

## BOR NEDİR ?

Metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir element olan bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunur. Toprağın bor içeriği ortalama 10-20 ppm olmakla birlikte ABD'nin batı bölgeleri ve Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Deniz suyunda 0.5-9.6 ppm, tatlı sularda ise 0.01-1.5 ppm aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır.

Bor tabiiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Doğada 230'dan fazla bor minerali mevcuttur. Bor kimyasalları ürünleri  $B_2O_3$  içeriğine göre adlandırılmaktadır.  $B_2O_3$  içeriği arttıkça ürün değeri de artmaktadır. Türkiye'de yaygın olarak bulunan bor mineralleri kolemanit, tinkal ve üleksit'dir. Bu mineraller sırasıyla sodyum, kalsiyum ve sodyum + kalsiyum bazlı bor bileşikleridir. Bu mineraller öncelikle fiziksel işleme tabi tutularak

zenginleştirilir (konsantre bor); daha sonra rafine edilerek çeşitli bor kimyasallarına dönüştürülür.

Bor, saf element olarak ilk kez 1808 yılında Fransız kimyager J.L. Gay-Lussac ve Baron L.J. Thenard ile İngiliz kimyager H. Davy tarafından elde edilmiştir.

Borun çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin farklı özellikler göstermesi, endüstride birçok bor bileşiğinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Kristalize bor, görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir.



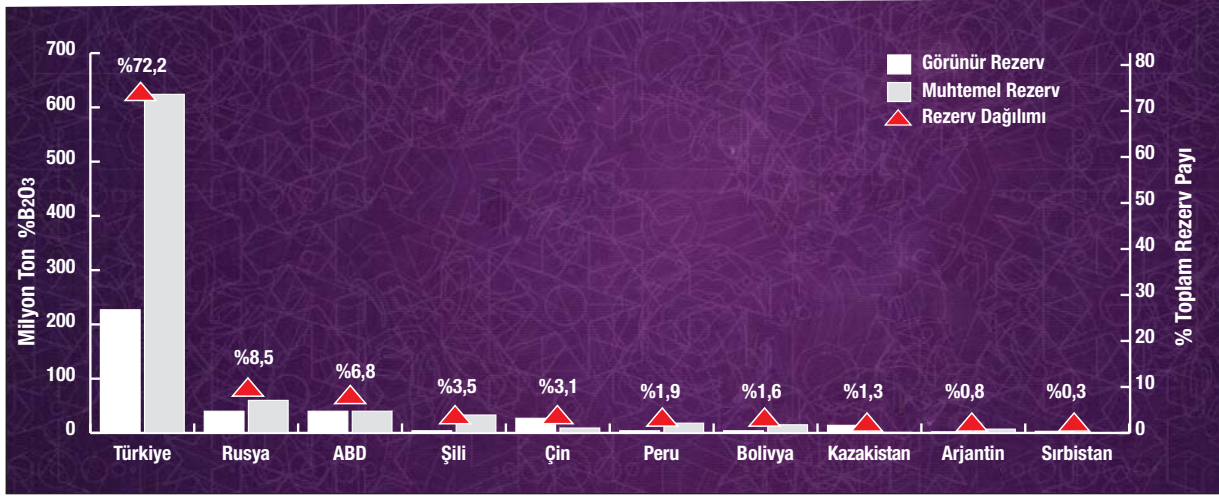
Kolemanit - Emet/Kütahya Tinkalorit - Kırka/Eskişehir  
Bor minerallerine örnek  
(kaynak: <http://www.maden.itu.edu.tr>)

## DÜNYA BOR REZERVLERİ

Dünya toplam bor rezervi sıralamasında Türkiye %72,2'lik pay ile ilk sıradadır. Dünya toplam bor rezervi ve bugünkü tüketim değerleri dikkate alındığında, dünyada çok uzun yıllar bor cevheri sıkıntısı yaşanmayacağı öngörülmektedir. Dünyadaki

önemli bor yatakları Türkiye, Rusya ve ABD'de olup dünya ticari bor rezervleri 4 bölgede toplanmaktadır. Bunlar; ABD Kaliforniya Eyaleti'nin güneyinde yer alan 'Mojave Çölü', Güney Amerika'da yer alan 'And Kemer', Türkiye'nin de yer aldığı 'Güney-Orta Asya Orojenik Kemer' ve Doğu Rusya'dır.

### DÜNYA BOR REZERVLERİ DAĞILIMI



## TÜRKİYE BOR REZERVLERİ

Türkiye'de bilinen bor yatakları özellikle Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya'da bulunmaktadır.

Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ve kolemanittir. Türkiye'de önemli tinkal yatakları Kırka'da kolemanit yatakları ise Emet ve Bigadiç civarında bulunmaktadır. Bunlara ilaveten, Bigadiç'te az miktarda üleksit rezervi mevcut olup Kestelek'te zaman zaman üleksit yan ürün olarak elde edilmektedir. Rezerv miktarları mineral bazında aşağıda verilmektedir.

### Mineral bazında rezerv miktarları (2010)

Cevher Cinsi	Toplam (Milyon ton)	Pay (%)
Kolemanit	883	26,81
Üleksit	46	1,40
Tinkal	836	25,39
Propertit+Üleksit	1.528	46,40
<b>Toplam</b>	<b>3.293</b>	<b>100</b>

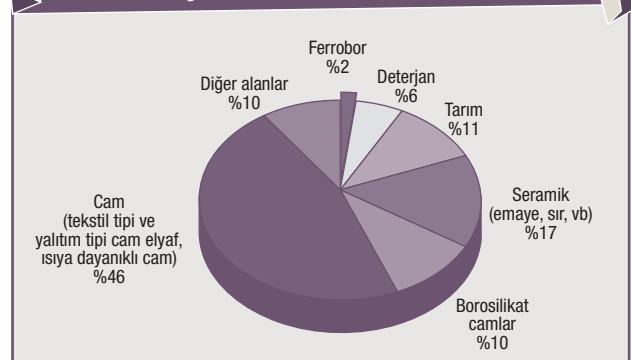
## BOR EKONOMİSİ

Bor; nihai kullanım alanı olan sektörlerde çoğunlukla bor kimyasalları şeklinde tüketildiği gibi, konsantre bor ürünleri olarak doğrudan da tüketilebilmektedir.

## Başlıca Bor Kullanım Alanları

- Cam, Cam Elyafı ve Özel Camlar
- Seramik
- Tarım Uygulamaları
- Sabun- Deterjan-Temizlik ve Kozmetik Malzemeleri
- Ahşap Koruma
- Alev Geciktiriciler
- Yapı Sektörü
- Metalürji
- Enerji
- Sağlık

### Başlıca Bor Kullanım Alanları



Kaynak: Marching Ahead Borates Look to High Priced Future, Asian Glass, Aralık/Ocak 2012.

## BOR Kimyasallarının Sektör Uygulamaları

### Cam, Cam Elyafı ve Özel Cam

Cam sektörü bor minerallerinin en fazla tüketildiği alandır. Bütün dünyada bor kullanımının yaklaşık % 42'si cam endüstrisindedir. Bor, sıvı kristal göstergeler, özel fırın kapları, laboratuvar malzemeleri, araçların far ve sinyal camlarında,

cam yününde, tekstil tipi cam elyafında, LCD ekranlarda ve CRT camlarında (renkli TV katot tüpleri) kullanılmaktadır. Borlu bazı özel camlar uzay sanayinde, elektronik endüstrisinde ve nükleer reaktörlerde de kullanılmaktadır.

### Seramik Sektörü Uygulamaları

Bor kullanımı; ergime sıcaklığını düşürerek erimeyi kolaylaştırır, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını artırır, genleşmeyi düşürdüğünden ısı şoklara dayanımı artırır, tekstil cam elyafı plastik ve kompozitlerde kuvvetlendirici olarak kullanılır, cam elyaf kullanılan plastikler, otomotiv ve uçak sanayilerinde, çelik ve diğer metalleri ikame etmeye başlamıştır. Otomobillerde borun kullanılması, arabaların ağırlığını azaltmakta ve dolayısıyla yakıt tüketimini azaltmaktadır. Ayrıca, araçlarda paslanmayı geciktirmektedir.

### Tarım Sektörü Uygulamaları:

Dünyadaki borat tüketiminde %4'le boratlı gübreler cam ve seramikten sonra üçüncü en büyük payı almaktadır. Tarım uygulamalarında bor tüketiminin giderek artması beklenmektedir. Dünyada gıda talebinin artması tarımda bor kullanımı için bir fırsat olarak görülmektedir. Çiftçilerin verim ve kaliteyi artırmak için gübre ve sprey içeren bor uygulamalarına yönelmesi beklenmektedir. Dünya toplam ekilebilir alanlarının %31'i, bor eksikliği olan topraklar olarak kabul edilmektedir. Artan dünya nüfusuna karşılık ekilebilir alanların sınırlı olması, tarımda verim artışını gündeme getirdiğinden, mikro besleyici uygulamalar kapsamında da bor tüketiminin artması beklenmektedir. Özellikle Çin ve Güney Doğu Asya'da tarımsal amaçlı bor ürünleri pazarının büyümesi beklenmektedir.

Bor, hücredeki şeker geçişini, hücre bölünmesi ve gelişimi, fotosentez metabolizmasını düzenler. Gereken miktarlarda bor olmadan da bitkiler büyüyebilir ve yaprak açabilir ancak meyve veya tohum üretiminde kayıplar söz konusudur. Tarımda bor, gübre olarak, yabancı otlar ve zararlılarla mücadelede ve hayvancılıkta yem katkısı olarak kullanılmaktadır.

### Deterjan-Sabun-Temizlik Malzemeleri

Sabun ve deterjan sektörünün en büyük bor üreticisi ve kullanıcısı (sodyum perborat), Avrupa'dır.

Sektörde, %10 – 20 arasında değişen oranlarda boraks dehidrat ve sodyumperborat kullanılmaktadır. Klasik toz deterjanlarda %10-25 sodyum perborat tetrahidrat bulunur. Perboratlar aktif oksijen taşıyıcıdır. Bakterilere karşı anti bakteriyel özelliği vardır.

### Alev Geciktiriciler

Alev geciktirici ürünler olarak dünya toplam bor tüketimi, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında 25.000 ton seviyesine ulaşmış olup bu pazarın %35'i



Borlu Deterjan

ABD'dedir. Bu tüketim içindeki büyük pay ise yaklaşık 12.000 ton ile selülozik izolasyon malzemeleridir. Alev geciktirici tüketiminin önümüzdeki birkaç yıl içinde yıllık %4-5 civarında artması beklenmektedir. Halojen içermeyen alev geciktirici pazarında beklenen en büyük artış Çin pazarında olacaktır. Batı Avrupa ve ABD pazar artışı olacak diğer bölgelerdir.

### Çimento Sektörü Uygulamaları

Çimento sektöründe de emisyon ve enerji verimliliği konuları en önemli konular arasındadır. Borlu çimento, yüksek dayanım nedeniyle tünellerde, barajlarda ve beton yollarda, tüp geçitlerde, köprülerde, nükleer enerji santrallerinin, güvenli olarak atık depolanmasında, yüksek binaların inşasında kullanılır. Malzemenin mukavemeti artırılır, pişme sıcaklığı düşürülerek malzemenin üretimi sırasında enerji tasarrufu sağlanır, yüzey uygulamalarında bakteri, mantar oluşumuna engel olunur, haşerelere karşı koruyucu özellik kazanır, ısı ve ses yalıtımı sağlanır, yanmaya karşı dayanıklılık kazandırır.

### Kalıcı Miknatislar

Bor ürünleri için gelişme potansiyeli yüksek bir diğer alan kalıcı miknatis üretimidir. Bu alanda; neodimyum, demir-bor miknatislerinin kullanımı son yıllarda önemli bir artış göstermiştir. Kalıcı miknatis üretiminde ferrobör kullanılmaktadır. Borun içinde bulunduğu Nd-Fe-B miknatisleri üretiminin, %76'sı Çin, %21'i Japonya tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu miknatisler, bilgisayar diskleri, ses yükseltme sistemleri, telekomünikasyon, MR cihazları, otomotiv endüstrisi, çeşitli ev aletleri, trafo motorları, rüzgâr enerjisi jeneratörleri ve toplu taşıma araçları gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir.

### Metalürji Uygulamaları

Bor ürünlerinin miktar olarak az; ancak parasal değer olarak fazla payı olan uygulama alanları metalürjidir. Metal oksidasyonunu önleme, oksidasyondan arındırma, çelik ergitme, granül arıtma, altın işleme ve arıtma, ısıya dayanıklı hale getirmesi gibi pek çok uygulama alanı vardır.

## Uzay ve Havacılık Uygulamaları

Borun uzay ve havacılık uygulamaları gelişmiş ülkelerde tüketimi az olmasına rağmen, katma değeri yüksek etkileri vardır. Çeşitli formülasyonları ile sağladığı radyasyon kalkını, mekanik gücü yüksek yapı elemanı, ürünlerin yakınlarındaki yarı iletkenlerin yonga yapısını bozup bilgi kaybına sebep olma, yüksek ısı kararlılığı, yüksek kimyasal dayanıklılık, yüksek elektrik ve termal iletkenlik, korozyona dayanıklılık gibi özellikleri nedeniyle uzay ve havacılık tekniklerinde kullanılmaktadır.

## Mekanik Yağlar Ve Antifrizler

Bor bileşikleri yaygın olarak, antifriz, motor yağı, fren yağı, makina yağları, su arıtma kimyasalları, akaryakıt katkıları gibi endüstriyel yağların üretiminde kullanılmaktadır. Su arıtma kimyasallarının kullanımı ve dolayısıyla bu alandaki bor kullanımı giderek artmaktadır. Metal işlemlerinde kullanılan yağlardaki pazar artışı yatay seyretmektedir.

## Kozmetik ve Kişisel Bakım Ürünleri

Endüstride çok yaygın ve çeşitli alanlarda kullanılan bor bileşiklerinin leke çözücü, pH dengeleyici, suyu ve yağ parçalayıcı, aktif oksijeni dengeleyici, anti bakteriyel özellikleri nedeniyle, bu ürünler dezenfekte ediciler, antiseptikler, diş macunları, makyaj malzemelerinin üretiminde de kullanılmaktadır. Hegzagonal bor nitrid tozu üç temel alanda kullanılmakta olup, %50 oranında metal ve genel uygulamalarda, %30 oranında ısı yönetimi ve %20 oranında kozmetiktedir. Kozmetikte en hızlı büyüyen segment %1-2 bor nitrid katkılı maskara, dudak parlatici ve fondötenlerdir.

## Makro moleküller

Elektronik, optik, seramik bağlayıcısı ve ışık yayan malzeme olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Borazın tabanlı polimerler seramik BN fiber üretiminde kullanılmaktadır. Kaplama malzemesi olarak da kullanılmaktadır.

## Nükleer ve Savunma Sanayii Uygulamaları

Bor ürünlerinin miktar olarak az ancak parasal değer olarak fazla payı olan diğer uygulama alanı nükleer uygulamalardır.



Bor Karbür

Atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titanbor alaşımları kullanılır. Atom reaktörlerinin kontrol sistemleri ile soğutma havuzlarında ve reaktörün alarm ile kapatılmasında bor kullanılır. Ayrıca, nükleer atıkların depolanması için kolemanit kullanılmaktadır.

Paslanmaz borlu çelik, nötron absorbanı olarak tercih edilmektedir. Bor karbür, olağanüstü sertliğinden dolayı tank zırhında ve kurşun geçirmez yeleklerde kullanılmaktadır. Elmasın sonra bilinen en sert malzemelerden biridir. Bor karbür ile yüksek ısı üretmek mümkün olmasından dolayı havacılık endüstrisinde roket itici yüksek enerjili jet yakıtı ve roket yakıtı, bor nitrid, ultra yüksek sıcaklığa dayanıklı süper sert malzeme olarak roket memelerinin üretimi ve borik metal (tityum borür, borik çelik vb.) üretimin de kullanılmaktadır.

Bor karbür (B<sub>4</sub>C), personel ve araç anti balistik zırh kaplamalarında, tank zırhlarında, kurşun geçirmez yeleklerde ve çeşitli yapısal uygulamalarda kullanılmaktadır. Bor karbür tozunun en temel uygulama alanı savunma sektöründe askeri zırhlar için koruyucu seramiklerdir. Diğer uygulamaları; aşındırıcılar, sıcak preslenmiş şekilde katı bor karbür hammaddeleri, kimyasal üretimde öncü madde, kompozit için metallerde kaynak parçacık, nükleer reaktör yakıtı düzenlemede kontrol çubuğu, nükleer muhafaza bileşenleridir.

## Enerji Sektörü

Sodyum bor hidrid, kimya ve kağıt sektöründe yaygın kullanım alanına sahip, yanıcı/patlayıcı olmayan, ağırlıkça %20 hidrojen depolayabilen, çevre dostu bir kimyasaldır. Sodyum borhidrid bu özelliklerinin yanı sıra, araçlarda yük ve yolcu taşıma yeri açısından problem yaratmaması, sürüş menziline diğer yakıt hücreli taşıtlara göre daha uzun olması gibi bazı özelliklerinden dolayı hidrojenin depolanması konusunda diğer yöntemlere göre avantajlı durumdadır. Depolama özelliğine ilave olarak, yakıt pillerinde doğrudan yakıt olarak kullanımı da mevcuttur. Hidrojenden elektrik enerjisi üreten yakıt pilleri; taşınabilir elektronikler, taşıtlar ve elektrik/ısı üretim tesisleri, askeri ve sivil uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahip olmaları nedeniyle geleceğin enerji üretim kaynakları arasında önemli bir yere sahip olacakları tahmin edilmektedir. Dünyada farklı tipte yakıt pilleriyle çalıştırılan prototip araçlar mevcuttur.

Yüksek enerji yoğunluğuna sahip olan elementel bor; füze yakıtı, motor yakıt katkı maddesi, motorlu araçların hava yastıkları, elektrik-elektronik sanayi, fişek ve askeri teçhizat, nükleer uygulamalarda kullanılmaktadır. MgB<sub>2</sub>; sahip olduğu özellikler nedeniyle hem büyük çaplı uygulamalar hem de elektronik aletler için çok iyi bir süper iletken malzeme olup sıfır kayıpla enerji iletimi sağlar. MgB<sub>2</sub>, manyetik rezonans görüntüleme (MRI) cihazları, haberleşme, elektrik enerjisi

şebekeleri, transformatörler, elektrik motorları, manyetik fırlatma, hızlı trenler, gibi çok önemli uygulamalarda kullanılmaktadır.

### Metalürji ve Makine Sanayi

Boratlar yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz bir sıvı oluşturma özelliği nedeniyle demir dışı metal sanayiinde koruyucu bir cüruf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır. Bor bileşikleri, elektrolit kaplama sanayiinde kullanılmaktadır. Borik asit nikel kaplamada, fluoboratlar ve fluoborik asitler ise; kalay kursun, bakır, nikel gibi demir dışı metaller için elektrolit olarak kullanılmaktadır.

### Sağlık Alanındaki Uygulamalar

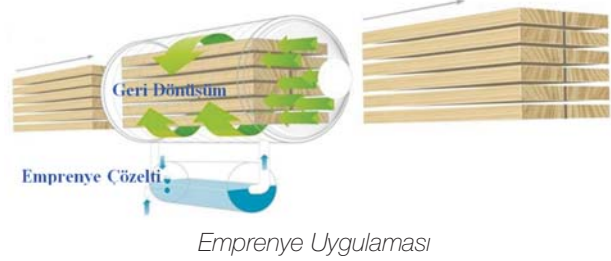
Sağlık sektöründe bor, anti bakteriyel ve antiseptik özelliği nedeniyle antiseptik ürünlerde, kemik erimesinde yardımcı, destekleyici olarak kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalar borlu bileşiklerin; antimikrobiyal ürünler geliştirilmesinde, merhemlerde, yara temizleme solüsyonlarında, ilaçlarda, göz damlalarında, kontak lens solüsyonlarında, pudralarda kalp krizinde iskemik hasarın azaltılması, ağır metal toksitesine karşı, obezite, prostat kanseri tedavisinde, Bor Nötron Yakalama Tedavisinde (BNCT), yara iyileştirme, dermatoloji uygulamaları, organ preservasyonu vb. alanlarda etkili olduğuna ilişkin bulgular ortaya koymuştur. Bor araştırmaları gerek tedavi edici olarak gerekse sağlık sektörüne ilişkin malzemeler geliştirilmesinde önemli bir fırsatı ortaya koymaktadır. Prostat, karaciğer ve göğüs kanserine karşı antitümörojenik etkisi vardır ve özellikle diyabet nedeni ile oluşan yaraların iyileştirilmesi, kandaki antioksidan enzim aktivitelerinin artırılması gibi amaçlarla da kullanılmaktadır.

Son zamanlarda Nükleer Tıp alanında Bor yaygın olarak BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle; beyin kanserlerinin tedavisinde hasta

hücrelerin seçilerek imha edilmesi ve sağlıklı hücrelere zararının minimum düzeyde olması nedeniyle tercih nedeni olabilmektedir.

### Ahşap Ürünleri-Emprenye İşlemi

Dünyada ahşap korumada kullanılan bor miktarının 20,000 ton/yıl B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğu hesaplanmaktadır. Kromatlı bakır arsenat ve asit bakır kromat içeren ahşap koruyucuların altı değerli kanserojen krom içermelerinden dolayı kullanımlarının giderek yasaklanacağı, böylece boratlı ahşap koruyucuların tüketiminin artması beklenmektedir. Çinko boratlı ahşap koruyucularında dış mekânlarda kullanılan ahşap-plastik kompozitlerde ve çatı malzemelerinde kullanımın artması beklenmektedir. Borat ahşap koruyucularının Kuzey Amerika, Güney Amerika, Avrupa Birliği, Okyanusya, Hindistan, Japonya, Malezya ve Tayland'da kullanıldığı bilinmektedir.

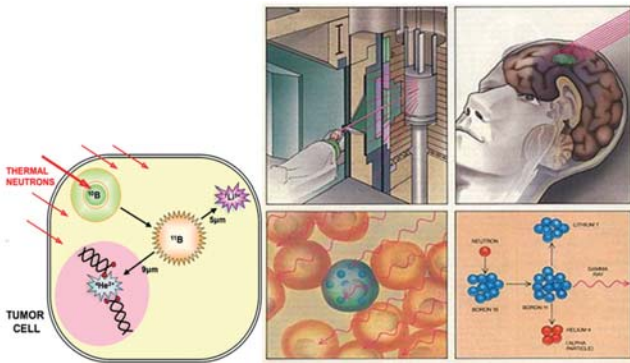


Ahşabın olumsuz şartlara karşı dayanıklılığını arttırabilmek ve ağaç kaynaklarının tükenmesini önlemek için yapılan emprenye işlemi; çeşitli yöntemlerle değişik kimyasal maddelerin ahşabın bünyesine emdirilmesi işlemidir. Dünyanın geleceği düşünüldüğünde ekolojik ve ekonomik açıdan en uygun çözümdür.

Emprenye işlemi, ön koruma olarak bilinir ve kullanılacak ahşabın cinsine, sertliğine ve bazen de boyutlarına göre değişiklik gösterir. Emprenye uygulamalarında borun avantajları; malzemenin ömrünü uzatması, yanmaya karşı dayanım sağlaması, zararlı haşere ve organizmalara karşı koruyuculuk sağlaması, insana, hayvanlara ve çevreye duyarlı olması olarak söylenebilir.

### Tekstil Sektörü

Bor bileşikleri tekstil sektöründe; yün ipek poliamid mamullerin ağartılması, boya-baskı, hatalı boyamaların soldurulması, PES mamullerin boyama ve baskı sonu yıkamaları, bitim ve atık su arıtımı alanlarında kullanılmaktadır. Bor bileşikleri kullanılarak hijyen ve alev geciktirici özellik kazandırılan yüksek tekstil ürünlerine olan talebin, turizm ve sağlık başta olmak üzere bir çok alanda artması ve bor bileşiklerinin tekstil sektörü için özellikle ekolojik ve teknik açıdan önemli avantajlar sunması bor araştırma fırsatlarını teşkil etmektedir.



BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kanser tedavisinde kullanılmasının temeli.