
SU ÜRÜNLERİ

Editör: Prof.Dr. Mustafa DÖRÜCÜ

SU ÜRÜNLERİ

Editör

Prof. Dr. Mustafa DÖRÜCÜ

yaz
yayınları

2024

SU ÜRÜNLERİ

Editör: Prof. Dr. Mustafa DÖRÜCÜ

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-6171-05-3

Ekim 2024 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Zebra Balığı Davranışlarına Genel Bir Bakış.....1

Ekrem SULUKAN

**Doğal Sularda Siyanür Kaynakları ve Balıklara
Etkileri.....11**

Mustafa DÖRÜCÜ

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

ZEBRA BALIĞI DAVRANIŞLARINA GENEL BİR BAKIŞ

Ekrem SULUKAN¹

1. GİRİŞ

İlk olarak 1822'de Hamilton tarafından tanımlanan Zebra balığı (*Danio rerio*), (Weber ve De Beaufort, 1916) Hindistan, Nepal, Pakistan ve Bangladeş göllerinde ve pirinç tarlalarında yaşayan küçük (4 cm uzunluğunda) bir tatlı su balığı türüdür (Robert Gerlai, 2011). Popüler bir akvaryum balığı olan Zebra balığı, birkaç on yıldır bilimsel çalışmalarda da kullanılmaktadır. Zebra balığı ile yürütülen ilk bilimsel çalışmalardan biri gelişim biyolojisi analizine yönelik olmuş ve sonrasında da gelişim biyolojisinin birincil model organizmalarından biri haline gelmiştir (Creaser, 1934). Zebra balığı ile ilgili son otuz yıldır yapılan araştırmaların çoğu gelişimsel sorularla ilgili olsa da, 1970'lerde ve 1980'lerde yayınlanan bazı çalışmalar zebra balığının davranışsal sinirbilimde de başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir (Dill, 1974a)(Dill, 1974b)(Mc Cann ve Matthews, 1974)(McCann ve Carlson, 1982)(Robert Gerlai, 2011). Zebra balığı memelilere fizyolojik benzerlik göstermesi, genetik manipülasyonların kolaylığı, farmakolojik ve genetik faktörlere duyarlılığı, sağlam davranış, düşük maliyet ve yüksek verimli tarama potansiyelinin bulunması nedeniyle model organizma olarak bilimsel araştırmalarda sıkça tercih edilmektedir (Henry vd., 2022). Zebra balığı kullanımı, translasyonel sinirbilim ve davranışsal araştırmalarda hızla popülerlik kazanmaktadır. Zebra

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, ekrem.sulukan@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4414-9873.

balığı davranış fenotiplerini anlamak, sinir yolları, fizyolojik biyobelirteçler ve normal ve patolojik beyin fonksiyonunun genetik temelleri hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır (Kalueff vd., 2013).

2. KAYGI/KORKU İLE İLGİLİ DAVRANIŞ

Gelişim biyolojisi ve genetiğinde merkezi bir model haline gelen zebra balığı (*Danio rerio* Hamilton 1822), nörobiyoloji, nöropsikofarmakoloji ve nörotoksikoloji çalışmalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır (Grunwald ve Eisen, 2002). Genomu, transkriptomu ve proteomu yaygın olarak tanımlanmış, ucuz ve bakımı kolay bir model organizma olan zebra balığı, nöropsikofarmakoloji, nöropatoloji ve psikopatolojide yüksek verimli davranışsal modellerde bir denek olarak büyük bir potansiyele sahiptir (Maximino vd., 2010). Bu tür araştırmalarda kullanabilmek için kaygı, stres ve korku gibi davranışsal fenotipleri tanımlayabilecek testler geliştirilmektedir (Cachat vd., 2011).

2.1.Saldırganlık

Saldırganlık, bir dizi uyarlanabilir amaca hizmet eden karmaşık bir davranış dizisidir. Balıklar yavrularını korumak, yiyecek, bölge ve eş gibi kaynakları tekeline almak ve baskınlık hiyerarşileri kurmak için saldırganlığı kullanırlar. Saldırganlık; serbest olarak yüzen iki balığın etkileşimini kaydederek veya ayna kaynaklı uyarım (MIS) kullanarak laboratuvarında ölçülebilir (Bonan ve Norton, 2015). Balıklar kendi görüntülerini tanıyamazlar ve bu nedenle bir davetsiz misafir varmış gibi saldırırlar. Zebra balığı, ısırma, kuyruğu çırpma ve aynaya karşı kısa hızlı yüzme nöbetleriyle birleştirilmiş sırt, kuyruk, pektoral ve anal yüzgeçlerin dikilmesi gibi karakteristik agonistik duruşlar sergiler (R. Gerlai vd., 2000) Diğer türler üzerinde yapılan çalışmalar, saldırganlığı kontrol eden ana nörotransmitterin 5-HT

olduğunu tespit etmiştir. Yüksek 5-HT seviyelerine sahip hayvanlar çekingen olma eğilimindeyken, düşük seviyelere sahip olanlar daha dürtüsel ve saldırgan bir davranış sergilemişlerdir. MIS kurulması ve uygulaması kolay bir protokoldür. Bilgisayar destekli otomasyonla birleştirildiğinde, yüksek verimli tarama çalışmaları için uyarlanabilir ve böylece saldırganlık kontrolünde rol oynayan yeni genleri ortaya çıkarmak için bir fırsat sunar (Norton ve Bally-Cuif, 2010).

2.2.Kaygı

Kaygı, gerçek veya hayal edilen gelecekteki bir olayın beklentisiyle oluşan sürekli bir korku veya huzursuzluk halidir. Balıklarda birden fazla kaygı testi oluşturulmuştur, ancak korkunun mu yoksa kaygının mı ölçüldüğü veya farklı durumların var olup olmadığı her zaman açık değildir (Blaser vd., 2010). Kaygıyı ölçmek için yetişkin balıkların yeni ortamlara tepkisi kaydedilir. Örneğin bir tankın kenarında, yeni bir tankın dibinde veya aydınlık/karanlık bir tankın karanlık tarafında geçirilen zaman miktarı tespit edilir (Serra vd., 1999)(Egan vd., 2009). Bir diğer yaklaşımda ise; donma, bazal hareket aktivitesinde uzun süreli artışlar ve bir balığın sürüsünün daralması gibi hareket modelleri analiz edilir (Speedie ve Gerlai, 2008)(López-Patiño vd., 2008). Zebra balığında kaygıyı test etmek için yeni tank dalış testi kullanılmaktadır. Bu testte zebra balığı bilmediği bir ortamda koruma arama içgüdüsunü kullanarak dalış yapar ve kendini keşfetmek için yeterince güvende hissedene kadar dipte kalır (Levin vd., 2007). Araştırmacılar bu modeli kullanarak kaygıyı değerlendirmek için davranışsal parametreleri (üst yarıya girme gecikmesi, tankın üst yarısına geçişler, düzensiz hareketler ve donma nöbetleri gibi) toplayabilir ve karşılaştırabilir. Genellikle, üst yarıya girmek için daha uzun bir gecikme, üstte geçirilen zamanın azalması, ayrıca artan düzensiz hareketler ve donma, artan kaygıyı gösterir (Levin vd., 2007)(Barcellos vd., 2007).

3. BİLİŞSEL DAVRANIŞ

Zebra balığı, diğer klasik laboratuvar modeli organizmalarına kıyasla öğrenme ve hafıza çalışmalarında nispeten yeni olmasına rağmen, şimdiye kadar yapılan birkaç çalışma, bu küçük omurgalının bir dizi öğrenme görevinde de iyi bir performans gösterebildiğini ortaya koymuştur (Sison vd., 2006). Yapılan çalışmalardan elde edilen veriler bir arada değerlendirildiğinde; zebra balığının, koku alma koşullandırmasında, mekik kutusu aktif iştah koşullandırmasında, yer koşullandırmasında, iştah seçim ayırımında, aktif kaçınma koşullandırmasında, dönüşümlü bellek görevinde ve en son olarak artı labirent uzamsal olmayan ve uzamsal ilişkisel öğrenme görevinde iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir (Gómez-Laplaza ve Gerlai, 2010).

4. SOSYAL DAVRANIŞ

Zebra balığının ilginç bir davranışsal özelliği, sıkı gruplar veya sürüler oluşturma eğilimleridir. Zebra balığının sürü eşlerinin hangi özelliklerini tercih ettiğine dair çeşitli yönler incelenmiştir. Sürü boyutu ve cinsiyet gibi özellikler, vücut ölçüsü, yüzgeç uzunluğu, çizgili desen ve genel pigmentasyon araştırılmıştır (Miller ve Gerlai, 2007). Sürü davranışı genellikle, bir test tankının merkezi bölmesine yerleştirilen ve aynı türe ait iki bitişik bölmenin bulunduğu veya boş olan bir test balığının tercihinin ölçülmesiyle belirlenir (Wright ve Krause, 2006). Bu yöntem sürü tercihlerine ve bir test deneğinin genel olarak sürü eğilimine ışık tutabilirken, serbest yüzen sürülerdeki balıklar arasındaki ilişkinin iç dinamiklerinin analizine izin vermez. Koku, işitsel ve yanal çizgi algılanan bilgileri test balığı tarafından kullanılamaz ve sürü arkadaşlarıyla birleşip birlikte yüzemez, yani etkileşime giremez. Sonuç olarak, test balığının davranışı, bir zebra balığı sürüsünün üyelerinin doğal koşullar

altında normalde yapacaklarını yansıtmayabilir. Bu nedenle, serbestçe hareket eden bir sürüdeyken balıkların dinamik davranışlarının analizini sağlayan farklı bir yöntem faydalı olacaktır (Miller ve Gerlai, 2007).

5. AĞRI İLE İLGİLİ DAVRANIŞLAR

Genetik işlenebilirlik, benzer fizyoloji, düşük maliyet ve zengin davranışsal repertuvar nedeniyle zebra balığı, ağrı tepkilerini modellemek için güçlü bir su modelidir. Zebra balığı tabanlı ağrı modellerinin kullanımı nispeten yeni olsa da, bu tür çeşitli nosiseptif uyarılara karşı yüksek hassasiyet gösterir. Özellikle, zebra balığı klinik olarak aktif analjeziklere yanıt verir ve bu da insan ağrısıyla ilişkili bozuklukların moleküler temelini araştırmak için umut verici bir model sunar (Costa vd., 2022). Ağrı ve nosisepsiyon araştırmalarında halihazırda kullanılan davranışsal testler arasında refleksif ve refleksif olmayan testler yapılabilir. Yüzme aktivitesi/hareketi ile ilgili refleksif davranış, yüzme hızı veya kat edilen mesafe gibi çeşitli biçimleriyle hem larvalar hem de yetişkin zebra balıkları için kolayca değerlendirilebilir. Ayrıca, yetişkinlerde donma davranışı gözlemlenebilir veya aktivite ve dinlenme oranı hesaplanabilir. Refleks tabanlı davranışa dair diğer iyi örnekler, enjeksiyon yerine bağlı olan karın kasılması, kıvrınma, dudakları ovuşturma veya nesnelere sürtünme gibi modellerdir (Ohnesorge vd., 2021).

6. UYKU DAVRANIŞI

Zebra balığında büyük ölçekli genetik taramalar yürütme konusunda edinilen deneyim, mevcut çok sayıda mutant fenotip ve bu alt omurgalının genetik ve fiziksel haritalarının yapısı göz önüne alındığında, bu modelin gündüz omurgalılarında homeostaz mekanizmalarını ve davranışın moleküler temellerini

incelemek için en iyi adaylardan biri olabileceği görülmektedir (Zhdanova vd., 2001). Zebra balığının uykusunun günlük yapısı, insanlarınkine benzer olduğu için uyku sürecinin sirkadiyen düzenlenmesini incelemek amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir (Zhdanova, 2011). Larva zebra balığında, çoğunlukla geceleri meydana gelen uzun süreli hareketsizlik dönemleri (balık türüne ve yaşına bağlı olarak 10 dakikaya kadar süren nöbetler) genellikle ya baş aşağı yüzerek ya da tankın tabanına yakın yatay bir pozisyonda kalarak iki ana duruşla kendini göstermektedir (Ricarte vd., 2024). İnsanlarda ve diğer memelilerde, uyku süreci çocukluktan olgunluğa önemli ölçüde değişir ve yaşlanma sırasında daha fazla değişiklik gözlemlenir. Tipik olarak, olgunluk daha az toplam uyku süresi ve genel günlük uyku düzeninin daha az parçalı hale gelmesiyle ilişkilidir. Benzer şekilde, yetişkin zebra balıkları da daha az genel uyku süresi gösterir ve bunun çoğu geceleri gerçekleşir. Uyku pozisyonları da yaşla birlikte değişir. Uyuyan yetişkin zebra balıkları yatay bir pozisyonda veya başları hafifçe yukarı bakacak şekilde yüzer, ara sıra gözlerini veya yüzgeçlerini hareket ettirir veya hatta yavaşça yüzer (Chiu ve Prober, 2013). Genel olarak, hem larva hem de yetişkin zebra balığındaki uyku davranışı, incelenen diğer omurgalılarınkine çok benzerdir ve azalmış veya yok olan hareket, belirli duruşlar ve artmış uyarılma eşiği ile ilişkilidir. Zebra balığındaki uyku, artmış uyku derinliği veya kısa uyarılmalarla tutarlı olabilecek periyodik olaylar sergiliyor gibi görünse de, zebra balığında belirgin uyku evreleri olup olmadığı henüz görülmemiştir (Altenhofen ve Bonan, 2022).

KAYNAKÇA

- Altenhofen, S., Bonan, C. D. 2022. "Zebrafish as a Tool in the Study of Sleep and Memory-related Disorders". *Current Neuropharmacology*, 20(3), 540–549.
- Barcellos, L. J. G., Ritter, F., Kreutz, L. C., Quevedo, R. M., da Silva, L. B., Bedin, A. C., ... Cericato, L. 2007. "Whole-body cortisol increases after direct and visual contact with a predator in zebrafish, *Danio rerio*". *Aquaculture*, 272(1–4), 774–778.
- Blaser, R. E., Chadwick, L., McGinnis, G. C. 2010. "Behavioral measures of anxiety in zebrafish (*Danio rerio*)". *Behavioural Brain Research*, 208(1), 56–62.
- Bonan, C. D., Norton, W. H. 2015. "The utility of zebrafish as a model for behavioural genetics". *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 2, 34–38.
- Cachat, J., Stewart, A., Utterback, E., Hart, P., Gaikwad, S., Wong, K., ... Kalueff, A. V. 2011. "Three-Dimensional Neurophenotyping of Adult Zebrafish Behavior". *PLoS ONE*, 6(3), e17597.
- Chiu, C. N., Prober, D. A. 2013. "Regulation of zebrafish sleep and arousal states: current and prospective approaches". *Frontiers in Neural Circuits*, 7.
- Costa, F. V., Rosa, L. V., Quadros, V. A., de Abreu, M. S., Santos, A. R. S., Sneddon, L. U., ... Rosemberg, D. B. 2022. "The Use of Zebrafish as a Non-traditional Model Organism in Translational Pain Research: The Knowns and the Unknowns". *Current Neuropharmacology*, 20(3), 476–493.
- Creaser, C. W. 1934. "The Technic of Handling the Zebra Fish (*Brachydanio rerio*) for the Production of Eggs Which Are Favorable for Embryological Research and Are Available

- at Any Specified Time Throughout the Year". *Copeia*, 1934(4), 159.
- Dill, L. M. 1974a. "The escape response of the zebra danio (*Brachydanio rerio*) I. The stimulus for escape". *Animal Behaviour*, 22(3), 711–722.
- Dill, L. M. 1974b. "The escape response of the zebra danio (*Brachydanio rerio*) II. The effect of experience". *Animal Behaviour*, 22(3), 723–730.
- Egan, R. J., Bergner, C. L., Hart, P. C., Cachat, J. M., Canavello, P. R., Elegante, M. F., ... Kalueff, A. V. 2009. "Understanding behavioral and physiological phenotypes of stress and anxiety in zebrafish". *Behavioural Brain Research*, 205(1), 38–44.
- Gerlai, R., Lahav, M., Guo, S., Rosenthal, A. 2000. "Drinks like a fish: zebra fish (*Danio rerio*) as a behavior genetic model to study alcohol effects". *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 67(4), 773–782.
- Gerlai, Robert. 2011. "A small fish with a big future: zebrafish in behavioral neuroscience". *revneuro*, 22(1), 3–4.
- Gómez-Laplaza, L. M., Gerlai, R. 2010. "Latent learning in zebrafish (*Danio rerio*)". *Behavioural Brain Research*, 208(2), 509–515.
- Grunwald, D. J., Eisen, J. S. 2002. "Headwaters of the zebrafish — emergence of a new model vertebrate". *Nature Reviews Genetics*, 3(9), 717–724.
- Henry, J., Bai, Y., Kreuder, F., Saaristo, M., Kaslin, J., Wlodkowic, D. 2022. "Sensory-Motor Perturbations in Larval Zebrafish (*Danio rerio*) Induced by Exposure to Low Levels of Neuroactive Micropollutants during Development". *International Journal of Molecular Sciences*, 23(16), 8990.

- Kalueff, A. V., Gebhardt, M., Stewart, A. M., Cachat, J. M., Brimmer, M., Chawla, J. S., ... Schneider, and the Zebrafish Neuros, H. 2013. "Towards a Comprehensive Catalog of Zebrafish Behavior 1.0 and Beyond". *Zebrafish*, 10(1), 70–86.
- Levin, E. D., Bencan, Z., Cerutti, D. T. 2007. "Anxiolytic effects of nicotine in zebrafish". *Physiology & Behavior*, 90(1), 54–58.
- López-Patiño, M. A., Yu, L., Cabral, H., Zhdanova, I. V. 2008. "Anxiogenic effects of cocaine withdrawal in zebrafish". *Physiology & Behavior*, 93(1–2), 160–171.
- Maximino, C., de Brito, T. M., da Silva Batista, A. W., Herculano, A. M., Morato, S., Gouveia, A. 2010. "Measuring anxiety in zebrafish: A critical review". *Behavioural Brain Research*, 214(2), 157–171.
- Mc Cann, L. I., Matthews, J. J. 1974. "The effects of lifelong isolation on species identification in zebra fish (*Brachydanio rerio*)". *Developmental Psychobiology*, 7(2), 159–163.
- McCann, L. I., Carlson, C. C. 1982. "Effect of cross-rearing on species identification in zebra fish and pearl danios". *Developmental Psychobiology*, 15(1), 71–74.
- Miller, N., Gerlai, R. 2007. "Quantification of shoaling behaviour in zebrafish (*Danio rerio*)". *Behavioural Brain Research*, 184(2), 157–166.
- Norton, W., Bally-Cuif, L. 2010. "Adult zebrafish as a model organism for behavioural genetics". *BMC Neuroscience*, 11(1), 90.
- Ohnesorge, N., Heintz, C., Lewejohann, L. 2021. "Current Methods to Investigate Nociception and Pain in Zebrafish". *Frontiers in Neuroscience*, 15.

- Ricarte, M., Prats, E., Bedrossiantz, J., Raldúa, D. 2024. "Analysis of sleep/wake cycles in zebrafish larvae". *MethodsX*, 12, 102492.
- Serra, E. L., Medalha, C. C., Mattioli, R. 1999. "Natural preference of zebrafish (*Danio rerio*) for a dark environment". *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 32(12), 1551–1553.
- Sison, M., Cawker, J., Buske, C., Gerlai, R. 2006. "Fishing for genes influencing vertebrate behavior: zebrafish making headway". *Lab Animal*, 35(5), 33–39.
- Speedie, N., Gerlai, R. 2008. "Alarm substance induced behavioral responses in zebrafish (*Danio rerio*)". *Behavioural Brain Research*, 188(1), 168–177.
- Wright, D., Krause, J. 2006. "Repeated measures of shoaling tendency in zebrafish (*Danio rerio*) and other small teleost fishes". *Nature Protocols*, 1(4), 1828–1831.
- Zhdanova, I. V. 2011. "Sleep and its regulation in zebrafish". *revneuro*, 22(1), 27–36.
- Zhdanova, I. V., Wang, S. Y., Leclair, O. U., Danilova, N. P. 2001. "Melatonin promotes sleep-like state in zebrafish". *Brain Research*, 903(1–2), 263–268.

DOĞAL SULARDA SİYANÜR KAYNAKLARI VE BALIKLARA ETKİLERİ

Mustafa DÖRÜCÜ¹

1. GİRİŞ

Son zamanlarda sanayileşmenin hızla artması, hava, su ve toprakta kirliliğe yol açarak olumsuz sonuçlar doğurmuştur. Çeşitli kimyasalların salınımı nedeniyle suların ve toprağın kirlenmesi, tüm canlı organizmalar için toksik olabilir. Özellikle su ortamlarının kirlenmesi endişe verici bir durumdur. Tatlı su ekosistemini kirletici olarak 1500 civarında kimyasal madde listelenmiştir. Bu tür kimyasalların gelişigüzel kullanımı, göller, rezervuarlar, nehirler, göletler, akarsular ve dünya çapındaki diğer yüzey alanlar gibi doğal su kaynaklarımızın kirlenmesine yol açmaktadır (Dellinger vd., 2011). Bu kimyasallar başta sucul ekosistemler olmak üzere tüm ekosistemi rahatsız etmekte ve çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konduğu üzere başta balıklar olmak üzere sucul faunanın ölümlerine yol açmaktadır (Hosetti ve ark., 2010; Suneetha, 2012; Praveen vd., 2014).

Bilinen en tehlikeli ve zehirli kimyasallardan biri de “siyanür”dür. Siyanür (CN), canlılara hızlı etki eden bir kimyasaldır ve pek çok formda bulunur; bunların en toksik ve yaygın olanları serbest siyanür (CN-) ve hidrojen siyanür veya hidrosiyanik asittir (HCN). Bunlar, hücrelerdeki oksijen transferini bozmaları nedeniyle aerobik organizmalar için oldukça toksiktir.

¹ Prof. Dr., Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Balık Hastalıkları ABD, Elazığ, mdorucu@firat.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1330-4965,

Siyanür doğal olarak bakteriler, mantarlar, algler, bitkiler ve bazı omurgasızlar tarafından üretilir; ancak siyanürün en büyük doğal girdisi orman yangınları gibi biyokütlenin yakılması yoluyla sağlanır; ancak bu doğal girdilerin su canlıları için toksik olduğu düşünülen konsantrasyonlarda meydana gelmesi pek olası değildir.

Güçlü toksik özelliği bilinmesine rağmen, siyanür küresel olarak cevherlerden altın ve gümüş çıkarılması, petrol rafinerileri, demir ve çelik üretimi, otomobil, karbonizasyon, metal elektrokaplama, baskılı devre kartı imalatı, sentetik elyaf, plastik, gübre ve zirai ilaç imalatı gibi çok çeşitli endüstriyel işlemlerde de kullanılmaktadır (Prashanth vd. 2011a,b). Madencilikte siyanürün kullanılması insanların, yaban hayatının ve balıkların sağlığı açısından makul olmayan risklere neden olur (Eisler ve Wiemeyer, 2004

Bu endüstriler doğaya tahmini olarak yılda 14 milyon kg'dan fazla siyanür salmaktadır (Dube ve Hosetti, 2011). Balık işletmelerinde havuzlardaki zararlı türlerin yok edilmesi, metal işleme ve madencilik faaliyetleri, doğal çevreye giren siyanürün en büyük antropojenik kaynakları olarak kabul edilmektedir.

Siyanür ve metal bileşikleri, öncelikle enzim kofaktörleri olarak mevcut olan metal iyonları ile bileşik oluşturmaları nedeniyle, hedef dışı organizmalar üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı potansiyel olarak en zararlı kimyasallardan biridir. En önemlisi, sitokromdaki Fe^{3+} iyonu ile meydana gelir, böylece solunumu ve dolayısıyla oksidatif fosforilasyonu engeller (Shwetha vd., 2012).

Algler ve diğer makrofitler, daha yüksek çevresel siyanür konsantrasyonlarını tolere etme yeteneğine sahiptirler, balıklar ve omurgasızlarla karşılaştırıldığında 160 mg/L veya daha fazlasına kadar hiçbir olumsuz etki göstermezler. Tatlı su balıkları, suda yaşayan organizmalar arasında siyanüre en duyarlı gruptur;

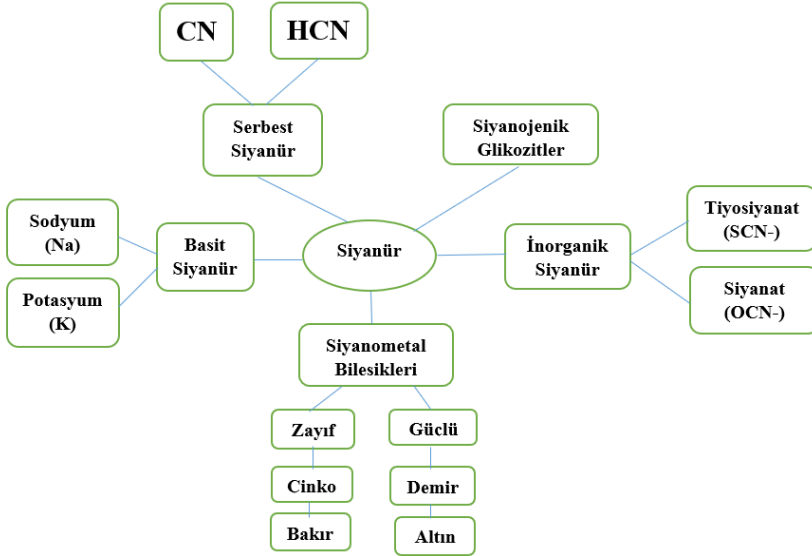
serbest siyanür konsantrasyonlarının $>20 \mu\text{g/L}$ olması durumunda yüksek ölüm oranı ve $>5 \mu\text{g/L}$ düzeyinde yüzme ve üreme üzerinde olumsuz etkileri kanıtlanmıştır (Eisler ve Wiemeyer, 2004). *Cyprinus carpio* (David ve diğerleri, 2010), *Oreochromis mossambicus* (Prashanth, 2012), *Cirrhinus mrigala* (Shwetha vd., 2012) gibi tatlı su balık türleri üzerinde yapılan araştırmalar, toksik siyanür konsantrasyonlarına maruz kaldıklarında dokularda hasar, hiperaktif ve huzursuz yüzme gibi anormal davranışlar ve ani yüzme, sarsılma, kısmi sarsılma ve kalp atışında artış gibi belirtiler gösterir.

Son zamanlarda ülkemizde meydana gelen çeşitli maden kazalarında doğal sulara karışma ihtimalleri de göz önünde bulundurularak, siyanürün balıklara olumsuz etkileri konusunda yapılan güncel çalışmalardan bir derleme yapma gereği doğmuştur.

2. SİYANÜRÜN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Siyanür (CN), üçlü bağ yoluyla bir nitrojen atomuna bağlanan bir karbon atomundan oluşan, hızlı etki eden bir kimyasaldır. Oldukça reaktiftir ve pek çok farklı formdan oluşur; bunların en toksik ve yaygın olanı, siyanür iyonu (CN-) ve aynı zamanda hidrosiyanik asit (HCN) olarak da bilinen hidrojen siyanürden oluşan serbest siyanürdür. Serbest siyanür, Şekil 1'de gösterildiği gibi çok çeşitli bileşikler üretmek için birçok farklı elementle kolaylıkla reaksiyona girebilir. Sodyum veya potasyum gibi elementlerle temas ettiğinde basit suda çözünür bileşikler (sırasıyla NaCN ve KCN) oluşturacak ve kolayca serbest siyanürü (CN- ve HCN) açığa çıkaracak şekilde çözülür.

Şekil 1. Siyanür Bileşikleri Çizelgesi



Metallerin varlığında siyanür, değişen oranlarda çeşitli metal bileşikleri oluşturur. Belirli koşullar altında bu metal bileşikleri ayrışarak serbest siyanürü açığa çıkarır (Sorokin vd., 2008). Siyanürün metallere karşı güçlü bağlanma eğilimi, onu metal ekstraksiyonunda çözücü olarak kullanılması gibi birçok endüstriyel işlemden oldukça çok yönlü kılan özelliklerden biridir (Young ve Jordan, 1995). Siyanür metal bileşiklerinin dayanıklılığını etkileyen birincil faktör pH'tır, ancak bazıları belirli ışık dalga boyları altında da bozunur. Çinko ve bakır gibi metaller zayıf bileşikler oluşturur (zayıf asitte ayrışabilir) ve zayıf asidik koşullar altında ayrışıp siyanürü serbest bırakabilirler (Dash vd., 2009a; Dash vd., 2009b). Demir ve altınla oluşturulanlar gibi daha güçlü siyanür metal bileşikleri çok daha karardır ve daha güçlü asitlerle veya ışığa maruz bırakıldığında bozunur (Moran, 1999; Moran, 2001). Siyanür ayrıca siyanat ve tiyosiyanat gibi inorganik bileşikler de oluşturur. Siyanürün oksidasyonu, hidrojen siyanürden daha az toksik olan ve kolayca amonyak ve karbondioksit hidrolize olan siyanatı (OCN-) üretir (Dash ve diğerleri, 2009a). Tiyosiyanat, aerobik organizmalar içindeki

siyanür metabolizmasının ana ürünü olmasına rağmen, madencilik faaliyetleriyle ilişkili atık havuzlarında olduğu gibi siyanürün kükürt ile birleştiğinde harici olarak da üretilbilmektedir.

3. ORGANİZMADA SİYANÜRÜN TESPİTİ

Siyanürün aerobik organizmalar üzerindeki toksisitesi nedeniyle bileşiğe maruz kalma durumunu belirlemek için birçok analitik teknik geliştirilmiştir. Ancak bunların çoğu insanlardaki kan, idrar, tükürük, solunum ve doku örneklerinin analizine odaklanmıştır. Son yıllarda bu yöntemler hakkında, bir çok makale yayınlanmıştır: kandaki siyanürün analizi (Lindsay ve diğerleri, 2004); siyanür analizi için biyosensörler (Mak vd., 2005); siyanür metabolitlerinin analizi (tiyosiyanat, ATCA ve siyanür katkı maddeleri) (Logue ve diğerleri 2010); siyanür tespitindeki gelişmeler (Ma ve Dasgupta, 2010); Siyanür ve hidrojen siyanürün miktarının belirlenmesindeki gelişmeler (Randviir ve Banks, 2015); ve siyanür maruziyetinin teşhisi için en yeni hızlı ve uygulanabilir tekniklerdir (Jackson ve Logue, 2017). İnsanlarda testlerin geliştirilmesi için kullanılan numune türlerinin çoğunluğunun, balık gibi suda yaşayan organizmalarda elde edilmesi zor olabilir. Örneğin balıktaki kanın analizi mümkündür ancak güvenli bir şekilde çıkarılabilecek hacimlerin düşük olması nedeniyle yöntemin çok hassas olması gerekir. Sudaki siyanür metabolitlerinin tespiti yönelik metodolojilerin geliştirilmesine odaklanan çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir özeti Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Çeşitli Balık Türleri İçin Farklı Siyanür Türevlerinin Ortalama (LC₅₀) Öldürücü Dozları

Serbest Siyanür (CN ⁻ , HCN)	Tatlısu Balığı	<i>Onchrynychus mykiss</i>	Olgun 45	96- Saat	Barber et al., 2003
Potasyum Siyanür (KCN)	Tatlısu Balığı	<i>Onchrynychus mykiss</i>	Olgun 43	96- Saat	McGeachy and Leduc, 1988
UV Işını ve Kobalt Siyanür Bileşiği, K ₃ Co(CN) ₆	Tatlısu Balığı	<i>Onchrynychus mykiss</i>	Yavru 383.2	96- Saat	Little et al., 2007
Kobalt Siyanür bileşiği, K ₃ Co(CN) ₆	Tatlısu Balığı	<i>Onchrynychus mykiss</i>	Yavru 112900	96- Saat	Little et al., 2007
Sodyum Siyanür (NaCN)	Deniz Balığı	<i>Macquaria novemaculeata</i>	Olgun 109	96- Saat	Pablo et al., 1997b
Demir-Siyanür Bileşikleri, k ₃ Fe(CN) ₆ , k ₄ Fe(CN) ₆	Deniz Balığı	<i>Macquaria novemaculeata</i>	Olgun 2830 - 285000	96- Saat	Pablo et al., 1997b
Sodyum Siyanür (NaCN)	Deniz Balığı	<i>Acanthopagrus butcheri</i>	Olgun 70	96- Saat	Pablo et al., 1997b
Demir-Siyanür Bileşikleri, k ₃ Fe(CN) ₆ , k ₄ Fe(CN) ₆	Deniz Balığı	<i>Acanthopagrus butcheri</i>	Olgun 1730 - 20500	96- Saat	Pablo et al., 1997b
Sodyum Siyanür (NaCN)	Tatlısu Balığı	<i>Oreochromis niloticus</i>	Olgun 387	96- Saat	Ramzy, 2014
Sodyum Siyanür (NaCN)	Deniz Balığı	<i>Amphiprion ocellaris</i>	Olgun 28450 - 50000	96- Saat	Da Silva, 2015
Sodyum Siyanür (NaCN)	Tatlısu Balığı	<i>Labeo rohita</i>	Yavru 33	96- Saat	Prashanth et al., 2011a
Potasyum Siyanür (KCN)	Tatlısu Balığı	<i>Labeo rohita</i>	Yavru 320	96- Saat	Dube and Hosetti, 2010
Sodyum Siyanür (NaCN)	Tatlısu Balığı	<i>Labeo rohita</i>	Yavru 190	96- Saat	David et al., 2010
Sodyum Siyanür (NaCN)	Tatlısu Balığı	<i>Clarias gariepinus</i>	Yavru 1600	96- Saat	Al-Ghanim and Mahboob, 2012
Serbest Siyanür (CN ⁻ , HCN)	Tatlısu Balığı	<i>Clarias gariepinus</i>	Yavru 361000	96- Saat	Oseni, 2016
Serbest Siyanür (CN ⁻ , HCN)	Tatlısu Balığı	<i>Poecilia reticulata</i>	Olgun 9.13	96- Saat	Prashanth et al., 2011b
	Tatlısu Balığı	<i>Catla catla</i>	Yavru 110	96- Saat	David et al., 2010
	Tatlısu Balığı	<i>Catla catla</i>	Yavru 760	96- Saat	Basaling and Praveen, 2011
	Tatlısu Balığı	<i>Cirrhinus mrigala</i>	Yavru 330	96- Saat	David et al., 2010
	Tatlısu Balığı	<i>Cyprinus carpio</i>	Yavru 1000	96- Saat	David et al., 2010
	Tatlısu Balığı	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Yavru 420	96- Saat	Basaling and Praveen, 2011
	Tatlısu Balığı	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Yavru 44.33	96- Saat	Prashanth, 2012
	Deniz Balığı	<i>Rachycentron canadum</i>	Larva 35	96- Saat	Dung et al., 2005
	Deniz Balığı	<i>Rachycentron canadum</i>	Yavru 57	96- Saat	Dung et al., 2005
	Deniz Balığı	<i>Rachycentron canadum</i>	Yavru 30	96- Saat	Dung et al., 2005

Siyanür Formu Deniz veya Tatlısu Tür Yaşam Evresi LC₅₀ (µg l⁻¹) Süre Kaynak

Kaynak: (Scott vd., 2017).

Deniz suyunda siyanür veya siyanür metabolitlerinin tespitine ilişkin az çalışma bulunmasının yanı sıra, özellikle farklı araştırma grupları başkalarının çalışmalarını geliştirmeye

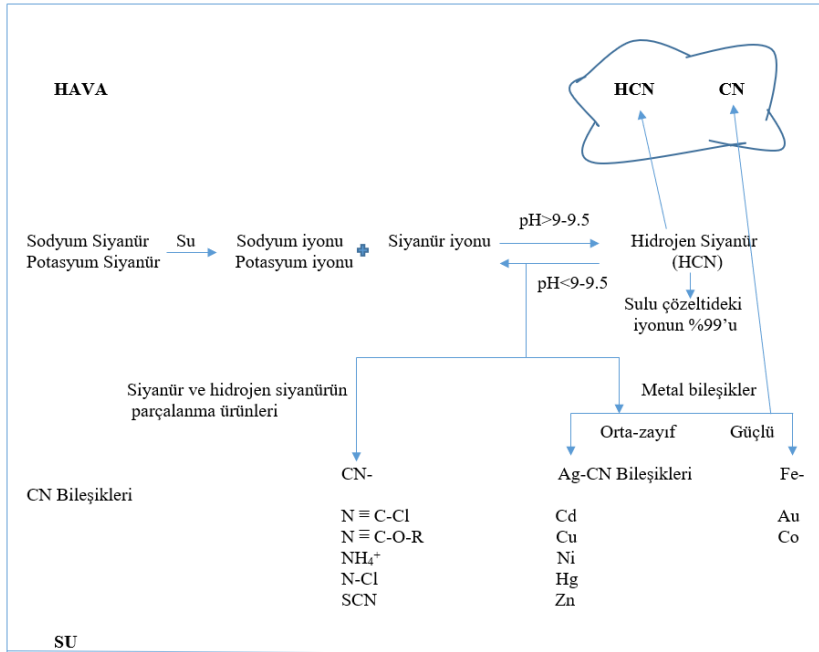
çalıştığında veya yöntemler yapay ve doğal deniz suyu örneklerine uygulandığında bazı çelişkili sonuçlar da ortaya çıkmıştır. Vaz vd., (2012), Silva vd., (2011), tarafından doğal deniz suyu için geliştirilen yöntemleri izleyerek, canlı balık tutulan yapay deniz suyuna bir fiber optik dedektör yerleştirmiş ve tiyosiyanat konsantrasyonunun 3,16 µg/L olduğunu bildirmişlerdir. Ancak Herz vd. (2016), daha sonra doğal deniz suyu örnekleri kullanarak Vaz vd., (2012) tarafından açıklanan yöntemleri kopyalamaya çalışmış ancak testlerin başarısız olduğunu, doğal deniz suyunun Vaz vd., (2012) tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak analiz edilemeyecek kadar karmaşık olduğunu öne sürmüştür. Daha da önemlisi Herz vd., (2016), Vaz vd., (2012) tarafından geliştirilen yaklaşımda özel olarak kullanılan tespit tekniğini belirtmemiştir. Dashti (2016); Murphy ve Rhyne (2017) tarafından yapılan son araştırmalar, deniz suyundaki tiyosiyanatın tespitinin sırasıyla 5 ng l⁻¹ ve 2 µg l⁻¹ olarak ümit verici düşük limitleri bildirmiştir.

4. SU ORTAMINDAKİ SİYANÜR

Su ortamında pH 7 olduğunda siyanürün yüzde 99'undan fazlası hidrojen siyanür olarak bulunur. Eğer çözelti daha alkali hale gelirse (pH artarsa), hidrojen siyanür serbest siyanür iyonuna ayrışır. 9,3 pH değerinde hidrojen siyanür ve serbest siyanür iyonu dengede bulunur (50:50 oranı) ve 11 pH değerinde daha alkali koşullar altında siyanürün tamamı serbest siyanür iyonu olarak mevcut olacaktır (Sorokin vd., 2008; Ramzi 2014). Deniz suyunda pH 7,5 – 8,4 aralığında olduğunda bu oran ağırlıklı olarak hidrojen siyanür lehine olacaktır, ancak serbest siyanürün her iki formunun da mevcut olması muhtemeldir (Şekil 2). Hidrojen siyanür, suda halihazırda bulunan metal iyonlarıyla etkileşime girmezse, düşük kaynama noktasından dolayı 25°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çözeltiden kolayca buharlaşacaktır

(Dzombak vd., 2006). Yüzey sularının daha fazla karışması, sıcaklığın artması ve pH'ın düşmesiyle buharlaşma oranı artar (Johnson, 2015). Bu nedenle, hızlı akan nehirler ve fırtınalı havalarda daha büyük su kütleleri gibi daha enerjik su ortamlarında hidrojen siyanürün buharlaşma oranının daha yüksek olması beklenmelidir. Serbest siyanür iyonu, sıcaklığa bağlı olarak birkaç saatten birkaç güne kadar bir yarı ömre sahip olan hidrojen siyanüre kıyasla 15 günlük bir yarılanma ömrüyle suda daha uzun süre kalabilir (Sorokin ve diğerleri, 2008).

Şekil 2. Su ortamındaki siyanür yolları ve reaksiyonları. NaCN (Sodyum siyanür); KCN (Potasyum siyanür); Na⁺ (Sodyum iyonu); K⁺ (Potasyum iyonu) CN⁻ (Siyanür iyonu); HCN (Hidrojen siyanür); N≡C-Cl veya N≡C-O-R (Nitriller); NH₄⁺ (amonyak); N-Cl (kloraminler); SCN⁻ (Tiyosiyanat); Ag (Gümüş); Cd (Cadmium); Ni (Nikel); Hg (Cıva); Zn (Çinko); Fe (Demir); Au (Altın); Co (Kobalt).



Fotoliz (ışık etkisiyle moleküllerin ayrılması) aynı zamanda su ortamında serbest siyanürün (CN⁻) ve ferrosiyanürün (K₄Fe(CN)₆) kaderini etkileyen önemli bir faktör olabilir. Dzombak vd., (2006), potasyum siyanür varlığında serbest siyanürün üç gün içinde 20 µg l⁻¹ 'den tespit sınırının altına (0,5 µg l⁻¹) hızla düştüğünü, serbest siyanür için ise altı gün sürdüğünü bildirmiştir. Atmosferden türetilen siyanürün okyanustaki konsantrasyonları büyük ölçüde bilinmemekle birlikte, bunların 1 µg l⁻¹ 'den az olduğu tahmin edilmektedir (Li ve diğerleri, 2000; Dzombak vd., 2006). Tablo 2, su ortamlarında kaydedilen siyanür konsantrasyonlarını özetlemektedir. Bu bağlamda, Güneydoğu Asya Ülkeleri Birliği'nin sudaki yaşamı korumak amacıyla deniz suyu için 7 µg l⁻¹ siyanür kalite kriteri önermiştir (Scott vd, 2017)

Tablo 2. Literatürde Bildirilen, Su Ortamında Ölçülen Siyanür Konsantrasyonları

Serbest Siyanür	Deniz Suyu	Jiaozhou Körfezi,	0.02 -	Yang vd., 2015;
Serbest Siyanür		Çin	0.46	Yang vd., 2016
Serbest Siyanür	Manyok işleme atık suyu	Nijerya	7890	Okafor vd., 2001
Tiyosiyanat	Madencilik faaliyetlerinin	Ekvador	280	Guimaraes vd., 2011
Tiyosiyanat	akış aşığındaki tatlı su			
Tiyosiyanat	Deniz suyu, açık deniz	Aveiro, Portekiz	<3.3	Silva vd., 2011
	(>6km)			
Potasyum siyanür	Deniz suyu, kıyıya yakın	Aveiro, Portekiz	5.1 - 22.7	Silva vd., 2011
Potasyum siyanür	(<6km)			
Potasyum siyanür	Deniz Suyu	Japonya	8.1 - 15.0	Rong vd., 2005; cited in Silva vd., 2011
Potasyum siyanür				
Potasyum siyanür	Deniz Suyu	Karadeniz	0.13 – 3.01	Güven vd., 2001
Sodyum Siyanür veya	Deniz Suyu	İğneada, Türkiye	0.11 – 0.34	Güven vd., 2001
Potasyum siyanür				
Potasyum siyanür	Deniz Suyu	İstanbul	0.25 – 1.56	Güven vd., 2001
	Deniz Suyu	Kilyos ve Rumeli Feneri, Türkiye	0.09 – 1.74	Güven vd., 2001
Serbest siyanür				
	Deniz Suyu	Port Kembla Limanı, Avustralya	1200	Moran ve Grant, 1993
	Siyanür balıkçılığında ele geçirilen sıkma şişeleri	Belirtilmemiş	2 x 10 ⁶ – 1.2 x 10 ⁸	Jones vd., 1999
	Tuz bataklığı gözenek suları	Delaware Büyük Bataklığı, ABD	82.6	Kamysny vd, 2013

Kaynak: (Scott vd., 2017).

Siyanürün formu Su ortamı Bölge Konsantrasyon (µg l⁻¹) Referans

5. DOĞAL YOLLARLA SU ORTAMINA KARIŞAN SİYANÜR

Siyanür su ortamına hem doğal hem de antropojenik yollarla girebilir. Doğal koşullar altında bakteriler, mantarlar, algler, damarlı bitkiler ve bazı omurgasızlar tarafından siyanojenik bileşikler üretilir (Kamyshtny ve diğerleri, 2013; Scott vd., 2017). Bu kaynaklar aracılığıyla üretilen siyanürün, hem deniz hem de tatlı su habitatlarına girme potansiyeli bulunmaktadır. Bugüne kadar sadece üç tür siyanojenik alg tanımlanmıştır; bunlar *Chorella vulgaris*, *Anacystis nidulans* ve *Nostroc muscorum*'dur (Dzombak ve diğerleri, 2006). Siyanojenik bakterilerin bilinen örnekleri de aynı derecede nadirdir. Hidrojen siyanür bakteriler tarafından üretilir, ancak üretimi glisin varlığı nedeniyle sınırlı olduğundan büyümenin log fazından durağan faza geçiş sırasında yalnızca aerobik olarak üretilir (Dzombak ve diğerleri, 2006). Hidrojen siyanür ayrıca belirli alg ve bakteri türleri tarafından kasıtlı sentezin aksine metabolik süreçlerin bir yan ürünü olarak, örneğin bunları tüketen canlıları caydırmak için üretilir. Daha fazla sayıda mikroorganizma, karbon ve nitrojen kaynağı sağladığı için siyanürü biyolojik olarak parçalayabilmektedir (Ebbs, 2004). Bu nedenle bakteri ve algler tarafından üretilen küçük miktarlardaki siyanürün su ortamında toksik konsantrasyonlara ulaşması pek olası değildir.

Birçok mantar türü ve yaşam evresi, doğrudan hidrojen siyanür, siyanojenik bileşikler üretebilir veya vasküler bitkilerdeki siyanojenik glikozitlerden siyanürü serbest bırakabilen enzimler üretebilir (Dzombak ve diğerleri, 2006).

Siyanürün mantarlar tarafından;

1. Büyümelerine zarar vererek veya sınırlandırarak komşu organizmalarla rekabeti azaltmak,
2. Avlanma olasılığını azaltmak veya,

3. Bitişik hücre veya organizmaların parazitliğine yardımcı olmak için üretildiği varsayılır.

Kırkayak ve kırkayak türleri gibi bazı kara omurgasızları da yırtıcıları caydırmak için bir kimyasal savunma biçimi olarak hidrojen siyanür üretebilir (Dash ve diğerleri, 2009a; Vujisić ve diğerleri, 2013). Bakteriler ve mantarlar gibi siyanojenik organizmalar, serbest siyanürü biyolojik olarak parçalama yeteneğine sahiptir, ancak genellikle güçlü bağlı siyanometal bileşiklerini parçalayamazlar (Oudjehani ve diğerleri, 2002). Siyanür organizmada asimile edilir veya çeşitli temel yollarla biyolojik olarak parçalanır. Bir toprak bakterisi olan *Pseudomonas putida*, karbon ve nitrojen kaynağı olarak siyanürü kullanan organizmalardan biridir. Bu yolla amonyak (NH₃) ve karbondioksit (CO₂) üreterek siyanür biyolojik olarak parçalanır (Chapatwala ve diğerleri, 1998). Bununla birlikte, yüksek serbest siyanür konsantrasyonları bu organizmalar için toksisiteye neden olabilir ve bu da büyüme oranlarında ve ölüm oranlarında azalmaya neden olabilir (Dash ve diğerleri, 2009a).

Siyanojenik glikozit bileşikleri, manyok; kayısı; kiraz; elma çekirdekleri ve tatlı patateslerde bulunur (Vetter, 2000). Bir bitki türü olan manyok (*Manihot esculenta*) ve lima fasulyesi (*Phaseolus lunatus*)'nde sırasıyla 2.360.000 ve 3.000.000 µg kg⁻¹ siyanür konsantrasyonları kaydedilmiştir (WHO, 2004). Siyanojenik glikozitlerin katabolik bozunması, hidrojen siyanürün oluşmasına ve daha geniş çevreye salınmasına neden olur (Poulton, 1990). Doğal bozunmanın sonucunda ortaya çıkan bu ürünler atmosfere, toprağa ve suya girebilir ve sindirim yoluyla doğrudan organizmalara geçebilir. Hidrojen siyanür oluşturan bitkilerde siyanojenik glikozitlerin doğal parçalanmasının genellikle çevredeki deniz ortamında yüksek düzeyde siyanüre neden olmaya yeterli miktarlarda meydana gelmediği varsayılır (Dzombak ve diğerleri, 2006). Bununla birlikte, Kamyshny ve diğerleri (2013) tarafından yapılan bir

çalışmada tuzlu bataklıkta hem serbest hem de bileşik siyanür konsantrasyonlarının litre başına 6,94 mikromole ($\mu\text{mol l}^{-1}$) (1,92 $\mu\text{mol l}^{-1}$ veya 82,6 $\mu\text{g l}^{-1}$ serbest siyanür) kadar olduğu kaydedilmiştir. Gözlemlenen siyanür seviyelerinin kordon otu (*Spartina alterniflora*) ayrışmasının bir sonucu olduğu varsayılmıştır. Örneklem anında köklerin 50 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ siyanür içerdiği tespit edilmiştir. Siyanürle reaksiyona girebilen ve bileşikler oluşturabilen elementlerin mevcudiyeti, tuzlu bataklık çökeltilerinden ve gözenek sularından hidrojen siyanürün atmosferik salınımını azaltmış olabilir. Siyanürün tuzlu bataklık çökeltilerine girişi muhtemelen iki yolla devam eder; demir siyanür bileşiklerinin oluşumu; ve polisülfidlerle oksidatif reaksiyon yoluyla tiyosiyanatın oluşumu. Bu iki yoldan tiyosiyanat oluşumunun en önemlisi olduğu belirtilmiştir. Mangrov ormanları gibi diğer su habitatlarının da çökeltilerde siyanür bileşiklerini biriktirme kapasitesine sahip olması mümkündür. Ancak bu diğer habitatlarda siyanürün varlığını doğrulayan herhangi bir literatür tespit edilmemiştir. Örneğin orman yangınları sırasında biyokütlenin yakılması belki de atmosfere hidrojen siyanürün en büyük doğal girdisidir. Yanma olayları sırasında elde edilen yüksek sıcaklıklar pirolize neden olur ve bu da hidrojen siyanürü amino asitlerden, nitrojen heterohalkalarından, dikarboksilik asitlerden ve siyanojenik glikozitlerden serbest bırakır (Barber vd., 2003). Biyokütle yakıldığında yılda tahmini 1,4 – 2,9 teragram nitrojen (Tg N yıl^{-1}) açığa çıkar ve yaklaşık beş aylık atmosferik yaşamdan sonra, okyanusun 1,1 – 2,6 Tg N yıl^{-1} absorbe etme kapasitesine sahip birincil yutak olduğu rapor edilir (Li vd., 2000; Li vd., 2003). Biyokütle yakılmasından kaynaklanan siyanürün büyük bir kısmı atmosfere salınırken, kül birikintilerinde bulunan hem gaz halindeki hem de partikül halindeki siyanür, ıslak ve kuru çökeltme ve yağış akışı yoluyla su ortamlarına yayılabilir veya yıkanabilir (Barber vd., 2003).

6. ANTROPOJENİK YOLLARLA SUYA SİYANÜR KARIŞIMI

Siyanür, altın ve gümüş gibi değerli metallere olan yüksek derecede reaktifliği ve afinitesi nedeniyle dünya çapında çok çeşitli endüstriyel işlemlerde kullanılmaktadır (Boening ve Chew, 1999; Mak, 2003). Demir ve çelik işleme tesislerinde, metal elektrokaplama, cevherlerden altın ve gümüş çıkarılmasında, petrol rafinerilerinde, sentetik elyafların (naylon gibi), plastiklerin, gübrelerin ve pestisitlerin imalatında ve ayrıca balık tesisi havuzlarından zararlı türlerin yok edilmesinde kullanılır (Halim, 2002). Sonuç olarak siyanür, birçok kimyasal ve endüstriyel işlemlerden kaynaklanan atık sular ve yoğun yerleşim alanları yoluyla su ortamına karışmaktadır. Siyanür, bir önceki bölümde anlatıldığı gibi çevrede doğal olarak meydana gelse de, insan kaynaklı faaliyetlerin yakınında konsantrasyonlar sıklıkla yükselir ve arıtılmadığı takdirde, siyanür içeren atık sular, doğal çevreye giren siyanürün önemli bir antropojenik kaynağıdır. Bir yan ürün olarak siyanür, klorla arıtılmış atık sularda da üretilebilmektedir (Redman ve Santore, 2012). Siyanür kirliliği en yaygın olarak su numunelerinin analizi yoluyla izlenir. Çin'in Jiaozhou Körfezi'nde 1983 yılında körfezdeki siyanür konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, siyanürün iki ana girdisinin nehirlerden ve körfezdeki endüstriyel faaliyetlerden kaynaklandığı bildirilmiştir. Bu faaliyetler, körfezde $0,02 - 0,46 \mu\text{g l}^{-1}$ düzeyinde düşük, ancak tespit edilebilir siyanür konsantrasyonlarına neden olduğu, varsayılan siyanür kaynaklarına olan mesafe arttıkça siyanürün daha az yoğunlaştığı görülmüştür. Su ortamına siyanür girişinin üç temel antropojenik kaynağı, manyok işleme, madencilik ve siyanür balıkçılığıdır (Yang ve diğerleri, 2016).

6.1. Manyok İşleme

Manyok (*Monihot esculenta*), temel bir karbonhidrat kaynağı olarak tropik ve subtropiklerin çoğunda yetiştirilen, kötü toprak koşullarında yetişebilen temel bir yıllık sütleggengiller familyasından bir bitki türüdür. Manyok üretimi sırasında siyanojenik glikozitler salınır ve hidrojen siyanüre bozunur, bu da atık sudaki siyanür konsantrasyonunun 200.000 $\mu\text{g l}^{-1}$ 'e kadar çıkmasına neden olur (Simeonova ve Fishbein, 2004). Nijerya'daki manyok işleme tesislerine yakın sularda 7.890 $\mu\text{g l}^{-1}$ 'e kadar konsantrasyonlarda siyanür tespit edilmiştir (Okafor ve diğerleri, 2001). Bu nedenle, manyok işleme tesislerinden çıkan atık su, su ortamına giren önemli ancak yerel bir hidrojen siyanür kaynağı olma potansiyeline sahiptir.

6.2. Metal İşleme ve Madencilik

Metal işleme ve madencilik faaliyetleri, doğal çevreye giren siyanürün en büyük antropojenik kaynakları olarak kabul edilmektedir (Dash vd., 2009a,b). Madencilik endüstrisinde siyanür, yüz yılı aşkın bir süredir cevherlerden değerli metalleri çıkarmak için kullanılmaktadır. Özellikle altın ve gümüş madenciliğinde yaygındır; küresel olarak kazılan altının yüzde 90'ından fazlası siyanür kullanılarak çıkarılmaktadır (Mudder ve Botz, 2004). Altın, altını eritmek ve cevherden izole etmek için bir siyanür çözeltisinin kullanıldığı hidrometalurjik bir işlemle çıkarılır. Cevherlerden altın çıkarmak için siyanür kullanıldığında, tipik olarak mevcut diğer yaygın metallerle bağlanarak çok çeşitli farklı siyanometal bileşikleri üretecektir. Bu bileşiklerin gücü, söz konusu metale bağlı olarak değişir. Zayıf bileşikler (zayıf asitte ayrışabilir) tipik olarak asidik koşullarda parçalanırken, demir ve altınla oluşturulanlar gibi daha güçlü bileşikler çok daha karardır ve belirli dalga boylarındaki ışığa maruz bırakıldığında bozunurlar (Moran, 1999; Moran, 2001). Siyanometal bileşikleri, serbest siyanür iyonu veya

hidrojen siyanürden çok daha az toksiktir, ancak parçalandıkça serbest siyanür açığa çıkarırlar. Siyanürün bozunma ürünleri, serbest siyanürden daha az toksik olmakla birlikte, doğal ortamda daha kalıcı olabilir. Aerobik organizmalarda siyanür metabolizmasının ana ürünü olan tiyosiyanat, madencilik faaliyetleri sonucunda da üretilir, ancak siyanometal bileşiklerinin oluşumu bu yola müdahale eder ve ayrıca tiyosiyanat oluşumunu da engelleyebilir (Johnson, 2015). Siyanür, bazen doğal ortamda ve madencilik materyallerinde bulunan serbest kükürt ve sülfür mineralleri (örneğin kalkopirit, kalkosit ve pirotit) ile reaksiyona girerek tiyosiyanatı oluşturur (Kuyucak ve Akcil, 2013). Serbest siyanürden daha az toksik olmasına rağmen tiyosiyanatın balıklar da dahil olmak üzere çeşitli suda yaşayan organizmalar için toksik olduğu gösterilmiştir (Lanno ve Dixon, 1996). Aynı zamanda serbest siyanürden daha stabildir ve dolayısıyla daha geniş bir alana yayılma potansiyeli ile çevrede daha uzun süre kalır (Gould ve diğerleri, 2012). Madencilik faaliyetleri, kısa bir süre içinde çevreye büyük miktarda siyanür bileşiği salabilecek büyük ölçekli kirlilik olaylarıyla ilişkilendirilmiştir. 1995 yılında Guyana'da bir barajın yıkılması sonucu yaklaşık üç milyon metreküp siyanürle kirlenmiş atık su Omai Nehri'ne karışmıştır. 2000 yılında Romanya'daki bir başka baraj ihlali de 100 ton siyanürün Tuna Nehri'ne salınmasıyla sonuçlanmıştır (Hilson ve Monhemius, 2006). Bu tür kirlilik olayları tüm dünyada nehirlerdeki büyük ölçekli balık ölümlerine neden olmaktadır (Ketcheson ve Fingas, 2000).

Nehirler, siyanürün karadaki madencilik faaliyetlerinden deniz ortamına taşınmasında ana yoldur. Ekvador'da, Puyango Nehri'nden alınan su numuneleri, altın ve gümüş madenciliği faaliyetlerinin üst kısmında tespit edilemeyecek seviyelerde serbest siyanür gösterirken, akış aşağısında $280 \mu\text{g l}^{-1}$ düzeyinde bir siyanür konsantrasyonu tespit edilmiş ve kaynağın yaklaşık

100 km aşağısına kadar tespit edilebilir seviyelerde kalmıştır (Guimaraes ve diğerleri, 2011). Tespit edilen siyanürün yarısı çözünmüş, yarısı da asılı parçacıklarla birleşmiştir. Nehrin aşağısında siyanürün hala tespit edilebildiği mesafe, büyük olasılıkla, giren siyanürün hacmi ve konsantrasyonu, mevcut siyanürün türü, nehrin hacmi ve akış hızı ve suyun pH'ı gibi faktörlere bağlıdır. Altın madenciliği atıklarıyla ilişkili en bol siyanometal bileşiklerinden bazıları ferrisiyanür ve ferrosiyanür gibi demirle oluşturulanlardır (Moran, 1999). Bu, doğal ortamda demirin bolluğunu yansıtır. Bu reaksiyon tersine çevrilebilir ve asidik koşullar altında bu bileşikler serbest siyanürü açığa çıkaracak şekilde ayrışacaktır. Demir siyanür bileşiklerini çevresel olarak uygun bir pH'ta nispeten stabil olmasına rağmen, ışığa maruz kalma tepkisi olarak foto ayrışmaya uğrayacaklardır. Johnson ve diğerleri (2002) tarafından yapılan ölçümler, gün ışığı saatlerinde madencilik faaliyetlerinin aşağısındaki demir siyanür konsantrasyonunda bir azalmanın yanı sıra Zayıf Asitle Ayrışabilen (ZAF) siyanürde $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ ($500 \text{ } \mu\text{g l}$) düzeyinde bir artış olduğunu göstermiştir. Ölçülen en büyük demir siyanür konsantrasyonu karanlık saatlerde ve Zayıf Asitle Ayrışabilen siyanür ise gün ışığında kaydedilmiştir; bu da farklı formların varlığında günlük bir model olduğunu düşündürmektedir. Sonuç olarak, serbest siyanür ve Zayıf Asitle Ayrışabilen siyanürün gün içindeki en yüksek değerlere ulaşması, madencilik faaliyetlerinin aşağısındaki suyollarında meydana gelmesi beklenebilir. Asidik olmayan koşullarda ve ışığın yokluğunda bulunan demir siyanürler gibi güçlü bağlı siyanometal bileşikleri, madencilik atık sularında uzun yıllar boyunca mevcut olabilir. Hem siyanür hem de siyanometal bileşikleri, toprak ve çökeltelerde bulunan alüminyum, demir ve manganez oksitler gibi organik karbon ve inorganik bileşenlere karşı bir miktar afiniteye sahiptir. Ancak bu şekilde ne kadar siyanürün depolandığı tespit edilememiştir (Scott vd. 2017)

Işığa maruz kalmanın demir siyanür bileşikleri üzerindeki ayrıştırıcı etkisi nedeniyle, serbest siyanür salınım oranının sıg, güneşli ve bulanıklığı düşük sularda en yüksek olması beklenmektedir. Bu ortamlarda ışık su sütununa daha derinden nüfuz edebilir ve demir siyanür bileşiklerinin gündüz saatlerinde daha hızlı ayrışması beklenir. Işığın yalnızca yüzey katmanlarına nüfuz edebildiği derin, karanlık ve bulanık sularda serbest siyanür salınım oranının azalması beklenir. Bu ortamlarda demir siyanür bileşiklerinin daha stabil kalması, bulanıklık veya pH serbest siyanürü serbest bırakacak kadar düşene kadar potansiyel olarak devam etmesi beklenir. Bazı siyanometal bileşikleri çözünmez ve sulu çözeltilerde çöken katı bileşikler oluşturur. Bunlardan en yaygın olanlarından biri, Prusya mavisi olarak da adlandırılan başka bir demir siyanür bileşiğı olan $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ 'tür ve madencilik faaliyetleriyle ilişkili çökeltilerde mevcut olduğu kaydedilmiştir (Dzombak ve diğerleri, 2006). Artan alkali koşullar altında suda daha fazla çözünür hale gelir ve ferrisiyanür ve ferrosiyanür iyonları üretmek üzere ayrışır (Johnson, 2015). Özetle, siyanür kullanan madencilik faaliyetleri, çevredeki suya ve çökeltilere çok farklı siyanür bileşiklerini karıştırma potansiyeline sahiptir.

6.3. Siyanür Balıkçılığı

Antropojenik siyanür, siyanür avcılığı sonucunda da su ortamına girebilmektedir. Bu yasadışı avcılık tekniğı, bazı balıkçılar tarafından akvaryum balıkları ticareti için canlı balık toplamak amacıyla kullanılan etkili ve kârlı bir yöntemdir. Bu işlem sırasında balıklar, konsantrasyonu 2 g l^{-1} ile 120 g l^{-1} arasında değişen bir siyanür ve deniz suyu çözeltilisine maruz bırakılır. Sodyum siyanür (NaCN) veya potasyum siyanür (KCN) formundaki siyanür, hem akvaryum balıkları ticareti hem de canlı resif balığı yemi ticareti için mercan resiflerinden canlı balık toplamak için kullanılan yöntemlerden biridir (Bruckner ve Roberts, 2008). Ağ ve tuzak gibi geleneksel yöntemlerin

kullanımıyla karşılaştırıldığında tekniğin canlı balık yakalamayı kolaylaştırdığı, daha verimli ve finansal açıdan kârlı olduğu düşünülmektedir (Halim, 2002). Kullanımı Filipinler, Endonezya, Malezya, Maldiv Adaları, Papua Yeni Gine, Sri Lanka, Tayland ve Vietnam dahil en az 15 ülkede rapor edilmiştir (Jones vd., 1999) ve şu anda dünyanın diğer bölgelerine de yayılmaktadır (Giuliani vd., 2004). Bununla birlikte, daha verimli ve mali açıdan kazançlı bir toplama yöntemi olarak kabul edildiği göz önüne alındığında, tekniğin, canlı balık endüstrisi için balıkların toplandığı her yerde uygulanması mümkündür. Akvaryum ticareti için kullanılan siyanür avcılığı, kimyasal depolardan kolayca elde edilebilen bir veya iki ezilmiş siyanür peletinin şişelerindeki deniz suyuyla karıştırılarak konsantrasyonu 2 g l^{-1} arasında değişen bir hidrojen siyanür (HCN) çözeltisi elde edilmesiyle gerçekleştirilir. Çözelti, balıktaki oksijen metabolizmasına müdahale eder, anahtar enzim sistemi olan sitokrom oksidazı bloke ederek etki gösterir ve toplanması zor olan ekonomik değeri yüksek balıkları hedef almasına ve sersemletmesine olanak tanır, böylece toplanmalarını kolaylaştırır ((Mak vd., 2005; Scott vd., 2017). Balıkçı gemisinin güvertesine çıkartılan balıklar, canlandırmak için temiz, siyanür içermeyen deniz suyuna aktarılır (Wabnitz ve diğerleri, 2003). Balıkçılar 100-200 litrelik plastik/metal varilleri siyanür çözeltisiyle doldurup küçük balıkçı teknelerine yüklemektedir. Balık tutma alanına vardıklarında dalgıçlar, tekne resifin etrafında dönmeden önce mercan resifinin etrafına solungaç veya bariyer ağları kurar ve siyanür solüsyonunu serbest bırakır, bölgedeki balıkları sersemletir ve bunların teknelerden elle ağlarla veya dalgıçlar tarafından kolayca toplanmasına olanak tanır. Yasadışı siyanür balıkçılığının rapor edilmemesi nedeniyle, bu yöntemle süs balığı endüstrisi için yakalanan balık sayısını ölçmek mümkün değildir. Ancak Mak'ın (2003) yaklaşık yüzde 70'lik bir tahmini, yakın geçmişte siyanürle balık avcılığının ne kadar yaygın olduğunu gösteriyor.

7. BALIKLARDA SİYANÜRÜN METABOLİZMASI

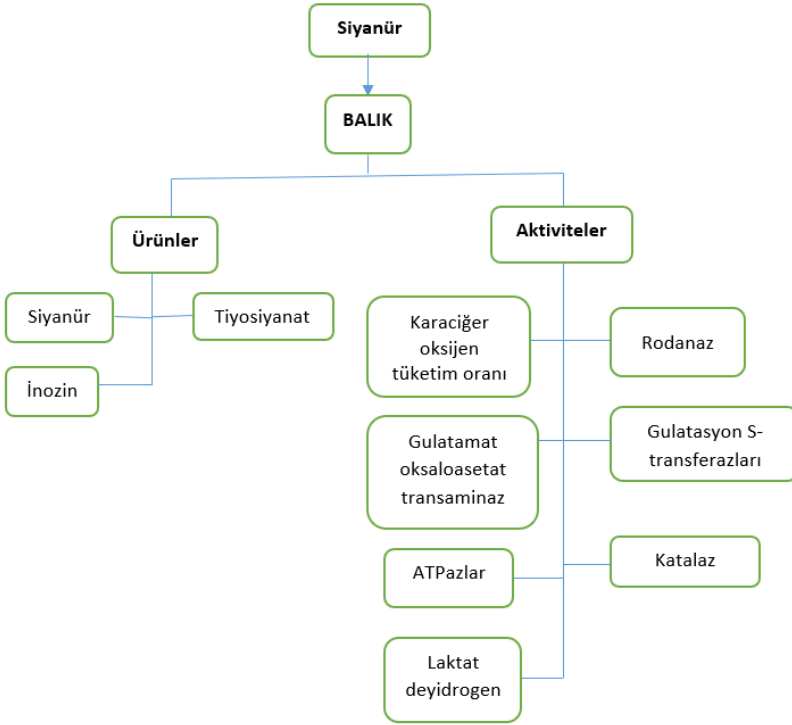
Siyanür balıklar için zehirlidir ve her ne kadar ölümcül olmayan dozları detoksifiye edebilseler de, sağlık durumlarını geri dönülemez şekilde etkileyerek potansiyel olarak ölümle sonuçlanabilir (Scott vd., 2017). Su ortamına giren siyanür, suda veya çökeltide mevcut olabilir ve sonunda bozunana veya ekosistem içindeki organizmalar tarafından alınana kadar çeşitli bileşikler oluşturabilir. Hem deniz hem de tatlı su balıkları siyanüre maruz kalmaya karşı özellikle hassastır (Tablo 1 ve Tablo 2). Siyanür bir organizma tarafından alındığında biyolojik olarak dönüştürülebilir ve metabolize edilebilir. Metabolizma, canlı organizmaların hücreleri içindeki kimyasal dönüşümlerin, bileşikleri metabolit adı verilen ve atılması daha kolay ürünlere dönüştürmek için meydana geldiği iki aşamalı bir süreci tanımlar (Şekil 3). Metabolizmanın temel amaçları, gıdanın enerjiye veya proteinler gibi yapı taşlarına dönüştürülmesi ve atıkların ortadan kaldırılmasıdır. Temel metabolik yollar, belirgin şekilde farklı taksonomik gruplar arasında bile çarpıcı biçimde korunmuştur. Farklı taksonomik gruplar arasında ana metabolik yollar oldukça karmaşık olduğundan, bu ürünler (özellikle balıklarda ve daha çok deniz balıklarında) üzerinde yapılacak daha fazla araştırma, biyolojik yolları daha iyi anlamamıza yardımcı olabilir. Bu nedenle, balıklarda siyanür metabolit üretimi ve tutulmasına ilişkin mekanizmaların iyi bilinmesi gerekir.

Siyanür, solungaçlar ve bağırsaklar tarafından emilir, ardından kan dolaşımı yoluyla vücuda dağıtılır ve dokularda yoğunlaşır, karaciğer ve dalak gibi kan akışının en yüksek olduğu organlarda birikir. Deniz suyundaki hidrojen siyanür, deniz organizmalarının solungaç yapılarında bol miktarda bulunan epitel dokular tarafından kolayca emilir ve bu nedenle birincil emilim bölgesi olduğu düşünülmektedir (Mak vd., 2005; Scott vd., 2017). Siyanür daha sonra hücreler içinde metabolize edilir

ve burada daha kolay atılan diğer metabolitlere dönüştürülür. Tiyosiyanat, organizmadan atılan siyanürün yüzde 80'ini oluşturan ana metabolittir. Balığa giren siyanür daha sonra kan dolaşımı yoluyla vücuda dağılır. Karaciğer ve dalak gibi en yüksek kan akışına sahip doku ve organlarda yoğunlaşmadan önce, hücre içindeki fizyolojik pH değerinde serbest siyanüre dönüştürüldüğü hücre zarlarını kolayca geçebilir (Logue vd., 2010; Scott vd., 2017). Düşük maruz kalma konsantrasyonlarında siyanür, spesifik metabolik yollarla hızla detoksifiye edilir (Ramzy, 2014). Sudaki çözünürlüğü ve düşük log kow değeri (hidrofobikliğin bir ölçüsü olarak kullanılan su ile oktanol arasındaki çözünen madde konsantrasyonu oranı) nedeniyle organizmanın yağ dokularında biyolojik olarak birikmez, bu nedenle kolayca metabolize edilebilir ve atılabilir. Siyanürün canlı organizmalarda kalıcılığı, maruz kalma konsantrasyonu ve süresi ile detoksifikasyon (canlı bir organizmada toksik bir maddenin fizyolojik olarak uzaklaştırılması) hızı tarafından belirlenir (Ramzy, 2014).

Toksisite dozu öldürücü olmaması koşuluyla, siyanüre maruz kalan balıklarda enzim aktivitesinde değişiklikler, davranış değişiklikleri ve doku hasarı gibi bir dizi yarı öldürücü etki görülür. Düşük dozlarda siyanür, balıkları geçici olarak sersemletir, onları halsiz veya hareketsiz hale getirir, daha yüksek dozlarda ise hızla ölüme neden olabilir. Siyanür konsantrasyonu ani ölüme neden olacak kadar yetersizse, siyanüre maruz kalmayla ilişkili bir dizi ölümcül olmayan etkiler ortaya çıkar. Deniz ve tatlı su balıklarında siyanüre maruz kalma sonucu değişen ürünler ve aktiviteler Şekil 3'de gösterilmiştir.

Şekil 3. Siyanüre Maruz Kalan Deniz ve Tatlı Su Balıklarında Oluşan Ürünler ve Gelişen Aktiviteler



Kaynak: (Scott vd., 2017).

8. SİYANÜRÜN BALIKLARA TOKSİSİTESİ

Siyanür, mitokondrideki oksijen transferini bozduğu için aerobik organizmalar için toksiktir; dış ortamda oksijen bulunmasına ve 'işleyen' bir solunum sisteminin korunmasına rağmen esasen organizmayı boğar. Bu histotoksik hipoksi olarak bilinir. Siyanür, mitokondri içindeki sitokrom c oksidaz enzimine bağlanma eğilimi nedeniyle histotoksik hipoksiye neden olur. Sitokrom c oksidaz, solunum elektron taşıma zincirindeki terminal elektron alıcısıdır. Oksijen moleküllerini suya

dönüştürerek ATP (Adenosin trifosfat) üretimini kolaylaştıran elektrokimyasal bir gradyan oluşturur. Sitokrom c oksidaza bağlanan siyanür, enzim ile moleküler oksijen arasındaki elektron taşınmasını bozar (Ramzy, 2014). Dokular oksijenden yoksun kalır, ATP üretimi azalır ve hücresel solunum durur (Jackson ve Logue, 2017).

Kısa süreli siyanüre maruz kalmanın kronik etkileri üzerine yapılan bir çalışmada, Damsel balığı (*Dascyllus trimaculatus*) midenin iç zarında kayıp; mide mukozası ve ardından maruz kalan balıkların mide ve bağırsaklarında hücre hasarı ve siyanürle yakalanan balıkların, siyanüre maruz kalmanın ardından yiyeceklerini sindiremedikleri gözlemlenmiştir (Bellwood, 1981a; Scott vd., 2017). Gökkuşağı Alabalığı'na (*Oncorhynchus mykiss*) üç konsantrasyonda (10, 20 ve 30 $\mu\text{g l}^{-1}$ hidrojen siyanür) 20 günlük siyanür maruziyetinin kronik etkilerini incelemiş ve kan plazmasındaki tiyosiyanat seviyelerinin siyanüre maruz kaldıktan sonraki 24 saat içinde hızla arttığını ve çalışma süresince biyolojik olarak biriktiğini bulmuşlardır. Karaciğer ağırlığının vücut ağırlığına oranı olan ve bir hayvanda enerji rezervlerinin bir göstergesi olan Hepatosomatik İndeks (HSI), siyanüre maruz kalma nedeniyle azalmış ve karaciğer sitokrom oksidaz aktivitesinde % 60-80'lik bir azalma gözlemi siyanürün etkisine bağlanmıştır (Raymond 1984; Scott vd., 2017).

Sazan balığının (*Cyprinus carpio*) öldürücü olmayan siyanüre konsantrasyonuna maruz kalmasını, hücre hasarının göstergesi olan biyokimyasal kan parametreleriyle ilişkili olarak incelenmiştir. İki haftalık bir süre boyunca 100 ve 200 $\mu\text{g l}^{-1}$ potasyum siyanüre maruz kalma, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında aspartat aminotransferaz ve laktat dehidrojenaz aktivitelerinde ve kreatinin konsantrasyonunda önemli artışlara neden olmuştur. Laktat dehidrojenaz (LDH) aktivitelerinin serum ve doku seviyelerinde gözlenen artış,

aerobik metabolizmanın siyanür kaynaklı inhibisyonunun neden olduğu laktik asidozun tipik bir örneği olduğu kanısına varılmıştır (Sadati vd., 2013). Diğer sazan türlerinde (*Labeo rohita*, *Catla catla* ve *Cyprinus carpio*), yayın balığında (*Clarias gariepinus*) ve tilapia'da (*Oreochromis niloticus*) LDH aktivitesinde bir artış gözlemlenmiştir (Dube ve diğerleri, 2014; Manjunatha ve diğerleri, 2015). İncelenen biyokimyasal kan parametrelerindeki bu tür değişiklikler, karaciğer ve böbrek hasarının göstergesidir.

Tiyosülfat sülfürtransferaz olarak da adlandırılan Rhodanese, siyanürün tiyosiyana dönüşümünü kolaylaştırarak siyanürün detoksifikasyonunda merkezi bir rol oynayan bir mitokondriyal enzimdir (Saidu, 2004; Emuebie ve diğerleri, 2010). Baghshani ve Aminlari, (2012), dört sazan türünün karaciğer, böbrek, beyin, solungaç ve bağırsak dokularında rodanozun dağılımını araştırmış; adi sazan (*Cyprinus carpio*), ot sazani (*Ctenopharyngodon idella*), gümüş sazan (*Hypophthalmichthys molitrix*) ve koca kafalı sazan (*Aristichthys nobilis*). Dört türün hepsinin karaciğeri ve böbrekleri, test edilen tüm dokularda en yüksek rodan aktivitesi ile ilişkilendirilmiş, ancak tüm dokular bir dereceye kadar rodan aktivitesi göstermiştir. Hanawa ve diğerleri, (1998), siyanüre maruz kalmanın *Whitetail dascyllus* (*Dascyllus aruanus*) üzerindeki hem akut hem de uzun vadeli etkilerini incelemiştir. Balıklar 10, 60 ve 120 saniye süreyle 25.000 ve 50.000 $\mu\text{g l}^{-1}$ siyanüre maruz bırakılmış ve ardından iki buçuk haftalık bir iyileşme dönemi uygulanmıştır. Kandaki hemogloblin içeriğini, kandaki oksijen içeriği yüzdesini, karaciğer rhodanese aktivitesini ve karaciğer oksijen tüketim oranı ölçülmüş, 25000 ve 50000 $\mu\text{g l}^{-1}$ e 120 saniye maruz kalmanın ardından sırasıyla yüzde altmış ve yüzde 100 (96 saat) ölüm gözlenmiştir. Test edilen fizyolojik parametrelerden yalnızca karaciğer oksijen tüketim oranı siyanüre maruz kalma nedeniyle değişmiştir (Baghshani ve Aminlari, 2012). Da Silva (2015), 60 küçük ve 60 orta boy

palyaço balığını (*Amphiprion ocellaris*) farklı konsantrasyonlarda 6.25, 12.5, 25, 50 ve 100 mg l⁻¹ (6250, 12500, 25000, 50000 ve 100000 µg l⁻¹) siyanüre maruz bırakmış, yapay deniz suyunda 60 saniye boyunca Siyanüre maruz kaldıktan 96 saat sonra, karaciğerdeki katalaz aktivitesinin indüksiyon seviyelerinin ve kastaki glutatyon S-transferaz (GST) aktivitesinin siyanüre maruz kalma konsantrasyonları ile bir ilişkisi olduğunu bulmuşlardır.

Tüm küçük balıklar, tüm konsantrasyonlara (6250, 12500, 25000, 50000 ve 100000 µg l⁻¹) maruz kaldıktan sonra solunum aktivitesinde kayıp göstermiş ve tankın dibine batmış ve artan konsantrasyonlarla birlikte iyileşme süresi artmış ve yüzde 100 hayatta kalma oranı elde edilmiştir. Orta boy balıkların daha toleranslı olduğu ölmüştür. Bu çalışma, siyanür zehirlenmesine karşı duyarlılığın tür içi (örn. numune boyutu) ve türler arası (filogenetik olarak yakından ilişkili türlerde bile) değişebileceğini doğrulamıştır. Palyaço balığı (*A. ocellaris*), pomacentridlerle yapılan diğer çalışmalara kıyasla siyanür zehirlenmesine karşı en yüksek toleransı göstermiştir (Da Silva, 2015).

Siyanometal bileşikleri, serbest siyanürden çok daha az toksiktir ve bu bileşiklerin toksisite düzeyi, serbest siyanürü ne kadar kolay saldıklarına göre belirlenir (Dzombak vd., 2006). Pablo vd., (1997b), iki tür deniz balığını, Avustralya levreği (*Macquaria novemaculeata*) ve Kara çipurayı (*Acanthopagrus butcheri*), sodyum siyanür ve iki demir siyanür bileşikine ferrisiyanür ve ferrosiyanür maruz bırakmış her bir siyanür türevinin 96 saatlik LC₅₀'sinin (%50 ölümle sonuçlanan Ölümcül Konsantrasyon) toplam siyanürle değil serbest siyanürle ilişkili olduğunu tespit etmişler. Toksisitede gözlenen farklılıklar ferrisiyanür ve ferrosiyanürün serbest siyanüre ayrışma hızlarının farklı olması muhtemeldir, bu da toksisitenin büyük bir kısmını oluşturur (Pablo vd., 1997b). Literatürde rapor edildiği üzere, çeşitli su organizmalarında farklı siyanür türevlerinin %50 ölüm

oranıyla (LC₅₀) sonuçlanan Ölümcül Konsantrasyonları Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmektedir. Serbest siyanür, ortalama öldürücü dozuyla suda yaşayan organizmalar için akut derecede toksiktir. Konsantrasyonlar genellikle litre başına mikrogram ($\mu\text{g l}^{-1}$) olarak tanımlanır. Demir siyanür gibi siyanometal bileşiklerine maruz kalmak, litre başına miligram (mg l^{-1}) olarak tanımlanan ortalama ölümcül doz konsantrasyonlarıyla önemli ölçüde daha az toksiktir. Farklı taksonomik gruplar arasında siyanüre tolerans açısından farklılıklar bulunmaktadır, ancak hangi deniz veya tatlı su türlerinin maruziyete karşı daha hassas veya toleranslı olduğunu gösteren net bir model yoktur. Palyaço balıkları üzerinde yapılan bir çalışmada siyanür toksisitesinin vücut büyüklüğü ile ilişkili olduğu ve daha küçük balıkların sodyum siyanüre karşı daha büyük balıklara göre daha duyarlı olduğu bulunmuştur (Da Silva., 2015). Sonuç olarak, siyanür toleransları açısından hem tür içi hem de türler arası farklılıklar beklenebilir.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Siyanür (CN), canlılara hızla etki eden bir kimyasaldır; en toksik ve yaygın olanı, hidrosiyanik asit (HCN) olarak da bilinen serbest siyanürdür. Siyanür, hücrelerdeki oksijen transferini bozarak, esasen organizmanın boğulmasına neden olduğundan aerobik organizmalar için toksiktir. Bu nedenlerle doğal su kaynaklarına yakın bölgelerde siyanür kullanılmamalıdır.
- Siyanür maruziyetini tespit etmek ve ölçmek için pek çok analitik teknik geliştirilmiştir, ancak çoğu insanlardaki doku örneklerine odaklanmıştır. Siyanürün tespitine yönelik sağlam ve pratik bir yöntemin uygulamaya konulmasından önce çözülmesi gereken birtakım zorluklar bulunmaktadır. Geliştirilen herhangi bir yöntem, siyanüre maruz kalan balıklarda doğal ve

antropojenik kaynakları arasında ayırım yapma yeteneğine sahip olmalı ve yüksek riskli siyanür lokasyonlarında bir yönetim aracı olarak kullanılmalıdır.

- Küresel olarak siyanürün hem doğal hem de antropojenik yollarla su ortamına karışma riskinin yüksek olduğu yerleri belirlemek için risk temelli bir yaklaşım benimsenmelidir. Belirlenen yüksek riskli alanlarda, sudaki siyanür konsantrasyonlarının halihazırda izlenip izlenmediğini belirlemek için sanayi (madencilik, manyok endüstrisi vb.) veya ilgili kamu kuruluşları tarafından üstlenilen bir su kalitesi izleme programı olmalıdır.
- Siyanür izleme programının olmaması durumunda, balık toplama alanlarında serbest siyanür ve siyanür türevi bileşiklerin arka plan seviyeleri belirlenmelidir. Sağlam bir temel oluşturmak için hem su örnekleri hem de balık dokusu örnekleri incelenmelidir.
- Canlı balık testi sonuçlarının karşılaştırılabileceği siyanür ve metabolitlerine yönelik bölgesel seviyelerini belirlemek için temel sonuçlar kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Baghshani, H. and Aminlari, M., 2012. Tissue distribution of the enzyme rhodanese in four cyprinid fish species. *Comparative Clinical Pathology*, 21(5), pp.719-723.
- Barber, T.R., Lutes, C.C., Doorn, M.R., Fuchsman, P.C., Timmenga, H.J. and Crouch, R.L., 2003. Aquatic ecological risks due to cyanide releases from biomass burning. *Chemosphere*, 50(3), pp.343-348.
- Bellwood, D.R., 1981a. Cyanide... An investigation into the long term histological effects of sodium cyanide doses upon the gastro-intestinal tract of *Dascyllus trimaculatus*. Part One. *Freshwater and Marine Aquarium*, 4, pp.31-35.
- Boening, D.W. and Chew, C.M., 1999. A critical review: general toxicity and environmental fate of three aqueous cyanide ions and associated ligands. *Water, Air, & Soil Pollution*, 109 (1), pp.67-79.
- Bruckner, A.W. & Roberts, G. (editors)., 2008. Proceedings of the International Cyanide Detection Testing Workshop. NOAA Technical Memorandum, NMFS-OPR-40, Silver Spring, MD, 164 pp.
- Chapatwala, K.D., Babu, G.R.V., Vijaya, O.K., Kumar, K.P. and Wolfram, J.H., 1998. Biodegradation of cyanides, cyanates and thiocyanates to ammonia and carbon dioxide by immobilized cells of *Pseudomonas putida*. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 20 (1), pp.28-33.
- Da Silva Andrade, J.I., 2015, Effects of cyanide exposure on marine fish with emphasis to *Amphiprion* spp., Degree dissertation, University of Aveiro.
- Dash, R.R., Balomajumder, C. and Kumar, A., 2009a. Removal of cyanide from water and wastewater using granular

- activated carbon. Chemical Engineering Journal, 146 (3), pp.408-413.
- Dash, R.R., Gaur, A. and Balomajumder, C., 2009b. Cyanide in industrial wastewaters and its removal: a review on biotreatment. Journal of Hazardous Materials, 163 (1), pp.1-11.
- Dashti, E., 2016. Cyanide testing for the marine aquarium trade. Presentation at the International Aquarium Congress, Vancouver, B.C. Canada, 25-30 September 2016.
- David, M., Ramesh, H., Patil, V.K., Marigoudar, S.R. and Chebbi, S.G., 2010. Sodium cyanide-induced modulations in the activities of some oxidative enzymes and metabolites in the fingerlings of *Cyprinus carpio* (Linnaeus). Toxicological and Environmental Chemistry, 92 (10), pp.1841-1849.
- Dellinger M., Carvan M., Ehlinger T. (2011): Human health effects review on chemicals of emerging concern. International Joint Commission Ottawa, ON K1P6K6, 1-45.
- Dube, P.N. and Hosetti, B.B., 2011. Inhibition of ATPase activity in the freshwater fish *Labeo rohita* (Hamilton) exposed to sodium cyanide. Toxicology mechanisms and methods, 21 (8), pp.591-595.
- Dube, P.N., Shwetha, A. and Hosetti, B.B., 2014. Impact of copper cyanide on the key metabolic enzymes of freshwater fish *Catla catla* (Hamilton). Biotechnology in Animal Husbandry, 30 (3), pp.499-508.
- Dzombak, D.A., Ghosh, R.S. and Wong-Chong, G.M. eds., 2006. Cyanide in water and soil: chemistry, risk, and management. CRC press.

- Ebbs, S., 2004. Biological degradation of cyanide compounds. Current opinion in Biotechnology, 15 (3), pp.231-236.
- Eisler R., Wiemeyer S.N. (2004): Cyanide hazards to plants and animals from gold mining and related water issues. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 183, 21- 54.
- Emuebie, O.R., Olaoluwa, P.M., Adenike, K. and Titilayo, A.O., 2010. The distribution of cyanide detoxifying enzymes (rhodanese and 3-mercaptopyruvate sulphurtransferase) in different species of the family Cichlidae (*Tilapia zillii*, *Sarotherodon galilaeus* and *Oreochromis niloticus*). African Journal of Biochemistry Research, 4 (6), pp.163-166.
- Giuliani, G., De Bono, A., Kluser, S. and Peduzzi, P., 2004. Overfishing, a major threat to the global marine ecology. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:23129>
- Gould, W.D., King, M., Mohapatra, B.R., Cameron, R.A., Kapoor, A. and Koren, D.W., 2012. A critical review on destruction of thiocyanate in mining effluents. Minerals Engineering, 34, pp.38-47.
- Guimaraes, J.R.D., Betancourt, O., Miranda, M.R., Barriga, R., Cueva, E. and Betancourt, S., 2011. Long-range effect of cyanide on mercury methylation in a gold mining area in southern Ecuador. Science of the Total Environment, 409 (23), pp.5026-5033.
- Halim, A., 2002. Adoption of cyanide fishing practice in Indonesia. Ocean & Coastal Management, 45 (4), pp.313-323.

- Hanawa, M., Harris, L., Graham, M., Farrell, A.P. and Bendell-Young, L.I., 1998. Effects of cyanide exposure on *Dascyllus aruanus*, a tropical marine fish species: lethality, anaesthesia and physiological effects. *Aquarium Sciences and Conservation*, 2 (1), pp.21-34.
- Herz, N., Ferse, S., Alfiansah, Y.R. and Kunzmann, A., 2016. High-performance liquid chromatography to detect thiocyanate in reef fish caught with cyanide: A practical field application. *SPC Live Reef Fish Information Bulletin*. 21, 8-16
- Hilson, G. and Monhemius, A.J., 2006. Alternatives to cyanide in the gold mining industry: what prospects for the future?. *Journal of Cleaner production*, 14 (12), pp.1158-1167.
- Hosetti B.B., Dube P.N., Prashanth M.S., Shwetha A. (2010): Acute toxicity of metal cyanides to Indian major carp *Labeo rohita* (Hamilton). *Biotechnology in Animal Husbandry*, 26 (3-4), 267- 277.
- Jackson R., Logue B.A., 2017. A review of rapid and field-portable analytical techniques for the diagnosis of cyanide exposure, *Analytica chimica acta*. 960, 18-39
- Johnson, C.A., Leinz, R.W., Grimes, D.J. and Rye, R.O., 2002. Photochemical changes in cyanide speciation in drainage from a precious metal ore heap. *Environmental science & technology*, 36 (5), pp.840-845.
- Johnson, C.A., 2015. The fate of cyanide in leach wastes at gold mines: An environmental perspective. *Applied geochemistry*, 57, pp.194-205.
- Jones, R.J., Kildea, T. and Hoegh-Guldberg, O., 1999. PAM chlorophyll fluorometry: a new in situ technique for stress assessment in scleractinian corals, used to examine the

- effects of cyanide from cyanide fishing. *Marine Pollution Bulletin*, 38 (10), pp.864-874.
- Kamyshtny, A., Oduro, H., Mansaray, Z.F. and Farquhar, J., 2013. Hydrogen cyanide accumulation and transformations in non-polluted saltmarsh sediments. *Aquatic geochemistry*, pp.1-17.
- Ketcheson, K. and Fingas, M., 2000. Sodium cyanide: Properties, toxicity, uses and environmental impacts.
- Kuyucak, N. and Akcil, A., 2013. Cyanide and removal options from effluents in gold mining and metallurgical processes. *Minerals Engineering*, 50, pp.13-29.
- Lanno, R.P. and Dixon, D.G., 1996. The comparative chronic toxicity of thiocyanate and cyanide to rainbow trout. *Aquatic toxicology*, 36 (3), pp.177-187.
- Li, Q., Jacob, D.J., Bey, I., Yantosca, R.M., Zhao, Y., Kondo, Y. and Notholt, J., 2000. Atmospheric hydrogen cyanide (HCN): Biomass burning source, ocean sink?. *Geophysical research letters*, 27 (3), pp.357-360.
- Li, Q., Jacob, D.J., Yantosca, R.M., Heald, C.L., Singh, H.B., Koike, M., Zhao, Y., Sachse, G.W. and Streets, D.G., 2003. A global three-dimensional model analysis of the atmospheric budgets of HCN and CH₃CN: Constraints from aircraft and ground measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108 (D21).
- Lindsay A.E., Greenbaum A.R., Hare D. O., 2004. Analytical techniques for cyanide in blood and published blood cyanide concentrations from healthy subjects and fire victims, *Analytica Chimica Acta*, 511, 185–195.
- Logue, B.A., Hinkens, D.M., Baskin, S.I. and Rockwood, G.A., 2010. The analysis of cyanide and its breakdown products

- in biological samples. Critical Reviews in Analytical Chemistry, 40 (2), pp.122-147.
- Ma J, Dasgupta P.K., 2010. Recent developments in cyanide detection: A review. Analytica Chimica Acta, 673 117–125
- Mak, K.K., Yanase, H. and Renneberg, R., 2005. Cyanide fishing and cyanide detection in coral reef fish using chemical tests and biosensors. Biosensors and Bioelectronics, 20 (12), pp.2581-2593.
- Mak, K.W., 2003. Novel bioanalytical tests and biosensor systems for detection of cyanide traces in marine fish (Doctoral dissertation).
- Manjunatha, B., Tirado, J.O. and Selvanayagam, M. 2015. Sub-lethal toxicity of potassium cyanide on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): biochemical response. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 3(7).
- Moran, R.E., 1999. Cyanide in mining: some observations on the chemistry, toxicity and analysis of mining-related waters. Central Asia Ecology, 99.
- Moran, R., 2001. More Cyanide Uncertainties, Lessons From the Baia Mare, Romania Spill–
Water Quality and Politics. Mineral Policy Center Issue Paper, 3
- Mudder, T.I. and Botz, M.M., 2004. Cyanide and society: a critical review. European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, 4 (1), pp.62-74.
- Murphy, C. and Rhyne, 2017. American Chemical Society, How to clamp down on cyanide fishing (2017, April 3) retrieved 10 April 2017 from <https://phys.org/news/2017-04-clampcyanide-fishing.html> and on 18/05/17 from

https://www.eurekalert.org/pub_releases/201704/acs-htc031017.php

- Okafor, P.N., Okoronkwo, C.O., Alaneme, F.O. and Maduagwu, E.N., 2001. Cyanide contamination of natural water sources during large scale cassava processing. *African Journal of Biomedical Research*, 4, pp.25-27.
- Oudjehani, K., Zagury, G.J. and Deschenes, L., 2002. Natural attenuation potential of cyanide via microbial activity in mine tailings. *Applied microbiology and biotechnology*, 58 (3), pp.409-415.
- Pablo, F., Buckney, R.T. and Lim, R.P., 1997b. Toxicity of cyanide and iron-cyanide complexes to Australian bass *Macquaria novemaculeata* and black bream *Acanthopagrus butcheri*. *Australasian Journal of Ecotoxicology*, 2 (2), pp.75-84.
- Poulton, J.E., 1990. Cyanogenesis in plants. *Plant physiology*, 94 (2), pp.401-405.
- Prashanth, M.S., 2012. Acute toxicity, behavioral and nitrogen metabolism changes of sodium cyanide affected on tissues of *Tilapia mossambica* (Peters). *Drug and chemical toxicology*, 35 (2), pp.178-183.
- Prashanth, M.S., Sayeswara, H.A. and Goudar, M.A., 2011a. Effect of sodium cyanide on behaviour and respiratory surveillance in freshwater fish, *Labeo rohita* (Hamilton). *Recent Research in Science and Technology*, 3 (2).
- Prashanth, M.S., Sayeswara, H.A. and Goudar, M.A., 2011b. Free cyanide induced physiological changes in the freshwater fish, *Poecilia reticulata*. *Journal of Experimental Sciences*, 2 (2).
- Praveen N. D., Shwetha, A., Hosetti, B.B. 2014. Biotechnology in Animal Husbandry 30 (3), p 499-508

- Ramzy, E.M., 2014. Toxicity and stability of sodium cyanide in fresh water fish Nile tilapia. *Water Science*, 28 (1), pp.42-50.
- Randviir E.P., Banks C.E., 2015. The latest developments in quantifying cyanide and hydrogen cyanide. *Trends in Analytical Chemistry* 64, 75–85
- Raymond, P. 1984. Biochemical Investigation on the Mode of Action of Cyanide in Rainbow Trout During Chronic Exposure. MSc Thesis. Concordia University, Quebec, Canada. Available at: <http://spectrum.library.concordia.ca/2621/1/ML13925.pdf> (Accessed on 13 December 2016).
- Redman, A. and Santore, R., 2012. Bioavailability of cyanide and metal–cyanide mixtures to aquatic life. *Environmental toxicology and chemistry*, 31 (8), pp.1774-1780.
- Rhyne, A.L., Tlusty, M.F., Schofield, P.J., Kaufman, L.E.S., Morris Jr, J.A. and Bruckner, A.W., 2012. Revealing the appetite of the marine aquarium fish trade: the volume and biodiversity of fish imported into the United States. *PLoS One*, 7 (5), p.e35808.
- Sadati, F., Shahsavani, D. and Baghshani, H., 2013. Biochemical alterations induced by sublethal cyanide exposure in common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 7 (20).
- Saidu, Y., 2004. Physicochemical features of rhodanese: A review. *African Journal of Biotechnology*, 3 (8), pp.370-374.
- Scott D., Joanna M. and Ioanna K. 2017. Cyanide in the aquatic environment and its metabolism by fish. The Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science. A desk-based review. 71 p.

- Shwetha, A., Praveen, N.B. and Hosetti, B.B., 2012. Effect of exposure to sublethal concentrations of zinc cyanide on tissue ATPase activity in the fresh water fish, *Cirrhinus mrigala* (Ham). *Acta Zoologica Bulgarica*, 64 (2), pp.185-190.
- Silva, L.I.B., Justino, C.I.L., Lopes, I., Pereira, R., Freitas, A.C., Calado, R., , Rocha Santos, T.A.P., Panteleitchouk, T.S.L., Pereira, M.E. and Duarte, A.C. 2011. Optical fiber based methodology for assessment of thiocyanate in seawater. *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 1811-1815.
- Simeonova, F.P. and Fishbein, L., 2004. Hydrogen cyanide and cyanides: human health aspects. Concise international chemical assessment document.
- Sorokin, N., Atkinson, C., Aldous, E., Rule, K., Maycock, D. and Comber, S. 2008. Proposed EQS for Water Framework Directive Annex VIII substances: cyanide (free) (For consultation) Water Framework Directive - United Kingdom Technical Advisory Group (WFD-UKTAG).
- Suneetha K. (2012): Effects of endosulfan and fenvalerate on carbohydrate metabolism of the freshwater fish, *L. rohita* (Ham). *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4(1), 262- 268.
- Vaz M.C.M, Rocha-Santos T.A.P, Rocha R.J.M, Lopes I, Pereira R, Duarte A.C., Rubec P.J., Calado R. 2012. Excreted Thiocyanate Detects Live Reef Fishes Illegally Collected Using Cyanide—A Non-Invasive and Non-Destructive Testing Approach. *PLoS ONE* 7(4): e35355. doi:10.1371/journal.pone.0035355
- Vetter, J., 2000. Plant cyanogenic glycosides. *Toxicon*, 38 (1), pp.11-36.

- Vujisić, L.V., Vučković, I.M., Makarov, S.E., Ilić, B.S., Antić, D.Ž., Jadranin, M.B., Todorović, N.M., Mrkić, I.V., Vajs, V.E., Lučić, L.R. and Ćurčić, B.P., 2013. Chemistry of the sternal gland secretion of the Mediterranean centipede *Himantarium gabrielis* (Linnaeus, 1767)(Chilopoda: Geophilomorpha: Himantariidae). *Naturwissenschaften*, 100 (9), pp.861-870.
- Wabnitz, C., 2003. From ocean to aquarium: the global trade in marine ornamental species (No. 17). UNEP/Earthprint.
- Yang, D., Yang, D., Zhu, S., Wu, Y. and Wang, F., 2016. A research on the vertical migration process and background value of cyanide in Jiaozhou Bay.
- Young, C.A. and Jordan, T.S., 1995, May. Cyanide remediation: current and past technologies. In *Proceedings of the 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research* (pp. 104-129). Kansas State University: Manhattan, KS.

SU ÜRÜNLERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com