



Asi Nehri'nin Genotoksik Potansiyelinin *in-situ* Belirlenmesi ve İndikatör Tür Olarak Karabalık *Clarias gariepinus* Kullanımı

Program kodu: 3001

Proje No: 116Y262

ProjeYürütçüsü:
Prof.Dr. Funda TURAN

Araştırmacı(lar):

Prof. Dr. Meltem EKEN

Prof. Dr. Gül ÖZYILMAZ

Bursiyer(ler):

Serpil KARAN

Haluk ULUCA

ARALIK 2018

HATAY



ÖNSÖZ

Nüfusumuzun ve sanayileşmenin hızla artması, çarpık kentleşme, tarımsal gübre ve ilaçların aşırı ve bilinçsizce kullanılması gibi nedenlerle ortaya çıkan çevre kirliliği giderek su kaynaklarımızın niteliğini bozmuştur. Su kaynakları özellikle de nehirler birçok idari yapı içinde kalmaktadır ve bu alanlar birçok kirlenici unsurun alıcı ortamları olarak yoğun olarak etkilenmektedir.

Su ortamları, günümüzde atıkların çoğu için ideal bir deşarj alanı olarak kabul edilmiş, kolay ve ucuz bir bertaraf seçeneği olarak yaygın bir uygulama görmüştür. Gelişmiş ülkeler de dahil olmak üzere kabul edilen bu kavram toksik kimyasal maddelerin biyolojik birikiminin ve bazı kirlenicilerin su ortamlarında uzun süre kalması nedeniyle ekolojik zehirlenmenin artarak bugünkü vahim duruma gelmesine yol açmıştır. Bu kirlenme suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkilemektedir. Su ortamındaki kirlilikleri belirlemede günümüze kadar en yaygın kullanılan metotlar genelde suyun kimyasal analizleridir. Ancak kimyasal yöntemler su ortamındaki organizma üzerinde kirlenicilerin etkisini gösterememektedir. Sucul organizmalar buldukları su ortamı ile denge içerisinde olduklarından su ortamının potansiyel kirlilik seviyesini biyolojik açıdan temsil edebilirler. Su ortamındaki besin zinciri de göz önüne alındığında kirleniciler (organik kökenli olan PAH (poliaromatik hidrokarbonlar), PCB(poli klorlu bifeniller), pestisitler; inorganik kökenli olan ağır metaller) bir organizmadan başka bir organizmaya ve insana kadar ulaşabilmektedir.

Sucul ortamlardaki biyolojik sistemler bu kirlenici unsurların hedefi halindedir ve bu nedenle, maruz kaldıkları kirleniciler ile ilgili tehlike ve risk analizlerinin detaylı olarak yapılması gerekmektedir. Toksik kimyasallar buldukları ortamlarda veya biyolojik örneklerde tespit edilebilir olsa bile, bu durum biyolojik veya ekolojik etki değerlendirmelerinin doğru yapılmadığı sürece yeterli değildir ve çevre sağlığı açısından risk teşkil etmektedir.

Bu bakış açısı ile planlanan bu araştırma projesi kapsamında, Su Çerçeve Direktifi kapsamında öncelikli havzalar arasında yer verilen Asi Havzasının ana kolu olan Asi Nehir'indeki toksik kimyasalların canlılar üzerinde neden olduğu genetik hasarları (DNA hasar seviyesi ölçülerek), biyoindikatör tür Karabalık *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)'da ortaya koymak ve kirliliğe maruz kalan bu türün kirlenici faktörlerinden etkilenme dereceleri ve buna karşı oluşturdukları fizyolojik cevabı tespit ederek çevrede olası ekolojik durumun yorumlanması hedeflenmiştir. Elde edilecek tüm veriler ile çalışma yapılan Asi Nehri'nde kirlilik ve etkilerini biyogösterge tür yoluyla izleyerek, konu ile ilgili daha sonraki çalışmalara temel oluşturulması ve sonuçta insan sağlığı ile sucul ekosistemin korunması yönünde adımların atılması hedeflenmiştir.



Bu çalışma sonucunda sucul ekosistemdeki kirleticilerin canlı populasyonlar üzerindeki genotoksik etkilerinin izlenmesinin gerekliliği anlaşılmıştır. Bu araştırma projesini destekleyen TÜBİTAK'a ve proje süresince gösterdikleri ilgi ve yardımlar için TÜBİTAK-ÇAYDAG uzman ekip ve çalışanlarına, en samimi duygularımızla teşekkürlerimizi ifade ederiz

Proje Ekibi adına,
Prof. Dr. Funda TURAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	ii
Tablolar Listesi	v
Şekiller Listesi	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1.GİRİŞ	1
1.1 Ağır Metaller	1
1.2 Oksidatif Stres	4
1.3 Genotoksik Etki	8
2.LİTERATÜR BİLGİSİ	17
3.GEREÇ ve YÖNTEM	23
3.1 Çalışma Alanı ve Örnekleme	23
3.1.2 Fiziko-Kimyasal Parametrelerin Ölçümü	27
3.2 Ağır Metal Analizi	28
3.2.1 Su ve Balık Örneklerinin Hazırlanması	28
3.2.2 Ağır Metallerin Ölçümü	28
3.3 Fizyolojik Cevap	31
3.3.1 Doku Örneklerinin Homojenizasyonu	32
3.3.2 Balık Örneklerinin Protein Düzeyleri	32
3.3.3 Balık Örneklerinde CAT Aktivite Düzeyleri	33
3.3.4 Balık Örneklerinde SOD Aktivite Düzeyleri	33
3.3.5 Balık Örneklerinde MDA Düzeyleri	35
3.4 Tek Hücre Jel Elektroforez Yöntemi(Komet Analizi) ile Genotoksite Testi	36
3.5 İstatistik Analizleri	40
4.BULGULAR ve TARTIŞMA	41
4.1 Fiziko-Kimyasal Parametreler	41
4.2 Ağır Metal Analizleri	48
4.3 Oksidatif Strese Bağlı Fizyolojik Cevap	57
4.4 Komet Analizi (Tek Hücre Jel Elektroforez Yöntemi)ile Genotoksite Testi	62
5.SONUÇ	90
6.KAYNAKLAR	95

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa no
Tablo 1. Üç farklı istasyondan örneklenen Karabalıklara ait ortalama boy-ağırlık verileri	27
Tablo 2. Su örnekleri için kullanılan HR-CS-AAS'de Elementlere göre Dalga Boyu ve Dedeksiyon Limitleri	30
Tablo 3. Doku örnekleri için kullanılan ICP-OES 'de Elementlere göre Dalga Boyu ve Dedeksiyon Limitleri	31
Tablo 4. Karabalık karaciğer kas dokularında elde edilen süpernatların her biri için SOD aktiviteleri	34
Tablo 5. Standart çözeltiler ve örnekleme için yapılan işlemler	35
Tablo 6. 95° C de 30 dk inkübe edilip soğumaya bırakma	35
Tablo 7. Kıtaçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına göre Kalite Kriterleri	42
Tablo 8. Su Kalite Sınıfı Renk Kodları	43
Tablo 9. Kalite sınıflarına göre suların özellikleri	43
Tablo 10. Demirköprü istasyonlarından su örneklerinden fiziko-kimyasal parametreler	43
Tablo 11. Samandağ istasyonunda alınan su örneklerinden bazı fiziko - kimyasal parametreler	44
Tablo 12. Karasu çay istasyonunda alınan su örneklerinde bazı fiziko-kimyasal parametreler	45
Tablo 13. 2017 yılına ait üç farklı istasyondan alınan su örneklerinde saptanan ortalama ağır metal miktarlarının mevsimsel değişimi	49
Tablo 14. Asi Nehri'nden üç farklı istasyondan alınan örneklerden <i>Clarias gariepinus</i> 'un kas dokusunda saptanan ağır metal miktarları	51
Tablo 15. Asi Nehri'nden üç farklı istasyondan alınan örneklerden <i>Clarias gariepinus</i> 'un karaciğer dokusunda saptanan ağır metal miktarları	52

Tablo 16. Asi Nehri'nden üç farklı istasyondan alınan örneklerden <i>Clarias gariepinus</i> 'un kas- karaciğer dokusunda saptanan ağır metallerin yıllık ortalamaları	55
Tablo 17. Ulusal ve Uluslararası standartlara göre balıkların kas dokusunda kabul edilebilir ağır metal miktarları	56
Tablo 18. 2017 yılı Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu çayında mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (<i>Clarias gariepinus</i>)'un karaciğer ve kas dokusuna ait katalaz seviyesi sonuçları	58
Tablo 19. 2017 yılı Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu çayında mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (<i>Clarias gariepinus</i>)'un karaciğer ve kas dokusuna ait SOD seviyesi sonuçları	59
Tablo 20. 2017 yılı Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu çayında mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (<i>Clarias gariepinus</i>)'un karaciğer ve kas dokusuna ait MDA düzeyleri	60
Tablo 21. 2017 yılı Asi Nehri'nden mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (<i>Clarias gariepinus</i>)'un solungaç dokusunda saptanan DNA hasar sonuçları	63
Tablo 22. 2017 yılı Asi Nehri'nden mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (<i>Clarias gariepinus</i>)'un karaciğer dokusunda saptanan Floresan mikroskobunda örneklerin incelenmesi	70
Tablo 23. 2017 yılı Asi Nehri'nden mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (<i>Clarias gariepinus</i>)'un solungaç dokusuna ait DNA ların kuyruk yoğunluğu, kuyruk momenti, kuyruk göçü sonuçları ve ortalamaları	73
Tablo 24. 2017 yılı Asi Nehri'nden mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (<i>Clarias gariepinus</i>)'ın karaciğer dokusuna ait DNA ların kuyruk yoğunluğu, kuyruk momenti, kuyruk göçü sonuçları ve ortalamaları	76
Tablo 25. DNA hasar parametreleri ile tüm parametreler arasındaki korelasyon değerleri	79
Tablo 26. Ana Bileşenler analizi sonucu oluşan ana bileşenler ve varyansın ana bileşenlere göre dağılımı	84

Tablo 27. Ana Bileşenler analizi sonucu oluşan ana bileşenler ve sahip oldukları DNA hasar parametreleri ile tüm parametrelerin korelasyon değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanışı 88

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1. Aerobik organizmalarda oksidatif hücre hasarı mekanizmaları A) ve B) antioksidant savunma sistemi	6
Şekil 2. DNA hasarının Etkileri	11
Şekil 3. Asi Nehri	23
Şekil 4. Asi Nehri örnekleme yerleri	25
Şekil 5. Asi Nehri 'nden örneklenen Karabalık (<i>Clarias gariepinus</i>)(Orijinal)	26
Şekil 6. YSI 9500 Fotometre cihazı	28
Şekil 7. Ağır Metal analizlerinin yapıldığı ICP-OES AAS Cihazı	29
Şekil 8. Hacetepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi İlaç ve Kozmetik Ar-ge Kalite Kontrol Laboratuvarı	36
Şekil 9.a) Karabalıktan dokuların alınması b)Komet Analizi için preparatların hazırlanması	37
Şekil 10.a) Komet analizi için preparatların hazırlanması b)Elektroforez işlemi c)Floresan mikroskopu altında örneklerin incelenmesi	38
Şekil 11. Komet yapısında baş ve kuyruk kısımlarında ki DNA 'nın Dağılımı	39
Şekil 12. Asi Nehri'nden kış mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularına ait Floresan mikroskoptaki görüntüleri	67
Şekil 13. Asi Nehri'nden ilkbahar mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularına ait Floresan mikroskoptaki görüntüleri	68
Şekil 14. Asi Nehri'nden yaz mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularına ait DNA Hasarının Floresan mikroskoptaki görüntüleri	68
Şekil 15. Asi Nehri'nden sonbahar mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularına ait DNA hasarının Floresan mikroskoptaki görüntüleri	69
Şekil 16. Birinci ve İkinci Ana bileşenin grafiklendirilmesi ve parametrelerin ana bileşende ki dağılımı	87



Şekil 17. Birinci ve İkinci ayırma bileşenlerinin grafiklendirilmesi sonucu örnekleme istasyonları arasında ki farklılıklarının ayrıştırma grafiğinde gösterilmesi

88



ÖZET

Bu çalışma ile, Asi Havzası'nın ana kolu olan Asi Nehri'nde, biyogösterge tür karabalık *Clarias gariepinus*'de solungaç ve karaciğer dokusunda Komet Analizi ile olası DNA hasar düzeyinin tespit edilmesi ve türde ve suda ağır metal gibi toksik kimyasalların seviyelerinin ölçülerek, kirletici seviyeleri ile DNA hasarı arasındaki ilişkinin anlaşılması, bununla birlikte biyogösterge türde oluşan oksitatif strese bağlı gelişen fizyolojik cevap ve DNA hasarı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışmada; Asi Nehri'nin Demirköprü, Samandağ ve referans noktası Karasu Çayı'nda, bir yıl süreyle mevsimsel su ve balık örneklemeleri yapılmıştır. Karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularında Komet analizi ile DNA hasarı, karaciğer ve kas dokularında ağır metal ölçümleri ile süperoksit dismutaz (SOD), Katalaz (CAT) ile protein, malondialdehit (MDA) düzeyleri ve son olarak su örneklerinde ağır metal ölçümleri yapılmıştır. Karabalık'ın incelenen dokularındaki ağır metal derişimlerinin metale, dokuya ve suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişim gösterdiği saptanmıştır. Karabalık'ın başlıca tüketilebilir kısmını oluşturan kas dokusundaki Cd ve Pb derişiminin belirlenen tüm istasyonlarda, ulusal ve uluslararası kabul edilebilir aralığın üstünde olduğu belirlenmiştir. Komet analizi sonucu, hem mevsimsel hem de yıllık ortalama anlamında her iki dokuda da hasar düzeyi en yüksek bölge, % $3,345 \pm 0,521$ kuyruk yoğunluğu (%T-DNA), $1,548 \pm 0,069$ μm kuyruk momenti ve $6,892 \pm 0,234$ kuyruk göçü ile Samandağ istasyonunda tespit edilmiştir. İlkbahar mevsimi karaciğer CAT düzeyleri tüm istasyonlarda istatistiki olarak farklı iken, kas dokularında farklılık gözlenmemiştir. Karabalık Karaciğer ve kas dokularında genel olarak SOD aktivitesinin en yüksek gözlendiği istasyon Demirköprü ve en düşük Karasu istasyonu olmuştur. MDA düzeyi Samandağ istasyonunda en yüksek, Karasu istasyonunda ise en düşük olduğu belirlenmiştir. Pearson Korelasyon analizi sonucunda, fiziko-kimyasal parametreler ile DNA hasarı arasında anlamlı bir ilişki gözlenmezken, ağır metallere suda tespit edilen Cd, Cr, Ni, Pb, Co ve Cu ile pozitif güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Asi Nehrinde biyoindikatör Karabalıkta komet analizinin alıcı ortamlardaki genotoksik kirleticilerin taranmasında kullanışlı bir izleyici olabileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Asi Nehri, DNA Hasarı, Komet Analizi, Karabalık, *Clarias gariepinus*



ABSTRACT

In this study, African catfish *Clarias gariepinus* in Asi River, main branch of Asi Basin, was used as a bioindicator species to determine possible levels of DNA damage in the gill and liver tissue by Comet Analysis and to elucidate possible relationship between the DNA damage and levels of toxic chemicals such as heavy metals in the species and water. Moreover, the relationship between DNA damage and physiological response to oxidative stress caused in the bioindicator species was also investigated. In the present study; seasonal water and fish samples were collected for one year from Demirköprü, Samandağ and reference points of Asi River in Karasu Creek. DNA damage with the COMET analysis was investigated in gills and liver tissues of African catfish, heavy metal measurements were done in liver and muscle tissues, superoxide dismutase (SOD), protein with catalase (CAT) and malondialdehyde (MDA) levels were also investigated. Finally, heavy metal measurements were also made in water samples. It was determined that the heavy metal concentrations in the examined tissues of the catfish varied depending on the metal, the texture and the physical and chemical properties of the water. It was determined that the Cd and Pb concentrations in the muscle tissue, which is the main consumable part of African catfish, was the above the national and international acceptable levels at all the studied stations. As a result of the COMET analysis, the highest damage level in both tissues in seasonal / general terms was detected at Samandağ station with 3.345 ± 0.521 the tail density (% T-DNA), 1.548 ± 0.069 μm tail moment and 6.892 ± 0.234 tail migration. While CAT levels at the liver in the spring were statistically different in all stations, no difference was observed in muscle tissues. In the liver and muscle tissues, SOD activity in the liver and muscle tissue was the highest observed in Demirköprü and the lowest in Karasu stations. The MDA levels were found to be the highest in Samandag station and the lowest in Karasu station. As a result of Pearson Correlation analysis, no significant relationships were found between physico-chemical parameters and DNA damage; however, there were strong positive correlations between DNA damage and Cd, Cr, Ni, Pb, Co, Cu detected in water. As a result, it can be concluded that COMET analysis in African catfish at the Asi River can be a useful bioindicator for screening genotoxic pollutants in the recipient environment.

Key Words: Asi River, DNA Damage, COMET analysis, African catfish, *Clarias gariepinus*



1. GİRİŞ

Dünyadaki hızlı nüfus artışı, şehirleşme ve sanayileşme, yaşamsal öneme sahip ve ülkelerin sosyal, kültürel ve ekonomik gelişimlerinde rol oynayan su kaynaklarının hızla kirlenmesine yol açmıştır. Özellikle tatlı su kaynakları, artan su kullanımı ve su kirliliği sebebiyle her geçen gün daha fazla baskıya maruz kalmaktadır (Hoekstra ve Mekonnen, 2012). Su kaynakları özellikle de nehirler birçok idari yapı içinde kalmaktadır ve bu alanlar birçok kirletici unsurun alıcı ortamları olarak yoğun olarak etkilenmektedir (Gündoğdu ve Turhan, 2004; Langston vd. 2007). Özellikle sanayileşme ve teknolojik gelişmeler ile birlikte üretimin ve tüketimin hızla artması sonucu; su ve toprak hızla kirlenmeye, doğal kaynaklar tükenmeye başlamış, doğanın kendi kendini yenileme niteliği zarar görmüştür.

Genel anlamda su kirliliği; su kaynaklarının kullanılmasını bozacak ölçüde, organik, inorganik, biyolojik ve radyoaktif maddelerin suya karışması şeklinde tanımlanabilir. Doğanın işleyişi incelendiğinde, dışsal destekler olmaksızın suyun belli bir düzeydeki kirlenmenin üstesinden gelebildiği görülmektedir. Ancak kirleticilerin türü ve miktarı arttığında bu işlem etkisiz kalmakta ve kirlilik ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde oluşan sürecin yanı sıra su kirliliği, havada oluşan kirlenme ile toprak kirliliği de suyun doğal dolanımı nedeniyle su kaynaklarının kirlenmesine yol açar. Bu nedenle su kirliliği sadece kirleticilerin doğrudan su kaynaklarına ulaşmasından değil, hidrolojik süreçler yolu ile dolaylı bir biçimde de oluşabilmektedir.

Ekosistemde canlılar arasındaki dengeyi bozan kirleticileri organik ve inorganik kirleticiler olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu kirleticiler metaller, pestisitler, Poli Klorlu Bifeniller (PCB), Poli Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) 'dır. Bunlar organizmalara toksik etki yapmaktadırlar. Kirleticilerden organik kontaminantların aksine, inorganik kökenli olan ağır metaller konsantrasyon ya da toksisitelerini azaltan parçalanma işlemine uğramazlar. Bununla birlikte bu kirletici unsurların, biyolojik birikim özelliklerinden ötürü çevredeki mevcudiyetleri ve taşınımaları insanlar ve ekosistem açısından önem taşımaktadır. Ayrıca, birçok çevresel koşullar ve fizyolojik stres nedeniyle biyogösterge yanıtlarında kirleticilerin etkilerini net olarak ortaya çıkarmak güç olabilir. Bu nedenle; ilerideki çalışmalarda biyolojik yanıtın tüm nedenlerini anlamak için, farklı trofik seviyelerdeki canlılar birlikte araştırılmalı ve bunların yanı sıra fiziksel ve biyolojik faktörlerin daha detaylı şekilde izlenmesi gerektiği önerilmektedir.

1.1 Ağır Metaller

Ağır metaller, toksisiteleri ve çevrede kalıcı olma özellikleri nedeniyle tehlikeli kirletici madde grupları arasında değerlendirilmektedir (Boamponen,2010). Ağır metallerin biyosferde hareket kabiliyetleri özellikle insan aktiviteleri neticesinde ortaya çıkan bir süreçtir ve bu metallerin jeokimyasal döngüsünde önemli bir yer tutar. Yüzeysel sularında ağır metallerin kaynakları;

atmosferik taşınım, akarsularla olan karasal girdiler, yüzeysel akışa gecen yağmur ve kar suları, volkanik aktiviteler ve antropojenik girdiler olarak sıralanabilir.

Ağır metallerin yüzeysel sulara taşınmasında rol oynayan önemli proseslerden biri yüzeysel akıştır. Çalışılan bir çok bilimsel araştırmalarda ağır metallerin, karayollarından, kentsel alanlardan yayılı kirleticikaynak olarak yüzeysel akış ile alıcı ortamlaraulaştığı tespit edilmiştir (Akdoğan vd. 2015;Uzun vd. 2014; Şişman vd. 2002).Evsel atık sulardaki ağır metallerin en önemli kaynağı özellikle meskûn bölgelerde yağmur suyunun yüzeysel akışa geçerek kanalizasyon sistemine girmesidir (Gromaire-Mertz vd. 1999; Reddy vd. 2014). Ayrıca endüstriyel atık su deşarjlarının yapıldığı kanalizasyon sistemleri de, endüstrinin faaliyet alanına göre farklı ağır metallerin evsel atık suya karışmasına sebep olmaktadır. Evsel atık suların arıtıldığı konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinde ağır metallerin bir kısmı hiçbir değişikliğe uğramadan tekrardan deşarj edilmekte, büyük kısmı ise mikroorganizma flokları üzerinde adsorbe olarak, sistemden atılan arıtma çamurları ile birlikte uzaklaştırılmaktadır (Chiu vd. 2016). Bu durum arıtma çamurlarının tarımsal kullanımını ve evsel cop ile birlikte depolanmasını sınırlandırmakta ve alternatif çamur bertaraf yöntemlerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır (Praspaliauskas ve Pedišius, 2017).

Yukarıda belirtildiği gibi; ağır metaller, hem endüstriyel hem de antropojenik faaliyetler sonucu üretilen atıklarla su kütlelerine girmektedir. Ağır metaller ekosistemde biyolojik olarak parçalanmayan toksik kirleticilerdir. Suda, sedimentte ve sucul organizmalarda ağır metaller birikirler ve dolayısıyla besin zinciri yoluyla insana kadar ulaşırlar. Ağır metaller canlılarda hücre fonksiyonlarına zarar vererek, biyolojik aktiviteyi inhibe etmektedir. Ayrıca, kadmiyum ve bakır gibi ağır metaller balıklarda embriyonik ve larva evrelerini etkilemekle birlikte morfolojik olarak anomalilere neden olup vücutta deformasyonlara ve büyüme geriliğine de sebep olmaktadır (Witeska vd., 2014).

Ağır metaller, canlı yaşamında belirli bir derişimde bulunması gerekli olan ağır metaller (Fe, Cu, Zn, Ni ve Se) ve çok düşük derişimlerde bile/başlangıç derişimlerinden itibaren toksik etki göstermekte olan ağır metaller (Hg, Cd ve Pb) olarak iki grupta sınıflandırılırlar (Jarup, 2003; Bliefert, 2004). Ağır metallerden kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko başta olmak üzere 60'tan fazla metal çevresel kirleticiler sınıfına dahil edilmiştir (Rainbow, 1995; Webb ve Gagnon, 2002; Prasad, 2004; Taylan ve Özkoç, 2007; Tatar, 2014).

Çok düşük derişimlerden itibaren toksik etki göstermekte olan ağır metaller grubunda bulunan Kurşun çeşitli endüstri alanlarında ve tarımsal faaliyetlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kurşunun su ve havadan oksitlenmemesi nedeni ile boruların yapımında, su altı telefon kablolarının korunmasında, sülfürik asitten etkilenmemesi nedeniyle de özellikle sülfürik asit endüstrisinde ve ayrıca kurşun akümülatörlerin yapımında tercih edilmektedir (Yalçın, 2004; Dündar vd. 2012). Endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu açığa çıkan atık ve/veya atık sulara kurşun alıcı ortamlara verilmekte ve kirlenmeye neden olmaktadır. Bu nedenle, kurşun içeren sular canlı

metabolizması üzerine etki yapabilmektedir. Kurşunun düşük konsantrasyonlarda bitki metabolizmasını inhibe ettiği ve yine elektron transfer sistemini bozduğu için bitkilerde respirasyon ve fotosentez üzerine bir olumsuz etkileri olduğu bildirilmektedir (Pais ve Jones, 2000; Kabata-Pendias ve Pendias, 2001; Tatar, 2014). Bu olumsuz etkileri nedeniyle, kurşun Su Çerçeve Direktifi kapsamında öncelikli temel maddeler listesinde var olmaktadır.

Toksik çevresel kirletici grubundaki bir diğer önemli metallere olan kadmiyum, düşük konsantrasyonlarda bile biyolojik sistemler üzerinde son derece zararlı bir etkiye sahiptir. Kadmiyum'un çevre kirliliği görülen denizlerde canlı vücuduna alınarak burada biyoakümülayon özelliği göstermiş olup ve değişik seviyelerde toksik etkiler yarattığı saptanmıştır (Ho vd., 2002; Artan, 2007) . Kadmiyum diğer ağır metallerle içinde suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Bundan dolayı doğada yayılım hızı yüksektir. Suda çözünebilirlik özelliğinden dolayı Cd^{+2} halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınır ve biyoakümülayon olur. Ağır metallerin balıklarda biyoakümülayon ve toksik etkileri ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmıştır (Kayhan vd. 2009; Karayakar vd. 2017; Goksu vd. 2003; Celik, 2006).

Su ortamları tek başına su kütlelerinden ibaret olmayıp, bünyesinde birçok hayvan ve bitki kökenli yüzen veya dipteki sediment tabakasında yaşayan organizma grupları ihtiva etmektedir. Kirleticiler sadece suda çözünmekle kalmayıp, ortam şartlarına göre organizmaya geçmekte, besin zincirinde birikmekte veya dibe çökmektedirler. Dolayısıyla bir kirletici sadece suda değil, aynı zamanda o su ortamında bulunan tüm canlıların yapısına geçmektedir. Su ortamlarında ağır metal suda, sedimentte ve canlıda olmak üzere üç şekilde ölçülebilir ve bu üç bileşen ya kirletici seviyelerini izlemek ya da kirleticilerin çevresel davranışlarını tanımlamak için kullanılmaktadır (Rainbow, 1995; Haritonidis ve Malea, 1999; Taylan ve Özkoç, 2016).

Yüksek konsantrasyonda bulunan elementler, organizmalarda çözeltileri halinde bulunurlar ve hücreler arasındaki elektronötrallığı sağlarlar. Eser ağır metaller ise canlı yapısında eser oranda bulunurlar ama görevleri çok önemlidir. Bunlardan bazıları proteinlerin bazıları da enzimlerde bulunurlar. Metallerin toksik etkileri metalden metale organizma içinde değişiklik gösterir. Sonuçta gerekli olsun veya olmasın ağır metallerin çoğu canlı organizmalar için toksik potansiyele sahiptir. İnsanlar ağır metalleri su, hava ve besin zinciri yoluyla alırlar. Özellikle toksik organik atıkların metallerle birleşerek veya başka bileşiklere dönüşerek daha toksik hale geçmeleri önemli sorunlar yaratmaktadır. Metallerin toksik etkileri; kimyasalın özelliklerine organizmaya giriş yollarına, alıcı organizmanın yaş ve gelişim durumuna, organizmaya giren miktarına, süresine bağlı olarak değişmektedir. Metal toksisitesi ile ilgili iki mekanizma mevcuttur. Birincisi, enzimin aktif bölgesinde yararlı olan metal, toksik metal ile yer değiştirir. İkincisi, toksik metal moleküle bağlanır ve metalik kationun değişmesi enzimin aktivitesini değiştirir (Rainbow, 2002; Taylan ve Özkoç, 2016).

Organizmanın ihtiyacı olan besinler arasında olan metaller organik moleküllerle ve daha çok proteinlerle birlikte fonksiyon gösterirler. Hemoglobin, hemosiyanin ve enzimler oksijen taşıyan metaloproteinlerdir. Enzimlerin çoğu spesifik metallerin bulunmaması halinde katalitik aktivitelerini

yapamazlar. Bazı ağır metaller, uygun konsantrasyonlarda enzim aktiviteleri için gerekli olmasına karşılık, doğal konsantrasyonlar (organizmaya özgü esik konsantrasyonu) asıldığında enzim aktivitelerini inhibe ederler. Ag, Hg, Cu, ve Pb gibi metaller özellikle toksiktirler, enzim aktivitelerini durdururlar (Taylan ve Özkoç, 2016).

Sonuç olarak, sucul ortamlardaki metal kirliliği biyokimyasal, hücresel, populasyon ve topluluk düzeylerinde organizmalarda toksik etkiye neden olmaktadır. Ağır metaller, su ortamında dengeyi bozan ve su içindeki besin zincirinin son tüketicileri olan balıklar yolu ile besin zincirinin en üst kademesinde olan insana kadar ulaşabilen kirleticilerdendir. İnsanların bazı kimyasal maddelere ve özellikle ağır metallere maruz kalmaları halinde ortaya çıkan halk sağlığı problemleri her geçen gün daha da artmaktadır. Bu nedenle sucul ekosistemlerdeki ağır metal kirliliğinin araştırılması da çevre ve insan sağlığı açısından son derece önem arz etmektedir (Gul-Seker ve Mater, 2009).

1.2 Oksidatif stres

Sucul ekosistem, yağmur sularının yıkama etkisiyle antropojenik kökenli kirleticilerin ulaştığı son noktadır. Özellikle nehir ve göllerde, göreceli olarak içerdikleri su hacminin azlığı ve insan yerleşim bölgeleri içinde kalmaları dolayısı ile antropojenik kaynaklı kirleticilerden çok miktarda metal alımı açısından yüksek risk potansiyeline sahiptirler. Metallerin neredeyse hepsi hem yüzey hem de yeraltı sularında bulunmakta olup, birçoğunun eser miktardaki derişimi yaşamsal öneme sahipken yüksek derişimleri toksik özelliktedir. Ağır metaller toksik ve redoks özelliklerinden dolayı antioksidatif sistemi direkt etkileyen kirleticilerdir (Qu vd. 2014).

Biyolojik sistemlerde serbest radikaller ile bunlara karşı süpürücü etkiye sahip antioksidanlar arasındaki dengenin bozulması oksidatif stres olarak tanımlanır. Reaktif oksijen türleri oldukça yüksek reaktiviteye sahip moleküller olup başta mitokondriyum olmak üzere hücre organellerinde gerçekleşen normal metabolizmanın sonucu olarak veya yaşlanma, radyasyon, yüksek oksijen basıncı, inflamasyon ve kimyasal ajanlara maruz kalma gibi sebeplere bağlı olarak üretilirler (1-3 Mc Carthy t. vd. 2001; (4-7 İwama K.G. 2004, Fen Y.Z: vd. 2002).

Yüksek metal derişimine bağlı olarak oluşan oksidatif stres sonucunda reaktif oksijen türleri hücre içi lipit ve protein yapıların çift bağ içeren gruplarına ve DNA'daki bazların çift bağlarına saldırır ve bir hidrojen atomu kopararak zincirleme oksidasyon reaksiyonlarını başlatırlar. Sonuçta hücre içi lipit, protein ve DNA gibi makro moleküller hasarlanarak hücre zedelenmesi veya hücre ölümü meydana gelir. Serbest radikallerin etkileri ile makro moleküllerin oksidatif hasarı sonucunda açığa çıkan malondialdehit (MDA), protein karbonil (PCO), 8-hidroksiguanin (8-OHG) gibi ürünlerin vücut sıvıları ve dokularda biyokimyasal yöntemlerle ölçülmesi ile oksidatif hasar varlığı tespit edilir (Qu vd. 2014). Metabolizmada üretilen ROT'nin temel kaynakları mitokondriyal elektron transport sistemi reaksiyonları, oksijenaz enzimlerinin reaksiyonları, antimikrobiyal aktivite sırasında oluşan solunum patlaması ve otooksidasyon reaksiyonları olarak sıralanabilir (Kurt, 2008). Doğal olarak

meydana gelen ROT'nin toksik etkileri (lipid peroksidasyonu, DNA ve protein hasarı, hücre hasarı gibi) antioksidant savunma sistemi tarafından ortadan kaldırılır. Bu tarz moleküller, serbest oksijen radikallerine bir hidrojen iyonu verirler ve bu radikalleri kendilerine bağlarlar. Böylelikle onları zayıf bir moleküle çevirirler ve radikal hasarını önüne geçmiş olurlar (Ünver vd, 2014) .

Reaktif oksijen türlerine karşı hücre içi ve hücre dışı enzim ve nonenzim (enzim olmayan) savunma mekanizmasına antioksidan savunma sistemi denilmektedir (Ritola vd. 2002; Melehan vd. 2005).

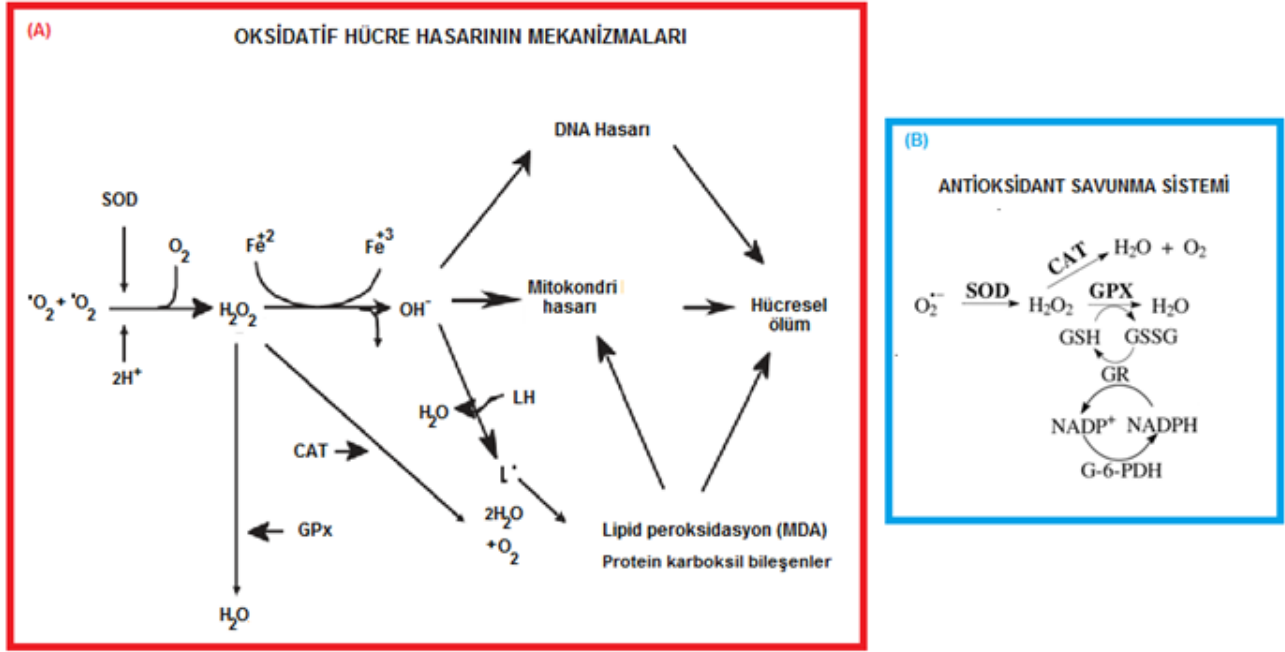
Antioksidan Savunma Mekanizmasında, antioksidanlar 4 farklı mekanizma ile oksidanların zararlarını önlerler (Wang vd. 2006).

1. Temizleme etkisi: Enzimler tarafından oksidan molekülleri zayıf hale getirerek lokal oksijeni azaltmak,
2. Baskılama etkisi: Oksidanlara bir hidrojen molekülü verilerek hidroksil radikali yapısında yer alan hidrojen atomları ile bağ oluşturabilecek yapıdaki ürünleri temizleyip peroksidasyonun başlamasını önleyebilmeleri,
3. Onarma etkisi: Serbest radikallerin oluşturduğu hasarları onarabilmeleri,
4. Zincir koparma etkisi: Oksidanları bağlayarak fonksiyonlarını engelleyen bu etki hemoglobin, seroplazmin ve E vitamini tarafından yapılır. Zincir kırıcı antioksidanlar arasında fenoller, aromatik aminler ve en yaygın olan α - tokoferoller yer almaktadır.

Balıklarda hücre içi enzim yapısına sahip antioksidanlar; süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (KAT), glutatyon peroksidaz (GPx), glutatyon-S-transferaz, glutatyon redüktaz (GR) enzimleridir (Heiske, 2005; Filho, 2007).

Hücre içi nonenzim lipid faz antioksidanlar; vitamin E (α - tokoferol formu), β -karoten (vitamin A'nın ön maddesi)'dir. Vitamin C (askorbik asit), ürat, sistein, bilirubin, albumin, transferrin, flavanoidler, glutatyon hücre içi sıvı faz nonenzim antioksidanlardır (Martinez-Alvarez vd. 2005; Hansen vd. 2006).

Aşağıda aerobik organizmalarda oksidatif hücre hasarı mekanizmaları (A) ve antioksidant savunma sistemi (B) verilmiştir.



Şekil 1. Aerobik organizmalarda oksidatif hücre hasarının mekanizmaları (A) ve antioksidant savunma sistemi (B)

Şekil üzerinde de görüldüğü gibi organizmada serbest radikaller gerek normal metabolik faaliyetlerin bir yan ürünü olarak, gerekse radyasyon, ilaçlar ve diğer zararlı kimyasalların etkisi ile oluşur. Metabolizma yan ürünleri olarak süperoksit anyonları (O_2^- , $O_2\cdot$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali (OH) gibi mutajenler meydana gelir. Ayrıca NADPH oksidaz gibi bazı enzim yapıları ROS üretebilir. Hücre içi ROS'un % 90'dan fazlası aerobik solunum reaksiyonları zincirinde mitokondriumun iç membranında üretilmektedir (Wei ve Pang, 2005). İki tarafı keskin bir bıçak gibi kabul edilen ROS, düşük dozlarda çeşitli stres tepkilerinde arabulucu gibi rol oynarken, yüksek dozlarda (oksidatif stres gibi) hücresel zararlara yol açar (Martin ve Barret, 2002). Oksidan ve mutajen özellikte olan bu metabolizma yan ürünleri DNA, proteinler ve diğer makromoleküllerde hasarlara neden olarak ölümlere yol açmaktadır (Kazanç, 1997). Biyolojik sistemler, farklı radikallerin oluşumunu sağlayan karmaşık zincir mekanizmalardan serbest radikaller ve reaktif oksijen türleri (ROS) içermektedir (Zhang vd. 2005). O_2 yönünden zengin bir atmosferin varlığı ROS ve reaktif nitrojen türleri (RNS)'ne karşı çıkan endojen bir antioksidan sistemin gelişmesini sağlamıştır (Sen ve Packer 2000). Bu O_2 metabolizması ürünlerinin azaltılması enzimatik (SOD), (CAT) ve (GSH-Px) hücresel savunma mekanizmalarıyla kontrol edilmektedir (Wohaieb ve Godin 1987; Wickens, 2001).

Serbest radikaller tek bir hücrede tahribat yapabildikleri gibi, fizyolojik sistemlerin tümünde de ciddi tahribat oluşturabilir. Serbest radikallerin karbonhidratlar, proteinler, DNA, hücre zarı ve membran lipitleri üzerine zararlı etkileri olmakta ve çok çeşitli hastalıkların oluşmasında tetikleyici etki yapmaktadırlar.

Serbest radikallerin DNA üzerine etkileri: Serbest radikallerin etki ettiği önemli merkezlerden birisi de DNA'dır. Bunlar DNA'nın onarım mekanizmasına etki ederek hasar verirler. Hidroksil radikali ve tekli oksijen gibi radikaller nükleik asitlerle kolaylıkla tepkimeye girerler. Özellikle hidroksil radikali nükleik asitlerde hidrojen çıkarma veya katılma tepkimeleri verir. Nötrofillerin aktivasyonundan kaynaklanan hidrojen peroksit hücre zarından kolaylıkla geçerek çekirdek DNA'sında hasar meydana getirir. Hücre disfonksiyonuna ve zaman zaman hücre ölümüne bile neden olabilir. Tekli oksijen radikali; güçlü bir oksitleyicidir. Bu yüzden yüksek elektron yoğunluğu içeren guanin molekülü ile daha kolay reaksiyon verir (Yıldız, 2001; Thompson, 2004).

DNA'ya bağlı metal iyonları ile hidrojen peroksitin DNA üzerinde reaksiyonlaşmasından oluşan hidroksil radikalleri, radikal temizleyicileri tarafından uzaklaştırılmazsa radikal temizleyicilerinin oluşturduğu radikaller de DNA'ya hasar verebilmektedir. Serbest radikaller, üretimi tamamlanmış hücre kısımlarına hücum ederek hücre işlevini; haberci RNA ve transfer RNA'ya hücum ederek üretim sürecini ve en tehlikelisi, bizzat DNA'ya hücum ederek tüm hücre faaliyetlerinin temelinde yer alan DNA'yı değiştirebilir (Burçak ve Andican, 2004; David vd., 2004).

Eğer DNA'nın bizzat kendisi tahrip olursa genlerden birisinin işlevi bozulabilir. Eğer, yer değiştirme (translokasyon) ve çıkarmalarla (delesyon) A, T, G ve C dizilimi değişecek olursa, gen, bir veya daha fazla yanlış aminoasidin kodu haline gelir. Yanlış bir dizilim içeren bir protein üretebilir. Bu durumda ilgili gene bu protein bağlanarak küçük bir sorun olduğu gibi büyük bir felakete sebep olabilir. Zarar görmüş bir genin, işleyişini tamamen durdurması da mümkündür. Böylece hücrenin faaliyetlerinden birisi ortadan kalkmış olur. Serbest radikal etkisi sonucu DNA ve kromozomlarda kırılma meydana gelir. Süperoksit üretimi özellikle mitokondride fazla olduğundan mitokondriyal DNA daha fazla hasar görür (David vd, 2004).

DNA yakınlarında sentezlenen hidroksil radikalleri pürin ve piridin bazlarına saldırarak mutasyonlara sebep olurlar. Oksidatif strese en çok etkilenen bazlar, DNA'daki guanin ve sitozindir. Deoksiguanozindeki 8 nolu karbona bir oksijen atomunun bağlanması ile 8- hidroksiguanozin oluşur. Bu bileşik fizyolojik pH'da 8-oxo guanozine dönüşür ki bu da DNA'da anormal baz dizilişine ve böylece mutasyonlara neden olur. Bu reaksiyona "guaninin hidroksilasyonu" denir. Guanindeki halka yapısının açılması DNA replikasyonunu durdurur ve bu bileşiğin DNA'yı tamir edici enzimler tarafından ortadan kaldırılması yeni hatalara sebep olur (Halliwell, ve Gutteridge, 1999; Yıldız, 2001; David vd. 2004).

Sucul ekosistemde canlıların maruz kaldığı çeşitli kirletici faktörler, toksik etkilerinin yanında belirli konsantrasyonlarda dahi olsa canlıda oksidatif strese yol açmaktadır. Bu da balıkların hastalanma ve bakteriyel enfeksiyonlara yakalanma risklerini arttırmaktadır (Sanz vd. 2012). Oksidatif dengedeki değişiklik, eğer antioksidant sistem tarafından yeterli şekilde onarılmazsa meydana gelecek hücresel hasar organizmayı patolojik durumlara karşı savunmasız bırakacak; üreme, verim ve refah oranında düşme gözlenecektir. Bu da canlının bulunduğu ekosistemde sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir tehdit unsuru olarak karşımıza çıkacaktır (Sa'nchez-Muros, 2013).

Balıklar çevre kirliliğinde biyomonitör canlı olarak sıklıkla kullanılırlar ve özellikle antioksidant enzim aktivite düzeyleri su kirliliğinin erken uyarı göstergesi olarak kabul edilmektedir (Khalil vd. 2015). Bu nedenle sucul alanlarda metal kirliliğine bağlı olarak balıkların çeşitli dokularında metallerin birikim düzeyleri literatürde oldukça fazla araştırılmış konulardır (Qui, 2015; Samad vd. 2015; Chatta vd. 2016; Krishna vd. 2013). Özellikle son yıllarda ağır metal düzeyleri ile antioksidant sistem cevabı arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmalara önem verilmektedir (Abdel-Moneim vd. 2012; Olga vd. 2013).

1.3 Genotoksik Etki

Sucul ortamlardaki biyolojik sistemler de toksik maddelerin hedefi halindedir ve bu nedenle maruz kaldıkları kirlenmeler hakkında tehlike ve risk analizlerinin detaylı olarak yapılması gerekmektedir. Toksik kimyasallar buldukları ortamlarda veya biyolojik örneklerde tespit edilebilir olsa bile, bu durum biyolojik veya ekolojik etki değerlendirmelerinin doğru yapılmadığı sürece yeterli değildir ve çevre sağlığı açısından risk teşkil etmektedir. Örneğin çevredeki kirlenmelerin (toksik maddeler) kompleks haldeki potansiyel etkileşimleri tek tek buldukları durumlara nazaran tahmin edilemeyen farklı riskler oluşturabilir. Biyolojik sistemler toksik maddeler için hedef olduğundan, çevresel örneklerin incelenmesinde önemli bilgiler sağlar ve böylece entegre çevre yönetimi için tanı araçları olarak kullanılabilirler. Doğal biyota; biyolojik yanıtların değerlendirilmesi, tehlike ve risk analizlerinin ayrılmaz bir parçasını oluşturması nedeni ile önemlidir (Moore vd. 2004; Kaçar 2015). Son yıllarda çevresel toksik bileşenlerin, canlılardaki genetik hasarı üzerine etkilerini detaylı araştırmak amacıyla disiplinler arası araştırma alanı olan genotoksikoloji çalışmalarına ağırlık vermeye başlanmıştır. Toksikolojinin bir alt dalı olan genetik toksikoloji, organizmanın normal biyolojik işleyişi sırasında veya kimyasal, fiziksel ve biyolojik etkenlere bağlı olarak hücrelerin DNA moleküllerinde meydana gelen değişiklikleri inceleyen bir bilimdir ve çeşitli ajanların ortaya çıkardığı genetik hasarın değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir (Şekeroğlu ve Şekeroğlu, 2011)

Genetik toksisite ya da genotoksisite; çekirdek, kromozom ve DNA yapısında meydana gelen DNA eklentileri, DNA kırıkları, gen mutasyonları, kromozom anormallikleri, klastojenite ve anöploidi gibi hasarları kapsayan genel bir terimdir. DNA veya genomun kopyasının çıkarılmasını sağlayan enzimlerle etkileşime giren ve mutasyona neden olan genotoksik maddelerin DNA'da hasar meydana getirmesi veya bazı değişimlere yol açması ise genotoksik etki olarak tanımlanmaktadır (Choy, 2001; Young, 2002; Şekeroğlu ve Şekeroğlu, 2011).

Genotoksikoloji araştırmalarında önemli olan mümkünse farklı türlerin ve/veya dokuların seçilmesi ve izlemenin yapıldığı ortamın fiziko-kimyasal faktörler (sıcaklık, tuzluluk, ph) açısından da değerlendirilmesidir (Jha, 2008; Valverde ve Rojas, 2009; Ahmed vd. 2013). Son 20 yılda yapılan çalışmalarda çevresel kirlenmelerden kaynaklanan gen havuzundaki değişikliklerin (örneğin ağır metaller ve pestisitlere tolerans düzeyi) türlerde genetik hasara yol açtığı ve genetik kararsızlıktaki artışın popülasyonun sağlığında düşüşe neden olduğu görülmüştür. Üreme hücrelerindeki DNA

hasarları da önemlidir çünkü onarılmayan ya da hatalı eşleşen genetik materyal nedeniyle organizmaların üretkenliği uzun vadede populasyon kararlılığını, yaşamını ve ekosistem kalitesini etkilemektedir (Jha, 2008; Frenzili vd. 2009; Bhuvaneshwari vd. 2013).

DNA molekülünde mutasyonlara yol açan ajanlar ya da mutajenler, DNA üzerindeki etkilerini ya doğrudan, ya da genomik bilgilere göre sentezlenen proteinlere bağlanarak dolaylı yolla gösterirler. DNA hasarında rol alan kilit moleküllerde ve yollardaki bozukluklar ise doku hasarı, yaşlanma, kanser, infertilite ve bazı genetik ve multifaktoryal hastalıklara yol açmaktadır (Şekil 1) (Şekeroğlu ve Şekeroğlu, 2011).

Genetik toksikolojinin başlıca araştırma konuları OSPAR Commission, 2002 tarafından üç madde altında toplanarak temel çalışma alanları belirlenmiştir. Genotoksik potansiyelinin izleme çalışmaları, çevresel kirleticilere doğal ortamında maruz kalmış (in situ) yada laboratuvar şartlarında maruz bırakılmış (in vivo) organizmaların mutajenite testleri ile araştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Genetik toksisite testleri birçok alanda uygulanmakta olup Genotoksisite ve karsinojenite arasındaki ilişki pek çok çalışmada incelenmiş ve canlılar için kanserojen olan pek çok bileşiğin genotoksik olduğu bulunmuştur. Günümüzde çevresel kirleticilerin genotoksik potansiyelini belirlemede kullanılan metodların çoğu OECD (2004) ve EC'de bulunan kimyasal araştırma protokolünde bulunmaktadır (OSPAR, 2002).

Genel olarak bakıldığında sucül ortamda uygulanan genotoksisite testleri iki ana bölüme ayrılmaktadır. Bunlardan ilki bakteriyel testler ikinci grubu ise ökaryotik testler oluşturmaktadır. Ökaryotik testler grubuna giren Mikronükleus (MN) Testi, Ames Testi, Kromozom Anormallikleri (KA) Testi, Kardeş Kromatit Değişimi (KKD) Testi, ve Komet Testi gibi tarama testleri kimyasal maddelerin risklerinin araştırılmasında uygulanmaktadır (Parlak vd. 2011).

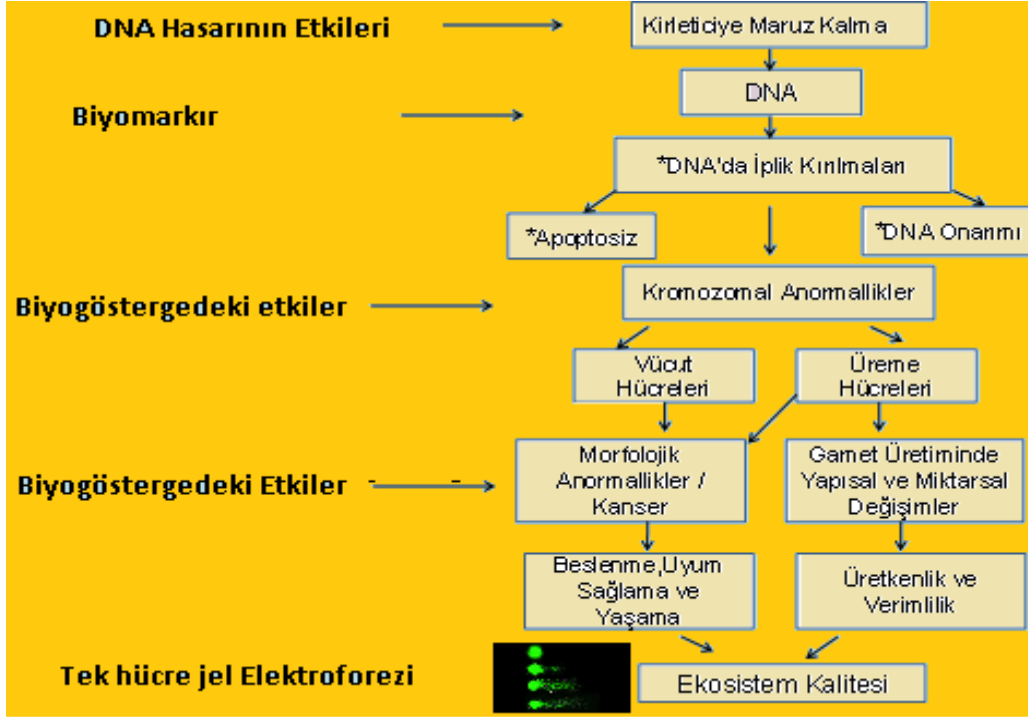
Genotoksisite testlerinde hedef DNA molekülü olduğu için yapılan çalışma sonuçları insan sağlığıyla ilgili sorunların çözümlenmesinde yarar sağlamaktadır. Günümüzde genotoksik etkilerin incelenmesini amaçlayan mikroorganizmalar, bitkiler, böcekler ve omurgalı hayvanlar üzerinde uygulanabilen 200'ü aşkın test tekniği bulunmaktadır. Genotoksisite testinde olması gereken özellikler ekonomik açıdan ucuz olması, pratik ve hızlı olması, genetik hasarların belirlenmesinde duyarlı olması etik kurallara uygun olması, diğer testlerle korelasyon göstermesi ve analiz için az sayıda örneğin yeterli olması şeklinde uygunluğu sıralanabilir (Waters, 1988; Öcal, 2012). Genel olarak genotoksisite testleri a) Çevreden kaynaklı sürekli bazı mutajenik ajanlara maruz kalan canlıların genetik yapılarının izlenmesi, hasarların boyutunun ve sebebinin incelenmesinde b) Yapay ya da kirleticiler ajanların genotoksik etkilerinin tespit edilmesinde c) Kimyasal içerikli maddelerin genotoksik ya da anti-genotoksik etkilerinin araştırılmasında ve belirlenmesinde d) Çeşitli hastalıklarla genetik hasarların ilişkilendirmesinde kullanılmaktadır (Griffiths vd., 2000; Gomez-Arroyo et vd., 2000; Monarca vd. 2001; Laffon vd. 2001).

Bu testler içinde son yıllarda en yaygın kullanılanı Komet Analizi olup, diğer birçok metod (Kardeş kromatid değişimi ve Mikronükleus testleri) gibi bölünme aşamasındaki hücrelere ihtiyaç duymaz

(Kleinjans ve Van Schooten, 2002). Bu teknik ile; toksik ağır metaller, poliaromatik hidrokarbonlar, pestisitler, poliklorlubifeniller gibi kimyasal ajanlar, ilaçlar, kozmetikler ve ultraviyole gibi çeşitli ajanların yol açtığı DNA sarmalları üzerindeki tek veya çift zincir kırıklarını doğru, hassas, hızlı ve az bir örnek hacmi kullanarak, değişik hücre ve doku gruplarında kolaylıkla çalışılabilmektedir. Tek hücre jel elektroforez (Single cell gel electrophoresis) tekniği olarak da adlandırılan Komet yöntemi, birçok memeli hücresinde çeşitli ajanların indüklediği DNA hasarı ve onarım bozukluğunun tayinini amaçlayan çalışmalarda kullanılmaktadır. Ayrıca bu teknik algler, kabuklular, amfibiler, ve balıklar gibi sucül organizmalarda geniş spektrumda kullanılmaktadır (Parlak vd. 2011; Güner ve Gökçalp Muranlı, 2013; Kaçar 2015).

Komet yöntemi, alkali pH'da farklı molekül ağırlıklarına ve farklı elektrik yüke sahip DNA moleküllerinin elektriksel alanda farklı göç etmeleri esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde göre, hücreler veya çekirdekçikler öncelikle agarozta yerleştirilmekte, daha sonra lizis ve alkali elektroforez tamponunda yürütme ve nötralizasyon işlemlerinden geçirilerek floresan boya ile boyanmaktadır. Floresan mikroskop ile incelenen preparatlarda zarar görmemiş DNA'lar komet (kuyruk) oluşturmazken, hasar görmüş DNA moleküllerindeki fragmentler farklı moleküler ağırlıklarına ve farklı elektrik yüklerine sahip olacaklarından elektriksel alanda farklı hızlarda hareket ederek çekirdekten dışarı doğru göç etmekte ve kuyruklu yıldız görünümü oluşturmaktadırlar (Şekil 2). Bu görünüm nedeniyle bu tekniğe "Komet" adı verilmiştir. Komet

testi ile DNA hasarının kantitatif olarak saptanmasında; kuyruk momenti, kuyruktaki DNA yüzdesi ve kuyruk uzunluğu gibi parametreler kullanılmaktadır (Frenzili et. al.,2009; Şekeroğlu ve Şekeroğlu, 2011, Parlak vd. 2011). Balıklarda farklı birçok doku komet assay için uygundur. Ancak seçilen dokunun mitotik olarak aktif olmayan canlı hücreler içermesi gerekir (Da Rocha vd. 2009). Balıklarda karaciğer, sperm hücre (Zhou vd. 2006, Dietrich vd. 2007) süspansiyonları ve solungaç epiteli Tek Hücre Jel Elektroforezi (Cometassay) çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Bony vd. 2010; Güner ve Gökçalp Muranlı, 2013).



Şekil 2. DNA hasarının Etkileri (Jha, 2008)

Avrupa Birliği ülkelerinde “Su Çerçevesi Direktifi”; su kaynaklarının korunması, geliştirilmesi, su kaynaklarının sürdürülebilir, dengeli ve hakkaniyetli bir şekilde kullanımının sağlanması; temelde öncelikli maddelerin deşarjı ve emisyonunun azaltılması ve öncelikli tehlikeli maddelerin deşarjının engellenmesi veya kullanımdan yok edilmesi gibi özel önlemlerle sucül ekosistemin korunması ve geliştirilmesinin sağlanması; yeraltı suyu kirliliğinin azaltılması ayrıca kirlenmesinin önlenmesinin sağlanması ile taşkın ve kuraklıkların neden olduğu etkilerin hafifletilmesi hedeflenmiştir. Ülkemiz müzakere belgesinde 2027 yılına kadar tüm yüzey suyu kütlelerinde iyi su durumuna ulaşılacağı taahhüdünde bulunmuştur. SÇD'nin ülkemiz mevzuatına uyumlaştırılması kapsamında Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının izlenmesine Dair Yönetmelik, 11.02.2014 Tarih ve 28910 Sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile SÇD'nin Madde 8 ve Ek-5 hükümleri ulusal mevzuatımıza aktarılmıştır (FDH, 2015). Su Çerçeve Direktifinde en önemli yaklaşımlardan biri de akarsu havzası yönetimidir. Bu yönetim yaklaşımına göre, akarsu alt havzaları konusunda alınması gereken önlemleri ve uygulama konusunda ise yöntemleri içermektedir. Özellikle nehir havzalarında su yönetimi yaklaşımını ortaya çıkarması maddi kaynaklar ile su kaynakları planlaması arasında bağlantı kurması, su kalitesi, emisyon kontrolü ve yeraltı su kaynaklarının korunması konusunda son otuz yılın en yenilikçi su yönetimi olarak görülmektedir.

Avrupa Birliği ülkelerinde “Su Çerçevesi Direktifi” ile birlikte çevredeki izleme araçlarının geliştirilmesi ve uygulanabilirliği üzerine araştırmalar yoğun şekilde devam etmekte olup Avrupa birliği ülkeleri ile birlikte Ülkemizde de devam eden araştırmalar daha da yoğunlaştırılmalı ve sucül biyolojik göstergeler üzerine odaklanılmaktadır.

Biyogöstergeler ekolojik uyumları ile çevredeki hasar geri dönüşsüz hale gelmeden önce büyüme, gelişme, hayatta kalma gibi hayati konularda kirleticilere hızlı yanıt vermeleri ile kirliliğin “Erken Uyarı Sistemleri” olarak kullanılmaktadır (Jha, 2008; Bhuvaneshwari vd. 2013). Sekiz Bıyık ve Karayayın gibi yöresel isimlerle de bilinen *C. gariepinus*'un Türkiye'deki doğal dağılım alanının başta Asi Havzası olmakla birlikte Seyhan, Ceyhan Göksu ve Aksu nehirleri boyunca Hatay'dan Antalya'ya kadar ki nehir ve göl sistemlerinde bulunduğu ve antropojenik etki sonucu da Sakarya Nehri'nde popülasyon oluşturduğu bilinmektedir (Turan vd. 2005, Turan ve Turan, 2015). Türkiye'nin güneyinde ticari değeri olan bu tür yöre halkı tarafından ilave bir protein kaynağı olarak yoğun olarak tüketilmektedir. (Yalçın vd. 2001). Asi Havzasında geniş dağılım alanının bulunması, düşük su kalitesine olan dirençliliği ve omnivor bir tür olmakla birlikte detritivor beslenme alışkanlığı da gösteren Karabalık (*C. gariepinus*), bulunduğu ekosistem içerisinde (sediment ve diğer sucul organizmalar) direkt ksenobiyotiklerle temas halinde bulunan bir türdür. Bu karakteristik özellikler bu türü ekotoksikolojik ve biyokimyasal araştırmalar için tercih edilen model tür olarak karşımıza çıkarmaktadır. Ayrıca bu türün, ekolojik kirliliğe karşı react kapasitesinin bulunması ve daha da önemlisi bulunduğu bölgelerde yöre halkı tarafından gıda olarak ciddi tüketim potansiyelinin bulunması Karabalığın biyoindikatör tür olarak seçilmesine neden olmuştur (Amin ve Hashem, 2012). Daha da fazlası bu türün geniş bir zoocografik dağılıma sahip olması, izleme programlarının uygulandığı farklı nehirlerle karşılaştırma yapılabilmesine imkan sağlamaktadır (Osmana vd. 2012). Kurelec'in (1993) bildirdiğine göre, sucul canlılardaki genotoksik hastalık belirtileri enzim fonksiyonlarına hasar verme, protein dönüşümünü arttırma, bağışıklık sisteminde yanıtta problem ve büyümede baskılama, üremede düşüş ve hızlı yaşlanma şeklinde görülmektedir. Bu nedenle birçok ülkede sucul ortamlarda genotoksik kimyasalların ekosistemde dağılımları ve etkileri üzerine çalışmalar devam etmektedir. Ekotoksikolojik çalışmalarda çevresel kirliliğin indikatörü olarak yerli faunadaki toksik cevabı araştırmak önemlidir. Yapılan literatür çalışmalarında en yaygın izlenen biyoindikatör organizmalar olarak; çift kabuklular (midye, istridye, deniz tarağı vb.), poliketler, yengeçler, balıklar, algler sayılabilir. Bunlar arasında, bulunduğu ekosistem içerisindeki trofik seviyelerde bir takım roller oynaması, toksik maddeleri bünyesinde biriktirmesi ve kontaminantların düşük konsantrasyonlarında bile hücresel bazda cevap vermesinden dolayı balıklar genellikle biyoindikatör tür olarak kullanılır. Balık türleri vücut büyüklüğü, uzun yaşam süresi, kolaylıkla çoğalabilmeleri gibi özel biyolojik karakterleri nedeniyle su kirliliğinin biyoizlenmesinde oldukça fazla kullanılmaktadır. Daha da önemlisi balık türleri sucul besin zincirinin en üst kısmında bulunduğu için besin zinciri yoluyla insan sağlığını doğrudan etkilemesi özelliği nedeniyle de balıkların biyoizleme çalışmalarında kullanılması önem teşkil etmektedir. 1990'ların başında balıklarda genotoksisite testleri çevre kirliliğinin değerlendirilmesi için önerilmiş ve başlıca biyoizleme yöntemi olarak kullanılmıştır (Göney, 2016). Balıklarda DNA zararının tespitinde solungaç, hemolenf, hepatopankreas, sperm, kas, sindirim bezi hücreleri gibi çeşitli dokular yaygın olarak incelenebilmektedir (Al-Sabti, 1995; Rajaguru vd., 2003; Ateeq vd., 2005; Klobučar vd., 2010).

Tek hücre jel elektroforezi olarak da adlandırılan komet yöntemi genotoksikoloji alanında yapılan çalışmalara yeni bir ufuk açmıştır. Son yıllarda çevresel kirliliğin biyoizlenmesi amaçlı yapılan çalışmalarda kullanım sıklığı giderek artan ve yaygınlaşan bir genotoksisite testidir. Bu yöntem, biyolojik etkin doz hakkında bilgi sahibi olunmasını sağladığından maruziyetin biyogöstergesi olarak kabul görmekte ve yapılan biyoizleme çalışmalarında bunu desteklemektedir (Göney, 2016). Genotoksik maddelere maruz kalma sonucu, genetik çeşitlilikteki kayıplar, mutasyonlar popülasyondaki uzun süreli yaşama yeteneği, genetik materyaldeki hasar/değişim mekanizması açısından bakıldığında Komet Analizi DNA hasarı ve sucul organizmalar arasındaki ilişkinin ölçümü için güçlü bir araçtır. Deneyler in vivo, in vitro, in situ yapılabilen alan çalışmalarında kirlenmiş bölgeden toplanan organizmalardaki hasar ile büyüme, üretkenlik ve popülasyon dinamikleri anlaşılabilir. (Gontijo vd. 2003; Mohanty vd., 2011).

Komet analizi kullanılarak yürütülen genotoksikolojik araştırmalara örnek olarak Kali ve Nil Nehri'ndeki çalışmalar verilebilir. Fatima vd. (2015) tarafından yürütülen araştırmada, Kuzey Hindistan'daki Kali Nehri'ndeki toksik kimyasalların neden olduğu genetik hasar, nehirde yaşayan iki biyoindikatör balık türü üzerinde tespit edilmiştir. Balıklarda oluşan genetik hasar ile birlikte bu kirlenmelerin oluşturduğu oksidatif strese karşı gelişen antioksidan cevap ve histopatolojik değişiklik detaylı olarak araştırılmıştır. Sonuçta, karaciğer hücrelerinde komet analizi ile genetik hasar net bir şekilde tespit edilmiştir. Ayrıca, karaciğer, böbrek ve beyinde histopatolojik açıdan yapılan değerlendirmede nekrozlar ve doku dejenerasyonlarının görüldüğünü, kirlenmelere karşı balıkların tüm dokularında antioksidan aktivitenin arttığını ve glutathione (GSH), superoksid dismutase (SOD) and catalase (CATA) enzimlerin düştüğünü rapor etmişlerdir. Diğer bir araştırma olan Nil Nehri'ndeki izleme çalışmalarında, Karabalık, Clarias gariepinus ve Tilapia, Oreochromis niloticus gösterge türleri olarak örneklenmiştir. Bir yıl süresince farklı noktalarda örnekleme yapılmış ve tek hücre jel elektroforezi yöntemi ile solungaç ve hemolenf hücrelerinde oluşan hasar araştırılmıştır. Aynı zamanda çalışmada sedimentteki krom, nikel ve kadmiyum miktarı ile DNA hasarı (kuyruk uzunluğu) arasındaki ilişki karşılaştırılmış ve istatistiksel anlamda pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Nil Nehri'nde ağır metal kirliliğinin bu iki balık türünde genetik hasarı arttırdığı yönünde bulgular rapor edilmiştir. (Osmana vd. 2012). Dünyadaki yoğun bilgi birikimine karşın, bu bileşiklerin Türkiye'de nehir havzalarındaki seviyeleri konusunda kısıtlı (Gündoğdu, 2003; Gündoğdu ve Turhan, 2004), mevcut kirlenmelerin canlılar üzerindeki ekogenotoksikolojik etkilerin incelenmesi ve izlenmesi alanında ise sadece denizel alanlarla (İzmir ve Çandarlı Körfezi) ilgili bir çalışmaya rastlanmıştır (Küçüksezgin vd. 2015).

Yapılan literatür taramalarında ülkemizdeki nehir havzalarıyla ilgili yapılmış bu denli kapsamlı herhangi bir ekotoksikolojik çalışmaya rastlanmamıştır. Yine proje konusu olan Asi nehrinde balık dokularında metal birikim düzeylerinin belirlendiği sınırlı sayıda çalışma bulunsa da (Çalışkan, 2005; Genç vd. 2008; Yılmaz ve Doğan 2008), balıklarda antioksidan enzim düzeylerinin araştırıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kas ve karaciğer dokusunda ve çevresel metal düzeyine

bağlı olarak oksidatif stresin yarattığı ROT'nin anahtar göstergeleri olması açısından SOD ve CAT enzim aktiviteleri ile MDA ve protein düzeyleri belirlenecektir. SOD, oksidatif enerji üretimi sırasında oluşan toksik süperoksit radikallerinin ($O_2^{\bullet -}$) hidrojen peroksit (H_2O_2) ve moleküler oksijene dismutasyonunu; CAT ise H_2O_2 moleküllerinin H_2O ve O_2 ' dönüştüğü tepkimeyi katalizler. MDA, oksidatif hasara bağlı olarak meydana gelen lipid peroksidasyonu sonucu oluşan yan ürünlerden biri olup etin kalitesini ve lezzetini azaltan bir bileşendir. Sonuç olarak kas ve karaciğer dokularında metal derişimlerine bağlı olarak dört farklı biyokimyasal parametrenin araştırılması sağlık, çevre ve bilimsel anlamda son derece önemli olup, Asi nehri karabalığı için ilk kez böylesine kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilecektir.

Proje kapsamında çalışma alanı olarak seçilen hedef bölge olan Asi nehri gerek Suriye topraklarında kalan gerekse ülkemiz topraklarındaki bölümü sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve aşırı miktarda tarımsal ilaç kullanımı gibi sebeplerden dolayı aşırı kirlenmeye maruz kalmaktadır. Özellikle yaz aylarında nehrin su miktarının azalmasıyla kirliliğin en üst seviyeye ulaştığı görülmektedir. Nehirdeki kirlenmenin daha çok hangi ülkeden kaynaklandığını tespit etmek için 2006 şubat ve 2007 ağustos dönemlerinde, nehir sularından numuneler alınarak analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre nehir suları Türkiye'ye amonyak azotu (NH_3-N), nitrit azotu (NO_2-N), çinko (Zn) ve potasyum (K) parametrelerinde sınır değerlerini aşmış olarak girdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Asi Nehri sularının Suriye'de aşırı kirlenmeye maruz kaldığını göstermektedir. Bunun nedeni endüstriyel atık suların arıtılmadan nehre boşaltılması, tarımsal faaliyetler ve kontrolü sağlanamamış kanalizasyon atıkları olduğu tespit edilmiştir (United Nations, 2002). Özellikle amonyak ve ağır metal miktarı, nehrin Lübnan'dan Suriye'ye giriş yaptığı bölümde normal olmasına karşın nehrin Suriye çıkışında kabul edilen sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur. Bunda Humus civarındaki fosfatlı gübre fabrikaları, kimyasal atık üreten endüstri kuruluşları ve petrokimya tesisleri başlıca rol oynadığı düşünülmüştür. Ayrıca sadece Hama ve Humus şehirlerinde günlük 1000 ton'dan fazla katı atık toplanmakta ve bu atıklar şehirlerin hemen yanı başında bulunan açık çöplüklerde gelişigüzel bir şekilde depolanmakta ve bu çöp alanlarından sızan suların ve çöplerin nehir sularına karışması kirliliği daha da arttırdığı belirtilmiştir (Syrian Arab Republic Ministry of State for Environmental Affairs, 2003).

Asi Nehri'nin Türkiye topraklarındaki geçtiği yerleşim birimlerinde sağlıklı kanalizasyon ve arıtma tesisi bulunmaması nedeniyle gelen atık suların nehir ve nehir kollarına verilmesi, havzada bulunan sanayi tesislerinden kaynaklanan atıksular ve özellikle yoğun tarımsal üretim yapıldığı Türkiye'nin önemli ovalarından biri olan Amik Ovası'ndaki tarımsal faaliyetlerde fazla miktarda kullanılan gübreler ve pestisitler ile yanlış sulama faaliyetleri Asi Nehri'ni hızla kirlletmektedir (Hatay Çevre Durum Raporu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011). Asi Nehri ile ilgili yapılan literatür taramalarında nehir üzerinde çalışılmış kapsamlı ve düzenli herhangi bir kirlilik izleme çalışmasına rastlanmamıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde sadece tek bir lokasyonda ve sınırlı su kalite parametrelerine (pH, sertlik, Çöz. Oksijen gibi) bakıldığı, incelemelerin düzenli olmadığı veya eski

tarihli oldukları tespit edilmiştir (Taşdemir ve Göksu 2001; Karakılıçık ve Erkul 2002; Ödemiş vd. 2007; Yılmaz ve Doğan 2008). Yapılan en yakın tarihli su kirliliği ile ilgili çalışmanın 2008 yılına ait olduğu, çalışmada 2003 yılı su verilerinin kullanıldığı; 2007 yılında yapılan çalışmada ise su örneklerinin alındığı tarihin 1999-2001 yıllarına ait olduğu görülmektedir. Yine Türkmen ve Çalışkan (2011)'nin Asi nehrinde sudaki ağır metal birikimiyle ilgili yaptıkları çalışmada 2003 yılında yapılan arazi çalışmaları sonrasında suda Cu, Fe ve Zn gibi metallerin legal konsantrasyonlardan daha yüksek çıktığı diğer metal ölçümlerin de (Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb) ise kabul değerler arasında olduğu belirtilmiştir. Bu da Asi nehri'nde kirlilik sorunlarının yaşandığını ve nehir ile ilgili su kalite ve kirlilik çalışmalarında son 10-15 yıldır ciddi bir veri açığı olduğunu net bir şekilde göstermektedir. Bu durum özellikle Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın gerek yıllık düzenlenen iller bazındaki çevre durum raporlarında ve yine aynı bakanlığın Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Envanteri Değerlendirme Raporlarında (2012) açıkça bahsedilmektedir.

Yine Asi nehrinde farklı balık dokularında metal birikim düzeylerinin belirlendiği sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Çalışkan, 2005; Genç vd. 2008; Yılmaz ve Doğan 2008). Bunlardan Genç vd. 2008 yılında Asi nehrinde yaşayan Avrupa yılan balığı (*Anguilla anguilla*) ve parazitinde çeşitli ağır metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb ve Zn) birikimlerine bakmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda bakılan ağır metallerin yenilebilir sınır altında çıktığı ve parazitte ölçülen değerlerin konakçısına göre daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak ağır metallerin parazit tarafından biriktirildiği görülmüştür. Asi nehrinde suda ve *Carasobarbus luteus* da yapılan bir diğer ağır metal çalışması sonucunda suda Cd, Cu, Ni, Pb değerleri ulusal ve uluslararası standartlara göre değerlendirildiğinde yüksek bulunmuştur. Balık kasında ise Cu değeri sınır değerlere yakın bulunmuştur (Yılmaz ve Doğan, 2008). Ayrıca, Asi havzasında bitkide ve toprakta yapılan çalışmada ağır metal (As, Cr, Co, Ni, Zn, Sb, Sc, Ce, Ti, Fe, Mn ve V) birikimi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda çalışma istasyonlarının çoğunda toprak örneklerinde ağır metal konsantrasyonunun yüksek olduğu tespit edilmiştir (Kassem vd. 2004). Asi Nehri'nde bugüne kadar yapılan sınırlı çalışmalarda mevcut bazı kirleticiler yönünden sınır değerlerin üzerinde bulunduğu dair (Yılmaz ve Doğan, 2008; Türkmen ve Çalışkan, 2011) literatür çalışmaları bulunmasına karşın bunların biyo göstergelerde yarattığı genotoksik etkiler üzerine çalışmaların eksikliği dikkat çekicidir. Canlıların kimyasallara karşı fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik olarak gösterdiği tepkiler yaygın olarak ölçülmekte (Nwanya vd. 2014) ancak etkinin genetik boyutu ilgili daha yoğun çalışmaların yapılması yönündeki görüş birliği bulunmaktadır. Dünyadaki yoğun bilgi birikimine karşın, bu bileşiklerin Türkiye'de nehir havzalarındaki seviyeleri konusunda kısıtlı (Gündoğdu, 2003; Gündoğdu ve Turhan, 2004), mevcut kirleticilerin canlılar üzerindeki ekogenotoksikolojik etkilerin incelenmesi ve izlenmesi alanında ise sadece denizel alanlarla (İzmir ve Çandarlı Körfezi) ilgili çalışmalara rastlanmıştır (Küçüksezgin vd., 2015; Kaçar vd., 2016; Pazi vd., 2016). Yapılan literatür taramalarında ülkemizdeki nehir havzalarıyla ilgili yapılmış kapsamlı herhangi bir ekotoksikolojik çalışmaya rastlanmamıştır. Ülkemizde komet analizinin kullanıldığı araştırma alanı tıpta kanser



araştırmaları üzerinde odaklı olup (Parlak vd., 2011; Şekeroğlu ve Şekeroğlu, 2011) Çavaş vd., (2007, 2011) tarafından *Carassius auratus*'da in vivo ve in vitro koşullarda çeşitli kimyasalların genotoksik etkisi komet yöntemi ile çalışılmış ve genetik hasar oluşturdukları bildirilmiştir. Sonuc olarak, birçok kimyasalın genotoksitesi henüz netlik kazanmamakla birlikte ülkemiz sularında bu alanda ciddi bir veri açığı bulunmaktadır.

Yapılan bu çalışma ile, 28444 sayılı Resmi Gazete'de (17 Ekim, 2012) yayımlanarak yürürlüğe giren "Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Yönetmeliği"ne göre "Öncelikli Havza" olarak belirlenen Asi Havzası'nın ana kolu olan Asi Nehri'nde, toksik kimyasalların canlılar üzerinde neden olduğu genetik bozuklukların izlendiği biyogösterge *Clarias gariepinus*'de Komet Analizi ile oluşan DNA hasar düzeyinin tespit edilmesi, solungaç ve karaciğer gibi farklı hücre tiplerinin incelenmesi yolu ile farklı doku ve hücrelerde toksik kimyasalların etki düzeylerinin karşılaştırılması ve biyogösterge türde ve suda ağır metal gibi toksik kimyasalların seviyelerinin ölçülerek, kirlenici seviyeleri ile DNA hasarı gelişmiş ise aralarındaki ilişkinin anlaşılması, bununla birlikte kirlenici unsurlarına karşı biyogösterge türde oluşan fizyolojik cevap ve DNA hasarı arasındaki olası ilişkinin ve kirlenici seviyelerinin ilgili ulusal ve uluslararası mevzuat kapsamında değerlendirmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİSİ

Asi Nehri'nde yapılan su kalitesi ve kirliliği üzerine yapılan izleme çalışmaları sınırlı olup aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

FAO (2009) tarafından, Asi Nehri'nin kaynağına yakın bölgelerde su kalitesi iyi olmasına rağmen, nehrin ağzına doğru gittikçe artan tarımsal ve endüstriyel faaliyetten dolayı su kalitesi düşmekte olduğu bildirilmiştir. Tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapılması ve iklim koşullarından dolayı su kalitesinde ve miktarında mevsimsel olarak değişiklikler gözlemlendiği, besin tuzu yükünün fazla olduğu ve bilinçsiz gübre kullanımına bağlı azot ve fosfat kirliliğinin fazla olduğu bildirilmektedir. Özellikle yaz aylarında nehrin su miktarının azalmasıyla kirliliğin en üst seviyeye ulaştığı görülmektedir. United Nations tarafından (2002), Asi Nehirdeki kirlenmenin daha çok hangi ülkeden kaynaklandığını tespit etmek için 2006 Şubat ve 2007 Ağustos dönemlerinde, nehir sularından numuneler alınarak analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre nehir suları Türkiye'ye amonyak azotu (NH₃-N), nitrit azotu (NO₂-N), çinko (Zn) ve potasyum (K) parametrelerinde sınır değerlerini aşmış olarak girdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Asi Nehri sularının Suriye'de aşırı kirlenmeye maruz kaldığını göstermektedir. Bunun nedeni endüstriyel atık suların arıtılmadan nehre boşaltılması, tarımsal faaliyetler ve kontrolü sağlanamamış kanalizasyon atıkları olduğu tespit edilmiştir. Özellikle amonyak ve ağır metal miktarı, nehrin Lübnan'dan Suriye'ye giriş yaptığı bölümde normal olmasına karşın nehrin Suriye çıkışında kabul edilen sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur. Bunda Humus civarındaki fosfatlı gübre fabrikaları, kimyasal atık üreten endüstri kuruluşları ve petrokimya tesisleri başlıca rol oynadığı düşünülmüştür. Ayrıca sadece Hama ve Humus şehirlerinde günlük 1000 ton'dan fazla katı atık toplanmakta ve bu atıklar şehirlerin hemen yanı başında bulunan açık çöplüklerde gelişigüzel bir şekilde depolanmakta ve bu çöp alanlarından sızan suların ve çöplerin nehir sularına karışması kirliliği daha da arttırdığı belirtilmiştir (Syrian Arab Republic Ministry of State for Environmental Affairs, 2002).

Taşdemir ve Göksu (2001), Asi Nehri'ndeki su kalitesin belirlemek için 1 yıllık bir izleme çalışması gerçekleştirmiştir. 1 boyunca her ay asi nehrinin seçilen istasyonlarından DO, pH, T, EC, COD, NH₄, NO₃, NO₂, PO₄, TSS, TH ve Silisyum (Si) analizleri yapmıştır. Çalışmanın sonucunda Asi Nehri'ndeki su kirliliğinin az olduğu ama artmasının muhtemel olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Yılmaz ve Doğan (2008), Asi Nehri'nde 2003 yılına ait su örneklerinde ağır metal miktarını incelemiştir. Suda bulunan Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn konsantrasyonlarını inceleyen Yılmaz, suda bulunan Cd, Ni, Cu, Pb değerlerinin Çevre ve Şehircilik Bakanlığının düzenlediği kriterlerden daha yüksek olduğunu ve suda ağır metal kirliliğinin bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Odemiş vd. (2007), Asi Nehri'nde su kalitesinin 1999-2001 yılları arasındaki değişimini incelemişler, çalışma sonucunda suda bulunan COD değerinin hızla arttığı gözlemlenirken, BOD değerlerinde genel bir azalış olduğu sonucuna varmışlardır.

Ağca vd. (2009), Asi Nehri'nden 12 farklı istasyondan 6 farklı zaman diliminde aldıkları su örneklerini EC, pH, TDS, Na, K, Ca, Mg, Al, baryum (Ba), Cd, kobalt (Co), Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, PO₄, Pb, Zn, HCO₃ ve Cl bakımından incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda yağışlı dönemlerde EC ve TDS değerlerinin arttığını, havzada ağır metal yönünden önemli bir kirlilik olmadığını, Antakya civarında önemli ölçüde bir PO₄ kirliliği olduğunu belirlemişlerdir.

Türkmen ve Çalışkan (2011)'nin Asi nehrinde sudaki ağır metal birikimiyle ilgili yaptıkları çalışmada 2003 yılında yapılan arazi çalışmaları sonrasında suda Cu, Fe ve Zn gibi metalların legal konsantrasyonlardan daha yüksek çıktığı diğer metal ölçümlerin de (Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb) ise kabul değerler arasında olduğu belirtilmiştir.

Kılıç (2017) tarafından, Devlet Su İşlerinin 2004-2014 yılları arasında Asi Nehri'nde yürüttüğü izleme çalışmalarının sonuçları kullanılarak Asi Nehri'nin su kalitesindeki mekânsal ve zamansal değişimleri ve değişimlere neden olan temel etmenleri ortaya çıkarmak amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Asi Nehri boyunca 5 farklı istasyonda mevsimlik olarak elde edilen fizikokimyasal parametrelerine ait sonuçlar kümeleme analizi (CA), ayırışma analizi (DA) ve faktör analizi / temel bileşenler analizi (FA/ PCA) kullanılarak değerlendirilmiştir. FA/PCA sonucunda nehirdeki temel kirlilik kaynakları mineral kirliliği, besin kirliliği, tarımsal kirlilik, organik kirlilik olarak belirlenmiştir. Kirliliğe sebep olan temel etmenler erozyon, tarımsal faaliyetler ve evsel ve endüstriyel deşarjlar olarak bulunmuştur. Ek olarak, bölgede yayılı kirliliğin daha etkin olduğu gözlemlenmiş fakat şehir merkezlerine yaklaştıkça antropojenik aktivitelere bağlı kirliliğin arttığı farkedilmiştir.

Kılıç (2017), tarafından Asi Nehri boyunca ağır metal konsantrasyonundaki (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn dâhil) mekânsal ve zamansal değişimleri anlamak için çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Devlet Su İşleri tarafından Asi Nehri üzerinde izleme çalışması yürütülen 5 farklı istasyondan elde edilen 2004-2014 yılı izleme sonuçlarına göre nehirdeki ağır metal konsantrasyonunun zamanla arttığını fakat ağır metal antropojenik faaliyetler, evsel ve endüstriyel atıklar atıklar değerlerinin istasyonlar arasında önemli ölçüde farklılıklar olmadığını, daha ziyade homojen bir dağılım gösterdiğini, tespit etmişlerdir. Ayrıca, nehirdeki Fe konsantrasyonu belirli bir önemde olmaksızın mevsimsel olarak değişim göstermektedir.

Dünya'nın çeşitli bölgelerinde yapılmış ekotoksikoloji çalışmaları aşağıda verilmiştir.

Khalil vd. (2015), *Oreochromis niloticus*'un maruz kaldığı yüksek orandaki arsenik, kadmiyum, civa, kurşun ve bakır metallerinin karaciğer ve kas dokusundaki derişimlerini ölçerek yine aynı dokuların süperoksitdismutaz (SOD), Katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPX), glutatyon redüktaz (GR) ve sitokrom oksidaz (COX) enzim aktivitelerini ve malondialdehit (MDA) düzeylerini belirlemişlerdir. Kontrol grupları ile karşılaştırdıklarında dokuların metal düzeylerinin yüksek olduğu ve bu değerlerin izin verilen düzeylerin çok üzerinde olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca SOD ve CAT aktivitelerinin kontrol grubunun yaklaşık 3, GPX'in ise 2,5 katı olduğunu; GR düzeyinin yaklaşık % 50 azaldığını ve COX aktivitesi ve MDA düzeyinin kontrol grubuna göre 4 kat yüksek çıktığını rapor etmişlerdir.

Sabrah vd. (2016), Süveyş Kanalı'nın üç farklı lokasyonundan avlanan *Terapon puta* balığının kas dokusunda mevsimlere bağlı olarak Cu, Cr, Zn, Ni, Fe ve Cd metallerin derişimlerini belirlemişlerdir. Ayrıca kas dokusunda su, protein, lipid ve glikojen düzeylerini saptamışlardır.

Mahino vd. (2015), solungaç, karaciğer, böbrek, kas ve beyin dokularındaki Cr, Ni, Pb ve Cd derişimlerini ve ayrıca CAT ve SOD aktiviteleri ile, glutatyon (GSH) ve lipid peroksidasyon düzeylerini belirlemişlerdir.

Vlahogianni vd. (2007), Saronikos Körfezinde ağır metal kirliliğine bağlı olarak midyelerde antioksidant savunma sisteminin mevsimlere bağlı değişimini araştırmışlardır. Ağır metal kirliliği yüksek bölgedeki midyelerde belirlenen SOD, CAT aktiviteleri ve lipid peroksidasyon düzeylerinin kontrol bölgesine göre en az 2 kat arttığını rapor etmişlerdir.

Eroğlu vd. (2015) tarafından yürütölen bir çalışmada Cu, Cd, Cr, Pb ve Zn metal iyonlarına maruz bırakılan Nil tilapiası balıklarının 1, 7 ve 14. günlerde karaciğer glutatyon metabolizmasındaki değişiklikler GR, GPX, glutatyon-S-transferaz (GST) enzimleri ile glutatyon düzeyleri açısından incelenmiş ve kontrol grubuyla önemli farklılıklar gösterdiği rapor edilmiştir.

Jaffal vd. (2015) tarafından Kerguel Adalarında tatlı su kahverengi alabalıkları ile yapılan çalışmada, karaciğer Cd ve Cu derişimleri belirlenerek SOD ve CAT aktiviteleri ile GSH düzeyleri ölçölmüştür.

Qu vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada ise farklı Zn derişimi ve pH koşullarına maruz bıraktıkları japon balıklarının (*Carassius auratus*) karaciğerinde Zn, Fe ve Cu birikimleri ile SOD, CAT, GPX aktiviteleri ve GSH düzeyleri ilişkilendirilmiştir.

Barsiene vd. (2006) tarafından, Kuzey Denizi'ndeki Statfjord B petrol işletmesinin platformunun yakınından yapılan genotoksitite çalışmasında mavi midye (*Mytilus edulis*) 'nin solungaç dokusundaki eritrositleri incelenmiştir. Aynı çalışmada genotoksik parametrelerle birlikte sitotoksik

ve immünotoksik değerlendirmede yapılmıştır. Ayrıca, Kuzey Denizi Goteborg bölgesinden toplanan *O. mykiss'in* örnekleri ve mavi midye (*Mytilus edulis*), pisi balığı (*Platyichthy sflesus*) ve lapin (*Symphodus melops*) periferik kan solungaç hücrelerinde MN sıklığına bakılmıştır. Vilnius Atıksu Arıtma Tesis'i'nden boşaltılan arıtılmış atık su atıklarına (TWE) maruz kalan midyelerin mikronükleuslarda belirgin bir artış olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Pavlica vd. (2008) tarafından, Doğu Adriyatik kıyısı olan Hırvatistan da yapılan çalışma da yerli midye *Mytilus galloprovincialis* hemaotositlerinde mikronükleus (MN), sıklığını belirlemişlerdir. En yüksek MN sıklığı yaz mevsiminde tespit etmişler ve mevsimsel değişimlerin dikkat çekici olduğu sonucunu vurgulamışlardır. Midyeler de yapılan genotoksite testinde mevsimsel değişimin yanı sıra kirleticiler ve daha yüksek metabolik ve filtrasyon oranları da etkiyi oluşturmuş ve sitogenetik hasar yüksek oranda çıkmıştır.

Javed vd. (2016), termal atık su deşarjına maruz kalan *Channa punctatus*'da biyoakümülyasyon ve genotoksik ekleri araştırmışlardır. Biyoindikatör tür *Channa punctatus*'da Metal biyoakümülyasyonu, lipid peroksidasyon (LPO) ve antioksidan enzim düzeylerini (SOD katalaz (CAT), glutatyon Stransferaz (GST), indirgenmiş glutatyon (GSH)) incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, atık sulara ve stresli ortamlara maruz kalan bu türde DNA kırılmalarına rastlamışlardır. Termik santral deşarjı ile birlikte sudaki Fe ve Ni konsantrasyonunun Birleşmiş Milletler Çevre Programı Küresel Ortam İzleme Sistemi (UNEPGEMS)nin rehberliğinde belirlenen oranlara göre yüksek konsantrasyonda çıktığı ve Fe'nin böbrek karaciğer ve kaslara zarar verdiğini saptamışlardır.

Javed vd. (2016), Satha Gölü 'nde (Hindistan) ağır metale maruz kalan *Channa punctatus* 'da histopatolojik ve genotoksik bazı araştırmalar yapmışlardır. *Channa punctatus* üzerinde metal biyoakümülyasyon ve lipid gibi biyobelirteçlerin indüklenmesine bakmışlar ve çalışılan türde Cr, Mn, Fe ve Ni konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak peroksidasyon (LPO), süperoksitdismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon S transferaz (GST), Glutatyon (GSH) gibi enzimlerin düzeylerinin arttığını belirtmişlerdir. Deşarj suyundan kaynaklanan kirliliğin Hindistan standartları (BIS) ve WHO tarafından belirlenen sınırlara göre Fe için yüksek oranda çıktığını ve tüm organlarda (solungaç, karaciğer, böbrek, kas ve integrin) biriktiğini tespit etmişlerdir. En yüksek metal kirliliği endeksi Solungaçlarda 53 (MPI) değeri ve karaciğer dokusunda en düşük 6 olarak tespit etmişlerdir. DNA ile eşzamanlı hasar, daha yüksek ortalama kuyruk uzunluğu ile birlikte gözlenmiştir. Histopatolojik olarak bakıldığında solungaç ve karaciğerde önemli derecede hasarlar çıkmıştır. Araştırma sonucunda, kirlilikten dolayı gösterge türün DNA hasarına uğradığı ve bölge halkının da bu balığı yoğun tükettiğinden sağlık açısından tehlikeli bir durum arz ettiğini bildirmişlerdir.

Ahmed vd. (2011), sodyum arseniğin (NaAsO₂) genotoksik potansiyelini belirlemek amacıyla *Oreochromis mossambicus*'ta yaptıkları çalışmada iki farklı genotoksite testi (Comet assay ve micronucleus (MN) testi) uygulamışlardır. Çalışmada, üç farklı konsantrasyonda (3 ppm, 28 ppm ve 56 ppm) sodyum arsenit (NaAsO₂)'e maruz kalan balıkların solungaç, karaciğer ve kandoku örneklerine 48 saat, 96 saat ve 192 saat sürede bakılmış ve dokulardaki hasar düzeyi ortaya konmuştur. Maruz kalan balık karaciğeri, solungaç ve kan dokusunda 48 ve 96 saat sonra inceleme yapılmıştır. DNA hasarı incelenirken solungaç ve Karaciğerde daha fazla hasarın görüldüğünü ve DNA uyruğu değerinin de (% 51.38 ± 0.21) olarak hesaplandığı bildirilmiştir. Yapılan araştırmada kan numunelerine bakıldığında arseniğin en çok solungaçlara zarar verdiği tespit etmişlerdir.

Hovhanissyan ve Simonyan (2016) tarafından, Saven gölü (Ermenistan) ve çevresinde genotoksik inceleme yapılmış ve bölgede ki tür olan (*Carassius auratus gibelio*) da ve *Tradescantia* bitki türünde micronucleus (Trad-MCN) ve *Tradescantia* (Trad-SHM) testleri ile DNA hasarını incelenmişlerdir. Balıklarda ve bitkilerde gözlemlenen DNA hasarı ağır metal konsantrasyonlarıyla ilişkilendirilmiş ve Balıkta ki DNA hasara yol açan parametrelerin nitrat iyonları ve metallere Si, Al, Fe, Mn ve Cu olduğunu tespit etmişlerdir.

Fatima vd. (2015), Kuzey Hindistan'ın Kali Nehri'nde biyomarker olarak seçilen iki balık türünde (*Channa striatus* ve *Heteropneustes fossilis*) ağır metal oranlarına bakmışlar. Ağır metallere (Cr), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) elementlerinin Dünya Sağlık Örgütü'nün (FEPA) 1999 da belirlediği sınırlardan daha fazla olduğu tespit etmişlerdir. Yapılan Karbonilasyon (PC) deneyinde Glutasyon (GSH), süper oksit dismutaz SOD ve katalaz (CAT) enzimlerinin etkisi azaldığını tespit etmişler. Dokularda ki örneklemelere bakıldığında solungaç, böbrek ve karaciğer de farklılıklar gözlemlenmişlerdir. Ağır metaller tarafından indüklenen hücresel lipit ve protein diğer iki balıkta da bozulma lipit peroksidasyonu (LPO) ve protein de problemler meydana geldiğini belirtmişlerdir. Genotoksite testlerinden Micronükleus testi ve Komet testini kullanmışlar. Bu türleri tüketen halkın sağlığı üzerinde olumsuz etkiye neden olabileceğini saptamışlardır.

Omar vd. (2012), Mısır'da, Qaroun Gölünde bulunan balık çiftliklerinde ve evsel arıtılmamış deşarjların yapıldığı bölgelerde *Oreochromis niloticus* ve *Mugil cephalus* balık türlerinde ağır metal kirliliğine bağlı genotoksite çalışması yürütmüşlerdir. Suda ağır metal konsantrasyonları (Cu²⁺ + Zn²⁺, Pb²⁺, Fe²⁺ ve Mn²⁺) ve sediment örneklerini incelemişler. Genotoksite değerlendirmesi için Mikronükleus testini uygulamışlar ve bu test ile eritrositlere solungaçlara ve karaciğerlerde ki DNA kırılmalarını tespit etmişlerdir. Antropojenik kirlilik ve yüksek konsantrasyonda ki ağır metal kirliliği ayrıca evsel atıklarının genotoksiteye neden olduğunu belirtmişlerdir.

Wei vd. (2015), Pasifik beyaz karides türü olan *Litopenaeus vannamei*'de Hipoksinin genotoksik ve fizyolojik etkilerini değerlendirmek için karidesler üzerinde iç farklı oksijen konsantrasyonunu çalışmışlardır. 6,5 ppm'lik grup kontrol grubu olarak kabul edilmiştir. Diğer gruplar ise 24 saat süre ile 1,5 ppm ve 3 ppm oksijen uygulaması sonrasında reoksijezasyon uygulaması ile çalışma tamamlanmıştır. Deneme sonrasında DNA hasar, oksidatif stres ve antioksidan cevap incelenmiştir. Oksidatif stresten dolayı Süperoksit değişiklikleri tespit edilmiş ve dismutaz (SOD) aktivitesi, glutatyon peroksidaz (GPX) aktivitesi malondialdehid (MDA) konsantrasyonunda artış olmuş ve SOD aktivitesi, GPX aktivitesi, MDA konsantrasyonu ve DNA hasarı, hipoksi döneminde daha fazla olmuştur. 12 -24 saat aralığında bakıldığında solungaçta MDA konsantrasyonları ise hipoksi (3.0 ppm) olarak tespit edilmiştir. DNA hasar tespiti için Komet analizini kullanmışlardır. Ayrıca bu tür de solungaç ve hepatopankreası hassas olan iki doku olarak saptamışlardır. Hipoksinin oksidatif strese, DNA hasarına ve lipid peroksidasyonuna neden olabileceği sonucunu ortaya koymuşlardır.

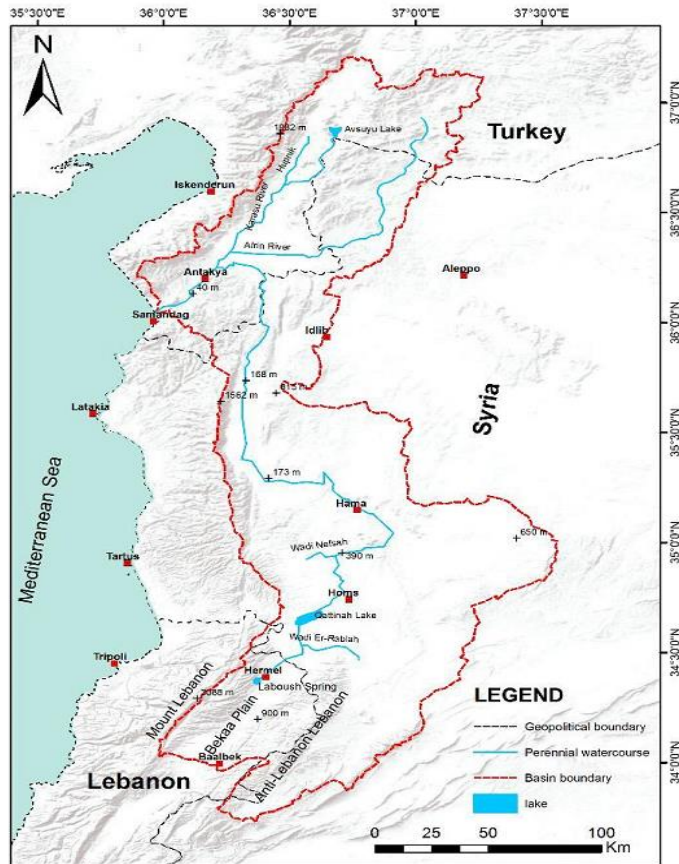
Osman vd. (2012) tarafından, Nil Nehri'nde in situ olarak yürütülen araştırmada, tilapia (*Oreochromis niloticus*) ve Afrika yayın balığı (*Clarias gariepinus*) eritrositlerinde ve apoptotik hücrelerin de DNA kırılmalarına rastlamışlardır. Her iki türün hasar yönünden duyarlı olduğu ve DNA kırılmalarına bakıldığında mevsimsel olarak değişiklik gösterdiği tespit etmişlerdir. Araştırma sonucunda Nil Nehri nin su kalitesini iyi olarak değerlendirmişler ve kirleticilerin biyolojik etkilerini değerlendirmek için daha geniş bir eko-toksikolojik çalışmanın yürütülmesini önermişlerdir.

Garcia-Mendia vd. (2017), yaptıkları in vivo çalışmada *C. carpio*'nun çeşitli dokularında örnekleme yaparak genotoksisite testini uygulamışlar. sazanları 0.01 mg Hg / l 'ye maruz bırakılıp; (sucul yaşam koruması için maksimum izin verilebilir limit) Lipit peroksidasyonu, protein karbonil içeriği ve antioksidan enzim aktivitelerini 96 saatte kadar inceleyip ilişkilendirmişlerdir. Komet ve mikronükleus testi ile 12. 24. 48. 72. ve 96. saatlerde Hg ya maruz bırakılan türün genotoksisitesini incelemişler. Hg ye maruz bırakılan *Cyprinus carpio* nun kas ,karaciğer, solungaçlarında DNA kırılmalarına rastlanmıştır. Kan, solungaç ve karaciğer, oksidatif strese daha duyarlı iken, kan daha fazla genotoksisiteye duyarlı olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak, Hg su konsantrasyonları için izin verilen maksimum sınıra eşit konsantrasyonlarda *C. carpio* üzerinde oksidatif stres ve genotoksisite neden olduğunu tespit etmişler ve genotoksite ve stresin ikili korelasyon halinde birlikte etkileşim halinde olduğunu saptamışlardır.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1 Çalışma Alanı ve Örnekleme

Asi Nehri; sularının Lübnan, Suriye ve Türkiye arasında paylaşıldığı sınır aşan bir nehirdir. Doğu Akdeniz Bölgesinin önemli bir akarsuyu olan Asi Nehri, kaynağını Lübnan'ın El Bekaa Vadisi'nden alır ve kuzeye doğru akışını sürdürüp, Suriye topraklarını geçerek Eşrefli köyü yakınlarında Türkiye topraklarına girer. Amik Ovası'nda kuzeye doğru 10 km ilerledikten sonra bir yay çizerek güneye yönelir. Daha sonra Antakya-Samandağ grabenini takip eder. Samandağ Boğazı'nı kat ettikten sonra yaptığı delta ovasında menderesler resmederek Akdeniz'e dökülür (Özşahin, 2010) (Şekil 2.1). Kaynağı bataklık olan ve beslenme havzasının büyük kesimi Suriye'de kalan nehrin vadisinin, aşağı kesimi Türkiye sınırları içindedir. Asi Nehri'nin toplam uzunluğu 556 km olup, bunun 40 km'si Lübnan, 366 km'si Suriye ve 98 km'si Türkiye toprakları arasında yer alır. 52 km'lik kısmı ise Türkiye-Suriye sınırını oluşturur. Nehrin yüzeysel besleme alanı 21.743 km² olup, 5.548 km² 'si ülkemiz sınırları içinde yer alır (Korkmaz ve Karataş, 2009). Asi Havzası'nın ülkemizde kalan kısmı kuzeyde Amanos Dağları, Doğu ve Güneyden Suriye sınırı ve batıdan Kösürük ve Kartal Dağları ile Akdeniz tarafından kuşatılmıştır (Hatay Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2011).



Şekil 3. Asi Nehri (Shaban, 2017)

Araştırma alanı olan Asi Havzası yazların sıcak ve kurak, kışların ise ılık ve yağışlı geçtiği Akdeniz iklim kuşağında bulunmaktadır. Havzanın yıllık ortalama yağış miktarı 816 mm, ortalama sıcaklık miktarı 16,8°C, yıllık toplam akışı 1,17 km³/yıl, ortalama havza verimi 2,60 L/sn/km²'dir (TUBİTAK

MAM, 2013). Havzanın yıllık 2,8 milyar m³ olan su potansiyelinin 0,3 milyar m³'ü Lübnan'dan, 1,2 milyar m³'ü Suriye'den, 1,3 milyar m³'ü ise Türkiye'den gelmektedir (TUBİTAK MAM, 2013).

Asi Havzası'nda gerçekleştirilen insan kaynaklı aktiviteleri tarım, hayvancılık ve tarıma dayalı sanayi oluşturmaktadır. Bölgede zeytin yetiştiriciliği, meyvecilik, sebzeçilik ve pamuk üretimi yoğunluklu olarak yapılmaktadır. Ek olarak, bölgedeki başlıca sanayi kollarını pamuk işleme tesisleri, un, irmik, pamuk yağı, zeytinyağı üretimi ve bakliyat tasnifleme oluşturmaktadır. Asi Nehri Havzası'nda çok sayıda yerleşim merkezi olup, Hatay ilinin merkez ilçesi Antakya, nehrin iki yakasına yerleşmiştir. Bütün bu faaliyetler sonucunda, Asi Havzası drenaj alanına giren arazinin kullanım durumu incelendiğinde, arazinin %53'ünün tarımsal alan, %43'ünün orman ve yarı doğal alan, %3'ünün şehir vb. gibi insan etkisi ile oluşmuş alanlar oluşturmaktadır (TUBİTAK MAM, 2013). Ülkemizde Asi Nehri'nden yoğunluklu olarak tarımsal sulamada kullanılmakta ve yaz aylarında nehir kuruma noktasına gelmektedir (UNESCO-IHE, 2002). Ayrıca, nehrin etrafında ve kıyısında konumlanmış olan sanayi tesisleri hem nehirden faydalanmakta hem de ürettikleri atıksuları nehre deşarj etmektedirler (Yılmaz ve Doğan, 2008).

Çalışma alanımız olan Asi Nehri, Asi Havzasının ana kolu olup Su Çerçeve Direktiflerine bağlı olarak kirlilik izleme, korunma ve yönetim planlama çalışmaları açısından "Öncelikli havza" niteliğindedir. Arazi çalışmaları sırasında balık ve su örneklemelerinin yapıldığı istasyonlarla ilgili lokasyon bilgileri aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

1.İstasyon: Asi Nehri'nin Türkiye topraklarına giriş yaptığı nokta (Demirköprü- istasyonu). (36°14'41.0"N 36°21'28.2"E)

2.İstasyon: Asi Nehrin denize dökülmeden önceki alanı (Samandağ- İstasyonu) (36°04'01.9"N 35°59'20.6"E)

3.İstasyon: Karasu çayı (Referans nokta) (36°16'41.7"N 36°12'28.3"E) (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2011 yılı Su Kalitesi İzleme Raporu) (Asi Nehri ile birleşmeden önce) olarak planlanmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 4. Asi Nehri örnekleme yerleri; 1.Istasyon: Demirköprü İstasyonu; 2.Istasyon: Samandağ İstasyonu; 3 İstasyon:Karasu İstasyonu (Referans noktası)

Proje başlangıç tarihi (01 Aralık 2016) ile uyumlu olarak mevsimsel yürütülecek olan arazi çalışma programı da kış örnekleme ile başlatılmıştır. Kış örnekleme dönemi olarak, Şubat ayında (Şubat 2017) ilk arazi çalışmaları yapılmıştır. Sonrasında Mayıs ayında İlkbahar örnekleme, Ağustos ayında Yaz örnekleme ve Ekim ayında Sonbahar örnekleme şeklinde 2017 yılı içerisinde arazi çalışmaları tamamlanmıştır.

Belirlenen istasyonlardan su örnekleri iki tekerrürlü olarak su yüzeyinin 30 cm altından, belirlenen istasyonlardan daha önceden HNO₃ ve deiyonize su ile temizlenmiş olan 1000 ml'lik koyu renkli polietilen (PE) şişelere önce bir miktar su numunesi ile çalkalanarak akmakta olan sudan doldurularak alınmıştır. Soğutucu kaplarda (+4 °C) muhafaza edilerek laboratuvar getirilmiştir. Suyun sıcaklık (0C), pH ve Çözünmüş O₂ (mg/l) miktarları örnekleme alanlarında YSI marka Oksijenmetre ve pH metre cihazları ile belirlenmiştir.

Karabalıklar (*Clarias gariepinus*) ise yerel balıkçılardan satın alma yoluyla temin edilmiştir. Her örnekleme alanından toplam 10 adet olmak üzere her dönem 30 adet karabalık temin edilmiştir. Her mevsim birer kez olmak üzere 4 kere balık alımı yapılmış ve toplam 120 adet balık üzerinde çalışılmıştır. Balıkların farklı cinsiyetlerde ve farklı boylarda olmalarına dikkat edilmiştir (Tablo 1; Şekil 4., Şekil 5.)



Şekil 5. Asi Nehri'nden örneklenen Karabalık (*Clarias gariepinus*) (Orijinal)

Arazi çalışmaları sırasında, örnekleme için araziye çıkacağımız günün bir gün öncesinde yerel balıkçılarla irtibat kurulmuş, belirlenen lokasyonlara geceden pinterler bırakılmış, sabah erken saatte örnekleme alanlarına ulaştığımızda pinterle avlanan karabalıklar balıkçılar tarafından sudan çıkarılır çıkarılmaz örnekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Enzim analizleri için gerekli dokular cerrahi tekniklerle alınıp izotonik sodyum klorür (% 0,9 NaCl) ile perfüze edilerek temizlenmiş ve ayrı ayrı alınıp kilitli polietilen torbalar içerisinde etiketlenip kuru buzun yer aldığı soğutucu dolaplarda muhafaza edilerek laboratuvara ulaştırılmıştır. Dokular, enzim analizleri yapılmaya kadar geçen sürede ise -80°C 'de derin dondurucuda bekletilmiştir.

Tablo 1. Üç farklı istasyondan örneklenen Karabalıklara ait ortalama boy-ağırlık verileri (Ortalama \pm Standart sapma) (n = 10)

	MEVSİMLER			
	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
I. İSTASYON				
Boy (cm)	39,35 \pm 2,09	50,34 \pm 2,91	56,8 \pm 3,61	36,68 \pm 1,51
Ağırlık (g)	422,68 \pm 83,15	690 \pm 153,62	1285,71 \pm 246,33	423 \pm 172,29
II.İSTASYON				
Boy (cm)	43,95 \pm 2,95	37,65 \pm 2,6	41,33 \pm 1,24	37,56 \pm 0,97
Ağırlık (g)	530 \pm 94,26	465 \pm 95,75	433,5 \pm 48,38	303 \pm 40,38
III.İSTASYON				
Boy (cm)	44,28 \pm 2,78	40,4 \pm 2,35	36,47 \pm 2,65	37,04 \pm 1,53
Ağırlık (g)	825,26 \pm 42,60	394 \pm 62,38	320 \pm 64,32	268 \pm 68,37

Ayrıca arazide balıklarda boy ve ağırlık ölçümleri yapılarak ağır metal analizleri için ayrı ayrı polietilen torbalarda buzluk içerisinde laboratuvara getirilmiş, analize kadar -18°C 'de derin dondurucuda saklanmıştır. DNA hasar analizi için ise $+4^{\circ}\text{C}$ 'de soğutucu dolaplarda getirilen dokular aynı gün içerisinde dondurulmadan taze doku formunda Hacettepe Üniversitesi Laboratuvarlarına ulaştırılmıştır.

3.1.2 Fiziko-Kimyasal Parametrelerin Ölçümü

Laboratuvara getirilen su örnekleri aynı gün içerisinde; temel fizikokimyasal parametrelerin belirlenmesi amacıyla analizlere tabii tutulmuştur. Su kalite parametrelerinden nitrit azotu ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$), amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$), Amonyum, toplam fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) ve sertlik derecelerinin belirlenmesi için örnekler süzöldükten sonra 24 saat içinde hızlı ölçüm sağlayan kitler aracılığı ile (Palintest Fotometre Su Test Tabletleri) fotometrik olarak (YSI 9500 Photometer) okuması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. YSI 9500 Fotometre cihazı

3.2 Ağır Metal Analizi

3.2.1 Su ve Balık Örneklerinin Hazırlanması

Balık: Derin dondurucuda donmuş olan balıklar bir gece önce buzdolabında bekletilmiş ertesi gün; önce çeşme suyu daha sonra bidistile su ile yıkanıp, paslanmaz çelik bistirü ve pens yardımı ile temizlenerek derisi çıkartılmış ve kas ve karaciğer dokusundan örnekleme yapılmıştır. Dokulardan 0,5-1 gr tartılarak plastik falcon tüplere konulan örneklerin üzerine 10 ml HNO₃ eklenip ağzıları kapatılmıştır. Örnekler renklenme işlemi bitene kadar su banyosunda 60 °C'de tutulmuş ve kapakları hafifçe gevşetilerek gazı çıkartılmıştır. Organik parçalanması biten örnekler filtre kâğıdı ile süzülerek bidistile su ile 50 ml'ye tamamlanmış ve ölçüme hazır hale getirilmiştir (UNEP, 1984).

Su: Laboratuvar ortamına getirilen su örneklerimavi bant süzgeç kâğıdı ile süzülerek yaklaşık 72 saat içinde ön işleme tabii tutulmuş ya da analizine başlanmayacak ise, 1+1 lik HNO₃ çözeltisiyle pH değeri 2-3 e ayarlanarak daha uzun süre saklanabilmıştır. Analizi yapılacak su örneklerinden 100ml alınarak 250 ml'lik kaplara konularak 5 ml HNO₃ (55%) eklenmiştir. Daha sonra asitlendirilmiş örnekler ısıtıcı tabla üzerine konularak 20 ml ye düşene kadar buharlaştırılmıştır. Daha sonra 5 ml HNO₃ (55%) ve 10 ml HClO₄ (70%) eklenerek kahverengi duman beyaz dumana dönene kadar bu işleme devam edilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan su örnekleri saf su le 100 ml'ye tamamlanarak okumaya hazır hale getirilmiştir (Cabrera vd. 1992).

3.2.2 Ağır Metallerin Ölçümü

Örnekler Çukurova Üniversitesi, Biyoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde gönderilmiş ve doku örnekleri bu merkezdeki Perkin Elmer Optima Series ICP-OES cihazı kullanılarak ve su örnekleri ise Analytik Jena AG - contraAA 700 - High-Resolution kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler sonucunda örneklerin içerdiği ağır metal miktarlarına ait değerler matematik yöntemlerle µg g⁻¹ yaş ağırlık olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Ağır metal analizlerinin yapıldığı ICP-OES ve AAS cihazları

Standartlar günlük olarak Merck marka metal içermeyen stok çözeltilerden (1000 mg l^{-1}) hazırlanmıştır. Yapılan analizler 2 paralelli yapılmıştır. Hesaplama yöntemi aşağıda verildiği şekilde yapılmıştır.

Metal Konsantrasyonu (mg l^{-1}) = $A \times B / C$ (Sulandırma Faktörü)

A: ICP-AES de okunan solusyonun ağır metal konsantrasyonu

B: Okunan solusyonun son hacmi

C: Örnek miktarı

Elementlere göre Dalga boyu ve Dedeksiyon Limitleri Tablo 8 ve 9'de verilmiştir.

Tablo 2. Su örnekleri için kullanılan HR-CS-AAS 'de Elementlere göre Dalga boyu ve Dedeksiyon Limitleri

Element	Dalga Boyu (nm)	Dedeksiyon limiti (µg/l)
Cd	228,8	0,002
Cr	357,9	0,01
Co	240,7	0,02
Ni	232,0	0,04
Pb	217,0	0,03
Mn	279,5	0,006
Fe	248,3	0,01
Cu	324,8	0,02
Zn	213,9	0,003

Tablo 3. Doku örnekleri için kullanılan ICP-OES 'de Elementlere göre Dalga boyu ve Dedeksiyon Limitleri.

Element	Dalga Boyu (nm)	Dedeksiyon limiti (µg/l)
Cd	228,8	<0,01
Cr	267,7	0,10-1,00
Co	228,6	0,10-1,00
Ni	231,6	0,10-1,00
Pb	220,3	1,00-10,0
Mn	257,6	0,10-1,00
Fe	236,2	<0,01
Cu	327,3	0,10-1,00
Zn	206,2	0,10-1,00

3.3 Fizyolojik Cevap:

Çalışmada, Asi Nehri'nin üç istasyonundan mevsimsel olarak elde edilen balık örneklerinin karaciğer kas dokularında metal kirliliğine bağlı olarak antioksidant savunma sistemi elemanlarından süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) enzim aktiviteleri ile lipid peroksidasyonunun bir göstergesi olan malondialdehit (MDA) düzeyleri ölçülmüştür. Analizler, Mustafa Kemal Üniversitesi Biyokimya Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Enzim aktivitelerinin mg protein miktarı üzerinden belirlenebilmesi için öncelikle protein tayini yapılmıştır. Bu amaçla gerek protein tayininin yapılması ve gerekse biyokimyasal parametrelerin belirlenmesi için dokular homojenize edilmiştir.

3.3.1 Doku örneklerinin homojenizasyonu



Homojenizasyon solüsyonu olarak % 1,15 KCl çözeltisi (1:20 doku/solüsyon oranı). Örneğin İlk olarak 2 ml'lik ependorf tüp içerisine yaklaşık 0,1g doku alınmış ve üzerine 500 mikrolitre solüsyon eklenmiş homojenizasyon bittikten sonra 1500 mikrolitre solüsyon daha eklenmiştir. Ependorf buz banyosu içinde sabitlenerek sonikasyona geçilmiştir. (Oakes vd. 2003). Dokuların homojenizasyonunda Oakes vd. (2003) tarafından önerilen metod modifiye edilerek kullanılmıştır.

a) KARACİĞER HOMOJENİZASYONU için aşağıdaki protokol uygulanmıştır.

AM=%100

Time 01:45 (dk:sn)

Pulse 15:00 sn 15:00 sn

b) KAS HOMOJENİZASYONU için aşağıdaki protokol uygulanmıştır.

AM=%100

Time 03:45 (dk:sn)

Pulse 15:00 sn 15:00 sn

MDA tayini için homojenat direkt kullanılırken, protein derişimi ve SOD ile CAT aktivitesinin belirlenmesi için soğutmalı santrifüjde santrifüj edilmiş ve elde edilen süpernatantlar kullanılmıştır.

3.3.2 Balık Örneklerinin Protein Düzeyleri:

Süpernatantlarda protein tayini öncelikle Lowry yöntemi ile yapılmış, ancak örneklerin protein derişimi çok yüksek olduğundan protein derişimlerinin Biüret yöntemi ile yapılmasına karar verilmiştir.

Biüret Yöntemi:

Bu yöntemin esası proteinlerdeki peptit zincirinde bulunan N atomlarının 4 tanesinin alkali ortamda Cu^{+2} ile verdiği mor renkli kompleksin absorbansının 540 nm'de ölçülmesine dayanmaktadır.

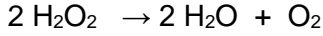
Biüret reaktifinin hazırlanışı: 1.5 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ve 6 g sodyum-potasyum tartarat 500 ml suda çözülür. Bu çözeltiliye 300 ml %10 NaOH eklenir ve çözelti hacmi saf suyla 1 L'ye tamamlanır.

Yöntem: 1 ml protein çözeltilisine 1,5 ml biüret reaktifi eklenir. 30 dk beklendikten sonra köre karşı 540 nm'de absorbans okunur. Sığır serum albümini ile hazırlanan farklı derişimdeki standart protein çözeltileri kullanılarak aynı yöntemle ölçülen absorbans değerleri yardımıyla standart eğri oluşturulur ve absorbans değerleri belirlenmiş olan örneklerin protein derişimleri bu grafik yardımıyla hesaplanır.

Araştırma bulgularında süpernatantların protein derişimlerinin ortalama değerleri mg/ml olarak verilmiştir.

3.3.3 Balık Örneklerinde CAT Aktivite Düzeyleri

CAT enzimi H₂O₂'nin moleküler oksijene ve suya parçalandığı reaksiyonu katalizler.



CAT aktivitesi enzimatik aktiviteye bağlı olarak azalan H₂O₂'nin 240 nm'de absorbansındaki değişiminin ölçümüne göre belirlenir. Aktivite tayini Ozyilmaz vd. (2007) tarafından önerilen metoda göre yapılmıştır.

Bunun için 2,5 ml 10 mM H₂O₂ çözeltisine enzim kaynağı olarak 20 µl süpernatant eklenerek 2 dk beklenmiş ve bu çözeltiye 0,5 ml 1 M HCl eklenerek reaksiyon durdurulmuştur. Çözeltinin absorbansı köre karşı 240 nm'de okunmuştur (Ar). Yine 2,5 ml önce 0,5 ml 1 M HCl eklenmiş; çözelti karıştırıldıktan sonra üzerine 20 µl süpernatant eklenerek 240 nm'de absorbans okunmuştur (Ao). Ao değeri CAT ile enzimatik parçalanmanın gerçekleşmediği, Ar ise 2 dk boyunca CAT aktivitesine bağlı olarak H₂O₂'in parçalandığı çözeltinin absorbans değerini vermektedir.

CAT aktivitesi aşağıdaki formüle göre U olarak hesaplanır:

$$\text{Akt} = (\text{Ao} - \text{Ar}) / 0,0396 * \text{Vt} / \Delta t$$

0.0396: H₂O₂'in ekstinksiyon katsayısı (cm²/µmol)

Vt: Toplam hacim (3,02 ml)

Δt: Reaksiyon süresi (2 dk)

Hesaplamalarda CAT aktivitesi U olarak (µmol/dk) olarak belirlenmiş olup, deneysel çalışmada kullanılan doku miktarı veya protein miktarına oranlanarak sırasıyla U/g doku ve U/g protein değerleri hesaplanmıştır.

3.3.4 Balık Örneklerinde SOD Aktivite Düzeyleri

Süperoksit dismutaz (SOD, EC 1.15.1.1) aktivitesi; Sun ve arkadaşlarının metoduna (Sun Y, 1988) ve Durak ve arkadaşlarının tariflediği modifikasyona (Durak I, 1993) göre tayin metodu: ksantin/ksantin oksidaz sistemi ile üretilen süperoksitin nitro blue tetrazoliumu (NBT) indirgemesi esasına dayanır. Oluşan süperoksit radikalleri (O₂[•]) ortamdaki NBT'yi indirgeyerek renkli formazon

oluşturur. Bu kompleks 560 nm'de maksimum absorbands verir. Enzimin olmadığı ortamda bu indirgeme meydana gelip mavi-mor renk oluşmaktadır. Ortamda SOD olduğunda ise NBT indirgenmesi olmayıp mavi-mor renk meydana gelmemekte ve enzim miktar ve aktivitesine bağlı olarak açık renk oluşmaktadır. Enzim bulunmayan (Kör) değer ile enzim bulunan numune absorbands değerleri hesaba katılır.

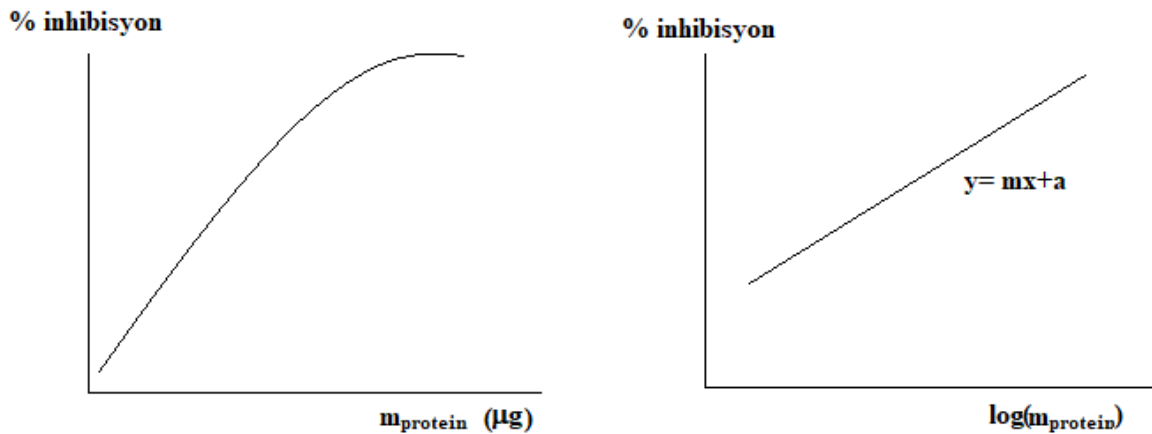
Hesaplama:

$$\text{Enzimin \% inhibisyonu} = (\text{Abs}_{\text{kör}} - \text{Abs}_{\text{num}}) / \text{Abs}_{\text{kör}} \times 100$$

Bir SOD ünitesi; NBT redüksiyonunu % 50 oranında inhibe eden enzim aktivitesidir. Sonuçlar U/mg protein olarak ifade edilir.

Doku örneği için hazırlanan süpernatant çözeltilerinin farklı hacimleri kullanılarak 560 nm'deki absorbands değerleri okunur. Kullanılan her hacim için eklenmiş olan protein miktarları belirlenir ve % inhibisyon değerleri hesaplanır. Kullanılan protein miktarlarına (μg) karşı % inhibisyon değerleri grafiğe geçirildiğinde bir hiperbol elde edilir. Doğrusal bir grafik elde etmek için protein miktarlarının logaritma değerlerine bağlı olarak % inhibisyon değerleri grafiğe geçirilir ve grafik denkleminde % 50 inhibisyona karşılık gelen x değeri hesaplanır. Bulunan x'in antilog değeri %50 inhibisyona karşılık gelen enzim miktarıdır ki bu değer 1 üniteye eşittir. 1 mg proteindeki ünite sayısı belirlendiğinde U/mg protein olarak SOD aktivitesi hesaplanmış olur.

Tablo 4. Karabalık karaciğer ve kas dokularından elde edilen süpernatantların her biri için yukarıda verilen grafikler çizilmiş ve SOD aktiviteleri hesaplanmıştır.



3.3.5 Balık Örneklerinde MDA Düzeyleri

MDA ölçümünde Sushil, K. J. (1986) tarafından bildirilen yöntem kullanılmıştır. MDA lipid peroksidasyonunun sekonder bir ürünü olup lipidlere ait peroksidasyonun belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. MDA aerobik şartlarda pH 3,4 de tiyobarbitürik asit ile 95 °C'de inkübasyonu sonucu pembe renkli bir kompleks oluşturur. Bu kompleksin 532 nm'despektrofotometrik olarak ölçümü ile MDA miktarı saptanırken standart eğri çizimi için 1,1,3,3tetraetoksipropan kullanılmıştır.

AYIRAÇLAR

- % 8,1 lik sodyum dodesil sülfat
- % 20 lik asetik asit (doymuş NaOH ile pH 3,5 'a ayarlanır)
- % 0.8 lik tiobarbitürik asit (doymuş NaOH ile pH 3,5 'a ayarlanır)
- n-bütanol/pridin çözeltisi (15/1) (Günlük hazırlanır)
- Stok standart:1,1,3,3tetraetoksipropan (d:0,92 g/ml)

Stoktan 6,6 ml alınıp 100 ml ye saf su ile tamamlanarak 10, 20, 40, 60,80,100 nmol / ml konsantrasyonlarda çalışma standartları hazırlanmıştır. 95°C de 30 dakika inkübe ettikten sonra soğutulularak üzerine n-Bütanol / Pridin ilave edilip karıştırılmış ve 4000 rpm' de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Üsteki organik kısım alınıp 532 nm' de absorbans okunmuş ve standart eğri grafiği çizilmiştir.

Tablo 5. Standart çözeltiler ve örnek için yapılan işlemler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çözeltiler (ml)	Kör	Standart (Farklı derişimde)		Örnek
Örnek	-	0,1		0,1
%8,1 SDS	0,2	0,2		0,2
%20 AcH	1,5	1,5		1,5
%0,67 TBA	1,5	1,5		1,5
Saf Su	0,8	0,7		0,7

Tablo 6. 95 °C'de 30 dk inkübe edilip soğumaya bırakma.

Saf Su	1,0	1,0	1,0
n-butanol/piridin	5,0	5,0	5,0

Tüpler vortekslendikten sonra 4000 rpm de santrifüj edilmiş ve üstteki organik kısım alınarak 532 nm’de absorbanı okunmuştur.

İstasyonlardan alınan karabalıkların kas ve karaciğer dokularından elde edilen homojenatların 0,1 ml’si kullanılarak MDA düzeyleri belirlenmiştir.

3.4 Tek Hücre Jel Elektroforez Yöntemi (Komet Analizi) ile Genotoksisite Testi

Karabalıkdokulardaki DNA hasar tespitiyle ilgili analizler, Hacettepe Üniv. Eczacılık Fak. İlaç ve Kozmetik Arge-Kalite Kontrol Laboratuvarı’nda yürütülmüştür.



Sekil 8. Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi İlaç ve Kozmetik Arge-Kalite Kontrol Laboratuvarı’ndan bir görüntü

Komet analizinin basamakları şöyle sıralanmaktadır;

1. Hücrelerin eldesi
2. Preparatların hazırlanması
3. Lizis
4. DNA sarmalının çözülmesi

5. Elektroforez
6. Nötralizasyon
7. Boyama
8. Değerlendirme (Epifloresan Mikroskopta).



Şekil 9. a) Karabalıktan dokuların alınması



Şekil 9. b) Komet analizi için preparatların hazırlanması



Şekil 10. a) Komet analizi için preparatların hazırlanması



Şekil 10. b) Elektroforez işlemi



Şekil 10. c) Floresan mikroskopta (Leica marka, yeşil ışık altında) örneklerin incelenmesi

Karabalık'tan alınan solungaç ve karaciğer dokusundan kan hücreleri ayırmak için soğutulmuş fosfat tamponlu (Ca^{+2} Mg^{+2} içermeyen) ile iki kez yıkanmış ve soğuk homojenizasyon tamponu eklenmiştir. Elde edilen hücre süspansiyonu soğuk fosfat tamponu (4 C'de) içinde 5 dk 3000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Daha sonra; 10 μ l hücre süspansiyonu, 100 μ l % 0.7 LMPA ile karıştırılarak örnekler hazırlanmış ve hazırlanan bu süspansiyondan 100 μ l alınarak, normal agaroz (NMPA) kaplı lamaların üzerine konarak dondurulmuştur. Preparatlar lizis çözeltisinde bir gece boyunca 4 °C'de ve sonrasında elektroforez tamponunda 4 C° 20 dakika bekletilmiştir. Alkalın elektroforez 24 V ve 300 mA 40 dakika süre ile 4 ° C'de uygulanmış ve sonrasında preparatlar 100 μ l etidyum bromid (10 μ l / ml) ile boyanmıştır. Preparatların incelenmesinde floresan mikroskobu (Leica marka, yeşil ışık altında) ve Komet Analiz Software, (versiyon 3.0.) yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 11. Komet yapısında baş ve kuyruk kısımlarındaki DNA'nın dağılımı (Güner ve Muranlı, 2013)

Komet yöntemi sonrasında her balık için baş uzunluğu (μm), kuyruk uzunluğu (μm), yüzde cinsinden baş yoğunluğu, yüzde cinsinden kuyruk yoğunluğu, kuyruk momenti, toplam alan (μm^2) ve kuyruk göçü değerleri elde edilmiş olup, ortalama (ortalama \pm standart sapma) değerleri hesaplanmış ve DNA hasarları tespit edilmiştir (Ameur vd., 2012).

3.5 İstatistik Analizleri

Elde ettiğimiz veri setleri istatistiksel analizlerden önce normalite (Shapiro–Wilk test) ve homojenite (Levene’s test) testine tabi tutulmuştur. Tüm parametrelerin istasyonlar arasındaki farklılıklarının karşılaştırılmasında varyans analizi (ANOVA) ve çoklu karşılaştırma testi içinde Duncan kullanılmıştır (Zar, 1996). Ayrıca tüm parametreler ile DNA hasarı arasındaki ilişkiyi belirlemek için Pearson Korelasyon analizi yapılmıştır. DNA hasar parametreleri ile çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan ve hasar düzeyi üzerinde etkililişkili olabileceği ön görülen tüm parametreler arasındaki ilişki düzeyini ortaya çıkarmak ve farklılıklardan kaynaklı toplam varyansın hangi parametrelerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla Ana Bileşenler Analizi (Principle Component Analyze, PCA) ve Ayrıştırma Analizi (DFA) yapılmıştır (Zheng vd. 2016). Tüm verilerin analizleri SPSS Statistics 21 ve SYSTAT 12 kullanılarak yapılmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Fiziko-Kimyasal Parametreler

Bu araştırma kapsamında 2017 yılında mevsimsel olarak Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'nda yapılan ölçümler ve alınan su örneklerinin laboratuvarındaki analizleri sonuçları tablolar halinde sırasıyla sunulmuştur. Ayrıca, Demirköprü, Samandağ ve Karasu istasyonlarında ölçülen fiziko-kimyasal parametreler Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği Kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Kıtaıçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri Tablo 7'da, Su Kalite Sınıfı Renk Kodları Tablo 8'de ve Kalite Sınıflarına Göre Suların Özellikleri Tablo 9'de verilmiştir (YSKYY, 2012).

Tablo 7. Kıtaıçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (YSKYY, 2012)

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
	I	II	III	IV
Genel Şartlar				
Sıcaklık (°C)	≤ 25	≤ 25	≤ 30	> 30
Çözünmüş Oksijen (mg l ⁻¹)	> 8	6-8	3-6	< 3
Sertlik (Fr)	<10	10-22	22<	-
pH	6,5 8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0 dışında
Nutrient (Besin Elementleri) Parametreleri				
Amonyum Azotu (mgNH ₄ -N l ⁻¹)	<0,2	0,2-1	1-2	>2
Nitrit Azotu (mgNO ₂ -N l ⁻¹)	<0,002	0,002-0,01	0,01-0,05	>0,05
Nitrat Azotu (mgNO ₃ -N l ⁻¹)	<5	5-10	10-20	>20
Toplam Fosfor (mg P l ⁻¹)	<0,03	0,03-0,16	0,16-0,65	>0,65
İz Elementler (Metaller) ve İnorganik Kirlilik Parametreleri				
Bakır (µg Cu l ⁻¹)	≤20	50	200	≥200
Demir (µg Fe l ⁻¹)	≤300	1000	5000	>5000
Kadmiyum(µg Cd l ⁻¹)	≤2	5	7	>7
Kobalt(µg Co l ⁻¹)	≤10	20	200	>200
Krom(toplam) (µg Cr l ⁻¹)	≤ 20	50	200	>200
Kurşun (µg P l ⁻¹)	≤ 10	20	50	>50
Mangan (µg Mn l ⁻¹)	≤ 100	500	3000	>3000
Nikel (µg Ni l ⁻¹)	≤ 20	50	200	>200

Tablo 8. Su Kalite Sınıfı Renk Kodları (YSKYY, 2012)

Su Kalitesi	Renk
Sınıf I	Mavi
Sınıf II	Yeşil
Sınıf III	Sarı
Sınıf IV	Kırmızı

Tablo 9. Kalite Sınıflarına Göre Suların Özellikleri (YSKYY, 2012)

Su Kalitesi	Özellik
Sınıf I	Yüksek kaliteli su
Sınıf II	Az kirlenmiş su
Sınıf III	Kirlenmiş su
Sınıf IV	Çok kirlenmiş su

Demirköprü, Samandağ ve Karasu'da ölçülen fiziko-kimyasal parametrelerin mevsimsel değerlerine göre su kalite sınıfları belirlenmiş ve Tablo 8 de verilen Su kalite sınıflarına göre renk kodları oluşturularak her bir istasyon için yapılan tabloda renklendirme yapılmıştır. Tablo 8 de verilen su kalite sınıflarının özelliklerine göre yapılan değerlendirme; Mavi Renk kodları Sınıf I-Yüksek kaliteli su, Yeşil Renk kodları Sınıf II-Az kirlenmiş su ve Sarı Renk kodları Sınıf III- Kirlenmiş su olduğunu göstermektedir.

İlk istasyon olan Demirköprü istasyonunda yapılan ölçümler ve alınan su örneklerinin laboratuvardaki analizleri sonucu saptanan bulgular Tablo 10'de verilmiştir.

Tablo 10. Demirköprü istasyonundan alınan su örneklerinde bazı fiziko-kimyasal parametrelerin ortalama değerleri

Parametreler	MEVSİMLER				Yıllık Ortalama
	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	
S (°C)	15,75	17,50	28,75	25,20	21,80
Ç.O (mg l ⁻¹)	7,760	7,030	5,450	5,990	6,557
pH	8,480	8,260	8,260	8,050	8,249
Sertlik (Fr)	21	15	10,20	15,50	15,42
NO ₃ -N(mg l ⁻¹)	0,820	0,920	0,785	0,990	0,878
NO ₂ -N(mg l ⁻¹)	0,035	0,036	0,046	0,036	0,038
NH ₄ (mg l ⁻¹)	1,140	1,030	1,850	1,050	1,267
PO ₄ -P(mg l ⁻¹)	-	0,100	0,900	0,600	0,533

S: Sıcaklık, Ç.O: Çözünmüş oksijen

Tablo 10 'a göre en düşük sıcaklık 15,75 °C ile kışın, en yüksek sıcaklık 28,75 °C ile yazın; en düşük çözülmüş oksijen 5,450 mg/ l ile yazın, en yüksek çözülmüş oksijen 7,760 mg l⁻¹ ile kışın; en düşük pH 8,050 ile sonbaharda, en yüksek pH 8,480 ile kışın; en düşük sertlik değeri 10,20 fransız sertliği ile yazın, en yüksek sertlik değeri 21 fransız sertliği ile kışın; en düşük NO₃-N 0,785 mg l⁻¹ ile yazın, en yüksek NO₃-N 0,990 mg l⁻¹ ile sonbaharda; en düşük NO₂-N 0,035 mg l⁻¹ ile kışın, en yüksek NO₂-N 0,046 mg l⁻¹ ile yazın; en düşük NH₄ 1,030 mg l⁻¹ ile ilkbaharda, en yüksek NH₄ 1,850 mg l⁻¹ ile yazın; en düşük PO₄-P 0,600 mg l⁻¹ ile sonbaharda, en yüksek PO₄-P 0,900 mg l⁻¹ ile yazın bulunmuştur.

Yıllık ortalamalara göre, sıcaklık 21,80 °C, çözülmüş oksijen 6,557 mg l⁻¹, pH 8,249, Sertlik 15,42 Fransız sertliği, NO₃-N 0,870 m l⁻¹, NO₂-N 0,038 mg l⁻¹, NH₄ 1,267 mg l⁻¹, PO₄-P 0,533 mg l⁻¹ olarak bulunmuştur.

İkinci istasyon olan Samandağ istasyonunda yapılan ölçümler ve alınan su örneklerinin laboratuvardaki analizleri sonucu saptanan bulgular Tablo 11 de verilmiştir.

Tablo 11. Samandağ istasyonundan alınan su örneklerinden bazı fiziko-kimyasal parametrelerin ortalama değerleri

Parametreler	MEVSİMLER				Yıllık Ortalama
	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	
S (°C)	16,05	20,05	29,64	24,36	22,52
Ç.O (mg l ⁻¹)	6,850	6,120	6,780	6,780	6,632
pH	7,050	7,580	7,850	7,850	7,582
Sertlik (Fr)	19,00	10,70	3,700	14,70	12,03
NO ₃ -N(mg l ⁻¹)	0,529	0,645	0,102	0,010	0,321
NO ₂ -N(mg l ⁻¹)	0,068	0,160	0,065	0,057	0,087
NH ₄ (mg l ⁻¹)	1,480	1,560	2,040	1,250	1,582
PO ₄ -P(mg l ⁻¹)	-	3,200	20,70	1,300	8,400

S: Sıcaklık, Ç.O: Çözülmüş oksijen

Tablo 11 'e göre en düşük sıcaklık 16,05 °C ile kışın, en yüksek sıcaklık 29,64 °C ile yazın; en düşük çözülmüş oksijen 6,120 mg l⁻¹ ile ilkbaharda, en yüksek çözülmüş oksijen 6,850 mg/l⁻¹ ile kışın; en düşük pH 7,050 ile kışın, en yüksek pH 7,850 ile yaz ve sonbaharda; en düşük sertlik değeri 3,700 fransız sertliği ile yazın, en yüksek sertlik değeri 19,00 fransız sertliği ile kışın; en düşük NO₃-N 0,010 mg l⁻¹ ile sonbaharda, en yüksek NO₃-N 0,645 mg l⁻¹ ile ilkbaharda; en düşük NO₂-N 0,057 mg l⁻¹ ile sonbaharda, en yüksek NO₂-N 0,160 mg/l⁻¹ ile ilkbaharda; en düşük NH₄ 1,250 mg l⁻¹ ile sonbaharda, en yüksek NH₄ 2,040 mg/l⁻¹ ile yazın; en düşük PO₄-P 1,300 mg l⁻¹ ile sonbaharda, en yüksek PO₄-P 20,70 mg l⁻¹ ile yazın bulunmuştur.

Yıllık ortalamalara göre, sıcaklık 22,52 °C, çözülmüş oksijen 6,632 mg/l⁻¹, pH 7,582, Sertlik 12,03 Fransız sertliği, NO₃-N 0,321 mg l⁻¹, NO₂-N 0,087 mg l⁻¹, NH₄ 1,582 mg l⁻¹, PO₄-P 8,400 mg l⁻¹ olarak bulunmuştur.

Çalışmada referans noktası olarak kabul edilen Karasu istasyonunda yapılan ölçümler ve alınan su örneklerinin laboratuvarındaki analizleri sonucu saptanan bulgular Tablo 12 da verilmiştir.

Tablo 12. Karasu çayı istasyonundan alınan su örneklerinde bazı fiziko-kimyasal parametreler ortalama değerleri (Referans Bölgesi)

Parametreler	MEVSİMLER				Yıllık Ortalama
	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	
S (°C)	14,55	19,00	29,45	25,00	22,00
Ç.O (mg l ⁻¹)	7,050	6,580	6,150	6,350	6,532
pH	7,850	7,910	7,910	7,380	7,777
Sertlik (Fr)	13,30	14,20	12,20	9,600	12,32
NO ₃ -N(mg l ⁻¹)	0,827	0,143	0,261	0,500	0,432
NO ₂ -N(mg l ⁻¹)	0,011	0,006	0,027	0,011	0,013
NH ₄ (mg l ⁻¹)	0,955	0,140	0,320	0,200	0,403
PO ₄ -P(mg l ⁻¹)	0,520	0,100	0,221	0,451	0,323

S: Sıcaklık, Ç.O: Çözülmüş oksijen

Tablo 12 'ye göre en düşük sıcaklık 14,55 °C ile kışın, en yüksek sıcaklık 29,45 °C ile yazın; en düşük çözülmüş oksijen 6,150 mg l⁻¹ ile yazın, en yüksek çözülmüş oksijen 7,050 mg l⁻¹ ile kışın; en düşük pH 7,380 ile sonbaharda, en yüksek pH 7,910 ile yaz ve ilkbaharda; en düşük sertlik değeri 9,600 Fransız sertliği ile sonbaharda, en yüksek sertlik değeri 14,20 Fransız sertliği ile ilkbaharda; en düşük NO₃-N 0,143 mg l⁻¹ ile ilkbaharda, en yüksek NO₃-N 0,827 mg l⁻¹ ile kışın; en düşük NO₂-N 0,006 mg l⁻¹ ile ilkbaharda, en yüksek NO₂-N 0,027 mg l⁻¹ ile yazın; en düşük NH₄ 0,200 mg l⁻¹ ile sonbaharda, en yüksek NH₄ 0,955 mg l⁻¹ ile kışın; en düşük PO₄-P 0,100 mg l⁻¹ ile ilkbaharda, en yüksek PO₄-P 0,520 mg l⁻¹ ile kışın bulunmuştur.

Yıllık ortalamalara göre, sıcaklık 22,00 °C, çözülmüş oksijen 6,532 mg/l⁻¹, pH 7,777, Sertlik 12,32 Fransız sertliği, NO₃-N 0,432 mg l⁻¹, NO₂-N 0,013 mg l⁻¹, NH₄ 0,403 mg l⁻¹, PO₄-P 0,323 mg l⁻¹ olarak bulunmuştur.

Demirköprü istasyonu, çözülmüş oksijen parametresine göre yaz mevsiminde; Sertlik parametresine göre kış mevsiminde; NH₄ parametresine göre tüm mevsimlerde; PO₄-P parametresine göre sonbahar mevsiminde Sınıf III- Kirlenmiş su olarak belirlenmiştir. NO₂-N parametresine göre de Sınıf IV- Çok kirlenmiş su olup ortalama değerler bakımından **Sınıf III- Kirlenmiş su** olarak nitelendirilebilir.

Samandağ istasyonu, NO₂-N ve PO₄-P parametrelerine göre tüm mevsimlerde; NH₄ parametresine göre yaz mevsiminde Sınıf IV- Çok kirlenmiş su olduğu tespit edilmiştir. NH₄ parametresi diğer

mevsimlerde ise Sınıf III- Kirlenmiş su olarak belirlenmiş olup ortalama değerler bakımından **Sınıf IV- Çok kirlenmiş su** olarak nitelendirilebilir.

Karasu istasyonu ise, ortalama değerler bakımından PO_4 -P parametresi dışında **Sınıf II- Az Kirlenmiş su** olarak nitelendirilebilir.

Su kalitesinin bozulması bu ortamlarda bulunan canlılara ve insanlara zarar vermektedir. Balıkların sağlıklı gelişimleri için sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen derişimi, alkalinite, gibi su kalitesini etkileyen bileşenlerin miktarları belirli sınırlar içerisinde olmalıdır (Swann, 2000). Su kalitesini belirleyen bu etmenler, ayrıca ağır metal ve pestisit gibi toksik kimyasalların sucul sistemlerdeki hareketlerini, biyolojik bulunurluklarını ve canlılar tarafından alınımalarını da etkilemektedirler (Authman, 2008).

Ülkemizde Asi Nehri'nden yoğunluklu olarak tarımsal sulamada kullanılmakta ve yaz aylarında nehir kuruma noktasına gelmektedir (UNESCO-IHE, 2002). Ayrıca, nehrin etrafında ve kıyısında konumlanmış olan sanayi tesisleri hem nehirden faydalanmakta hem de ürettikleri atıksuları nehre deşarj etmektedirler (Yılmaz ve Doğan, 2008). Bütün bunlara bağlı olarak Asi Nehri'ndeki su kalitesinde mevsimsel ve mekânsal olarak değişmeler olduğu ve bilinçsiz gübre kullanımına bağlı azot ve fosfat kirliliğinin fazla olduğu bilinmektedir (FAO,2009).

Taşdemir ve Göksu (2001), Asi Nehri'ndeki su kalitesin belirlemek için 1 yıllık bir izleme çalışması gerçekleştirmiştir. 1 boyunca her ay asi nehrinin seçilen istasyonlarından DO, pH, T, EC, COD, NH_4 , NO_3 , NO_2 , PO_4 , TSS, TH ve Silisyum (Si) analizleri yapmıştır. Çalışmanın sonucunda Asi Nehri'ndeki su kirliliğinin az olduğu ama artmasının muhtemel olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Akarsularda sıcaklığın, yüksekliğe, iklime, atmosfer şartlarına, akıntı hızına ve nehir yatağının yapısına göre değiştii bilinmektedir. Yapılan çalışmada, sıcaklıkta herhangi bir olağanüstülük görülmemiş, değerler mevsimsel olarak azalıp artmıştır. Yıllık ortalamalara bakıldığında Samandağ istasyonuna ait sıcaklık değerleri, genelde diğer istasyonlardan daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeninin, bu bölgede nehrin iyice genişleyip, daha sığ bir yapıya ulaşması ve akıntının en az düzeye inmesi olarak düşünülebilir.

Sıcaklıkla ters orantılı olan çözülmüş oksijen, sıcaklık artıkça azalır, sıcaklığın azalmasıyla birlikte artar (Sarıhan, 1985). Bu durumda, çözülmüş oksijen değerlerinin kış aylarında yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Nitekim, araştırmamızda da benzer sonuçlar gözlenmiştir. Nehirde, örnek alma esnasında ölçülen oksijen değerleri aylara ve istasyonlara göre farklılık göstermiştir. Asi Nehri'nin Türkiye topraklarına giriş yaptığı nokta olan Demirköprü istasyonunda yaz ve sonbahar mevsimlerinde ölçülen değerler düşük tespit edilmiş ve Kıtaıçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterlerine göre (YSKYY, 2012) III. Sınıf kirlenmiş su sınıfına girdiği görülmüştür. Bunun nedeni olarak akıntının bu mevsimlerde daha az olması gösterilebilir.

Kılıç, 2017' e göre, Asi Nehri'ndeki DO konsantrasyonu 2,10 mg/L ile 10,60 mg/L arasında değiştiğini bildirmektedir. İstasyonlar bazındaki ortalamalar dikkate alındığında nehirdeki su kalitesi çözünmüş oksijen için 2. sınıf olarak belirlenmişken; nehir genelindeki su kalitesi de zamana ve mekâna bağlı olarak 1. sınıf ile 4. sınıf arasında değişim göstermektedir. Bizim çalışmamızdaki değerlere bakıldığında II. ve III. sınıf arasında değişim gösterdiği tespit edilmiş ve bu çalışma ile uyum göstermiştir.

Suyun pH'ı suda gerçekleşen kimyasal ve biyolojik tepkimeleri etkilemesi sebebi ile önemlidir (Anonymoussa, 2016). pH değeri ele alındığında, değerler büyük farklılık göstermemiş ve demirköprü istasyonu suyu hafif alkali olarak saptanmıştır. EPA (1979)'nın bildirdiğine göre, tatlı sularda pH'ın optimum değeri 6.5-9.0 arasındadır. Buna göre, saptadığımız değerler, EPA bildirişi ile uyumludur.

Sertlik derecelerine göre sınıflandırıldığında, sular Fransız sertlik derecesi bakımından 0- 7.2 arası çok yumuşak, 7.2- 14.5 arası yumuşak, 14.5- 21.5 arası hafif sert, 21.5- 32.5 arası orta sert, 32.5- 54.0 arası sert ve >54.0 çok sert su sınıfına girdiği bildirilmektedir (Egemen ve Sunlu, 1996). Buna göre, Samandağ ve Karasu istasyonlarının değerleri yumuşak su sınıfına girerken Demirköprü istasyonu hafif sert su sınıfına girmektedir. 1984-1994 arasında Asi Nehrin'de ortalama en yüksek sertlik değeri Ocak ayında 50 FS, en düşük sertlik değeri ise Haziran ayında 26.21 FS olarak ölçülmüştür (E.İ.E, 1994). Bu değerler ile karşılaştırıldığında bizim değerlerimizin daha düşük çıktığını görmekteyiz. Saptanan bu düşüşün, Asi Nehir suyunun Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺ iyonlarıyla önceki yıllara göre daha fakirleştiği kanısını uyandırmaktadır.

Sucul sistemlerde azot ve fosfat mikrobiyolojik çeşitliliğe de bağlı olarak çeşitli formlarda bulunabilir. Bazı mavi-yeşil alg türleri havada bulunan azot gazını organik azota çevirirken, bazı bakteriler, fungi ve bitkiler amonyumu, bazıları da nitratı enerji kaynağı olarak kullanırlar. Fİtoplankton ve bazı bitki türleri de ortofosfatı kullanırlar. Bu besin tuzları sudaki birincil verimliliği azaltması ve alglerin aşırı büyümesine sebep olması nedeni ile önemlidir. Özellikle sudaki azot miktarının fazla olması ötrifikasyonasebep olabilir. (Aksoy vd.,2006). Yüzey sularındaki besin tuzlarının ana kaynağını ise tarımda kullanılan gübreler ve deşarj edilen evsel ve endüstriyel atıksular oluşturmaktadır (Anonim, 2016).

Kıtaıçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri bakımından genelde Demirköprü istasyonunda ölçülen NH₄, NO₃-N ve NO₂-N konsantrasyonlarına göre III. Sınıf kirli su, Samandağ istasyonunda ise IV. Derece çok kirli su olarak tespit edilmiştir. Kılıç, (2017)'ye göre Asi Nehri'ndeki en belirleyici kirlilik kaynakları azot temelli parametreler olarak belirlenmiştir. Nehirdeki NH₄ ve NO₂ konsantrasyonları sırasıyla 0,10-10 mg l⁻¹, 0,01-0,63 mg l⁻¹ arasında değişim göstermektedir. Ortalama değerler göz önüne alındığında, yönetmeliklere göre su kalitesi 3. ve 4. sınıf olarak çıkmaktadır. Nehirdeki nitrat azotu konsantrasyonu 0,30 mg/L ile 7,50 mg/L arasında değişmektedir.

Dolayısı ile nehirdeki su kalitesinin NO₃ bakımından 1. ve 2. sınıf yüzey suyu olarak sınıflandırmak mümkündür. Yüzey sularındaki azot yüklerinin organik kirliliği belirten göstergeler olduğu bilindiğinden (Yang vd. 2007), Asi Nehri'ndeki su kalitesinin organik kirleticiler yönünden zengin olduğu ve bu yönde bir kirlilik olduğunu söylemek mümkün olarak bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda bu çalışma ile uyum göstermektedir.

Atıksulardaki fosfatın yaklaşık %50'sinin evsel ve endüstriyel atıklardan geldiği, tarımsal üretim alanlarından sulara karışan fosfat miktarının 0.2-1.0 kg P/ha/yıl olduğu, alıcı sulara fosfatın %91'inin evsel ve endüstriyel atıksulardan %9'nun ise tarımsal alanlardan geldiği bildirilmektedir (Egemen, Sunlu, 1996). Asi Nehri'nde ölçülen en yüksek fosfat değerleri, Samandağ istasyonda bulunmuştur. Bunun nedeninin, Samandağ istasyonun konumu gereği evsel atıkların yoğun olmasından ve nehrin dökülme bölgesi olduğu için tüm yükü biriktirmiş olmasından ileri gelebileceği düşünülmektedir.

Ağca vd. (2009), Asi Nehri'nden 12 farklı istasyondan 6 farklı zaman diliminde aldıkları su örneklerini EC, pH, TDS, Na, K, Ca, Mg, Al, baryum (Ba), Cd, kobalt (Co), Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, PO₄, Pb, Zn, HCO₃, ve Cl bakımından incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda yağışlı dönemlerde EC ve TDS değerlerinin arttığını, havzada ağır metal yönünden önemli bir kirlilik olmadığını, Antakya civarında önemli ölçüde bir PO₄ kirliliği olduğunu belirlemişlerdir.

Asi nehri havzasıyoğun kirliliğin yaşandığı alanlardan birisidir. Kirliliğin önemli nedenlerinden biri, bölgedeki yerleşim alanlarından ve Asi nehri havzasının üst kesiminden gelen atık ve kirleticilerdendir. Asi Nehrinin aktığı havzanın üst kesimlerinden de yoğun bir endüstriyel atık söz konusudur. Ayrıca tarım yapılan kesimlerde daha fazla ürün alabilmek amacıyla yaygın şekilde kullanılan yapay gübreler ve tarım ilaçları da hem su hem de toprak kirliliğine neden olmaktadır. Özellikle bu tür kimyasal kirleticilerin yoğun olarak kullanıldığı alanlarda sudaki canlı yaşamı da tehlikeye girmekte ve toplu canlı (balık vs.) ölümleri yaşanmaktadır (Özşahin, 2010).

4.2 Ağır Metal Analizleri

Bu araştırma kapsamında 2017 yılında mevsimsel olarak Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'nda alınan su örneklerinde saptanan ortalama ağır metal miktarlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g l}^{-1}$) Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. 2017 yılına ait üç farklı istasyondan alınan su örneklerinde saptanan ortalama ağır metal miktarlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g l}^{-1}$)(Ortalama \pm Standart hata)

Mevsim/Metal		İSTASYONLAR		
KIŞ	Demirköprü	Samandağ	Karasu	
Cd	0,030 \pm 0,008 ^a	0,020 \pm 0,010 ^b	0,029 \pm 0,007 ^a	
Cr	1,089 \pm 0,038 ^a	1,567 \pm 0,372 ^a	1,387 \pm 0,245 ^a	
Pb	1,425 \pm 0,100 ^a	1,605 \pm 0,145 ^a	1,559 \pm 0,217 ^a	
Ni	1,895 \pm 0,034 ^a	1,883 \pm 0,056 ^a	2,302 \pm 0,095 ^a	
Co	0,204 \pm 0,011 ^a	0,187 \pm 0,003 ^a	0,232 \pm 0,039 ^b	
Cu	2,203 \pm 0,563 ^a	1,473 \pm 0,154 ^a	1,687 \pm 0,124 ^a	
Fe	89,90 \pm 0,576 ^a	134,42 \pm 23,853 ^b	70,493 \pm 24,531 ^a	
Mn	7,231 \pm 0,061 ^a	8,856 \pm 0,705 ^a	47,829 \pm 1,462 ^b	
Zn	14,294 \pm 0,189 ^a	16,38 \pm 0,116 ^a	12,034 \pm 0,028 ^b	
İLKBAHAR				
Cd	0,061 \pm 0,001 ^a	0,174 \pm 0,002 ^b	0,059 \pm 0,002 ^a	
Cr	1,057 \pm 0,036 ^a	0,961 \pm 0,050 ^a	0,418 \pm 0,038 ^b	
Pb	2,020 \pm 0,159 ^a	2,628 \pm 0,246 ^a	1,288 \pm 0,061 ^b	
Ni	3,610 \pm 0,147 ^a	4,209 \pm 0,001 ^b	1,259 \pm 0,059 ^c	
Co	0,124 \pm 0,023 ^{ab}	0,237 \pm 0,046 ^a	0,041 \pm 0,035 ^b	
Cu	3,684 \pm 0,143 ^a	6,634 \pm 0,219 ^b	1,324 \pm 0,051 ^c	
Fe	82,50 \pm 0,486 ^a	51,467 \pm 1,023 ^b	19,54 \pm 1,897 ^c	
Mn	10,469 \pm 0,343 ^a	39,39 \pm 1,150 ^b	19,56 \pm 0,354 ^c	
Zn	15,479 \pm 0,365 ^a	46,607 \pm 0,950 ^b	14,364 \pm 0,464 ^a	
YAZ				
Cd	6,005 \pm 0,400 ^a	3,010 \pm 0,700 ^b	1,502 \pm 1,400 ^c	
Cr	95,90 \pm 16,80 ^{ab}	101,7 \pm 25,100 ^a	83,30 \pm 38,600 ^b	
Pb	0,950 \pm 0,550 ^a	14,10 \pm 10,500 ^b	5,900 \pm 4,000 ^c	
Ni	13,35 \pm 1,950 ^a	14,900 \pm 1,700 ^a	14,50 \pm 5,100 ^a	
Co	0,550 \pm 0,350 ^a	1,850 \pm 1,150 ^b	0,850 \pm 0,350 ^{ab}	
Cu	8,800 \pm 1,900 ^a	12,50 \pm 1,400 ^b	9,700 \pm 1,400 ^{ab}	
Fe	155,750 \pm 10,050 ^a	114,50 \pm 62,500 ^b	200,150 \pm 46,850 ^c	
Mn	2,300 \pm 0,525 ^a	2,350 \pm 0,550 ^a	4,450 \pm 1,800 ^b	
Zn	13,00 \pm 1,100 ^a	19,302 \pm 4,200 ^b	14,500 \pm 3,700 ^{ab}	
SONBAHAR				
Cd	4,050 \pm 0,550 ^a	5,000 \pm 1,300 ^b	4,000 \pm 0,300 ^a	
Cr	74,55 \pm 24,25 ^a	46,900 \pm 9,600 ^b	94,00 \pm 5,200 ^c	
Pb	33,50 \pm 6,100 ^a	31,550 \pm 8,050 ^a	8,750 \pm 1,850 ^b	
Ni	24,950 \pm 4,150 ^a	19,60 \pm 3,300 ^b	8,200 \pm 1,300 ^c	
Co	3,000 \pm 0,300 ^a	0,550 \pm 0,150 ^b	1,900 \pm 1,000 ^c	
Cu	3,200 \pm 1,300 ^a	18,30 \pm 2,200 ^b	12,65 \pm 5,050 ^{bc}	
Fe	82,95 \pm 9,650 ^a	143,1 \pm 10,50 ^b	131,750 \pm 80,350 ^{bc}	
Mn	5,100 \pm 0,500 ^a	84,45 \pm 6,950 ^b	6,100 \pm 1,400 ^a	
Zn	17,750 \pm 4,050 ^a	29,90 \pm 0,600 ^b	20,15 \pm 5,850 ^{ab}	

a,b ve c harfleriyle sembolize edilen ortalamalar istatistiksel olarak farklı olup, ($p<0,05$); veriler,aritmetik ortalama \pm standart hata olarak gösterilmiştir. Her satır için farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında fark vardır ($p<0,05$)

Çalışmanın yapıldığı istasyonlarda dört mevsim için hesaplanan ağır metal düzeylerine karşılaştırıldığında Kış mevsimi için ağır metal sıralaması Cd ve Cu için Demirköprü > Karasu > Samandağ; Cr ve Pb için Samandağ > Karasu > Demirköprü ; Ni ve Co için Karasu > Demirköprü > Samandağ; Fe ve Zn için Samandağ > Demirköprü > ve Mn için Karasu > Samandağ > Demirköprü; İlkbahar mevsimi için ağır metal sıralaması Cd, Pb, Ni, Co, Cu ve Zn için Samandağ > Demirköprü > Karasu; Cr ve Fe için Demirköprü > Samandağ > Karasu ve Mn için Samandağ > Karasu > Demirköprü; yaz mevsimi için ağır metal sıralaması Pb, Ni, Co, Cu ve Zn için Samandağ > Karasu > Demirköprü; Cd için Demirköprü > Samandağ > Karasu ve Cr için Samandağ > Demirköprü > Karasu; Fe için Karasu > Demirköprü > Samandağ ve Mn için Karasu > Samandağ > Demirköprü ve son olarak sonbahar mevsimi için ağır metal sıralaması ise Mn, Cu ve Zn için Samandağ > Karasu > Demirköprü; Cd, Pb ve Ni için Samandağ > Demirköprü > Karasu; Cr için Karasu > Demirköprü > Samandağ; Fe için Karasu > Samandağ > Demirköprü ve Co için Demirköprü > Karasu > Samandağ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 13'deki Duncan test istatistiği sonuçlarına göre, kış mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında Cr, Pb, Ni, Cu ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$); Cd, Co, Fe, Mn ve Zn değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. İlkbahar mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında tüm metal değerlerinde istasyonlar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yaz mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında Ni ortalamaları bakımından istasyonlarınlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$); diğer metal değerlerinde istasyonlar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Sonbahar mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında Cd ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$); diğer metal değerlerinde istasyonlar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Tablo 14. Asi Nehri'nde üç farklı istasyondan örneklenen *Clarias gariepinus*'un kas dokusunda saptanan ağır metal miktarları ($\mu\text{g g}^{-1}$ yaş ağırlık) (Ortalama \pm Standart hata)

Mevsim/Metal		İSTASYONLAR		
KİŞ	Demirköprü	Samandağ	Karasu	
Cu	0,362 \pm 0,015 ^a	0,975 \pm 0,045 ^b	0,927 \pm 0,062 ^b	
Fe	11,173 \pm 1,220 ^a	16,472 \pm 3,899 ^b	15,648 \pm 2,556 ^{ab}	
Mn	0,084 \pm 0,012 ^a	0,141 \pm 0,040 ^{ab}	0,218 \pm 0,041 ^b	
Zn	7,228 \pm 0,150 ^a	7,076 \pm 0,442 ^a	5,237 \pm 0,385 ^b	
Cd	0,188 \pm 0,006 ^a	0,172 \pm 0,007 ^b	0,172 \pm 0,005 ^b	
Co	0,282 \pm 0,001 ^a	0,233 \pm 0,021 ^a	0,0265 \pm 0,008 ^b	
Cr	0,202 \pm 0,023 ^a	0,331 \pm 0,038 ^b	0,270 \pm 0,018 ^{ab}	
Ni	0,070 \pm 0,021 ^a	0,277 \pm 0,017 ^b	0,516 \pm 0,043 ^{ab}	
Pb	1,623 \pm 0,062 ^a	1,527 \pm 0,057 ^b	1,586 \pm 0,057 ^b	
İLKBAHAR				
Cu	1,703 \pm 0,0,153 ^a	1,489 \pm 0,143 ^{ab}	1,194 \pm 0,581 ^b	
Fe	28,91 \pm 7,938 ^{ab}	22,33 \pm 4,739 ^a	34,89 \pm 4,998 ^b	
Mn	0,280 \pm 0,113 ^{ab}	0,174 \pm 0,027 ^a	0,502 \pm 0,146 ^b	
Zn	7,874 \pm 1,682 ^{ab}	8,039 \pm 0,296 ^a	5,192 \pm 0,245 ^b	
Cd	0,177 \pm 0,007 ^a	0,168 \pm 0,001 ^a	0,161 \pm 0,009 ^a	
Co	0,254 \pm 0,013 ^a	0,294 \pm 0,021 ^a	0,256 \pm 0,026 ^a	
Cr	1,819 \pm 0,144 ^a	0,256 \pm 0,022 ^b	0,336 \pm 0,021 ^b	
Ni	1,497 \pm 0,710 ^a	0,622 \pm 0,036 ^b	0,711 \pm 0,440 ^b	
Pb	1,569 \pm 0,082 ^a	1,506 \pm 0,082 ^a	1,646 \pm 0,102 ^b	
YAZ				
Cu	1,588 \pm 0,063 ^a	0,843 \pm 0,064 ^b	0,816 \pm 0,045 ^b	
Fe	24,157 \pm 4,457 ^a	19,400 \pm 1,157 ^b	22,828 \pm 4,823 ^{ab}	
Mn	0,405 \pm 0,074 ^a	0,325 \pm 0,016 ^{ab}	0,309 \pm 0,040 ^b	
Zn	8,224 \pm 1,210 ^a	8,126 \pm 0,538 ^a	6,858 \pm 0,270 ^b	
Cd	0,196 \pm 0,006 ^a	0,107 \pm 0,053 ^b	0,118 \pm 0,009 ^b	
Co	0,090 \pm 0,018 ^a	0,046 \pm 0,015 ^b	0,091 \pm 0,289 ^a	
Cr	0,236 \pm 0,024 ^a	0,304 \pm 0,015 ^b	0,334 \pm 0,024 ^b	
Ni	1,497 \pm 0,031 ^a	0,051 \pm 0,019 ^b	0,090 \pm 0,026 ^c	
Pb	1,569 \pm 0,167 ^a	1,506 \pm 0,060 ^a	1,594 \pm 0,081 ^a	
SONBAHAR				
Cu	0,463 \pm 0,056 ^a	0,480 \pm 0,075 ^a	0,851 \pm 0,149 ^b	
Fe	18,71 \pm 1,288 ^a	23,568 \pm 4,272 ^b	23,55 \pm 1,979 ^b	
Mn	0,284 \pm 0,006 ^a	0,304 \pm 0,035 ^b	0,294 \pm 0,017 ^a	
Zn	5,847 \pm 0,296 ^a	5,948 \pm 0,183 ^a	7,146 \pm 0,542 ^b	
Cd	0,107 \pm 0,012 ^a	0,112 \pm 0,011 ^b	0,103 \pm 0,006 ^a	
Co	0,041 \pm 0,009 ^a	0,026 \pm 0,010 ^b	0,073 \pm 0,232 ^c	
Cr	0,641 \pm 0,076 ^a	0,378 \pm 0,020 ^b	0,377 \pm 0,022 ^b	
Ni	0,370 \pm 0,034 ^a	0,233 \pm 0,021 ^b	0,224 \pm 0,034 ^b	
Pb	1,231 \pm 0,065 ^a	1,570 \pm 0,048 ^b	1,321 \pm 0,061 ^{ab}	

a,b ve c harfleriyle sembolize edilen ortalamalar istatistiksel olarak farklı olup, ($p<0,05$); veriler, aritmetik ortalama \pm standart hata olarak gösterilmiştir. Her satır için farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında fark vardır ($p<0,05$).

Tablo 15. Asi Nehri'nde üç farklı istasyondan örneklenen *Clarias gariepinus*'un karaciğer dokusunda saptanan ağır metal miktarları ($\mu\text{g g}^{-1}$ yaş ağırlık) (Ortalama \pm Standart hata)

Mevsim/Metal	İSTASYONLAR		
	KIŞ	Demirköprü	Samandağ
Cu	23,238 \pm 3,087 ^a	7,193 \pm 1,494 ^b	7,718 \pm 1,732 ^a
Fe	941,3 \pm 24,412 ^a	2057,2 \pm 96,404 ^b	875,4 \pm 42,035 ^a
Mn	0,494 \pm 0,044 ^a	0,745 \pm 0,111 ^b	0,465 \pm 0,070 ^a
Zn	37,70 \pm 4,191 ^a	23,61 \pm 1,717 ^b	22,58 \pm 0,488 ^b
Cd	0,435 \pm 0,022 ^{ab}	0,535 \pm 0,022 ^a	0,388 \pm 0,026 ^b
Co	0,496 \pm 0,046 ^a	0,447 \pm 0,041 ^a	0,527 \pm 0,058 ^b
Cr	0,370 \pm 0,037 ^a	0,497 \pm 0,023 ^b	0,399 \pm 0,039 ^{ab}
Ni	0,166 \pm 0,044 ^a	0,388 \pm 0,160 ^b	0,563 \pm 0,112 ^c
Pb	2,743 \pm 0,198 ^a	2,946 \pm 0,152 ^a	2,501 \pm 0,260 ^a
İLKBAHAR			
Cu	7,215 \pm 0,391 ^a	6,436 \pm 0,350 ^{ab}	5,131 \pm 0,119 ^b
Fe	1351,7 \pm 136,921 ^a	1244,1 \pm 74,907 ^{ab}	877,2 \pm 132,637 ^b
Mn	1,538 \pm 0,454 ^a	1,212 \pm 0,152 ^b	1,325 \pm 0,107 ^{ab}
Zn	29,86 \pm 4,072 ^a	23,67 \pm 1,464 ^{ab}	19,14 \pm 0,658 ^b
Cd	0,466 \pm 0,021 ^a	0,439 \pm 0,025 ^a	0,319 \pm 0,010 ^b
Co	0,514 \pm 0,036 ^a	0,527 \pm 0,100 ^a	0,621 \pm 0,054 ^b
Cr	0,612 \pm 0,027 ^a	0,625 \pm 0,039 ^a	0,602 \pm 0,046 ^a
Ni	1,022 \pm 0,017 ^a	1,152 \pm 0,066 ^b	1,130 \pm 0,083 ^{ab}
Pb	2,998 \pm 0,059 ^a	3,029 \pm 0,001 ^b	3,026 \pm 0,039 ^b
YAZ			
Cu	4,279 \pm 0,421 ^a	6,603 \pm 0,767 ^b	8,457 \pm 0,565 ^c
Fe	510,8 \pm 49,015 ^{ab}	654,3 \pm 76,458 ^a	361,8 \pm 64,241 ^b
Mn	1,462 \pm 0,108 ^a	3,237 \pm 1,2595 ^b	1,436 \pm 0,073 ^a
Zn	26,55 \pm 1,454 ^a	29,78 \pm 0,812 ^{ab}	31,12 \pm 0,906 ^b
Cd	0,261 \pm 0,057 ^{ab}	0,372 \pm 0,025 ^a	0,126 \pm 0,036 ^b
Co	0,412 \pm 0,119 ^a	1,480 \pm 0,533 ^b	0,396 \pm 0,039 ^a
Cr	0,351 \pm 0,036 ^a	0,530 \pm 0,051 ^b	0,384 \pm 0,032 ^a
Ni	0,205 \pm 0,128 ^{ab}	0,156 \pm 0,065 ^a	0,333 \pm 0,288 ^b
Pb	2,455 \pm 0,265 ^a	3,190 \pm 0,291 ^b	2,408 \pm 0,163 ^a
SONBAHAR			
Cu	8,667 \pm 2,090 ^a	7,601 \pm 1,253 ^{ab}	3,177 \pm 0,909 ^b
Fe	666,6 \pm 15,965 ^a	578,40 \pm 30,792 ^b	600,2 \pm 29,899 ^{ab}
Mn	1,518 \pm 0,083 ^a	1,318 \pm 0,104 ^b	1,366 \pm 0,106 ^b
Zn	32,78 \pm 1,886 ^a	32,41 \pm 1,213 ^a	30,42 \pm 1,198 ^b
Cd	0,348 \pm 0,017 ^a	0,275 \pm 0,017 ^b	0,312 \pm 0,013 ^{ab}
Co	0,323 \pm 0,268 ^{ab}	0,429 \pm 0,054 ^a	0,176 \pm 0,063 ^b
Cr	0,523 \pm 0,051 ^a	0,356 \pm 0,023 ^b	0,363 \pm 0,031 ^b
Ni	0,093 \pm 0,030 ^a	0,054 \pm 0,210 ^{ab}	0,036 \pm 0,019 ^b
Pb	2,639 \pm 0,211 ^a	2,212 \pm 0,145 ^a	2,368 \pm 0,211 ^a

a,b ve c harfleriyle sembolize edilen ortalamalar istatistiksel olarak farklı olup, ($p<0,05$); veriler,aritmetik ortalama \pm standart hata olarak gösterilmiştir. Her satır için farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında fark vardır ($p<0,05$).

Metaller ve inorganik kirlilik parametrelerine göre bakıldığında Asi Nehrinde 3 istasyonda bakılan yıllık değerlerden hiçbirinin kirli su sınıfına girmediği görülmektedir. Çalışkan (2005) tarafından yapılan çalışmada Hatay bölgesinin önemli su kaynaklarından biri olan Asi Nehri'nden 4 mevsim alınan örneklerde incelenen ağır metallerin ortalama konsantrasyonları, su için Cd;0,04605, Co; 0,00691, Cr; 0,02919, Cu; 0,02662, Fe; 1,71326, Mn; 0,11454, Ni;0,06030, Pb; 0,00576, Zn; 0,15441 mg l⁻¹olarak tespit edilmiş ve bu değerlerin bizim bulduğumuz değerlerden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Sonuçlardaki bu farklılıklar araştırma yapılan bölgelerin çevrelerindeki karasal ortamların özellikleri, endüstriyel, evsel ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanabilir. Bu sebeplerden kaynaklanan atıkların doğrudan veya dolaylı yoldan sulara karışması ile ağır metal düzeylerinin artması kaçınılmazdır.

Kış mevsimi için çalışmanın yapıldığı istasyonlarda hesaplanan ağır metal düzeylerine bakıldığında *Clarias gariepinus*'un kas dokusunda Demirköprü istasyonu için ağır metal sıralaması Fe>Zn>Pb>Cu>Co>Cr>Cd>Ni>Mn; Samandağ istasyonu için Fe>Zn>Pb>Cu>Cr>Ni>Co>Cd>Mn ve Referans noktası olan Karasu İstasyonu için Fe>Zn>Pb>Cu> Ni > Cr > Mn >Cd> Co tespit edilmiştir. Karaciğer dokusundaki düzeylere bakıldığında Demirköprü İstasyonu için ağır metal sıralaması Fe>Zn>Cu>Pb >Co>Mn>Cd> Cr >Ni; Samandağ istasyonu için Fe>Zn> Cu> Pb> Mn>Cd>Cr>Co> Ni ve Karasu İstasyonunda Fe>Zn>Cu>Pb> Ni > Co > Mn >Cr> Cd tespit edilmiştir.

İlkbahar mevsimi için çalışmanın yapıldığı istasyonlarda hesaplanan ağır metal düzeylerine bakıldığında *Clarias gariepinus*'un kas dokusunda Demirköprü istasyonu için ağır metal sıralaması Fe>Zn>Cr>Cu>Pb>Ni>Mn>Co>Cd; Samandağ istasyonu için Fe>Zn>Pb>Cu>Ni>Co>Cr>Mn>Cd ve Referans noktası olan Karasu İstasyonu için Fe>Zn>Cu>Pb>Ni>Mn>Cr >Co> Cd tespit edilmiştir. Karaciğer dokusundaki düzeylere bakıldığında Demirköprü İstasyonu için ağır metal sıralaması Fe>Zn>Cu>Pb >Mn>Ni>Cr>Co>Cd; Samandağ istasyonu için Fe>Zn> Cu> Pb>Mn>Ni>Cr>Co>Cd ve Karasu İstasyonunda Fe>Zn>Cu>Pb> Mn >Ni> Co>Cr> Cd tespit edilmiştir.

Yaz mevsimi için çalışmanın yapıldığı istasyonlarda hesaplanan ağır metal düzeylerine bakıldığında *Clarias gariepinus*'un kas dokusunda Demirköprü istasyonu için ağır metal sıralaması Fe>Zn>Cu>Pb>Ni>Mn>Cr>Cd>Co; Samandağ istasyonu için Fe>Zn>Pb>Cu>Mn>Cr>Cd>Ni>Co ve Referans noktası olan Karasu İstasyonu için Fe>Zn>Pb>Cu>Cr>Mn>Cd >Co> Ni tespit edilmiştir. Karaciğer dokusundaki düzeylere bakıldığında Demirköprü İstasyonu için ağır metal sıralamasıFe>Zn>Cu>Pb>Mn>Co>Cr>Cd>Ni; Samandağ istasyonu için Fe>Zn>Cu>Mn>Pb>Co>Cr>Cd>Ni ve Karasu İstasyonunda Fe>Zn>Cu>Pb> Mn >Co> Cr>Ni> Cd tespit edilmiştir.

Sonbahar mevsimi için çalışmanın yapıldığı istasyonlarda hesaplanan ağır metal düzeylerine bakıldığında *Clarias gariepinus*'un kas dokusunda Demirköprü istasyonu için ağır metal sıralaması

Fe>Zn>Cu>Pb> Mn>Cr>Cd>Co>Ni; Samandağ istasyonu için Fe>Zn>Cu>Pb> Mn>Co>Cr>Cd >Ni ve Referans noktası olan Karasu İstasyonu için Fe>Zn>Cu>Pb> Mn>Cr>Cd>Co>Ni tespit edilmiştir. Karaciğer dokusundaki düzeylere bakıldığında Demirköprü İstasyonu için ağır metal sıralaması Fe>Zn>Cu>Pb >Mn>Cr>Cd>Co>Ni; Samandağ istasyonu için Fe>Zn>Cu>Pb>Mn>Co>Cr>Cd>Ni ve Karasu İstasyonunda Fe>Zn>Cu>Pb> Mn >Cr> Cd>Co>Ni tespit edilmiştir.

Tablo 14'de verilen üç farklı istasyondan örneklenen *Clarias gariepinus*'un kas dokusunda saptanan ağır metal miktarları için yapılan Duncan test istatistiği sonuçlarına göre, kış ve sonbahar mevsimlerinde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında tüm metal değerlerinde istasyonlar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.. İlkbahar mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında Cd, Co ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$); diğer metal değerlerinde istasyonlar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yaz mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında Pb ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$); diğer metal değerlerinde istasyonlar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Tablo 15'de verilen Asi nehri'nde üç farklı istasyondan örneklenen *Clarias gariepinus*'un karaciğer dokusunda saptanan ağır metal miktarları için yapılan Duncan test istatistiği sonuçlarına göre, kış mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında Pb ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$) diğer metal değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.. İlkbahar mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında Cr ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$); diğer metal değerlerinde istasyonlar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yaz mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında tüm metal değerlerinde istasyonlar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur Sonbahar mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında Pb ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$); diğer metal değerlerinde istasyonlar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bazı araştırmacılara göre, balık ve sudaki ağır metal birikimlerinin mevsimsel olarak değişim gösterebileceği belirtilmiştir (Eastwood ve Couture, 2002; Farkas vd. 2003; Abdel-Baky vd. 1998; Abdel-Baky ve Zyadah, 1998; Dogan, 2004; Okonkwo ve Mothiba, 2005). Mevcut çalışmamızda da metal birikimleri mevsimsel olarak değişim göstermiş olup, diğer literatürler sonuçlarımızı desteklemektedir.

Tablo 16. Asi Nehri'nde üç farklı istasyondan örneklenen su örneklerinde ($\mu\text{g l}^{-1}$) ve *Clarias gariepinus*'un kas ve karaciğer dokusunda ($\mu\text{g g}^{-1}$ yaş ağırlık), saptanan ağır metal miktarlarının yıllık ortalaması (Ortalama \pm Standart hata)

Yıllık Ortalama/Metal	İSTASYONLAR			
	SU	Demirköprü	Samandağ	Karasu
Cu		4,166 \pm 0,879 ^a	8,592 \pm 2,099 ^b	6,532 \pm 1,646 ^{ab}
Fe		99,46 \pm 17,710 ^a	107,3 \pm 16,891 ^{ab}	119,68 \pm 26,705 ^b
Mn		19,36 \pm 1,027 ^a	31,83 \pm 10,073 ^b	19,36 \pm 5,819 ^a
Zn		15,198 \pm 0,829 ^a	28,671 \pm 4,287 ^b	14,86 \pm 1,363 ^a
Cd		2,037 \pm 0,844 ^a	1,658 \pm 0,706 ^{ab}	1,291 \pm 0,528 ^a
Co		0,808 \pm 0,375 ^a	0,607 \pm 0,273 ^b	0,728 \pm 0,251 ^{ab}
Cr		34,73 \pm 14,602 ^a	30,478 \pm 13,844 ^{ab}	47,83 \pm 15,454 ^c
Ni		9,311 \pm 3,030 ^a	8,727 \pm 2,453 ^{ab}	7,615 \pm 2,053 ^b
Pb		7,923 \pm 4,361 ^a	10,400 \pm 4,328 ^b	4,401 \pm 1,210 ^c
BALIK/KAS				
Cu		1,029 \pm 0,207 ^a	0,947 \pm 0,092	1,074 \pm 0,986 ^a
Fe		20,73 \pm 2,609 ^a	20,44 \pm 1,846 ^a	22,73 \pm 2,502 ^b
Mn		0,263 \pm 0,040 ^a	0,236 \pm 0,232 ^a	0,275 \pm 0,030 ^a
Zn		7,293 \pm 0,524 ^a	7,297 \pm 1,269 ^a	6,779 \pm 0,474 ^b
Cd		0,167 \pm 0,009 ^a	0,140 \pm 0,007 ^a	0,142 \pm 0,008 ^a
Co		0,167 \pm 0,024 ^a	0,149 \pm 0,027 ^a	0,170 \pm 0,224 ^a
Cr		0,724 \pm 0,303 ^a	0,317 \pm 0,015 ^b	0,700 \pm 0,301 ^a
Ni		0,511 \pm 0,210 ^a	0,296 \pm 0,048 ^b	0,582 \pm 0,206 ^a
Pb		1,660 \pm 0,967 ^a	1,544 \pm 0,029 ^b	1,523 \pm 0,042 ^b
BALIK/KARACİĞER				
Cu		10,85 \pm 1,890 ^a	6,823 \pm 0,570 ^b	8,621 \pm 1,363 ^c
Fe		867,6 \pm 80,746 ^a	1366 \pm 163,833 ^b	678,6 \pm 60,931 ^c
Mn		1,253 \pm 0,148 ^a	1,711 \pm 0,523 ^a	1,148 \pm 0,100 ^a
Zn		31,72 \pm 1,726 ^a	25,43 \pm 1,118 ^b	25,81 \pm 1,236 ^b
Cd		0,377 \pm 0,024 ^a	0,457 \pm 0,022 ^a	0,286 \pm 0,024 ^b
Co		0,436 \pm 0,035 ^a	0,827 \pm 0,224 ^b	0,430 \pm 0,045 ^a
Cr		0,464 \pm 0,306 ^a	0,559 \pm 0,025 ^b	0,437 \pm 0,028 ^a
Ni		0,371 \pm 0,092 ^a	0,602 \pm 0,130 ^b	0,515 \pm 0,117 ^c
Pb		2,708 \pm 0,101 ^a	3,079 \pm 0,128 ^b	2,576 \pm 0,105 ^a

Arıtmasız sanayi tesislerinden, büyük kentsel bölgelerden ve tarla drenaj sistemlerinden kirlenmiş sular, drenaj kanalları yoluyla akarsulara ve sonuçta denizlere kadar taşınarak sucul sistemlerde kirliliğe neden olmaktadır (Basha ve Rani, 2003). Kirleticilerin besin zinciri aracılığı ile tüm trofik düzeylerde artan derişimlerde birikimi önemli çevre ve sağlık sorunlarına neden olur. Bu nedenle protein kaynağı olarak tüketilen balıklar sucul ekosistemlerde kirliliğin izlenmesi ve değerlendirilmesinde model canlılar olarak kullanılmaktadırlar (Mansour ve Sidky, 2003).

Bu çalışmada elde edilen bulgular incelendiğinde genelde karaciğer dokusunun kas dokusuna göre daha fazla metal biriktirdiği görülmektedir. Literatürlerde balık dokularında yapılan ağır metal çalışmalarında değişik doku ve organlarda farklı düzeylerde birikimlerin olduğu bildirilmektedir. Bu birikimlerin metabolik olarak aktif olan organlarda en yüksek değerlerde olduğu ileri sürülmektedir. Metabolik faaliyetleri daha yüksek olan organların karaciğer, solungaç, dalak böbrek, gonad gibi organlar olduğu, derinin daha az birikim yaptığı, kas dokusunun ise ağır metal birikimi yönünden en az aktif doku olduğu bildirilmektedir (Kargın, 1996; Yılmaz, 2003). Su örneklerine kıyasla

dokulardaki yüksek metal derişimleri, dipten beslenen *Clarias gariepinus*'un temel olarak sedimentte biriken metallerin etkisinde kalmasından kaynaklanıyor olabileceği düşünölmüştür.

Çalışkan, 2005'de Asi nehrinde yaptığı çalışmada karabalık örneklerinde ortalama ağır metal konsantrasyonları Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn için sırasıyla 0,0016; 0,0045; 0,0229; 0,2932; 5,8554; 0,2894; 0,0156; 0,0061 ve 0,6983 µgg-1 olarak bulmuştur. Bizim çalışmamızdaki Karabalık örneklerinin kas dokusundaki ağır metal konsantrasyonları bu çalışmadaki birikimlerle karşılaştırıldığında hepsinden çok daha yüksek olduğunu görölmekte ve genellikle birikimlerin mevsimler arasında en az kış, en fazla ilkbahar mevsiminde, dokular arasında ise en az kas en fazla karaciğer dokuda olduğu görölmektedir.

Yapılan diğer çalışmalarda balıkların dokularında ağır metal birikimlerinin en düşük kas dokusunda en yüksek solungaç ve karaciğer dokularında olduğunu bildirmişlerdir (Amundsen vd. 1997; Canli vd., 1998; Farkas vd.2000; Kirby vd., 2001; Karadede ve Ünlü, 2000; Eastwood ve Couture, 2002; Farkas vd., 2003; Dogan, 2004; Karadede vd., 2004; Maracovecchio, 2004).

Tablo 17. Ulusal ve Uluslararası standartlara göre balıkların kas dokusunda kabul edilebilir ağır metal miktarları (mg/kg).

	Cd	Cr	Zn	Cu	Fe	Mn	Pb	Kaynak
EC	0,05	-	-	-	-	-	0,2	EC, 2005
EPA	1,4	4,1	410	54	410	-	1,0	EPA, 1989
WHO	1,0	-	100	30	100	1,00	2,00	WHO, 1989
Türk Gıda Kodeksi	0,05	-	50	20	50	-	0,2	TGK, 2002

Clarias gariepinus' un incelenen dokularındaki ağır metal derişimlerinin metale, dokuya ve suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişim gösterdiği saptanmıştır. *C. gariepinus*'un başlıca tüketilebilir kısmını oluşturan kas dokusundaki Cd ve Pb derişiminin belirlenen tüm istasyonlarda, Tablo 17 de verilmiş olan hem ulusal hem de uluslararası tüketim için kabul edilebilir aralığın üstünde olduğu belirlenmiş, kirletici kaynaklarının kontrol edilmeyip, deşarjların devam etmesi durumunda, halk sağlığı açısından tehlike oluşturabileceği düşünölmektedir.

Pb miktarının yüksek çıkmasının nedeni olarak motorlu taşıtların egzoz gazlarından atmosfere ulaşan kurşun miktarının artışı ve atmosferde artan kurşunun sucul ortama ulaşması düşünölmektedir. Bu olumsuz durumun önlenmesi için ölkemizde motorlu taşıtlarda kullanılan petrol ürünlerindeki kurşun miktarının düşürölerek, daha fazla oranlarda kurşunsuz benzin kullanımının yaygınlaştırılması sağlanmalıdır.

Genellikle çinko, bakır, kurşun üretiminde ortaya çıkan atıklarla birlikte çevreye salınan Cd, çeşitli endüstri kollarında da giderek artan miktarlarda kullanılmaktadır. Ayrıca fosfatlı gübreler de önemli miktarlarda kadmiyum içermektedir (Kayhan, 2006). Yaptığımız çalışmada tüm istasyonlarda Cd değerinin yüksek çıkması Asi nehrinin geçtiği bölgelerin hemen hemen hepsinin zengin tarım

arazileri olması ve tarımda yoğunlukla kullanılan fosfatlı gübrelere kaynaklandığı kanısı uyandırmaktadır.

Bölge halkının severek tükettiği ve ekonomik öneme sahip olan karabalığın yenilebilir kısımlarındaki ağır metal konsantrasyonlarından Cd ve Pb'un kabul edilebilir sınırların üstünde bulunmasından dolayı, insan tüketimi için risk taşıdığı ve tüketiminin zararlı olacağı rahatlıkla söylenebilir.

4.3 Oksidatif Strese Bağlı Fizyolojik Cevap

Serbest radikal ve diğer reaktif oksijen türleri genellikle tüm aerobik canlılar tarafından üretilir ve eğer etkisizleştirilmezlerse DNA, protein ve lipid gibi temel makromoleküllere zarar verirler. Reaktif oksijen türlerinin negatif etkilerini nötralize etmek için diğer canlılar gibi balıklar da enzimatik veya non-enzimatik antioksidant savunma sistemi (AOSS) geliştirmişlerdir. Süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT), antioksidant enzim sisteminde anahtar role sahip enzimlerdendir. Reaktif oksijen türleri ayrıca çoklu doymamış yağ asitleri ile etkileşerek malondialdehit gibi lipid peroksidasyonu ürünü olan reaktif aldehit türlerinin oluşmasına neden olur. Balık türlerinde AOSS'indeki artış kirlilik ve kimyasallara maruz kalmaları ile ilişkilidir (Lemaire vd., 1996; Vaglio ve Landriscina, 1999; Lopes vd., 2001; Wilhelm Filho vd., 2001; Li vd., 2003). Ayrıca, sucul ekosistemlerde mevsimsel ve günlük değişimler çözülmüş oksijen ve sıcaklığın değişimine neden olan çevresel faktörler olup oksidatif prosesi etkiler (Parihar vd., 1997; Cunha Bastos vd., 2007). Dolayısıyla sucul sistemde kirlilik düzeyinin ve ayrıca bu kirlenici düzeylerinin detoksifikasyon gibi biyolojik fonksiyonlar üzerine etkilerinin belirlenmesinde balıklar son derece kullanışlı olan model canlılardır (Elia vd. 2010). Ağır metaller fenton reaksiyonlarına katılarak moleküler oksijeni indirger ve ROT oluşturarak oksidatif strese yol açar (Padmini vd. 2008). Dolayısı ile ağır metal kirliliğinin izlenmesi ve canlılar üzerinde oluşturacağı oksidatif stres etkilerinin belirlenmesinde balıklar yoğun bir şekilde kullanılırlar.

Proje kapsamında, Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'ndan mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (*Clarias gariepinus*)'ın karaciğer ve kas dokularında ağır metal düzeyleri ve DNA hasarı yanında oksidatif hasara fizyolojik cevap olarak SOD, CAT aktiviteleri ve MDA ile protein düzeyleri belirlenmiştir. Çalışmada 2017 yılı üç istasyondan mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (*Clarias gariepinus*)'ın karaciğer ve kas dokusuna ait katalaz seviyesi sonuçları Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 18. 2017 yılı Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'ndan mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (*Clarias gariepinus*)'in karaciğer ve kas dokusuna ait katalaz seviyesi sonuçları ($\mu\text{mol/mg protein}$) (Ort. \pm Standart hata)(n=10 birey)

	İSTASYONLAR		
	Demirköprü	Samandağ	Karasu (Referans)
Karaciğer Dokusu			
Kış katalaz seviyesi	26,440 \pm 4,612 ^b	22,872 \pm 2,927 ^{ab}	18,265 \pm 3,211 ^a
İlkbahar katalaz seviyesi	20,07 \pm 4,543 ^c	11,349 \pm 6,286 ^b	3,042 \pm 0,286 ^a
Yaz katalaz seviyesi	13,884 \pm 4,850 ^a	19,077 \pm 4,799 ^a	14,094 \pm 5,368 ^a
Sonbahar katalaz seviyesi	25,898 \pm 0,406 ^b	24,021 \pm 1,931 ^b	11,953 \pm 1,926 ^a
Ortalama	21,222 \pm 1,190 ^b	19,038 \pm 1,173 ^b	10,742 \pm 1,543 ^a
Kas Doku			
Kış katalaz seviyesi	5,367 \pm 2,732 ^b	3,596 \pm 1,535 ^{ab}	2,864 \pm 2,002 ^a
İlkbahar katalaz seviyesi	1,897 \pm 979 ^a	2,249 \pm 1,164 ^a	1,415 \pm 0,660 ^a
Yaz katalaz seviyesi	4,605 \pm 3,882 ^a	6,992 \pm 3,349 ^a	4,179 \pm 2,775 ^a
Sonbahar katalaz seviyesi	4,108 \pm 1,972 ^a	16,298 \pm 3,368 ^b	1,486 \pm 0,1156 ^a
Ortalama	3,698 \pm 0,511 ^a	8,557 \pm 1,400 ^b	2,931 \pm 0,4324 ^a

* Aynı satırda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistikî olarak önemlidir. (p<0.05)

Tablo 18'de görüldüğü gibi, tüm istasyon mevsimlerde Karaciğer CAT aktivite düzeyleri kas CAT aktivite düzeylerinden oldukça yüksek çıkmıştır. Mevsimlere bağlı olarak CAT düzeyleri karşılaştırıldığında; Demirköprü ve Karasu istasyonlarında kış, Samandağ istasyonunda ise sonbahar mevsiminde hem Karaciğer hem de kas dokularında yüksek çıkmıştır. En düşük CAT aktiviteleri ise Demirköprü istasyonundan temin edilen karabalıkların Karaciğer dokularında yaz mevsiminde, diğer tüm örneklerde ise ilkbahar mevsiminde gözlenmiştir. Samandağ ile Demirköprü istasyonları ile kıyaslandığında hem Karaciğer hem de kas dokularında Karasu istasyonu örneklerinde CAT aktivite düzeyleri daha düşük çıkmıştır. Tablo 18 incelendiğinde, yaz dönemi verilerinde istatistikî bir farklılık gözlenmemektedir. İlkbahar mevsimi Karaciğer CAT düzeyleri tüm istasyonlarda istatistikî olarak farklı iken, kas dokularında farklılık gözlenmemiştir. Sonbahar mevsimi Karaciğer CAT düzeyi Karasu istasyonunda diğer istasyonlara göre istatistikî olarak farklı çıkmıştır. Elia vd. (2010) Trasimeno gölünden avladıkları kadifebalığının karaciğerinde CAT aktivitesindeki değişimleri mevsimsel olarak ölçtüklerinde yaz ve sonbaharda enzim aktivitelerinin kış ve ilkbahar mevsimlerine göre daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Metalik ya da organik kirleticilere maruz kalan balıklarda doza bağlı olarak katalaz aktivite yanıtlarının indüklenme ya da inhibe olma yönünde farklılık gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle

balıklarda zararlı etkiler oluşmadan hemen önce belirlenen CAT aktivitesinin oksidatif stres için hassas bir biyobelirteç olduğu kabul edilmektedir (Romeo vd., 2000; Gül vd., 2004).

İstasyonlarda mevsimlere bağlı karabalık Karaciğer ve kas dokularında SOD düzeylerindeki değişimler Tablo 19'da verilmiştir. Tablo 19'da görüldüğü gibi, ilkbahar mevsiminde tüm istasyonlarda hem Karaciğer hem de kas dokularına ait SOD aktiviteleri diğer mevsimlerden düşük çıkmıştır. Karabalık Karaciğer ve kas dokularında genel olarak SOD aktivitesinin en yüksek gözleendiği istasyon Demirköprü, en düşük gözleendiği istasyon ise Karasu olmuştur. Karaciğer dokuları SOD düzeyleri arasında istasyon ve mevsimsel olarak istatistiki bir farklılık genel olarak gözlenmemiştir.

Ancak, yaz ve sonbahar mevsimlerinde Demirköprü istasyonunda gözlenen SOD düzeyleri diğer istasyonlarınkinden istatistiki olarak farklıdır. Hem Karaciğer hem de kas dokularında tüm mevsimler için SOD aktiviteleri Demirköprü>Samandağ>Karasu olarak belirlenmiştir. Kas dokularındaki SOD düzeyleri göz önüne alındığında ise, yaz ve sonbahar mevsimlerinde Karasu istasyonunda gözlenen değerler diğer istasyonlarda gözlenen istatistiki olarak önemli farklılık göstermektedir.

Tablo 19. 2017 yılı Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'ndan mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (*Clarias gariepinus*)'ın karaciğer ve kas dokusuna ait SOD seviyesi sonuçları (Uımg prot.) (Ort. ± Standart hata)(n=10 birey)

	İSTASYONLAR		
	Demirköprü	Samandağ	Karasu (Referans)
Karaciğer Dokusu			
Kış SOD seviyesi	31,901±1,465 ^a	29,329±1,519 ^a	23,125±4,090 ^a
İlkbahar SOD seviyesi	7,728±1,124 ^a	7,001±1,292 ^a	5,728±1,947 ^a
Yaz SOD Seviyesi	31,812±2,438 ^b	11,849±2,164 ^a	7,348±2,055 ^a
Sonbahar SOD seviyesi	26,058±3,304 ^b	11,299±1,201 ^a	10,249±3,140 ^a
Ortalama	24,374±5,715 ^a	14,869±4,940 ^a	11,612±3,949 ^a
Kas Doku			
Kış SOD seviyesi	7,237±0,350 ^a	5,691±0,970 ^a	3,748±1,330 ^a
İlkbahar SOD seviyesi	6,064±1,628 ^a	3,331±1,059 ^a	1,490±0,347 ^a
Yaz SOD Seviyesi	9,145±1,599 ^b	4,853±1,463 ^{ab}	2,248±0,702 ^a
Sonbahar SOD seviyesi	10,066±0,898 ^b	8,209±2,154 ^b	1,547±0,131 ^a
Ortalama	8,128±0,905 ^b	5,521±1,020 ^b	2,259±0,525 ^a

* Aynı satırda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistikî olarak önemlidir. (p<0,05).

MDA, reaktif oksijen türlerinin neden olduğu lipid peroksidasyonunun ürünlerinden biri olup dokudaki oksidatif hasar göstergelerinden biridir. 2017 yılında mevsimsel olarak üç farklı istasyondan örneklenen Karabalık karaciğer ve kas dokusuna ait MDA düzeyleri Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20. 2017 yılı Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'ndan mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (*Clarias gariepinus*)'ın karaciğer ve kas dokusuna ait MDA düzeyleri ($\mu\text{mol/g}$ doku) (Ort. \pm Standart hata)(n=10 birey)

	İSTASYONLAR		
	Demirköprü	Samandağ	Karasu (Referans)
Karaciğer Dokusu			
Kış MDA seviyesi	3,251 \pm 0,471 ^a	3,179 \pm 0,281 ^a	3,054 \pm 0,102 ^a
İlkbahar MDA seviyesi	16,398 \pm 2,176 ^a	42,336 \pm 3,067 ^b	13,504 \pm 1,653 ^a
Yaz MDA Seviyesi	30,289 \pm 3,582 ^b	36,401 \pm 4,605 ^b	13,361 \pm 7,520 ^a
Sonbahar MDA seviyesi	31,545 \pm 3,430 ^a	21,411 \pm 1,518 ^a	13,897 \pm 1,053 ^a
Ortalama	20,371 \pm 6,658 ^a	25, 832 \pm 8,740 ^a	10,954 \pm 2,635 ^a
Kas Doku			
Kış MDA seviyesi	2,572 \pm 0,139 ^b	1,697 \pm 0,570 ^{ab}	1,371 \pm 0,272 ^a
İlkbahar MDA seviyesi	4,126 \pm 0,291 ^a	4,399 \pm 0,832 ^a	2,840 \pm 0,334 ^a
Yaz MDA Seviyesi	3,618 \pm 0,471 ^b	8,896 \pm 0,591 ^c	1,903 \pm 0,278 ^a
Sonbahar MDA seviyesi	4,409 \pm 0,846 ^a	9,492 \pm 2,144 ^b	1,729 \pm 0,715 ^a
Ortalama	3,681 \pm 0,404 ^a	4,743 \pm 1,678 ^a	1,960 \pm 0,313 ^a

* Aynı satırda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistikî olarak önemlidir (p<0,05).

Tablo 20'de kış mevsimine ait balık Karaciğer ve kas dokularında her 3 istasyonda da MDA düzeylerinin diğer mevsimlerden düşük olduğu gözlenmiştir. MDA düzeyinin genel olarak Samandağ istasyonunda en yüksek, Karasu istasyonunda ise en düşük olduğu belirlenmiştir. Samandağ istasyonunda ilkbahar mevsiminde Karaciğer ve sonbahar mevsiminde kas dokularında MDA düzeyleri diğer istasyonlardan anlamlı bir şekilde farklı bulunmuştur. Yaz mevsiminde kas dokularında MDA düzeyleri her 3 istasyonda da anlamlı bir farklılık belirlenmiştir. MDA oksidatif hasarın önemli göstergelerinden biri olduğundan, kirleticilerin düzeyinin de bir göstergesi durumundadır. Dolayısı ile çalışılan istasyonlarda kirlilik düzeyinin Karasu istasyonunda belirgin derecede düşük olduğu sonucuna ulaşılabilir. Seyhan Baraj Gölü'nde kirli ve temiz olmak üzere iki ayrı istasyondan toplanan sazangiller ailesine ait tatlı su balıklarının karaciğer dokusunda malondialdehit düzeyleri karşılaştırılmış ve kirli alandan toplanan örneklerde malondialdehitin önemli düzeyde arttığı bildirilmiştir (Kamunde ve MacPhail, 2010).

MDA miktarının yüksek bulunması lipid peroksidasyonuna işaret etmektedir. Lipid peroksidasyonu meydana gelmemesi veya düşük düzeylerde olması oksidatif enzimlerin koruyucu etkilerinin göstergesidir. Oksidatif stresin pek çok biyolojik hedefleri arasında yer alan lipitler okside olarak birçok ikincil ürün oluştururlar. Bu ikincil ürünler arasında yer alan MDA çoklu doymamış peroksidasyon ürünü olarak oluşur. MDA, DNA ve proteinler ile etkileşime girebildiğinden potansiyel bir mutajendir (Ünver vd. 2014). MDA' nın nükleik asit ve proteinler ile etkileşimi, hücrenin fonksiyonel kapasitesini belirleyen mekanizmaların geri dönüşümsüz olarak bozulmasına neden olur (Hsu vd., 2013).

Mohanty ve Samanta (2016) Hindistan'da Mahanadi Irmağının biri antropojenik etkilerden uzak, diğer ikisi demir, alaşım, krom ve kağıt endüstrisinin yoğun olduğu toplam 3 istasyondan avladıkları bıçak balığının (*Notopterus notopterus*) Karaciğer, kas ve böbrek dokularında Fe, Cu, Ni, Cd, Pb and Zn ağır metal düzeylerini ve SOD, CAT, GST, GPOx gibi antioksidant sistem enzim aktivitelerini ölçmüşlerdir. Referans bölge ve endüstriyel bölge SOD düzeyleri arasında anlamlı farklar belirlemişlerdir. Referans bölgede kas SOD düzeyi (~ 4 U/mg prot.) endüstri bölge değerlerinden daha yüksek iken KC (~9 U/mg prot.) ve solungaçlarda (~2 U/mg prot.) endüstri bölgelerinden belirgin derecede düşük çıkmıştır. Karaciğer dokusunda belirlenen CAT aktivite düzeyleri kas dokularından yaklaşık 100 kat fazla bulunmuş, referans bölge enzim aktivitelerinin endüstriyel bölgelerinkinden yüksek olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde Padmini vd. (2008) iki farklı körfezden elde ettikleri kefal balıklarının KC dokularında CAT ve SOD ektivitelerini ölçtüklerinde, kirli bölgeden elde edilen balıklarda enzim aktivitelerinin daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Arojojye vd. (2018) Güney Batı Nijerya'da bulunan Igbokoda nehrinin temiz ve kirli olmak üzere 2 bölgesinden avladıkları karabalığın kas ve karaciğer dokularında Pb, Cd, As, Cu ve Ni düzeylerini ve ayrıca antioksidant sistem parametrelerini araştırmışlardır. Kirli bölgeden avlanan balıkların dokularındaki metal düzeyleri temiz bölgede avlanan balıklarınkine oranla en az 10 kat yüksek bulunduğu rapor edilmiştir. Aynı dokuların CAT, SOD aktiviteleri ve MDA düzeylerinin kirli bölgedeki balıklarda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kirli bölgeden avlanan balıkların kas MDA, SOD ve CAT düzeyleri (7.49 ± 1.48 nmol/mg, 48.90 ± 2.77 U/mg prot ve 79.05 ± 7.47 U/mg prot.) temiz bölgeden avlanan balıkların KC MDA, SOD ve CAT düzeylerine (6.71 ± 0.04 nmol/mg, 35.52 ± 5.73 ve 63.59 ± 6.43) göre daha yüksek bulunmuştur. Fatima vd (2015), ağır metal içeriği açısından yüksek oranda kirlilik gösteren Kali (Hindistan) nehri ve referans bölgeden temin edilen 2 farklı balık türünün kas, beyin, ciğer, solungaç ve böbrek dokularında Cd, Ni, Pb ve Cr düzeylerini ve ayrıca SOD, CAT, GSH, lipid peroksidasyonu gibi antioksidant sistem parametrelerini araştırmışlardır. Kirliliği yüksek olan balıkların tüm dokularında SOD, CAT ve lipid peroksidasyon düzeyi referans bölgeye göre oldukça yüksek bulunmuştur. Bizim çalışmamızda hem kas dokusu CAT aktiviteleri hem de Karaciğer dokusu CAT aktivitelerinin kirlilik düzeyinin yüksek olduğu Samandağ ve Demirköprü istasyonlarında daha yüksek bulunmuştur.

Ağır metal birikimindeki artışa bağlı olarak süperoksit anyonunda meydana gelen artış SOD tarafından hidrojen peroksite dönüştürülmek suretiyle bertaraf edilir. Bu nedenle meydana gelen SOD düzeyindeki artışa ek olarak, CAT düzeyindeki artış da H₂O₂'nin artan miktarına bir tepkidir. Dolayısı ile oksidatif strese karşı ilk savunma hattında bulunan SOD ve CAT enzim aktivitelerinin artışı, ROT'e karşı artışı adaptif bir tepkinin göstergesidir (Arojoye vd. 2018). Ancak ROT bileşenlerine uzun süreli maruziyet başta DNA, lipid ve proteinler olmak üzere biyokimyasal moleküllerde hasara yol açar. Dolayısı ile oksidatif strese uzun süreli maruziyet sözkonusu olduğunda antioksidant sistem etkinliğinde düşme gözlemlenebilir. Bu durum metallere kaynaklanan serbest radikallerin balıkların antioksidant sisteminin başa çıkamayacağı kadar çok olmasıyla açıklanabilir (Padmini vd. 2008).

4.4 Komet Analizi (Tek Hücre Jel Elektrophorez Yöntemi) ile Genotoksisite Testi

Bu araştırma kapsamında 2017 yılına ait mevsimsel olarak örneklenen *Clarias gariepinus*'un solungaç dokusunda belirlenen DNA hasarı sonuçları Tablo 21'de verilmiştir. Araştırma sonucunda solungaç dokudan elde edilen tüm DNA hasar verileri (Baş uzunluğu, Kuyruk uzunluğu, Baş yoğunluğu, Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti, Total alan ve kuyruk göçü) varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Öncelikle verilerin normal dağılıp dağılmadığına bakılmış, ayrıca Levene's testi ile varyans homojenitesi incelenmiştir. Daha sonra kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemlerinde, istasyonlar arası balık dokularında farklılık olup olmadığı ANOVA ile test edilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları yine Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. 2017 yılı Asi Nehri'nden mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (*Clarias gariepinus*)'ın solungaç dokusunda saptanan DNA hasar sonuçları (Ortalama±Standart hata) (n=10 birey).

	İSTASYONLAR		
	Demirköprü	Samandağ	Karasu (Referans)
KIŞ			
Baş uzunluğu (µm)	24,032±0,337 ^a	25,997±0,382 ^a	24,044±0,278 ^a
Kuyruk uzunluğu (µm)	19,728±0,380 ^b	20,473±0,383 ^b	17,497±0,298 ^a
Baş yoğunluğu (%)	92,924±0,789 ^b	88,735±1,134 ^a	92,570±0,778 ^b
Kuyruk yoğunluğu (%)	7,075±0,789 ^a	11,264±1,134 ^b	7,429±0,778 ^a
Kuyruk momenti (µm)	0,877±0,101 ^a	1,333±0,135 ^b	0,820±0,091 ^a
Total Alan (µm ²)	64,532±1,542 ^{ab}	63,015±1,475 ^a	67,766±1,181 ^b
Kuyruk göçü	7,712±0,351 ^b	7,485±0,384 ^b	5,474±0,310 ^a
İLKBAHAR			
Baş uzunluğu (µm)	25,132±0,206 ^a	27,005±0,214 ^b	27,613±0,189 ^c
Kuyruk uzunluğu (µm)	20,971±0,252 ^c	19,241±0,211 ^b	18,536±0,193 ^a
Baş yoğunluğu (%)	88,951±0,567 ^a	87,615±0,542 ^a	91,772±0,406 ^b
Kuyruk yoğunluğu (%)	11,049±0,568 ^b	12,384±0,543 ^b	8,228±0,406 ^a
Kuyruk momenti (µm)	1,381±0,072 ^b	1,485±0,072 ^b	0,981±0,051 ^a
Total Alan (µm ²)	66,421±1,109 ^c	62,078±1,171 ^b	56,118±1,081 ^a
Kuyruk göçü	8,405±0,239 ^c	5,739±0,181 ^b	4,729±0,161 ^a
YAZ			
Baş uzunluğu (µm)	23,886±0,357 ^a	23,784±0,313 ^a	23,088±0,200 ^a
Kuyruk uzunluğu (µm)	23,300±0,364 ^b	22,474±0,324 ^b	16,318±0,224 ^a
Baş yoğunluğu (%)	83,963±0,946 ^a	85,019±0,946 ^a	90,110±0,612 ^b
Kuyruk yoğunluğu (%)	16,036±0,946 ^b	14,980±0,778 ^b	9,889±0,612 ^a
Kuyruk momenti (µm)	2,208±0,133 ^b	2,021±0,109 ^b	1,041±0,071 ^a
Total Alan (µm ²)	57,128±1,372 ^a	60,114±1,216 ^a	65,728±1,079 ^b
Kuyruk göçü	11,697±0,378 ^b	10,843±0,330 ^b	4,774±0,207 ^a
SONBAHAR			
Baş uzunluğu (µm)	22,641±0,414 ^b	23,070±0,351 ^b	20,344±0,520 ^a
Kuyruk uzunluğu (µm)	26,134±0,500 ^b	27,425±0,473 ^b	22,272±0,423 ^a
Baş yoğunluğu (%)	84,375±1,073 ^a	82,253±1,072 ^a	85,357±1,579 ^a
Kuyruk yoğunluğu (%)	15,624±1,073 ^a	17,746±1,072 ^a	14,642±1,579 ^a
Kuyruk momenti (µm)	2,300±0,172 ^b	2,753±0,174 ^b	1,730±0,158 ^a
Total Alan (µm ²)	56,446±1,360 ^b	49,689±1,142 ^a	56,377±1,136 ^b
Kuyruk göçü	14,813±0,520 ^b	15,890±0,494 ^b	12,105±0,505 ^a

* Aynı satırda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistikî olarak önemlidir. (p<0,001).

Kış mevsimi için değerlendirmeye alınan ilk parametre olan baş uzunluğu, Karasu istasyonunda (referans noktası) $24,044 \pm 0,278 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $24,032 \pm 0,337$ ve $25,997 \pm 0,382 \mu\text{m}$ hesaplanmıştır. Kuyruk uzunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $17,497 \pm 0,298 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $19,728 \pm 0,380$ ve $20,473 \pm 0,383 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir. Baş yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $\% 92,570 \pm 0,778$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $\% 92,924 \pm 0,789$ ve $\% 88,735 \pm 1,134$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $\% 7,429 \pm 0,778$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $\% 7,075 \pm 0,789$ ve $\% 11,264 \pm 1,134$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk momenti; Karasu istasyonunda (referans noktası) $0,820 \pm 0,091 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $0,877 \pm 0,101$ ve $1,333 \pm 0,135 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Son olarak; Kuyruk göçü; Karasu istasyonunda (referans noktası) $5,474 \pm 0,310$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $7,712 \pm 0,351$ ve $7,485 \pm 0,384$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, kış mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında baş uzunluğu (BU) ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p > 0,05$); Kuyruk uzunluğu, Baş yoğunluğu, Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti, Total alan ve Kuyruk göçü değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,001$) (Tablo 21).

Kış mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç doku DNA hasar düzeylerini bakımından; en yüksek DNA hasarları Demirköprü ve Samandağ istasyonlarında tespit edilmiştir. Kuyruk uzunluğu ($20,473 \pm 0,383 \mu\text{m}$) ve kuyruk yoğunluğu (%T-DNA) ($\% 11,264 \pm 1,134$) bakımından Samandağ istasyonu istatistiki anlamda farklı çıkarken ($P < 0,001$), kuyruk göçü miktarı bakımından Demirköprü istasyonunda DNA hasar oranı ($7,712 \pm 0,351$) yüksek çıkmıştır. Fakat Demirköprü ile Samandağ istasyonu arasında kuyruk göçü açısından istatistiksel anlamda farklılık çıkmadığı için genel anlamda kış mevsiminde DNA hasar düzeyi en yüksek bölge olarak Samandağ istasyonu tespit edilmiştir. Yine kış döneminde Asi Nehri'nden örneklenen karabalıkların solungaç dokularında saptanan farklı düzeydeki DNA hasarınının Floresan mikroskoptaki görüntüleri Şekil 12'de verilmiştir.

İlkbahar mevsimi için değerlendirmeye alınan ilk parametre olan baş uzunluğu, Karasu istasyonunda (referans noktası) $27,613 \pm 0,189 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $25,132 \pm 0,206$ ve $27,005 \pm 0,214 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. İkinci parametremiz olan Kuyruk uzunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $18,536 \pm 0,193 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $20,971 \pm 0,252$ ve $19,241 \pm 0,211 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Baş yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $\% 91,772 \pm 0,406$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda

(Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla %88,951±0,567 ve % 91,237±0,425 olarak hesaplanmıştır. Kuyruk yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) %8,228±0,406 olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla %11,049±0,568 ve % 12,384±0,543 olarak hesaplanmıştır. Kuyruk momenti; referans noktasında 0,981±0,051 μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla 1,381±0,072 ve 1,485±0,072 μm olarak hesaplanmıştır. Kuyruk göçü; referans noktasında 4,729±0,161 olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla 8,405±0,239 ve 5,739±0,181 olarak hesaplanmıştır. Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, ilkbahar döneminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında; Baş uzunluğu, Kuyruk uzunluğu, Baş yoğunluğu, Kuyruk yoğunluğu, Kuruk momenti, Total alan ve Kuyruk göçü değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,001$) (Tablo 21).

ilkbahar mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç doku DNA hasar düzeylerini bakımından; en yüksek DNA hasarları Demirköprü ve Samandağ istasyonlarında tespit edilmiştir. Kuyruk uzunluğu (20,971±0,252 μm) ve göçü (8,405±0,239) bakımından Demirköprü istasyonu istatistiki anlamda farklı çıkarken ($P<0,001$); kuyruk yoğunluğu (%12,384±0,543) ve kuyruk momenti (1,485±0,072 μm) bakımından da Samandağ istasyonunda DNA hasarı yüksek çıkmıştır. Bu iki parametre açısından Demirköprü ve Samandağ istasyonu arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemsiz çıktığı için genel anlamda ilkbahar mevsiminde DNA hasar düzeyi en yüksek bölge olarak Samandağ istasyonu tespit edilmiştir. Ayrıca kış mevsimine göre ilkbahar ile birlikte istasyonlardaki DNA hasar düzeylerindeki artış dikkati çekmiştir. Yine ilkbahar döneminde Asi Nehri'nden örneklenen karabalıkların solungaç dokularında saptanan farklı düzeydeki DNA hasarınının Floresan mikroskoptaki görüntüleri Şekil 13'de verilmiştir. Yine ilkbahar döneminde Asi Nehri'nden örneklenen karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularında saptanan farklı düzeydeki DNA hasarınının Floresan mikroskoptaki görüntüleri Şekil 13'de verilmiştir.

Yaz mevsimi için değerlendirmeye alınan ilk parametre olan baş uzunluğu, Karasu istasyonunda (referans noktası) 23,088±0,200 μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla 23,886±0,357 ve 23,784±0,313 μm olarak hesaplanmıştır. İkinci parametremiz olan Kuyruk uzunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) 16,318±0,224 μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla 23,300±0,364 ve 22,474±0,324 μm olarak hesaplanmıştır. Baş yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) % 90,110±0,612 olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla % 83,963±0,946 ve % 85,019±0,946 olarak hesaplanmıştır. Kuyruk yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) % 9,889±0,612 olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla % 16,036±0,946 ve % 14,980±0,778 hesaplanmıştır. Kuyruk momenti; referans noktasında 1,041±0,071 μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda

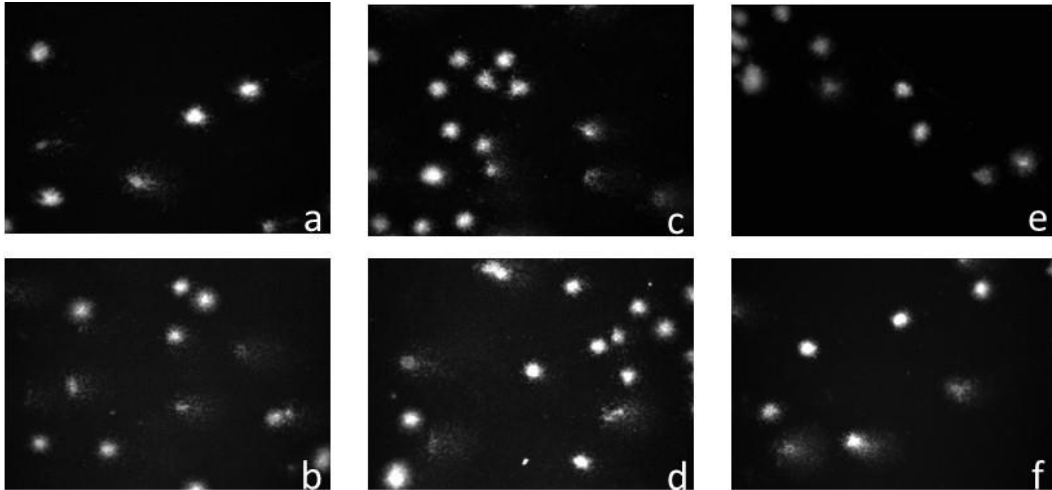
(Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $2,208\pm 0,133$ ve $2,021\pm 0,109$ μm olarak hesaplanmıştır. Kuyruk göçü; Karasu istasyonunda (referans noktası) $4,774\pm 0,207$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $11,697\pm 0,378$ ve $10,843\pm 0,330$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, yaz mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında baş uzunluğu ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$); Kuyruk uzunluğu, Baş yoğunluğu, Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti, Total alan ve Kuyruk göçü değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,001$) (Tablo 21).

Yaz mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç doku DNA hasar düzeylerini bakımından; Kuyruk uzunluğu ($23,300\pm 0,364$ μm), kuyruk yoğunluğu ($\%16,036\pm 0,946$), kuyruk momenti ($2,208\pm 0,133$ μm) ve kuyruk göçü ($11,697\pm 0,378$) ile en yüksek DNA hasarı Demirköprü istasyonunda tespit edilmiştir. Bu parametreler açısından Demirköprü istasyonu ile referans noktası arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemli çıkarken ($P<0,001$), Samandağ istasyonundaki DNA hasarı ile benzer bulunmuştur. Bu bağlamda yaz mevsimindeki DNA hasar düzeyi en yüksek bölge olarak Demirköprü istasyonu tespit edilmiştir. Ayrıca kış ve ilkbahar mevsimlerine göre referans noktası hariç bu iki istasyondaki DNA hasar düzeylerindeki artış dikkati çekmiştir. Yine yaz döneminde Asi Nehri'nden örneklenen karabalıkların solungaç dokularında saptanan farklı düzeydeki DNA hasarınının Floresan mikroskoptaki görüntüleri Şekil 14'de verilmiştir.

Sonbahar mevsimi için değerlendirmeye alınan ilk parametre olan baş uzunluğu, Karasu istasyonda (referans noktası) $20,344\pm 0,520$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $22,641\pm 0,414$ ve $23,070\pm 0,351$ μm olarak hesaplanmıştır. İkinci parametremiz olan Kuyruk uzunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $22,272\pm 0,423$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $26,134\pm 0,500$ ve $27,425\pm 0,473$ μm olarak hesaplanmıştır. Baş yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $\% 85,357\pm 1,579$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $\% 84,375\pm 1,073$ ve $\% 82,253\pm 1,072$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $\% 14,642\pm 1,579$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $\% 15,624\pm 1,073$ ve $\% 17,746\pm 1,072$ hesaplanmıştır. Kuyruk momenti; referans noktasında $1,730\pm 0,158$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $2,300\pm 0,172$ ve $2,753\pm 0,174$ μm olarak hesaplanmıştır. Kuyruk göçü; Karasu istasyonunda (referans noktası) $12,105\pm 0,505$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $14,813\pm 0,520$ ve $15,890\pm 0,494$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, sonbahar mevsiminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında Baş yoğunluğu ve Kuyruk yoğunluğu ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$); Baş

uzunluğu, Kuyruk uzunluğu, Kuyruk momenti, Total alan ve Kuyruk göçü değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,001$) (Tablo 21).

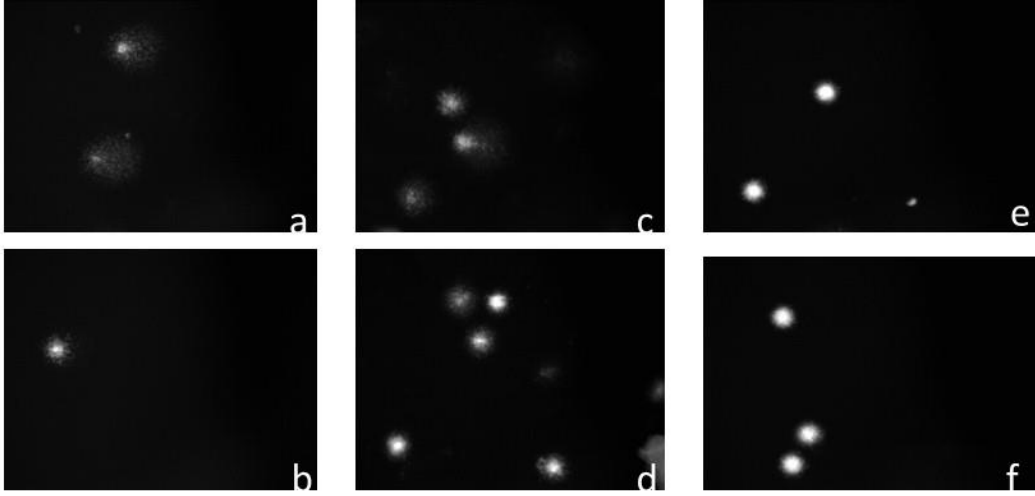
Sonbahar mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç doku DNA hasar düzeylerini bakımından; Kuyruk uzunluğu ($27,425\pm 0,473\mu\text{m}$), kuyruk yoğunluğu ($\%17,746\pm 1,072$), kuyruk momenti ($2,753\pm 0,174\mu\text{m}$) ve kuyruk göçü ($15,890\pm 0,494$) ile en yüksek DNA hasarı Samandağ istasyonunda tespit edilmiştir. Bu parametreler açısından samandağ istasyonu ile referans noktası arasındaki farklılık istatistiksel anlamda önemli çıkarken ($P<0,001$), Demirköprü istasyonundaki DNA hasarı ile benzer bulunmuştur. Bu bağlamda sonbahar mevsimindeki DNA hasar düzeyi en yüksek bölge olarak Samandağ istasyonu tespit edilmiştir. Ayrıca kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerine göre referans noktası hariç bu iki istasyondaki DNA hasar düzeylerindeki artış dikkati çekmiştir. Mevsimsel olarak Solungaç dokudaki DNA hasarı en yüksek Sonbahar mevsiminde tespit edilmiş olup bunu yaz ve sonrasında ilkbahar mevsimi izlemiştir. En düşük hasar düzeyi, Kış mevsiminde belirlenmiştir. Yine sonbahar döneminde Asi Nehri'nden örneklenen karabalıkların solungaç dokularında saptanan farklı düzeydeki DNA hasarının Floresan mikroskoptaki görüntüleri Şekil 15'de verilmiştir.



a: Demirköprü İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; b: Demirköprü İstasyonu Solungaç dokusuna ait; c: Samandağ İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; d: Samandağ İstasyonu Solungaç dokusuna ait; e: Karasu İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; f: Karasu İstasyonu Solungaç dokusuna ait;

KIŞ DÖNEMİ

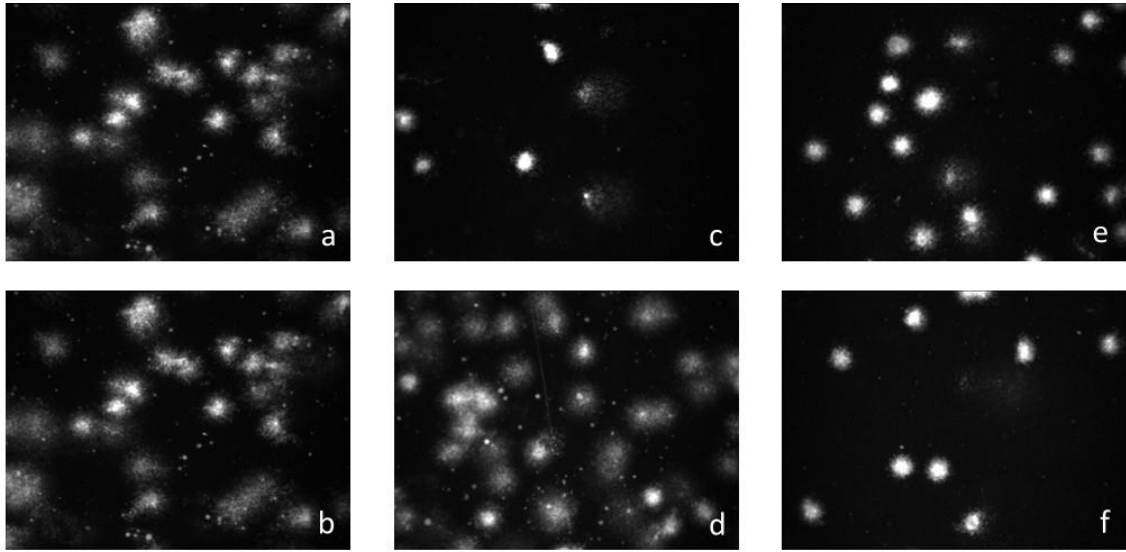
Şekil 12. Asi Nehri'nden kış mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularına ait DNA hasarının Floresan mikroskoptaki görüntüleri



a: Demirköprü İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; b: Demirköprü İstasyonu Solungaç dokusuna ait; c: Samandağ İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; d: Samandağ İstasyonu Solungaç dokusuna ait; e: Karasu İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; f: Karasu İstasyonu Solungaç dokusuna ait;

İLKBAHAR DÖNEMİ

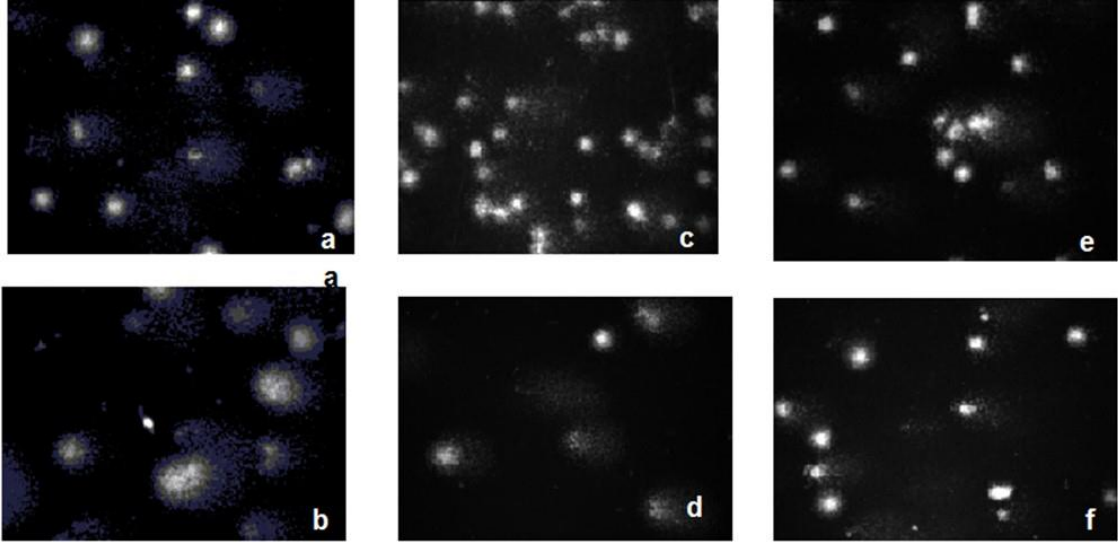
Şekil 13. Asi Nehri'nden ilkbahar mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularına ait DNA hasarının Floresan mikroskoptaki görüntüleri



a: Demirköprü İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; b: Demirköprü İstasyonu Solungaç dokusuna ait; c: Samandağ İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; d: Samandağ İstasyonu Solungaç dokusuna ait; e: Karasu İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; f: Karasu İstasyonu Solungaç dokusuna ait;

YAZ DÖNEMİ

Şekil 14. Asi Nehri'nden yaz mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularına ait DNA hasarının Floresan mikroskoptaki görüntüleri



a: Demirköprü İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; b: Demirköprü İstasyonu Solungaç dokusuna ait; c: Samandağ İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; d: Samandağ İstasyonu Solungaç dokusuna ait; e: Karasu İstasyonu Karaciğer dokusuna ait; f: Karasu İstasyonu Solungaç dokusuna ait;

SONBAHAR DÖNEMİ

Şekil 15. Asi Nehri'nden sonbahar mevsiminde örneklenen karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularına ait DNA hasarınının Floresan mikroskoptaki görüntüleri

Bu araştırma kapsamında 2017 yılına ait mevsimsel olarak örneklenen *Clarias gariepinus*'un karaciğer dokusunda belirlenen DNA hasarı oranları Tablo 22'de verilmiştir.

Araştırma sonucunda karaciğer dokudan elde edilen tüm DNA hasar verileri (Baş uzunluğu, Kuyruk uzunluğu, Baş yoğunluğu, Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti, Total alan ve kuyruk göçü) varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Öncelikle verilerin normal dağılıp dağılmadığına bakılmış, ayrıca Levene's testi ile varyans homojenitesi incelenmiştir. Daha sonra kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemlerinde, istasyonlar arası farklılık olup olmadığı ANOVA ile test edilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları yine Tablo 22. 'de verilmiştir.

Tablo 22. 2017 yılı Asi Nehri'nden mevsimsel olarak örneklenen Karabalık (*Clarias gariepinus*)'ın karaciğer dokusunda saptanan DNA hasar sonuçları (Ortalama±Standart hata) (n=10 birey).

	İSTASYONLAR		
	Demirköprü	Samandağ	Karasu (Referans)
KIŞ			
Baş uzunluğu (µm)	22,430±0,207 ^a	24,765±0,260 ^b	22,991±0,191 ^a
Kuyruk uzunluğu (µm)	15,260±0,288 ^a	18,891±0,330 ^b	15,718±0,267 ^a
Baş yoğunluğu (%)	93,599±0,627 ^b	88,046±0,737 ^a	89,667±0,655 ^a
Kuyruk yoğunluğu (%)	6,400±0,627 ^a	11,953±0,737 ^b	10,322±0,655 ^b
Kuyruk momenti (µm)	0,667±0,074 ^a	1,358±0,092 ^c	1,057±0,072 ^b
Total Alan (µm ²)	66,037±1,976 ^a	64,878±1,536 ^a	77,223±1,421 ^b
Kuyruk göçü	4,044±0,259 ^a	6,508±0,339 ^b	4,223±0,255 ^a
İLKBAHAR			
Baş uzunluğu (µm)	25,085±0,172 ^{ab}	25,489±0,181 ^b	24,879±0,176 ^a
Kuyruk uzunluğu (µm)	17,862±0,212 ^c	17,090±0,169 ^b	16,018±0,145 ^a
Baş yoğunluğu (%)	88,579±0,476 ^a	91,237±0,425 ^b	91,178±0,452 ^b
Kuyruk yoğunluğu (%)	11,420±0,476 ^b	8,763±0,425 ^a	8,822±0,452 ^a
Kuyruk momenti (µm)	1,337±0,069 ^b	1,001±0,053 ^a	0,887±0,049 ^a
Total Alan (µm ²)	63,020±1,259 ^a	59,836±1,212 ^a	73,876±1,269 ^b
Kuyruk göçü	5,319±0,181 ^c	4,334±0,151 ^b	3,578±0,111 ^a
YAZ			
Baş uzunluğu (µm)	24,202±0,336 ^{ab}	23,413±0,305 ^a	24,653±0,275 ^b
Kuyruk uzunluğu (µm)	21,033±0,368 ^b	20,455±0,332 ^b	16,909±0,214 ^a
Baş yoğunluğu (%)	82,224±0,796 ^a	82,944±0,793 ^a	90,278±0,588 ^b
Kuyruk yoğunluğu (%)	17,775±0,796 ^b	17,055±0,793 ^b	9,721±0,588 ^a
Kuyruk momenti (µm)	2,366±0,116 ^b	2,180±0,112 ^b	1,079±0,074 ^a
Total Alan (µm ²)	49,176±0,856 ^b	54,123±1,082 ^c	45,201±1,001 ^a
Kuyruk göçü	8,932±0,423 ^b	8,748±0,382 ^b	4,582±0,225 ^a
SONBAHAR			
Baş uzunluğu (µm)	20,424±0,518 ^{ab}	21,797±0,732 ^b	18,764±0,529 ^a
Kuyruk uzunluğu (µm)	19,475±0,692 ^b	18,960±0,699 ^b	14,363±0,324 ^a
Baş yoğunluğu (%)	84,174±1,117 ^a	84,567±1,280 ^a	85,319±1,531 ^a
Kuyruk yoğunluğu (%)	15,825±1,117 ^a	15,432±1,280 ^a	14,680±1,531 ^a
Kuyruk momenti (µm)	1,799±0,148 ^a	1,597±0,136 ^a	1,403±0,149 ^a
Total Alan (µm ²)	74,175±2,309 ^b	63,765±3,155 ^a	78,487±4,503 ^b
Kuyruk göçü	9,263±0,608 ^b	8,061±0,745 ^b	4,981±0,189 ^a

* Aynı satırda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistikî olarak önemlidir. (p<0,001)

Kış mevsimi için değerlendirmeye alınan ilk parametre olan baş uzunluğu, Karasu istasyonu (referans noktası) ise $22,991\pm 0,191$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $22,430\pm 0,207$ ve $24,765\pm 0,260$ μm olarak hesaplanmıştır. Kuyruk uzunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $15,718\pm 0,267$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise $15,260\pm 0,288$ ve $18,891\pm 0,330$ μm olarak hesaplanmıştır. Baş yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) % $89,667\pm 0,655$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla % $93,599\pm 0,627$ ve % $88,046\pm 0,737$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk yoğunluğu; Karasu istasyonda (referans noktası) % $10,322\pm 0,655$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla % $6,400\pm 0,627$ ve % $11,953\pm 0,737$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk momenti; Karasu istasyonunda (referans noktası) $1,057\pm 0,072$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $0,667\pm 0,074$ ve $1,358\pm 0,092$ μm olarak hesaplanmıştır. Son olarak Kuyruk göçü; Karasu istasyonunda (referans noktası) $4,223\pm 0,255$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ istasyonları) ise sırasıyla $4,044\pm 0,259$ ve $6,508\pm 0,339$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, kış döneminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında tüm parametre değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,001$) (Tablo 22).

Kış mevsiminde örneklenen karabalıkların karaciğer doku DNA hasar düzeylerini bakımından; en yüksek DNA hasarı Kuyruk uzunluğu ($18,891\pm 0,330\mu\text{m}$), kuyruk yoğunluğu (% $11,953\pm 0,737$), kuyruk momenti ($1,358\pm 0,092$ μm) ve kuyruk göçü ($6,508\pm 0,339$) ile Samandağ istasyonunda tespit edilmiştir. Bu parametreler açısından Samandağ istasyonundaki hasar hem referans noktası hem de Demirköprü istasyonundan istatistiki anlamda önemli bulunmuştur ($P<0,001$). Yine kış döneminde Asi Nehri'nden örneklenen karabalıkların solungaç dokularında saptanan farklı düzeydeki DNA hasarınının Floresan mikroskoptaki görüntüleri Şekil 12'de verilmiştir.

İlkbahar mevsimi için değerlendirmeye alınan ilk parametre olan baş uzunluğu, Karasu istasyonunda (referans noktası) $24,879\pm 0,176$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $25,085\pm 0,172$ ve $25,489\pm 0,181$ μm olarak hesaplanmıştır. İkinci parametremiz olan Kuyruk uzunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $16,018\pm 0,145\mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $17,862\pm 0,212$ ve $17,090\pm 0,169$ μm olarak hesaplanmıştır. Baş yoğunluğu; referans noktasında % $91,178\pm 0,452$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise % $88,579\pm 0,476$ ve % $91,237\pm 0,425$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk yoğunluğu; referans noktasında % $8,822\pm 0,452$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise % $11,420\pm 0,476$ ve % $8,763\pm 0,425$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk momenti; Karasu istasyonunda (referans noktası) $0,887\pm 0,049$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise $1,337\pm 0,069$ ve $1,001\pm 0,053$ μm olarak hesaplanmıştır. Kuyruk

göçü; Karasu istasyonunda (referans noktası) $3,578\pm 0,111$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $5,319\pm 0,181$ ve $4,334\pm 0,151$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, ilkbahar döneminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında tüm parametre değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,001$) (Tablo 22).

İlkbahar mevsiminde örneklenen karabalıkların karaciğer doku DNA hasar düzeylerini bakımından; en yüksek DNA hasarı Kuyruk uzunluğu ($17,862\pm 0,212\mu\text{m}$), kuyruk yoğunluğu ($\%11,420\pm 0,476$), kuyruk momenti ($1,337\pm 0,069\mu\text{m}$) ve kuyruk göçü ($5,319\pm 0,181$) ile Demirköprü istasyonunda tespit edilmiştir. Bu parametreler açısından Demirköprü istasyonundaki hasar hem referans noktası hem de Samandağ istasyonundan istatistiki anlamda önemli bulunmuştur ($P<0,001$). Ayrıca Demirköprü istasyonundaki hasar kış mevsimine göre ilkbahar daha yüksek çıkmıştır. Yine ilkbahar döneminde Asi Nehri'nden örneklenen karabalıkların solungaç dokularında saptanan farklı düzeydeki DNA hasarınının Floresan mikroskoptaki görüntüleri Şekil 13'de verilmiştir.

Yaz mevsimi için değerlendirmeye alınan ilk parametre olan baş uzunluğu, Karasu istasyonunda (referans noktası) $24,653\pm 0,275\mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda ise sırasıyla $24,202\pm 0,336$ ve $23,413\pm 0,305\mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. İkinci parametremiz olan Kuyruk uzunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $16,909\pm 0,214\mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $21,033\pm 0,368$ ve $20,455\pm 0,332\mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Baş yoğunluğu; referans noktasında $\%90,278\pm 0,588$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $\%82,224\pm 0,796$ ve $\%82,944\pm 0,793$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $\%9,721\pm 0,588$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $\%17,775\pm 0,796$ ve $\%17,055\pm 0,793$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk momenti; Karasu istasyonunda (referans noktası) $1,079\pm 0,074\mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $2,366\pm 0,116$ ve $2,180\pm 0,112\mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk göçü; referans noktasında $4,582\pm 0,225$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $8,932\pm 0,423$ ve $8,748\pm 0,382$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, yaz döneminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında tüm parametre değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,001$) (Tablo 22).

Yaz mevsiminde örneklenen karabalıkların karaciğer doku DNA hasar düzeylerini bakımından; en yüksek DNA hasarı Kuyruk uzunluğu ($21,033\pm 0,368\mu\text{m}$), kuyruk yoğunluğu ($\%17,775\pm 0,796$), kuyruk momenti ($2,366\pm 0,116\mu\text{m}$) ve kuyruk göçü ($8,932\pm 0,423$) ile Demirköprü istasyonunda tespit edilmiştir. Bu parametreler açısından Demirköprü istasyonundaki hasar referans istasyonundan istatistiki anlamda önemli çıkmış iken Samandağ istasyonu ile benzer bulunmuştur. Ayrıca Demirköprü istasyonundaki hasar kış ve ilkbahar mevsimine göre daha yüksek çıkmıştır.

Yine yaz döneminde Asi Nehri'nden örneklenen karabalıkların solungaç dokularında saptanan farklı düzeydeki DNA hasarınının Floresan mikroskoptaki görüntüleri Şekil 14'de verilmiştir.

Sonbahar mevsimi için değerlendirmeye alınan ilk parametre olan baş uzunluğu, Karasu istasyonunda (referans noktası) $18,764 \pm 0,529$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda ise sırasıyla $20,424 \pm 0,518$ ve $21,797 \pm 0,732$ μm olarak hesaplanmıştır. İkinci parametremiz olan Kuyruk uzunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $14,363 \pm 0,324$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $19,475 \pm 0,692$ ve $18,960 \pm 0,699$ μm olarak hesaplanmıştır. Baş yoğunluğu; referans noktasında $\% 85,319 \pm 1,531$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $\%84,174 \pm 1,117$ ve $\% 84,567 \pm 1,280$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk yoğunluğu; Karasu istasyonunda (referans noktası) $\% 14,680 \pm 1,531$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $\% 15,825 \pm 1,117$ ve $\% 15,432 \pm 1,280$ olarak hesaplanmıştır. Kuyruk momenti; Karasu istasyonunda (referans noktası) $1,403 \pm 0,149$ μm olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $1,799 \pm 0,148$ ve $1,597 \pm 0,136$ μm olarak hesaplanmıştır. Kuyruk göçü; referans noktasında $4,981 \pm 0,189$ olarak hesaplanmıştır. Diğer iki istasyonda (Demirköprü ve Samandağ) ise sırasıyla $9,263 \pm 0,608$ ve $8,061 \pm 0,745$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, sonbahar döneminde istasyonlar arası yapılan karşılaştırmaya bakıldığında Baş yoğunluğu, Kuyruk yoğunluğu ve kuyruk momenti ortalamaları bakımından istasyonlar arasında istatistiksel bir farklılık bulunmazken ($p > 0,05$); diğer değerlerdeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,001$) (Tablo 22).

Sonbahar mevsiminde örneklenen karabalıkların karaciğer dokusuna ait DNA hasar düzeyleri bakımından; Kuyruk uzunluğu ($19,475 \pm 0,692$ μm), kuyruk yoğunluğu ($\%15,825 \pm 1,117$), kuyruk momenti ($1,799 \pm 0,148$ μm) ve kuyruk göçü ($9,263 \pm 0,608$) ile en yüksek DNA hasarı Demirköprü istasyonunda tespit edilmiştir. Bu parametreler açısından Demirköprü istasyonu ile referans noktası arasındaki farklılık istatistiksel anlamda önemli çıkarken ($P < 0,001$), Samandağ istasyonundaki DNA hasarı ile benzer bulunmuştur. Bu bağlamda sonbahar mevsimindeki DNA hasar düzeyi en yüksek bölge olarak Demirköprü istasyonu olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerine göre referans noktası hariç bu iki istasyondaki DNA hasar düzeylerindeki artış dikkati çekmiştir. Mevsimsel olarak karaciğer dokudaki DNA hasarı en yüksek Sonbahar mevsiminde tespit edilmiş olup bunu yaz ve sonrasında ilkbahar mevsimi izlemiştir. En düşük hasar düzeyi, Kış mevsiminde belirlenmiştir. Yine sonbahar döneminde Asi Nehri'nden örneklenen karabalıkların solungaç dokularında saptanan farklı düzeydeki DNA hasarınının Floresan mikroskoptaki görüntüleri Şekil 15'de verilmiştir.

Ekotoksikolojik çalışmalarda çevresel kirliliğin indikatörü olarak yerli faunadaki toksik cevabı araştırmak önemlidir. Yapılan literatür çalışmalarında en yaygın izlenen biyoindikatör organizmalar

arasında çift kabuklular (midye, istridye, deniz tarağı vb.) ile birlikte balıklarda bulunmaktadır. Özellikle, bulunduğu ekosistem içerisindeki trofik seviyelerde bir takım roller oynaması, toksik maddeleri bünyesinde biriktirmesi ve kontaminantların düşük konsantrasyonlarında bile hücre bazda cevap vermesinden dolayı balıklar genellikle biyoindikatör tür olarak kullanılır. Balık türleri vücut büyüklüğü, uzun yaşam süresi, kolaylıkla çoğalabilmeleri gibi özel biyolojik karakterleri nedeniyle su kirliliğinin biyoizlenmesinde oldukça fazla kullanılmaktadır. Daha da önemlisi balık türleri sucul besin zincirinin en üst kısmında bulunduğu için besin zinciri yoluyla insan sağlığını doğrudan etkilemesi özelliği nedeniyle de balıkların biyoizleme çalışmalarında kullanılması önem teşkil etmektedir (Göney, 2016). Balıklarda DNA zararının tespitinde solungaç, karaciğer, sperm, kas, böbrek, beyin gibi çeşitli dokular yaygın olarak incelenebilmekte olup bu dokular arasında solungaç ve karaciğer en çok izlenen dokular grubunda yer almaktadır (Al-Sabti, 1995; Rajaguru vd., 2003; Ateeq vd., 2005; Klobučar vd. 2010; Fatima vd. 2015). Yine, Frenzilli vd. (2009) tarafından balıklarda metabolik aktivitelerinden ve kontaminantlardan direkt olarak etkilenmesinden dolayı en çok izlenen dokuların başında karaciğerin geldiği bildirilmiştir. Yukarıdaki literatürler göz önünde bulundurularak bu çalışma kapsamından karaciğer ve solungaç olmak üzere iki temel doku da izleme çalışması yapılmıştır.

Yapılan araştırma sonucunda genel anlamda solungaç dokudaki hasar düzeyleri karaciğer dokusuna oranla dört mevsimde de tüm göstergeler bakımından daha yüksek çıkmıştır. Javed vd. (2016), termal atık su deşarjına maruz kalan *Channa punctatus*'da biyoakümüülasyon ve genotoksik etkileri araştırmak amacıyla yürüttükleri çalışmada biyoindikatör balık türünün solungaç ve karaciğer dokusunda DNA hasar düzeyleri ile birlikte, Metal biyoakümüülasyonu, lipid peroksidasyon (LPO) ve antioksidan enzim düzeylerini (SOD katalaz (CAT), glutatyon Stransferaz (GST), indirgenmiş glutatyon (GSH)) incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, kirliliğin yüksek olduğu noktada örneklenen balıkların solungaç doku kuyruk uzunluğu 26.5 µm, referans noktada 5.11 µm iken karaciğer doku kuyruk uzunluğu kirli bölgede 20,8 µm, referans noktasında ise 4,3 µm olarak tespit edilmiş ve solungaç dokudaki hasar düzeyi karaciğer dokudan yüksek çıkmıştır. Yine araştırmamızla benzer şekilde *Channa punctatus*'u biyoindikatör olarak kullanan farklı iki DNA hasar izleme çalışmasında da solungaç dokunun böbrek ve kana göre daha hassas sonuç verdiği tespit edilmiştir (Ali vd. 2008; 2009). Proje sonucumuzda, bu bağlamda literatür bilgilerini destekler niteliktedir. Asi Nehri'nde örneklenen Karabalıkların solungaç dokularındaki hasarın karaciğer dokusuna göre yüksek çıkmasının nedeni olarak solungaçların dış ortamla doğrudan temas halinde bulunması, sudaki kirletici ile ilk bariyer olarak temas etmesi ve sindirim bezi hücreleri, hemolenf ile üreme hücrelerine göre daha yüksek yanıt verme yeteneğine sahip olmasına bağlanabilir (Wilson vd., 1998; Zou vd., 2011; Almeida vd., 2013; Heberger vd., 2014). Yine Solungaçlar, homeostatis de dahil birçok mekanizmayı kontrol etme yeteneği olan dokudur, sucul çevre ile doğrudan temas halinde bulunduğundan, çevresel faktörlerden etkilenebilmekte ayrıca gaz değişimi ve beslenme

özellikleri nedeni ile bir çok etkene maruz kalmaktadır. Bu nedenle, solungaç dokusunun yapısal paterni ve biyokimyasal profili hayvan üzerindeki çevresel kaynaklı olumsuz etkileri yansıtabilmektedir (Jha, 2008; Ciacci vd., 2012; Cappello vd., 2013; D'agata vd., 2014).

Yine yapılan çalışmalarda DNA hasarında en yaygın kullanılan parametrelerin Kuyruktaki DNA yüzdesi (%T-DNA), Kuyruk Momenti ve kuyruk göçü olduğunu ve bu parametrelerin genotoksik ajanlar ile doza bağımlı korelasyon gösterdiği bildirilmektedir (Frenzilli vd. 2009; Nwani vd. 2014). %T-DNA değeri doğrudan DNA hasarının miktarını nisbi olarak verir ve nükleustan DNA'nın göç miktarını belirler yani kuyruktaki toplam hücresel DNA içeriğinin yüzdesini ifade eder (Kumaravel ve Jha, 2006). Kuyruk momenti (μm), kuyruk uzunluğu ve kuyruk yoğunluğunun çarpımının 100'e bölünmesiyle elde edilen bir diğer önemli parametredir. Kuyruk göçü (KM_i) (Kuyruk Migrasyonu) ise, DNA'nın baş kısmının kenarından küçük saptanabilir fragmana kadar DNA göçünün uzunluğudur. (Lovell ve Omori, 2008; Frenzilli vd., 2009; Kumaravel vd., 2009; Almeida vd. 2013).

Bu noktadan hareketle tüm mevsimlere ait elde edilen farklı DNA hasar göstergelerinden en yaygın kullanılan ve kabul gören üç parametre (Kuyruk yoğunluğu (%T-DNA), Kuyruk Momenti ve Kuyruk göçü) üzerinden Asi Nehri genotoksik potansiyeli ve genotoksik ajanlarla olan korelasyonu ortaya konacaktır.

Araştırma kapsamında 2017 yılına ait Asi Nehri'nden örneklenen *C. gariepinus*'un solungaç dokularında belirlenen Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti, Kuyruk göçü sonuçları ve ortalamaları Tablo 23 'de özetlenmiştir.

Tablo 23. 2017 yılı Asi Nehri'nden örneklenen Karabalık (*Clarias gariepinus*)'in solungaç dokusuna ait Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti, Kuyruk göçü sonuçları ve ortalamaları (Ortalama± Standart hata) (n=10 birey).

İSTASYONLAR			
	Demirköprü	Samandağ	Karasu (Referans)
Kuyruk yoğunluğu (%)			
Kış	7,075±0,789 ^a	11,264±1,134 ^b	7,429±0,778 ^a
İlkbahar	11,049±0,568 ^b	12,384±0,543 ^b	8,228±0,406 ^a
Yaz	16,036±0,946 ^b	14,980±0,778 ^b	9,889±0,612 ^a
Sonbahar	15,624±1,073 ^a	17,746±1,072 ^a	14,642±1,579 ^a
Ortalama	12,578±0,603 ^b	16,014±0,710 ^c	10,833±0,516 ^a
Kuyruk momenti (µm)			
Kış	0,877±0,101 ^a	1,333±0,135 ^b	0,820±0,091 ^a
İlkbahar	1,381±0,072 ^b	1,485±0,072 ^b	0,981±0,051 ^a
Yaz	2,208±0,133 ^b	2,021±0,109 ^b	1,041±0,071 ^a
Sonbahar	2,300±0,172 ^b	2,753±0,174 ^b	1,730±0,158 ^a
Ortalama	1,782±0,939 ^b	2,202±0,110 ^c	1,318±0,068 ^a
Kuyruk göçü			
Kış	7,712±0,351 ^b	7,485±0,384 ^b	5,474±0,310 ^a
İlkbahar	8,405±0,239 ^c	5,739±0,181 ^b	4,729±0,161 ^a
Yaz	11,697±0,378 ^b	10,843±0,330 ^b	4,774±0,207 ^a
Sonbahar	14,813±0,520 ^b	15,890±0,494 ^b	12,105±0,505 ^a
Ortalama	11,428±0,305 ^b	10,704±0,360 ^b	7,469±0,283 ^a

* Aynı satırda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistikî olarak önemlidir (p<0,001)

Yapılan istatistiki değerlendirme sonucunda; referans (Karasu istasyonu) noktasındaki DNA hasarı (Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti ve Kuyruk göçü), Asi Nehri'nin Türkiye topraklarına giriş yaptığı bölge olan Demirköprü istasyonu ve yine nehrin Akdeniz'e dökülen son noktası olan Samandağ istasyonundaki DNA hasarına göre daha düşük çıkmış ve istasyonlar arasındaki farklılık istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur (p<0,001).

En yüksek DNA hasarı % 16,014±0,710 Kuyruk yoğunluğu (%T-DNA) ve 2,202±0,110 µmkuyruk momenti ile Asi Nehri'nin Samandağ istasyonunda tespit edilmiştir. Her ne kadar Demirköprü istasyonundaki Kuyruk göçü miktarı 11,428±0,305 ile Samandağ istasyonunda ki kuyruk göçü miktarından (10,704±0,360) biraz yüksek bulunmuş olsa da bu iki istasyon arasında istatistiksel anlamda önemli farklılık çıkmamıştır. Bu nedenle Samandağ istasyonu, biyoindikatör tür olarak seçilen Karabalıkların solungaç doku sonuçlarına göre hem mevsimsel hem de yıllık ortalama anlamında hasar düzeyi en yüksek istasyon olarak belirlenmiştir.

Araştırma kapsamında 2017 yılına ait Asi Nehri'nden örneklenen *C. gariepinus*'un karaciğer dokularında belirlenen Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti, Kuyruk göçü sonuçları ve ortalamaları Tablo 24'de özetlenmiştir.

Tablo 24. 2017 yılı Asi Nehri'nden örneklenen Karabalık (*Clarias gariepinus*)'ın karaciğer dokusuna ait Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti, Kuyruk göçü sonuçları ve ortalamaları (Ortalama±Standart hata) (n=10 birey).

İSTASYONLAR			
	Demirköprü	Samandağ	Karasu (Referans)
Kuyruk yoğunluğu (%)			
Kış	6,400±0,627 ^a	11,953±0,737 ^b	10,322±0,655 ^b
İlkbahar	11,420±0,476 ^b	8,763±0,425 ^a	8,822±0,452 ^a
Yaz	17,775±0,796 ^a	17,055±0,793 ^b	9,721±0,588 ^b
Sonbahar	15,825±1,117 ^a	15,432±1,280 ^a	14,680±1,531 ^a
Ortalama	12,327±0,556 ^b	13,345±0,521 ^b	10,189±0,429 ^a
Kuyruk momenti (µm)			
Kış	0,667±0,074 ^a	1,358±0,092 ^c	1,057±0,072 ^b
İlkbahar	1,337±0,069 ^b	1,001±0,053 ^a	0,887±0,049 ^a
Yaz	2,366±0,116 ^a	2,180±0,112 ^c	1,079±0,074 ^b
Sonbahar	1,799±0,148 ^a	1,597±0,136 ^a	1,403±0,149 ^a
Ortalama	1,475±0,761 ^b	1,548±0,069 ^b	1,104±0,049 ^a
Kuyruk göçü			
Kış	4,044±0,259 ^a	6,508±0,339 ^b	4,223±0,255 ^a
İlkbahar	5,319±0,181 ^c	4,334±0,151 ^b	3,578±0,111 ^a
Yaz	8,932±0,423 ^a	8,748±0,382 ^b	4,582±0,225 ^a
Sonbahar	9,263±0,608 ^b	8,061±0,745 ^b	4,981±0,189 ^a
Ortalama	6,492±0,237 ^b	6,892±0,234 ^b	4,655±0,139 ^a

* Aynı satırda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistikî olarak önemlidir.

Yapılan istatistikî değerlendirme sonucunda referans noktasındaki DNA hasarı (Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti ve Kuyruk göçü), Asi Nehri'nin Türkiye topraklarına giriş yaptığı bölge olan Demirköprü istasyonu ve yine nehrin Akdeniz'e dökülen son noktası olan Samandağ istasyonundaki DNA hasarına göre daha düşük çıkmış ve istasyonlar arasındaki farklılık istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0,001$).

En yüksek DNA hasarı % $3,345 \pm 0,521$ Kuyruk yoğunluğu (%T-DNA) ve $1,548 \pm 0,069$ µmkuyruk momenti ve $6,892 \pm 0,234$ kuyruk göçü ile Asi Nehri'nin Samandağ istasyonunda tespit edilmiştir. Solungaç doku sonuçlarıyla benzer şekilde Samandağ istasyonu, biyoindikatör tür olarak seçilen

Karabalıkların karaciğer doku sonuçlarına göre de hem mevsimsel hemde yıllık ortalama anlamında hasar düzeyi en yüksek istasyon olarak belirlenmiştir.

Mitchelmore vd. (1998)'nin yaptığı çalışmalar ışığında oluşturdukları kritere göre, DNA hasarını belirlemede kullanılan %T-DNA, <%10 dan küçükse **minimal hasar**, %10-25 arasında ise **düşük hasar**, %25-50 arasında ise **orta hasar**, %50-70 arasında **yüksek hasar** ve >%70 den büyük ise **ekstrem hasar** olarak kriterler getirmiştir (Almeida vd. 2013). Sonuçlarımız Mitchelmore vd. (1998)'nin kriterlerine göre değerlendirildiğinde tespit ettiğimiz DNA hasarları, referans noktamızda **minimal hasar sınırında** iken Asi Nehri'nin her iki istasyonunda da **Düşük Hasar** (%10-25) olarak belirlenmiştir. Mevsimsel anlamda sonbaharda en yüksek olmak üzere yaz mevsiminden itibaren Asi Nehri'ndeki örnekleme noktalarında ve referans nokta olan Karasu'da DNA hasar düzeylerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Yine istasyonlar arasında en yüksek hasarın olduğu bölge, solungaç doku DNA hasar parametreleri bakımından Asi Nehri'nin Akdeniz'e dökülen son noktası olan Samandağ istasyonu olmakla birlikte ($P<0,001$); karaciğer doku sonuçlarına göre Samandağ istasyonu DNA hasarı, Demirköprü istasyonundan yüksek olup istatistiksel anlamda farklılık önemli düzeyde çıkmamıştır ($p>0,05$). Yani Asi Nehri'nin ülkemiz topraklarına giriş yaptığı noktada da yapılan izlemelerde biyoindikatör türdeki hasar düzeyleri Samandağ istasyonuna yakın değerlerde bulunmuştur.

Asi Nehri DNA hasar parametreleri ile çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan ve hasar düzeyi ile ilişkili olabileceği ön görülen tüm parametreler arasındaki ilişki düzeyini ortaya çıkarmak için Pearson Korelasyon analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 25.'de verilmiştir.

DNA hasarı ve fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metaller arasında bir ilişki olup olmadığını tespit etmek amacı ile yapılan Pearson Korelasyon analizi sonucunda, fiziko-kimyasal parametreler ile DNA hasarı arasında anlamlı bir ilişki gözlenmezken, ağır metallerden suda tespit edilen Cd, Cr ve Ni, Pb, Co ve Cu ile pozitif güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir (Tablo 22). Bulgularımızı destekler nitelikte Biyoindikatör türdeki DNA hasar düzeyleri incelendiğinde özellikle yaz ve sonbahar döneminde kış ve ilkbahara göre tüm istasyonlarda önemli bir düzeyde artış gözlemlenmiştir. Aynı dönemlerde yukarıda sudaki metal konsantrasyonları da incelendiğinde yukarıdaki sonucumuzu destekleyen bulgulara ulaşılabilir. Öyle ki, suda ölçülen ve DNA hasarı ile pozitif güçlü bir ilişkisi belirlenen bu metallerin (Cd, Cr ve Ni, Pb, Co ve Cu) konsantrasyonlarında yaz ve ilkbahar döneminde gözle görülür yüksek bir artış tespit edilmiştir. Sudaki bu metallerle DNA hasarı arasındaki ilişki, Birinci ve İkinci Ana bileşenin grafiklendirilmesi ve parametrelerin ana bileşendeki dağılımını gösteren Şekil 16.da net bir şekilde ortaya konmuştur. Yine Karaciğer dokusunda tespit edilen Mn ile Solungaç doku Kuyruk yoğunluğu ve solungaç doku kuyruk momenti arasında pozitif güçlü bir ilişki tespit edilmiştir.

Yamamoto vd. (2016) tarafından, Güney Brezilya'da yoğun kirletici ajanlara maruz kalan Iguaçú Nehri'nin farklı istasyonlarında yürüttükleri genotoksikolojik çalışmada; istasyonlardan alınan su ve balık dokularında ağır metal (Cu, Cr, Cd, Mn, Pb ve Zn) ve PAH düzeyleri incelenmiş olup bu kirletici ajanların balıklarda DNA hasarı ile ilişkisini ortaya koymuşlardır. DNA hasar parametreleri ile çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan ve hasar düzeyi üzerinde ilişkili olabileceği ön görülen metal ve PAH parametreleri arasındaki ilişki düzeyini ortaya çıkarmak için yapılan istatistiki analizlerde DNA hasar parametreleri ile sudaki Cu, Cr, Cd, Mn, Pb arasında yüksek ilişki olduğu bildirilmiştir. Bu yönüyle araştırma sonuçlarımızı destekler niteliktedir.

Araştırma kapsamında aynı zamanda DNA hasarı ile iki metal arasında (Karaciğer Ni ve Karaciğer Co) ve yine Karaciğer katalaz düzeyi ile Cu, Fe ve Mn birikimleri arasında negatif yönde güçlü bir ilişki tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuç, çoklu metal etkileşimine bağlanabilir. Çünkü, kirlenmiş çevresel ortamlarda birçok metal yüksek konsantrasyonlarda birlikte bulunmaktadır. Bu metallerin bir arada bulunmaları bazen tek tek bulunmalarından farklı etkiler doğurabilmektedir. Bu yüzden bu elementlerin birlikte bulunmaları; sicut organizmalar tarafından alımları, birikimleri ve toksisitesi için önemli bir etken oluşturmaktadır (Naz ve Javed, 2013). Karışım halindeki metallerin alımı, rekabetçi veya rekabetçi olmayan inhibisyon gösterebilir ya da alımı hızlandırabilir. Bu etkileşimler çevresel ortamdaki metallerin konsantrasyonuna, kullanılabilirliğine, maruziyet şekli ve süresine, çalışılan deney hayvanı ve incelenen organa bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Çoklu metal ilişkilerinin Zebra balığında incelenmesi sonucunda Cd ve Pb' un alımı ortamda bulunan Cu, Ni ve Zn tarafından etkilendiği gösterilmiştir. Ayrıca özellikle Cd alımı Cu, Pb ve Zn tarafından inhibe edilirken, Ni varlığında hızlanmaktadır. Çeşitli metallerin akut toksisitesi

incelendiğinde ise Cu varlığının Ni ve Cd' un LC50 değerini arttırdığını göstermektedir (Alsop ve Wood, 2013).

Dreissena polymorpha'da Cu, Cd ve Zn' un karışım halinde ve tek tek toksisiteleri değerlendirildiğinde, metallerin karışım halinde daha toksik oldukları rapor edilmiştir (Kraak vd. 1994). *Tilapia nilotica*'nın karaciğer, solungaç ve kas dokusunda Cd ve Zn' un birlikte kullanımlarının tekli kullanıma oranla daha fazla birikime neden olduğu ortaya çıkmıştır (Kargın ve Çogun,1999). Kanev, 2016'nın yaptığı çalışmada, düşük konsantrasyonlu karışımlarda süre uzadıkça metallerin birikimi arttığı gözlenmiştir. Bununla beraber yüksek konsantrasyonlu karışımlarda 5. ve 10.günlerde artış olmuş fakat 20.günde düşüş gözlenmiş olup, uzun sürede yüksek konsantrasyonlu metal karışımları muamelelerinde metal-metal etkileşimleri veya metabolik cevabın etkili olabileceği tespit edilmiştir. Çeşitli enzim sistemlerinin ortamdaki metal konsantrasyonlarını düzenleme ve zamana bağlı olarak metallerin birikiminin tolere edilebilmesi gibi çeşitli mekanizmalar da canlının çevresel şartlara adaptasyonu için geliştirdiği tepkiler olabileceğini düşündürmektedir. Aynı şekilde Bu çalışmada katalaz ifadesinin düşük konsantrasyonlu karışımlarda 5. ve 10.günlerde giderek arttığı, yüksek konsantrasyonlu karışımlarda ise hücrenin hızla ve yüksek oranda cevap oluşturarak 10. ve 20.günlerde giderek azaldığı tespit edilmiştir.

Yine Aydoğan 2012'de yaptığı çalışmada *Pleurochaete squarrosa* (Brid.) Lindb ve *Timmiella barbuloides* (Brid.) Moenk'in ağır metal stresine verdiği cevapları araştırmış, çalışılan türlerin maruz kaldıkları metalleri bünyelerinde biriktirdikleri ve en çok biriktirilen metallerin Pb ve Ni olduğu belirtmiştir. *T. barbuloides*'te Ni ve Pb'un yüksek derecede birikimine rağmen, kuru ağırlığını azaltmaması, pigment degradasyonuna ve lipid peroksidasyonuna sebep olmaması ve antiradikal mekanizmanın etkin çalışması türün bu metallere toleransını ortaya koymuştur. *T.barbuloides*'in Ni uygulanan örneğinde ise kontrole göre anlamlı bir değişimin olmaması bu metalin aşırı bir oksidatif hasara sebep olmadığını ya da oluşan hasarı detoksifiye eden antioksidan mekanizmanın iyi çalıştığının bir göstergesi olduğu bildirilmiştir. Bu araştırma sonuçları bulgularımızla benzer nitelikte olup, negatif yöndeki korelasyonu açıklamaktadır.

DNA hasarı ile oksidatif strese bağlı fizyolojik cevap niteliğinde gelişen enzim düzeyleri arasında bir ilişki olup olmadığını tespit etmek amacı ile yapılan Pearson Korelasyon analizi sonucunda, Kas Katalaz ile solungaç kuyruk momenti ve solungaç Kuyruk göçü arasında pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. Kas SOD ile karaciğer Kuyruk göçü ve solungaç kuyruk momenti arasında yine pozitif güçlü bir ilişki gözlemlenmiştir (Tablo 25). Diğer bir oksidatif hasar göstergesi olan MDA ile solungaç kuyruk yoğunluğu ve solungaç kuyruk momenti arasında da pozitif korelasyon tespit edilmiştir (Tablo 25). Araştırmada oksidatif strese bağlı fizyolojik cevap niteliğinde gelişen enzim düzeyleri ile fiziko-kimyasal parametreler arasında bir ilişki olup olmadığını tespit etmek amacı ile

yapılan Pearson Korelasyon analizi sonucunda, fiziko-kimyasal parametrelerden nitrit ve Karaciğer SOD düzeyi arasında anlamlı bir pozitif ilişki dışında anlamlı bir ilişki gözlemlenmemiştir (Tablo 25).

Javed vd. (2016) tarafından, Satha Gölü 'nde (Hindistan) ağır metale maruz kalan *Channa punctatus* 'da yapılan çalışmada, *Channa punctatus* üzerinde metal biyoakümüasyonu ve lipid gibi biyobelirteçlerin indüklenmesine bakılmışlar ve çalışılan türde Cr, Mn, Fe ve Ni konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak peroksidasyon (LPO), süperoksitdismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon S transferaz (GST), Glutatyon (GSH) gibi enzimlerin düzeylerinin arttığını belirtmişlerdir. DNA ile eşzamanlı hasar, daha yüksek ortalama kuyruk uzunluğu ile birlikte gözlenmiştir. Araştırma sonucunda, kirlilikten dolayı gösterge türün DNA hasarına uğradığı ve antioksidan enzim düzeylerinde de paralel artış görüldüğü ve bu parametreler arasında önemli bir korelasyon olduğu belirtilmiştir. Yine, Wei vd. (2015), Pasifik beyaz karides türü olan *Litopenaeus vannamei*'de Hipoksinin genotoksik ve fizyolojik etkilerini değerlendirmek için karidesler üzerinde iç farklı oksijen konsantrasyonunu çalışmışlardır. Deneme sonrasında DNA hasar, oksidatif stres ve antioksidan cevap incelenmiştir. Oksidatif stresten dolayı Süperoksit değişiklikleri tespit edilmiş ve dismutaz (SOD) aktivitesi, glutatyon peroksidaz (GPX) aktivitesi malondialdehid (MDA) konsantrasyonunda artış olmuş ve SOD aktivitesi, GPX aktivitesi, MDA konsantrasyonu ve DNA hasarının, hipoksi döneminde daha fazla olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, DNA hasarı ile enzim düzeyleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu bildirilmiş olup bu yönü ile araştırma sonuçlarımızla benzer yöndedir.

Çalışmamızda, Karaciğer dokusuna ait CAT ve SOD aktivitesi ve MDA düzeyleri ile yine Karaciğer dokusu için saptanan DNA hasarı beraber incelendiğinde, kirlilik düzeyinin düşük olduğu referans bölgesinde (Karasu) hem oksidatif stres parametreleri hem de DNA hasarı kirlilik düzeyi daha yüksek olan Demirköprü ve Samandağ istasyonlarından düşük çıkmıştır. Çalışma sonuçlarımızda DNA hasar düzeyi ile KC ve kas MDA düzeyleri arasında güçlü bir korelasyon olduğu belirlenmiştir (Şekil 16) MDA düzeyinin sucul ortamda kirlenici düzeyi ile orantılı olduğu bilindiğine göre aynı ortamın DNA hasarına daha çok neden olması beklenen bir sonuçtur. Yine Şekil 16 de verilen korelasyon grafiğinde görüldüğü gibi DNA hasar düzeyi ile solungaçlarda tayin edilen Ni, Cd, Co, Pb ve Cr metallerinin derişimleri arasında da yüksek oranda bir korelasyon bulunmaktadır. Dolayısı ile bu metallerin DNA üzerinde mutajenik etki gösterdikleri sonucuna ulaşılabilmektedir.

Ayrıca Fizyolojik cevap niteliğinde gelişen enzim düzeyleri ile ağır metaller arasında bir ilişki olup olmadığını tespit etmek amacı ile yapılan Pearson Korelasyon analizi sonucunda ise, Karaciğer Katalaz ile Karaciğer Zn ve Kas Mn arasında; Kas Katalaz ile Suda Pb, Suda Ni ve suda Cu arasında; Karaciğer MDA ile karaciğer Mn, suda Zn arasında ve son olarak Kas MDA ile Karaciğer Mn, suda Pb, Suda Ni ve Suda Cu arasında pozitif güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir (Tablo 25).

Arojojye vd. (2018) Güney Batı Nijerya'da bulunan Igbokoda nehrinde karabalığın kas ve karaciğer dokularında Pb, Cd, As, Cu ve Ni düzeylerini ve ayrıca antioksiadant sistem parametrelerini araştırmışlardır. Kirli bölgeden avlanan balıkların dokularındaki metal düzeyleri temiz bölgede avlanan balıklarinkine oranla en az 10 kat yüksek bulunduğu rapor edilmiştir. Aynı dokuların CAT, SOD aktiviteleri ve MDA düzeylerinin kirli bölgedeki balıklarda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada örnekleme yapılan istasyonlarda özellikle kirliliğin yoğun olduğu bölgelerde suda metal konsantrasyonunun artışı ve canlıdaki metal birikimine bağlı olarak katalaz, SOD ve MDAnin artış gösterdiğini ve pozitif yönde bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Bu yönü ile araştırma bulgularımızı destekler niteliktedir.

Son yıllarda yüzey sularında kirlilik ve su kalitesi izleme araştırmalarında, Su kalitesinde değişime sebep olan ana etmenleri belirlemek için yaygın olarak çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır (Nie vd. 2015). Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin avantajı, karmaşık veri setlerinde değişkenler arasındaki ilişkilerin ve veri dizilimlerin anlaşılmasında diğer istatistiksel yöntemlerden çok daha belirleyici olmasıdır (Oke ve Sangodoyin, 2015).

Temel bileşenler analizi (PCA) ve Ayrışma analizi (DFA) su kalitesini ve ekolojik statüyü anlamak için kullanılan geniş veri matrislerinin analiz ve yorumlanmasında, doğal ve insan kaynaklı aktiviteler neticesinde oluşan zamansal ve mekânsal değişimlerin belirlenmesinde ve su kalitesini etkileyen temel etmenlerin araştırılmasında yaygın olarak kullanılan etkili araçlardır (Chow vd. 2016).

Temel Bileşenler Analizinin (PCA) temel amacı, çok sayıda değişken arasında kovaryans ilişkilerini faktör adı verilen en az sayıdaki rastgele değişken yardımı ile açıklamaktır (Johnson ve Wichern, 2007). Temel bileşenler analizi orijinal değişkenlerin dağılımı için kovaryans matrisi oluşturulması ile başlar. Arkasından özdeğerler (eigenvalues) ve özvektörler (eigenvectors) belirlenir. Özvektörler, temel bileşen adı verilen korelasyon içermeyen, yeni, ortogonal vektörler oluşturmak için korelasyon içeren orijinal değişkenleri çarptığımız katsayılardır. Temel bileşenler, orijinal değişkenlerin lineer kombinasyonu sonucu oluşur ve veri kaybetmeden veri setindeki en anlamlı değişkenleri belirlememizi sağlar (Zheng vd. 2016).

Bu noktadan hareketle, Asi Nehri DNA hasar parametreleri ile çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan ve hasar düzeyi üzerinde etkili ilişkili olabileceği ön görülen tüm parametreler arasındaki ilişki düzeyini ortaya çıkarmak ve farklılıklardan kaynaklı toplam varyansın hangi parametrelerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla Ana Bileşenler Analizi (Principle Component Analyze, PCA) ve Ayrışma Analizi (DFA) yapılmıştır.

Ana bileşenler analizi sonucu oluşan ana bileşenler ve varyansın ana bileşenlere göre dağılımı Tablo 26. Da verilmiştir.

Tablo 26. Ana bileşenler analizi sonucu oluşan ana bileşenler ve varyansın ana bileşenlere göre dağılımı.

Ana bileşenler	Toplam Eigen Değeri	% Varyans	Kümülatif %
1	14,090	32,766	32,766
2	6,759	15,718	48,484
3	5,641	13,118	61,602
4	4,141	9,631	71,233
5	2,938	6,832	78,065
6	2,737	6,365	84,430
7	2,410	5,605	90,034
8	1,738	4,041	94,076
9	1,255	2,919	96,995
10	,714	1,661	98,656
11	,578	1,344	100,000

Buna göre toplam 11 ana bileşen elde edilmiş ve toplam varyansın % 32,766'si birinci ana bileşende (AB 1) % 15,718'i ise ikinci ana bileşende (AB 2) ifade edilmiştir (Şekil 16).

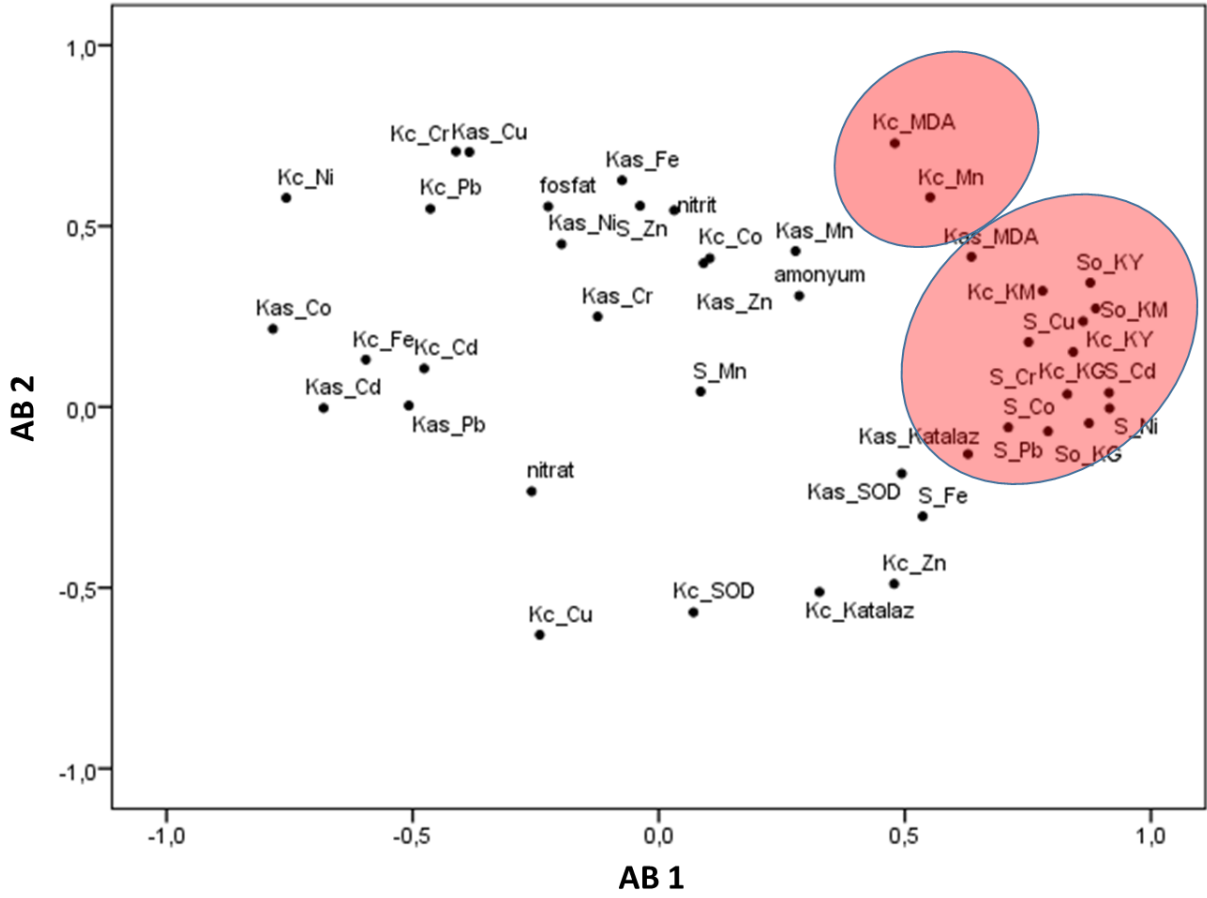
Toplam varyansın en yüksek olduğu Ana Bileşen 1 incelendiğinde sırasıyla; suda (S) S_Ni, S_Cd, solungaçta (So) kuyruk momenti, solungaçta kuyruk yoğunluğu, solungaçta kuyruk göçü, karaciğerde (Kc) kuyruk yoğunluğu, karaciğerde kuyruk göçü, S_Cr, S_Pb, kasta (K) Co, karaciğerde kuyruk momenti, karaciğerde Ni, suda Cu, suda Co, kasta Cd, MDA ve katalaz, karaciğerde ve suda Fe farklılaşmada en yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir (Tablo 27.). Bunların içerisinde kasta Co, karaciğerde Ni, kasta Cd ve karaciğerde Fe DNA hasarları ile negatif yönde bir ilişki göstermiştir.

Tablo 27. Ana bileşenler analizi sonucu oluşan ana bileşenler ve sahip oldukları DNA hasar parametreleri ile tüm parametrelerinin korelasyon değerlerinin büyükten küçüğe sıralanışı.

Parametreler	Ana Bileşenler						
	1	2	3	4	5	6	7
S_Ni	0,916	-0,004	-0,019	-0,018	-0,077	-0,167	0,016
S_Cd	0,915	0,039	-0,100	0,181	0,252	-0,018	-0,127
So_KM	0,888	0,272	0,196	-0,017	0,205	-0,175	0,064
So_KY	0,877	0,343	0,136	0,025	0,161	-0,142	-0,106
So_KG	0,874	-0,045	0,220	0,067	0,103	-0,275	0,124
Kc_KY	0,862	0,237	0,031	0,342	0,067	0,019	0,038
Kc_KG	0,842	0,152	0,336	0,272	0,031	0,033	0,155
S_Cr	0,830	0,035	-0,279	0,231	-0,182	0,232	-0,297
S_Pb	0,791	-0,068	0,091	-0,279	-0,132	-0,436	0,242
Kas_Co	-0,784	0,216	0,286	-0,038	-0,012	0,008	-0,035
Kc_KM	0,780	0,321	0,143	0,439	0,071	0,187	0,037
Kc_Ni	-0,757	0,578	-0,087	-0,042	0,073	-0,182	0,117
S_Cu	0,751	0,179	-0,205	-0,383	0,201	0,210	-0,136
S_Co	0,710	-0,057	-0,027	0,162	-0,583	-0,291	-0,171
Kas_Cd	-0,681	-0,003	0,343	0,337	0,472	0,195	0,037
Kas_MDA	0,635	0,415	0,237	-0,386	0,020	0,136	0,422
Kas_Katalaz	0,628	-0,131	0,168	-0,517	0,353	0,150	0,367
Kc_Fe	-0,595	0,131	0,534	0,050	-0,012	-0,111	0,083
S_Fe	0,536	-0,303	-0,121	0,075	0,204	0,410	-0,322
Kc_MDA	0,480	0,729	0,210	-0,057	-0,092	-0,052	-0,214
Kc_Cr	-0,412	0,706	0,177	0,016	-0,383	-0,272	0,228
Kas_Cu	-0,385	0,705	-0,046	0,439	0,329	0,065	-0,133
Kc_Cu	-0,242	-0,630	0,441	-0,211	-0,142	0,180	0,140
Kas_Fe	-0,075	0,627	-0,611	0,132	0,181	-0,193	0,223
Kc_Mn	0,551	0,580	-0,092	0,071	-0,447	0,329	0,152
Kc_SOD	0,070	-0,568	0,542	0,419	0,164	0,110	-0,043
fosfat	-0,225	0,554	0,378	-0,477	0,119	-0,164	-0,462

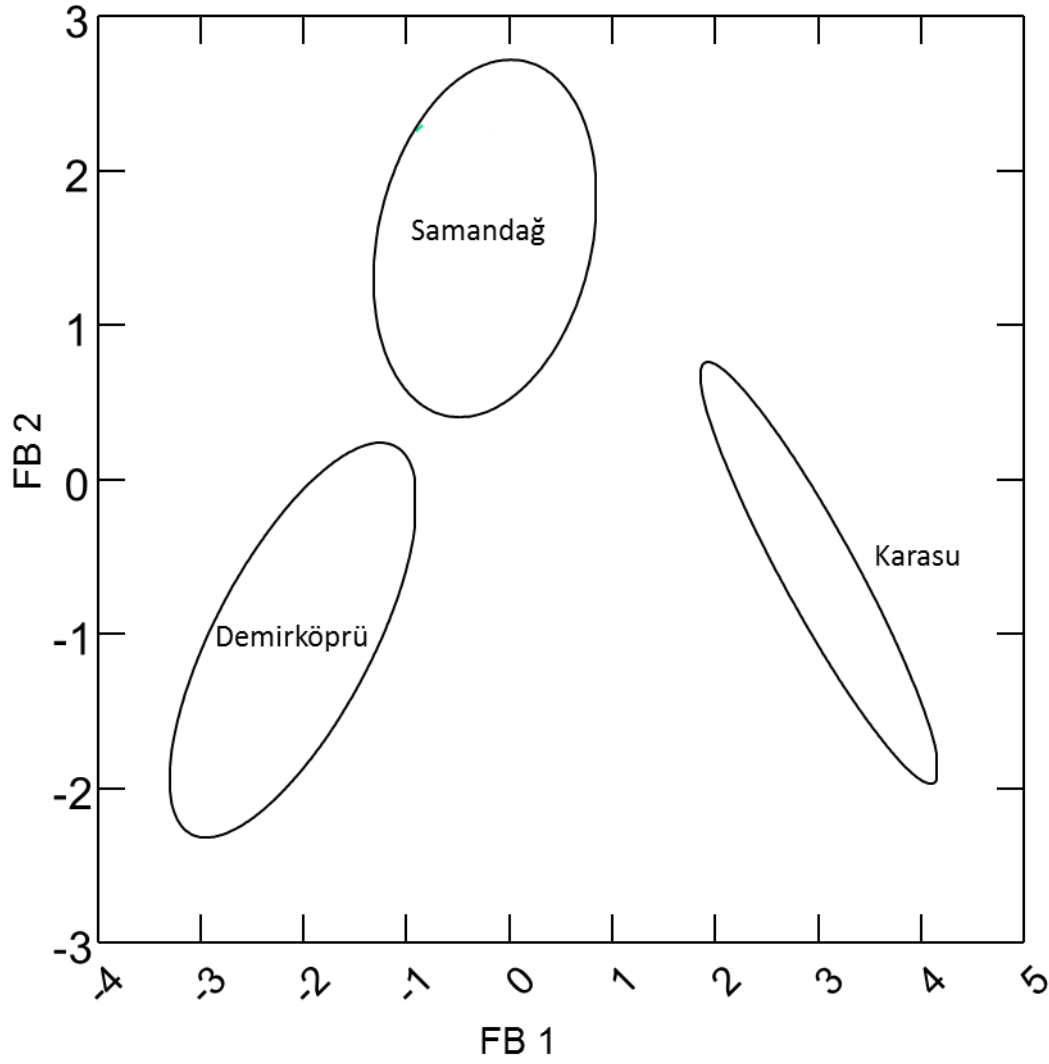
Kc_Pb	-0,464	0,548	0,338	0,073	-0,507	0,182	0,235
Amonyum	0,285	0,307	0,770	0,068	0,139	0,388	0,042
Kc_Cd	-0,477	0,106	0,713	0,067	-0,159	-0,145	0,167
Kas_Mn	0,278	0,431	-0,705	0,276	0,099	0,014	0,282
Kc_Katalaz	0,326	-0,512	0,698	-0,034	-0,063	-0,072	0,248
Kas_SOD	0,494	-0,185	0,634	0,278	0,272	-0,135	0,262
nitrit	-0,038	0,556	0,596	-0,402	0,085	0,041	-0,371
S_Mn	0,085	0,042	0,008	-0,683	0,548	-0,258	0,261
Kas_Ni	-0,198	0,450	0,033	0,640	0,511	-0,131	0,114
S_Zn	0,031	0,544	0,290	-0,638	0,117	-0,243	-0,361
nitrat	-0,259	-0,234	0,472	0,574	0,037	-0,389	-0,216
Kc_Co	0,104	0,411	0,151	-0,126	-0,442	0,602	0,389
Kas_Pb	-0,508	0,004	-0,124	-0,187	0,439	0,587	0,352
Kas_Zn	0,091	0,397	0,434	0,240	-0,019	0,473	-0,420
Kas_Cr	-0,124	0,250	0,101	0,386	-0,039	-0,355	0,368
Kc_Zn	0,478	-0,490	0,280	-0,084	-0,183	0,043	-0,020

Tüm parametreler arasındaki ilişkiyi görüntülemek amacıyla birinci ve ikinci ana bileşenin grafiklendirilmesi sonucu, DNA hasar parametreleri ile kas MDA, kas katalaz, suda Cr, Cu, Co, Pb, Ni, Cd arasında yüksek ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 16), bunun yanında yine karaciğer MDA ve karaciğer Mn'nın da aynı yönde bir ilişki içinde oldukları görülmektedir (Şekil 16).



Şekil 16. Birinci ve İkinci Ana bileşenin grafiklendirilmesi ve parametrelerin ana bileşendeki dağılımı. Renkli elipsler DNA hasar, enzim ve metaller arasındaki ilişkiyi ve yönünü göstermektedir.

Tüm parametrelerinin istasyonlar arasında farklılıklarını ortaya çıkarmak için Ayırma Analizi (Discriminant Function Analysis, DFA) yapılmıştır (Şekil 17). Buna göre tüm parametrelerin analizi sonucu sadece iki ayırma bileşeni elde edilmiş ve gruplar arasındaki toplam varyansın %84'i birinci ayırma bileşeninde, % 16'sı da ikinci ayırma bileşeninde toplanmıştır. Her bir grubun bireylerinin kendi grubuna doğru sınıflandırma analizi sonucu tüm gruplarda bireyler kendi grubuna % 100 doğru olarak sınıflandırılmış olarak bulunmuştur.



Şekil 17. Birinci ve ikinci ayırma bileşenlerinin grafiklendirilmesi sonucu örnekleme istasyonları arasındaki farklılıkların ayırıştırma grafiğinde gösterimi.

Birinci ve ikinci ayırma bileşenlerinin grafiklendirilmesi sonucu referans noktası olarak kabul edilen Karasu istasyonu ile Asi Nehri'nin Türkiye topraklarına giriş yaptığı bölge olan Demirköprü istasyonu ve Asi Nehrinin Akdenize dökülen son noktası olan Samandağ istasyonunun analiz edilen tüm parametreler yönünden çok farklı olduğu görülmüştür (Şekil 17).

Yamamoto vd. (2016) tarafından, Güney Brezilya'da yoğun kirletici ajanlara maruz kalan Iguçu Nehri'nin farklı istasyonlarında yürüttükleri genotoksikolojik çalışmada; üç farklı balık türünü (*Astyanax bifasciatus*, *Chrenicla iguassuensis*, and *Geophagus brasiliensis*) biyoindikatör tür olarak belirlemişlerdir. İstasyonlardan alınan su ve balık dokularında ağır metal (Cu, Cr, Cd, Mn, Pb ve Zn) ve PAH düzeyleri incelenmiş olup bu kirletici ajanların balıklarda DNA hasarı ve oksidatif strese bağlı gelişen fizyolojik cevap parametrelerinden karaciğer ve kas dokuda katalaz, SOD ve MDA düzeyleri tespit etmişlerdir. DNA hasar parametreleri ile çalışma kapsamında değerlendirmeye



alınan ve hasar düzeyi üzerinde ilişkili olabileceği ön görülen enzim ve metal ve PAH parametreleri arasındaki ilişki düzeyini ortaya çıkarmak ve farklılıklardan kaynaklı toplam varyansın hangi parametrelerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla Ana Bileşenler Analizi ve Ayrıştırma Analizi (DFA) yapmışlardır. Araştırma sonucunda DNA hasar parametreleri ile sudaki Cu, Cr, Cd, Mn, Pb arasında yüksek ilişki olduğu bildirilmiştir. Bu yönüyle araştırma sonuçlarımızı destekler niteliktedir. Aynı şekilde çalışmamızda Birinci ve ikinci ayrıştırma bileşenlerinin grafikleştirilmesi sonucu referans noktası olarak kabul edilen Karasu istasyonu ile Asi Nehri'nin Demirköprü istasyonu ve Samandağ istasyonunun analiz edilen tüm parametreler yönünden çok farklı olduğu görülmüştür. Yamamoto vd. (2016) tarafından Iguacu Nehri'nde yürütülen bu çalışmada da ayrıştırma analizi sonucu Iguacu Nehri'ndeki tüm istasyonlar birbirinden farklı çıkmıştır.



5. SONUÇ

Çevresel kaynaklı kimyasal kirleticiler canlılar üzerindedoksik etki yapmakta ve oksidadif strese neden olmakla birlikte genetik yapılarını da bozmaktadır. Canlıların kimyasallara karşı fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik olarak gösterdiği tepkiler yaygın olarak ölçülmekte ancak etkinin genetik boyutu ilgili daha yoğun çalışmaların yapılması yönündeki görüş birliği bulunmaktadır. DNA'da meydana gelen hasarlar kendisinden sonra gelen nesillere aktarılan genetik bilginin kalitesini değiştirebilmektedir. Bu değişimler de gen havuzunu etkilemektedir Bu nedenle, araştırılması birçok açıdan önem teşkil eden bu alanda ülkemiz adına daha fazla çalışmanın yapılması ve araştırma yapılması gerektiği düşünülmektedir. Biyogöstergeler, çevresel kirleticilerin kısa ve uzun vadede bireysel organizma ve populasyon üzerine etkilerini inceleme açısından önemli uygulama kaynaklarıdır. Bu araştırma ile Asi Nehri'nde biyogösterge tür *Clarias gariepinus*'da Komet Analizi ile olası DNA hasarlarının düzeyinin tespit edilmesi, biyogösterge türde ve suda ağır metal gibi toksik kimyasalların seviyelerinin ölçülerek, kirletici seviyeleri ile DNA hasarı gelişmiş ise aralarındaki ilişkinin anlaşılması amaçlanmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında, kirletici unsurlarına karşın biyogösterge türde oluşan fizyolojik cevap ve DNA hasarı arasındaki olası ilişkinin ve kirletici seviyelerinin ilgili ulusal ve uluslararası mevzuat kapsamında değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu proje sonucunda elde edilen verilere bakıldığında;

- Asi Nehri'nin Türkiye topraklarına giriş yaptığı bölge olan Demirköprü istasyonu, ölçülen fizikokimyasal parametreler bakımından **Sınıf III- Kirlenmiş su**, Asi nehri'nin denize döküldüğü son nokta olan Samandağ istasyonu, ortalama değerler bakımından **Sınıf IV- Çok kirlenmiş su ve** referans noktası olarak seçilen olarak Karasu istasyonu ise, ortalama değerler bakımından PO₄-P parametresi dışında **Sınıf II- Az Kirlenmiş su** olarak nitelendirilebilir.
- Araştırma kapsamında Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'nda alınan su örneklerinde saptanan ortalama ağır metal derişimleri Kıtaıçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıfları Kalite Kriterlerine göre değerlendirildiğinde bakılan parametreler yönünden istasyonların kirli su sınıfına girmediği belirlenmiştir.
- *Clarias gariepinus*' un incelenen dokularındaki ağır metal derişimlerinin metale, dokuya ve suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişim gösterdiği saptanmıştır. *C. gariepinus*'un başlıca tüketilebilir kısmını oluşturan kas dokusundaki Cd ve Pb derişiminin belirlenen tüm istasyonlarda, hem ulusal hem de uluslararası tüketim için kabul edilebilir aralığın üstünde olduğu belirlenmiş olup bölge halkının severek tükettiği ve ekonomik öneme sahip olan karabalığın, insan tüketimi için risk taşıdığı söylenebilir.
- Araştırma kapsamında Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'nda örneklenen biyoindikatör türe ait karaciğer ve kas dokularında belirlenen

Katalaz aktivite düzeyleri yönünden tüm istasyon mevsimlerde Karaciğer CAT aktivite düzeyleri kas CAT aktivite düzeylerinden oldukça yüksek çıkmıştır. Mevsimlere bağlı olarak CAT düzeyleri karşılaştırıldığında; Demirköprü ve Karasu istasyonlarında kış, Samandağ istasyonunda ise sonbahar mevsiminde hem Karaciğer hem de kas dokularında yüksek çıkmıştır.

- Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'nda örneklenen biyoindikatör türe ait karaciğer ve kas dokularında belirlenen SOD aktiviteleri yönünden, hem Karaciğer hem de kas dokularında tüm mevsimler için SOD aktiviteleri Demirköprü>Samandağ>Karasu olarak belirlenmiştir. Kas dokularındaki SOD düzeyleri göz önüne alındığında ise, yaz ve sonbahar mevsimlerinde Karasu istasyonunda gözlenen değerler diğer istasyonlarda gözlenen istatistiki olarak önemli farklılık göstermektedir.
- Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'nda örneklenen biyoindikatör türe ait karaciğer ve kas dokularında belirlenen MDA düzeyleri bakımından ise, MDA düzeyinin genel olarak Samandağ istasyonunda en yüksek, Karasu istasyonunda ise en düşük olduğu belirlenmiştir. Samandağ istasyonunda ilkbahar mevsiminde Karaciğer ve sonbahar mevsiminde kas dokularında MDA düzeyleri diğer istasyonlardan anlamlı bir şekilde farklı bulunmuştur. Çalışma kapsamında, oksidatif hasarın önemli göstergelerinden biri olan MDA'nın ve diğer iki antioksidan enzim Katalaz ve SOD'nin, kirletici düzeylerin belirlenmesinde hassas göstergeler olduğu sonucuna varılmıştır.
- Araştırma kapsamında, referans (Karasu istasyonu) noktasındaki DNA hasarı (Kuyruk yoğunluğu, Kuyruk momenti ve Kuyruk göçü), Asi Nehri'nin Türkiye topraklarına giriş yaptığı bölge olan Demirköprü istasyonu ve yine nehrin Akdeniz'e dökülen son noktası olan Samandağ istasyonundaki DNA hasarına göre daha düşük çıkmış ve istasyonlar arasındaki farklılık istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0,001$). En yüksek DNA hasarı % $16,014 \pm 0,710$ Kuyruk yoğunluğu (%T-DNA) ve $2,202 \pm 0,110$ μ m kuyruk momenti ile Asi Nehri'nin Samandağ istasyonunda tespit edilmiştir. Bu nedenle Samandağ istasyonu, biyoindikatör tür olarak seçilen Karabalıkların solungaç doku sonuçlarına göre hem mevsimsel hemde yıllık ortalama anlamında hasar düzeyi en yüksek istasyon olarak belirlenmiştir.
- Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan tüm istasyonlardaki karaciğer doku sonuçlarına göre ise yine en yüksek DNA hasarı % $3,345 \pm 0,521$ Kuyruk yoğunluğu (%T-DNA) ve $1,548 \pm 0,069$ μ m kuyruk momenti ve $6,892 \pm 0,234$ kuyruk göçü ile Asi Nehri'nin Samandağ istasyonunda tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarımızın Mitchelmore vd. (1998)'nin kriterlerine göre değerlendirilmesi sonucu, referans noktamız (Karasu) **minimal hasar sınırında** iken Asi Nehri'nin her iki istasyonun DNA hasar düzeyi **Düşük Hasar** (%10-25) olarak belirlenmiştir.

- Mevsimsel anlamda sonbaharda en yüksek olmak üzere yaz mevsiminden itibaren Asi Nehri'ndeki örnekleme noktalarında ve referans nokta olan Karasu'da DNA hasar düzeylerinin yükseldiği tespit edilmiştir.
- Yine istasyonlar arasında en yüksek hasarın olduğu bölge, solungaç doku DNA hasar parametreleri bakımından Asi Nehri'nin Akdeniz'e dökülen son noktası olan Samandağ istasyonu olmakla birlikte ($P < 0,001$); karaciğer doku sonuçlarına göre Samandağ istasyonu DNA hasarı, Demirköprü istasyonundan yüksek olup istatistiksel anlamda farklılık önemli düzeyde çıkmamıştır ($p > 0,05$). Yani Asi Nehri'nin ülkemiz topraklarına giriş yaptığı noktada da yapılan izlemelerde biyoindikatör türdeki hasar düzeyleri Samandağ istasyonuna yakın değerlerde bulunmuştur.
- DNA hasarı ve fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metaller arasında bir ilişki olup olmadığını tespit etmek amacı ile yapılan Pearson Korelasyon analizi sonucunda, fiziko-kimyasal parametreler ile DNA hasarı arasında anlamlı bir ilişki gözlenmezken, ağır metallerden suda tespit edilen Cd, Cr ve Ni, Pb, Co ve Cu ile pozitif güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir.
- DNA hasarı ile oksidatif strese bağlı fizyolojik cevap niteliğinde gelişen enzim düzeyleri arasında bir ilişki olup olmadığını tespit etmek amacı ile yapılan Pearson Korelasyon analizi sonucunda, Kas Katalaz ile solungaç kuyruk momenti ve solungaç Kuyruk göçü arasında pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. Kas SOD ile karaciğer Kuyruk göçü ve solungaç kuyruk momenti arasında yine pozitif güçlü bir ilişki gözlemlenmiştir. Ayrıca diğer bir oksidatif hasar göstergesi olan MDA ile solungaç kuyruk yoğunluğu ve solungaç kuyruk momenti arasında da pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir.
- Fizyolojik cevap niteliğinde gelişen enzim düzeyleri ile ağır metaller arasında bir ilişki olup olmadığını tespit etmek amacı ile yapılan Pearson Korelasyon analizi sonucunda ise, Karaciğer Katalaz ile Karaciğer Zn ve Kas Mn arasında; Kas Katalaz ile Suda Pb, Suda Ni ve suda Cu arasında; Karaciğer MDA ile karaciğer Mn, suda Zn arasında ve son olarak Kas MDA ile Karaciğer Mn, suda Pb, Suda Ni ve Suda Cu arasında pozitif güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir.
- Son olarak, Asi Nehrinde biyoindikatör Karabalıkta komet analizinin alıcı ortamlardaki genotoksik kirleticilerin taranmasında kullanışlı bir izleyici olabileceği söylenebilir.

Bu araştırma ile öncelikli havza statüsündeki Asi Havzasının ana kolu olan Asi Nehri'ndeki biyoindikatör tür üzerinden yapılan izlemede, Nehrin genotoksik potansiyeli ile ilgili bilgi sağlanmıştır. Asi Nehri'ne ait iki istasyon ve Referans noktası olarak kabul edilen Karasu Çayı'nda alınan su örneklerinde saptanan ortalama ağır metal derişimleri Kıtaçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıfları Kalite Kriterlerine göre değerlendirildiğinde bakılan parametreler yönünden istasyonların kirli su sınıfına girmediği belirlenmiş fakat *Clarias gariepinus*' un başlıca tüketilebilir kısmını oluşturan kas dokusundaki Cd ve Pb derişiminin belirlenen tüm istasyonlarda, hem ulusal hem de

uluslararası tüketim için kabul edilebilir aralığın üstünde olduğu sonucuna varılmıştır. Araştırma kapsamında, referans (Karasu istasyonu) noktasındaki DNA hasarı, Asi Nehri'nin Türkiye topraklarına giriş yaptığı bölge olan Demirköprü istasyonu ve yine nehrin Akdeniz'e dökülen son noktası olan Samandağ istasyonundaki DNA hasarına göre daha düşük çıkmış, en yüksek DNA hasarı Asi Nehri'nin Akdeniz'e dökülen son noktası olan Samandağ istasyonunda tespit edilmiştir. Bu nedenle Samandağ istasyonu, biyoindikatör tür olarak seçilen Karabalıkların solungaç ve karaciğer doku sonuçlarına göre hem mevsimsel hemde yıllık ortalama anlamında hasar düzeyi en yüksek istasyon olarak belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarımızın Mitchelmore vd. (1998)'nin kriterlerine göre değerlendirilmesi sonucunda ise referans noktamız (Karasu) **minimal hasar sınırında** iken Asi Nehri'nin her iki istasyonundaki DNA hasar düzeyi **Düşük Hasar** olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler, izlenen alanlardaki inorganik kirletici düzeyleri hakkında temel bilgiyi sağlamış olup bu alanlarda ileride yapılacak biyoizleme çalışmaları için kaynak teşkil edecektir.

Su Çerçeve Direktifi (SÇD) Avrupa Birliği'nde sürdürülebilir su politikalarını yönlendirme amaçlı temel prensipleri ortaya koymaktadır. Direktifin ana hedefi tüm yüzey suyu kütlelerinin durumlarında kötüye gidişin engellenmesi ve üye ülkelerde 2015 yılı itibari ile tüm su kütlelerinde "iyi durum"a ulaşılabilmesidir. Yüzey suları için "iyi durum", "iyi ekolojik durum" ve "iyi kimyasal durum"a ulaşılabilmesi ile sağlanır. Ülkemiz müzakere belgesinde 2027 yılına kadar tüm yüzey suyu kütlelerinde iyi su durumuna ulaşılacağı taahhüdünde bulunmuştur. SÇD'nin ülkemiz mevzuatına uyumlaştırılması kapsamında Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının izlenmesine Dair Yönetmelik, 11.02.2014 Tarih ve 28910 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile SÇD'nin Madde 8 ve Ek-5 hükümleri tamamen ulusal mevzuatımıza aktarılmıştır (FDH, 2015). Su Çerçeve Direktifinde en önemli yaklaşımlardan biri de akarsu havzası yönetimidir. Bu yönetim yaklaşımına göre, akarsu alt havzaları konusunda alınması gereken önlemleri ve uygulama konusunda ise yöntemleri içermektedir. Özellikle nehir havzalarında su yönetimi yaklaşımını ortaya çıkarması maddi kaynaklar ile su kaynakları planlaması arasında bağlantı kurması, su kalitesi, emisyon kontrolü ve yeraltı su kaynaklarının korunması konusunda son otuz yılın en yenilikçi su yönetimi olarak görülmektedir. Ayrıca, Su Çerçeve Direktifi'nde Pb ve Ni gibi öncelikli maddeler belirlenmiş ve bu maddelerin konsantrasyonlarının yerüstü su kaynaklarında belirlenmesi iyi su durumuna ulaşabilmek için alınabilecek önlemlerin neler olduğu ve söz konusu su kütlelerinin durumu hakkında bilgi verilmesi konusunda maddeleri içermektedir.

Bu noktadan hareketle "Öncelikli Havza" statüsündeki Asi Havzası'nın ana kolu olan Asi Nehri'nde, biyogösterge tür *Clarias gariepinus*'de olası DNA hasar düzeyinin tespit edilmesi amaçlı yürütülen bu genotoksikolojik araştırma sonuçlarının, SÇD'nin ülkemiz mevzuatına uyumlaştırılması kapsamında önemli katkılar sunacağı bir gerçektir. Avrupa Birliği ülkelerinde "Su Çerçevesi Direktifi" ile birlikte çevredeki izleme araçlarının geliştirilmesi ve uygulanabilirliği üzerine araştırmalar yoğun



şekilde devam etmekte olup Avrupa birliği ülkeleri ile birlikte Ülkemizde de devam eden bu araştırmalar yoğunlaştırılmalı ve sucul biyolojik göstergeler üzerine odaklanılmaktadır.

Ayrıca, bu çalışma ile ülkemizin Avrupa Birliğine uyum sürecinde nehir havza su yönetimiyle ilgili "Su Çerçeve Direktifi" kapsamında İyi Çevresel Statüyü sağlamak (GES) için kirlilik izleme metodu olarak ulusal direktiflere alınması planlanan Komet Analizinin Türkiye akarsu havzalarında uygulanabilirliği de ortaya konulmuştur. DNA'da meydana gelen hasarlar kendisinden sonra gelen nesillere aktarılan genetik bilgiyi değiştirebilmektedir. Bu nedenle, araştırılması birçok açıdan önem taşıyan bu alanda ülkemiz adına daha fazla çalışmanın yapılması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca, biyogösterge yanıtlarında kirlenmelerin birbiri ile, çevresel koşulların etkisi ile ve fizyolojik stres nedeni ile etkileri maskelenebilir. İlerideki çalışmalarda biyolojik yanıtın tüm nedenlerini anlamak için, farklı trofik seviyelerdeki canlılar birlikte araştırılmalı, bunların yanısıra fiziksel ve biyolojik faktörlerin daha detaylı şekilde izlenmesi gerektiği önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Abdel-Baky, T.E., Hagra, A.E., Hassan, S.H. and Zyadah, M.A., 1998. "Environmental Impact Assessment of Pollution in Lake Manzala, I-Distribution of Some Heavy Metals in Water and Sediment " , Journal Egyptian German Society Zoology, 26(B): 25-38
- Abdel-Moneim, A. M., Al-Kahtani, M. A., Elmenshawy, O. M. 2012. "Histopathological biomarkers in gills and liver of *Oreochromis niloticus* from polluted wetland environments, Saudi Arabia. Chemosphere, 88(8), 1028-1035.
- Abdel-Moneim, A.M, Abu El-Saad, A.M., Hussein, H.K., Dekinesh, S.I. 2012. "Gill Oxidative Stress and Histopathological Biomarkers of Pollution Impacts in Nile Tilapia from Lake Mariut and Lake Edku, Egypt", Journal of Aquatic Animal Health, 24(3), 148-160.
- Ağca, N., Ödemiş, B., and Yalçın, M., 2009. " Spatial and temporal variations of water quality parameters in Orontes river (Hatay, Turkey), " Fresenius Environmental Bulletin, 18 (4):456-460
- Ahmed, M. K., M. Habibullah-Al-Mamun, M. A. Hossain, M. Arif, E. Parvin, M. S. Akter, M. S. Khan, and M. M. Islam. 2011. "Assessing the genotoxic potentials of arsenic in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) using alkaline comet assay and micronucleus test". Chemosphere 84:143-149.
- Ahmed, M.K., Kundu, G.K., Al-Mamun, M.H., Sarkar, S.K., Akter, M.S., Khan, M.S., 2013." Chromium(VI) induced acute toxicity and genotoxicity in freshwater stinging catfish, *Heteropneustes fossilis*." Ecotoxicology Environmental Safety 92, 64–70.
- Akbulut, C., Kaymak, G., Esmer, H.E., Yön ,N.D., Kayhan, F.E. 2014. "Oxidative stress mechanisms induced by heavy metals and pesticides in fish," Ege Journal Fisheries Aquaculture Science 31(3): 155-160.
- Akdoğan, Z., Küçükdoğan, A., Güven, B. 2015. "Yayıllı kirlenmelerin havzalardaki taşınım süreçleri: Antibiyotikler, ağır metaller ve besin maddeleri üzerine modelleme yaklaşımları". Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 27(1), 21-31.
- Aldaya, M. M., Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Mekonnen, M. M. 2012. "The water footprint assessment manual": Setting the global standard. Routledge.
- Al-Sabti, K., 1995. Metcalfe, "Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water" Mutation Research 343, 121–135.
- Also, D., Wood, C.M. 2013. "Metal and pharmaceutical mixtures: is ion loss the mechanism underlying acute toxicity and widespread additive toxicity in zebrafish," Aquatic toxicology, 140-141, 257-267.
- Ameur, W.B., de Lapuente, J., El Megdiche, Y., Barhoumi, B., Trabelsi, S., Camps, L., Serret, J., Ramos-López, D., Gonzalez-Linares, J., Mohamed Ridha Driss., A., Miquel Borràs, B. 2012. "Oxidative stress, genotoxicity and histopathology biomarker responses in mullet (*Mugil cephalus*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) liver from Bizerte Lagoon (Tunisia)", Marine Pollution Bulletin, 64, 241–251.

- Amin, K.A. and Hashem, K.S., 2012. "Deltamethrin-induced oxidative stress and biochemical changes in tissues and blood of catfish (*Clarias gariepinus*): antioxidant defense and role of alpha-tocopherol", *Veterinary Research*, 8:45, 2-8.
- Amundsen, P.A., Staldivik, F.J., Lukin, A.A., Kashulin, N.A., Popova, O.A. and Reshetnikov, Y.S., 1997, " Heavy Metal Contamination in Freshwater Fish from the Border Region Between Norway and Russia " , *The Science of the Total Environment*, 201 (3): 211-224.
- Anonim, 2016. "Water Quality Indicators: Conventional Variables ", <http://www.rampalberta.org/river/water+sediment+quality/chemical/conventional.aspx> (Erişim: 08.07.2016)
- Anonimb., 2016, "Water Quality Indicators: Nutrients. <http://www.rampalberta.org/river/water+sediment+quality/chemical/nutrient.aspx> (Erişim: 08.07.2016)
- Arojojoye, O.A., Oyagbemi, A.A., Afolabi, J.M. 2018. "Toxicological Assessment of Heavy Metal Bioaccumulation and Oxidative Stress Biomarkers In *Clarias gariepinus* from Igbokoda River of South Western Nigeria", *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 100:765–771.
- Ateeq, B., Farah, M.A., Ahmad, W., 2005. "Detection of DNA damage by alkaline single cell gel electrophoresis in 2,4-dichlorophenoxyacetic-acid- and butachlorexposed erythrocytes of *Clarias batrachus*", *Ecotoxicology Environmental Safety* 62, 348–354.
- Authman, M.M.N., 2008. " *Oreochromis niloticus* as a biomonitor of heavy metal pollution with emphasis on potential risk and relation to some biological aspects " *Global Veterenaria*, 2(3): 104-109.
- Aydin, H., Yürür, E. E., Uzar, S., and Küçüksezgin, F. 2015. " Impact of industrial pollution on recent dinoflagellate cysts in Izmir Bay (Eastern Aegean)", *Marine pollution bulletin*, 94(1-2), 144-152.
- Aydoğan S, 2012. "Pleurochaete squarrosa (Brid.) Lindb. Ve Timmiella barbuloides (Brid.) Moenk. 'in Ağır Metal Stresine Verdiği Cevapların Araştırılması", Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi. 146 sayfa.
- Ballı, E., Comelekoglu, U., Yalin, S., Battal, D., Ocakoglu, K., Sogut, F., Goney, G. 2016. "Toxic effects of silica nanoparticles on heart:" electrophysiological, biochemical, histological and genotoxic study. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(2), 612-622.
- Bhuvaneshwari, R., Babu Rajendran, R. and Kumar, K., 2013 "Induction of DNA Damage and GADD45 β gene Mutation in Zebra fish (*Danio rerio*) due to Environmentally Relevant Concentrations of Organochlorine Pesticides and Heavy Metals", *International Journal of Environmental Research*, 7(1), 219-224.
- Bliefert, C. 2004. "Umweltchemie". Auflage.
- Boamponsem, L. K., Adam, J. I., Dampare, S. B., Nyarko, B. J. B., and Essumang, D. K. 2010. "Assessment of atmospheric heavy metal deposition in the Tarkwa gold mining area of Ghana using

- epiphytic lichens." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 268(9), 1492-1501.
- Bony, S., I. Gaillard, and A. Devaux. 2010. "Genotoxicity assessment of two vineyard pesticides in zebrafish", International Journal of Environmental Analytical Chemistry 90:421-428.
- Boyd, C.E., 1990. "Water Quality in Ponds for Aquaculture", Birmingham Publishing Co., Birmingham, Alabama, 1990.
- Brun-Hansen, H. C., Kampen, A. H., and Lund, A. 2006."Hematologic values in calves during the first 6 months of life", Veterinary Clinical Pathology, 35(2), 182-187.
- Burçak, G., Andican, G. 2004. "Oksidatif DNA Hasari ve Yaşlanma", Cerrahpaşa tıp dergisi, 35(4).
- Cabrera, A., Idigoras, G., Sarrionandia, M.J., "The usefulness of twodimensional echocardiography in the diagnosis of an interventricular aneurysm", Revista Esponala de Cardiologie 1992; 45:111-6.
- Cabrera, F., Conde, B., Flores, V., 1992." Heavy metals in the surface sediments of the tidal river Tinto (SW Spain)," Fresenius. Environmental Bulletin 1, 400–405.
- Canlı, M., Ay, Ö. and Kalay, M., 1998. " Levels of Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Crand Ni) in Tissue of Cyprinus carpio, Barbus capito and Chondrostomaregium from the Seyhan River, Turkey " ,Turkish Journal of Zoology, 22: 149-157.
- Carmona, L., Ballina, J., Gabriel, R., and Laffon, A. 2001. "The burden of musculoskeletal diseases in the general population of Spain: results from a national survey ", Annals of the rheumatic diseases, 60(11), 1040-1045.
- Cavas, T., 2011 "In vivo genotoxicity evaluation of atrazine and atrazine based herbicide on fish *Carassius auratus* using the micronucleus test and the comet assay", Food and Chemical Toxicology, 49, 1431-1435.
- Cavas, T., Konen, S., 2007 "Detection of cytogenetic and DNA damage in peripheral erythrocytes of goldfish (*Carassius auratus*) exposed to a glyphosate formulation using the micronucleus test and the comet assay", Mutagenesis, 22, 263–268.
- Chatta, A.M., Khan, M.N., Mirza, Z.S., Ali, A., 2016 "Heavy metal (cadmium, lead, and chromium) contamination in farmed fish: a potential risk for consumers' health" Turkish Journal of Zoology,(in press)
- Chebbo, G., Saget, A., Gromaire, M. C., Ahyerre, M. 1999."Flux de pollution dans les rejets urbains par temps de pluie", In Société hydrotechnique de France (pp. 93-104).
- Chiu, C. K., Teo, J. C., Schnyder, A. P., Ryu, S. 2016. "Classification of topological quantum matter with symmetries", Reviews of Modern Physics, 88(3), 035005.
- Choy, S. 2001. "Students Whose Parents Did Not Go to College: Postsecondary Access, Persistence, and Attainment " , Findings from the Condition of Education, 2001.
- Cunha Bastos, V. L. F., Salles, J. B., Valente, R. H., Leon, I. R., Perales, J., Dantas, R. F., ´ Albano, R. M., Bastos, F. F. and Cunha Bastos, J. 2007." Cytosolic glutathione peroxidase from liver of pacu (*Piaractus mesopotamicus*), a hypoxia-tolerant fish of the Pantanal", Biochimie 89, 1332–1342.

- Çalışkan, E., 2005. "Asi Nehri'nde su, sediment ve Karabalık'ta Ağır Metal Birikiminin Araştırılması, Mustafa Kemal Üniversitesi", Su Ürünleri Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, Antakya.
- Da Rocha, C. A. M., P. D. L. De Lima, R. A. Dos Santos, and R. M. R. Burbano. 2009. "Evaluation of Genotoxic Effects of Xenobiotics in Fishes Using Comet Assay-A Review." *Reviews in Fisheries Science* 17:170-173.
- Da Rocha, H. R., Manzi, A. O., Cabral, O. M., Miller, S. D., Goulden, M. L., Saleska, S. R., and Vourlitis, G. 2009, "Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil", *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 114(G1).
- Dietrich, G. J., M. Zabowska, M. Wojtczak, M. Slowinska, D. Kucharczyk, and A. Ciereszko. 2007. "Effects of different surfactants on motility and DNA integrity of brown trout (*Salmo trutta fario*) and common carp (*Cyprinus carpio*) spermatozoa " , *Reproductive Biology* 7:127-142.
- Doğan, M., 2004. "Hatay Bölgesindeki Su Kaynaklarından Alınan Balık(*Carasobarbus luteus*, HECKEL, 1843) ve Su Örneklerinde Ağır Metal Düzeyleri", Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay. S. 60.
- Dundar, M. S., Altundag, H., Eyupoglu, V., Keskin, S. C., Tutunoglu, C. 2012. "Determination of heavy metals in lower Sakarya river sediments using a BCR-sequential extraction procedure " , *Environmental monitoring and assessment*, 184(1), 33-41.
- E.İ.E., 1994. "Türkiye Akarsularında Su Kalitesi Gözlemleri", Elektrik İşleri, Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Eastwood, S. and Couture, P., 2002. " Seasonal Variations in Condition and Liver Metal Concentrations of Yellow Perch (*Perca flavescens*) from a Metal-Contaminated Environment.", *Aquatic Toxicology*, 58: 43-56.
- EC (European Commission), 2005. "Commission Regulation (EC) No 78/2005 of 19 January 2005 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards heavy metals " , L 16/43–45.
- EC (European Commission), 2005. "Commission Regulation (EC) No 78/2005 of 19 January 2005 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards heavy metals", L 16/43–45.
- Egemen, Ö., Sunlu, U., 1996. "Su Kalitesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları" Yayın No:14. Ege Üniversitesi Basımevi, İZMİR, 153s
- Elia, A.C., Do'rr ,A.J.M., Abete ,M.C., Prearo, M. 2010. "Seasonal variability of detoxificant response and heavy metal accumulation in tissues of both sexes in *Tinca tinca* (L.) from Lake", *Reviews Fish Biology Fisheries* 20:425–434
- EPA, 1989. "Assessing Human Health Risks from Chemically Contaminated Fish and Shellfish: A Guidance Manual," EPA-503/8-89-002. United States Environmental Protection Agency (EPA), Office of Research and Development, Washington.
- EPA., 1979. "A Review Of The Epa Red Book Quality Criteria For Water. Environmental Protection Agency " , USA. 311s.

- Eroglu A., Dogan, Z., Kanak, E.G., Atli, G., Canli, M. 2015. "Effects of heavy metals (Cd, Cu, Cr, Pb, Zn) on fish glutathione metabolism" *Environmental Science and Pollution Research*, 22:3229–3237.
- Ersoy, B., Yanar, Y., Küçükgülmez, A., Celik, M. 2006. "Effects of four cooking methods on the heavy metal concentrations of sea bass fillets (*Dicentrarchus labrax* Linne, 1785)." *Food Chemistry*, 99(4), 748-751.
- FAO. 2009. "Aquastat". <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/asi-orontes/index.stm> (Erişim: 27.06.2016)
- FAO/UNEP. 1984 "Provisional methodology for assessment and mapping of desertification," Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Farkas, A., Salánki, J. And Specziár, A., 2003. "Age- and Size Specific Patterns of Heavy Metals in the Organs of Freshwater Fish *Abramis brama* L., Populating a Low Contaminated Site", *Water Research*, 37(5): 959-964.
- Farkas, A., Salánki, J. and Varanka, I., 2000. "Heavy Metal Concentrations in Fish of Lake Balaton", *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 5: 271-279.
- Fatima, M., Usmani, N., Firdaus, F., Zafeer, M. F., Ahmad, S., Akhtar, K., and Hossain, M. M. 2015. "In vivo induction of antioxidant response and oxidative stress associated with genotoxicity and histopathological alteration in two commercial fish species due to heavy metals exposure in northern India (Kali) river", *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, 176, 17-30.
- Filho D.W. 2007. "Reactive oxygen species, antioxidants and fish mitochondria." *Frontiers in Bioscience* 12 (1): 1229-1237.
- Frenzili, G., M. Nigro, and B. P. Lyons. 2009 "A review: Use of the comet assay in aquatic environmental impact assessments." *Mutation Research* 681: 80-92.
- Frenzilli, G., Nigro, M. And Lyons, B.P. 2009. "The Comet assay for the evaluation of genotoxic impact in aquatic environments"
- Fridovich, I. 1989. "Superoxide dismutases An adaptation to a paramagnetic gas", *Journal Biology Chemistry* 264: 7761-7764.
- García-Medina, S., Galar-Martínez, M., Gómez-Oliván, L. M., Ruiz-Lara, K., Islas-Flores, H., Gasca-Pérez, E. 2017. "Relationship between genotoxicity and oxidative stress induced by mercury on common carp (*Cyprinus carpio*) tissues", *Aquatic Toxicology*, 192, 207-215.
- Genc, E., Sangun, M. K., Dural, M., Can, 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). *Environ Monit Assess* .141:59–65.
- Gómez-Arroyo, S., Díaz-Sánchez, Y., Meneses-Pérez, M. A., Villalobos-Pietrini, R., and De León-Rodríguez, J. 2000. "Cytogenetic biomonitoring in a Mexican floriculture worker group exposed to

- pesticides", *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 466(1), 117-124.
- Gontijo, A.M., Green, C.M., Almouzni, G., 2003. "Repairing DNA damage in chromatin," *Biochimie* 85,1133–1147.
- Griffiths, R. I., Whiteley, A. S., O'Donnell, A. G.,and Bailey, M. J. 2000. "Rapid method for coextraction of DNA and RNA from natural environments for analysis of ribosomal DNA-and rRNA-based microbial community composition," *Applied and environmental microbiology*, 66(12), 5488-5491.
- Gül, Ş., Belge-Kurutaş, E., Yıldız, E., Şahan, A., Doran, F. 2004. "Pollution correlated modifications of liver antioxidant systems and histopathology of fish (Cyprinidae) living in Seyhan Dam Lake, Turkey", *Environment International*, 30: 605–609.
- Gül, Ş., Belge-Kurutaş, E., Yıldız, E., Şahan, A., Doran, F. 2004. "Pollution correlated modifications of liver antioxidant systems and histopathology of fish (Cyprinidae) living in Seyhan Dam Lake, Turkey", *Environment International*, 30: 605–609.
- Gül-Şeker, M., Mater, Y. 2009." Assessment of metal and antibiotic-resistance in marine bacteria isolated from Izmit Bay and Bosphorus entrance of Marmara and Black Sea, Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(11a), 2192-2202.
- Gündoğdu, V. 2003. " Gediz Nehir Havzası Yönetim planının oluşturulmasına Yönelik Bir yaklaşım, Ege Üniversitesi," *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Gündoğdu, V. and Turhan, D., 2004. " Bakırçay Havzası Kirlilik Etüdü çalışması, DEÜ Mühendislik Fakültesi, " *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(39), 65-83.
- Güner, U. and Gökalp Muranlı, F.D., 2013. "Balıklarda Tek Hücre Jel Elektroforezi , (Comet Assay)", *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi / The Black Sea Journal of Sciences* 3(9) 103-114.
- Halliwell, B., and Gutteridge, J. M. C. 1999. "Free radicals, other reactive species and disease Free radicals in biology and medicine", 3, 617-783.
- Han, M. Y., Özyılmaz, B., Zhang, Y., and Kim, P. 2007. "Energy band-gap engineering of graphene nanoribbons" , *Physical review letters*, 98(20), 206805.
- Hansen, B.H., Rømme, S., Garmo, Ø.A., and Olsvik, P.A., Andersen R.A., 2006. "Antioxidative stress proteins and their gene expression in brown trout (*Salmo trutta*) from three rivers with different heavy metal levels" , *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* 143, 263–274.
- Haritonidis, S.,and Malea, P. 1999. "Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf ", *Greece. Environmental Pollution*, 104(3), 365-372.
- Heiske, K. 2005. "Interaction of oxygen supply, oxidative stress and molecular defence system during temperature stress in fish" , *Dem Fachbereich Biologie Der Universität, Brama*, 1-223.
- Hobson, K. A., Fisk, A., Karnovsky, N., Holst, M., Gagnon, J. M., and Fortier, M. 2002. " A stable isotope ($\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$) model for the North Water food web: implications for evaluating

- trophodynamics and the flow of energy and contaminants", *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49(22-23), 5131-5150.
- Hsu, T., Huang, K.M., Tsai, H.T., Sung, T.S., Ho, T.N. 2013. "Cadmium (Cd)-induced oxidative stress down-regulates the gene expression of DNA mismatch recognition proteins MutS homolog 2 (MSH2) and MSH6 in zebrafish (*Danio rerio*) embryos", *Aquatic Toxicology*, 126: 9-16.
- Iwama, A., Oguro, H., Negishi, M., Kato, Y., Morita, Y., Tsukui, H., and van Lohuizen, M. 2004. "Enhanced self-renewal of hematopoietic stem cells mediated by the polycomb gene product", *Immunity*, 21(6), 843-851.
- Jaffal A., Betoulle S., Biagianti-Risbourg S., Terreau A., Sanchez W., Paris-Palacios S. 2015. "Heavy metal contamination and hepatic toxicological responses in brown trout (*Salmo trutta*) from the Kerguelen Islands" *Polar Research* 34, 22784-22797.
- Järup, L. 2003. "Hazards of heavy metal contamination", *British medical bulletin*, 68(1), 167-182.
- Javed, M., Ahmad, I., Usmani, N., and Ahmad, M. 2016. "Bioaccumulation, oxidative stress and genotoxicity in fish (*Channa punctatus*) exposed to a thermal power plant effluent " , *Ecotoxicology and environmental safety*, 127, 163-169.
- Javed, M., Ahmad, I., Usmani, N., and Ahmad, M. 2016. "Studies on biomarkers of oxidative stress and associated genotoxicity and histopathology in *Channa punctatus* from heavy metal polluted canal " , *Chemosphere*, 151, 210-219.
- Jha, M., Côté, J., Hoeh, W. R., Blier, P. U., and Stewart, D. T. 2008. "Sperm motility in *Mytilus edulis* in relation to mitochondrial DNA polymorphisms: implications for the evolution of doubly uniparental inheritance in bivalves. *Evolution* " , *International Journal of Organic Evolution*, 62(1), 99-106.
- Jha, N.A., 2008. "Ecotoxicological applications and significance of the comet assay", *Mutagenesis* vol. 23 (39), 207–221.
- Kabata-Pendias, A. 2001. "Trace metals in soils-a current issue in Poland." *Acta Universitatis Wratislaviensis. Prace Botaniczne*, 79, 13-20.
- Kacar, N. B., and Uzsoy, R. 2015." Estimating Clearing Functions for Production Resources Using Simulation Optimization," *IEEE Trans. Automation Science and Engineering*, 12(2), 539-552.
- Kamunde, C., MacPhail, R. 2010." Metal-metal interactions of dietary cadmium, copper and zinc in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(4): 658-667.
- Kanev, M. O. 2016. "Beş Farklı Metal Karışımının Ergin Zebra Baliği (*Danio rerio*, Hamilton 1822) Solungaç Dokusunda Oksidatif Stres Cevabı". *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 96 sayfa.
- Karadede, H. And Ünlü, E., 2000." Concentrations of Some Heavy Metals inWater, Sediment and Fish Species from the Atatürk Dam Lake(Euphrates), Turkey", *Chemosphere*, 41 (9): 1371-1376.

- Karadede, H., Oymak, S.A. And Ünlü E., 2004. "Heavy Metals in Mullet, Lizaabu, and Catfish, Silurus triostegus, from the Atatürk Dam Lake(Euphrates), Turkey", *Environment International*, 30: 183– 188.
- Karakılçık, Y.,and Erkul, H. 2002. "Management of Asi River" Detay Publications p. 356. Ankara, Turkey.
- Karayakar F, Bavbek O, Cicik B 2017. "Mersin Körfezi'nde Avlanan Balık Türlerindeki Ağır Metal Düzeyleri ", *Journal Aquaculture Engineering Fisheries Research* 3(3):141–150.
- Kargın, F. 1996. "Seasonal Changes in Levels of Heavy Metals in Tissues of Mullusbarbatus and Sparus aurata Collected From Iskenderun Gulf (Turkey)", *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol. 90, pp. 557-562.
- Kargin, F., Cogun, H.Y. 1999. "Metal interactions during accumulation and elimination of zinc and cadmium in tissues of the freshwater fish Tilapia nilotica", *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 63, 4, 511-519.
- Kassem, M.A., Meksem, K., Kang, C.H., Njiti, V.N., Kilo, V., Wood, A.L., Lightfoot, D.A., 2004. "Loci underlying resistance to manganese toxicity mapped in a soybean recombinant inbred line population of 'Essex' x '", *ForrestPlant and Soil* 260: 197–204.
- Kayhan, F. E., 2006. "Su Ürünlerinde Kadmiyumun Biyobirikimi ve Toksisitesi", *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi* Vol:23, Sayı: 1-2, 215-220.
- Kazanç M.B, 1997. *Antioksidan Vitaminler*. Sendrom, Temmuz; 14-22
- Kelly, B.C., Ikonomou M.C., Blair J.D., Morin A.E., Frank A. P., Gobas C. 2007. " Food Web–Specific Biomagnification of Persistent Organic Pollutants ", *Science* 317 (5835), 236-239.
- Keskinkan, O., Goksu, M. Z. L., Yuceer, A., Basibuyuk, M. F. C. F., and Forster, C. F. 2003. "Heavy metal adsorption characteristics of a submerged aquatic plant (*Myriophyllum spicatum*)", *Process Biochemistry*, 39(2), 179-183.
- Khalil, R.H, Saad, T.T, Tenikhy, M, Abd El-lattif A.H., Emad A. H. 2015. "Assessment of Heavy Metals Pollution in Water Sediments and their Effect on Oreochromis Niloticus and Biochemical Markers of its Oxidative Stress" *American Journal of Life Science Researches*, 3(1), 77-90.
- Kılç, E. 2017. "Asi Havzasındaki Su Kalitesinin Çok Değişkenli İstatiksel Yöntemler Kullanılarak Değerlendirilmesi", *İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim DalıYüksek Lisans Tezi*, 90 sayfa.
- Kirby, J., Maher, W. and Krikowa, F., 2001. "Selenium, Cadmium, Copper, andZinc Concentrations in Sediments and Mullet (*Mugil Cephalus*) from theSouthern Basin of Lake Macquarie, NSW", *Australia. Archives Environmental Contamination Toxicology*", 40, 246-256.
- Kleinjans, J.C.S., and Van Schooten, F.J., 2002 "Ecogenotoxicology: the evolving field", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 11, 173–179.

- Klobučar, G.I.V., Stambuk, A., Pavlica M., Sertić Perić M., Hackenberger, B.K., Hylland, K., 2010. "Genotoxicity monitoring of freshwater environments using caged carp (*Cyprinus carpio*), *Ecotoxicology* 19, 77–84.
- Kraak, M.H.S., Lavy, D., Schoon, H., Toussaint, M., Peeters, N.M. 1994. "Vanstralen, Ecotoxicity of Mixtures of Metals to the Zebra Mussel *Dreissena-Polymorpha*", *Environmental Toxicology Chemistry*, 13,1, 109-114.
- Krishna, P. V. 2013. "Honey bee behavior inspired load balancing of tasks in cloud computing environments", *Applied Soft Computing*, 13(5), 2292-2303.
- Krishna, P.V., Rao, M., Swaruparani V., Rao, S. 2014. "Heavy Metals Concentration in Fish *Mugil cephalus* from Machilipatnam Coast and Possible Health Risks to Fish Consumers" *British Biotechnology Journal*, 4(2), 126-135.
- Kurelec, B. 1993 " The genotoxic disease syndrome, *Marine Environmental Research*, 35, 341–348.
- Kurelec, B., Krča, S., and Lucić, D. 1996. "Expression of multixenobiotic resistance mechanism in a marine mussel *Mytilus galloprovincialis* as a biomarker of exposure to polluted environments ", *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 113(2), 283-289.göney 2016
- Kurt, N. 2008. "Yaşa Bağlı olarak antioksidan enzimlerinin süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) aktivitelerinin ve malondialdehit (MDA) seviyesinin incelenmesi" , Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- Langston, W.J., Burt, G.R., Chesman, B.S., 2007 " Feminisation of male clams *Scrobicularia plana* from estuaries in Southwest UK and its induction by endocrine-disrupting chemicals", *Marine Ecological Progress Series*, 333, 173–184, (2007).
- Lemaire, P., Foşrlin, L. and Livingstone, D. R. 1996. "Responses of hepatic biotransformation and antioxidant enzymes to CYP1A-inducers (3-methylcholanthrene, bnaphthoflavone) in sea bass (*Dicentrarchus labrax*), dab (*Limanda limanda*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)", *Aquatic Toxicology* 36, 141–160.
- Lemaire, P., Foşrlin, L. and Livingstone, D. R. 1996. "Responses of hepatic biotransformation and antioxidant enzymes to CYP1A-inducers (3-methylcholanthrene, bnaphthoflavone) in sea bass (*Dicentrarchus labrax*), dab (*Limanda limanda*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)", *Aquatic Toxicology* 36, 141–160.
- Li, X., Liu, Y., Song, L. and Liu, J. 2003. "Responses of antioxidant systems in the hepatocytes of common carp (*Cyprinus carpio* L.) to the toxicity of microcystin LR". *Toxicon* 42, 85–89
- Li, Y., Wei, L., Cao, J., Qiu, L., Jiang, X., Li, P., and Diao, X. 2016." Oxidative stress, DNA damage and antioxidant enzyme activities in the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) when exposed to hypoxia and reoxygenation ", *Chemosphere*, 144, 234-240.

- Lopes, P. A., Pinheiro, T., Cristina Santos, M., da Luz Mathias, M., Collares-Pereira, M. J. And Viegas-Crespo, A. M. 2001 .” Response of antioxidant enzymes in freshwater fish populations (*Leuciscus alburnoides* complex) to inorganic pollutants exposure”, *The Science of Total Environment* 208, 153–163
- Lovell, D. P. and T. Omori. 2008. “Statistical issues in the use of the comet assay,” *Mutagenesis* 23:171-182.
- Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr, R.J. Randall 1951 “Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. “ *Journal of Biological Chemistry* 193:265-275.
- Mahino, F., Nazura, U., Fakiha, F., Mohammad, F. Z., Shafeeque, A., Kafil A.S.M. Dawar, H., Mir Hilal, A., Ehraz, A., Mobarak, M. H. 2015. “In vivo induction of antioxidant response and oxidative stress associated with genotoxicity and histopathological alteration in two commercial fish species due to heavy metals exposure in northern India (Kali) river” *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* 176–177, 17–30
- Marcovecchio, J.E., 2004. “The Use of *Micropogonias furnieri* and *Mugil liza* as Bioindicators of Heavy Metals Pollution in La Plata River Estuary,Argentina”. *Science Of The Total Environment*, 323: 219-226.
- Martínez-A´lvarez, R.M., Morales A.E. and Sanz, A. 2005. “Antioxidant defenses in fish: Biotic and abiotic factors “, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15: 75–88.
- McLean J.A, Karadas F, Surai P.F, McDevitt R.M, Speake, B.K. 2005. "Lipidsoluble and water-soluble antioxidantactivities of the avian intestinal mucosaat different sites along the intestinaltract " , *Comparative Biochemistry andPhysiology*. 141:366-372.
- Mohanty, D., Samanta L. 2016. “Multivariate analysis of potential biomarkers of oxidative stress in *Notopterus notopterus* tissues from Mahanadi River as a function of concentration of heavy metals “, *Chemosphere* 155, 28-38
- Mohanty, G., Mohanty, J., Nayak, A.K Mohanty S., Dutta, S.K., 2011. "Application of comet assay in the study of DNA damage and recovery in rohu (*Labeo rohita*) fingerling after an exposure to phorate, an organophosphate pesticide", *Ecotoxicology* 20, 283–292.
- Mohd Zainol, M. K., Abdul-Hamid, A., Abu Bakar, F., and Pak Dek, S. 2009. “Effect of different drying methods on the degradation of selected flavonoids in *Centella asiatica*” ,*International Food Research Journal*, 16, 531-537.
- Monarca, S., Feretti, D., Zanardini, A., Moretti, M., Villarini, M., Spiegelhalder, B., and Lebbolo, E. 2001. "Monitoring airborne genotoxicants in the rubber industry using genotoxicity tests and chemical analyses” , *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 490(2), 159-169.
- Moore, M.N., Depledge, M.N., Readman, J.W. and Leonard, D.R.P. 2004. "An integrated biomarker-based strategy for ecotoxicological evaluation of risk in environmental management", *Mutation Research*, 552, 247–268.

- Muthuswamy, R., Corman, J. M., Dahl, K., Chatta, G. S., and Kalinski, P. 2016. "Functional reprogramming of human prostate cancer to promote local attraction of effector CD8+ T cells", *The Prostate*, 76(12), 1095-1105.
- Naz, S., Javed. M. 2013 "Growth Responses of Fish During Chronic Exposure of Metal Mixture under Laboratory Conditions", *Pakistan Veterinary Journal*, 33, 3, 354-357.
- Norusis, M. J. 1993. "SPSS for windows: advanced statistics", release 6.0 (pp. 2-30). Chicago: SPSS Incorporated.
- Nwania, C.D., Nnajib, M.C., Oluaha, S.N., Echia, P.C., Nwambab, H.O., Ikwuagwuc, O.E., Ajima, M.N.O. 2014. "Mutagenic and physiological responses in the juveniles of Africancatfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) following short term exposure to praziquantel", *Tissue and Cell* 46; 264–273.
- Oakes, C. C., Smiraglia, D. J., Plass, C., Trasler, J. M., and Robaire, B. 2003. "Aging results in hypermethylation of ribosomal DNA in sperm and liver of male rats", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(4), 1775-1780.
- OECD, O. 2004. "The OECD principles of corporate governance" *Contaduría y Administración*, (216).
- Okonkwo J.O. And Mothiba, M., 2005. "Physico-Chemical Characteristics and Pollution Levels of Heavy Metals in the Rivers in Thohoyandou, South Africa," *Journal of Hydrology*, 308: 122–127.
- Olga I.K., Husak V.V., Rovenko, B.M., Poigner, H., Kriews, M., Abele, D., Lushchak, V., 2013. "Antioxidant system efficiently protects goldfish gills from Ni²⁺-induced oxidative stress", *Chemosphere*, 90(3), 971-976.
- Omar, W.A., Zaghloul, K.H., Abdel-Khalek, A.A., Abo-Hegab, S. 2012. "Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, *Oreochromis niloticus* and *Mugil cephalus*, from highly degraded aquatic habitats", *Mutation Research* 746:7– 14.
- Oslo Paris Convention for the Protection of the North Sea (OSPAR). 2002. "Common Assessment Criteria, their Assessment Levels and Area Classification within the Comprehensive Procedure of the Common Procedure", OSPAR Commission for the protection of the marine environment of the North-East Atlantic. <http://www.ospar.org/eng/html/welcome.html>.
- Osman, A. G., Abuel-Fadl, K. Y., 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)", *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 747(1), 14-21.
- Ozsahin, M., Gruber, G., Olszyk, O., Karakoyun-Celik, O., Pehlivan, B., Azria, D., and Matzinger, O. 2010 "Outcome and prognostic factors in olfactory neuroblastoma: a rare cancer network study", *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 78(4), 992-997.

- Ozyilmaz, G., Tukel, S.S., Alptekin, O. 2007. "Kinetic properties and storage stability of catalase immobilized on to florasil", *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 44: 38-43.
- Ödemiş, B., Sangün, M. K., and Büyüktaş, D. 2007. "Temporal variations in water quantity and quality of Orontes River Turkey", *Asian Journal of Chemistry*, 19(1), 711–1723.
- Öner, Ö. and Çelik, A. 2011. "Gediz Nehri Aşağı Gediz Havzasından Alınan Su ve Sediment Örneklerinde Bazı Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi", *Ekoloji* 20, 78, 48-52.
- Özşahin, E., 2010. "Asi (Orontes) Nehri Deltasındaki (Hatay/Türkiye) Doğal Çevre Sorunlarına Coğrafi Bir Yaklaşım", *Mustafa Kemal University Journal of Social Sciences Institute. Cilt/Volume: 7, Sayı/Issue: 13, s. 445 - 475*
- Padmini, E., Geetha B.V., Rani M.U. 2008. "Liver oxidative stress of the grey mullet *Mugil cephalus* presents seasonal variations in Ennore estuary", *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 41: 951-955
- Pais, I., Jones, J.B., 2000. "The Handbook of Trace Elements. St. Luice Press", Florida
- Parihar, M. S., Javeri, T., Hemnani, T., Dubey, A. K. and Prakash, P. 1997. "Responses of superoxide dismutase, glutathione peroxidase and glutathione antioxidant defenses in gills of the freshwater catfish (*Heteropneustes fossilis*) to short-term elevated temperature", *Journal of Thermal Biology* 22, 151–156
- Parihar, M. S., Javeri, T., Hemnani, T., Dubey, A. K. and Prakash, P. 1997. "Responses of superoxide dismutase, glutathione peroxidase and glutathione antioxidant defenses in gills of the freshwater catfish (*Heteropneustes fossilis*) to short-term elevated temperature", *Journal of Thermal Biology* 22, 151–156
- Parlak, H., Arslan, Ö.Ç., Boyacıoğlu, M., Karaarslan, M.A., 2011. "Ekotoksikoloji Ders Kitabı", Ege Üniversitesi", *Su Ürünleri Fakültesi Yayınları no: 79 dizin 39.339 sayfa.*
- Prasad, P. N. 2004." Introduction to biophotonics " John Wiley and Sons.
- Praspaliauskas, M., and Pedišius, N. 2017. "A review of sludge characteristics in Lithuania's wastewater treatment plants and perspectives of its usage in thermal processes", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 899-907.
- Qiu, Y.W., 2015 "Bioaccumulation of heavy metals both in wild and mariculture food chains in Daya Bay, South China", *Estuarine, Coastal and Shelf Science* ,163, 7e14
- Qu, X., Yang, Y., Liu, Z., Jin, S., Weng, J. 2014. "Potential crash risks of expressway on-ramps and off-ramps: a case study in Beijing, China ", *Safety science*, 70, 58-62.
- Qu,R., Feng, M., Wang, X., Qin, L., Wang, C., Wang, Z. 2014. "Liansheng Wang Metal accumulation and oxidative stress biomarkers in liver of freshwater fish *Carassius auratus* following in vivo exposure to waterborne zinc under different pH values". *Aquatic Toxicology* 150, 9–16
- Quiles, J., Huertas, J., Batine, M., Mataix, J., Tortosa, C. 2002. "Antioxidant nutrients and adriamycin toxicity", *Toxicology*. 180: 79-95.

- Rainbow, P. S. 1995. "Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment", *Marine pollution bulletin*, 31(4-12), 183-192.
- Rainbow, P. S. 2002. "Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what?" *Environmental Pollution*, 120(3), 497-507.
- 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 ", *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 41(2), 85-91.
- 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", *Environmental Moleculea Mutagen*. 41, 85–91.
- Reddy, J. N. 2014. "An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis: with applications to heat transfer, fluid mechanics, and solid mechanics" OUP Oxford.
- Ritola, O., Livingstone, D.R., Peters, L.D., Lind, P.S., 2002. "Antioksidant processes are affected in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to ozone and oxygen-supersaturated water " *Aquaculture*. 210: 1-19.
- Romeo, M., Bennani, N., Gnassia-Barelli, M., Lafaurie, M., Girard, J.P., 2000. "Cadmium and copper display different responses towards oxidative stress in the kidney of the sea bass *Dicentrarchus labrax*", *Aquatic Toxicology*, 48: 185-194.
- Sánchez-Muros M.J., Villacreces S., la Lama G.M, Haro C., Garcí'a-Barroso .F., 2013. " Effects of chemical and handling exposure on fatty acids, oxidative stress and morphological welfare indicators in gilt-head sea bream (*Sparus aurata*)", *Fish Physiol Biochem*,39:581–591.
- Sabrah, M. M., Mohamedein, L.I., El-Sawy, M.A., Abou El-Naga, E.H. 2016. "Biological Characteristics in Approaching to Biochemical and Heavy Metals of Edible Fish *Terapon puta*, Cuvier, 1829 from Different Fishing Sites along the Suez Canal, Egypt", *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, (baskıda)
- Samad, M.A., Mahmud, Y., Adhikary R.K., Rahman, S.B.M., Haq, M.S., Rashid, H. 2015, "Chemical Profile and Heavy Metal Concentration in Water and Freshwater Species of Rupsha River, Bangladesh", *American Journal of Environmental Protection*, 3(6)180-186
- Sanches, M. C. S. 2013 ".Estudo de casos de patologias estruturais ocasionadas por ação das águas pluviais e aterros na região de Campo Mourão", PR (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Sanz, A., Furn'e, M. and Trenzado, C.E., 2012. "Study of the Oxidative State, as a Marker of Welfare, on Gilthead Sea Bream, *Sparus aurata*, Subjected to Handling Stress", *Journal of The World Aquaculture Society* 43(5), 707-715.
- Sies, H. (1986) *Biochemistry of oxidative stress*, *Angewandte Chemie Edition* 25, 1058–1071.
- Sarıhan, E., 1985. "Limnoloji". Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notu Yayınları No:110, Adana.71s

- Shukla, N., Ameer, N., Yilmaz, I., Nafa, K., Lau, C. Y., Marchetti, A., Ladanyi, M. 2012. "Oncogene mutation profiling of pediatric solid tumors reveals significant subsets of embryonal rhabdomyosarcoma and neuroblastoma with mutated genes in growth signaling pathways", *Clinical Cancer Research*, 18(3), 748-757.
- Simonyan, A., Gabrielyan, B., Minasyan, S., Hovhannisyan, G., and Aroutiounian, R. 2016. "Genotoxicity of water contaminants from the Basin of Lake Sevan, Armenia evaluated by the Comet Assay in Gibel Carp (*Carassius auratus gibelio*) and *Tradescantia* bioassays", *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 96(3), 309-313.
- Singh, N. P., M. T. McCoy, R. R. Tice, and E. L. Schneider. 1988. "A Simple Technique for Quantitation of Low-Levels of DNA Damage in Individual Cells", *Experimental Cell Research* 175:184-191.
- Stumpe, K. D. M., Urbinelli, M., Steinert, H. C., Glanzmann, C. H., Buck, A., Von Schulthess, G. K. 1998. "Whole-body positron emission tomography using fluorodeoxyglucose for staging of lymphoma: effectiveness and comparison with computed tomography", *European journal of nuclear medicine*, 25(7), 721-728.
- Sushil, J. K., 1986. "Membran Lipid Peroxidation in Erythrocytes of the Newborn," *Cli Chi. Acta*, 161:301-306.
- Swann, La. D., 2000. "A Fish Farmer's Guide to Understanding Water Quality," Illinois-Indiana Sea Grant Program, Purdue University. Web:<http://www.ansc.purdue.edu/aquatic>
- Syrian Arab Republic Ministry of State For Environmental Affairs 2003."Strategy and National Environmental Action Plan For The Syrian Arab Republic", World Bank/ UNDP.
- Şekeroğlu, Z., Şekeroğlu, V., 2011. "Genetik Toksikite Testleri", *Tubav Bilim Dergisi*, 4 (3), 221-229.
- Taşdemir, M., and Göksu, Z. L. 2001. " Asi Nehri'nin (Hatay, Türkiye) Bazı Su Kalite Özellikleri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*" . 18(1-2), 55-64.
- Taylan, Z. S., Özkoç, H. B. 2016. "Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği ", *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 9(2), 17-33.
- Taylan, Z. T., and Ozkoc, H. B. 2007. "The bio-usability of aquatic organisms on determination of potential heavy metal contamination", *BAU Journal Institute National Science*, 9(2), 17-33.
- Tekelioğlu, N. 1996. "İç Su Balıkları Yetiştiriciliği", *Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Yüksekokulu*, 339-354
- Teugels, G. 1986. "A systematic revision of the African species of the genus *Clarias* (Pisces: Clariidae)", *Annales Musee Royal de l'Afrique Centrale*, 247: 1- 199.
- TGK," Türk Gıda Kodeksi", 2002. Resmi Gazete, 23 Eylül 2002, No. 24885.
- The Scientific and Technological Research Council of Turkey e Marmara Research Center (TÜBİTAK-MAM), 2013. <http://ctue.mam.tubitak.gov.tr/tr/arastirmaalanlari/temiz-uretim>, accessed in January 2014

- Tse, D., Langston, R. F., Kakeyama, M., Bethus, I., Spooner, P. A., Wood, E. R., Morris, R. G. 2007. "Schemas and memory consolidation", *Science*, 316(5821), 76-82.
- Turan, C., Turan, F. 2015. "Balıklandırma ve Yetiştiricilik Faaliyetlerinin Doğal Stoklara olan Genetik Etkileri, II Balıklandırma ve Rezervuar Yönetimi Sempozyumu" , 20-22 Mayıs 2015 Eğirdir, Turkey. Bildiri Özetler Kitabı sayfa 21-22.
- Turan, C., Yalçın, S., Turan, F., Okur, E., Akyurt, I. 2005, "Morphometric comparisons of African catfish, *Clarias gariepinus*, populations in Turkey", *Folia Zoologica*, 54 (1–2): 165–172.
- Türkmen, M. and Çalışkan, E., 2011."Seasonal and Spatial Distributions of the Metals in the Water from the River Asi in Southern East Mediterranean Area of Turkey", *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1):35-42.
- Ullah S., Hassan, S., Dhama K., 2016. "Level of Heavy Metals in Two Highly Consumed Fish Species at District Lower Dir, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan" *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 19,115-121
- UNEP, 1984. "Determination of total Cadmium, Zinc, Lead and Copper in Selected marine organisms by Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry", *Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 11 Rev. 1*
- UNESCO-IHE (Institute for water education)., 2002. "From conflict to cooperation in international water resources management: challenges and opportunities," Institute for Water Education Delft, The Netherlands.
- United Nations, 2002 Johannesburg Summit 2002 "Syrian Arab Republic Country Profile ", <http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/wssd/syria.pdf> (Erisim Tarihi: 24.02.2009)
- Ünver, Z.A., Koldemir, M., Duman, B.S., Sesal N.C., Kayhan, F.E. 2014 "Zebra Balıklarında (Danio Rerio) Ağır Metal İndüksiyonunun Oksidatif Stres Parametrelerine Etkisi", *Journal of FisheriesSciences.com*, 8(3): 199-207.
- Vaglio, A. and Landriscina, C. 1999. "Changes in liver enzyme activity in the teleost *Sparus aurata* in response to cadmium intoxication", *Ecotoxicology and Environmental Safety* 43, 111–116
- Valverde, M., Rojas, E., 2009 "Environmental and occupational biomonitoring using the Comet assay", *Mutation Research*, 681, 93–109.
- Vlahogianni, T., Dassenakis, M., Scoullou, M.J., Valavanidis, A. 2007. "Integrated use of biomarkers (superoxide dismutase, catalase and lipid peroxidation) in mussels *Mytilus galloprovincialis* for assessing heavy metals" pollution in coastal areas from the Saronikos Gulf of Greece", *Marine Pollution Bulletin*, 54(9), 1361-1371
- Wang Y, Chien Y, Pan T. 2006. "Effect of dietary supplementation of carotenoid on survival, growth, pigmentation, and antioxidant capacity of characins, *Hypssobrycon callistus* ", *Aquaculture*. 261:641-648.

- WHO (World Health Organization), 1989. "Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium", World Health Organization (WHO) Technical Report Series No:505, Geneva.
- WHO (World Health Organization), 1989. "Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium" , World Health Organization (WHO) Technical Report Series No:505, Geneva.
- Wickens, A.P., 2001. "Ageing and free radical theory", Respiration Physiology, 128: 379-391.
- Wohaieb, S. A., and Godin, D. V. 1987. "Starvation-related alterations in free radical tissue defense mechanisms in rats. Diabetes", 36(2), 169-173.
- Wilhelm Filho, D., Torres, M. A., Tribess, T. B., Pedrosa, R. C. and Soares, C. H. I. 2001. "Influence of season and pollution on the antioxidant defenses of the cichlid fish acara (Geophagus brasiliensis)", Brazilian Journal of Medical and Biological Research 34, 719–726.
- Witeska, M., Sarnowski, P., Ługowska, K., Kowal, E. 2014."The effects of cadmium and copper on embryonic and larval development of ide *Leuciscus idus* L. Fish physiology and biochemistry" , 40(1), 151-163.
- Yalçın, Ş., Solak, K. And Akyurt, İ., 2001." Certain Reproductive Characteristics of the Catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) Living in the River Asi, Turkey", Turk Journal Zoology., (25), 453-460.
- Yalçın, Ş. Ö., Akyurt, İ., and Solak, K. 2001."Stomach contents of the catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in the River Asi (Turkey)", Turkish Journal of Zoology, 25(4), 461-468.
- Yamamoto, F. Y., Pereira, M. V. M., Lottermann, E., Santos, G. S., Stremel, T. R. O., Doria, H. B., and Neto, F. F. 2016. "Bioavailability of pollutants sets risk of exposure to biota and human population in reservoirs from Iguaçú River (Southern Brazil)", Environmental Science and Pollution Research, 23(18), 18111-18128.
- Yang, H.J., Shen, Z.M., Zhang, J.P. and Wang, W.H., 2007. "Water quality characteristics along the course of the Huangpu River (China)" , Journal of Environmental Sciences, 19(10): 1193-1198.
- Yılmaz, A.B. 2003. "Levels of Heavy Metals (Fe, Cu, Ni, Cr, Pb and Zn) in Tissue of *Mugil cephalus* and *Trachurus mediterraneus* from İskenderun Bay, Turkey", Environmental Research, 92 : 277 - 281.
- Yılmaz, A.B. and Doğan, M., 2008. "Heavy metals in water and in tissues of *himri* (*Carasobarbus luteus*) from Orontes (Asi) River, Turkey", Environmental monitoring and assessment, 144(1-3): 437-444.
- Yohannes, Y., Ikenaka, Y., Saengtienchai, A., Watanabe, K., Nakayama, S.M., Ishizuka, M. 2013. "Occurrence, distribution, and ecological risk assessment of DDTs and heavy metals in surface sediments from Lake Awassa—Ethiopian Rift Valley Lake", Environmental Science Pollution Research 20, 1–9.



YSKYY, 2012. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği. Orman ve Su İşleri Bakanlığında. Resmi Gazete, 30 Kasım 2012, Sayı: 28483.

Zhang , J.F., Liub, H., Sun, Y.Y., Wang, X.R., Wu, J.C., Xue,Y.Q. 2005."Responses of the antioxidant defenses of theGoldfish *Carassius auratus*, exposed to 2,4-dichlorophenol", Environmental Toxicology and Pharmacology 19: 185–190.

Zhou, B. S., W. H. Liu, W. H. L. Siu, D. O'Toole, P. K. S. Lam, and R. S. S. Wu. 2006. "Exposure of spermatozoa to duroquinone may impair reproduction of the common carp (*Cyprinus carpio*) through oxidative stress" , Aquatic Toxicology 77:136-142.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. FUNDA TURAN
Proje No:	116Y262
Proje Başlığı:	Asi Nehri'nin Genotoksik Potansiyelinin In-Situ Belirlenmesi ve İndikatör Tür Olarak Karabalık, Clarias Gariepinus Kullanımı
Proje Türü:	3001 - Başlangıç AR-GE
Proje Süresi:	24
Araştırmacılar:	GÜL ÖZYILMAZ, MELTEM EKEN
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İSKENDERUN TEKNİK Ü. DENİZ BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİSİ F.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/12/2016 - 01/12/2018
Onaylanan Bütçe:	97844.0
Harcanan Bütçe:	71719.8
Öz:	<p>Bu çalışma ile, Asi Havzası'nın ana kolu olan Asi Nehri'nde, biyogösterge tür karabalık Clarias gariepinus'de solungaç ve karaciğer dokusunda Komet Analizi ile olası DNA hasar düzeyinin tespit edilmesi ve türde ve suda ağır metal gibi toksik kimyasalların seviyelerinin ölçülerek, kirlenici seviyeleri ile DNA hasarı arasındaki ilişkinin anlaşılması, bununla birlikte biyogösterge türde oluşan oksidatif strese bağlı gelişen fizyolojik cevap ve DNA hasarı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışmada; Asi Nehri'nin Demirköprü, Samandağ ve referans noktası Karasu Çayı'nda, bir yıl süreyle mevsimsel su ve balık örneklemeleri yapılmıştır. Karabalıkların solungaç ve karaciğer dokularında COMET analizi ile DNA hasarı, karaciğer ve kas dokularında ağır metal ölçümleri ile süperoksit dismutaz (SOD), Katalaz (CAT) ile protein, malondialdehit (MDA) düzeyleri ve son olarak su örneklerinde ağır metal ölçümleri yapılmıştır. Karabalık'ın incelenen dokularındaki ağır metal derişimlerinin metale, dokuya ve suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişim gösterdiği saptanmıştır. Karabalık'ın başlıca tüketilebilir kısmını oluşturan kas dokusundaki Cd ve Pb derişiminin belirlenen tüm istasyonlarda, ulusal ve uluslararası kabul edilebilir aralığın üstünde olduğu belirlenmiştir. COMET analizi sonucu, mevsimsel/genel anlamda her iki dokuda da hasar düzeyi en yüksek bölge, % 3,345±0,521 kuyruk yoğunluğu (%T-DNA), 1,548±0,069 µm kuyruk momenti ve 6,892±0,234 kuyruk göçü ile Samandağ istasyonunda tespit edilmiştir. İlkbahar mevsimi karaciğer CAT düzeyleri tüm istasyonlarda istatistiki olarak farklı iken, kas dokularında farklılık gözlenmemiştir. Karabalık Karaciğer ve kas dokularında genel olarak SOD aktivitesinin en yüksek gözlendiği istasyon Demirköprü ve en düşük Karasu istasyonu olmuştur. MDA düzeyi Samandağ istasyonunda en yüksek, Karasu istasyonunda ise en düşük olduğu belirlenmiştir. Pearson Korelasyon analizi sonucunda, fiziko-kimyasal parametreler ile DNA hasarı arasında anlamlı bir ilişki gözlenmezken, ağır metallere suda tespit edilen Cd, Cr, Ni, Pb, Co ve Cu ile pozitif güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Asi Nehrinde biyoindikatör Karabalıkta komet analizinin alıcı ortamlardaki genotoksik kirlenicilerin taranmasında kullanışlı bir izleyici olabileceği söylenebilir.</p>
Anahtar Kelimeler:	Asi Nehri, DNA Hasarı, Komet Analizi, Karabalık, Clarias gariepinus
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır