11
- Demir E, Kocaoğlu S, Kaya B. 2010. Assessment of genotoxic effects of benzyl derivatives by the comet assay. *Food Chem Toxicol.* 48(5):1239-1242. doi: 10.1016/j.fct.2010.02.016
- Deng J, Wang Y, Liu X, Hu W, Zhu J, Zhu L. 2016. Spatial distribution and risk assessment of heavy

- metals and As pollution in the sediments of a shallow lake. *Environ Monit Assess.* 188(5):296.
doi: [10.1007/s10661-016-5301-8](https://doi.org/10.1007/s10661-016-5301-8)
- Deutschmann B, Kolarevic S, Brackc W, Kaisarevic S, Kostic J, Kracun-Kolarevic M, Liska I, Paunovic M, Seiler T-B, Shao Y, Sipos S, Slobodnik J, Teodorovic I, Vukovic-Gacic B, Hollert H. 2016. Longitudinal profile of the genotoxic potential of the River Danube on erythrocytes of wild common bleak (*Alburnus alburnus*) assessed using the comet and micronucleus assay. *Sci Total Environ.* 573:1441-1449.
doi: [10.1016/j.scitotenv.2016.07.175](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.175)
- Elmacı A, Teksoy A, Topaç FO, Özengin N, Başkaya HS. 2008. Uluabat Gölünün mikrobiyolojik özelliklerinin mevsimsel değişiminin izlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi.* 13(1):93-103.
doi: [10.17482/uujfe.93575](https://doi.org/10.17482/uujfe.93575)
- Elmacı A, Topaç OTi Teksoy A, Özengin N, Başkaya HS. 2010. Uluabat Gölü fizikokimyasal özelliklerinin yönetmelikler çerçevesinde değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 15(1):149-157.
doi: [10.17482/uujfe.34872](https://doi.org/10.17482/uujfe.34872)
- EPA 1994 (Environmental Protection Agency) Method 200.7. 1994. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry; [Erişim tarihi: 04.11.2020]. Erişim Adresi: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-200.7.pdf>
- EPA 1998 (Environmental Protection Agency) Method 3051, 1998. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. [Erişim tarihi: 04.11.2020]. Erişim Adresi: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>
- Galindo TP, Moreira L. 2009. Evaluation of genotoxicity using the micronucleus assay and nuclear abnormalities in the tropical sea fish *Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837) (Teleostei, Gobiidae). *Genet Mol Biol.* 32(2):394-398.
doi: [10.1590/S1415-47572009000200029](https://doi.org/10.1590/S1415-47572009000200029)
- Goldberg DE. 1976. The health of oceans. Paris: The Unesco press 172 p.
- Grisolia CK, Rivero CLG, Starling FLRM, Silva ICR, Barbosa AC, Dorea JG. 2009. Profile of micronucleus frequencies and DNA damage in different species of fish in a eutrophic tropical lake. *Genet Mol Biol.* 32(1):138-143.
doi: [10.1590/S1415-475720090005000009](https://doi.org/10.1590/S1415-475720090005000009)
- Gümüş NE, Akküz C. 2020. Eber Gölü (Afyonkarahisar) su kalitesinin araştırılması. *LimnoFish.* 6(2):153-163.
doi: [10.17216/limnofish.638567](https://doi.org/10.17216/limnofish.638567)
- Has-Schön E, Bogut I, Vukovic R, Galovic D, Bogut A, Horvatic J. 2015. Distribution and age-related bioaccumulation of lead (Pb), mercury (Hg), cadmium (Cd), and arsenic (As) in tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) and European catfish (*Silurus glanis*) from the Buško Blato reservoir (Bosnia and Herzegovina). *Chemosphere.* 135:289-296.
doi: [10.1016/j.chemosphere.2015.04.015](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.015)
- Hayashi M, Ueda T, Uyeno K, Wada K, Kinae N, Saotome K, Tanaka N, Takai A, Sasaki YF, Asano N, Sofuni T, Ojima Y. 1998. Development of genotoxicity assay systems that use aquatic organisms. *Mutat Res-Fund Mol M.* 399(2):125-133.
doi: [10.1016/s0027-5107\(97\)00251-0](https://doi.org/10.1016/s0027-5107(97)00251-0)
- Huuskonen S, Räsänen T, Koponen K, Lindström-Seppä P. 1995. Time-course studies of the biotransformation enzymes in control rainbow trout when adjusting to new habitats. *Marine Environ Res.* 39(1-4):79-83.
doi: [10.1016/0141-1136\(94\)00043-O](https://doi.org/10.1016/0141-1136(94)00043-O)
- Hu C, Deng Z, Xie Y, Chen X, Feng LF. 2015. The risk assessment of sediment heavy metal Pollution in the East Dongting Lake Wetland. *J Chem NY.* Article ID 835487.
doi: [10.1155/2015/835487](https://doi.org/10.1155/2015/835487)
- Kaoud HA, El-Dahshan AR. 2010. Bioaccumulation and histopathological alterations of the heavy metals in *Oreochromis niloticus* fish. *Nature and Science.* 8(4):147-156.
- Klobucar GIV, Malev O, Srut M, Stambuk A, Lorenzon S, Cvetkovic Z, Ferrero EA, Maguire I. 2012. Genotoxicity monitoring of freshwater environments using caged crayfish (*Astacus leptodactylus*). *Chemosphere.* 87(1):62-67.
doi: [10.1016/j.chemosphere.2011.11.060](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.11.060)
- Klobucar GIV, Stambuk A, Pavlica M, Peric MS, Hackenberger BK, Hylland A. 2010. Genotoxicity monitoring of freshwater environments using caged carp (*Cyprinus carpio*). *Ecotoxicology.* 19(1):77-84
doi: [10.1007/s10646-009-0390-6](https://doi.org/10.1007/s10646-009-0390-6)
- Kontaş S, Bostancı D. 2020. Balıklarda genotoksik hasarın belirlenmesine yönelik bir araştırma: *Capoeta banarescui* örneği. *LimnoFish.* 6(2):144-152
doi: [10.17216/limnofish.688645](https://doi.org/10.17216/limnofish.688645)
- Kosmehl T, Hallare AV, Braunbeck T, Hollert H. 2008. DNA damage induced by genotoxicants in zebrafish (*Danio rerio*) embryos after contact exposure to freeze-dried sediment and sediment extracts from Laguna Lake (The Philippines) as measured by the comet assay. *Mutat Res-Gen Tox En.* 650(1):1-14.
doi: [10.1016/j.mrgentox.2007.09.009](https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2007.09.009)
- Linde-Arias R.A, Inácio FA, Alburquerque C, Freire MM, Moreira CJ. 2008. Biomarkers in an invasive fish species, *Oreochromis niloticus*, to assess the effects of pollution in a highly degraded Brazilian River. *Sci Total Environ.* 399(1-3):186-192.
doi: [10.1016/j.scitotenv.2008.03.028](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.028)
- Minareci O, Sungur Ö. 2019. Akgöl ve Gebekirse göllerinde (Selçuk, İzmir, Türkiye) bazı fiziko-kimyasal parametrelerin mevsimsel değişimi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.* 9(4):751-758.
doi: [10.17714/gumusfenbil.528798](https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.528798)
- Mitchelmore C, Chipman J. 1998. Detection of DNA strand breaks in brown trout (*Salmo trutta*) hepatocytes and blood cells using the single cell gel

- electrophoresis (comet) assay. *Aquat Toxicol.* 41(1-2):161-182.
doi: [10.1016/S0166-445X\(97\)00064-7](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(97)00064-7)
- Nunes EA, De Lemos CT, Gavronski L, Moreira TN, Oliveira NCD, Da Silva J. 2011. Genotoxic assessment on river water using different biological systems. *Chemosphere.* 84(1):47-53.
doi: [10.1016/j.chemosphere.2011.02.085](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.085)
- Ohe T, Watanabe T, Wakabayashi K. 2004. Mutagens in surface waters: a review. *Mutat Res-Rev Mutat.* 567(2-3):109-149.
doi: [10.1016/j.mrrev.2004.08.003](https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2004.08.003)
- Omar WA, Zaghloulb KH, Abdel-Khaleka AA, Abo-Hegaba S. 2012. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, *Oreochromis niloticus* and *Mugil cephalus*, from highly degraded aquatic habitats. *Mutat Res-Gen Tox En.* 746(1):7-12.
doi: [10.1016/j.mrgentox.2012.01.013](https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2012.01.013)
- Osman AGM, Abuel-Fadl KY, Kloas W. 2012. In situ evaluation of the genotoxic potential of the river Nile: II. Detection of DNA strand-breakage and apoptosis in *Oreochromis niloticus niloticus* (Linnaeus, 1758) and *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Mutat Res-Gen Tox En.* 747(1):14-21.
doi: [10.1016/j.mrgentox.2012.02.013](https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2012.02.013)
- Otter RR, Meier J, Kubach KM, Lazorchak JM, Klaine SJ. 2012. The effects of urbanization on *Lepomis macrochirus* using the comet assay. *Ecotox Environ Safe.* 84:299-303.
doi: [10.1016/j.ecoenv.2012.07.025](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.07.025)
- Penders EJM, Spenkelink A, Hoogenboezem W, Rotteveel SGP, Maas JL, Alink GM. 2012. Genotoxic effects in the Eastern mudminnow (*Umbra pygmaea*) after prolonged exposure to River Rhinewater, as assessed by use of the *in vivo* SCE and Comet assays. *Environ Mol Mutagen.* 53(4):304-310.
doi: [10.1002/em.21687](https://doi.org/10.1002/em.21687)
- Rajaguru P, Suba S, Palanivel M, Kalaiselvi K. 2003. Genotoxicity of a polluted river system measured using the alkaline Comet assay on fish and earthworm tissues. *Environ Mol Mutagen.* 41(2):85-91.
doi: [10.1002/em.10134](https://doi.org/10.1002/em.10134)
- Russo C, Rocco L, Morescalchi MA, Stingo V. 2004. Assessment of environmental stress by the micronucleus test and the Comet assay on the genome of teleost populations from two natural environments. *Ecotox Environ Safe.* 57(2):168-174.
doi: [10.1016/S0147-6513\(03\)00027-7](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(03)00027-7)
- Saleh KH, Alshehri MA. 2011. The intensity of pollutant genotoxicity in Lake Uluabat: Investigation of the peripheral erythrocytes of *Cyprinus carpio*. *Afr J Biotechnol.* 10(71):16045-16050.
doi: [10.5897/AJB09.1841](https://doi.org/10.5897/AJB09.1841)
- Salihoğlu G, Karaer F. 2005. Uluabat gölü için ekolojik risk değerlendirmesi. *İtüdergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü.* 15(1-3):17-28.
- Sanchez-Galan S, Linde AR, Ayllon F, Garcia-Vazquez E. 2001. Induction of micronuclei in eel (*Anguilla anguilla* L.) by heavy metals. *Ecotox Environ Safe.* 49(2):139-143.
doi: [10.1006/eesa.2001.2048](https://doi.org/10.1006/eesa.2001.2048)
- Saydam Eker Ç, Özkan Ö. 2017. Ankara Çayı dere yatağı sedimanlarının zararlı element içeriği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.* 7(2):208-220.
- Schmid W. 1976. The micronucleus test for cytogenetic analysis. In: Hollaender A, editor. *Chemical mutagens: principles and methods for their detection.* Vol. 4. New York: Plenum Press. p. 31-53.
- Schwarzenbach RP, Egli T, Hofstetter TB, Gunten U, Wehrli B. 2010. Global water pollution and human health. *Annu Rev Env Resour.* 35:109-136.
doi: [10.1146/annurev-environ-100809-125342](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342)
- Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider EL. 1988. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res.* 175(1):184-191.
doi: [10.1016/0014-4827\(88\)90265-0](https://doi.org/10.1016/0014-4827(88)90265-0)
- Squadrone S, Prearo M, Brizio P, Gavinelli S, Pellegrino M, Scanzio T, Guarise S, Benedetto A, Abete MC. 2013. Heavy metals distribution in muscle, liver, kidney and gill of European catfish (*Silurus glanis*) from Italian Rivers. *Chemosphere.* 90(2):358-365.
doi: [10.1016/j.chemosphere.2012.07.028](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.07.028)
- Summak S, Aydemir NC, Vatan Ö, Yilmaz D, Zorlu T, Bilaloğlu T. 2010. Evaluation of genotoxicity from Nilufer Stream (Bursa/Turkey) water using piscine micronucleus test. *Food Chem Toxicol.* 48(8-9):2443-2447.
doi: [10.1016/j.fct.2010.06.007](https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.06.007)
- Tice RR, Rews PW, Singh NP. 1990. The single cell gel assay. A sensitive technique for evaluating intercellular differences in DNA damage and repair. In: Sutherland BM, Wordhead AD, editors. *DNA damage and repair in human tissues.* New York: Plenum. p. 291-302.
- Tokatli C, Çiçek A, Emiroğlu Ö, Arslan N, Köse E, Dayioğlu H. 2014. Statistical approaches to evaluate the aquatic ecosystem qualities of a significant mining area: Emet stream basin (Turkey). *Environ Earth Sci.* 71(5):2185-2197.
doi: [10.1007/s12665-013-2624-4](https://doi.org/10.1007/s12665-013-2624-4)
- Tunca E, Atasagun S. 2012. Yeniçağa (Bolu) Gölü'ndeki kerevitlerin (*Astacus leptodactylus*) bazı dokularındaki ağır metal birikimi. *KSU Doğa Bil Derg.* 15(1):46-51.
- TÜİK 2013. Nüfus Projeksiyonları 2013-2075; [Erişim Tarihi: 09.11.2016]. Erişim Adresi: http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1637
- Ulutaş OK, Okusluk O, Demir N, Durmaz E, Cok I. 2008. Determination of possible pollution in Lake Mogan (Ankara) by Comet assay using common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Toxicol Lett.* 180:S204-S205.
doi: [10.1016/j.toxlet.2008.06.242](https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2008.06.242)
- Uslu O, Türkman A. 1987. Su kirliliği ve kontrolü. İzmir: T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları 56 s.
- Ünlü S, Alpar B, Öztürk K, Vardar D. 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the surficial

- sediments from Lake Iznik (Turkey): spatial distributions and sources. Bull Environ Contam Tox. 85(6):573-580.
doi: [10.1007/s00128-010-0134-6](https://doi.org/10.1007/s00128-010-0134-6)
- Vincent-Hubert F, Heas-Moisan K, Munsch C, Tronczynski J. 2012. Mutagenicity and genotoxicity of suspended particulate matter in the Seine river estuary. Mutat Res-Gen Tox En. 741(1-2):7-12.
doi: [10.1016/j.mrgentox.2011.09.019](https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2011.09.019)
- Wang Y, Chen P, Cui R, Si W, Zhang Y, Ji E. 2010. Heavy metal concentrations in water sediment and tissues of two fish species (*Triplophysa pappenheimi*, *Gobio hwanghensis*) from the Lanzhou section of the Yellow River, China. Environ Monit Assess. 165(1-4):97-102.
doi: [10.1007/s10661-009-0929-2](https://doi.org/10.1007/s10661-009-0929-2)
- Yang Y, Zhengchao Z, Yanying B, Yimin C, Weiping C. 2016. Risk assessment of heavy metal pollution in sediments of the Fenghe River by the fuzzy synthetic evaluation model and multivariate statistical methods. Pedosphere. 26(3):326-334.
doi: [10.1016/S1002-0160\(15\)60046-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60046-7)