



Muhsin MUTLU <sup>1, a</sup>  
Mehmet ÇALICIOĞLU <sup>1, b</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi,  
Veteriner Fakültesi,  
Besin Hijyeni ve Teknolojisi  
Anabilim Dalı,  
Elazığ, TÜRKİYE

<sup>a</sup> ORCID: 0000-0003-2097-7217

<sup>b</sup> ORCID: 0000-0002-6658-784X

## DERLEME

F.Ü.Sağ.Bil.Vet.Derg.  
2020; 35 (1): 59 - 64  
<http://www.fusabil.org>

# Borun İnsan ve Hayvan Sağlığı Üzerine Etkileri, Antimikrobiyel Özellikleri ve Gıdalarda Kullanım Potansiyelleri

Bor, doğada bileşikler halinde bulunan ve çeşitli biyolojik süreçlerde rol oynayan önemli bir mineral olup, insan ve hayvanların büyümesi için gerekli esansiyel bir iz elementtir. Türkiye, Dünya'da toplam bor rezervi sıralamasında %73'lük pay ile ilk sırada yer almaktadır. Bor, solunum, sindirim ve deri yoluyla vücuda girerek ve insan ve hayvanlarda enerji, mineral ve kemik metabolizmasını etkilemektedir. Yapılan bazı çalışmalar; bor bileşiklerinin bakteri, küf, maya ve virüslere karşı bakteriyostatik, bakterisidal, fungistatik, fungisidal ve antiviral etkilerinin olduğunu göstermektedir. Borik asit ve sodyum tetraborat, bazı gıdalarda (mersin balığı yumurtası) koruyucu olarak ve gıda takviyelerinde kullanılmakta ayrıca gıda ambalaj malzemelerinde kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu derlemede, borun insan ve hayvan sağlığına olan etkileri, antimikrobiyel özellikleri ve gıdalarda kullanım alanları ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bor, gıda, gıda takviyeleri, antimikrobiyel özellik

## Effects of Boron on Human and Animal Health, Antimicrobial Properties and Its Potential Use in Foods

Boron is an important mineral found in nature as compounds, and plays roles in various biological processes, and is an essential trace element required for the growth of humans and animals. Turkey ranks first with a 73% share of total boron reserves in the world. Boron enters the body through respiration, digestion, and skin, and affects energy, mineral, and bone metabolism in humans and animals. Some studies show that boron compounds have bacteriostatic, bactericidal, fungistatic, fungicidal, and antiviral effects against bacteria, mold, yeast, and viruses. Boric acid and sodium tetraborate are used as preservatives in foods (sturgeon eggs) and food supplements, and studies are carried out for their use in food packaging materials. This paper reviews the effects of boron on human and animal health, antimicrobial properties, and their potential for use in foods.

**Key Words:** Boron, food, food supplements, antimicrobial property

## Giriş

Bor, insan ve hayvan biyolojisi için temel öneme sahip bir iz element olduğundan borun önemi giderek artmaktadır. Bor genellikle deri, beyin, sindirim, iskelet, bağıışıklık olmak üzere vücudun çeşitli organlarını ve sistemlerini etkilemektedir. Ayrıca kemik oluşumunda rol oynayan kalsiyum, D vitamini ve magnezyum ile de etkileşim halindedir (1). Bu nedenle boratlar endüstriyel ölçekteki ilaçlarda, çoğunlukla boraks ve borik asitli farklı sıvılarda gıda takviyesi ve farklı gıda ürünlerinde de koruyucu olarak kullanılmaktadır. Bor, başta İngiltere olmak üzere Avrupa ülkelerinde, mineral ve multivitamin takviyesi olarak kullanılmasının yanısıra bazı gıdalarda esnekliği ve görünümü arttırmak için tekstür geliştirici olarak da kullanılmaktadır. Borik asit ve disodyum oktaborat tetrahidratın bazı bakteri suşları üzerine antibakteriyel ve antibiyofilm etkiler gösterdiği bildirilmektedir. Antimikrobiyel ajanlardan borik asit ve tuzlarını içeren jelatinden antimikrobiyel ve biyobozunur gıda ambalaj malzemelerinin geliştirilmesi yönünde de çalışmalar mevcuttur.

## 1. Bor

Bor, simgesi "B", atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81 g/mol olan, periyodik cetvelde 3A grubunda yer alan, metalik ve ametalik özellik gösteren bir elementtir. Bor, doğada elementsel bir form olarak oluşmaz, kimyası karmaşıktır ve diğer elementlerle bileşikler (boratlar) oluşturur (2). Bor, Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin batısı, Türkiye, Brezilya, Rusya ve Çin'in bazı bölgelerinde yüksek miktarda bulunmaktadır (2, 3). Türkiye'nin dünya bor rezervinin yaklaşık %73'üne (4) sahip olması ve bor bileşiklerinin kullanım alanlarının geniş olması ülkemizin stratejik önemini arttırmaktadır.

Tabiatta yaklaşık 230 çeşidi olan bor mineralinin, oksijenle bağ yapmaya yatkın olması sebebiyle çok sayıda bor-oksijen bileşimi bulunmaktadır. Bor-oksit bileşiklerinin genel adı borattır (5). Ayrıca borun Ca, Mg ve sodyum elementleri ile de bileşikleri mevcut olup önemli olanlarından bazıları; boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), kolemanit

Geliş Tarihi : 15.10.2020

Kabul Tarihi : 18.02.2021

## Yazışma Adresi Correspondence

Muhsin MUTLU  
Fırat Üniversitesi,  
Veteriner Fakültesi,  
Besin Hijyeni ve Teknolojisi  
Anabilim Dalı,  
Elazığ – TÜRKİYE

[muhsin.mutlu82@gmail.com](mailto:muhsin.mutlu82@gmail.com)

(Ca<sub>2</sub>B<sub>6</sub>O<sub>11</sub>.5H<sub>2</sub>O) ve üleksittir (NaCaB<sub>5</sub>O<sub>9</sub>.8H<sub>2</sub>O). Bu bileşikler tabii boratlar olarak da bilinmektedir (6). Bor elementi <sup>8</sup>B, <sup>10</sup>B, <sup>11</sup>B, <sup>12</sup>B, <sup>13</sup>B izotoplarından oluşmaktadır. En kararlı izotopları <sup>10</sup>B ve <sup>11</sup>B'dir. Bu izotopların tabiatta bulunma oranları sırasıyla %19.1-20.3 ve %79.7-80.9'dir (5). Bor, borik asit ve borat bileşikler şeklinde insanlar tarafından binlerce yıl biyomedikal amaçla kullanılmasına rağmen (7), ilk gıda koruyucusu olarak 1870'lerde kullanılmıştır. Ayrıca borat ilavesi, et ve süt ürünleri gibi gıdaların lezzetini korumak veya raf ömrünü uzatma yöntemlerinden biri olarak kabul edilmiştir (8). Borun, insan ve hayvan metabolizmasına katkıda bulunduğu da bilinmektedir. Borun biyolojik etkileri, canlı organizmaların biyolojik sistemleri üzerindeki metabolik etkilerine de bağlanabilir. Canlı organizmalarda bor birçok enzimi, kemik gelişimini, mineralizasyonu, kalsiyum, fosfor, magnezyum ve enerji metabolizmasını etkilemektedir (9).

## 2. Bor ve Et Kalitesi

Et kalitesinin en önemli göstergelerinden bazıları pH, kül içeriği ve et rengidir (10). Etin pH değerindeki değişiklik etin kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu durum kesimden önce kas glikojen depolarındaki değişikliklerin doğrudan bir sonucudur (11). Yüksek pH'da protein, suyla daha kuvvetli bir şekilde bağlanarak daha az serbest su ve daha koyu bir et rengi elde edilebilmektedir (12). Ayrıca yüksek pH'da, etin lezzet bileşenlerinden hassasiyet artmakta ve lezzet daha az olmaktadır (11). Bor, oksidoredüktazların yardımıyla spesifik metabolik yollarla ilişkili süreçlerin kontrolünde temel bir rol oynamaktadır. Oksidoredüktazlar, enzim aktivitesini teşvik etmek için piridin nükleotidine ihtiyaç duyarlar. Bor, geçiş durumu analogları yapararak veya glikolizin önemli substratları olan nikotinamid adenin dinükleotid (NAD) veya flavin adenin dinükleotid (FAD) için rekabet ederek bu enzimlerin aktivitesini tersine çevirir (13). Bor, NAD'ye etki ederek glikolitik yolu inhibe etmekte böylece kasın laktik asit içeriğini azaltarak pH değerini etkilemektedir (14). Ayrıca borik asidin yüksek dozlarının (3.4 ve 4.5 mmol B/kg CA) tavuk göğüs kaslarında metabolit (örneğin; glikoz, glikojen, laktat ve ATP) azalmasına neden olarak kasın pH değerini yükselttiği bildirilmiştir (15). Kastaki kül içeriği de etin içindeki mineralleri ve eser elementleri temsil ettiği için önemli bir indekstir (16). Bor; magnezyum, fosfor, molibden ve kalsiyum gibi minerallerin metabolizması üzerine faydalı etkilere sahiptir (17). Etlik piliçlerin içme suyuna ilave edilen borun (100 mg/L) aynı zamanda etteki demir ve çinko seviyelerini de arttırdığı bildirilmiştir (18). Bor, kasın mineral içeriğini etkili bir şekilde arttırdığından kül içeriği kademeli bir artış gösterir fakat bor ve kül miktarı arasındaki bu ilişkiyi belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Bor takviyesi ayrıca serin proteazların aktivitesini de inhibe etmektedir. Serin proteazlar, prekürsör proteinlerin aktivasyonu ile çeşitli fizyolojik süreçlerde rol oynayan en bol proteolitik enzim gruplarından birini içermektedir (19). Yapılan bir çalışmada (14), devekuşu etinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değerlendirmek için devekuşlarının içme suyuna farklı dozlarda (160,

320 ve 640 mg/L) bor verilmiştir. Etin fiziksel özellikleri (örneğin; pH, damlama kaybı, pişirme kaybı), bor verilmesini takiben önemli sonuçlar göstermiştir. Bor ilavesi ile pişirme kaybının ve damlama kaybının azaldığı, et renginin ise etkilenmediği ortaya konmuştur. Devekuşu etinin kimyasal özellikleri değerlendirildiğinde (örn., nem, yağ, protein, kül ve kolesterol seviyeleri) bor ile işlem görmüş grupların, bor ile işlem görmemiş gruplara kıyasla protein ve kül değerleri anlamlı çıkmıştır. Devekuşu civcivlerinde etin hem fiziksel hem de kimyasal özelliklerinde 160 mg/L'ye kadar olan bor dozları etkili bulunmuştur.

## 3. Gıdalarda Bor Düzeyleri ve Gıda Takviyelerinde Bor Uygulamaları

Bor, gıdalarda bulunabilen ve doğrudan toprak minerallerinden elde edilebilen bir mineraldir. Literatür araştırmalarına göre bor içeriği zengin gıdalar kabuklu yemişler, kuru baklagiller (1.0-4.5 mg/100 g), meyve ve sebzelerdir (0.1-0.6 mg/100 g). Borun tahıllarda ve patateste az miktarda olduğu belirtilmektedir. Et ve et ürünleri, süt ve süt ürünleri ve yumurta (<0.06 mg/100 g) ise bor açısından fakir gıdalardır (20). Bazı gıdalardaki bor miktarları Tablo 1'de gösterilmiştir (21, 22).

**Tablo 1:** Bazı gıdalardaki bor miktarları (21, 22)

Besin	Bor içeriği / 100 g	Besin	Bor içeriği / 100 g
Badem	2.30	Yer fıstığı	1.80
Elma	2.73	Pirinç	<0.015
Elma suyu	1.88	Peynir	<0.015
Elma püresi	2.83	Yumurta	<0.015
Yeşil fasulye	0.46	Bal	0.72
Marul	<0.015	Süt	<0.015
Ekmek	0.20	Et	<0.015
Brokoli sapı	0.89	Hindi eti	<0.015
Havuç konservesi	0.75	Tavuk eti	<0.015
Ketçap	0.85	Armut konservesi	1.22
Kiraz	1.47	Kuru erik	2.70
Kuru hurma	0.92	Kuru üzüm	2.50
Un	0.28	Şeker	<0.015
Fındık	1.60	Üzüm suyu	2.02
Portakal suyu	0.41	Vişne	1.47
Şeftali konservesi	1.87		

Bor bileşikler, ticari olarak kullanılmakta olup neredeyse borun tamamı bor-oksijen bileşikler halinde bulunmaktadır. Bördaki ester bağlarının oluşumu sayesinde bor ticari uygulamalarda kullanılma olanağı bulmuş ve bu durum borun biyolojik etkileşimi için bir temel oluşturmuştur. Boratlar çoğunlukla kapsüllerde, efervesan tozlarda, çiğnenebilir tabletlerde, boraks ve borik asitli farklı sıvılarda gıda takviyesi olarak kullanılmaktadır. Bu ürünlerin formülasyonları farklı ürünlerde değişir. Ayrıca bu boratlar farklı gıda ürünlerinde 4 g/kg dozunda koruyucu olarak da kullanılabilir (23). Amerika Gıda Takviyesi Veri Tabanı'na

göre 2357 farklı gıda takviyesinde bor mevcut olup gıda endüstrisinde; kalsiyum fruktoborat, bor sitrat, bor aspartat, bor glisinat şelatları, bor askorbat ve sodyum borat içeren ürünler bulunmaktadır (24). Örneğin piyasada bor sitrat içeren "Solgar Calcium Magnesium Plus Boron" ve sodyum borat içeren "Holland&Barrett Boron" isimli ürünler bulunmaktadır.

Borik asit ve disodyum oktaborat tetrahidrat, bazı bakteri suşları üzerinde (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Aeromonas hydrophila* ATCC 19570, *Brucella melitensis* Rev1, *Vibrio anguillarum*, *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia ruckeri*, *Brucella abortus*) antibakteriyel ve antibiyofilik etkiler göstermiştir. Borun bu etkisi tıp ve endüstride farklı fonksiyonel mikroorganizmalarda yeni yöntemler ile kullanılması açısından önemlidir (25). Borun biyolojik sistemlerdeki önemli rolünün farkındalığı son yıllarda ortaya çıkmıştır. Birçok ülkede boratların gıda ürünlerinde kullanımına izin verilmiştir (26). Bor karides, erişte, pirinç ve nişasta jölesi gibi bazı gıdalarda esnekliği ve canlılığı arttırmak için bir tekstüre ajan olarak kullanılır. Avustralya Terapötik Ürünler İdaresi Başkanlığı kendi ülkelerinde 14 oral borat diyet takviyesi için lisans vermiştir. Ayrıca takviye konsantrasyonunun günde 3 mg'den az olması gerektiğini belirtmiştir. Bu takviyeler çoğunlukla D vitamini, magnezyum ve kalsiyum kombinasyonunda kullanılır (27). Borat kullanımını İngiltere ve Avrupa ülkelerinde mineral ve multivitamin takviyesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Boratların ticari ölçekte tek sınırlaması güvenli miktarda olması gereken konsantrasyonudur. 2004 yılında, "Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA)", yaş gruplarına bağlı olarak bor tüketimi için tolere edilebilir üst seviye miktarını 3-10 mg/gün olarak belirlemiştir (28). Bu nedenle yukarıda belirtilen üst seviyenin aşılması durumunda boratlar (özellikle sodyum borat ve borik asit), gıda maddelerine ve diyetlere spesifik beslenme amaçları doğrultusunda takviye için uygundur.

Liu ve ark. (29), pH değişikliklerini izleyebilen ve gıdalarda istenmeyen mikrobiyel büyümeyi önleyebilen akıllı bir nişasta/poli-vinil alkol (PVA) filmi geliştirmişlerdir. Filmdeki nişasta ve PVA polimerleri, suya dayanıklılıklarını ve mekanik güçlerini arttırmak için iki kez sodyum trimetafosfat ve borik asit ile çapraz bağlanmıştır. Bor bileşiklerinin gıda ambalaj malzemelerinde kullanılması yönünde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Argın ve ark. (30), yapmış oldukları çalışmada, antimikrobiyel ajan olarak borik asit ( $H_3B_3O_3$ ) ve tuzlarını (disodyum oktaborat tetrahidrat:  $Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$ ; sodyum pentaborat:  $NaB_5O_{15}$ ) içeren jelatinden antimikrobiyel ve biyobozunur ambalaj malzemeleri geliştirmişlerdir.

#### 4. Bora Maruz Kalma Yolları ve Toksik Etkileri

Bor toprakta ortalama 5-150 mg/kg, yer kabuğunda 10 mg/kg, deniz suyunda 4.6 mg/L ve havada ise 20 ng/m<sup>3</sup> miktarda bulunmaktadır (20). Bor, vücuda başlıca gıdalar ve içme suyu ile alınmaktadır. Bor madeninin üretildiği ve/veya işlendiği yerlerde ayrıca sabun, deterjan ve kozmetik ürünlerin üretildiği yerlerde çalışan ve/veya bu ürünleri kullanan kişiler bor bileşiklerine

solunum yoluyla veya deri ile temas yoluyla maruz kalmaktadır (31).

Bor ve bor bileşiklerinin vücut üzerindeki toksik etkileri özellikle doku düzeyinde yeterince çalışılmamıştır. Ancak Beyin-omurilik zarında tıkanıklık, yangı, ekfoliyatif dermatit, böbrek epitel hücrelerinin dejenerasyonu, şişme ve ödeme neden olduğu bildirilmiştir. Diyet veya sudaki seviyesine ilişkin risk değerlendirmelerinde, sodyum borat ve borik asidin yüksek düzeyde toksisiteye neden olduğunu göstermiştir. Sudaki sodyum borat ve borik asit, deri yanmasına neden olmaz fakat gözlerde tahrişe neden olmaktadır (32). Bor bileşikleri, test edilen tüm türlerde yüksek dozlarda zehirlidir fakat kanserojenik ya da mutajenik değildir. Ana toksisiteler reproduktif ve gelişimsel olmaktadır (33). Borik asit için en düşük ölüm dozu insanlar tarafından ağız yolu ile alındığında 640 mg/kg, deri yolu ile alındığında 8600 mg/kg, enjeksiyon yolu ile alındığında 29 mg/kg, total doz ise, erişkinler için 5-20 g, çocuklar için 5 gramın altı olarak bildirilmiştir. Günde toplam 500 mg'dan fazla bor alınması durumunda insanlarda bulantı, kusma, baş ağrısı, karın ağrısı, ishal, kas krampları, şok, halsizlik, sindirim ve merkezi sinir sistemi düzensizlikleri, salgı bezlerinin çalışmasının bozulması ve cilt lezyonları gibi toksisite belirtileri görülmektedir (32). Ancak gıdalar ile alınan bor miktarına bakıldığında insan ve hayvanlarda belirtilen bu dozu aşmanın mümkün olmayacağı da ifade edilmektedir (34).

#### 5. Borun Günlük Alım Miktarı ve Tolere Edilebilir Üst Seviyesi

Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, içme suyundaki bor miktarı 0.1- 0.3 mg/L arasında olup ayrıca WHO tarafından gıda ile bor alımı yaklaşık 1.2 mg/gün olarak belirlenmiştir (32). ABD Tıp Enstitüsü Gıda ve Beslenme Kurulu yetişkinler için tolere edilebilir üst seviyeyi 20 mg/gün olarak belirlemiştir (35). WHO borun güvenli üst alım seviyesini ilk olarak 13 mg/gün olarak belirlemiş fakat daha sonra bu değeri artırarak 0.4 mg/kg olarak belirlemiştir (31). EFSA tarafından tolere edilebilir üst alım seviyesi toplam 10 mg/kg/gün olarak bildirilmiştir. EFSA panelinde bor için kabul edilebilir günlük alım miktarı 0.16 mg/kg/gün olarak belirlenmiştir (36). Avustralya'da yapılan bir çalışmada kişilerin diyetle aldıkları bor miktarı ortalama  $2.23 \pm 1.23$  mg/gün olarak tespit edilmiştir (37). Gıdalar ve su ile bor alımı coğrafik koşullar ve diyet özelliklerine göre değişmekte ve bor alımının günlük toplam 1-7 mg olduğu ifade edilmektedir (38). EFSA verilerine göre ise içme suları ile günlük alınabilecek bor miktarının 0.2-0.6 mg/gün düzeyinde olabileceği bildirilmektedir (28).

#### 6. Bor ve Antimikrobiyel Aktivitesi

Bor, çeşitli biyolojik işlevler gerçekleştiren tüm canlı organizmaların bileşenlerinde bulunur. Bor, borofisin, aplazmomisin, tartrolon ve boromisin (39) gibi antibiyotiklerin bir bileşeni olup bakteriyel quorum sensing sinyal molekülünde, oto-indükleyicide (AI-2) (40) ve vibrioferrinde bulunur. Boraks, ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) en

basit bor tuzlarından biri olup bu molekül aynı zamanda çok geniş bir homeopatik, antiseptik ve bakterisid etkilere sahiptir (41). Guhl (42), yaptığı araştırmada boratların, konsantrasyonlara bağlı olarak *Pseudomonas putida*, *Photobacterium phosphoreum*, *Entosiphon sulcatum* ve *Paramecium caudatum* gibi mikroorganizmaların gelişimlerini inhibe ettiğini gözlemlemiştir. Bowen ve Gauch (43), yapmış oldukları araştırmalarda, borun bazı mantar türlerinin (*Saccharomyces cerevisiae*, *Neurospora crassa*, *Aspergillus niger* ve *Penicillium chrysogenum*) gelişimlerini inhibe ettiğini ve bu türler için esansiyel olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Bor bileşiklerinin su kaynaklarında *Pseudomonas aeruginosa* ATCC-27853 ve *Escherichia coli* MG1655/K12 tarafından üretilen biyofilmlerin inhibisyonu üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, 25 mg/mL sodyum tetraborat dekahidrat (STD) ve disodyum oktaborat tetrahidrat (DOT) konsantrasyonunun test edilen bakteriyel biyofilm oluşumu üzerinde en etkili inhibisyona neden olduğu saptanmıştır (44). Bor türlerinin diğer bir belirgin özelliği, *E. coli*, *Klebsiella* spp, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Enterobacter* spp, *Staphylococcus* spp, *Morganella* spp, *Proteus* spp, *Pseudomonas aeruginosa*, *Citrobacter* spp ve benzeri gibi geniş mikroorganizmalar üzerindeki biyosidal etkisidir (45). Bazı durumlarda borik asit *Candida* spp enfeksiyonlarında (46), maya enfeksiyonlarında (47) ve antikandidal olarak (48) kullanılmıştır. Borik asidin 1969'da ilk bakteriyostatik etkileri bildirilmiştir (49). Böylece, borik asidin dezenfektanlar, böcek ilaçları ve bakteriyel hastalıkları tedavi etmek için umut verici bir antibakteriyel faktör olduğu anlaşılmaktadır (44). Bor, çeşitli mikroorganizmalara karşı 1950'lerin ortalarına kadar antimikrobiyel gıda koruyucusu olarak kullanılmıştır. Günümüzde de klinik amaçlar için antifungal ajan olarak kullanılmaktadır (50). Demirci ve ark. (51), yaptıkları çalışmada bor türlerinden borik asit ve sodyum pentaborat pentahidrat (NaB)'in *in vitro* koşullardaki antimikrobiyel etkinliklerini, deri hücreleri üzerindeki proliferasyon, migrasyon, anjiyogenez, gen ve büyüme faktörü düzeylerini artırıcı etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar, her iki bor bileşiğinin de bakteri, maya ve mantarlara karşı önemli ölçüde antimikrobiyel etkilerinin varlığının yanı sıra, deri hücrelerinin proliferasyonunu, migrasyonunu, önemli gen ve büyüme faktörü düzeyini arttırdığını fakat NaB'nin etkisinin daha fazla olduğunu tespit etmiştir.

Bakteriyel quorum sensing, biyofilm oluşumu ve bakteriyel virülens faktörlerinin üretimi gibi çeşitli biyolojik proseslerle ilişkili olduğundan bu sistemi inhibe

edebilecek veya bozabilecek moleküllerin araştırılması önem taşımaktadır (52). Ni ve ark. (53), borik asit türevi moleküllerin quorum sensing üzerine inhibitör etkili antibakteriyel ajan olarak kullanılabileceklerini belirtmişlerdir. Biyofilm inhibisyonu ile ilgili yapılan bir çalışmada borik asitin insan oral kavitesinde *Enterococcus faecalis* tarafından oluşturulan biyofilm üzerine inhibitör etkili olabildiği ve irrigasyon sıvısı olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (54). Arın ve ark. (30), yapmış oldukları çalışmada borik asit ve tuzlarını içeren jelatin filmler, *Staphylococcus aureus* ve *Pseudomonas aeruginosa*'ya karşı antibakteriyel etkinin yanı sıra, *Aspergillus niger* ve *Candida albicans*'a karşı gösterdiğini bildirmişlerdir. Raimondi ve ark. (55), borun farklı türlerinin *in vitro* şartlarda *S. aureus* ATCC 25923, *E. coli* ATCC 25922, *C. albicans* ATCC 10231 üzerine bakterisid ve fungisid etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Yılmaz (49), *in vitro* şartlarda borik asit ve sodyum tetraboratın *S. aureus* ATCC 25923, *A. septicus* DSM 19415, *E. coli* ATCC 35218 ve *P. aeruginosa* ATCC 27853 bakterilerine karşı bakterisid etkili olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca Szalaj ve ark. (56), yaptıkları çalışmada lipopeptidaz ile esterifiye edilen boronik esterlerin *E. coli* type I signal peptidase (EcLepB) enzimini inhibe ederek *E. coli*'ye karşı iyi bir antibakteriyel etki gösterdiğini belirtmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada, heksagonal boron nitrit nanopartiküllerinin *Streptococcus mutans* 3.3, *Staphylococcus pasteurii* M3, *Candida* sp. M25 ve *S. mutans* ATCC 25175'a karşı önemli antimikrobiyel etkiye sahip olduğunu, *S. mutans* 3.3, *S. mutans* ATCC 25175 ve *Candida* sp. M25 gelişimini engelleyerek ağızda biyofilm oluşumunu önlediği tespit edilmiştir (57).

## 7. Sonuç

Yapılan son çalışmalar, yeterli miktarda alınan borun sağlık üzerine olumlu etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca literatür bilgileri bor türevi moleküllerin bakteri, küf, maya ve virüslere karşı bakteriyostatik, bakterisidal, fungistatik, fungisidal ve antiviral etkilerinin olduğu ve bazı hastalıkların tedavisinde kullanılabileceğini göstermektedir. Bor, gıda takviyelerinde ve gıdalarda koruyucu olarak kullanılmakta ayrıca borun son zamanlarda gıda ambalaj malzemelerinde kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Her ne kadar bor üzerinde sayısız denemeler son on yılda gerçekleştirilmiş olsa da borun hem mekanizmasını aydınlatmak için hem de gıda hijyeninde, et ve süt ürünlerinde ve yumurtada kullanımına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

## Kaynaklar

- Devirian TA, Volpe SL. The physiological effects of dietary boron. Crit Rev Food Sci 2003; 43: 219-231.
- Smith RA, McBroom RB. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. New Jersey: Jhon Willy & Sons, Inc, 2000.
- Kabu M, Akosman MS. Biological effects of boron. Rev Environ Contam Toxicol 2013; 225: 57-75.
- Eti Maden (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü). Bor sektör raporu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- Anonim. "Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü". <http://www.boren.gov.tr/tr/29.08.2019>.
- Demirtaş A. Bor bileşikleri ve tarımda kullanım alanları. Atatürk Üniv Ziraat Fak Derg 2006; 37: 111-115.

7. Soriano-Ursúa MA, Das BC, Trujillo-Ferrara JG. Boron-containing compounds: Chemo-biological properties and expanding medicinal potential in prevention, diagnosis and therapy. *Expert Opin Ther Pat* 2014; 24: 485-500.
8. Nielsen FH. Is boron nutritionally relevant? *Nutr Rev* 2008; 66: 183-191.
9. Kabu M, Uyarlar C, Żarczyńska K, Milewska W, Sobiech P. The role of boron in animal health. *J Elem* 2015; 20: 535-541.
10. Page JK, Wulf DM, Schwotzer TR. A survey of beef muscle color and pH. *J Anim Sci* 2001; 79: 678-687.
11. Silva JA, Patarata L, Martins C. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *Meat Sci* 1999; 52: 453-459.
12. Qiao M, Fletcher DL, Smith DP, Northcutt JK. The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poult Sci* 2001; 80: 676-680.
13. Hunt CD. Regulation of enzymatic activity. One possible role of dietary boron in higher animals and humans. *Biol Trace Elem Res* 1998; 66: 205-225.
14. Wang W, Xiao K, Zheng X, et al. Effects of supplemental boron on growth performance and meat quality in African ostrich chicks. *J Agricult Food Chem* 2014; 62: 11024-11029.
15. Geyikoglu F, Türkez H. Acute toxicity of boric acid on energy metabolism of the breast muscle in broiler chickens. *Biologia* 2007; 62: 112-117.
16. Shirley RB, Parsons CM. Effect of ash content on protein quality of meat and bone meal. *Poult Sci* 2001; 80: 626-632.
17. Olgun O, Yıldız AÖ. The effects of supplementation boron, zinc and their cadmium combinations on performance, eggshell quality, reproductive and biomechanical properties of bone in quail breeders. *Indian J Anim Res* 2014; 48: 564-570.
18. Shang C, Gu Y, Chen H, et al. Influence of boron on the content of copper, zinc, iron and manganese in chicken meat. *Stud Trace Elem Health* 2003; 21: 1-3.
19. Hedstrom L. Serine protease mechanism and specificity. *Chem Rev* 2002; 102: 4501-4524.
20. Uçkun Z. Esansiyel bir komponent: bor-borun günlük alımı ve fizyolojik etkileri. *J Turkish Sci* 2013; 6: 119-23.
21. Hunt CD, Shuler TR, Mullen LM. Concentration of boron and other elements in human foods and personal-care products. *J Am Diet Assoc* 1991; 91: 558-568.
22. Anonymous. "GreenFacts". <https://www.greenfacts.org/en/boron/toolboxes/2.htm/> 20.02.2020.
23. Commission Regulation (EU) No. 1129/2011. amending Annex II to Regulation (EC) No. 1333/2008 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union list of food additives. *Official Journal of the European Union (OJ)*, L 295, 2011; 1-177.
24. Anonymous. "National Institutes of Health". <https://dslid.nlm.nih.gov/dslid/15.09.2019>.
25. Sayin Z, Ucan US, Sakmanoglu A. Antibacterial and antibiofilm effects of boron on different bacteria. *Biol Trace Elem Res* 2016; 173: 241-246.
26. Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS). "Opinion on boron compounds". <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5ece60b6-7b19-4138-ad670024fb7783c8/> 20.09.2019.
27. Australian Government Department of Health. "Australian register of therapeutic goods". <https://www.tga.gov.au/australian-register-therapeutic-goods/20.02.2020>
28. European Food Safety Authority (EFSA). 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). *EFSA J* 2004; 80: 1-22.
29. Liu B, Xu H, Zhao H, et al. Preparation and characterization of intelligent starch/PVA films for simultaneous colorimetric indication and antimicrobial activity for food packaging applications. *Carbohydr Polym* 2017; 157: 842-849.
30. Argin S, Gülerim M, Sahin F. Development of antimicrobial gelatin films with boron derivatives. *Turk J Biol* 2019; 43: 47-57.
31. World Health Organization (WHO). Environmental health criteria for boron. *International programme on chemical safety*. Geneva 1998; 204: 1-192.
32. World Health Organization (WHO). Boron in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/70170/WHO\\_HSE\\_WSH\\_09\\_01\\_2\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y/20.02.2020](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/70170/WHO_HSE_WSH_09_01_2_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y/20.02.2020).
33. Fail PA, Chapin RE, Price CJ, Heindel JJ. General, reproductive, developmental, and endocrine toxicity of boronated compounds. *Reprod Toxicol* 1998; 12: 1-18.
34. Tosun E. Çeşitli Örneklerdeki Borun Spektrofotometrik Tayini. Yüksek Lisans Tezi, Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
35. Trumbo P, Yates AA, Schlicker S, Poos M. Dietary reference intakes: Vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. *J Am Diet Assoc* 2001; 101: 294-301.
36. European Food Safety Authority (EFSA). Scientific opinion on the re-evaluation of boric acid (E 284) and sodium tetraborate (borax) (E 285) as food additives. *EFSA J* 2013; 11: 1-52.
37. Naghii MR, Wall PM, Samman S. The boron content of selected foods and the estimation of its daily intake among free-living subjects. *J Am Coll Nutr* 1996; 15: 614-619.
38. Gezmen-Karadağ M, Türköz D. Diyetle bor alımının sağlık ile etkileşimi: Güncel bakış. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 2014; 3: 770-785.
39. Rezanka T, Sigler K. Biologically active compounds of semi-metals. *Stud Nat Prod Chem* 2008; 35: 835-921.
40. Chen X, Schauder S, Potier N, et al. Structural identification of a bacterial quorum-sensing signal containing boron. *Nature* 2002; 415: 545-549.
41. Moraga NB, Amoroso MJ, Rajal VB. Application in bioremediation and production of industrial enzymes. In: Amoroso MJ, Benimeli CS, Cuozzo SA, (Editors). *Actinobacteria*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013; 136-164.

42. Guhl W. Ecological aspects of boron. SÖFW J 1996; 118: 1159-1168.
43. Bowen JE, Gauch HG. Nonessentiality of boron in fungi and the nature of its toxicity. Plant Physiol 1966; 41: 319-324.
44. Ardeshir PZ. Analyzing Inhibitory and Disruptive Effect of Boron Derivatives on *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC-27853) and *Escherichia coli* (MG1655/K12) Biofilms on Surfaces in Water Supplies. M.S. Thesis, İstanbul: Yeditepe University, Science Institute, 2017.
45. Meers PD, Chow CK. Bacteriostatic and bactericidal actions of boric acid against bacteria and fungi commonly found in urine. J Clin Pathol 1990; 43: 484-487.
46. De Seta F, Schmidt M, Vu B, Essmann M, Larsen B. Antifungal mechanisms supporting boric acid therapy of *Candida vaginitis*. J Antimicrob Chemother 2009; 63: 325-336.
47. Schmidt M, Schaumberg JZ, Steen CM, Boyer MP. Boric acid disturbs cell wall synthesis in *Saccharomyces cerevisiae*. Int J Microbiol 2010; 2010: 930465.
48. Yilmaz MT. Minimum inhibitory and minimum bactericidal concentrations of boron compounds against several bacterial strains. Turk J Med Sci 2012; 42: 1423-1429.
49. Porter I, Brodie J. Boric acid preservation of urine samples. Br Med J 1969; 2: 353-355.
50. Takano J, Kobayashi M, Noda Y, Fujiwara T. *Saccharomyces cerevisiae* Bor1p is a boron exporter and a key determinant of boron tolerance. FEMS Microbiol Lett 2007; 267: 230-235.
51. Demirci S, Doğan A, Karakuş E, et al. Boron and poloxamer (F68 and F127) containing hydrogel formulation for burn wound healing. Biol Trace Elem Res 2015; 168: 169-180.
52. Baker SJ, Akama T, Zhang YK, et al. Identification of a novel boron-containing antibacterial agent (AN0128) with anti-inflammatory activity, for the potential treatment of cutaneous diseases. Bioorg Med Chem Lett 2006; 16: 5963-5967.
53. Ni N, Li M, Wang J, Wang B. Inhibitors and antagonists of bacterial quorum sensing. Med Res Rev 2009; 29: 65-124.
54. Zan R, Hubbezoglu I, Ozdemir AK, et al. Antibacterial effect of different concentration of boric acid against *Enterococcus faecalis* biofilms in root canal. Marmara Dental Journal 2013; 2: 76-80.
55. Raimondi MV, Cascioferro S, Schillaci D, Petruso S. Synthesis and antimicrobial activity of new bromine-rich pyrrole derivatives related to monodeoxypyoluteorin. Eur J Med Chem 2006; 41: 1439-1445.
56. Szalaj N, Lu L, Benediktsdottir A, et al. Boronic ester-linked macrocyclic lipopeptides as serine protease inhibitors targeting *Escherichia coli* type I signal peptidase. Eur J Med Chem 2018; 157: 1346-1360.
57. Kivanç M, Barutça B, Kopal AT, et al. Effects of hexagonal boron nitride nanoparticles on antimicrobial and antibiofilm activities, cell viability. Mater Sci Eng C 2018; 91: 115-124.