



## Esansiyel Bir Komponent: Bor -Borun Günlük Alımı ve Fizyolojik Etkileri-

Zuhal UÇKUN\*

Mersin Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmasötik Toksikoloji Anabilim Dalı, Mersin

\*Sorumlu Yazar:

E-posta: uckunzuhal@yahoo.com

Geliş Tarihi: 26 Mart 2013

Kabul Tarihi: 12 Mayıs 2013

### Özet

Bor, insan ve hayvanlar için diyetle alınabilen esansiyel bir komponenttir. İnsanlar günde en az 1 mg B/gün bor almaları gerekmektedir. Yetişkinler tarafından alınabilecek üst sınır 20 mg B/gün olarak belirlenmiştir. İnsanlar bora normal koşullar altında, bor açısından en zengin gıdalar olan yeşil yapraklı sebze ve meyveler, fındık ceviz gibi sert kabuklu yemişler, baklagiller, avokado ve mantarları yiyerek maruz kalmaktadırlar. Borun akut ve kronik toksisitesinin olmasına rağmen, oksidatif stres, mikrobesein metabolizması, steroid hormon metabolizması, romatoid artrit ve beyin fonksiyonları üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bor insan diyeti için önemli bir komponenttir.

**Anahtar Kelimeler:** Bor, borun günlük alımı, borun fizyolojik etkileri.

## An Essential Component: Boron - Daily Boron Intake and The Physiological Effects of Boron

### Abstract

Boron is an essential component in the diet of human beings and animals. People need at least 1 mg B/day intake. The upper limit that can be taken by adults is 20 mg B/day. Under normal conditions, people are exposed to eating foods rich in boron, that is, green leafy vegetables and fruits, nuts, like walnuts, legumes, avocados, and mushrooms. In spite of acute and chronic toxicity of boron, there are important effects of boron on oxidative stress, micronutrient metabolism, steroid hormone metabolism, rheumatoid arthritis, and brain functions. Boron is an important component for human diet.

**Keywords:** Boron, daily boron intake, the physiological effects of boron.

## GİRİŞ

Kimyasal sembolü B ile tanımlanan bor elementi periyodik sistemin III. grubun başında olup bu grubun metal olmayan yegane elementidir. Atom numarası 5 ve atom ağırlığı 10.81 olan bor elementi aslında kütle numaraları 10 ( $^{10}\text{B}$  %19.8) ve 11 ( $^{11}\text{B}$  % 80.2) olan iki kararlı izotopundan oluşmaktadır [1,2].

Doğada serbest olarak başka bir deyişle elemental olarak bulunmayan bor elementi daima oksijene bağlı halde bulunmaktadır ki; oksijene bağlı halde bulunan bu bileşiğe borat adı verilmektedir [1,3,4]. Bor bileşikler arasında en basit yapıdaki bileşikler bor oksit ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) ve borik asit ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) tir.

Doğada yaklaşık olarak 230 çeşit bor minerali bulunmakta olup bu mineraller arasında en önemlileri yapılarında Na, Ca, ve Na-Ca bulunduranlardır. Na kökenli bor minerallerine boraks (tinkal), Ca kökenli bor minerallerine kolemanit, Na -Ca kökenli bor minerallerine ise üleksit adı verilmektedir.

Bor mineralleri ve bileşikleri çeşitli endüstri dallarında çok farklı malzeme ve ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Bor ve bor ürünlerin kullanım alanlarını şu şekilde sıralamak

mümkündür; Cam sanayi, seramik sanayi, nükleer sanayi, elektronik-elektrik ve bilgisayar sanayisinde, askeri-zırhlı araçlar, iletişim araçlarında, inşaat-çimento sektöründe, metalurji, enerji sektöründe, otomobil sanayinde, tekstil sektöründe, kimya sanayinde, tıp alanında (Osteoporoz tedavilerinde, alerjik hastalıklarda, psikiyatride, kemik gelişiminde ve artiritte, menopoz tedavisinde, beyin kanserlerinin tedavisinde -BNCT-, dezenfekte edicilerde, antiseptiklerde) gibi alanlardır [5]. Türkiye sahip olduğu bor rezervleri ve cevherlerinin kalitesi ile dünyanın önde gelen ülkesi konumundadır. Türkiye, dünya bor cevheri rezervlerinin %72'sine sahiptir. Borun kullanım alanlarının da geniş olması Türkiye'nin önemini daha da artırmaktadır.

Bor, havada, suda ve toprakta her yerde bulunmaktadır. Bor, oldukça yüksek miktarda kasten veya kasıtlı olarak alınmadığı sürece toksik etkisi görülmemektedir. Aksine insanda bazı fonksiyonların yerine getirilmesinde önemli rol oynayan esansiyel bir komponenttir.

Bu çalışma kapsamında insanların bora maruz kalma durumları, borun günlük alımı, oksidatif stres, mikrobesein metabolizması, steroid hormon metabolizması, romatoid artrit ve beyin fonksiyonları gibi önemli fizyolojik etkiler üzerine borun rolü gözden geçirilmiştir.

### Çevredeki Bor ve Bora Maruziyet Yolları

Doğada genellikle borat formu şeklinde bulunan bor elementi [1] yer kabuğunda, atmosferde, denizde, toprakta, kömürde, yeraltı ve yerüstü sularında ve sedimentlerde yüksek oranda bulunmaktadır [4,6,7,8]. Yeryüzünde geniş bir alana yayılmış halde bulunan bor elementi doğada değişime uğramaz ve parçalanmaz. Ancak çevre koşullarına bağlı olarak (nem düzeyi, pH vb.) spesifik formlarına dönüşebilmektedir [9]. Doğal olarak bor, toprakta 5 –150 mg/kg [3], yer kabuğunda ortalama 10 mg/kg, deniz suyunda 0.5-9.6 mg/l konsantrasyonları arasında olup ortalama 4.6 mg/l, tatlı sularında <0.01–1.5 mg/l arasında değişen konsantrasyonlarda [10,11] ve havada <0.5-80 ng/m<sup>3</sup> arasında değişen konsantrasyonlarda (ortalama 20 ng/m<sup>3</sup>) bor bulunmaktadır [6,12].

Bor okyanuslardan, yanardağlardan, kaplıcalardan, orman yangınlarından ve ticari olarak kullanılmasıyla atmosfere serbest olarak ulaşabilmektedir [13]. Atmosferdeki bor kaynağının % 65-85'ini okyanuslar oluştururken % 7-18'ini major antropojenik kaynaklar oluşturmaktadır [13]. Her yıl atmosfere yaklaşık olarak 1.8 ile 5.3 milyon/kg bor serbest olarak bırakılmaktadır [14].

Denizler, yanardağlar ve kaplıcalar başta olmak üzere kayalardan, topraklardan, yer altı ve yerüstü sularından, ticari kullanımından ve atıklardan çevresel komponentlere ulaşan bora insanlar; hava ve sudaki bor mineralleriyle temas ederek, bor yatakları bakımından zengin havzalardaki yeraltı ve yerüstü sularını kullanarak, maden ocaklarında ve fabrikalarda çalışarak, bor içeren kimyasal maddeleri ve ürünleri kullanarak ve bor bakımından zengin yiyecek ve içecekleri alarak maruz kalmaktadırlar.

### Borun Günlük olarak Alımı

İnsanlar, bora en fazla gıda ve içme suyu ile maruz kalmaktadırlar [3,6,7]. Gıda ile bora maruz kalma su ile maruz kalmaya göre daha fazla önem taşımaktadır. Yüksek oranda bor içeren yiyecekler; yeşil yapraklı sebze ve meyveler, fındık ceviz gibi sert kabuklu yemişler, baklagiller, avokado ve mantarlardır. Şarap, elma şarabı ve bira gibi içecekler de yüksek oranda bor içeren içeceklerdir. Et, balık, süt ve süt ürünleri gibi gıdalar da nispeten düşük oranda bor içeren gıdalardır [6,7,15].

Kurutulmuş meyveler, baklagiller, fındık-ceviz gibi sert kabuklu yemişler ve avokado 1.0-4.5 mg bor/100 g; taze meyve ve sebzeler ve bal 0.1-0.6 mg bor/100 g; et, balık, süt ve süt ürünleri 0.01-0.06 mg bor/100 g miktarlarında bor içermektedirler [16,17,18].

Diyet ile alınabilecek bor miktarı ülkeler arasında farklılık göstermektedir. Bu farklılık bireyler arasında da görülmektedir (Çizelge 1).

Türkiye'de, Korkmaz ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada ortalama günlük bor alımın, bor bakımından zengin alanlarda (> 2.0 mg/l) çalışan 66 erkek için 6.77 mg/gün olduğu, kontrol grubu için ise 1.26 mg/gün olduğu tespit edilmiştir [24].

Diyet ile alınan günlük bor miktarı, ülke ve cinsiyet bazında farklılıklar göstermesine rağmen, ortalama alınan bor miktarı 1.5-3.0 mg B/gün olarak belirlenmiştir [17,25]. Gıda haricinde su, hava ve kozmetik ürünlerle de bora maruz kalabilen insanlar, içme suyundan günde 0.2-0.6 mg bor; havadan günde 0.44 µg bor ve kozmetik ürünlerden maksimum 0.47 mg bor alabilmektedirler [6,7,8,12]. Tüm bu değerlerin toplanmasıyla elde edilecek olan değer aşağıda The Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine (2001) [26] ve The Institute of Medicine (IOM, 2002) [27] tarafından açıklanan değerden daha yüksek bir değer olmamakla birlikte insanın alması gereken doz aralığında

bulunmaktadır. Bundan dolayı insanlar normal koşullar altında bora maruz kaldıklarında herhangi bir toksik etki oluşturmaz sonucuna ulaşabilir.

Bor alımı insan metabolizmasına ve yaşına göre de değişiklik göstermektedir. Örneğin, 0-6 aylık bebeklerin bor alımı 0.75 ± 0.14 mg/gün, 51-70 yaş arasındaki erkekler için 1.34 ± 0.02 mg/gün, emziren anneler için ise bu değer 1.39 ± 0.16 mg/gün dür [26].

The Food and Nutrition Board of The Institute of Medicine (2001) [26] ve The Institute of Medicine (IOM, 2002) [27], borun yetişkinler tarafından alınabilecek üst sınırını 20 mg B/gün olarak açıklamışlardır.

### Borun Fizyolojik Etkileri

Araştırmacılar tarafından yapılmış çalışmalar neticesinde, borun insan ve hayvanlar için diyetle alınabilen esansiyel bir komponent olduğu gösterilmiştir [6,17,28,29] ki; Nielsen (1992), insanların günde en az 1 mg bor almaları gerektiğini açıklamıştır [30]. Borun fizyolojik etkilerini öğrenmek amacıyla; borun

- Oksidatif stress üzerine olan etkileri
- Mikrobesein metabolizması üzerine olan etkileri
- Steroid hormon metabolizması üzerine olan etkileri
- Romatoid artrit üzerine olan etkileri
- Beyin fonksiyonları üzerine olan etkileri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

**Çizelge 1. Ülke ve cinsiyete göre borun günlük alımı**

Ülke	Cinsiyet	Diyet ile alınan bor miktarı (mg B/gün)	
		Alınan miktar	Kaynak
Kanada	Kadın	1.33 ± 0.13	[19]
Avustralya	Kadın	2.16 ± 1.10	[20]
ABD	Kadın	0.89 ± 0.57	[21]
Almanya	Kadın	1.62 ± 0.76	[21]
İngiltere	Kadın	1.14 ± 0.55	[21]
Meksiko	Kadın	1.75 ± 0.48	[21]
Kenya	Kadın	1.80 ± 0.49	[21]
Mısır	Kadın	1.24 ± 0.40	[21]
ABD	Erkek	1.52 ± 0.38	[22]
ABD	Erkek	1.21 ± 0.07	[23]
Avustralya	Erkek	2.28 ± 1.30	[20]
ABD	Erkek	1.11 ± 0.69	[21]
Almanya	Erkek	1.72 ± 0.47	[21]
İngiltere	Erkek	1.30 ± 0.63	[21]
Meksika	Erkek	2.12 ± 0.69	[21]
Kenya	Erkek	1.95 ± 0.57	[21]
Mısır	Erkek	1.31 ± 0.50	[21]

### Borun Oksidatif Stress Üzerine olan Etkileri

Süperoksit radikali (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), hidroksil radikali (HO<sup>•</sup>) ve hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) gibi reaktif oksijen radikalleri hücrelerde detoksifiye edilemeyecek kadar fazla miktarda oluştuklarında hücrelerde oksidatif stress meydana gelmektedir [31]. Reaktif oksijen radikalleri hücredeki DNA, lipit ve protein gibi makromoleküllerle etkileşerek irreversibl bozukluklara neden olmaktadır [31]. Hücrelerde reaktif oksijen radikallerini detoksifiye edebilen önemli antioksidanlar bulunmaktadır. Bu antioksidanlardan olan indirgenmiş glutatyon (GSH), oksidatif stres ortamında hızlıca oksitlenerek miktarı azalır [32]. Oksitlenmiş glutatyonun (GSSG) yeniden indirgenmesi için nikotinamid adenin dinükleotid fosfata (NADPH) gereksinim duyulmaktadır. Borun buradaki etkin rolü NADPH seviyelerinin düzenlenmesinde olmaktadır [17]. NADPH,

hücrelerde indirgenmiş glutatyon (GSH) miktarını artırarak oksidatif stresi ve buna bağlı olarak oluşabilecek oksidatif hasarı azaltmaktadır.

#### **Borun Mikrobesein Metabolizması Üzerine olan Etkileri**

Bor kalsiyum, fosfor, vitamin D, magnezyum, molibden, alüminyum gibi çeşitli mikrobeseinlerin metabolizmasında regulatör bir rol oynamaktadır [17]. Bor özellikle sağlıklı bir kemik yapısının oluşmasında son derece önemli rol oynayan magnezyum, vitamin D, fosfor, kalsiyum minerallerinin metabolizmasını olumlu yönde etkilemektedir [6,17,33,34].

Menapoz sonrası osteoporoz görülen kadınların serumlarındaki kalsitonin seviyeleri diğer insanlara göre daha yüksek seviyede bulunmaktadır. Serumda kalsitonin seviyelerin yüksek olması kalsiyum atılımını artırmaktadır. Bor günlük olarak yeterli miktarda alındığında serumdaki kalsitonin seviyesi düşmekte ve buna bağlı olarak da kalsiyum kaybı azalmaktadır [17,34,35].

Borun mikrobesein metabolizmasını olumlu yönde etkilemesi ve serumdaki kalsitonin seviyesini düşürmesi borun osteoporoz oluşumunun önlenmesinde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir [17,34,35].

#### **Borun Steroid Hormon Metabolizması Üzerine Olan Etkileri**

Yapılmış çalışmalar sonucunda borun steroid hormon metabolizmasını olumlu yönde etkilediği görülmüştür [17,20,25,36]. Bor, hidroksilasyon reaksiyonları ile steroid hormon metabolizmasını etkileyerek bu hormonların hızlı bir şekilde degradasyona uğramasını önlemektedir [17,18,34].

Steroid metabolizması ile ilgili Nielsen ve ark. (1987) tarafından yapılmış çalışmada menopoz sonrası dönemde 7 hafta boyunca günde 3 mg bor kullanan kadınlarda 17-β estradiol hormonun önemli oranda arttığı gözlenmiştir [25]. Steroid hormon seviyelerin yükselmesi kalsiyum atılımını azaltmaktadır. Dolayısıyla, borun günlük olarak yeterli miktarda alınması osteoporoz görülen kadınlar için büyük önem taşımaktadır [17].

#### **Borun Romatoid Artrit Üzerine Olan Etkileri**

Bor, T hücrelerinin aktivitesini azaltarak ve serumdaki antikor konsantrasyonlarını düzenleyerek artrit sonucu oluşacak olumsuz etkileri azaltmaktadır [17,18]. Romatoid artrit ile ilgili yapılan çalışmalarda içme suyunda, toprakta, meyve ve sebzelerde daha yüksek oranda bor içeren bölgelerde gözlenen artrit vakalarının bor konsantrasyonu daha düşük olan bölgelere göre daha az olduğu bildirilmiştir [17,34,37].

#### **Borun Beyin Fonksiyonları Üzerine Olan Etkileri**

Düşük miktarda bor alımı; el-göz koordinasyonu, algıma, dikkat, kısa ve uzun sürede olayları ve durumları hatırlama gibi performanslar, yüksek miktarda bor alındığında görülen performans göre daha zayıf olmaktadır [17,18,34,38]. İnsanlarda yapılan ölçümlerle diyetle alınan bor miktarı azaltıldığında elektroensefalogram (EEG) aktivitesinin de azaldığı gözlenmiştir [6,17,29].

Bor yeterli miktarda alınması ile;

- Serumdaki kalsitonin seviyesi düşmekte
- Steroid hormonların (östrojen, testosteron) konsantrasyonları yükselmekte
- Yukarıdaki her iki duruma bağlı olarak plazmadaki kalsiyum seviyesi yükselirken atılımı azalmakta
- Magnezyum ve vitamin D' nin eksikliği sonucu oluşacak olumsuz etkiler indirgenmektedir.

Tüm bu sonuçlar özellikle osteoporoz görülen kadınlarda kemik yapısını korumada önemli rol oynayan minerallerin seviyelerinin yükselmesinde çok büyük etkileri bulunmaktadır [17].

Bor antioksidant özelliği ile ateroskleroz hastalığının önlenmesinde de etkili bir rol oynamaktadır [17,36].

#### **Bor Toksisitesi**

İnsan ve hayvanlarda borik asit, kısa süre içinde vücuttan uzaklaştırıldığından toksik etkisini ancak yüksek dozda maruz kalındığında göstermektedir [17]. Borun tek doz olarak alındığında öldürücü olma olasılığı oldukça düşüktür. Ancak bireylerde kan dolaşım bozukluğu, böbrek yetmezliği bulunuyor ise ölüm, yüksek doz alındıktan sonra birkaç gün içinde görülebilir [17].

Bor zehirlenmesi ile ilgili 2 spesifik vaka bulunmaktadır;

Birinci vaka raporunda, 34 haftalık hamile bir kadının kazara 70 gr borik asidi oral yolla alması sonucu 2 saat içinde düşük yaptığı bildirilmiştir. Fetüsün kalp durması ve dolaşım bozukluğu sonucu öldüğü düşünülmektedir [39].

İkinci vaka raporunda ise 24 gr üzerinde borik asit alarak intihar girişiminde bulunan 44 yaşındaki bir kadında borik asidi alımından sonra 2 gün boyunca eksofoliyatif dermatit ve mide bulantısı görüldüğü ve sıvı terapisiyle hastanın kurtarıldığı bildirilmiştir [39].

Borik asidin rapor edilen en düşük letal dozu; oral maruziyette 640 mg/kg; dermal maruziyette 8600 mg/kg; intravenöz injeksiyon ile 29 mg/kg olarak bildirilmiştir [1,6,40]. Oral olarak borik aside maruz kalındığında borik asidin potensiyel letal dozu genellikle yetişkinler için 15-20 gr, çocuklar için 5-6 gr ve bebekler için 2-3 gr olarak bildirilmiştir [1,6,7].

Bora akut olarak maruz kalındığında kusma, mide bulantısı, ishal ve karın ağrısı başta olmak üzere konvülsiyon, yüksek ateş, merkezi sinir sisteminde bozukluk, renal tübüllerde hasar, deride kızarıklık, sarılık ve karaciğer fonksiyonunda anormallikler gibi semptomlar görülürken kronik olarak maruz kalındığında anoreksi, halsizlik, anemi, alopesi, dermatit, konvülsiyon ve gastrointestinal rahatsızlık gibi semptomlar görülmektedir [1,18,34].

Bor yetersizliği olumsuz sonuçlara neden olurken yüksek miktarda bora maruz kalmak toksisiteye neden olmaktadır.

## **SONUÇ**

Yapılan çalışmalar sonucunda, bor yüksek dozda alınmadığı sürece normal koşullar altında insan sağlığı için gerekli olduğu söylenebilir. Bor mineralleri ve bor türevleri kendilerine özgü birçok özelliğe sahip olmaları nedeniyle bunların yerlerinin doldurulması çok mümkün olamamaktadır [41].

Son yıllarda, borun reproduktif ve gelişim toksisitesi üzerinde durulmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar sonucunda bugünkü düzeyleriyle kaldıkları sürece bor ve bor bileşiklerinin böyle bir etkilerinin olmadığı sonucuna varılmaktadır [42,43,44-46].

Bor, insanda bazı fizyolojik fonksiyonların yerine getirilmesinde önemli rol oynayan esansiyel bir komponenttir.

## **KAYNAKLAR**

[1] U.S. EPA. 2004. Toxicology review of boron and compounds in support of summary information on integrated risk information (IRIS). National Center for Environmental Assessment, Washington, DC.

- [2] Uçkun Z, Üstündağ A, Korkmaz M, Duydu Y. 2009. Bora maruz kalan bireylerde ve kontrol bireylerinde mikroçekirdek düzeyleri ve kardeş kromatid değişim frekansları. Ankara Üniv. Eczacılık Fak. Dergisi. 38(2):79-88.
- [3] Çöl M, Çöl C. 2003. Environmental boron contamination in waters of Hisarcık area in the Kütahya province of Turkey. Food and Chemical Toxicology. 41: 1417-1420.
- [4] Murray FJ, Andersen ME. 2001. Data-derived uncertainty factors: Boric acid (BA) as a case study. Human and Ecological Risk Assessment. 7(1):125-138.
- [5] <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/kullanim-alanlari>. Erişim tarihi: 18.10.2013
- [6] EVGM (Expert Group on Vitamins and Minerals). 2002. Revised review of boron. EVGM/99/23/P.REVISED/2002. [<http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/boron.pdf>]. Erişim tarihi: 18.10.2013.
- [7] EFSA (European Food Safety Authority). 2004. Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Boron (Sodium Borate and Boric Acid). The EFSA Journal. 80: 1-22.
- [8] Yazbeck C, Kloppmann W, Cottier R, Sahuquillo J, Debotte G, Huel G. 2005. Health impact evaluation of boron in drinking water: a geographical risk assessment in Northern France. Environmental Geochemistry and Health. 27:419-427.
- [9] ATSDR ( Agency for Toxic Substance and Disease Registry). 1992. Toxicological profile for boron and compounds; TP-91/05. Available from ATSDR, Atlanta, GA.
- [10] U.S. EPA. 1987. Health effects assessment for boron and compounds. Prepared by the Office of health and environmental assessment, environmental criteria and assessment office, Cincinnati, OH for the Office solid waste and emergency response, Washington, DC.
- [11] IEHR ( Institute for Evaluating Health Risks ). 1997. An assessment of boric acid and borax using the IEHR evaluative process for assessing human developmental and reproductive toxicity of agents.
- [12] IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Boron, Environmental Health Criteria (EHC). 204:1-192.WHO, Geneva, Switzerland.
- [13] Howe PD. 1998. A review of boron effects in the environment. Biological Trace Element Research. 66(1-3):153-166.
- [14] Argust P. 1998. Distribution of boron in the environment. Biological Trace Element Research. 66: 131-143.
- [15] Cherrington JW, Chernoff N. 2002. Periods of vertebral column sensitivity to boric acid treatment in CD-1 mice in utero. Reproductive Toxicology. 16:237-243.
- [16] Naghii MR, Lyons PM, Samman S. 1996. The boron content of selected foods and the estimation of its daily intake among free-living subjects. Journal of the American College of Nutrition. 15(6):614-619.
- [17] Devirian TA, Volpe SL. 2003. The physiological effects of dietary boron. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 43(2):219-231.
- [18] Boron Monograph. 2004. Alternative Medicine Review. 9(4):434-437.
- [19] Clarke WB, Gibson RS. 1988. Lithium, boron and nitrogen in 1-day diet composites and a mixed-diet standart. Journal of Food Composition Analysis. 1:209-220.
- [20] Samman S, Naghii MR, Lyons W, Verus AP. 1998. The nutritional and metabolic effects of boron in humans and animals. Biological Trace Element Research. 66:227-235.
- [21] Rainey C, Nyquist L, Casterline J, Herman ND. 1999. Estimation of Dietary Boron Intake in Six Countries: Egypt, Germany, Great Britain, Kenya, Mexico, and the United States. Journal of Trace Elements in Experimental Medicine. 2:263-270.
- [22] Iyengar GV, Clarke WB, Downing RG, Tanner JT. (1988) Lithium in biological and dietary materials. Proc Intl Workshop. Trace Element Analytical Chemistry Medicinal Biology. 5: 267-269.
- [23] Andersen DL, Cunningham WC, Lindstrom TR. (1994). Concentrations and intakes of H, B, S, K, Na, Cl and NaCl in foods. Journal of Food Composition and Analysis. 7:59-82.
- [24] Korkmaz M, Şaylı U, Şaylı B.S., Bakırdere S, Titretir S, Ataman OY, Keskin S. 2007. "Estimation of human daily boron exposure in a boron-rich area". British Journal of Nutrition. 98:571-575.
- [25] Nielsen FH, Hunt CD, Mullen ML, Hunt JR. 1987. Effect of dietary boron on mineral, estrogen, and testosterone metabolism in postmenopausal women. Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology. 1:394-397.
- [26] Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. 2001. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. Washington, DC.: National Academy Press.
- [27] IOM (Institute of Medicine). 2000. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. Washington, DC: National Academy Press.
- [28] Murray FJ. 1995. A human health risk assessment of boron (boric acid and borax) in drinking water. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 22:221-230.
- [29] Penland JG. 1998. The importance of boron nutrition for brain and psychological function. Biological Trace Element Research. 66:299-317.
- [30] Nielsen FH. 1992. Facts and fallacies about boron. Nutrition Today. 27:6-12.
- [31] Ercal N, Gurer-Orhan H, Aykin-Burns N. 2001. Toxic metals and oxidative stress part I: mechanisms involved in metal-induced oxidative damage. Current Topics in Medicinal Chemistry. 1(16):529-539.
- [32] Shan X, Aw TY, Jones DP. 1990. Glutathione - dependent protection against oxidative injury. Pharmacology & Therapeutics. 47:61-71.
- [33] Naghii MR, Samman S. 1993. The role of boron in nutrition and metabolism. Progress in Food & Nutrition Science. 17(4):331-49.
- [34] Gregory S, Kelly GS. 1997. Boron: A review of its nutritional intensions and therapeutic uses. Alternative Medicine Review. 2(1):48-56.
- [35] Hunt CD. 1996. Biochemical effects of physiological amounts of dietary boron. The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine. 9:185-213.
- [36] Naghii MR, Samman S. 1997. The effects of boron supplementation on its urinary excretion and selected cardiovascular risk factors in healthy male subjects. Biological Trace Element Research. 56: 273-286.
- [37] Newnham NE. 1991. Agricultural practices affect arthritis. Nutrition and Health. 7(2):89-100.

- [38] Penland JG. 1994. Dietary boron, brain function, and cognitive performance. *Environmental Health Perspectives*. 102:65-72.
- [39] Fail PA, Chapin R, Price CJ, Heindel JJ. 1998. General, reproductive, developmental, and endocrine toxicity of boronated compounds. *Reproductive Toxicology*. 12(1):1-18.
- [40] WHO (World Health Organization). 1998. Boron in drinking-water. Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. Geneva, Switzerland.
- [41] Göncü N. 1982. Dünya ve Türkiye’de Metal ve Mineral Kaynaklarının Potansiyeli, Ticareti, Beklenen Gelişmeler, 10. Bor Mineralleri, M.T.A. Enst. Yayınları, 187, Ankara.
- [42] Korkmaz M, Yenigün M, Bakırdere S, Ataman OY, Keskin S, Müezzinoğlu T, Lekilli M. 2011. Effects of chronic boron exposure on semen profile. *Biological Trace Element Research*. 143(2):738-750.
- [43] Bolt HM, Başaran N, Duydu Y. 2012. Human environmental and occupational exposures to boric acid: reconciliation with experimental reproductive toxicity data. *Journal of Toxicology and Environmental Health A*. 75(8-10):508-514.
- [44] Duydu Y, Başaran N, Bolt HM. 2012. Exposure assessment of boron in Bandırma boric acid production plant. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 26(2-3):161-164.
- [45] Duydu Y, Başaran N, Ustündağ A, Aydın S, Undeğer U, Ataman OY, Aydos K, Düker Y, Ickstadt K, Waltrup BS, Golka K, Bolt HM. (2012). Assessment of DNA integrity (COMET assay) in sperm cells of boron-exposed workers. *Archives of Toxicology*. 86(1):27-35.
- [46] Duydu Y, Başaran N, Ustündağ A, Aydın S, Undeğer U, Ataman OY, Aydos K, Düker Y, Ickstadt K, Waltrup BS, Golka K, Bolt HM. (2011). Reproductive toxicity parameters and biological monitoring in occupationally and environmentally boron-exposed persons in Bandırma, Turkey. *Archives of Toxicology*. 85(6):589-600.