



# Bor ve Bor Bileşikleri

Bor, doğada canlılığın devamı için vazgeçilmez elementlerden birisidir. Bunun yanı sıra bor bileşikleri insanlığın en eski dönemlerinde, sert camların ve sırların hazırlanmasından beri bilinmektedir. Günümüzde ise bor bileşiklerinin sert malzemelerden yanı iletkenlere ve antitümör ilaçlara kadar kullanımları söz konusudur.

Dr. HANDAN YAVUZ\*

Dr. ADİL DENİZLİ\*

\*Hacettepe Üniversitesi, Kimya Bölümü,  
Beytepe, Ankara

**B**or bir metalloiddir (hem metalik hem ametalik özellikler gösteren bir element). Kokusuz, siyah, sert katı görünümündedir. Kahverengi amorf toz şeklinde de görülebilir. Bir yarıiletkenidir. Yüksek erime noktası ve sıvının korrozifliği nedeniyle saf bor hazırlamak oldukça zordur. Periyodik tabloda karbonun komşusu olan borun değerlik orbita-

lindeki bir elektron eksikliği, borun kimyasında büyük farklılık yaratır. Zengin ve çeşitli kimyasına karşın karbondan önemli farklılıklar gösterir. (Tablo 1)

Bor bol bulunan bir element değildir. Yerkabuğundaki bor yüzdesinin 0.001-0.0003 civarında olduğu varsayılmaktadır. Doğada elementel halde değil çoğunlukla boratlar olarak adlandırılan oksijenli bileşikler halinde bulunur. Doğada bulunan yaklaşık 230 çeşit bor mineralinden özellikle tinkal, kolemanit, üleksit, probertit, pandemit, szyabelit, hidroborasit ve kernit ticari öneme sahiptir. Genel bor bileşikleri borik asit, borat tuzları



ve bor oksittir. (Tablo 2)

ABD, Şili, Arjantin, Peru, Bolivya, İtalya ve Türkiye'de yüksek miktarda bor maden rezervleri bulunmaktadır. Türkiye'deki bor madenleri dünya rezervlerinin %72'sini oluşturmaktadır ve dünyanın en büyük bor bileşiği sağlayıcısı olarak bilinen Etibank tarafından işletilmektedir.

Türkiye'de bilinen başlıca borat yatakları Batı Anadolu'da yer almakta ve bu yataklar dünya

Temel Özellikleri	Fiziksel Özellikleri
Atom Numarası: 5	Maddenin Hali: Katı
Element Serisi: Metalloidler	Yoğunluk: 2,34 g/cm <sup>3</sup>
Grup, Periyot, Blok: 13, 2, p	Sıvı haldeki yoğunluk: 2,08 g/cm <sup>3</sup>
Görünüş: Siyah/kahverengi	Erime Noktası: 2076°C
Atom Ağırlığı: 10,811 g/mol	Kaynama Noktası: 3927°C
Elektron Dizilimi: He 1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup>	

Tablo 1.

rezervinin %60-70'ine sahip bulunmaktadır. Türkiye rezervlerinin %37'si Bigadiç, %34'ü Emet, %28'i Kirka ve %1'i Kestelek bölgesinde bulunmaktadır.

Bor mineral ve bileşiklerinin ülkemiz içinde kullanılması çok kısıtlıdır. Kirka (Eskişehir) ve Bandırma (Balıkesir)'da yer alan tesislerde bor cevherleri rafine ürüne dönüştürülmektedir.

### Bor Bileşikleri ve Genel Kullanım Alanları

Bor oldukça değerli bir mineraldir ve pişirme kaplarından tıp alanına, nükleer atık depolarından uzay araştırmalarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Bor bileşikleri genellikle borosilikat cam ürünleri olarak kullanılmakla birlikte, tarımda, yanmayı geciktiricilerde, sabun ve deterjanlarda da kullanılmaktadır.

Bor özel amaçlı alaşımlarda, demirin tavlanması, bakır ve diğer metaller için oksijen yakalayıcı olarak, metaller veya seramiklerle kompozitlerinde fiber ve filament olarak, yarı iletken olarak, nükleer reaktörlerde, nükleer radyasyon için perde olarak ve nötron tayin eden cihazlarda kullanılmaktadır. Fişek ışıklarında (ayırt edici yeşil renkte), roketlerde (ateşleyici olarak), bor kaplı tungsten tellerde ve yüksek sıcaklık piriç alaşımlarında da bor bileşikleri mevcuttur.

Saf bor, borhidrürlerin veya halürlerin pirolizinden veya bor klorür veya bromürün hidrojenle indirgenmesiyle elde edilebilir. Bor kristalin halinde inerttir, hidroklorik veya hidroflorik asitle kaynatılmaktan etkilenmez. İnce toz haline getirilmiş bor, sıcak derişik nitrik asitle yavaş yavaş yükseltgenir. Diğer birçok sıcak derişik yükseltgeme ajanları boru etkilemez veya çok az etkiler.

Spesifik bor bileşiklerinin uygulamalarına değinmek gerekirse

Boratlar çoğunlukla cam üretiminde kullanılırlar. Bunlar aynı zamanda alevlenmeyi geciktirici olarak, deri tabaklama endüstrisinde, kozmetiklerde, fotoğraf malzemelerinde, sabun ve temizleyicilerde, yapışkanlarda ve yüksek enerjili yakıtlarda da kullanılmaktadır. Bazı pestisitler ve besin koruyucular da boratları içermektedir.

Boraks sert, kokusuz kristaller, granül veya toz şeklinde bulunabilir, suda ve gliserolde çözünür, alkolde çok az çözünür ve asitlerde çözünmez. Erime noktası 75°C'dir ve 320°C'de kaynar. Isıtıldığında kristal suyunu kaybeder. Özgül ağırlığı 1.73'dür. Boraks lehimleme metallerinde, kaynakta temizleme akışkanı olarak, sır ve emaye üretiminde (örneğin beyaz eşyalarda çeliği kaplamak için), tabaklamada, temizleyici bileşiklerde, yapay olarak ağacın yaşlandırılmasında, ağaç

Ticari öneme sahip bazı bor mineralleri	
Kernit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Tinkalkonit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Tinkal	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Probertit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Meyerhofferit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
İnyolit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
Pandermit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
İnderit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
Hidroborasit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$
Aşarit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Datolit	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Sassolit (doğal borik asit)	$\text{B}(\text{OH})_3$

Tablo 2.



Resim 1. Boraks



Resim 2. Borik asit



## Bor ve Bileşiklerinin Sağlık Üzerine Ne Gibi Etkileri Olabilir?

Etkilerin önemi kişinin ne kadar bora maruz kaldığına, ne kadar uzun sürdüğüne ve o anki sağlık durumuna bağlıdır. Farklı boratlar gastrik sıvının asidik ortamında çözündüğünde birbirlerinden toksikolojik veya kimyasal temelde ayırt edilemezler. Borik asit ve boraks gastrointestinal yoldan absorpsiyonla veya mukoz membranlar üzerinden vücuda girerler. Sağlam deriden absorpsiyon yavaş ve toksik etki pek olası değilken, hasar görmüş ciltten çok hızlı absorpsiyonla toksik etki gerçekleşebilir.

Fazla miktarlarda borat yenmesi pek olası olmamakla birlikte gerçekleştiğinde zararlı olabilir. Ağız yoluyla veya deri üzerinden absorpsiyon bulantı, karın ağrısı, ishal ve sürekli kusmaya (kusmuk ve feçes bazen kan içerebilir) ve buna eşlik eden baş ağrısı ve güçsüzlük, uyuşukluk, huzursuzluk, titreme, zaman zaman çarpıntı ve deride karakteristik eritematoz (anormal kırmızı) lezyonlara yol açar. Daha ciddi durumlarda, arteriyel basınçta düşüş ile şok, taşikardi (kalp hızının artması) ve siyanozis (mavi deri rengi) gerçekleşebilir. Merkezi sinir sistemi uyarılmasıyla depresyon, gastrointestinal düzensizlik (hemorrhagic gastroenteritis) ve eritematoz deri kabarıkları mevcut olabilir. Böbrekler (oliguria (az hacimde idrar), albüminuria (idrarında albümin), anuria (idrar boşaltmada sorun)) ve nadiren de karaciğerde (sarılık) sorunlar olabilir. Boşaltım genellikle ilk 12 saatte yaklaşık yarısı olmak üzere böbrekler üzerinden gerçekleşir ve sonraki 5-12 günde devam eder. Toksik belirtiler birkaç saat gecikebilir. Sodyum borat veya borik asit için ortalama ölümcül doz yetişkinler için 30 gramın üzerindedir ve ölüm erken aşamalarda damar yapışması ile veya sonraki aşamalarda merkezi sinir sistemi depresyonu ile

gerçekleşir. Çocukların boratın toksik etkilerine daha duyarlı oldukları düşünülmektedir.

Orta düzeylerde bor tozu veya dumanı solunması burun, boğaz ve gözlerde tahrişe neden olabilir.

Uzun süre bora maruz kalmanın etkileri ile ilgili bilgiler azdır. Çalışmaların çoğu kısa zamanlı maruz kalmalara yöneliktir. Borik asitle kronik zehirlenme anoreksiya, güç kaybı, konfüzyon ve saç kaybı ile sonuçlanabilir. Uzun süre bora maruz kalan erkeklerde sperm sayısında azalma gözlenmiştir.

**Bor ve bileşiklerine nasıl maruz kalmış olabilirim?**

Havada, suda ve bazı besinlerde doğal olarak az miktarlarda bor bulunabilir. Bu nedenle içme suyu ve besinler normal bor alımına bir ölçüde katkıda bulunur. Kozmetikler ve çamaşırhane ürünleri gibi bazı tüketici ürünleri maruz kalma kaynakları olabilir. Borun borosilikat camlardan sızması olası bir durum değildir. Özel camlar, yıkama tozları, sabun ve kozmetik, deri çimento gibi endüstrilerde de bor ve bileşiklerine mesleki maruz kalmalar gözlenebilmektedir. Nükleer endüstri de bor kullanılmaktadır.

**Çevresel etkileri**

Bor sadece bitkiler için yaşamsaldır. Bitkilerde birikir ve besinlerde, özellikle meyve ve sebzelerde bulunur. Borun balık veya sularındaki diğer organizmalarda biriktiği gözlenmemiştir.

Bor atmosfere yayılan parçacıklarla veya doğal sularla çözünmüş bileşikler olarak taşınabilir.

Havada, suda veya toprakta borun ne kadar uzun süre kalabileceğine dair bilgi mevcut değildir.



Resim 3. Bor oksit



Resim 5. Bor nitrit



Resim 4. Bor karbür

titit olarak ve halı böcekleri için, turuncgillerde mantar kontrolünde de borik asit kullanılmaktadır. (Resim 2)

Bor oksit borun temel oksididir ( $B_2O_3$ ). Beyaz rombik kristaller şeklinde veya renksiz, yarı saydam camsı granüller veya tabakalar, higroskopik topraklar veya toz şeklinde bulunur. Soğuk suda az sıcak suda iyi çözünür. İnce öğütülmüş bor oksit suyla hızla borik asit oluşturmak üzere reaksiyona girer. Amorf haldeki bor oksit alkolde, gliserolde ve asitlerde çözünür. Bor oksit borik asit eritilmesinden elde edilebilir. Genellikle camı oluşturur. Kristallerin özgül ağırlığı 1.84-2.46'dır ve  $450^\circ C$ 'de erir. Bor oksit metalürjide, silikatlarda silikon dioksit analizinde, bor üretiminde, ısıya dayanıklı kap üretiminde, boyalarda ısıya dirençli katkı maddesi olarak, elektronikte ve herbisit olarak kullanılmaktadır. (Resim 3)

Bor karbür ( $B_4C$ ) siyah, parlak rombohedral veya oktahedral şeklinde görülür. Bor karbür suyla karışmaz ve hidroklorik, nitrik ve kromik asitler dahil birçok kimyasal saldırıya karşı dirençlidir. Oksijen alevinde yanmaz. Sertliği çok yüksektir, endüstriyel elmas ve kübik bor nitritin ardından en sert üçüncü malzemedir. Silikon karbürden daha serttir. Birçok seramikten daha az kırılgandır ve özgül ağırlığı 2.51'dir, erime aralığı  $2350-2455^\circ C$ 'dir ve kaynama noktası  $3500^\circ C$ 'nin üzerindedir. Yüksek sıcaklık ve

Tablo 3.



basıncıta pulverize tozdan kalıplaşabilir. Bor karbür aşındırıcı olarak, sert ve kimyasal maddelere dirençli seramiklerin veya aşınmaya dirençli araçların üretiminde, dayanıklı malzeme endüstrisinde, düşük ağırlıklı seramik metallerde, zırh kaplamada, radyasyondan koruma ve perdelemede, nükleer endüstride nükleer reaktörlerde kontrol çubukları olarak, diğer bor içeren malzemelerin (titanyum borür gibi) üretiminde hammadde olarak ve roketlerde katı yakıt olarak kullanılmaktadır. (Resim 4)

Bor nitür (BN) beyaz, kokusuz tozudur. Suda çözünmez. Özgül ağırlığı 2.29'dur ve 3000°C'de süblimleşir. Üç farklı formda bulunur (hekzagonal, kübik ve piroolitik). Kübik formu elmasın sonra ikinci en sert malzemedir. Bor nitür elektriksel yalıtkan olarak davranır ancak metal gibi sıcaklığı iletir. Grafitte benzer yağlama özelliği vardır. Bor nitür dayanıklı malzemeler olarak, laboratuvar reaktifi ve aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Bor nitürden hazırlanan nanotüpler uzay araştırmalarında umut vericidir. (Resim 5)

Bor triklorür (BCl<sub>3</sub>) düşük sıcaklıklarda renksiz dumanlı bir sıvıdır. Su veya alkolle bozunarak hidroklorik asit ve oldukça irite edici, korrozif etkiye sahip yağsı sıvılar oluşturur. 12.5°C'de kaynar. Erime noktası -107°C'dir. Bor triklorür metal alaşımların üretimi ve saflaştırılmasında, demir ve çeliğin bağlanmasında, lehim eriticilerde ve elektrik dirençlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca ısıya dirençli fırınlarda magnezyum ateşinin söndürülmesinde de kullanılmaktadır.

Bor triflorür keskin kokulu, renksiz bir gazdır. Su, eter, alkol ve aminlerle reaksiyon verir. -100°C'de kaynar ve erime noktası -127°C'dir. Bor triflorür çeşitli organik reaksiyonları iletmek için kullanılmaktadır.

Bor filamentleri fiber optik araştırmalarında ve ileri uzay araştırmalarında kullanılan yüksek güçte, hafif malzemelerdir.

Bunların yanı sıra sodyum sülfat ve su ile yaklaşık %3 ağırlıktaki boraks dekahidratın kimyasal karışımı gündüz güneş enerjisini depolayıp, gece ısınma amacıyla termal depolama pillerinde kullanılabilir. Ayrıca binalarda tavan malzemesine konulduğu takdirde güneş ışınlarını emerek evlerin ısınmasını sağlayabilmektedir.

Bor, demir ve nadir toprak elementleri kombinasyonu (METGLAS) %70 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu güçlü manyetik ürün; bilgisayar disk sürücülerini, otomobillerde doğru akım motorları ve ev eşyaları ile portatif güç aletlerinde kullanılmaktadır.

Bor, hava yastıklarının hemen şişmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Çarpma anında, elementel bor ile potasyum nitrat toz karışımı elektronik sensör ile harekete geçirilir. Sistemin harekete geçirilmesi ve hava yastıklarının harekete geçirilmesi için geçen toplam zaman 40 milisani-



yedir. Ayrıca otomobillerde antiferiz olarak ve hidrolik sistemlerde de kullanılmaktadır.

Sodyum borohidrat, atık sulardaki civa, kurşun, gümüş gibi ağır metallerin sulardan temizlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle; beyin kanserlerinin tedavisinde hasta hücrelerin seçilerek imha edilmesinde kullanılmakta ve sağlıklı hücrelere zararının minimum düzeyde olması nedeniyle tercih nedeni olabilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- 1- Medicinal Research Reviews, 23, 346-368, 2003.
- 2- Cancer, 70, 12, 2995-3007, 1992.
- 3- Coordination Chemistry Reviews, 250, 2811-2866, 2006.
- 4- <http://www.boren.gov.tr>
- 5- <http://bor.balikesir.edu.tr/bor.html>
- 6- <http://www.npi.gov.au/database/substance-info/profiles/15.html>

