



## Japon Balığı (*Carassius auratus* Linnaeus, 1758) Dokularında Bor Akümülyasyonu

Tuncer Okan Genç<sup>1\*</sup>, Burak Evren İnanan<sup>1</sup>, Murat Yabanlı<sup>2</sup>, Fevzi Yılmaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 48000 Muğla, Türkiye

<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü, 48000 Muğla, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

Geliş 17 Aralık 2014  
Kabul 10 Nisan 2015  
Çevrimiçi baskı, ISSN: 2148-127X

**Anahtar Kelimeler:**  
Bor  
*Carassius auratus*  
Karaciğer  
Kas  
Transfer faktör

\* Sorumlu Yazar:  
E-mail: okangenc@mu.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada, model bir balık türü olabilen Japon balığının (*Carassius auratus* Linnaeus, 1758) karaciğer ve kas dokusundaki, yem ve su kaynaklı bor birikiminin dağılımı incelenmiştir. Her bir uygulama için her bir akvaryuma 12 adet balık örneği konulmuştur. Uygulamalarda, akvaryum gruplarının suyuna belirli oranlarda (1 mg/L, 10 mg/L ve 20 mg/L) borik asit ve borik asit emdirilmesi ile elde edilen yemlerden (1 mg/kg, 5 mg/kg ve 10 mg/kg) verilmiştir. Dokulardaki bor birikimi mikrodalga yaş yakma ve indüktif olarak eşleştirilmiş kütle spektroskopisi (ICP-MS) tekniği ile belirlenmiştir. Japon balıklarının farklı dokularında incelenen maksimum bor birikimi 20mg/L sulandırılmış borik asit uygulamasında karaciğer dokusunda 1,78±0,02 mg/kg olarak tespit edilmiştir. 1 mg/kg yem uygulamasında kas dokusunda ise herhangi bir bor birikiminin olmadığı gözlemlenmiştir. Borlu su grupları için Transfer faktör (TF) değeri en düşük dozda en yüksek oranda iken doz miktarı arttıkça TF değeri azalmış ve 0,1'e yakın bir sabitlik göstermiştir. Bor ilaveli yem kullanılan deney gruplarında ise TF değeri en düşük dozda (1 mg/kg) 0 iken yemde kullanılan borun miktarı arttıkça (5 mg/kg) TF değerinin 0,06'ya çıktığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ortaya konulan iki önemli tespit; bor birikiminde karaciğer hedef organlardan biri iken, kas dokusunun bor birikimi açısından hedef organ olmadığı ve yem ile alınan borun dokularda birikim oranının düşük olmasıdır.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 3(6): 498-503, 2015

## The Aggregation of Boron on the Tissues of Gold Fish (*Carassius auratus* Linnaeus, 1758)

### ARTICLE INFO

**Article history:**  
Received 17 December 2014  
Accepted 09 April 2015  
Available online, ISSN: 2148-127X

**Keywords:**  
Boron  
*Carassius auratus*  
Liver  
Muscle  
Transfer factor

\* Corresponding Author:  
E-mail: okangenc@mu.edu.tr

### ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the water-borne and food-borne boron accumulation in the liver and muscle tissues of Gold Fish (*Carassius auratus* Linnaeus, 1758). For each treatment, 12 individuals were. The water-borne boron treatments were applied as boron acid concentration of 1 mg/L, 10 mg/L and 20 mg/L in the aquarium water, while the food-borne boron treatments were prepared food contained the defined levels of boron (1 mg/kg, 5 mg/kg and 10 mg/kg) as boric acid. The boron levels in the tissues were determined by an ICP-MS procedure. The maximum boron concentration was found in the 20mg/L water borne boron treatment in the liver tissue (1.78±0.02 mg/kg). In the water-borne boron treatments, the maximum Transfer Factor (TF) was found in the 20mg/L boron concentration, and TF values were increased when the boron concentrations were decreasing. In the 1 mg/kg food-borne boron treatment, TF was found as 0, and increasing concentration of boron in the food caused an increase in TF reached about 0.06. This study suggested that the target organ for boron accumulation is the liver rather than the muscles and the accumulation of food-borne boron is lower when comparing water-borne boron.

## Giriş

Yeryüzündeki rezervinin %70'inin ülkemizde bulunduğu tahmin edilen bor, gerek endüstride kullanımı ile ticari gerekse canlılar için temel bir gereksinim olduğu için araştırmaya değer görülen bir elementtir. Endüstride, cam imalatı, fiberglas izolasyonu, porselen mine yapımı, seramik cilası ve metal alaşımlarda borik asit ve borun sodyum tuzları kullanılmaktadır (Woods, 1994). Dünya bor üretiminin %40'ını gerçekleştirmekte olan ülkemiz, 1987 yılında 374.000 ton olan bor madeni ( $B_2O_3$ ) üretimi 2004 yılında 671.000 bin tona yükselmiştir. Türkiye'de yaygın olarak bulunan bor mineralleri ise; tinkal, kolemanit ve üleksit'dir. Ülkemiz 2005 yılında bor ihracatı 300 milyon \$'a yakındır (Bulutekin, 2008).

Canlılar içinde temel bir element olan borun özellikle vasküler bitkilerin büyümesinde gerekli olduğu 1920'lerden günümüze bilinmektedir. Bununla beraber, bor eksikliğinin siçan, fare ve domuz gibi bazı memeli türleri ile balık ve kurbağa türlerinde çoğalmalarında özellikle gelişimin erken dönemlerinde negatif yönde etkileri olduğu gösterilmiştir (Lanoue ve ark., 1998; Armstrong ve ark., 2000; Armstrong ve ark., 2001). Borun kemik büyümesi ve devamı üzerine özellikle östrojen ve D vitamini gibi kemik yapımında etkili olan hormonların dengesi üzerine etkileri bulunmaktadır (Nielsen, 1997). Ayrıca insanlardaki toksik etkisi de son derece popüler bir araştırma konusudur (Robbins ve ark., 2010). Eksikliğinde vasküler bitkilerin yaşam döngüsünde sorunlara yol açan bor, sucul canlılar içinde önemlidir. Özellikle deniz suyunda bol miktarda bulunur ve bazı fitoplankton gruplarının büyümeleri için gerekli olduğu kadar, siyanobakterilerin azot fiksasyonu için de gereklidir (Ahl ve Jönsson, 1972).

Bor borik asit olarak, gastrointestinal ve solunum sisteminden emilir insan ve hayvan dokularında düşük konsantrasyonlarda bulunur (Moseman, 1994; WHO, 1998). Bor, tahıl ürünlerinde kuru ağılıkta 1-5 mg/kg civarında, sebzelerde ise kuru ağılıkta 13 mg/kg'dan daha az bulunmaktadır (Eisler, 1990). Sağlıklı bir insanın 1 mg/gün'den fazla, 13 mg/günden az olarak besinlerden bor alması önerilmektedir (Nielsen, 1997). En çok kemiklerde biriken bor, beyin, kan, karaciğer, lenfoid nodüller, adrenal bez ve böbrek dokularında da yüksek konsantrasyonlarda bulunur (Tibbitts ve ark., 2000). Gelişen dünya nüfusunun paralelinde her türlü karasal ve sucul tarımsal üretimin artırılmasına yönelik çalışmalar son yıllarda artış göstermektedir.

Sucul ortamda özellikle bulunma yoğunluklarına bağlı olarak bor gibi etkileri son derece önemli olan bir maddenin balıklar üzerine toksik etkisini araştırmak çevre ve insan sağlığı açısından son derece önemlidir. Bu çalışma için hedef iki organ seçilmiştir bunlardan birincisi detoksifiye özelliğinden dolayı bor maruziyetinin en fazla olduğu karaciğer ve insan gıdası olmasından dolayı kas dokusudur. Hedef olarak bu çalışma belirlenen miktarlarda ve farklı yöntemlerle bora maruz bırakılan Japon balıklarının (*Carassius auratus* Linnaeus, 1758) karaciğer ve kas dokusundaki bor birikiminin hesaplanarak bor akümülyasyon oranlarının karşılaştırılmasıdır.

## Materyal ve Metot

Model bir balık türü olarak, hem sağlıklı birey sayısının rahat bulunması hem de temininin birçok yerli üretici tarafından rahatlıkla sağlanabilmesinden dolayı Cyprinidae familyasına ait Japon balıkları seçilmiştir.

Bu çalışmayı sürdürebilmek amacıyla Japon balıklarından her bir uygulama için 12 adet seçilmiştir. Kontrol grubundaki bireyler, bor ilavesi yapılmamış suda tutulmuş ve bor ilavesi yapılmamış yem ile beslenmiştir. Çalışmada bor uygulaması, Borik Asit ( $H_3BO_3$ , Sigma Aldrich B0394) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki her bir akvaryumda 42 litre su kullanılmış olup, sulandırılmış borik asite maruz bırakılan gruplar için 1, 10 ve 20 mg/L dozlar uygulanmıştır. Yemli uygulama yapılan gruplarda ise 1 mm'lik ticari alabalık yemine, uygun miktarlarda borik asit emdirilmiş ve daha sonra hazırlanan yemler 40°C'de kurutulmuştur. Deney gruplarına yem 1, 5 ve 10 mg/kg miktarlarında uygulanmıştır. Deneysel çalışma Şekil 1'de şematik olarak sunulmuştur. Çalışmadaki her gruba günde iki kez aynı miktarda yem verilmiştir. Deney tüm gruplar için 45 gün boyunca devam etmiştir. Her akvaryumda 3 günde bir, mevcut suyun yarısı yenilenmiştir. 45. gün sonunda akvaryumdan alınan balık örnekleri için analiz işlemlerine başlamadan önce balıklar ilk olarak çeşme suyu daha sonra saf su ile yıkanarak üzerlerindeki kalıntılardan arındırılmıştır. Temiz bir havlu ile kurulan balıkların boy ve ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra, pens ve bistürü yardımıyla diseksiyonu yapılan balıkların kas ve karaciğerinden 0,0001 gr hassasiyetli terazi ile balık doku örneklerinden 0,5 g kas ve 0,2 g karaciğer tartılarak, Berghof MWS3+ model mikrodalga yakma kaplarına konulmuştur. Her bir teflon tüp içerisine 7 ml  $HNO_3$  (%65) ve 1 ml  $H_2O_2$  (%35) ilave edilmiştir. Teflon tüplerin kapakları kapatılarak mikrodalga yaş yakma ünitesine yerleştirilmiş, belli zaman, güç ve sıcaklık aralıklarında yakılmıştır. Yakma programı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Mikrodalga yaş yakma ünitesi programı

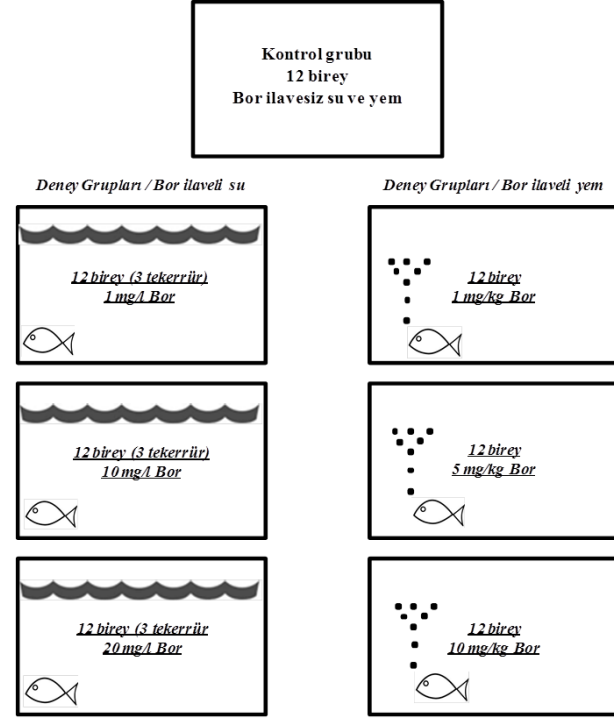
| Adım          | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Sıcaklık [°C] | 160 | 190 | 190 | 100 | 100 |
| Basınç [bar]  | 30  | 30  | 30  | 0   | 0   |
| Zaman [dak]   | 5   | 5   | 10  | 10  | 10  |
| Slope [dak]   | 5   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| Güç [%]       | 80  | 80  | 8   | 0   | 0   |

Sıvı hale getirilen örneklerde bor konsantrasyonları ICP-MS (Agilent 7700x) cihazında belirlenmiştir. Cihazın çalışma koşulları Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2 ICP-MS cihaz çalışma koşulları

| Parametre          | Özelliği   |
|--------------------|------------|
| Radyo frekans gücü | 1550 W     |
| RF matching        | 2.1 V      |
| Örnek derinliği    | 8 mm       |
| Taşıyıcı gaz       | 0.85 L/min |
| Dilüsyon gazı      | 0.13 L/min |
| S/C sıcaklığı      | 2°C        |
| Nebulizer tipi     | MicroMist  |

Kalibrasyon eğrisi bor standart çözeltisinden (Merck 119500) hazırlanan stok çözeltiden 5 farklı yoğunlukta (5, 10, 50, 100 ve 200 µg/L) hazırlanmıştır. Metot güvenilirliği, balık kas dokusu için balık proteini sertifikalı referans maddesi DORM-3 ve balık karaciğeri için de köpekbalığı karaciğeri sertifikalı referans maddesi olan DOLT-4 kullanılarak tespit edilmiştir. %92-107 gibi yüksek geri kazanım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 1 Bor birikimi için deney düzeneği

#### İstatistiksel Analizler

Analizler her doku için üç tekrar olarak yapılmıştır. Tablolarda ortalama değerlerin yanında standart sapma ( $\pm$ ) belirtilmiştir. Gruplara göre elde edilen veriler SPSS 20.00 Paket programı kullanılarak, önce gruplar arası tek yönlü varyans analizinin parametrik olmayan alternatifi olan Kruskal Wallis testi uygulanmış, sonrasında ise her gurubu birbiri ile karşılaştırmada parametrik olmayan Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Ayrıca veriler hata bar (Error Bar) grafikleri ile sunulmuştur. Verilerin analizinde anlamlılık düzeyi  $<0,05$  olarak kabul edilmiştir.

#### Bulgular ve Tartışma

Bor birikimini hesaplamak ve bor birikim oranlarını karşılaştırmak için farklı dozlarda bora maruz bırakılan balık örneklerinde ki ön çalışmalar da bazı dozlarda mortalite gözlenmiştir. Yapılan ön çalışmalar sonucunda, 300 mg/l bor içeren suda balıkların 3 gün içerisinde, 100 mg/l bor içeren suda 15-20 gün içerisinde, 50 mg/l bor içeren suda 25-35 gün içerisinde öldüğü gözlenmiştir. Yemli gruplarda ise, 20 mg/kg üzeri bor içeren yemlerin balıklar tarafından alınmadığı gözlenmiştir. Her grup için kurulan deney düzeneğindeki balık örneklerinin total boy ve ağırlık ölçümleri Tablo 3 de verilmiştir.

84 balık örneği ile gerçekleştirilen bu deneyde bor akümülyasyonunun daha iyi tespit edilip yorumlanabilmesi

için tüm bireyler erkek olarak seçilmiş ve biyotik faktörler (boy, ağırlık ve cinsiyet) arasındaki farklar minimize edilmiştir. Test balıklarının sağlıklı olmasına dikkat edilmiş ve deney grupları arasında boy varyasyonunun %20' yi aşmadığı ve ağırlık farkının bir buçuk katını geçmediği örnekler kullanılmıştır (Tablo 3). Deney süresince tüm deney gruplarında sıcaklık  $24 \pm 1^\circ\text{C}$ , tuzluluk 0' a yakın olarak ölçülmüştür.

#### Dokularda Bor birikimi

Toplam 84 balık ve 168 doku ile gerçekleştirilen bu çalışmada Japon balıkları dokularındaki bor birikimi dağılımı Tablo 4 ve Şekil 2 de verilmiştir.

Tablo 3 Çalışmada kullanılan balık örneklerinin boy ve ağırlık değerleri (Ortalama $\pm$ SS, n= 84)

| Doz Miktarı   | Boy (cm)        | Ağırlık(g)       |
|---------------|-----------------|------------------|
| Kontrol grubu | 8,28 $\pm$ 0,63 | 22,01 $\pm$ 3,18 |
| 1mg/L         | 7,40 $\pm$ 0,50 | 16,04 $\pm$ 4,22 |
| 10mg/L        | 7,62 $\pm$ 1,12 | 16,74 $\pm$ 4,45 |
| 20mg/L        | 8,31 $\pm$ 1,42 | 20,09 $\pm$ 8,41 |
| 1mg/kg        | 7,95 $\pm$ 1,26 | 17,97 $\pm$ 8,86 |
| 5mg/kg        | 7,04 $\pm$ 1,41 | 16,20 $\pm$ 6,39 |
| 10mg/kg       | 8,00 $\pm$ 1,63 | 20,83 $\pm$ 8,66 |

Tablo 4 Japon balığı dokularında bor birikimi ( yemde mg/kg ve suda mg/l) (Ortalama $\pm$ SE, n= 84)

| Doz miktarı   | Karaciğer        | Kas              |
|---------------|------------------|------------------|
| Kontrol grubu | 0,00             | 0,00             |
| 1 mg/g        | 0,197 $\pm$ 0,00 | 0,00             |
| 5 mg/g        | 0,272 $\pm$ 0,01 | 0,064 $\pm$ 0,04 |
| 10 mg/g       | 0,414 $\pm$ 0,02 | 0,129 $\pm$ 0,04 |
| 1 mg/l        | 0,174 $\pm$ 0,00 | 0,168 $\pm$ 0,04 |
| 10 mg/l       | 0,775 $\pm$ 0,01 | 0,203 $\pm$ 0,05 |
| 20 mg/l       | 1,78 $\pm$ 0,02  | 0,349 $\pm$ 0,10 |

Japon balıklarının farklı dokularındaki bor için maksimum değer 20mg/l sulandırılmış borik asit uygulamasında karaciğer dokusunda 1,78 $\pm$ 0,02 ortalama olarak tespit edilmiş iken 1mg/kg yem uygulamasında kas dokusunda birikim olmadığı görülmüştür. 45 gün boyunca devam eden bu çalışmada bor birikimi açısından kas dokusunda 1 mg/l ile 10 mg/l bor ilavesi yapılmış suda ki deney düzenekleri arasındaki fark istatistikî açıdan önemli bulunmuş iken diğer düzeneklerin arasındaki farklar istatistikî açıdan önemsizdir (p<0,05).

Uysal ve ark. (2008) Beymelek Lagünü'nden yakalanan bazı göçücü balıkların kas, solungaç ve derilerinde borun ölçülebilecek seviyenin altında olduğunu tespit etmişlerdir. Özkurt (2000); Çatören ve Kunduzlar baraj göletlerinde yaşayan balık (*Cyprinus carpio*) dokularında bor birikimi üzerine yaptığı çalışmada Çatören barajında balık dokularında bor, kas-beyin-karaciğer yönünde, Kunduzlar barajında ise kas-karaciğer-beyin yönünde artarak biriktiğini bildirmektedir. Çatören Barajında bor kirliliğinin Kunduzlar'a göre daha fazla olduğunu, bunun balık büyümesini engellediğini bildirmiştir. Ayrıca Köse ve Uysal (2008) ağırlıklı olarak kaplıca suları ile beslenen Enne Baraj Gölü (Kütahya)'nde yaşayan cinsi olgunluğa erişmemiş pullu sazanların (*Cyprinus carpio*) kas, deri ve solungacında ağır metal biyoakümülyasyon oranları

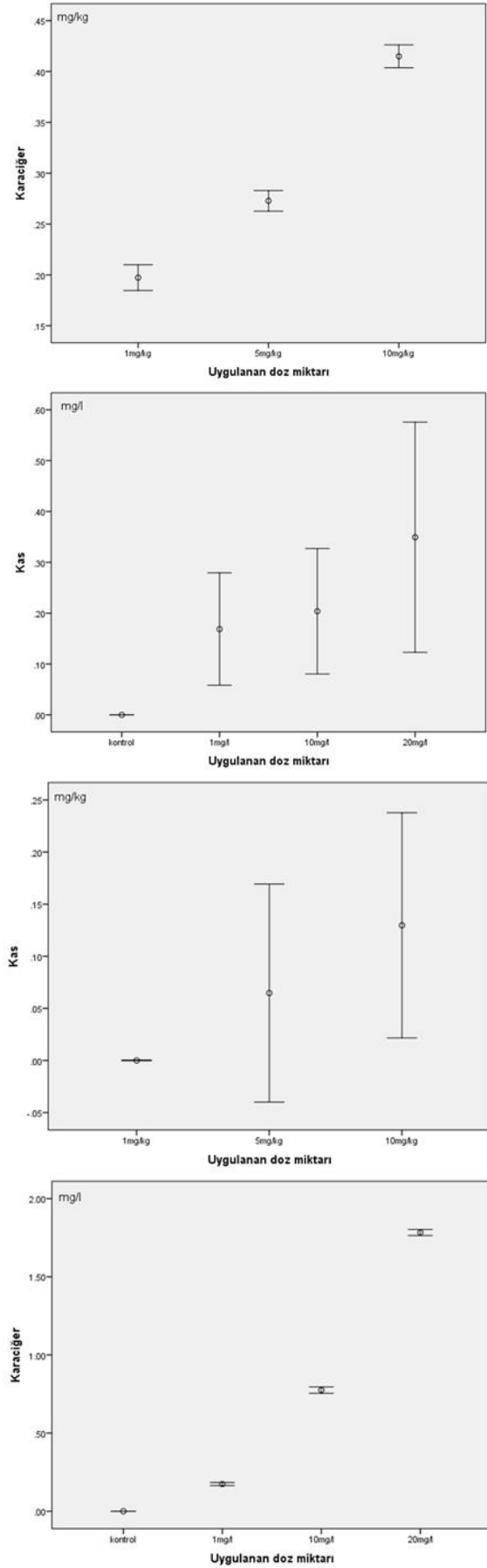
araştırmışlardır. Bor, suda magnezyum ve kalsiyumdan sonra üçüncü derecede yüksek konsantrasyona sahipken hiçbir dokuda ölçülebilecek derecede akümüle olmadığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte Uysal ve ark. (2009) Kütahya Enne Gölünde yaşayan Cyprinidae türleri (*Carassius carassius*, *Condrostoma nasus*, *Leuciscus cephalus* ve *Alburnus alburnus*) üzerinde yapmış oldukları çalışmada borun göl suyunda ikinci yüksek konsantrasyona sahip metal olduğunu belirtirken balık dokularında bor birikiminin olmadığını açıklamışlardır. Ayrıca farklı ortam ve türler kullanılarak yapılan uygulama çalışmalarında farklı etki ve birikim dozları elde edilmiştir. Bor elementinin mikroorganizmalar üzerindeki olumsuz etkilerinin 0,515-0,667 mg/l'den başladığı saptanmıştır (Çengel ve Özkara, 1989). Fitoplanktonla yapılan çalışmalarda 30 mg/l bor konsantrasyonunun test edilen türün %50'sinde fotosentezi azalttığı bulunmuştur (Subba, 1981). 50 mg/l bor ise, 19 Alg türünün 5'inde büyüme hızını azaltmıştır (Antia ve Cheng 1975). Bazı balık türleri üzerindeki bor birikimi ile ilgili hassas çalışmalar ise; 12 mg B /L deniz suyuna maruz bırakılmış LC50 16 gün ile *Oncorhynchus kisutch* ve 10mg B/ L içeren deniz suyuna 3 haftalık maruz bırakmadan sonra dokularında artan oranlarda bor tespit edilen *Oncorhynchus nerka*'dır (Maksimum kalıntıları mg/kg olarak verilmiştir: kemik de 17, böbrek de 12, solungaç da 10, karaciğerde 9 ve kas da 8) (Thompson ve ark., 1976). Ayrıca yapılan sucül toksisite çalışmalarında bütün türler ve yaşam dereceleri arasında, bora en hassas olan organizmanın erken yaşam devresindeki gökkuşağı alabalığı olduğu tespit edilmiş ve deney ortamı olarak hazırlanan suda 0,1 mg/l borun, gözlenebilen en düşük etki konsantrasyonu olduğu görülmüştür (Özkurt, 2000; Butterwick ve ark., 1989).

Farklı bölgelerde yapılan tüm bu çalışmalar ile hem sulandırılmış borik asit hem bor ilaveli yem uygulaması denenerken borun dokulardaki birikimini tespit etmek için yapılan şimdiki laboratuvar çalışması arasında bor birikimi sonuçları çok benzerdir. Bununla birlikte; laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlar ile doğal koşullar neticesinde bora maruz kalan Cyprinidae türlerinin dokularındaki bor birikim paralellik göstermektedir. Tüm bu çalışmalar neticesinde görülmektedir ki bor birikiminde hedef organlardan biri karaciğer iken kas bor birikimi açısından hedef organ değildir.

#### Transfer Faktör (TF)

Transfer faktör (TF) su, sediment ve dokularda balık biyobirikimi için güçlü bir hesaplama metodudur. Biyolojik ve kimyasal süreçler sonunda ağır metaller su kütlesine karışabilmekte hatta sediment tarafından absorbe edilebilmekte sonra su, sediment ve canlı arasında birikim geçişleri olabilmektedir (Yujun ve ark., 2011). Akvaryum ortamında yetiştirilen Japon balıklarındaki bor için TF hesaplanmış ve Tablo 5 de gösterilmiştir. TF aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$TF = \frac{\text{Balık dokusundaki Bor konsantrasyonu}}{\text{Akvaryuma uygulanan Bor konsantrasyon}}$$



Şekil 2 Japon balığı dokularında bor birikimi ( yemde mg/kg ve suda mg/l)

Tablo 5 Akvaryum ortamında yetiştirilen Japon balığında bor için açıklanan TF değerleri

| Bor miktarı (mg/L) | TF Değeri |
|--------------------|-----------|
| 1mg/L              | 0,342     |
| 10mg/L             | 0,097     |
| 20mg/L             | 0,106     |
| 1mg/kg             | 0         |
| 5mg/kg             | 0,067     |
| 10mg/kg            | 0,053     |

Sulandırılmış bor için TF en düşük dozda en yüksek oranda iken doz miktarı arttıkça TF azalmış ve 0,1'e yakın bir sabitlik göstermiştir. Bu sonuç sulandırılmış bor ilaveli deney gruplarında balık dokuları tarafından birikiminin en düşük dozda iken daha hızlı seyrettiğini doz miktarı arttıkça birikim miktarının aynı oranda devam etmediğini göstermektedir. Bunun dışında, borlu yem kullanılan deney gruplarında TF değeri en düşük doz (1 mg/kg) da 0 iken yemde kullanılan borun doz miktarı arttıkça (5 mg/kg) TF değeri 0,06 ya kadar çıktığı tespit edilmiştir. Fakat yine de kas için elde edilen TF değeri çok düşüktür.

Sonuç göstermektedir ki Japon balığı dokularındaki bor için TF değeri daha çok sulandırılmış borik asit uygulaması yapılan deney gruplarında daha yüksek çıkmaktadır. Yani balık, bor ilavesi yapılmış yemden daha çok, sulandırılmış şekilde bora maruz bırakıldığında dokularında bor akümülyasyonu daha fazla olmaktadır (Tablo 4 ve 5).

Simav Çayı'nda yapılan bir çalışmada da, bor madenleri öncesinde alınan su örneklerindeki bor konsantrasyonu 0-0,5 mg/L düzeylerinde iken, madenlerin deşarj sularının katılımıyla 4,00 mg/L düzeylerine yükseldiği belirtilmiştir (Okay ve ark., 1985). 2003-2007 yılları arasında Kuzey Ege, Gediz ve Küçük Menderes Havzalarında su kalitesi olarak bor içeriğinin belirlendiği çalışmada, Kuzey Ege Havzasının bor bakımından IV. sınıf olma karakteri göstermediği; Gediz Nehri'ndeki bor konsantrasyonlarının 0,19-2,25 mg/L arasında olduğu ve bazı noktalardaki yüksek bor değerlerinin sebebinin doğal ve/veya endüstriyel deşarjlar olduğu; Küçük Menderes Havzasında özellikle sanayi kuruluşlarının yer aldığı bölgelerde bor konsantrasyonlarının yüksek olduğu (1,576 mg/L) saptanmıştır (Demirbaş ve Orhun, 2008). Ege Bölgesi'nde Büyük Menderes Havzası'nda da bor kirliliği ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Demirel ve ark. (2002), Büyük Menderes Nehri'nde bor kirliliğinin, bölgede bulunan Kızıldere jeotermal tesislerinin atık suyunun nehre deşarjı sonucu meydana geldiğini belirtmişlerdir. Atık suyun nehre deşarj oranı saatte 750-1500 ton olarak, atık sudaki bor miktarı 24 mg/L olarak belirtilmiştir. Gediz Nehri'nin bir kolu olan Karaçay'da yapılan bir çalışmada, bor konsantrasyonları sanayi bölgesi öncesinde düşük, sanayi bölgesinde ve sonrasında ise inorganik kirlilik sınır değerlerinin üzerinde (0,134-3,937 mg/L) bulunmuştur. Karaçay'ın geçtiği bölgede jeotermal su kaynağının ve bor madeninin bulunmaması, bor kirliliğinin endüstriyel kaynaklı olduğunu göstermektedir (Minareci ve ark., 2009).

Farklı coğrafik bölgelerde borun akümülyasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar da; borun suda ve balık dokularındaki birikim miktarları, hangi dokuda ne kadar birikim gösterdiği açıklanmış olmasına rağmen bu birikimin sebepleri; jeotermal tesislerinin atık suyunun nehre deşarjı, doğal ve/veya endüstriyel olmak üzere birçok faktöre bağlanmıştır. Fakat balıkların bu birikime nasıl maruz kaldığı net bir şekilde açıklanamamaktadır. Bu çalışmada uygulanan TF değeri hesaplaması ayrıca göstermiştir ki balık zehirlenmeleri genelde ağız yolu ile alınan toksik maddelerce olmasına rağmen yem ile verilen borun dokularda birikimi düşüktür.

Borun son yıllarda biyolojik önemi ve metabolizmaya etkileri ile ilgili çalışmalar her geçen gün önem kazanmakta ve devam etmektedir. Yapılan çalışmaların çoğu farklı arazi ortamlarına sahip çalışmalar olmasına rağmen laboratuvar çalışmaları çok azdır. Bu sebeplerden dolayı bu çalışma daha da önem arz etmektedir. Çalışmamızdan elde edilen verilerin literatüre kazandırılmasının sonraki yapılacak çalışmalara da katkı sağlayacağı beklenmektedir. Sonuç olarak yapılan çalışma göstermektedir ki;

- Su kaynaklı bor birikimi, yem kaynaklı bor birikiminden daha fazladır
- Bor birikiminde hedef organlardan biri karaciğer iken insan gıdası olarak da büyük önem arz eden kas hedef organ konumunda değildir.

#### Teşekkür

Deney çalışmalarının gerçekleşmesinde de proje ekibine yardımcı olan Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Fatih Öğretmen'e teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- Antia NJ, Cheng JY. 1975. Culture Studies on the Effects From Borate Pollution on the Growth of Marine Phytoplankton. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 32: 2487-2492.
- Armstrong TA, Spears JW, Crenshaw TD, Nielsen FH. 2000. Boron supplementation of a semipurified diet for weanling pigs improves feed efficiency and bone strength characteristics and alters plasma lipid metabolites. *J. Nutr.*, 130: 2575-2581.
- Armstrong TA, Spears JW, Lloyd KE. 2001. Inflammatory response, growth, and thyroid hormone concentrations are affected by long-term boron supplementation in gilts. *J. Anim. Sci.*, 79: 1549-1556.
- Buluttekin MB. 2008. Bor Maden Ekonomisi Türkiye'nin Dünya Bor Piyasasındaki Yeri, 2. Ulusal İktisat Kongresi. İzmir-Türkiye, 20-22 Şubat 2008, ss: 1-36.
- Butterwick L, De Oude D, Raymond K. 1989. Safety assesment of boron aquatic and terrestrial environments. *Ekotoxicology and Environmental Safety.*, 17: 339-371.
- Çengel M, Özkara M. 1989. Toprakta Bor ve Mikrobiyolojik Etkileri Üzerinde Araştırmalar. *Toprak İlimi Dergisi*, Yayın No. 5.
- Demirbaş P, Orhun Ö. 2008. Kuzey Ege, Gediz ve Küçük Menderes Havzalarında 2003-2007 Yılları Arasında Su Kalitesi Açısından Bor İçeriğinin Spektrofotometrik Analiz Metodu İle Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi. 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Havza Kirliliği Konferansı. İzmir-Türkiye, 26-27 Haziran 2008, ss: 46-56
- Demirel Z, Yıldırım N. 2002. Boron pollution due to geothermal wastewater discharge into the Büyük Menderes River, Turkey. *Int. J. Environ. Pollut.*, 18: 602-608.

- Eisler R. 1990. Boron hazards to fish, wildlife and invertebrates: a synoptic review. U. S. Fish Wildl. Serv., Biol. Rep. 85 (1.20).
- Ahl T, Jönsson E. 1972. Boron in Swedish and Norwegian fresh waters, *Ambio*, 1: 66-70.
- Köse E, Uysal K. 2008. Cinsi olgunluğa erişmemiş pullu sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758)'ların kas, deri ve solungaçlarındaki ağır metal akümülyasyon oranlarının karşılaştırılması, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 17: 19-26
- Lanoue L, Taubeneck MW, Muniz J, Hanna LA, Strong PL, Murray FJ, Nielsen FH, Hunt CD, Keen CL. 1998. Assessing the effects of low boron diets on embryonic and fetal development in rodents using in vitro and in vivo model systems. *Biol. Trace Elem. Res.*, 66: 271-298.
- Minareci O, Minareci E, Öztürk M. 2009. Karaçay'da (Manisa) Deterjan, Fosfat ve Bor Kirliliğinin Araştırılması. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi.*, 26: 171-177.
- Moseman RF. 1994. Chemical disposition od boron in animals and humans. *Environ. Healt. Perspect.*, 102: 113-117.
- Nielsen HF. 1997. Boron in Human and Animal Nutrition. *Plant Soil.*, 193:199-208.
- Okay O, Güçlü H, Soner E, Balkaş T. 1985. Boron pollution in The Simav River, Turkey and various Methods of Boron Removal, *Water. Res.*, 7: 857-862.
- Robbins WA, Xun L, Jia J, Kennedy NI, Elashoff DA, Ping L. 2010. Chronic Boron Exposure and Human Semen Parameters. *Reprod. Toxicol.*, 29:184-190.
- Özkurt S. 2000. Çatören ve Kunduzlar (Kırka-Eskisehir) Baraj Göletlerindeki Sazanların (*Cyprinus carpio* L., 1758) Dokularında Bor Birikimi. *Turk. J. Biol.*, 24: 663-676.
- Subba Rao DV. 1981. Effect of Boron on Primary Production of Nano-plankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 38: 52-58.
- Tibbitts J, Sambol NC, Fike JR, Bauer WF, Stephen BK. 2000. Plasma pharmacokinetics and tissue biodistribution of boron following administration of a boronated porphyrin in dogs. *J Pharm Sci.*, 89: 469-477.
- Thompson JAJ, Davis JC, Drew RE. 1976. Toxicity, uptake and survey studies of boron in the marine environment. *Water Res.*, 10: 869-875.
- Uysal K, Emre Y, Köse E. 2008. The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle , skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey), *Microchem J.*, 90: 67-70.
- Uysal K, Köse E, Bülbül M, Dönmez M, Erdoğan Y, Koyun M, Ömeroğlu Ç, Özmâl F. 2009. The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dame Lake (Kütahya/ Turkey). *Environmental Monitoring and Assessmet* 157: 355-362
- WHO. 1998. Boron international programme on chemical safety. *Environmental Health Criteria* 204. Ohio, USA. pp. 1-201.
- Woods WG. 1994. An introduction to boron: history, sources, uses, and chemistry. *Environ. Health Perspect.*, 102: 5-11.
- Yujun Y, Zhifeng Y, Shanghong Z. 2011. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environ. Pollut.*, 159: 2575-2585.