

Hayvan Beslemede Bor Elementinin Kullanımı

Derya YEŞİLBAĞ*

Geliş Tarihi: 21.01.2009

Kabul Tarihi: 05.03.2009

Özet: Bor insanlar ve hayvanlar için önemli bir iz elementtir. Bor elementinin insan ve hayvan dokularındaki biyokimyasal etki mekanizması tam olarak bilinmemekle beraber, cis-hidroksil grupları içeren bileşenlerle (şekerler, polisakkaritler vb) reaksiyona girerek hücre zarı fonksiyonları ve stabilitesinde rol alabileceği; hormon reseptörleri ve hücre membranları arası implusların iletiminde etkili olabileceği varsayılmaktadır. Bor'un mineral metabolizması, lipid metabolizması ve enerji metabolizmasında, immun sistem, endokrin sistem ve beyinde önemli fonksiyonları olduğu, performansı olumlu yönde etkilediği, osteoporoz, osteoartrit ve artrit önlenmesinde etkili olabileceği bildirilmektedir. Bor elementine daha çok kemik ve mineral metabolizması için ihtiyaç duyulmaktadır. Bu derlemede bor elementinin canlı metabolizma üzerindeki etkileri ve beslenme ile ilişkileri hipotezler ve araştırma sonuçları ile birlikte özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bor, Kemik Metabolizması, Mineral Metabolizması, Hayvan Besleme.

The Use of Boron in Animal Nutrition

Abstract: Boron is an essential trace element for animals and human. Although the exact mechanism of action in tissues is not fully understood it is assumed to be reacted with components (such as sugars and polysaccharides) containing cis-hydroxyl groups and acts in cell membrane functions and stability as well as transfer of stimuli between cell membranes and hormone receptors. Boron is accepted to have functions in mineral metabolism, lipid metabolism, immune response, endocrine system and brain. The other side it has positive effects on performance and osteoporosis. Boron is primarily needed for mineral and bone metabolisms while biochemical mechanism have not been fully described. This review is summarized the effects of boron on living metabolism together with hypotheses and research results.

Key Words: Boron, Bone Metabolism, Mineral Metabolism, Animal Nutrition.

1. Giriş

Kanatlı etinin son zamanlarda insan beslenmesi açısından öneminin giderek artmasıyla birlikte kanatlı hayvan yetiştiriciliği büyük bir sektör haline gelmiştir. Bu ilerlemede kısa zamanda kesim ağırlığına ulaşan ve yemi etkin bir şekilde değerlendiren tavuk ırklarının elde edilmesinin önemi büyüktür. Fakat canlı ağırlıktaki bu artış sindirim, solunum ve iskelet sisteminde bir takım aksaklıkları da beraberinde getirmiştir.

Bu problemleri en aza indirmek amacıyla farklı yetiştirme ve besleme koşulları sürekli olarak araştırılmaktadır.

Bacak kemiklerinin gelişimi, canlı ağırlığı taşımanın yanı sıra kesimde hedeflenen kusursuz karkas yapısının oluşumunda da önemlidir. Kemik gelişiminde kemiğin uzunluğu, ağırlığı ve kül oranı oldukça etkilidir. Kemik gelişimini desteklemek ve sürdürebilmek hazırlanan rasyonun kalitesi ile doğru orantılıdır. Rasyon içeriğindeki besin maddelerinin yerinde ve uy-

* U.Ü. Veteriner Fakültesi Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD, Görükle-BURSA. dyesilbag@uludag.edu.tr

gun miktarlarda katılması hayvanın sağlıklı gelişimi açısından önem arz etmektedir. Genelde rasyonlar hazırlanırken protein, metabolik enerji ve makro elementler doğru şekilde değerlendirilirken mikro besin elementleri gözden kaçmaktadır. Mikro besin elementlerinden biri olan bor'un insan ve hayvan beslenmesinde kullanımı oldukça yeni ve güncel bir konudur. Ancak günümüzde bor ile ilgili araştırmaların çok büyük bir bölümü endüstriyel amaçlarla yapılmaktadır. Sağlık ve besleme alanındaki çalışmalar ise sınırlı düzeydedir.

Bor elementi vücudumuzda özellikle kemiklerdeki kalsiyum, magnezyum ve fosforun korunması için gereklidir. Ayrıca bu üç mineralin vücutta maksimum düzeyde kullanılmasını ve korunmasını da sağlamaktadır. Bunun dışında bor beyin fonksiyonlarında, immun sistemde, kan hücrelerinin kompozisyonunda da rol oynamaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar üreme sisteminde ve embriyo gelişiminde de rol aldığını ortaya koymuştur. Kısacası bor elementi, canlı organizmalarda proton vericisi olarak indirekt etkilere neden olup hücre membranı, yapısı ve fonksiyonları üzerinde önemli fonksiyonları bulunmaktadır.

Bor elementinin hayvan rasyonlarına ilavesinin olumlu etkilere sahip olduğuna ilişkin çok sayıda araştırma bulunmakta ve bu araştırmaların büyük bir kısmında bor'un kemik metabolizması üzerine olan etkilerine değinilmiştir. Fakat bor mineralinin biyolojik önemi ve metabolizma üzerine olan etkilerine ilişkin çalışmalar devam etmektedir.

2. Bor Elementi

Bor, dünya petrol rezervlerine en fazla 50 yıl ömrün biçildiği ve küresel ısınmanın boyutlarının her geçen gün arttığı dünyamızda, "geleceğin petrolü" olarak da adlandırılmaktadır. Ülkemiz açısından büyük stratejik öneme sahip doğal kaynaklarımızdan biri olan bor minerali, ham olarak kullanılabilirdiği gibi genel olarak rafine bor bileşiklerine ve uç ürünlere dönüştürüldükten sonra da kullanım alanı bulabilmektedir. Cam endüstrisinden sabun ve deterjanlara, gübre ve tarımsal ilaçlardan aleve dayanıklı malzemelere, elektronik ve uzay teknolojilerine, tarım ve hayvancılık sektörüne kadar uzanan geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çeşitli alanlarda ticari olarak kullanılan bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları da giderek artmaktadır.

Atom numarası 5, atom ağırlığı 10.811 g olan bor minerali, ametal sınıfta B harfi ile gösterilen bir kimyasal elementtir¹². Nötr ya da nötre yakın pH değerlerine sahiptir. Bor bileşiklerinin en basitleri bor oksit ve borik asittir. Kalsiyumla birlikte bulunan formu "kolemanit", kalsiyum-sodyumla bulunan formu "üleksit" ve sodyumla bağlı olan formu "boraks" olarak bilinmektedir. Biyolojik sıvılarda %96 oranında borik asit formunda bulunurken çok az bir kısmı borat anyonu olarak bulunur⁴. Borik asit birçok hayvan türü ve insanlarda oral yoldan alındıktan sonra kolaylıkla ve tamamıyla emilmektedir²⁶. Borik asit ve borat cis-hidroksil grubu içeren çeşitli şeker ve diğer bileşiklerle kompleks oluşturma eğilimindedir³⁶.

3. Bor Kullanımının Tarihçesi

Bor tuzları, 4000 yıl önce ilk kez Tibet'te kullanılmıştır. Bor Mısırlılarda mumyalamada, Romalılarda cam yapımında, antik çağlarda Babilliler ve Etilerde altın ve gümüş işlemeciliğinde lehim olarak, Eski Yunan ve Romalılarda zemine serpilerek arena temizliği için kullanılmıştır. Bor madeni Avrupa'ya Tibet'ten Marco Polo tarafından getirilmiştir. MS 875 yılında ise Araplar bor tuzlarını kullanarak ilaç yapmışlardır. İlk borik asit 1700'lü yıllarda kimya öğretmeni William Homberg tarafından demir sülfat ile boraksın ısıtılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Modern bor endüstrisi ise 13. yy'da Marco Polo tarafından Tibet'ten Avrupa'ya getirilmesiyle başlamıştır. MS 1771 yılında İtalya'nın Tuscani bölgesindeki sıcak su kaynaklarında Sassolit bulunduğu anlaşılmış, takiben 1830 yılında İtalya'da borik asit üretimi başlamıştır. 1852'de Şili'de endüstriyel anlamda ilk boraks madenciliği başlamıştır. Nevada, California, Caliko, Moutain ve Kramer yöresindeki yatakların bulunarak işletilmeye alınmasıyla ABD dünya bor ihtiyacını karşılayan birinci ülke haline gelmiştir.

Türkiye'de ilk işletmenin 1861 yılında çıkartılan Maadin Nizannamesi uyarınca 1865 yılında bir Fransız şirketine 20 senelik işletme imtiyazı verilmesiyle başladığı bilinmektedir. 1950 yılında Bigadiç ve 1952 yılında Mustafa Kemal Paşa yöresindeki kolemanit yatakları bulunmuştur. 1956 yılında Kütahya Emet kolemanit, 1961 yılında Eskişehir Kırka boraks yataklarının bulunması ve işletilmeye başlanmasıyla Türkiye dünya bor üretimi içinde 1955 yıllarında %3 olan payını 1962'de %15, 1977'de %39 düzeyine yükseltmiş ve giderek artan üre-

timi sayesinde de günümüzde ABD'nin en önemli rakibi haline gelmiştir¹.

4. Bor Elementinin Kullanım Alanları

Günlük yaşantımıza her yönü ile giren, pek çok alanda alternatif olarak kullanılan, adeta mucize bir element olarak düşünülen borun endüstriyel kullanımı daha çok bor türevleri şeklinde olmaktadır. Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanlarını; deterjan, ilaç, seramik ve kimya sanayi, yanmayı önleyici madde yapımı, tarım, metalurji, enerji depolama, hava yastıkları, hidrolik fren, su arıtma, nükleer uygulamalar ve diğer kullanım alanları olarak sıralayabiliriz. Her ülkenin bor mineralleri ve ürünlerini kullanım alanlarındaki değerlendirme oranları farklılık göstermektedir. ABD'de en çok tüketim fiberglas yapımı ve yalıtım sanayinde olmaktadır. Batı Avrupa'da sabun ve deterjan sanayi bor tüketiminde öndedir. Japonya'da ise en büyük bor tüketimi tekstil ve fiberglas sanayidir⁴⁷.

Çok geniş ve çeşitli alanlarda ticari olarak değerlendirilen bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları AR-GE çalışmaları ile giderek artış göstermektedir. Üretilen bor minerallerinin %10'a yakın bir bölümü doğrudan mineral olarak tüketilirken geriye kalan kısmı bor ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır⁴⁸.

5. Bor Elementinin Canlılar İçin Önemi

5.1 Bitkiler İçin Önemi

1920'li yıllarda bor elementinin bitkilerin normal gelişimi ve ürün verebilmeleri için gerekli olduğu tespit edilmiştir. Baklagiller, pancar ve elma gibi bitkilerin bor gereksinimleri yüksek; pamuk, tütün, marul, şeftali ve kiraz'ın orta; tahıl ve patatesin gereksinimi ise azdır. Gerektiğinde gübreye eklenen bor ile toprağı zenginleştirilebilir. Fakat bu uygulama ile toprak ve sudaki bor miktarı yükselir ve bu yükseklik uzun süre devam ederse bitkiye zarar vererek bitkinin kurummasına yol açmaktadır. Sebze, meyve ve bazı gıdalarda bulunan bor düzeyine ilişkin bilgiler Tablo I'de verilmiştir¹⁹.

Sulama suyu olarak jeotermal suların kullanımı, yüksek bor içeriğı nedeniyle çevreye olumsuz etkide bulunmaktadır. Jeotermal suların yeraltı suları ile karışmaları sonucu, tarımsal alanlar olumsuz yönde etkilenecek bor kirliliğı ortaya çıkmaktadır. Bor bitkilerde karbonhidrat metabolizmasında, hormon aktivasyonunda ve nükleik asit sentezinde görev almaktadır. Bor

özellikle bitki hücre duvarının fibröz yapısında rol oynar¹⁴. Bitkiler gelişimleri için farklı düzeylerde bor mineraline ihtiyaç duymaktadır.

Tablo I. Bazı gıdalardaki bor düzeyleri ($\mu\text{g}/\text{g}^{-1}$)

Table I. Boron levels of some foods ($\mu\text{g}/\text{g}^{-1}$)

Gıda Maddesi	Bor Düzeyi (PGAA ¹)	Gıda Maddesi	Bor Düzeyi (PGAA ¹)
<u>Meyveler</u>		<u>Hayvansal ürünler</u>	
Muz	1.04	Siğır eti	< 0.05
Elma	2.73	Tavuk	0.34
Kiraz	7.00	Kuzu	0.14
Portakal	2.17	Karaciğer (siğır)	<0.07
Şeftali	2.06	Peynir	0.19
<u>Sebzeler</u>		Süt (% 2 Yağ)	0.23
Avokado	11.1	Yumurta	0.12
Brokoli	2.47	<u>Tahıl Ürünleri</u>	
Havuç	2.59	Ekmek	0.48
Mısır	0.49	Mısır gevreğı	0.92
Domates	0.75	Un	-
<u>Diğer Ürünler</u>		Pirinç	0.32
Bal	6.07	Makarna	0.14
Şeker	0.29	Yulaf unu	0.10

¹: Nötron Capture Prompt X-Ray Activation Analizi

5.2. İnsanlar İçin Önemi

Bor insan vücuduna doğal olarak yiyecek ve içeceklerle, solunum ve deri yolu ile alınmaktadır. Vücuda giren borun % 90–95 kadarı ilk 24 saatte değişikliğe uğramadan idrar ile atılırken çok az bir kısmı kemik, tırnak, saç, diş, kıl, karaciğer ve dalak gibi organlarda birirmektedir⁴³. İnsan ve hayvanlar için esansiyel bir iz element olduğu bildirilen bor'un mineral metabolizması, lipit metabolizması ve enerji metabolizmasında, immün ve endokrin sistem ile birlikte beyinde önemli fonksiyonları olduğu, performansı olumlu etkilediğı, osteoporoz, osteoartrit ve artrit önlenmesinde etkili olabildiğı düşünülmektedir³². Bor elementinin biyokimyasal mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte, insan ve hayvanlarda biyokimyasal fonksiyonları için iki hipotez öne sürülmektedir. Bunlardan ilki hücremembran fonksiyonları ile ilgili olup hormon aktivitesi, hücre sel sinyallerin iletimi ve cevabın oluşumuyla görevli iyonların kontrolündeki rolünü öngörmektedir. İkinci hipotez ise metabolik düzenleyici birkaç enzim sistemini aktive ettiğini savunmaktadır. Borun insanlar için aktif formu kalsiyum boroglukonat'tır.

İnsanlar üzerinde yapılan çalışmalarda ortaya çıkan önemli sonuçlardan birisi de diyete

bor ilavesinin normal 17- β östrodiol ve testesteron seviyesinde artışa (2 kat) neden olmasıdır. Steroid hormon konsantrasyonundaki bu değişiklik özellikle menopoz sonrası kadınlar için oldukça önemlidir. Östrojen hormonunun aktif formu olan 17- β östrodiol kemiklerden kalsiyum salınımını azaltıcı etki göstermektedir. Ayrıca kadınlarda testesteron 17- β östrodiol'un salınımında etkilidir. Yapılan birçok çalışmada diyetle bor ilavesi testesteron seviyesini iki katına kadar artırmıştır. Bu çalışmalar bor mineralinin, insanlarda steroid hormonların hidroksil gruplarını aktive etme yoluyla etkide bulunduğuna işaret etmektedir.

İnsanlar arasında borun günlük alınımı için yeterli olabilecek düzey henüz belirlenmemiştir. Fakat hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda insanlar için ihtiyaç duyulabilecek düzeyin en az 0,5 mg/gün olabileceği düşünülmektedir³⁴. Günümüzde The Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine (ABD) tarafından 18 yaş üstü yetişkin insanlarda bor için tolere edilebilir en yüksek düzeyin (UL) 20 mg/gün olduğu bildirilmektedir²⁹. İnsan vücudundaki bor düzeyi 3–20 mg/kg düzeyinde olup kemiklerde, tırnaklarda, parmaklarda ve saçta yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır. İnsanlar üzerinde yapılan çalışmalarda kan, serum ve idrar gibi vücut sıvılarında bor düzeyi sırasıyla 0.06, 0.02 ve 0.75 ppm olarak belirlenmiştir. Bor düzeyi arthrit oluşmuş ve sağlıklı kemiklerde farklılık göstermekte olup arthrit oluşmuş kemiklerde 3 ppm sağlıklı kemiklerde ise 56 ppm düzeyindedir.

5.3. Hayvanlar İçin Önemi

Bor elementinin insan ve hayvan vücudundaki biyokimyasal mekanizması çok az bilinmesine rağmen cis-hidroksil grupları içeren biyosubstratlarla (şekerler, polisakkaritler, adenozin-5 fosfat, piridoksin, riboflavin, dehidroaskorbik asit ve püridin nükleotidi) reaksiyona girerek hücre zarı fonksiyonları ve stabilitesinde, hormon reseptörleri ve transmembran sinyallerinde etkili olabileceği ileri sürülmektedir. Kanatlı ve diğer birçok hayvan türü için esansiyel olduğu düşünülmeyen bor, NRC tarafından 1984 yılında kanatlı hayvanların türü ve üretim tipi dikkate alınmadan rasyonlarında 2 ppm düzeyinde bulunması gerektiği bildirilmiştir. Sonraki dönemlerde ise kanatlılar için bir düzey belirtmekten kaçınılmıştır^{10,28}. Hunt ve Nielsen¹⁷ bor'un broylerlerde gelişim ve mineral (Ca ve P) metabolizması üzerine etkili olduğunu ve Vit D noksanlığına

bağlı belirtilerin azaltılmasında rol aldığını bildirmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda bor'un broylerlerde makro mineral metabolizması üzerinde de önemli rolü olduğu vurgulanmıştır^{7,41}.

Qin ve Klandorf³⁷ karma yemdeki bor'un yumurta verimi ile yumurta kabuk kalitesi ve kalsiyum metabolizması üzerine etkilerini inceledikleri 3 ayrı çalışma sonucunda, bor katkısının yumurta verimini azalttığı, yumurta kabuk kalitesini etkilemezken tibia kemik küllünü artırdığını bildirmişlerdir. Rossi ve ark.³⁹ karma yemde 2 farklı bor kaynağının (borik asit, sodyum tetra borat-borax) etkisini inceledikleri çalışmalarda canlı ağırlık, yumurta ağırlığı, ölüm oranı ve kabuk ağırlığının uygulamalardan etkilenmediğini fakat yumurtadan çıkış gücü ve kuluçka randımanının kontrol grubuna göre daha yüksek bulunduğunu bildirmişlerdir. Rossi ve arkadaşları⁴⁰ etlik civcivlerde bor ve riboflavinin etkilerini inceledikleri çalışmalarında 21. gündeki canlı ağırlık, yem tüketimi ve ölüm oranının 320 mg/kg bor katkılı yemle beslenen deneme grubunda düşük çıktığını tespit etmişlerdir. McCoy ve arkadaşları²⁷ karma yeme bor ilavesinin, düşük kalsiyum içeren yemlerle beslenen erkek farelerin kemikleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında, bor ilavesiyle femurdaki dayanma gücünün etkilenmediğini saptamışlardır. Dupre ve arkadaşları⁶ ise vitamin D bakımından yetersiz olarak beslenen civcivlerin yemlerine bor katkısının eksiklik belirtilerini azalttığını bildirmişlerdir. Wilson ve Ruszler⁴⁴ ergin yumurta tavuklarıyla yaptıkları çalışmada 6 farklı düzeydeki borik asit ilavesinin (3, 5, 7, 14, 28 ve 56 mg/kg) yumurta verimi parametresi üzerinde etkili olmadığını bildirmişlerdir. Eren ve arkadaşları'nın⁸ 18 haftalık yumurta tavuklarıyla yaptıkları çalışmalarında farklı düzeylerdeki (5, 10, 50, 100, 200 ve 400 mg/kg) borik asit ilavesinin yumurta iç ve dış kalite özelliklerinde değişimlere neden olduğu ve özellikle 400 mg/kg ilavenin canlı ağırlığı, yem tüketimini ve yumurta verimini düşürdüğü tespit edilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada rasyona bor ilavesi yumurta kolesterol içeriğini artırırken serum kolesterol içeriğinde ise düşüşe neden olmuştur. Nielsen³³ 170–200 g ağırlığındaki erkek ve dişi ratlarla yapmış olduğu çalışmasında farklı iki yağ kaynağı içeren rasyonlara 3 mg/kg düzeyindeki bor ilavesiyle femur direncinin, tibial kalsiyum ve fosfor içeriğinin ve kemik organik matriksiyle ilişkili minerallerin (çinko ve potasyum) düzeyinin arttığını tespit etmiştir. Yeşilbağ ve Eren⁴⁵ yaşlı yumurta tavuğu rasyonlarına ilave edilen 25, 50 ve 100 mg/kg düzeylerindeki borik asidin

performans parametreleri ve yumurta kabuk kalitesi üzerine olan etkilerini incelemiştir. Araştırma sonucunda yaşlı yumurta tavuğu rasyonuna borik asit ilavesinin mineral denge üzerine olan olumlu etkileri nedeniyle yumurta kabuk kalitesini belirleyen parametrelerde (kabuk kalınlığı, kırılma mukavemeti ve kırılma direnci) iyileşmelere neden olduğu tespit edilmiştir.

6. Bor Mineralinin Başlıca Etkileri

6.1. Kemik Gelişimi

Kolekalsiferol noksanlığı bulunan kanatlı rasyonlarında bor yetersizliğinde hayvanlarda şiddetli düzeyde kemik anomalileri şekillendiği tespit edilmiştir^{18,20}. Bor yetersizliğinde kemik iliğinde bükülmeler ve kırıldak dokunun kalsifikasyon başlangıcında gecikme meydana gelmektedir¹⁵. Kolekalsiferol eksikliği bulunan kanatlı rasyonlarında bor yetersizliği kemiklerin büyüme bölgesindeki (growth plate) kondrosit yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır. Bu bilgilere göre B'un uzun kemiklerin gelişim bölgelerinde olgunlaşmayı sağladığı değerlendirilmektedir²⁰.

Bor mineralinin kemik yapısı üzerine etkilerinin incelendiği bir araştırmada tibia bor düzeyinin rasyona ilave edilen bor konsantrasyonu ile orantılı olarak arttığı fakat tibia Ca ve P konsantrasyonunun ise azaldığı tespit edilmiştir²².

6.2. Beyin fonksiyonları

Erişkin ratlarda bor yetersizliği beyin elektriksel aktivitesini etkilemektedir. Bu temel büyük olasılıkla beyin elektriksel dağılımıyla ilgilidir³³. Genel olarak bor'un beyin aktivasyonunda önemli bir rolü bulunduğu kabul edilir. Beynin mineral kompozisyonu bor yetersizliğinden etkilenmektedir. Ratlarda kolekalsiferol yetersizliğinde beyin tümü ve korteks tabakasındaki kalsiyum konsantrasyonu ile cerebellumdaki fosfor konsantrasyonu bor noksanlığı olan grupta bor ilavesi yapılan gruba oranla daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca bor yetersizliğinde beyindeki bakır konsantrasyonun da arttığı tespit edilmiştir³⁴.

6.3. Makromineral metabolizması

Bor noksanlığında kalsiyum, magnezyum ve fosfor minerallerinin dengesinde ve emiliminde azalma olduğu ve plazma konsantrasyonlarında değişikliklerin olduğu belirlenmiştir¹³. Ayrıca kolekalsiferol noksanlığı olan düşük bor

içeren (0.3 µg/g) tavuk diyetlerine bor ilavesi (1.4 µg/g) 25- hidroksikolekalsiferol ile 1-25 dihidroksikolekalsiferol konsantrasyonunu artırmıştır³. Yapılan diğer çalışmalarda ise magnezyum yönünden yetersiz rasyonla beslenen broyler tavukların rasyonlarına bor ilavesi yapıldığında plazma kalsiyum ve magnezyum düzeylerinin arttığı ve kemik ALP aktivitesinin düştüğü belirlenmiştir¹⁵. Kurtoglu ve ark²¹ yapmış oldukları çalışmalarında Vitamin D3 bakımından yetersiz broyler rasyonlarına Vitamin D3 ilavesiyle 25 mg/kg düzeyinde bor ilavesinin serum fosfor konsantrasyonunu artırdığını ve alkali fosfataz enziminin düzeyini düşürdüğünü bildirmişlerdir. Yapılan farklı bir çalışmada da rasyona bor ilavesi serum kalsiyum ve fosfor düzeyinde artışlara neden olmuştur²².

6.4. Enerji metabolizması

Hunt¹⁶ düşük düzeyde (0.2 mg/kg) bor içeren tavuk rasyonlarına bor ilavesinin (1.3 mg/kg) 2-fosfogliserat düzeyini artırdığını ve karaciğerde dihidroksiaseton düzeyini azalttığını tespit etmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda bor mineralinin karaciğerde glikolitik mekanizmayı etkilediği ve dolayısıyla enerji metabolizması üzerinde etkili olabildiği söylenebilir.

6.5. İmmunolojik fonksiyonlar

Yapılan çalışmalarda bor'un immün sistem ve yangısal olaylarda etkili olduğu belirlenmiştir. Bai ve Hunt² bor yetersizliğinde ratların bakteriyel antijenlere karşı oluşturdıkları immün cevabın baskılandığını ortaya koymuşlardır. Bir bor kaynağı olan boraks'ın anti-artritik etkisi olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmalar bor'un ratlarda serum antikor konsantrasyonunu artırarak immün sistemi etkilediğini ortaya koymuştur⁴⁶.

6.6. İnsulin sekresyonu

Yapılan çalışmalar dietlerine bor ilavesi glikoz düzeylerindeki düşüşü, bor'un glikozun yapısında yer alan hidroksil grubu ile kompleks oluşturmasından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir¹⁵. Kolekalsiferol noksanlığı olan ratlarda bor yetersizliğinin plazma insulin düzeyini artırdığı belirlenmiştir¹⁷.

6.7. Steroid hormon metabolizması

Yapılan birçok çalışmada bor'un steroid hormon metabolizması üzerinde etkinliği olduğu ortaya konulmuştur^{25,30,42}. Ayrıca bu çalışmalarda belirli steroid hormonların (östrodiol) hidroksilasyon basamağında rolü olduğu belirlenmiştir. Menapoz dönemde 7 hafta boyunca

günde 3 mg/kg düzeyinde sodyum borat alınımının testesteron ve 17- β östrodiol seviyesinde önemli artışlara neden olduğu gösterilmiştir³⁰. Aynı durum hayvan çalışmalarında da gözlemlenmiştir. Ratlarda günde 2 mg/kg düzeyinde borik asit tüketimi 4 haftalık dönem sonunda plasma testesteron düzeyinde önemli artışlara neden olmuştur⁵.

6.8. Lipid metabolizması

Diyetlere ilave edilen bor plasma lipid düzeyini düşürücü bir rol üstlenmektedir. Araştırmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bor içerikli ilaçların serum LDL (low density lipoprotein), kolesterol ve trigliserid değerleri üzerinde azaltıcı bir etkinliğinin olduğu söylenebilir. Eren ve ark.⁹ bıldırcın rasyonlarına borik asit ilavesinin serum trigliserit ve total kolesterol miktarını önemli ($p < 0.05$) düzeyde düşürdüğünü ancak serum HDL ve LDL konsantrasyonunu etkilemediğini bildirmişlerdir. Kurtoğlu ve ark.²³ broyler rasyonlarına ortoborik asit ilavesinin plasma total kolesterol düzeyini artırdığını tespit etmişlerdir.

6.9. Kan hücrelerinin miktarı ve kompozisyonu

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda bor'un kan hücrelerinin miktarı ve kompozisyonu üzerine de etkili olduğu bildirilmektedir. Kan hücrelerinin formasyonu ve olgunlaşması hücre membranı yapısındaki değişimlerden, böbrek fonksiyonlarından ve kalsiyum metabolizmasından etkilenebilmektedir. Fakat bor mineralinin kanatlı ve diğer hayvanların kan hücreleri üzerine olan etkileri hakkında oldukça sınırlı bilgi bulunmaktadır³¹. Kurtoğlu ve ark.²³ broyler rasyonlarına 5-25 mg/kg düzeyinde ilave ettikleri bor'un kan HCT ve Hb değerlerinde istatistikî açıdan önemli ($p < 0.05$) artışlara neden olduğunu tespit etmiştir.

Diğer taraftan bor'un serin proteaz ile yakın bir etkileşimi olduğu ortaya konulmuştur. Bilindiği gibi serin proteaz önemli bir proteolitik enzimdir ve normal yangısal metabolizmanın düzenlenmesinde rol oynamaktadır. Ayrıca bor TNF α üretiminde de rol oynayabilmektedir. TNF α bir sitokin olup immun yanıtta reaksiyonları düzenleyen polipeptid moleküldür¹¹.

Sonuç

Sonuçta kanatlı ve diğer hayvan türleri için bor esansiyel bir element olarak düşünülmektedir. Ülkemiz dünya bor varlığının %70'ine

sahip olmasına karşılık bor elementinin çiftlik hayvanlarının verim ve genel sağlık performansı üzerine olan etkilerini belirlemeye yönelik çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Borun hayvan ve insan organizmasındaki kemik gelişimi ve mineralizasyonu, Ca, P ve Mg metabolizması, enerji metabolizması, çeşitli enzim aktivasyonunun sağlanması gibi etkileri yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu çalışma sonuçlarının değerlendirilerek bor mineralinin hayvanların rasyonlarına yer alması performansın iyileştirilmesinde, kemik yapısına ilişkin bozuklukların giderilmesinde ve lipid metabolizmasına ilişkin kolesterol ve trigliserit düzeylerinin düşürülmesinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle bor ve bor bileşiklerinin hayvan rasyonlarında olumlu olabilecek dozunun belirlenmesi, diğer metabolizmalar üzerine olan etkilerinin ortaya konulabilmesi ve biyokimyasal fonksiyonlarının kesin olarak açıklanabilmesi açısından daha fazla araştırmalara ve araştırma sonuçlarının pratiğe aktarılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

1. Ademdir, O., 2002. Bor Ürünlerinin Teknolojileri ve Türkiye'nin Durumu. İTÜ İleri Teknoloji Seramik ve Kompozitleri Araştırma Merkezi. I. Uluslar arası Bor Sempozyumu 3-4 Ekim Dumlupınar.
2. Bai, Y., Hunt, CD., 1996. Dietary Boron (B) Increases Serum Antibody Concentrations in Rats Immunized With Heat-Killed Mycobacterium Tuberculosis (MT). *FASEB J.* 10, A819.
3. Bakken, N.A., Hunt, C.D., 1995. Dietary Boron Affects Plasma 1, 25 Dihydroxyvitamin D Concentrations and Peak Pancreatic Insulin Secretion in the Chick. New Approaches, Endpoints, and Paradigm for RDA's of Mineral Elements Abstracts, p.30. University of North Dakota and USDA, ARS, Grand Forks Human Nutrition research Center, Grand Forks, ND.
4. Bolanos L., Lukaszewski K., Bonilla I., Blevins, D., 2004. Why Boron? *Plant Physiol Biochem.* 42, 907-912,
5. Devirian, T.A., Volpe, S.L., 2003. The Physiological effects of Dietary Boron. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 43 (2), 219-231.
6. Dupre, J.N., Keenan, M.J., Hegsted, M., Brudevold, A.M., 1994. Effects of Dietary Boron in Rats Fed Vitamin D-Deficient Diet. *Environmental Health Perspectives* 102, Supplement 7, 55-58.

7. Elliot, M.A., Edwards, H.M., 1992. Studies to Determine Whether an Interaction Exists Among Boron, Calcium and Cholecalciferol on the Skeletal Development of Broiler Chickens. *Poult. Sci.* 71, 677–690.
8. Eren, M., Uyanık, F., Küçükersan, S., 2004. The Influence of Dietary Boron Supplementation on Egg Quality and Serum Calcium, Inorganic Phosphorus, Magnesium Levels and Alkaline Phosphatase Activity in Laying Hens. *Res. Vet. Sci.* 476, 203-210.
9. Eren, M., Kocaoğlu, B., Uyanık, F., Karabulut, N. 2006. The Effects of Boron Supplementation on Performance, Carcass Composition and Serum Lipids in Japanese Quails. *J. of Animal and Vet. Advances.* 5 (12), 1105-1108.
10. Fassani E.J., Bertechini A.G., Brito J.A.G., Kato R.K., Fialho E.T., Geraldo A., 2004. Boron Supplementation in Broiler Diets. *Brazilian J. of Poult. Sci.* 6, 213-217.
11. Goldbach, H.E., Wimmer, M.A. 2007. Boron in Plants and Animals: Is There a Role Beyond Cell-Wall Structure. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 170, 39-48.
12. Greenwood, N.N., Earnshaw, A., 1984. Chemistry of the Elements. Pergamon Press, New York.
13. Hegsted, M., Keenan, M.J., Siver, F., Wozniak, P., 1991. Effect of Boron on Vitamin D Deficient Rats. *Biol. Tr. Elem. Res.* 28, 243–255.
14. Howe, P.D., 1998. A Review of Boron Effects in the Environment. *Biol. Tr. Elem. Res.* 66, 153-166.
15. Hunt, C.D., 1989. Dietary Boron Modified the Effects of Magnesium and Molybdenum on Mineral Metabolism in the Cholecalciferol Deficient Chick. *Biol Trace. Elem. Res.* 22, 201–220.
16. Hunt, C.D., 1997. Boron and Vitamin D Deficiencies Affect Hepatic Glycolytic Metabolite Concentrations in the Chick. *NRC Research Press*, Ottawa, Ontario, Canada.
17. Hunt, C.D., 1998. One Possible Role of Dietary Boron in Higher Animals and Humans. *Biol. Tr. Elem. Res.* 66, 205–225.
18. Hunt, C.D., Nielsen, F.H., 1981. Interaction Between Boron and Cholecalciferol in the Chicks. *Australian Academy of Science.* 97, 600.
19. Hunt, C.D., Shuler, T.K., Mullen, L.M., 1991. Concentration of Boron and other Elements in Human Foods and Personal Care Products. *J. Am. Diet. Assoc.* 91, 558-568.
20. Hunt, C.D., Herbel, J.L., Nielsen, F.H., 1994. Dietary Boron Modifies The Effects of Vitamin D3 Nutrition on Indices of Energy Substrate Utilisation and Mineral Metabolism in the Chick. *J. Bone Min. Res.* 9, 171–182.
21. Kurtoğlu, V., Kurtoğlu, F., Coşkun, B. 2001. Effects of Boron Supplementation of Adequate and Inadequate Vitamin D3 Containing Diet on Performance and Serum Biochemical Characters of Broiler Chickens. *Research in Vet. Sci.* 71, 183-187.
22. Kurtoğlu, V., Coşkun, B., Şeker, E., Balevi, T., Çetingül, I.S. 2002. Effects of Boron Supplementation on Performance and Some Serum Biochemical Parameters in Laying Hens. *Revue de.Med. Vet.* 153, 823-828.
23. Kurtoğlu, F., Kurtoğlu, V., Çelik, İ., Keçeci, T., Nizamlioğlu, M. 2005 Effects of Dietary Boron Supplementation on Some Biochemical Parameters, Peripheral Blood Lymphocyte, Splenic Plasma Cell, Counts and Bone Characteristics of Broiler Chicks Fed with Adequate or in Adequate Vitamin D3 Containing Diet. *B. Poult. Sci.* 46, 87-96.
24. Kurtoğlu, V., Kurtoğlu, F., Sur, E., Bulut, Z., Önder, F. 2007. Effects of Boron Supplementation to The Diet on Tibia Mineral Concentrations, Peripheral Blood Leucocytes Percentages and Some Selected Variables of Layers. *Archiv für Geflügelkunde* 71, 13-18.
25. Lee, I.P., Sherins, R.J., Dixon, R.L. 1978. Evidence for Induction of Germinal Aplasia in Male Rats by Environmental Exposure to Boron. *Tox. Appl. Pharmacol.* 45, 577-590.
26. Murray F.J., 1998. A Comparative Review of the Pharmacokinetics of Boric Acid in Rodent and Humans. *Biol. Trace Elem. Res.* 66, 331–41.
27. McCoy, H., Montgomery, C., Kenny, M.A., 1990. Effects of Boron Supplementation on Bones from Rats Fed Low Calcium Diets. In Proc. FASEB AL 309. Abstract No: 5446.
28. National Research Council. 1994. Nutrient Requirements of Poultry. National Academy Press. Washington, DC.
29. National Academy Press., 2001. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, Panel on Micronutrients. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium and Zinc.
30. Nielsen, F.H., Hunt, C.D., Mullen, L.M., Hunt, J.R. 1987. Effect of Dietary Boron on Mineral, Estrogen and Testosterone Metabolism in Postmenopausal Women, *FASEB.J.* 87, 394-397.
31. Nielsen, F.H., Mullen, L.M., Nielsen, E.J 1991. Dietary Boron Affects Blood Cell Counts and Hemoglobin Concentrations in Humans. *The J. of Trace Elem. in Exp. Med.* 4, 211-223.
32. Nielsen, F.H., 1997. Boron in Human and Animal Nutrition. *Plant and Soil.* 193, 199-208.
33. Nielsen, F.H., 2004. Dietary Fat Composition Modifies the Effect of Boron on Bone Characteristics and Plasma Lipids in Rats. *Biofactors.* 20, 161–171.
34. Nielsen, F.H., Shuler, T.R., Zimmerman, T.J., Uthus, E.O., 1988. Dietary Magnesium,

- Manganase and Boron Affect the Response of Rats to High Dietary Aluminum. *Magnesium*. 7, 133-147.
35. Penland, J.G., Eberhardt, M.J., 1993. Effects of Dietary Boron and Magnesium on Brain Function of Mature Male and Female Long Evans Rats. *J. Trace Elem. Exp. Med.* 6, 53-64.
36. Penland, J.G., 1998. The Importance of Boron Nutrition for Brain and Psychological Function. *Biol. Tr. Elem. Res.* 66, 299-317.
37. Qin, X., Klandorf, H., 1991. Effects of Dietary Boron Supplementation on Egg Production, Shell Quality, and Calcium Metabolism in Aged Broiler Breeder Hens. *Poult. Sci.* 70, 2131-2138.
38. Roessner, U., Patterson, J.H., Forbes, M.G., Fincher, G.B., Langridge, P., Bacic, A., 2006. An Investigation of Boron Toxicity in Barley using Metabolomics. *Plant Physiology*. 142, 1087-1101.
39. Rossi, A.F., Bootwalla, S.M., Miles, R.D., 1990. The Effect of Feeding Two Sources of Boron on Broiler Breeder Performance. *Poult. Sci.* 69, 187 (Abstract).
40. Rossi, A.F., Bootwalla, S.M., Miles, R.D., 1991. Boron and Riboflavin Addition to Broiler Diets. *Poult. Sci.* 69, 186 (Abstract).
41. Rossi, A.F., Miles, R.D., Damron, B.L., Flunker, L.K., 1993. Effect of Dietary Boron Supplementation on Broilers. *Poult.Sci.* 72, 2124-2130.
42. Samman, S., Naghii, M.R., Lyons Wall, P.M. Verus, A.P. 1998. The Nutritional and Metabolic Effects of Boron in Humans and Animals. *Biol. Tr. Elem. Res.* 66, 227-235.
43. Şaylı, B.S., 2000. İnsan Sağlığı ve Bor Mineralleri. A. Ü. Tıp Fakültesi- Eti Holding Araştırma Projeleri Yürütücüsü. Ankara. Mayıs 2000.
44. Wilson, J.H., Ruzler, P.L., 1995. Effects of Dietary Boron on Poultry Bone. Strength. *Transactions of the ASAE.* 38, 167-170.
45. Yeşilbağ, D., Eren, M., 2008. Effects of Dietary Boric Acid Supplementation on Performance, Eggshell Quality and Some Serum Parameters in Aged Laying Hens. *Turkish J. of Vet. And Anim. Sci.* 32 (2), 113-119.
46. Yisheng, B., Curtiss, H. 1998. Dietary Boron Enhances Humoral Immun Responses Tektran, United states Deparment of Agriculture. *Agricultural Research Services.* 12-18.
47. Yıldız, N., Bor. Erişim adresi: www.maden.gov.tr. Erişim tarihi: 24. Mayıs 2008.
48. Yılmaz, A., 2002. "Her Derde Deva Hazinemiz Bor". TUBİTAK-Bilim ve Teknik Dergisi, Ankara.