

Balıkların Kan Parametreleri Üzerine Ağır Metallerin Etkisi

Ekrem Şanver Çelik

Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Çanakkale, Türkiye
E mail: sanver_celik@hotmail.com

Abstract: *Heavy metal effects on fish blood parameters.* Heavy metals releases to aquatic systems have toxic affect proportionally with their concentration on fish population health. Some heavy metals (chrome and cadmium) that enter the food chain are not discharged from fish and therefore are accumulated in their body. When they exceed a threshold concentration they may have a toxic effect or even cause death on fish. These accumulations have also an effect on fish blood and can cause physiological damage on fish. In this review article heavy metal effects on fish blood parameters, such as copper, zinc, chrome, cadmium, and mercury are discussed. Concentration level and exposure time effects on fish blood parameters are discussed in detail with respect to their physiological and ecological significance.

Key Words: Fish, blood parameters, heavy metals.

Özet: Ağır metaller boşaltım ortamlarındaki balıklar üzerinde, konsantrasyonları ile orantılı olarak toksik etki yaparlar. Bazı ağır metaller (krom, kadmiyum), besin zincirleriyle girdikleri canlı bünyelerinden atılmadıkları için balıklarda fizyolojik olarak birikime neden olurlar ve bünyede belirli sınır konsantrasyonların aşılması halinde toksik etki yaparlar ve hatta ölüme neden olabilirler. Bu birikim balıkların kan parametrelerine de etki eder ve fizyolojik bozukluklara neden olur. Bu makalede bakır, çinko, krom, kadmiyum ve civa gibi ağır metallerin balıkların kan parametreleri üzerine etkileri, farklı yazarlar tarafından yapılan araştırmalardan yararlanılarak ortaya konulmuştur. Ağır metal konsantrasyonuna ve balıkların bunlara ne sureyle maruz kaldıklarına bağlı olarak kan indekslerindeki değişimler ile bunların fizyolojik ve ekolojik önemleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Balık, kan parametreleri, ağır metaller.

Giriş

Ağır metaller balıkların sağlığını etkileyebilir. Direkt olarak sudan alınabildiği gibi indirekt olarak daha küçük balıklar, omurgasızlar veya bitkisel besinlerden alınabilmektedir (Kime ve diğ., 1996). Akuatik ortama serbest olarak bırakılan metaller, balıklarda fizyolojik düzensizliklere yol açar ve balıkların kan parametrelerine de etki eder (Sehgal ve Saxena, 1986). Genellikle ağır metallerin etkileri balıklarda negatif olarak strese yol açar ve çoğu durumlarda ölüme sonuçlanır.

Hematolojik ve biyokimyasal indeksler balıkların fizyolojik durumlarının değerlendirilmesinde kullanılan çok önemli parametrelerdir. Bu indekslerin değişimini, balık türü, yaş, üreme, hastalık, beslenme, stres, örnekleme metodu ve çevresel faktörler (sıcaklık, ışık süresi, yoğunluk, tuzluluk gibi) etkilemektedir (Lane, 1979, Zhiteneva ve diğ., 1989, Bergheim ve diğ., 1990, Dawson, 1990, Folmar ve diğ., 1992, Mazur ve lwama, 1993, Canfield ve diğ., 1994, Houston, 1997, Lusková, 1997, Cataldi ve diğ., 1998, Kubokawa ve diğ., 1999, Bernet ve diğ., 2001, Chen ve diğ., 2002, Katalay ve Parlak, 2002, 2004, 2004a, Çelik, 2004). Sıcak kanlı hayvanlarda olduğu gibi, bazı dokuların ve organların enfeksiyonu veya yaralanmasıyla oluşan balık kan parametrelerindeki değişiklikler, organ ve dokularda fonksiyon bozukluklarının ve yaralanmaların belirlenmesinde ve doğrulanmasında kullanılabilir. Sıcak kanlı hayvanlarla ilgili yapılan

çalışmaların temelinde, bazı maddelerin organizmaya etkisini yansıtan özel indeksler belirlenmiştir (örneğin, insektisitlerin etkisi altındaki kan serum kolinesterazındaki değişiklikler veya nitritlerin etkisi altındaki methamoglobindeki değişiklikler). Bununla birlikte, kanın özelleşmemiş biyokimyasal indikatörlerinin kompleksi, tamamen kirlenmenin balıklardaki genel etkisini açığa çıkarır ve uzun dönemli kimyasal kirlenmelere maruz kalma sonuçlarının tahminini mümkün kılar (Vosylienė, 1999a).

Bu derlemede, ağır metallerin farklı tür balıkların bazı hematolojik (eritrosit ve lökosit sayısı, hematokrit oranı, hemoglobin seviyesi) ve biyokimyasal kan indeksleri (glukoz, total bilirubin, albumin, globulin, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, klor, kolesterol, trigliserit, aspartat aminotransferaz, alanin aminotransferaz, laktat dehidrojenaz)nde meydana getirdiği değişikliklerin (önem, miktar ve süre) karşılaştırılarak tartışılması amaçlanmıştır.

Bakır (Cu)

Eritrosit (RBC), Hemoglobin (Hb), Hematokrit (Hct). Bakır konsantrasyonlarına ve maruz kalma sürelerine bağlı olarak çeşitli balık türlerinin hematolojik indekslerinde farklı değişiklikler tespit edilmiştir. 60 gün boyunca 10-20 µg^L⁻¹ Cu'ya maruz bırakılan Scophthalmidae familyasına ait *Scophthalmus aquosus* türünün RBC sayısı, Hb değeri ve Hct oranında, kontrol grubuna oranla, önemli derecede farklılıklar gözlenmemiştir (Dawson, 1990). Aynı şartlar altında 10 µg^L⁻¹ Cu'ya maruz bırakılan Pleuronectidae familyasına üye

Pseudopleuronectes americanus ile Moronidae familyasına ait *Morone saxatilis* balıklarının Hct oranı, Hb değeri ve RBC sayısında kontrol grubuna oranla % 18-48 oranında bir azalma görülmüştür (Calabrese ve diğ., 1975, Dawson, 1979). Akut testlerde, LC₅₀'ye yakın Cu konsantrasyonuna maruz bırakılan bir yıllık Salmonidae familyasına ait *Oncorhynchus mykiss* ve Cyprinidae familyasına üye *Cyprinus carpio* balıklarının RBC sayısı, Hb konsantrasyonu ve Hct oranında bir artış izlenmiştir (Svobodova ve diğ., 1994). Aynı zamanda 0,25 mg⁻¹ Cu Heteropneustidae familyasına üye *Heteropneustes fossilis* türünün kanındaki Hb konsantrasyonunu artırmıştır (Singh ve Reddy, 1990). Çok daha düşük bakır konsantrasyonlarına (100 ve 200 mg⁻¹) maruz bırakılan Cichlidae familyasına ait *Oreochromis mossambicus* türünün Hb konsantrasyonundaki artış 24 saat sonra belirlenmiştir (Cyriac ve diğ., 1989). Bununla birlikte diğer yazarlar, akut olarak 48 saat boyunca Cu konsantrasyonuna maruz bırakılan Clariidae familyasından olan *Clarias garlepinus* balığının Hb konsantrasyonu ve RBC sayısında bir azalma tespit ederlerken 48 saatten sonra ise bu iki indekste hafif bir artış meydana geldiğini belirtmişlerdir (Van Vuren ve diğ., 1994). 3,2 mg⁻¹ Cu'ya maruz bırakılan Clariidae familyasına ait *Clarias lazera* türünde uygulamadan 96 saat sonra hemoliz ve anemia görülmüştür (El-Domiaty, 1987). Daha düşük Cu konsantrasyonları (0,49 ve 0,104 mg⁻¹), uygulamadan 30 gün sonra Ictaluridae familyasından olan *Ictalurus nebulosus* türünün Hb konsantrasyonunu artırmıştır (Christensen ve diğ., 1972). Aynı çalışmada, düşük Cu konsantrasyonları (24, 39, 67 mg⁻¹), *Salvelinus fontinalis* (Salmonidae) balığının RBC sayısı, Hb konsantrasyonu ve Hct oranında uygulamanın ilk 3 haftası boyunca bir artışa neden olmuştur. Bir akut test çalışmasında, 0,125-0,5 mg⁻¹ Cu'ya maruz bırakılan *Oncorhynchus mykiss* balığının Hct oranında bir artış kaydedilmiştir (Vosylienė, 1996a). 4,9 mmol⁻¹ Cu'ya maruz bırakılan *Oncorhynchus mykiss* türünün, uygulamadan 24 saat sonra, Hb konsantrasyonu ve Hct yüzdesinde önemli bir artış izlenmiştir (Christensen ve diğ., 1972).

Lökosit (WBC). Akut test uygulanan ve lethal doza yakın Cu konsantrasyonuna maruz bırakılan bir yıllık *Oncorhynchus mykiss* ve *Cyprinus carpio* balıklarının WBC sayısında önemli bir azalma (özellikle küçük balıklar) tespit edilmiştir (Svobodova ve diğ., 1994). Bir akut deney çalışmasında, sublethal Cu konsantrasyonuna (0,301 mg⁻¹) maruz bırakılan *Oncorhynchus mykiss* balığının, çoğunlukla lenfosit sayısındaki azalmadan dolayı, WBC konsantrasyonunda önemli bir azalma görülmüştür (Dick ve Dixon, 1985). Bununla birlikte, Cu'nun geri dönüşüm konsantrasyonuna maruz bırakılan *Clarias garlepinus* türünün uygulamadan 2 saat sonra, WBC sayısında çok fazla bir artış izlenmiştir (Van Vuren ve diğ., 1994). Cu konsantrasyonu *Oncorhynchus mykiss* balığının kanındaki WBC sayısını önemli derecede etkilemiştir: akut testlerde 0,125 mg⁻¹ Cu'ya maruz bırakılan balıkların WBC sayısında önemli bir değişiklik meydana gelmezken 0,5 mg⁻¹ Cu'ya maruz bırakılanlarda ise WBC sayısı önemli derecede azalmıştır (Vosylienė, 1996a). Uzun süreli (3 ay boyunca) 0,1 ve 0,2 mg⁻¹ Cu konsantrasyonlarına

maruz bırakılan *Oncorhynchus mykiss* balığının WBC sayısında bir azalma görülmüştür (Vosylienė, 1996b).

Glukoz (GLC). 0,01 mg⁻¹ Cu'ya maruz bırakılan *Cyprinus carpio* türünün kan GLC değeri, uygulamadan 2 saat sonra, artmıştır (Nemcsok ve diğ., 1985). Bir akut deney çalışmasında, 0,125 ve 0,5 mg⁻¹ Cu'ya maruz bırakılan *Oncorhynchus mykiss* (96 saat uygulamadan sonra) kan GLC düzeyinde artış gözlenmiştir (Vosylienė, 1996a). Aynı zamanda, benzer artış 2 mg⁻¹ Cu'ya maruz bırakılan *Oncorhynchus mykiss* balığının kan GLC düzeyinde, 24 ve 48 saat uygulamadan sonra, görülmüştür (Nemcsok ve Hughes, 1988). Bununla birlikte, düşük bakır konsantrasyonuna (250 µg⁻¹) maruz bırakılan *Heteropneustes fossilis* balığının kanındaki GLC düzeyi, 24 saat uygulamadan hemen sonra, artmıştır (Singh ve Reddy, 1990). Akut olarak 96 saat boyunca Cu'ya maruz bırakılan *Clarias garlepinus* türünün kan GLC düzeyinde, 2 saat uygulamadan sonra, bir artış kaydedilmiştir. Bu artış deneyin sonuna kadar yükselerek devam etmiştir (Van Vuren ve diğ., 1994). Bununla birlikte, 30 gün boyunca düşük konsantrasyonlu Cu'ya (49 ve 104 mg⁻¹) maruz bırakılan *Ictalurus nebulosus* türünün kan GLC düzeyi artmıştır (Christensen ve diğ., 1972).

Sodyum (Na), Calsiyum (Ca), Potasyum (K). 60 gün boyunca 10-20 µg⁻¹ Cu'ya maruz bırakılan *Scophthalmus aquosus* türünün Na, Ca ve K seviyelerinde, kontrol grubuna oranla, önemli derecede farklılıklar gözlenmemiştir (Dawson, 1990).

Çinko (Zn)

Eritrosit (RBC), Hemoglobin (Hb), Hematokrit (Hct). Akut çalışmalarda, yüksek Zn konsantrasyonları (LC₅₀'ye yakın) *Cyprinus carpio* balığının kanındaki Hb konsantrasyonu ve Hct oranını azaltmıştır. Uzun dönemli çalışmalarda, 30 mg⁻¹ Zn'ye maruz bırakılan balıkların kan indekslerinde herhangi bir değişiklik görülmemiştir (Svobodova ve diğ., 1994). Bununla birlikte, Zn'nin sublethal konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Cyprinus carpio* balığının, uygulamadan bir gün sonra, RBC sayısı ve Hb konsantrasyonunda artış izlenmiştir (Tishinova ve Ilieva, 1994). 22 mg⁻¹ ve 32 mg⁻¹ Zn'ye maruz bırakılan *Tilapia zilli* (Cichlidae) ve *Clarias lazera* gibi tatlı su balıklarının (uygulamadan 96 saat sonra) kanlarındaki Hct oranı ve Hb konsantrasyonu artmıştır (Hilmy ve diğ., 1987).

Lökosit (WBC). Akut toksisite deneyleri esnasında (96 saat), 140 mg⁻¹ Zn *Cyprinus carpio* türünün kanındaki WBC sayısında önemli derecede artışa neden olmuştur. (Svobodova ve diğ., 1994). Bununla birlikte, akut toksisite çalışmalarında Zn'ye maruz bırakılan Scyliorhinidae familyasından olan *Scyliorhinus canicula* balığının kanındaki WBC sayısında artış meydana gelmiştir (Torres ve diğ., 1986). **Glukoz (GLC).** 96 saat boyunca LC₅₀ dozuna maruz bırakılan salmonid balık kanlarının % 80'inde GLC konsantrasyonu artmıştır (McLeay, 1977). Aynı zamanda, GLC konsantrasyonundaki artış, 7 gün boyunca 214 mg⁻¹ Zn'ye maruz bırakılan *Oncorhynchus mykiss* balığının kanında da gözlenmiştir (Watson ve McKeown, 1976).

Krom (Cr)

Eritrosit (RBC), Hemoglobin (Hb), Hematokrit (Hct). 3 hafta

boyunca 2,0 mgL⁻¹ hexavalent Cr'ye maruz bırakılan *Oncorhynchus mykiss* balığının kanındaki Hb seviyesi ve Hct oranı yükselmiştir (Van der Putte ve diğ., 1982). Uzun dönemli düşük konsantrasyonlu Cr'ye (1,9 ve 2,9 mgL⁻¹) maruz bırakılan (30 gün) ve Cyprinidae familyasından olan *Barbus conchonioides* balığının kanındaki RBC sayısı, Hct oranı ve Hb seviyesi artmıştır (Gill ve Pant, 1987). Benzer durum *Oncorhynchus mykiss* balığında da görülmüştür (Shiffman ve Fromm, 1959). Bununla birlikte, kısa (96 saat) ve uzun (90-100 gün) süreli potasyum bikromata (244 mgL⁻¹ ve 0,72-21,5 mgL⁻¹) maruz bırakılan *Cyprinus carpio* balığının kanındaki Hct oranı ve Hb konsantrasyonunda bir değişiklik görülmemesine rağmen 4,2-0,125 mgL⁻¹ Cr konsantrasyonuna uzun süreli olarak maruz bırakılan *Oncorhynchus mykiss* balığının Hb seviyesi ise artmıştır (Svobodova ve diğ., 1994).

Kadmiyum (Cd)

Eritrosit (RBC), Hemoglobin (Hb), Hematokrit (Hct). Bir araştırmada 15, 29, 64 ve 120 günlük sürelerle, sırasıyla 2, 10 ve 42 ppb Cd'ye maruz bırakılan yaklaşık olarak 130 g ağırlığındaki *Cyprinus carpio* türünün RBC sayısı, Hb seviyesi, Hct oranında çok az değişiklik görülmüştür (Yamawaki ve diğ., 1986). 60 gün boyunca 5-10 µg⁻¹ Cd'ye maruz bırakılan *Scophthalmus aquosus* türünün Hb değeri, Hct oranı ve RBC sayısında, kontrol grubuna oranla, önemli derecede farklılıklar gözlenmemiştir (Dawson, 1990). Dokuz hafta süreyle 5 µg⁻¹'den daha az Cd konsantrasyonuna maruz bırakılan *Pleuronectes flesus* (Pleuronectidae) türünde kan Hb ve Hct konsantrasyonlarının azaldığı kaydedilmiştir (Larsson, 1975). Aynı çalışmada, Cd'nin daha yüksek konsantrasyonlarında Ca ve K düzeylerinde azalma tespit edilmiştir. Bir akut test çalışmasında, bir saat süreyle 5 mgL⁻¹ Cd'ye maruz bırakılan *Cyprinus carpio* balığının RBC sayısı ve Hct oranında herhangi bir değişiklik meydana gelmezken 1-3 saat süreyle 10 mgL⁻¹ Cd'ye maruz bırakılan balıklarda ise bu parametrelerde artış izlenmiştir (Witeska ve Jezierska, 1994). 60 gün boyunca 5-10 µg⁻¹ Cd'ye maruz bırakılan *Pseudopleuronectes americanus* türünün Hb değeri, Hct oranı ve RBC sayısında, önemli bir farklılık gözlenmemiştir (Calabrese ve diğ., 1975). Hb seviyesi, RBC sayısında artma ve Ht oranında azalma, 25 µg⁻¹ Cd'ye maruz bırakılan *Scylliorhinus canicula* türünün kanında, uygulamadan 24 saat sonra gözlenmiştir (Tort ve diğ., 1988). Bununla birlikte, bu balığın 50 µg⁻¹ Cd'ye maruz bırakılmasından sonra hematolojik indekslerinde (RBC sayısı, Ht oranı, RBC sayısı) uygulamadan 24 ve 48 saat sonra değişiklik meydana gelmiştir. 96 saat uygulamadan sonra ise kontrol düzeyine dönüş izlenmiştir (Tort ve Hernandez-Pascual, 1990). Yüksek Cd konsantrasyonu (10 µg⁻¹) *Oncorhynchus mykiss* balığının kanındaki Hct yüzdesini azaltmıştır (Haux ve Larsson, 1984). 0,05-0,5 mgL⁻¹ Cd'ye maruz bırakıldıktan sonra *Pleuronectes flesus* türünün RBC sayısı, Hct oranı ve Hb konsantrasyonunda önemli derecede bir azalma meydana gelmiştir (Johansson-Sjöbeck ve Larsson, 1978). Çeşitli konsantrasyonlarda Cd içeren ortamlarda tutulan *Cyprinus carpio* balığının Hb konsantrasyonu ve Hct oranının önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir. Aynı zamanda balıklarda anemik

belirti ve karaciğer dokusunda tahribat meydana geldiği tespit edilmiştir (Koyama ve Ozaki, 1984). 45 gün süreyle 0,1-10,0 µg⁻¹ Cd'ye maruz bırakılma süresine bağlı olarak *Oreochromis mossambicus* balığının Hb değeri ve RBC sayısında bir azalma gözlenmiştir (Ruparella ve diğ., 1990). 24 gün süreyle Cd'ye maruz bırakılan ve Gobiidae familyasından olan *Gobius niger* türünün RBC sayısı, Hb seviyesi, Ht oranında istatistiksel açıdan önemli bir değişiklik olmadığı saptanmıştır (Katalay, 1998). Farklı bir çalışmada 24 gün süreyle farklı Cd konsantrasyonlarına (2, 3 ve 5 mgL⁻¹) maruz bırakılan ve ortalama ağırlığı 16,01±1,109 g olan *Gobius niger* türünün RBC sayısında artış görülürken bazı histolojik değişiklikler de ortaya çıkmıştır. Ayrıca, hipokromik anemi, parçalı eritrosit yapısı ve micronükleli sayısında artış gözlenmiştir (Katalay ve Parlak, 2004a).

Lökosit (WBC). *Cyprinus carpio* balığının kanındaki WBC sayısındaki değişiklikler çoğunlukla Cd'ye maruz kalma süresine bağlıdır. WBC sayısında görülen başlangıç artışları, uygulamadan 11 gün sonra azalmaya dönüşmüştür (Palačkova ve diğ., 1994). Aynı zamanda, uygulama başlangıcında *Pleuronectes flesus* balığının WBC sayısında bir artış izlenmiş fakat 9 hafta süreyle Cd'ye maruz bırakılanlarda ise, lenfosit sayısındaki düşmeden dolayı WBC sayısında bir azalma görülmüştür (Johansson-Sjöbeck ve Larsson, 1978). 25 µg⁻¹ Cd'ye maruz bırakılan *Scylliorhinus canicula* balığının uygulamadan 24 ve 96 saat sonra, WBC konsantrasyonunda azalma belirlenmiştir (Tort ve diğ., 1988). 0,1-10,0 µg⁻¹ sublethal Cd konsantrasyonuna maruz bırakılan *Oreochromis mossambicus* türünün WBC sayısında azalma bulunmuştur (Ruparella ve diğ., 1990). Bununla birlikte, sadece 50 µg⁻¹ Cd'ye 4 gün süreyle maruz bırakıldıktan sonra, *Scylliorhinus canicula* balığının WBC sayısında artış gözlenmiştir (Tort ve Hernandez-Pascual, 1990). 24 gün süreyle 2, 3 ve 5 mgL⁻¹ Cd'ye maruz bırakılan ve ortalama ağırlığı 16,01±1,109 g olan *Gobius niger* türünün WBC sayısında istatistiksel açıdan önemli bir değişiklik olmadığı saptanmıştır (Katalay ve Parlak, 2004a).

Glukoz (GLC). 1,6 mgL⁻¹ Cd 2 haftalık bir uygulamadan sonra salmonların kanındaki GLC konsantrasyonunu artırmazken (Christensen ve diğ., 1977) 10 mgL⁻¹ Cd, 18 haftalık bir uygulamadan sonra, *Oncorhynchus mykiss* balığının GLC konsantrasyonunu artırmıştır (Haux ve Larsson, 1984). Bir araştırmada 15, 29, 64 ve 120 günlük sürelerle sırasıyla 2, 10 ve 42 ppb Cd'ye maruz bırakılan yaklaşık olarak 130 g ağırlığındaki *Cyprinus carpio* türünün GLC seviyesinde bir azalma gözlenmiştir (Yamawaki ve diğ., 1986). Aynı zamanda, Lowe-Inde ve Niimi (1984) tarafından yapılan çalışmada, yüksek Cd konsantrasyonları (4, 12 ve 36 mgL⁻¹) *Oncorhynchus mykiss* balığının kasında ve karaciğerindeki glikojen konsantrasyonunu önemli derecede azaltmıştır. Yapılan bir araştırmada, 1, 3, 15 ve 30 gün sürelerle, 0,1, 0,2, 0,4 ve 0,8 ppm Cd'ye maruz bırakılan *Cyprinus carpio* balığının 1. ve 3. günlerde GLC düzeyi artarken, 15. ve 30. günlerde ise kontrol düzeyinde kalmıştır. Kadmiyum, tüm ortam derişimlerinde, 30. günde 1. güne oranla GLC düzeyini yaklaşık % 50 oranında düşürmüştür (Karataş ve diğ., 2005).

Puntius conchonus (Cyprinidae) türünde Cd'nin yüksek derişimlerinin kısa süreli etkisi hiperglisemiye, düşük derişimlerinin uzun süreli etkisi hipoglisemiye neden olurken, karaciğer glikojen derişimi her iki durumda da artma göstermiştir (Gill ve Pant, 1983).

Total Bilirubin (TB), Albumin (ALB), Globulin (GLB). Bir araştırmada 15, 29, 64 ve 120 günlük sürelerle sırasıyla 2, 10 ve 42 ppb kadmiyuma (Cd) maruz bırakılan yaklaşık olarak 130 g ağırlığındaki *Cyprinus carpio* türünün TP, ALB ve GLB seviyelerinde bir azalma eğilimi gözlenmiştir (Yamawaki ve diğ., 1986).

Sodyum (Na), Potasyum (K), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg), Klor (Cl). Su sıcaklığı 10-15 °C arasında değişen 200 L'lik fibreglas tanklarda tutulan ve 178 günlük periyot boyunca 3,6 µg⁻¹ Cd'ye maruz bırakılan *Oncorhynchus mykiss* türünün (ağırlıkları 41-125 g arasında) geçici olarak Ca ve Mg değerlerinde bir değişiklik görülmesine rağmen farklılıklar önemli bulunmamıştır. Bununla birlikte 6,4 µg⁻¹ Cd'ye maruz bırakılanlarda ise Na, K, Ca ve Cl seviyeleri önemli derecede düşerken Mg değeri ise önemli derecede artmıştır (Giles, 1984). Bir araştırmada 15, 29, 64 ve 120 günlük sürelerle sırasıyla 2, 10 ve 42 ppb Cd'ye maruz bırakılan yaklaşık olarak 130 g ağırlığındaki *Cyprinus carpio* türünün Ca ve Cl seviyesinde bir azalma eğilimi gözlenirken Na, K ve Mg seviyelerinde ise önemsiz bir değişiklik izlenmiştir (Yamawaki ve diğ., 1986). 60 gün boyunca 5-10 µg/L Cd'ye maruz bırakılan *Scophthalmus aquosus* türünün Na, K ve Ca değerlerinde, kontrol grubuna oranla, önemli derecede farklılıklar gözlenmemiştir (Dawson, 1990).

Kolesterol (CHOL), Trigliserit (TG). Bir araştırmada 15, 29, 64 ve 120 günlük sürelerle sırasıyla 2, 10 ve 42 ppb Cd'ye maruz bırakılan yaklaşık olarak 130 g ağırlığındaki *Cyprinus carpio* türünün CHOL ve TG seviyelerinde önemsiz bir değişiklik izlenmiştir (Yamawaki ve diğ., 1986).

Aspartat Aminotransferaz (AST), Alanin Aminotransferaz (ALT), Laktat Dehidrojenaz (LDH). 1, 3, 15 ve 30 gün sürelerle, 0,1, 0,2, 0,4 ve 0,8 ppm Cd'ye maruz bırakılan *Cyprinus carpio* türünde, denenen en uzun etki süresi dışında belirlenen sürelerde serum AST düzeyinin kontrole göre önemli düzeyde arttığı gözlenmiştir. 1. ve 3. günlerde serum AST düzeyi üzerine ortam derişimindeki artışın etkisi olmamıştır. 15. günde 0,2 ve 0,8 ppm Cd ortam derişimlerinde, serum AST düzeyi kontrole göre değişim göstermezken, 0,1 ve 0,4 ppm Cd derişimlerinde ise artmıştır. Etkide kalma süreleri dikkate alındığında 0,1 ve 0,8 ppm Cd derişimlerinde sürenin artması serum enzim düzeyinde bir değişime neden olmamıştır. Diğer ortam derişimlerinde ise süreye bağlı olarak düşme gözlenmiştir. Bir günlük etki süresi dışında Cd'nin incelenen ortam derişimlerinin kontrole oranla serum ALT düzeyi üzerine etkisi belirlenmemiştir. 1. gün dışında denenen ortam derişimlerinin tümünde serum ALT düzeyinde ortalama % 20'lik bir artış olsa da bu farklılık istatistiksel bakımdan önemli bulunmamıştır. Belirli bir ortam derişiminde etkide kalma süresi dikkate alındığında, belirlenen tüm ortam derişimlerinde 1. günde serum ALT düzeyi oldukça yüksek düzeyde bulunurken, etkide kalma süresinin artması

ile kontrol düzeyine düşmüş ve deney süresi sonuna kadar yaklaşık aynı düzeyde kalmıştır. Cd'nin 0,8 ppm dışındaki tüm ortam derişimlerinde serum AST ve ALT düzeyleri 30. günde 1. güne oranla düşmüş, 0,8 ppm Cd'de ise artmıştır (Karataş ve diğ., 2005). Cd'nin düşük derişimlerinin 48 saat süreyle etkisinde kalan Mugilidae familyasına üye *Mugil cephalus* balığında AST düzeyi artmış, 96 saatlik etki süresinde ise karaciğer hücrelerindeki sentezi sona ermiştir (Hilmy ve diğ. 1985a). Subletal Cd derişimlerinin uzun süreli etkisine bırakılmış *Channa punctatus* (Channidae) türünün, metal etkisinin başlangıcında AST, ALT ve LDH düzeyinin arttığı, etkide kalma süresinin uzaması ile kontrol düzeyine düştüğü saptanmıştır (Sastri ve diğ. 1997).

Civa (Hg)

Eritrosit (RBC), Lökosit (WBC), Hemoglobin (Hb), Hematokrit (Hct). 60 gün boyunca 5-10 µg⁻¹ Hg'ye maruz bırakılan *Scophthalmus aquosus* türünün Hb değeri, Hct oranı ve RBC sayısında, kontrol grubuna oranla, önemli farklılıklar gözlenmemiştir (Dawson, 1990). Yüksek dozdaki inorganik Hg'ye (70 µg⁻¹) 6-48 saat süreyle maruz bırakılan *Ctenopharyngodon idella* (Cyprinidae) balığının RBC sayısı ve Hb içeriğinde uygulamanın ilk 12 saati esnasında önemli derecede artış (% 48, % 31, % 23) izlenirken, uygulamadan 48 saat sonra Hb içeriğinin normal seviyeye ulaştığı gözlenmiştir. RBC sayısı ise aksine azalmaya (%23) devam etmiştir. WBC sayısında ise ilk 12 saat içinde % 59, 48 saatten sonra ise % 81 artış gözlenmiştir (Shakoori ve diğ., 1991). 5 µg⁻¹ Hg'ye 4 hafta süreyle maruz bırakılan *Ctenopharyngodon idella* balığının uygulamadan 2 hafta sonra Hb miktarı ve RBC sayısında önemli derecede azalma meydana gelmiştir (Shakoori ve diğ., 1994).

Sodyum (Na), Kalsiyum (Ca), Potasyum (K). 10 µg⁻¹ Hg'ye maruz bırakılan *Scophthalmus aquosus* balığının ortalama Na düzeyi (199±3,3 µg/L) kontrol grubuna (179±3,9 µg/L) göre önemli derecede yüksek bulunurken 5-10 µg⁻¹ Hg'ye maruz bırakılan balıklarda ise Ca düzeyi (3,91±0,18 ve 3,60±0,19 mEq/L) kontrol grubuna (4,95±3,91 mEq/L) göre azalmıştır. K'da ise kontrol grubuna oranla önemli bir farklılık gözlenmemiştir (Dawson, 1990). Aynı şartlar altında 10 µg⁻¹ Hg'ye maruz bırakılan *Pseudopleuronectes americanus* ve *Morone saxatilis* balıklarının Na değerinde önemli bir artış ve Ca seviyesinde ise önemli bir azalma meydana gelirken *Pseudopleuronectes americanus* türünün Ca konsantrasyonunda ani bir düşme izlenmiştir (Dawson, 1979).

Tartışma ve Sonuç

Ağır metal deneylerinin çoğu, balık çiftliklerinde salmon ve yayın balıklarının yetiştiriciliğine başlanmasından sonra yapılmıştır. Bu balıkların ticari değerlerinden dolayı tüm çabalar, hızlı ve başarılı beslenme ve üreme, hastalık oranında azalma ve transportun geliştirilmesi yönündedir. O zamandan beri bu balıkların biyokimyasal indeksleri ve farklı fizyolojileri iyi bir şekilde araştırılmıştır. Bunlar yaygın olarak çeşitli bilimsel ve ekolojik çalışmalarda kullanılmıştır (Vosylienė, 1999a). Yapılan literatürler ışığında balıkların kan

indekslerindeki değişikliklere ağır metal ve karışımların etkili olduğu görülmüştür. Literatür çalışmaları bize, hem sudaki ağır metallerin hem de maruz kalma süresinin balığın hemostasisinde geri dönülemez ve düzensiz değişikliklere neden olabileceğini göstermiştir. Ayrıca, kan indekslerinin farklı çevresel faktörlere ve kimyasalara karşı farklı hassasiyet gösterdiği not edilmelidir (Lebedeva ve diğ., 1998, Vosylienė, 1999b). Kırmızı kan hücreleri sabit bir indekstir. Balık vücudu, farklı fizyolojik mekanizmalara karşı kullanılan, fizyolojik standart limitleri içindeki bu sabit indeksi sürdürmek için uğraşır. Kan indeksleri (RBC, Hb, Hct ve GLC) kirleticilere ve tahriş edici maddelere karşı organizmanın verdiği sekonder cevap olarak kullanılabilir. Düşük konsantrasyonlu ağır metaller maruz kalma, çoğunlukla bu hematolojik indekslerdeki artışın bir göstergesidir. Balıkta stres reaksiyonlarının başlangıcındaki reflekslerin tümüne kimyasallar neden olur. Balık stres reaksiyonu, osmotik dengesizlik ve iyonik değişimi düzenleyici sistemlerdeki değişikliklere (kan pH'nın azalması, eritrosit hacmindeki artış ve buna bağlı olarak hematokrit yüzdesinde artış) neden olur. Bununla birlikte, bu indeks diğer nedenlerden dolayı değişebilir. Stres altında salgılanan adrenalin dalağın kasılmasına ve bu organdan eritrositlerin kana karışmasına neden olur. Onların daha yüksek sayısı Hct oranını artırır (Vosylienė, 1999b).

Hct oranında veya RBC sayısındaki azalma, ilerleyen anemia ve organizmanın kötüye gitmesinin bir göstergesidir. Solungaçlardaki toksik metallerin etkisinin neden olduğu Hb konsantrasyonundaki bir azalma, aynı zamanda balıkta meydana gelen negatif değişikliklerin teyit edilmesinin veya anemianın bir göstergesidir. GLC, organizmanın stres durumunu belirleyen en hassas indekslerden birisidir. Onun yüksek konsantrasyonları balığın stres altında olduğunu ve yoğun bir şekilde enerji kaynaklarını kullandığını (örneğin kaslardaki ve karaciğerdeki glikojen) gösterir. Bu esnada, azalan GLC konsantrasyonu enerji kaynaklarının tüketildiğini (glikojen) ve buna bağlı olarak organizmanın durumunun kötüye gittiğini gösterir. Yani, balığın kanındaki GLC'nin azalması, uzun süreli ağır metaller maruz kalma esnasında görülmüştür. WBC sayısındaki artma çoğunlukla stres reaksiyonunun 1. gününde gözlenmiştir. Bu esnada balık bozulan hemostasiyi yeniden düzenlemek için uğraşır. Bununla birlikte daha sonra WBC sayısında azalma görülmesi, immun sisteminin bozulduğunun bir işaretidir. Kan örneklerinde gözlenebilen kan hücrelerindeki (örneğin eritrositler) morfolojik değişiklikler, balıktaki kimyasal toksik etkilerin çok spesifik bir göstergesidir. (Zhiteneva ve diğ., 1989, Palm ve diğ., 1992).

AST ve ALT glukoneogenik enzimler olup, başlıca sentez yerleri karaciğerdir. Serumda normal koşullarda bulunmazlar. Enzim sentezinin durması, ortam koşullarına adaptasyon sağlanması sonucu enerji gereksiniminin karbonhidrat olmayan kaynaklardan sağlanmasının durdurulması ile açıklanmıştır. AST, ALT ve LDH düzeyinin artması membran permeabilitesinin etkilenerek, bu enzimlerin doğrudan kana salınmasından kaynaklandığı ileri sürülmüştür

(Hilmy ve diğ. 1985b). AST ve ALT düzeylerinde görülen azalmaların ise ortaya çıkan stres koşullarından kaynaklanmış olması olasıdır (Karataş ve diğ., 2005). AST düzeylerindeki değişimler toksik etkili kimyasalların yanı sıra üreme, hipoksik koşullar, yoğun stoklama ve açlık gibi stres faktörlerinin etkisinde de meydana gelmektedir (Vijayan ve diğ., 1997). Serum AST ve ALT düzeyindeki değişimler doku dejenerasyonu ile protein metabolizmasındaki değişimleri yansıtmaları bakımından önemlidir (Karataş ve diğ., 2005).

Gökkuşluğu alabalığının plazma elektrolitlerinde Cd'nin neden olduğu küçük değişiklikler, su geçirgenlik ilişkisinin sürdürülmesine ve böbrek işlevinin yapılmasına bağlanmıştır. Cd'nin sublethal konsantrasyonları, hücre dışından hücre içine akıcı boşluklardan gelen elektrolitlerdeki ve sudaki değişikliklere neden olur (McCarty ve Houston, 1976). Cd'nin neden olduğu elektrolitlerin yeniden dağılımı için biyokimyasal mekanizmanın görevi belirlenemeyen bir durumdur. Muhtemelen, kas sisteminin hücre içi akışının kimyasal kompozisyonundaki bu değişiklikler, Cd'ye maruz bırakılan diğer tatlı su balıklarında görülen hiperaktivite ile ilişkilidir (Benoit ve diğ., 1976, Ellgaard ve diğ., 1978).

Doğal ortamda yaşayan balıkların hematolojik indekslerinin tahmini, yaş, mevsim ve seksüel dalgalanmalardan dolayı oldukça zordur (Lusková, 1997). Bununla birlikte, ağır metaller gibi çeşitli kirleticilerin neden olduğu balık kan sistemlerindeki transformasyonun genel düzenleyicilerini bulmak için, balıklarda artan mortalitelere neden olan kan dolaşımı ile kan oluşumundaki ve bağışıklık sistemindeki geri dönülemez değişikliklerin altındaki kritik noktaların belirlenmesi çalışmaları ile kan indekslerindeki patolojik değişikliklerin çeşitliliği hakkındaki detaylı çalışmalar ümit vaat eder. Hematolojik çalışmalarla birlikte, doğal sularda yaşayan balıkların fizyolojik durumunun tahmini mümkün olabilecektir (Zhiteneva ve diğ., 1989, Palm ve diğ., 1992, Moiseenko, 1989, Vosylienė, 1999a).

Kaynakça

- Benoit, D.A., E.N. Leonhard, G.M. Christensen, and J.T. Fiandt. 1976. Toxic effects of cadmium three generations of brook trout (*Salvelinus fontinalis*). Trans. Am. Fish. Soc. 105: 550-560.
- Bergheim, A., F. Kroglund, D.F. Vatne, and B.O. Rosseland. 1990. Blood Plasma Parameters in Farmed Atlantic Salmon (*Salmo Salar L.*) Transferred to Sea Cages at Age Eight to Ten Months. Aquaculture, 84, 159-165.
- Bernet, D., H. Schmidt, T. Wahli, and P. Burkhardt-Holm. 2001. Effluent from a Sewage Treatment Works Causes Changes in Serum Chemistry of Brown Trout (*Salmo trutta L.*). Ecotoxicology and Environmental Safety, 48, 140-147.
- Calabrese, A., F.P. Thurberg, M.A. Dawson, and D.R. Wenzloff. 1975. Sublethal physiological stress induced by cadmium and mercury in the winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*. In Koeman, J.H. and J.J.T.W.A. Strik (eds.) Sublethal effects of toxic chemicals on aquatic animals. P. 15-21. American Elsevier, NY.
- Canfield, P.J., N. Quartararo, D.L. Griffin, G.N. Tsoukalas, and S.E. Cocaro. 1994. Haematological and Biochemical Reference Values for Captive Australian snapper, *Pagrus auratus*. Journal of Fish Biology, 44: 849-856.
- Cataldi, E., P.D. Marco, A. Mandich, and S. Cataudella. 1998. Serum Parameters of Adriatic Sturgeon *Acipenser naccarii* (Pisces: Acipenseriformes): Effects of Temperature and Stress. Comparative

- Biochemistry and Physiology, Part A, 121, 351-354.
- Chen, C.Y., G.A. Wooster, R.G. Getchell, P.R. Bowser, and M.B. Timmons. 2002. Blood Chemistry of Healthy, Nephrocalcinosis-Affected and Ozone-Treated Tilapia in a Recirculation System, with Application of discriminant analysis. *Aquaculture*, 218, 89-102.
- Christensen, G., E. Hunt, and J. Fiandt. 1977. The effect of methylmercuric chloride, cadmium chloride and lead nitrate on six biochemical factors of the brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 42:523-530.
- Christensen, G.M., J.M. McKim, W.A. Brungs, and E.P. Hunt. 1972. Changes in the blood of the brown bullhead (*Ictalurus nebulosus* Lesuer) following short and long term exposure to copper. *Toxicol. App. Pharmacol.*, 23: 417-427.
- Cyriac, P.J., A. Antony, and P.N.K. Nambisan. 1989. Hemoglobin and haematocrit values in the fish, *Oreochromis mossambicus* (Peters) after short term exposure to copper and mercury. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 43: 315-320.
- Çelik, E.Ş. 2004. The effect of seasonal and gonadal maturity changes on haematological and biochemical characteristics of scorpion fish (*Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758) inhabiting Dardanelles, (in Turkish). Doktora Tezi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, s. 171.
- Dawson, M.A. 1979. Hematological effects of long-term mercury exposure and subsequent periods of recovery of the winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*. In Vernberg, W.B., Thurberg, F.P., Calabrese, A. and F.J., Vernberg (eds.), *Marine pollution: Functional responses*, p. 171-182. Acad. Press, NY.
- Dawson, M.A. 1990. Blood Chemistry of the Windowpane Flounder *Scophthalmus aquasus* in Long Island Sound: Geographical, Seasonal, and Experimental Variations. *Fishery Bulletin*, 88 (3): 429-437.
- Dick, P.T., and D.G. Dixon. 1985. Changes in circulating blood cell levels of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, following acute and chronic exposure to copper. *J. Fish Biol.*, 26: 475-481.
- El-Domiaty, N.A. 1987. Stress response of juvenile *Clarias lazera* elicited by copper. *Comp. Bioch. and Physiol.*, C88 (2): 259-262.
- Elgaard, E.G., J.E. Tusa, and A.A. Malizia. 1978. Locomotor activity of the bluegill (*Lepomis macrochirus*): hyperactivity induced by sublethal concentrations of cadmium, chromium and zinc. *J. Fish. Biol.* 12:19-23.
- Folmar, L.C., T. Moody, S. Bonomelli, and J. Gibson. 1992. Annual Cycle of Blood Chemistry Parameters in Striped mullet (*Mugil cephalus* L.) and Pinfish (*Lagodon rhomboides* L.) From the Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology*. 41:999-1011.
- Giles, M.A. 1984. Electrolyte and Water Balance in Plasma and Urine of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) during Chronic Exposure to Cadmium. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Vol., 41, 1678-1685.
- Gill, T.S., and J.C. Pant. 1983. Cadmium toxicity: inducement of changes in blood and tissue metabolites in fish. *Toxicol. Lett.*, 18: 195-200.
- Gill, T.S., and J.C. Pant. 1987. Hematological and pathological effects of chromium toxicosis in freshwater fish *Barbus conchoniensis* Ham. *Water Air Soil Pollut.*, 35: 241-250.
- Haux, C., and Å. Larsson. 1984. Long-term sublethal physiological effects on rainbow trout, *Salmo gairdneri*, during exposure to cadmium and after subsequent recovery. *Aquat. Toxicol.*, 5: 129-142.
- Hilmy, A.M., M.B. Shabana, and A.Y. Daabees. 1985a. Bioaccumulation of Cadmium Toxicity in *Mugil cephalus*. *Comp. Biochem. Physiol. C*, 81, 1, 139-143.
- Hilmy, A.M., M.B. Shabana, and A.Y. Daabees. 1985b. Effects of Cadmium Toxicity upon the in vivo an in vitro Activity of Proteins and Five Enzymes in Blood Serum and Tissue Homogenates of *Mugil cephalus*. *Comp. Biochem. Physiol. C*, 81, 1, 145-153.
- Hilmy, A.M., N.A. El-Domiaty, A.Y. Daabees, and H.A. Abdel Latife. 1987. Some physiological and biochemical indices of zinc toxicity in two freshwater fishes, *Clarias lazera* and *Tilapia zilli*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 87C: 297-301.
- Houston, A.H. 1997. Are the classical hematological variables acceptable indicators of fish health? *Transactions of the American Fisheries Society*. 126 (6):879-894.
- Johansson-Sjöbeck, M.L., and Å. Larsson. 1978. The effects of cadmium on the hematology and on the activity of delta-aminolevulinic acid dehydratase (ALA-D) in blood and hematopoietic tissues of the flounder *Pleuronectes flesus*. *Environ. Res.*, 17: 1991-2004.
- Karataş, S., C. Erdem, and B. Cıcık. 2005. Effect of cadmium on levels of sera aspartate aminotransferase alanine aminotransferase and glucose *Cyprinus carpio* (L. 1758) (in Turkish). *Ekoloji*, Vol. 14, No: 55, 18-23.
- Katalay, S. 1998. The Effects of pollution on blood parameters on marine organism (in Turkish). Doktora tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Fakültesi, İzmir, Türkiye, s. 75.
- Katalay, S., and H. Parlak. 2002. The effects of water pollution on blood parameters of black goby (*Gobius niger* Linn, 1758) (in Turkish). *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, Vol. 19, No. (1-2):115-121.
- Katalay, S., and H. Parlak. 2004. The effects of pollution on haematological parameters of black goby (*Gobius niger* L., 1758) in Foça and Aliağa Bays (in Turkish). *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, Vol. 21, No. (1-2):113-117.
- Katalay, S., and H. Parlak. 2004a. The effect of cadmium on erythrocyte structure of black goby (*Gobius niger* L., 1758) (in Turkish). *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, Vol. 21, No. (1-2):99-102.
- Kime, D.E., M. Ebrahimi, K. Nysten, I. Roelants, E. Rurangwa, H.D.M. Moore, and F. Ollevier. 1996. Use of computer assisted sperm analysis (CASA) for monitoring the effects of pollution on sperm quality of fish, application to the effects of heavy metals. *Aquatic Toxicology*. 36: 223-237.
- Koyama, J., and Y. Ozaki. 1984. Haematological changes of fish exposed to low concentrations of cadmium in the water. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*. 50 (2): 199-203 p.
- Kubokawa, K., T. Watanabe, M. Yoshioka, and M. Iwata. 1999. Effects of Acute Stress on Plasma Cortisol, Sex Steroid Hormone and Glucose Levels in Male and Female Sockeye Salmon During the Breeding Season. *Aquaculture*, 172, 335-349.
- Lane, H.C. 1979. Progressive Changes in Haematology and Tissue Water of Sexually Mature Trout, *Salmo gairdneri* Richardson, During the Autumn and Winter. *Journal of Fish Biology*, 15, 425-436.
- Larsson, Å. 1975. Some biochemical effects of cadmium on fish. In: Koeman J.H., Stirk J.J.T.W.A. (eds). *Sublethal effects of toxic chemicals on aquatic animals*. Elsevier, Amsterdam, 3-13 pp.
- Lebedeva, N.E., V. Z. Vosylienė, and T.V. Golovkina. 1998. Haematological-biochemical responses of fish to biogenous and anthropogenic chemical stimuli. *Ichthyohaematology. Proceedings of the 4th Ichthyohaematological conference, Hluboka/Vlt., Czech*, 85-87pp.
- Lowe-Inde, L., and A.I. Niimi. 1984. Short-term and longterm effects of cadmium on glycogen reserves and liver size in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 13: 759-764.
- Lusková, V. 1997. Annual cycles and normal values of hematological parameters in fishes. *Acta Sc. Nat. Brno*, 31(5): 70.
- Mazur, C.F., and G.K. Iwama. 1993. Effect of Handling and Stocking Density on Haematocrit, Plasma Cortisol and Survival in Wild and Hatchery-Reared Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 112, 291-299.
- McCarty, L.S., and A.H. Houston. 1976. Effects of exposure to sublethal levels of cadmium upon water-electrolyte status in the goldfish (*Carassius auratus*). *J. Fish Biol.* 9:11-19.
- McLeay, D.J. 1977. Development of a blood sugar bioassay for rapidly measuring stressful levels of pulmill effluents in salmonid fish. *J. Fish. Res. Bd Can.* 34: 477-485.
- Moiseenko, T.I. 1998. Haematological indices of fish in evaluation of their toxicity while taking *Coregonus lavaretus* as an example. *J. of Ichthyology* 38: 371-380 (in Russian).
- Nemscok, J.G., and G.M. Hughes. 1988. The effect of copper sulphate on some biochemical parameters of rainbow trout. *Environ. Poll.* 49: 77-85.
- Nemscok, J., L. Orban, E. Vic, B. Aszatalos, and L. Boross. 1985. Effect of Cu on some biochemical parameters of fishes. *Symposia Biologica Hungarica*, 19: 413-425.
- Palačkova, J., D. Pravda, K. Fašaic, and O. Čelechovska. 1994. Sublethal effects of cadmium on carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. Sublethal chronic effects of pol-82 lutants on freshwater fish. Ed. R. Muller and R. Lloyd. Lugano, 53-58pp.
- Palm, A., A. Tuvikene, and T. Krause. 1992. Changes in haematological characteristics of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walb.) reared in the mixture of natural and oil-shale mine drainage water. *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol.*, 41 (4): 183-188.
- Ruparella, S.G., Y. Verma, S.R. Saiyed, and U.M. Rawal. 1990. Effect of cadmium on blood of tilapia *Oreochromis mossambicus* (Peters) during prolonged exposure. *Environ. Contam. Toxicol.*, 45: 305-312.
- Sastry, K.V, S. Sachdeva, and P. Rathee. 1997. Chronic Toxic Effects of

- Cadmium and Copper and their Combination on some Enzymological and Biochemical Parameters in *Channa punctatus*. J. Environ. Biol. 18, 291-303.
- Sehgal, R. and A.B. Saxena. 1986. Toxicity of zinc to a viviparous fish *Lebistes reticulatus* (Peters). Bull. Environm. Contam. Toxicol. 36: 888-894.
- Shiffman, R.H. and P.O. Fromm. 1959. Chromium-induced changes in the blood of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Sewage and industrial wastes 31: 205-211.
- Shakoori, A.R., M.J. Iqbal, A.L. Mughal, and S.S. Ali. 1991. Drastic Biochemical Changes Following 48 Hours of Exposure of Chinese Grass Carp, *Ctenopharyngodon idella*, to Sublethal doses of Mercuric Chloride. Proc. Ist. Symp. Fish & Fisheries, Pakistan, 81-92.
- Shakoori, A.R., M.J. Iqbal, A.L. Mughal, and S.S. Ali. 1994. Biochemical Changes Induced by Inorganic Mercury on the Blood, Liver and Muscles of Freshwater Chinese Grass Carp, *Ctenopharyngodon idella*. J. Ecotoxicol. Environ. Monit., 4 (2), 81-92.
- Singh, H.S., and T.V. Reddy. 1990. Effect of copper sulfate on hematology, blood chemistry and hepato-somatic index of an Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch), and its recovery. Ecotoxicol. Environ. Saf., 20: 30-35.
- Svobodova, Z., B. Vykusova, and J. Machova. 1994. Sublethal chronic effects of pollutants on freshwater fish. Ed. R. Muller ir R. Lloyd. Lugano, 39-52 pp.
- Tishinova, V., and N. Ilieva. 1994 (1995). Zoology 85: 98-109 (in Bulgarian).
- Torres, P., L. Tort, J. Planas, and R. Flos. 1986. Effects of confinement stress and additional zinc treatment on some blood parameters in the dogfish (*Scyliorhinus canicula*). Comp. Biochem. Physiol., 83C: 89-92.
- Tort, L., and M.D. Hernandez-Pascual. 1990. Haematological effects in dogfish (*Scyliorhinus canicula*) after shortterm sublethal cadmium exposure. Acta hydrochim. hydrobiol., 18: 379-383.
- Tort, L., P. Torres, and J. Hidalgo. 1988. The effects of sublethal concentrations of cadmium on haematological parameters in the dogfish *Scyliorhinus canicula*. J. Fish Biol., 32: 277-282.
- Van der Putte, I., W. van der Galien, and J.J.T.W.A. Strik. 1982. Effects of hexavalent chromium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) after prolonged exposure of two different pH levels. Ecotoxicol. Environ., Saf. 6: 246-257.
- Van Vuren J.H.J., M. Van der Merwe, and H.H. Du Preez. 1994. The effect of copper on the blood chemistry of *Clarias garlepinus* (Clariidae). Ecotox. Environm. Safety 29: 187-199.
- Vijayan, M.M, C. Pereira, E.G. Grau, and G.K. Iwama. 1997. Metabolic Responses Associated with Confinement Stress in Tilapia; The Role of Cortisol. Biochem. Physiol. 116C, 1, 89-85.
- Vosylienė, M.Z. 1996a. The effect of long-term exposure to copper on physiological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 2. Studies of haematological parameters. Ekologija 1: 3-6.
- Vosylienė, M.Z. 1996b. Haematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during short-term exposure to copper. Ekologija 3: 12-18.
- Vosylienė, M.Z. 1999a. The effect of heavy metals on haematological indices of fish (Survey). Acta Zoologica. Hydrobiologia. Vol. 9, No.2. 76-82.
- Vosylienė, M.Z. 1999b. The effect of heavy metal mixture on haematological parameters of rainbow trout. Heavy metals in environment. An integrated approach. Ed. D.A. Lovejoy, 295-298 pp.
- Yamawaki, K., W. Hashimoto, K. Fujii, J. Koyama, Y. Ikeda, and H. Ozaki. 1986. Hemochemical Changes in Carp Exposed to Low Cadmium Concentrations. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 52 (3): 459-465.
- Watson T.A., and B.A. McKeown. 1976. The effect of sublethal concentrations of zinc on growth and plasma glucose levels in rainbow trout (*Salmo gairneri* Richardson). J. Wildlife Diss. 12: 263-270.
- Witeska, M., and B. Jiezerska. 1994. The effect of cadmium and lead on selected blood parameters of common carp. Arch. Ryb. Pol. 2(1): 123-132.
- Zhiteneva, L.D., T.G. Poltavceva, and O.A. Rudnickaja. 1989. Atlas of normal and pathological cells in the blood of fish. Rostov-on-Don, 112 pp.