



**GELECEĞİN MİNERALİ VE MALZEMESİ
BOR VE BOROFEN III:
Türkiye’de Bor ve Borofen**



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.

 STM ThinkTech

1. GİRİŞ

Neredeyse sınırsız kullanım alanı bulunan bor, son yıllarda özellikle bileşeninde bulunduğu yenilikçi malzemelere yönelik keşif ve talebin artmasıyla gündemden düşmemektedir. Enerji tasarrufu sağlayan malzemelerde, karbon azaltımında, küresel gıda zincirinde, sağlıkta, yüksek teknolojlili cihazlarda ve çok sayıda iş ve tüketim malında bor büyük faydalar sağlamaktadır.

Yakın zamanda bordan üretilen yeni süper malzeme borofen ise tüm dünyada ezber bozan bir teknoloji olarak görülmektedir. Borofen adlı maddenin süper hızlı bilgisayarlardan pillere, transistörlerden dokunmatik ekranlara kadar birçok alanda grafenin yerini alması beklenmektedir. Bilim dünyası her geçen gün mucizevi mineral borla ilgili yeni araştırma ve keşiflere imza atmaya aday görünmektedir.

Dünyadaki en fazla bor rezervine sahip olan Türkiye de yakın zamanda borofen üreten ülkeler arasına katılmıştır. Bilim dünyasının “yeni süper malzeme” olarak adlandırdığı ve fiyatına paha biçilemeyen borofen, enerji depolama sistemlerinde ve bataryalarda, savunma sanayiinde, kompozitlerde, mikro nano sensörlerde, sağlıkta, bitkisel üretimde ve daha pek çok alanda kullanılabilir. Borofen, bilim dünyasının “yeni süper malzeme” olarak adlandırdığı ve fiyatına paha biçilemeyen borofen, enerji depolama sistemlerinde ve bataryalarda, savunma sanayiinde, kompozitlerde, mikro nano sensörlerde, sağlıkta, bitkisel üretimde ve daha pek çok alanda kullanılabilir.

Tüm bu gelişmeler bor madenini Türkiye için daha da önemli hâle getirmektedir. Zira enerjiden sanayiye, savunmadan sağlığa yerli ve milli teknoloji geliştirme çabalarını artıran Türkiye'nin geleceği için bor anahtar işlevi görme potansiyeline sahip bir maden olarak öne çıkmakta, üstelik Türkiye bor madeni rezervleri bakımından dünyada lider konumunda bulunmaktadır.

Bu çerçevede borla ilgili rezerv ve işletme faaliyetleri uzun yıllardır Eti Maden bünyesinde yürütülürken, 2003 yılında Bor Araştırma Enstitüsünün (BOREN) kurulması, 2018 yılında ülkemizin yeni bor stratejisinin ilan edilmesi, Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) bünyesinde ve üniversitelerde araştırma geliştirme faaliyetlerinin genişletmesiyle bora yönelik farkındalık da artmıştır.

Analizimizde Türkiye'deki bor rezervlerinin ve üretim alanlarının mevcut durumu, Türkiye bor piyasası, Türkiye'de borun kullanım alanları, borla ilgili yürütülen araştırma ve geliştirme çalışmaları, borofenin geleceği ve jeostratejik ve jeoekonomik açıdan bor ve borofenin önemi incelenecektir.

2 BORUN TÜRKİYE'DEKİ TARİHİ

Dünyada 4.000 yıldır varlığı bilinen borun Türkiye'de ne zaman keşfedildiğine ilişkin kesin bir bilgi bulunmuyor. Ancak Doğu Roma İmparatorluğu döneminden itibaren Anadolu topraklarında bu değerli madenin varlığının bilindiği tahmin edilmektedir^[1].

Bugün gerek işlenmesi gerekse ihracatında önemli yol katedilen borun Türkiye'deki geçmişi 1800'lü yıllara dek uzanmaktadır. İlk defa 1865'te bir Fransız şirketine 20 senelik işletme imtiyazı verilmesiyle süreç başlamıştır. Yabancı şirketlerin bor madenini işletme süreci 1900'lü yılların ilk çeyreğine kadar sürmüştür. Yabancı işletmelere verilen imtiyazlar 1944'te sona ermiştir^[2].

14 Haziran 1935 tarihinde 2805 sayılı Kanun kapsamında, Türkiye’de bulunan madenlerin teknolojiye uygun, verimli bir işletmecilikle üretilmesini sağlamak; elektrik üretimi, iletimi, dağıtımını ile bünye içinde bankacılık işlemleri yapmak üzere kurulan Etibank; Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü’nün (MTA) bulacağı madenlerin işletilmesinde öncelikle görevlendirilmiştir. İlerleyen süreçte Etibank’ın faaliyet alanları genişlediğinden bu çalışmaların düzen ve kontrolü giderek zorlaşmaya başlamıştır. Bu nedenle 1955’te demir madenciliği ile demir çelik işletmeciliği Karabük Demir ve Çelik İşletmeleri Kurumuna, 1957’de kömür işletmeciliği Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna, 1970’de enerji üretim ve dağıtım faaliyetleri Türkiye Elektrik Kurumuna, 1993’te bankacılık faaliyetleri Kamu Ortaklığı Özelleştirme İdaresine devredilmiş ve Etibank bu alanlardan çekilmiştir^[3].

1998 yılında Etibank Genel Müdürlüğü’nün adı Eti Holding A.Ş. olarak değiştirilmiştir. O dönem yedi ortaklı holding yapısında Eti Bor, Eti Alüminyum, Eti Krom, Eti Elektrometalurji, Eti Gümüş, Eti Bakır ve Eti Pazarlama ve Dış Ticaret anonim şirketleri yer almaktadır. 2004 yılına gelindiğinde ise holding çatısı altındaki ortaklıklardan Eti Alüminyum, Eti Krom, Eti Elektrometalurji, Eti Gümüş ve Eti Bakır anonim şirketleri özelleştirilmiş ve 2004 yılındaki kararnameler ile Eti Holding anonim şirketlerinin adı, “Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü” olarak son hâlini almıştır^[3].

2840 sayılı Kanun ile boratların Türkiye’de üretilmesi, işletilmesi ve pazarlanması görevi Eti Maden tarafından yürütülmektedir^[4]. Türkiye’nin son yıllarda bor konusunda attığı önemli adımlarda Eti Maden’in başarılı bir işletme olarak yönetilmesinin çok büyük bir rolü vardır. Dünya bor üretim ve ihracatında lider ülke Türkiye’dir. Zira Türkiye, küresel talebin yaklaşık yarısını, Eti Maden İşletmeleri aracılığıyla üretmektedir^[5]. Türkiye ekonomisinin uluslararası alanda prestijli bir konuma gelmesine katkı sağlayan Eti Maden, 2022 yılında Türkiye’nin En Büyük 1.000 İhracatçı Firması listesinde 17’nci sırada yer almıştır^[6].

3. TÜRKİYE’DE BOR REZERLERİ VE ÜRETİM ALANLARI

Dünyadaki önemli bor rezervleri Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Rusya, Güney Amerika olmak üzere dört bölgede toplanmıştır. Türkiye 2021 rakamlarıyla 939 milyon 782 bin ton toplam rezerv ile dünyadaki bor rezervlerinin yüzde 73,3’üne sahiptir.

3.1 Türkiye’deki Bor Yatakları ve Rezervleri

3.1.1 Türkiye’deki Bor Yatakları

Dünya bor rezervlerinin yüzde 73,3’üne sahip olan Türkiye’deki bilinen bor yatakları özellikle Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek’te bulunmaktadır^[8].

- **Kırka Bor Yatakları:** Eskişehir’in 70 km güneyinde yer alan Kırka’daki yataklar, dünya rezervlerinin yüzde 18’ini, Türkiye’deki bor rezervlerinin ise, yüzde 25’ini

| Ülkeler | Toplam Rezerv (bin ton B2O3) | Oran (%) |
|------------|------------------------------|----------|
| Türkiye | 939.782 | 73,3 |
| Rusya | 100.000 | 7,8 |
| ABD | 80.000 | 6,2 |
| Peru | 22.000 | 1,7 |
| Arjantin | 9.000 | 0,7 |
| Çin | 36.000 | 2,8 |
| Bolivya | 19.000 | 1,5 |
| Şili | 41.000 | 3,2 |
| Kazakistan | 15.000 | 1,2 |
| Sırbistan | 21.000 | 1,6 |
| Toplam | 1.282.782 | 100 |

Not: Türkiye’nin bor rezervi 31.12.2021 tarihi itibarıyla güncellenmiştir.

Tablo 1: Dünya bor rezervleri^[7].

oluşturmaktadır. Daha önce vatandaşların ruhsat alarak yaptığı aramalar neticesinde bulunan Kırka’daki yataкта, 1968’de MTA’nın çalışmalarıyla sodyum tuzu cevherleri ve yatakların zenginliği saptanmıştır^[9].

- **Kütahya Emet Bor Yatakları:** Kütahya’nın Emet ilçesindeki maden 1956 yılında MTA’nın yürüttüğü araştırmalar sayesinde bulunmuştur. 1958’de MTA tarafından Etibank’a devredilen bölgedeki bor sahalarının özelliği, Türkiye’deki bor rezervlerinin yüzde 55’ini dünya rezervlerinin ise yaklaşık yüzde 40’ını içinde barındırdığından, dünyanın en büyük kolemanit rezervleri olmasıdır^[9].
- **Bigadiç Bor Yatakları:** Balıkesir Bigadiç’teki bor yatakları 1950’de madenci bir vatandaşın girişimleri sayesinde bulunmuştur. Daha önce özel sektörün elinde bulunan ocakların, 1976 yılında Bakanlar Kurulu kararıyla Etibank’a devri gerçekleştirilmiştir. Bursa’nın Mustafakemalpaşa ilçesinin güneydoğusunda yer alan yöredeki yataklarda kolemanit, probertit, hidroborasit ve üleksit gibi mineraller bulunmaktadır^[9].
- **Bursa Kestelek Bor Yatakları:** Kestelek bor yatakları 1954 yılında MTA tarafından linyit araştırmaları esnasında bulunmuştur^[9].

3.1.2 Eti Maden Bor İşletme Genel Müdürlükleri

Türkiye’nin çeşitli bölgelerinde bulunan bor yataklarında faaliyet gösteren Eti Maden’in bünyesinde bulunan dört İşletme Müdürlüğü (Kırka Bor İşletme Müdürlüğü, Emet Bor İşletme Müdürlüğü, Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü, Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü) rafine bor ürünleri üretmektedir^[10]. Bu işletme müdürlükleri ve faaliyetleri aşağıda detaylı şekilde incelenmiştir.

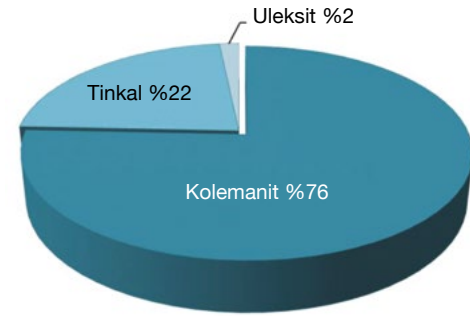
- **Kırka Bor İşletme Müdürlüğü:** Kırka Bor İşletme Müdürlüğü, 1970 yılında Eskişehir-Kırka’da kurulmuştur. 2.000’den fazla çalışanı bulunan işletmede bor ve türevleriyle ilgili madencilik, kimya, metalürji ve lojistik faaliyetleri yürütülmektedir. Dünya tinal



Şekil 1: Türkiye bor madeni yatakları haritası^[11].

rezervlerinin yaklaşık yüzde 20'sini ve Türkiye'deki bor rezervlerinin ise yüzde 25'ini oluşturan bölgede^[10] yer alan tesislerde yılda yaklaşık üç milyon ton tinkal üretilmektedir. Açık ocak madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü Kırka (Sarıkaya) boraks formasyonunda bulunan tinkal, susuz boraks, boraks pentahidrat, boraks dekahidrat, kalsine tinkal ve etimatik temizlik ürününe dönüştürülmektedir^[9].

- **Emet Bor İşletme Müdürlüğü:** 1958'de kurulan Emet Bor İşletme Müdürlüğünde, Hisarcık ve Espey'de bulunan iki açık ocaktan çıkarılan kolemanit cevheri fiziksel zenginleştirmeden ve farklı işlemlerden geçirilerek borik asite dönüştürülmektedir. Hisarcık-Espey formasyonunda, yıllık borik asit üretim kapasitesi 290.000 ton olarak gerçekleşmektedir. İşletme bünyesinde 1.500'e yakın personel çalışmakta; bor ve bor ürünleri, madencilik, kimya ve lojistik alanlarında faaliyetler yürütülmektedir. Burada borik asit, konsantre kolemanit, eticol-seramik ve etifert-B17 gibi ürünler üretilmektedir^[9].
- **Balıkesir Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü:** Kurumun bünyesindeki bir diğer işletme 1967 yılında Balıkesir'de kurulan Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğüdür. İşletme, bor madenlerini işleyerek dönüştürdüğü ortalama 400.000 tonluk yıllık rafine bor ürünleri üretimi sağlamaktadır. Ürünlerin küresel pazara ihracı için Bandırma Limanı kullanılmaktadır^[9].
- **Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü:** Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, Balıkesir'in Bigadiç ilçesinde 1976'dan itibaren madencilik faaliyetlerini, 1980 yılından itibaren de üretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Simav, Tülü, Acep ve Kestelek'te kolemanit ve üleksit mineralleri ile katma değeri yüksek ürünler üretilmektedir. Tesiste, 2017 yılında 570.000 ton öğütülmüş ürün üretimi gerçekleşmiştir. 1.300'den fazla çalışana bulunan işletmede üretilen konsantre kolemanit ve üleksit; seramik, metalurji, ısı ve ses yalıtımı, cüruf yapımı, cam ve cam elyafı üretimlerinde kullanılmaktadır^[9].



Şekil 2: Türkiye'nin bor rezervlerinin türlerine göre dağılımı^[11].

Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü ile Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, diğer işletmelerin uhdesinde bulunan sahalarından çıkarılan tinkal ve kolemaniti işlemektedir^[10].

Türkiye'deki en önemli ham bor ürünleri kolemanit, tinkal ve üleksittir. Ayrıca borik asit, perboratlar, pentahidratlar gibi rafine bor ürünleri de üretilip satılmaktadır. Türkiye'de önemli tinkal yatakları Kırka'da, önemli kolemanit yatakları ise Kütahya Emet ve Balıkesir Bigadiç civarında bulunmaktadır. Üleksit ise Bigadiç'te üretilmektedir^[8].

Eti Maden bünyesindeki tesislerde başta Boraks Pentahidrat, Boraks Dekahidrat, Borik Asit, Etidot-67, Bor Oksit, Çinko Borat, Kalsin Tinkal, Susuz Boraks, Öğütülmüş Kolemanit ve Öğütülmüş Üleksit üretilmekte ve yurtiçi ve yurtdışına tedarik edilmektedir^[4].

| Havza Adı | Miktar (Ton) |
|-----------------------------|---------------------|
| Emet (Kolemanit-Üleksit) | 1.811.072,52 |
| Kırka (Tinkal) | 824.720,95 |
| Bigadiç (Kolemanit-Üleksit) | 628.350,48 |
| Kestelek | 5.254,92 |
| Toplam | 3.269.398,87 |

Tablo 2: Türkiye bor yataklarında üretilen bor miktarları^[7].

4. TÜRKİYE BOR PİYASASI

Dünya bor üretim ve ihracatında lider ülke Türkiye'dir. Zira Türkiye, Eti Maden İşletmeleri aracılığıyla küresel talebin yaklaşık yarısını üretmektedir. Ayrıca Türkiye mükemmel ve köklü madencilik ve çıkarma tesislerine sahiptir^[5].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre Türkiye, 2023 sonu itibarıyla bor piyasasında yüzde 63 pazar payı ile küresel liderliğini sürdürmektedir^[12].

4.1 Türkiye'nin Bor Üretimi

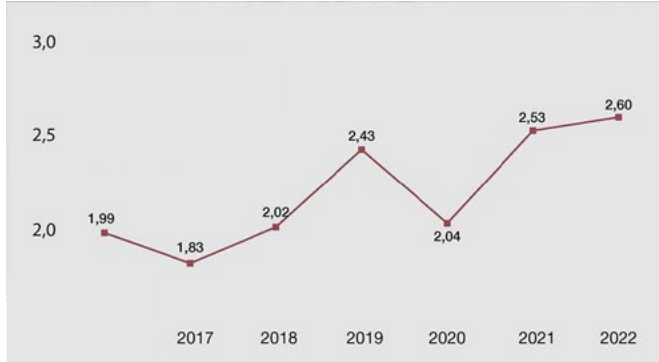
2021 yılı dünya bor üretim kapasitesinin 5,7 milyon ton ve dünya fiili bor üretiminin ise 4,27 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Fiili bor üretiminde Eti Maden yüzde 59 pay ile birinci sıradadır^[5].

Eti Maden'in 2022'de toplam rafine bor üretim kapasitesi yaklaşık 2,6 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

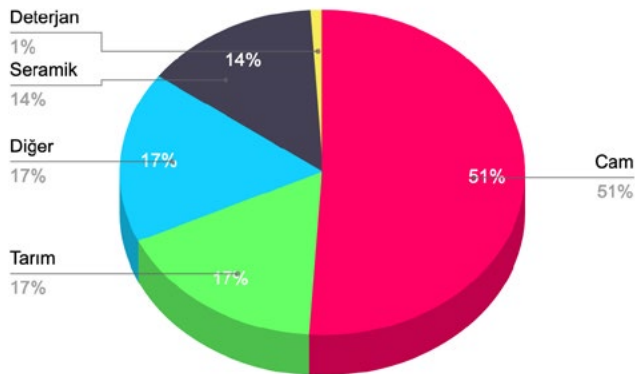
Türkiye'nin en büyük üretici olduğu pazarda Türkiye'yi ABD, Rusya, Şili, Çin, Peru, Arjantin, Bolivya ve Almanya gibi ülkeler takip etmektedir^[10].

4.2 Türkiye'nin Bor Tüketimi

Dünya bor tüketiminin yaklaşık yüzde 84'ü cam, seramik, tarım ve deterjan-temizlik sanayii dallarında



Şekil 3: Türkiye'nin rafine bor üretimi (milyon ton)^[10].



Şekil 4: Bor ürünlerinin Türkiye'de kullanım alanları^[12].

değerlendirilmektedir. Türkiye'de ise, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının X hesabından yapılan Ocak 2024 tarihli bir paylaşıma göre, bor ürünleri yüzde 51 cam, yüzde 17 tarım, yüzde 14 seramik, yüzde 1 deterjan, yüzde 17 pay ile diğer alanlarda kullanılmaktadır^[12].

4.3 Türkiye'nin Bor İhracatı

Bor sektöründeki küresel talebin yaklaşık yüzde 63'ü Türkiye^[12], ve yüzde 23'ü ABD tarafından karşılanırken; Rusya, Çin, Şili ve Arjantin gibi ülkeler de bor pazarından pay almaktadır^[5].

Bor ihracatı yaptığımız ülkeler arasında Çin, ABD, Rusya ve Hindistan yer almaktadır. Türkiye'nin bor ihracatında son yıllarda ciddi bir ivmelenme dikkat çekmektedir. 2000'li yılların başında 215 milyon dolar düzeyinde olan bor ve bor ürünleri ihracatı, 2022 yılında 1 milyar 18 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir^[7].

Türkiye rezerv büyüklüğünün yanı sıra yıllar içerisinde yapılan yatırım, gelişen farkındalık, bilimsel bilgi ve teknolojik ilerlemenin de etkisiyle dünya pazarında en yüksek üretimi gerçekleştiren ülke konumuna gelmiştir. Türkiye'nin ihraç ettiği ürünler arasında katma değeri yüksek rafine bor ürünlerinin payı da artmıştır. Türkiye ihracatında yer alan bor ürünleri; boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, susuz boraks, borik asit, öğütülmüş kolemanit, kalsine tinkal, bor oksit, öğütülmüş üleksit, çinko borat ve zirai borlardan oluşmaktadır. Kurumun son yıllarda küresel bor pazarında en çok ihracatı gerçekleştirdiği ülke, Asya merkezli Çin olmaktadır. Türkiye'nin 2000 ve 2019 dönemini kapsayan bor ihracatının yüzde 53'ü Asya'ya gerçekleşirken ikinci sırada yüzde 29 oranla Avrupa gelmektedir. Amerika yüzde 16 ile üçüncü sırada, Ortadoğu ve Afrika ise yüzde 1'lik paylarla satış hacimlerinde en düşük orana sahip bölgeler olarak görülmektedir^[9].

| Yıllar | Bor İhracatı (milyon dolar) |
|--------|-----------------------------|
| 2000 | 215 |
| 2005 | 299 |
| 2010 | 629 |
| 2011 | 831 |
| 2012 | 797 |
| 2013 | 801 |
| 2014 | 871 |
| 2015 | 787 |
| 2016 | 689 |
| 2017 | 854 |
| 2018 | 990 |
| 2019 | 780 |
| 2020 | 627 |
| 2021 | 991 |
| 2022 | 1.018 |

Tablo 3: Türkiye'nin yıllara göre bor ve bor ürünleri ihracatı (2000-2022)^[7].

2020'de 1,68 milyon ton, 2021'de 2.53 milyon ton rafine bor ürün üretimi gerçekleştiren Eti Maden aynı yıl 107 bin tonu iç satış olmak üzere toplam 2,63 milyon ton bor ürünleri satışı karşılığında 1,03 milyar dolar satış geliri elde etmiş, bunun 991 milyon dolarını ihracat gelirleri oluşturmuştur^[13].

4.4 Türkiye'nin Bor Yatırımları

4.4.1 Bandırma Bor Karbür Üretim Tesisi

Türkiye bor ile ilgili kapasitesini her geçen yıl geliştirirken, boru çok daha katma değerli hâle getirecek yeni yatırımlar da peş peşe hayata geçmeye devam etmektedir. Bu yatırımlardan biri de Balıkesir'in Bandırma ilçesinde 2023'ün Mart ayında faaliyete başlayan Türkiye'nin ilk bor karbür tesisidir. Yatırım bedeli 80 milyon doları bulan Bandırma Bor Karbür Üretim Tesisi, Türkiye'nin stratejik tesislerinden biri olarak kabul edilmekte, bor cevherindeki katma değeri artırması ve özellikle savunma sanayiine güç katması beklenmektedir. Tam kapasite çalıştığında 279 kişinin istihdam edileceği tesiste, yılda 1.000 ton bor karbür üretilecektir^[14]. Bandırma Bor Karbür Tesisi'nin, tam kapasite devreye alındığında 40 milyon dolar gelir getirmesi hedeflenmektedir^[15].

Bor karbürün sektörlerdeki pazarı 60 milyar dolar olarak öngörülmektedir. Bandırma Bor Karbür Tesisi'nde bor cevheri borik aside (etkisi az, beyaz, sedif görünümünde bir madde, asit borik) çevrilmektedir. Eti Maden Genel Müdürü ve Yönetim Kurulu Başkanı Serkan Keleşer, klasik borik asit ürünlerinin üretildiği tesiste tonu 120-150 dolar olan bor cevherinin borik aside çevrilerek katma değerinin sekize katlandığını ve 1.200 dolara kadar çıktığını ifade etmektedir^[16]. Tesiste, borik asidi petrokok (ısıl değeri yüksek, katı yakıt) ve grafit (bir karbon minareli) karıştırarak bor karbür tozu elde edebileceklerini aktaran Keleşer, "Bu bor karbür tozundan da zırh, roket nozulu (kimyasal reaksiyon sonrası açığa çıkan yüksek sıcaklıktaki gazların atılmasının sağlandığı yer), kumlama nozulu (basınçlı hava ile kum püskürtme işleminde kumlama hortumunun ucuna takılan ve aşındırıcı granülün istenilen şekilde ve miktarda püskürtülmesini sağlayan kum püskürtme memesi), yenilenebilir enerjide kullanılan malzemeler yapılıyor. Burada da tonu 35-45 bin dolara gelmiş bir üründen bahsediyoruz. Yani tonu 120-150 dolardan 35-45 bin dolara gelen bir üründen bahsediyoruz. Değerini 1'e 7 ve 1'e 300 kat artırmış oluyoruz" diyerek yaratılabilecek ekonominin büyüklüğünü vurgulamaktadır. Bor seramik pazarına doğru yönelimleri olduğunu ifade eden Keleşer, takım tezgahı ucunun ton fiyatının 1,2 milyon dolara, roket nozülü yapıldığında ise ton fiyatının 4,1 milyon dolara ulaştığını vurgulamaktadır^[16].

4.4.2 Kırka Lityum Karbonat Üretim Tesisi

2022'nin Aralık ayında Eskişehir'deki Eti Maden Tesisleri'nde yıllık 10 ton hedefiyle lityum karbonat üretimine başlanmıştır. Eti Maden İşletmeleri Teknoloji Geliştirme Dairesi Başkanı Derya Maraşlıoğlu, Eti Maden Tesisleri'nde bor ürünleri imali sırasında ortaya çıkan sıvı ve katı atıklarda bulunan lityum kullanılarak 2019 yılının

başlarından itibaren laboratuvar ortamında bataryada kullanılabilecek lityum karbonat üretimi gerçekleştirildiğini, amaçlarının ithalat yoluyla karşılanan lityum bileşiklerinin bir kısmının Türkiye'de üretilmesini sağlamak olduğunu açıklamıştır. Yapılacak yeni yatırımlarla tesisin üretim kapasitesinin kısa sürede yıllık 600 tona çıkarılması hedeflenmektedir^[17]. Öte yandan, 2021 yılında lityum karbonatın lityum iyon batarya üretiminde kullanılması amacıyla Eti Maden, ASPİLSAN ve ASELSAN ile işbirliği protokolü imzalamıştır. Bu kapsamda, Kırka Bor İşletme Müdürlüğünde deneme üretimleri yapılan lityum karbonat, ASPİLSAN tarafından üretilecek lityum iyon bataryalarda kullanılacaktır^[18].

4.4.3 Türkiye'nin İlk Ferrobor Üretim Tesisi

Türkiye'nin ilk Ferrobor Üretim Tesisi'nin temeli 17 Eylül 2022'de Balıkesir Bandırma ilçesinde atılmıştır. Eti Maden Genel Müdürlüğü Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğüne ait ferrobor tesisi yıllık 800 ton üretim kapasitesine sahip olacaktır. Tesisin diğer bir özelliği ise aynı zamanda teknoloji transferini de içermesidir^[19]. Ferrobor yüzde 6-25 arasında bor içeren gümüş-metalik gri renge demir-bor alaşımıdır. Savunma sanayii ve havacılık, otomotiv sektörü, tıp elektroniği ve elektronik ev aletleri gibi pek çok alanda ileri teknoloji ürünlerinin üretilmesinde kullanılmaktadır^[20]. İleri teknoloji ürünlerde kullanılan ferrobor özellikle çeliğe eklendiğinde mukavemetini artıran bir ürün olduğundan Türkiye'de çelik üretiminin rekabet düzeyine olumlu etki yapması beklenmektedir. Çelik üretiminin yanı sıra, neodyum mıknatıs, transformator çekirdekleri, otomobillerin çelik aksamları, metal enjeksiyon dökümleri gibi pek çok alanda ferrobor kullanılmaktadır^[21].

4.4.4 Eti Maden'in Öne Çıkan Başarıları

Eti Maden peş peşe elde ettiği başarılarla dünyanın ikinci büyük madencilik şirketi Rio Tinto'ya karşı liderliğini her geçen yıl aradaki farkı açarak sürdürmektedir. Eti Maden, 1998 yılında şirket üretimi içinde yüzde 47 olan işlenmiş borun oranını, 11 yıl içinde yüzde 92'ye yükseltmiş, 2005 yılı üretiminde Rio Tinto'nun bor şirketi US Borax'ı geride bırakmış ve 2009'daki üretimi Rio Tinto'dan yüzde 40 daha fazla gerçekleştirmiştir. Ekonomi gazetesinden Faruk Türkoğlu'na göre, "bu fazlalık oranının henüz açıklanmayan 2022 sonuçlarında yüzde 125'e kadar yükseldiği tahmin edilmektedir. Bir bor şirketinin çalışma raporuna göre, 2028 yılına kadar aradaki farkın daha da açılması beklenmektedir^[22]."

5. BORUN TÜRK SAVUNMA SANAYİİ AÇISINDAN ÖNEMİ

Borun en yaratıcı kullanımlarına rastlanan sektörlerin başında savunma sanayii gelmektedir. Bor askeri amaçlı uygulamalar, zırh malzemeleri, aşınmaya dayanıklı makine parçalarının üretimi ve nükleer uygulamalar olmak üzere savunmada çok çeşitli ürünlerin imalinde rol almaktadır^[10]. Ayrıca savunma sanayiine yönelik füze rampaları ve gece görüş kameraları da bu ürünler arasındadır^[2].

Elmas ve kübik bordan sonra en sert üçüncü madde olan bor karbür havacılıktan zırh yapımına, personel yerleklerinden korunaklı levhalara kadar pek çok yerde kullanıldığı gibi, bor nükleer tesislerde nötron tutucu olarak vazgeçilmezdir^[14]. Bor süpersonik uçak ve füzelerin gövdelerinde ve insansız hava araçları ve elektrikli araçların yakıt pilinde de kullanılmaktadır^[23].

TENMAK BOREN tarafından desteklenen bir proje kapsamında bir teknoloji firması, kurşun geçirmez bor karbür zırh üretmeyi başarmıştır. Bor karbür zırh seramiklerinin pazar payı, her geçen gün büyümektedir. Türkiye’de yerli teknoloji ile geliştirilen zırh malzemesi teknik özellikleri ile rekabet avantajına sahip konumdadır. Türkiye’nin bor madeni açısından zenginliği de göz önüne alındığında, bor karbür ve özel bor bileşiklerinin, zırh vb. savunma ihtiyaçlarına yönelik olarak yurtiçinde geliştirilmesi ve üretilmesi stratejik önem taşımaktadır. Bu doğrultuda Eti Maden tarafından altyapısı kurulan bor karbür üretim tesisinin özellikle Türkiye savunma sanayii için önemli bir atılım olacağı ortadadır^[13].

Metal borürler ise son dönemlerde süpersonik uçak ve füzelerin ve yörünge giriş araçlarının (roket, insanlı ve insansız uzay araçları) nozul ve gövdelerinde kullanılan yüksek sıcaklıklara dayanıklı kompozit seramiklerin de temelini oluşturmaktadır. BOREN bünyesinde farklı yöntemlerle metal borür tozların üretim çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Ayrıca üretilen tozların nihai kullanım yerine göre plaka, nozul vb. ürünlerin üretimine yönelik Ar-Ge faaliyetleri de 2.500 °C sıcaklıklara çıkılabilmesine imkân sağlayan 50 ton kapasiteli yerli üretim, sıcak presle gerçekleştirilmektedir. Alüminyum Borür (AIB12) olarak özellikle savunma sanayiinde kompozit katı roket yakıtında enerjetik malzeme olarak tercih edilmektedir. Yerli savunma sanayii için kritik önemde olan bu malzeme, TENMAK BOREN’in desteğiyle Pavezyum Kimya Sanayi Tic. A.Ş. tarafından geliştirilmiştir ve ticari olarak üretimi yapılmaktadır^[13].

Makine Kimya Endüstrisi Kurumu (MKEK) Silah Fabrikasında da, 2019 yılında silahların namlu ömrünü artırmak amacıyla bor madeninden elde edilen özel malzeme üretilmiştir. Bu kapsamda tasarlanan ve prototipi tamamlanan namlusu bor kaplı silahlar, Nevşehir’de düzenlenen Uluslararası Bor Sempozyumu’nda tanıtılmıştır. Uygulama, ilk olarak Türk Silahlı Kuvvetlerinin (TSK) ihtiyacına binaen özgün, muharebe ortamında her türlü arazi ve hava şartlarında kullanılan, dakikada 850 atım kapasitesine sahip MPT-55 piyade tüfeğinde denenmiştir. Yivli namlu kısmı krom kaplama olan piyade tüfeklerinde ortalama 10-15.000 atışla sınırlı olan namlu ömrünün, bor madeninden elde edilen malzemeyle kaplanan namlular sayesinde artırılması hedeflenmektedir. Ayrıca krom kaplı namluların üretim aşamasındaki iş sağlığı ve güvenliği açısından yol açtığı sorunların da bor teknolojisi ile minimuma indirilmesi beklenmektedir.

Benzer bir çalışma Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi (NEVÜ) yerleşkesindeki Kapadokya Teknoparkta yürütülmüş, 2021 yılında silahların namlu ömrünü uzatmak amacıyla geliştirilen özel karışımın prototiplerdeki ön testinde başarı sağlanmıştır. Titanyum, bor ve karbon



Şekil 5: Makine Kimya Endüstrisi Kurumu Silah Fabrikasında tasarlanan ve prototipi tamamlanan namlusu bor kaplı silahlar^[24].

bileşiminden oluşan karışımla silah namlularına yönelik yürütülen çalışmada bilim insanları, ürettikleri yeni malzeme ile kapladıkları personel silahlarını 1.050 °C derecedeki ısıda fırınlayarak, silahların namlu ömrünü artırmayı başarmıştır. İlerleyen süreçte tank ve obüs namlularına da bu karışımın uygulanmasına yönelik adımların atılması planlanmaktadır^[25].

6. TÜRKİYE’DE BOR ARAŞTIRMA VE YATIRIMLARI

Dünyada ve Türkiye’de bor ürün ve teknolojilerinin geniş bir şekilde kullanımını araştırmak ve geliştirmek için 2003 yılında kurulan Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, 28 Mart 2020 tarihli Cumhurbaşkanlığı kararnamesi ile faaliyetlerini Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) çatısı altında “TENMAK BOREN” olarak yerine getirmektedir^[26].

TENMAK BOREN bor ürün ve teknolojilerinin araştırılması, geliştirilmesi ve kullanım alanlarının yaygınlaştırılması amacıyla program ve projeler yürütmekte, bor ile ilgili bilimsel yayınlar yapmakta ve etkinlikler düzenlemektedir. TENMAK BOREN’de sahip olunan bilgi birikimi, deneyim ve prosesin paylaşılması suretiyle üniversite-kamu-özel sektör işbirliği ve koordinasyonunda bor ile ilgili bilgi üretilmekte, teknik ve tecrübe geliştirilmekte

ve teknolojiye dönüştürülmektedir. TENMAK BOREN’de altı laboratuvar bulunmaktadır. Bunlar; TENMAK BOREN Prof. Dr. Ayhan MERGEN Ar-Ge Merkezi, TENMAK BOREN Organik ve Polimer Laboratuvarı, TENMAK BOREN Borlu Kompozit Malzemeler Laboratuvarı, TENMAK BOREN Borlu Kaplama Laboratuvarı, TENMAK BOREN Borlu Malzemeler Araştırma Laboratuvarı ve TENMAK BOREN Biyoteknoloji Laboratuvarıdır^[27].

TENMAK BOREN’de Ar-Ge çalışmalarıyla çok sayıda ürünün ticarileştirmesi mümkün olmuştur. Bunlardan biri Çinko Borat; kablo, boya, kumaş, elektrik/elektronik parçaları, halı kaplamaları, otomobil/uçak iç aksamaları ve kağıt endüstrisinde kullanılmakta ve bu ürünlere alev oluşumunu ve gelişimini geciktirme özelliği vermekte; günlük hayatın birçok alanında aktif olarak kullanılan plastik malzemelerin daha güçlü, dayanıklı ve kaliteli bir ürüne dönüşmesini sağlamaktadır. Yalıtım malzemesi olarak da kullanılan Çinko Borat; polimer, ahşap, tekstil gibi sektörlerde yaygın olarak tercih edilmektedir^{[23], [28]}.

Bir diğer ürün, tarımda verimi artıran “borlu gübre”-dir. Ticarileşen ürünler arasında bor karbür zırhı, borlu modakrilik elyaf, borlu emprenye kimyasalı, borlu selülojik izolasyon malzemesi, yüksek saflıkta elementel bor, borlu alev almaz çadır kumaşı, magnezyum diborür süper iletken toz, borlu antibakteriyel sıvı el dezenfektanı (BOREL), insanlı ortam için borlu hava dezenfektanı (BORTAM), hegzagonal bor nitür üretimi ve uygulamaları, alüminyum borür, borlu diyet takviyeler, trimetil borat yer almaktadır^[23].

Formülü yine TENMARK BOREN Ar-Ge merkezinde geliştirilen ve laboratuvar çalışmaları tamamlanan bor katkılı yerli ve milli sıvı el dezenfektanı BOREL, Nisan 2020’den itibaren Eti Maden Genel Müdürlüğü tarafından pazara sunulmuştur. BOREN Ar-Ge merkezinde geliştirilen sprej formundaki borlu ortam dezenfektanı BORTAM ise, havadaki bakteri, mantar ve virüsleri inhibe edebilme özelliğine sahiptir.

Hidrojen üretim ve yakıt pili sistemleri geliştirilmesine yönelik olarak 2004’te başlatılan BOREN-TÜBİTAK MAM işbirliği çalışmaları kapsamında, hidrojen üretim ve yakıt pili (Fuel Cell) sistemleri yerli ve milli imkânlarla geliştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda geliştirilen teknoloji ve kazanılan deneyimle Türkiye’de ve dünyada ilk özgün tasarıma sahip 1 kW gücünde doğrudan sodyum borhidrürü yakıt pili üretilmiştir. Söz konusu işbirliğinde yıllar içerisinde kazanılan yetkinliğin bir araç konseptinde test edilmesi amacıyla sodyum borhidrürden hidrojen üreten ve yakıt pilini besleyen sistem, yerli bir araca entegre edilerek aracı tahrik için gerekli elektrik enerjisi üretilmiştir. Maksimum hızı 80 km/saat, menzili ise 150 km olarak ölçülen araç, 1 kg sodyum borhidrür ile 50 km yol gidebilmektedir^[23].

İşbirliğiyle yürütülen diğer bir çalışmada ise elektrikli bir araca hidrojen üretim sistemi ve yakıt pili entegre edilmiş, bu sayede, batarya ile 250-300 km yol alabilen aracın menzili 150 km daha artırılarak tek bir şarjla 400-450 km menzile çıkarılmıştır^[23].

“İnsansız Hava Aracı (İHA) için Bor Temelli Hidrojen ve Yakıt Pili Sistemi Geliştirilmesi” konulu projede ise

sodyum borhidrürden üretilen hidrojenin yakıt pilinde kullanılarak İHA uygulaması gerçekleştirilmiştir. Üretilen İHA’nın kalkış anındaki maksimum toplam ağırlığı sekiz kg olup, İHA batarya ile üç saat uçabilirken, geliştirilen yerli hidrojen üretim sistemi ve yakıt pili sistemi ile dört-beş saat uçabilmektedir. BOREN, TÜBİTAK MAM ve GEN Otomobil işbirliği ile 2019’da başlatılan projede, günümüzde kullanımı hızla yaygınlaşan elektrikli araçlara hidrojen enerjisi ve yakıt pili teknolojisinin entegre edilerek araçların daha fazla menzil yapabilir hâle gelmesi amaçlanmaktadır^[23].

Borun kullanıldığı kritik alanlardan biri olan sağlık sektörüne yönelik olarak da TENMAK BOREN’in yürüttüğü çok sayıda proje bulunmaktadır. TENMARK BOREN Ar-Ge Laboratuvarı ve Hitit Üniversitesi işbirliğiyle yürütülen “Diyet Takviyeleri İçin Bor Ester Kompleksleri, Sentezi, Yapısal Karakterizasyonları” adlı proje bunlardan biridir. Borun sitrik asit, malik asit, fruktoz, salisilik asit ligantları ile mono ve diesterleri ticari boyutta ve glisin, lösin, laktöz, glikoz askorbik asit, aspartik asit gibi ligantların da mono ve diesterleri laboratuvar ölçekli üretilmiş olup, esterlerden bor sitrat yapılan kimyasal analizler ve farmakokinetik çalışmalar sonucunda Türk Gıda Kodeksi’ne dahil edilmiştir. Ayrıca borlu diyet takviyeleri (bor sitrat) “BORBONE” ticari adıyla geliştirilmiştir. Yaralarda kullanılması için borlu yara iyileştirici süngerler de üretilen ürünler arasında yerini almıştır. Sünger şeker hastalarının iyileşmeyen yaralarını dahi iyileştirebilmektedir^[13].

TENMAK BOREN bünyesinde borun tarım alanındaki kullanımı çerçevesinde üretilen pek çok ürün de bulunmaktadır. Bor az miktarda toprağa uygulanarak ürünün türüne göre verim ve kalitede önemli artışlar sağlayabilmektedir. Örneğin şeker pancarında verimin yanı sıra şeker oranının, ayçiçeği ve zeytinde ise yağ miktarının artmasını sağlayabilmektedir. Pamukta ise lif kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. TENMAK BOREN ve Tarım ve Orman Bakanlığı ile işbirliği ile “Tarım-Bor Araştırma ve Uygulama Programı” başlatılmış ve program kapsamında 14 farklı üründe borlu gübre kullanılarak denemeler yapılmıştır^[13].

TENMAK BOREN’in bir diğer önemli faaliyeti ise, üretiminde çimento kullanılan pompa tuğlalarında bor kullanılmak olmuştur. Çimento kullanımı nedeniyle hafiflik, gözeneklilik ve dolayısıyla da ısı yalıtımı önemli ölçüde azalan pompa tuğlalarında bor ile pompanın ısı yalıtım özelliği korunmuş, ayrıca elde edilen borlu tuğla, pompanın doğal gözenekliliğine zarar vermediğinden hava ve su filtresi olarak da kullanılabilme potansiyeline sahip olmuştur. Dünyada ilk defa üretilen bu ürünün Türkiye’de ticarileşme potansiyeli yüksek görünmektedir. Ürünün pilot tesisi kurularak ticarileşme aşamasına gelinmiş, endüstriyel ölçek boyutundaki kalıp (30x15x15 cm) kullanılarak aynı özelliklerde (standart) ürün elde edilmesi için hammadde hazırlık işlemleri tamamlanmış ve üretim çalışmalarına başlanmıştır. Standart ürün için TSE belgesi de alınmıştır^[13].

TENMAK BOREN bünyesinde bor ile ilgili bilimsel çalışmaların, özgün nitelik taşıyan temel araştırmaların ve teknik uygulamaların yer aldığı Bor Dergisi (Journal Of

BORON) adında bir de dergi yayınlamaktadır. Bilim dünyasında ilk ve tek dergi niteliğindeki bu dergide, borla ilgili ulusal ve uluslararası alanlarda yapılan bilimsel çalışmaların yayınlanması, güncel teknolojilerin, özgün tekniklerin ve yaklaşımların paylaşılması amaçlanmaktadır^[29].

7. TÜRKİYE'DE BOROFEN

Tek katmanlı hegzagonal yapıda dizilmiş bor atomlarından oluşturulan ve mucize malzeme olarak nitelendirilen borofen, sunduğu yeni olanaklarla bilim dünyasında heyecan uyandırmıştır. Grafen ve şu anda kullanılan polimerlerden daha yüksek bir esnekliğe, daha yüksek bir sertlik-ağırlık oranına ve daha yüksek ideal dayanıma sahip olduğu gösterilen borofen süper iletkenlik özelliği sayesinde özellikle ileri teknoloji ürünlerin üretiminde ve kullanımında devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Borofen başta biyotıp olmak üzere sağlıktan enerjiye, bilişimden elektronik cihazlara kadar pek çok alanda çeşitli uygulamalarda potansiyel taşıyan mükemmel özelliklere sahiptir. Borofen, gelişmiş kompozit malzemelerde, esnek elektronik cihazlarda, süper kapasitör, pil, hidrojen depolama gibi alanlarda ve biyo görüntüleme, ilaç dağıtımı ve fotonik terapi gibi çeşitli biyomedikal uygulamalarda büyük umut vadetmektedir^[30]. Artan dijitalleşmeyle beraber dünyanın en önemli konu başlıklarından biri çok hızlı bir şekilde şarj olan ve kullanım süresi artan bataryalar üretmek hâline gelmiştir. Borofenin özellikle bu alanda oldukça kritik bir malzeme olacağı öngörülmektedir.

Türkiye sahip olduğu devasa rezervler ve bor teknolojisinde sağladığı önemli ilerlemelerin yanında borofen üretebilen az sayıdaki ülke arasına girmeyi de başarmıştır^[31]. Borofen, Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde (SUNUM) üretilmiştir. SUNUM Strateji ve İş Geliştirmeden Sorumlu Direktör Yardımcısı Mert Umut Öz kaynak, "SUNUM araştırmacıları ile bordan üretebileceğimiz ve dünya pazarında adımızdan söz ettireceğimiz bir ürün arayışına girdik ve borofen üretmeye karar verdik" diyerek sürecin nasıl başladığını özetlemektedir. 2025 yılında enerji bataryalarının pazar büyüklüğünün 105 milyar dolar olacağını

ifade eden Öz kaynak, çalışmalarını "Bu pazardan borofen teknolojileriyle pay almayı ve Türkiye'nin bu alanda dışa bağımlılığını azaltmayı hedefliyoruz. Çalışmalarımızı ilerlettikçe enerjinin yanına savunma, otomotiv, kompozit gibi farklı alanları da ekledik ve ürünü çeşitlendirdik" diyerek tarif etmektedir^[32].

SUNUM'un İş Geliştirme Sorumlusu Özgür Ekin Felek ise, "Standard bir grafit temelli batarya sistemine yüzde 3 oranında uygun borofen eklendiğinde, spesifik kapasitenin yüzde 20 ila yüzde 30 oranında arttığını, bir süper kapasitöre yüzde 10 oranında uygun borofen eklediğimizde, spesifik kapasitenin yüzde 75'e kadar arttığını kayıt altına aldık. Aynı zamanda şarj süresini yüzde 68 azaltırken, deşarj süresini de uzatmaktadır" diyerek borofenin önemine işaret etmektedir^[32].

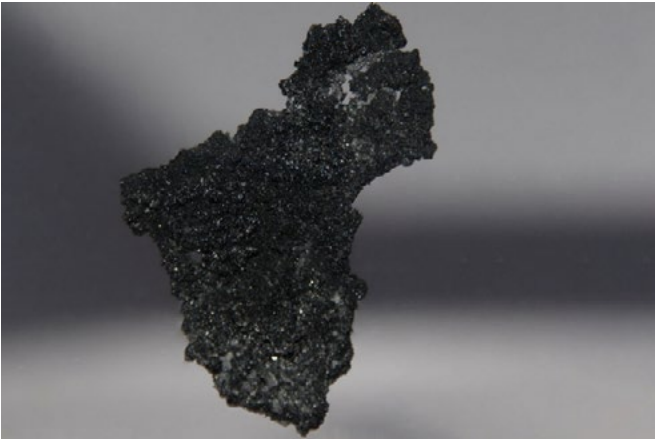
Özgür Ekin Felek borofenin Türkiye açısından önem taşıyan kullanım alanlarını ise şöyle değerlendirmektedir: "Enerji depolama sistemleri öne çıkan ilk başlık. Çünkü enerji sistemlerinde hem verimi hem de kapasiteyi oldukça yukarı noktalara çekiyor. Bunun dışında savunma sanayiinde, kompozitlerde, mikro nano sensörlerde de kullanılıyor. Çünkü bor elementinin sahip olduğu çok özel değerler var. Bu durum onu farklı alanlarda başrol oyuncusu yapıyor. Hâliyle de bilim dünyasında ümit vadeden 'yeni süper malzeme' olarak adlandırılıyor. Borofenin birçok fonksiyonel özellik açısından grafenden daha güçlü olduğunu biliyoruz. Bu nedenle balistik uygulamalarda kullanılabilir. Anti radar yani radara yakalanmama konusunda kullanımı oldukça muhtemel. Bu alanda da zaten bizim farklı sektörlerle görüşmelerimiz devam ediyor."

Ticarileşme potansiyeli oldukça yüksek olan bu yeni ürünle SUNUM, Türk sanayiinde katma değer yaratmayı hedeflemektedir. Öz kaynak Türkiye'nin kendi imkânlarıyla ürettiği bu kritik malzemeyi milli projelerinde kullanmaya başlayacağı görüşünü paylaşmaktadır^[31].

8. TÜRKİYE'DE BULUNAN BOR REZERVLERİNİN JEOSTRATEJİK VE JEOEKONOMİK AÇIDAN ÖNEMİ

Bir ton bor cevherinin piyasa değeri 120-150 dolar civarındadır. Ancak bu maden işlendiği takdirde binlerce dolarlık değere ulaşabilmektedir. Türkiye yaygın kanının aksine bor madenini cevher olarak değil, rafine edip borik asit hâline getirerek satmaktadır. Bu şekilde şu an cevher ton başına 150 dolar iken borik asite çevrildiğinde 1.000 dolara, bor karbürü çevrildiğinde ise 40 bin dolara kadar satılabilmektedir^[10]. Bor karbür tozundan üretilen zırh plakaların ton fiyatı ise yaklaşık 400.000 dolara kadar çıkabilmektedir. Bor kimyasallarından üretilen nano elementer borun ton fiyatı ise yaklaşık 2 milyon dolar civarındadır^[13].

Bu veriler rezerv zengini Türkiye'nin inanılmaz bir ekonominin adeta üstünde oturduğunu göstermektedir. Potansiyel gerçekten sıra dışıdır. Üstelik dünyada bor üzerine yapılan Ar-Ge çalışmaları arttıkça bor içerikli



Şekil 6: Türkiye'nin sahip olduğu bor minerallerinin çokluğu borofen konusunda elini güçlendirmektedir.

ürün ve malzemeler, hayatın önemli bir parçası hâline gelmektedir. Sanayide 250'den fazla alanda kullanılan borun sektörel büyümeyi 2020-2060 yılları arasında yapması, 2025'ten sonra borlu yeni ürünlerin hayatımızda daha fazla yer alması öngörülmektedir. Ar-Ge çalışmaları ve yeni yatırımlarla Türkiye'nin bor ticaretinin "katma değerli" ürüne dönüşmesi, Türkiye'nin bor ve borlu ürünler ihracatının önümüzdeki yıllarda katlanarak artması beklenmektedir^[23].

Türkiye 2022'de roketlerde yakıt olarak veya tanklar için delinmez zırh yapımında kullanılan bileşikler de dahil olmak üzere 1 milyar dolar değerinde bor türevi ürün ihraç etmiştir.

Mevcut ve sürekli keşfedilen yeni kullanım alanlarıyla bor, Türkiye'nin geleceğini belirleme açısından bambaşka bir hikâye yazılmasını sağlayabilir. Pillerde kullanılan trilyum borat gibi çeşitli ileri teknoloji ürünler geliştiren bir Türk şirketi olan PAVTEC'in Fabrika Müdürü Dr. Selçuk Acar, Türkiye'nin 50 milyar dolar civarında olan dünya bor pazarının en az yarısını elde etme potansiyeline sahip olduğuna dikkat çekmektedir^[33].

Dünya enerji denkleminde rol oynamaya başlayan ve 2050'ler için yepyeni bir enerji kaynağı olarak dikkat çeken yeşil hidrojenin önündeki en büyük engellerden biri olan depolama ve taşıma sorununun çözümünün anahtarı da bordan yapılan bir malzeme olabilir. Japonya'daki Tsukuba Üniversitesinden Dr. Takahiro Kondo, yeni oluşturdukları hidrojen borür adlı malzemenin, hidrojen depolama malzemesi olarak kullanılabileceğini ve bu malzemeyle hidrojenin çok yüksek verimlilikle depolanabileceğini savunmaktadır. Dr Kondo ve ekibi önümüzdeki bir veya iki yıl içinde hidrojen borürün özelliklerini denemek ve doğrulamak için Japonya'daki büyük otomobil şirketleriyle işbirliği yapmaktadır.

Bazık bor tozu üretimine başlayan Türkiye, giderek daha karmaşık bor bileşikleriyle değer zincirinde üst sıralara çıkmıştır. Muazzam potansiyele sahip olduğu görülen bir başka uygulama ise, füzyon reaksiyonu yoluyla elektrik üretmek için bir bor bileşiğinin kullanılmasıdır. Geleneksel nükleer santraller ısı üretmek için fisyon reaksiyonlarına dayanmaktadır. Çok pahalı olan süreçte çok fazla radyoaktif madde üretilmekte ve elektrik üretmek için türbinler gerekmektedir. Doğrudan şebekeye güç sağlayan bir füzyon reaksiyonu üretmek için lazerlerle deneyler yapan Avustralyalı HB11 şirketinin finans müdürü Jan Kirchhoff, şirketin amacını normal hidrojen ve bor 11 içeren bir reaksiyondan füzyon enerjisi elde etmek için ticari bir yol bulmak olarak açıklamaktadır. Hidrojen borür füzyon teknolojisinin geniş çapta benimsenmesinin Türkiye'nin yanı sıra tüm gezegene büyük fayda sağlayacağını söyleyen Kirchhoff, Türkiye'deki bor rezervleriyle dünyaya binlerce yıl enerji sağlanabileceğini belirtmektedir^[33].

21'inci yüzyılda artan enerji ve hammadde ihtiyacı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler açısından önemini her geçen gün artırmakta ve devletlerin sahip olduğu doğal kaynaklar, milli güç unsurlarından biri olarak büyük avantaj sağlamaktadır. Bor sanayideki geniş kullanım alanıyla birlikte oldukça stratejik alanlarda da kullanım özelliğine

sahip olduğundan Türkiye'nin dünyanın en yüksek bor rezervine sahip ülke olarak bu avantajını rasyonel biçimde değerlendirmesi büyük önem taşımaktadır. "Türkiye'de Bulunan Bor Rezervlerinin Jeostratejik ve Jeoekonomik Açısından Önemi" başlıklı 2021 tarihli bir yüksek lisans tezi hazırlayan Ankara Üniversitesinden Sosyal Bilimler Enstitüsünden Alime Vildan Karakaş'a göre, bu önemli maden türünün dünyadaki en büyük rezervlerini sınırları içerisinde barındırması, Türkiye için büyük bir avantaj niteliindedir^[9]: "ABD savunma programında geleceğin yakıtı olarak geçmesi, Rusya'nın uzay çalışmalarında, yüksek teknoloji askeri tesislerinde 1960'lardan itibaren geliştirme faaliyetleri yürütülmesi ve günümüzde tank, uçak ve füzeler olmak üzere savunma sanayiinin yanı sıra hidrojen taşıyıcılar ve nükleer santraller için kullanılması gibi özellikleriyle bor; stratejik bir maden olarak kabul edilmektedir."

Karakaş, tezinde Türkiye'de 2021'e kadar yapılan borla ilgili akademik çalışmaları değerlendirerek bu alanda çalışan akademisyenlerin borla ilgili algılarını araştırmış ve akademisyenlerin öne çıkan bazı tespitlerini şöyle sıralamıştır:

- Türkiye'nin rezerv avantajının ulusal çıkarlar doğrultusunda pazarlama stratejilerine yansımalarının önemi,
- Türkiye'nin dünya bor piyasasında söz sahibi olabilmesi için öncelikle, yeterli ve kaliteli ürün geliştirme sine gerekliliği,
- Rezerv ve cevher kalitesine rağmen Türkiye'nin istenilen düzeyi henüz yakalayamaması,
- Türkiye'nin özellikle uç-özel ürün üretebilecek teknolojiye sahip olmaması nedeniyle bor pazarına hâkim olamaması,
- Türkiye'nin dünyaya ham bor ihraç eden öncü bir ülke olması ve bu durumun kaynak israfına neden olması,
- Türkiye'nin teknolojik açıdan değerli uç ürünleri üretilip piyasaya sunabilirse dünya bor pazarında hak ettiği konuma erişebilecek olması.

Karakaş, Türkiye'nin bor konusunda stratejik bir plan dâhilinde hareket etmesi gerekliliğinin altını çizmekte, bor madenlerinden stratejik olarak faydalanmaya devam ederken bu değerli maden türünün sürdürülebilirlik açısından korunması ve geleceğe aktarılmasının da hayati önem taşıdığını belirtmektedir.

Karakaş, tezinde Türkiye'de borun stratejik değerlendirilmesiyle ilgili bir SWOT analizi de yapmıştır. Analiz Tablo 4'te sunulmuştur.

Karakaş Türkiye'nin sahip olduğu bor rezerv avantajını rasyonel açıdan değerlendirmek suretiyle jeostratejik atılım sağlayabileceğini ifade etmektedir: Karakaş, borun Türkiye için stratejik bir yeraltı kaynağı olduğundan ve jeoekonomik açıdan da anlam taşıdığı için altını çizmektedir. Karakaş'ın tezinde yer verdiği bu konudaki bir çalışmada (Ali Hasanov, Jeopolitik 2012) Türkiye'de bordan jeostratejik ve jeoekonomik açıdan faydalanabilme konusundaki öneriler şöyle sıralanmıştır^[9]:

| | |
|--|---|
| Güçlü Yönler <ul style="list-style-type: none"> • Rezerv oranının büyüklüğü, • Stratejik maden olma özelliği, • Cevher niteliğinin kaliteli oluşu, • Endüstriyel kullanım alanlarının genişliği, • Dünya bor üreticilerinin oligopol yapıya sahip olması, • Kolay rezerv üretimi ve erişilebilirliği, • Ülke ekonomisine sağlanan katkı. | Zayıf Yönler <ul style="list-style-type: none"> • Rezerv kadar pazar payına ulaşamamış olması, • Türkiye’de tüketim oranının düşüklüğü, • İç ve dış pazarda ürün çeşitlendirmeye yönelik çalışmaların yetersizliği, • Ürün geliştirmede Ar-Ge’ye ayrılan payın yetersizliği. |
| Fırsatlar <ul style="list-style-type: none"> • Rakiplerin rezerv oranlarının azalması, • Yeni üretim teknolojilerinin gelişmesi, • Pazar alanlarının genişlemesi, • Bor kullanan sektörlerde büyüme trendi, • Bor ürünlerine yönelik Ar-Ge’ye ayrılan payın kurum ve kuruluşlar tarafından artırılması. | Tehditler <ul style="list-style-type: none"> • Akademi ve sektörler arası ilişkilerin yetersizliği, • Alternatif ürünlerin ortaya çıkması, • Dünyada monopol pazar yapısının varlığı, • Bor ürünlerinin geliştirilmesi ve kullanımını teşvik eden yasal düzenlemenin olmayışı. |

Tablo 4: Türkiye’deki borun stratejik değerlendirilmesi ile ilgili SWOT analiz⁹⁾.

- Ülkenin sahip olduğu ulusal maden varlığından gelecek nesillerin de faydalanabileceği ölçüde bor rezervleri korunarak, geliştirilerek, sürdürülebilir bir bakış açısıyla ele alınmalıdır. Bu açıdan bor stratejisini ön plana alan bir madencilik politikası oluşturulmalıdır.
- Türkiye’de Eti Maden, BOREN ve TÜBİTAK’ta bor ile ilgili Ar-Ge ve ürün geliştirmede istihdam edilen personelin yalnız bilgi açısından yeterliliği değil, aynı zamanda yenilikçi, üretken ve atılcı özelliklere de sahip olması bor konusunda yeni projelere kapı aralayacaktır.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Eti Maden ve Sanayi Bakanlığınca bor konusunda Ar-Ge’ye ayrılan pay artırılmalıdır. Gerekirse yasal düzenlemelerle yerel sanayide bor kullanımı teşvik edilmeli, yerel bor sanayinin yaygınlaştırılması ve teknolojisinin geliştirilmesi hedeflenmelidir.
- Borun kullanım alanlarının geliştirilmesine yönelik yerel sanayi, üniversiteler ve firmalar işbirliği içerisinde projeler geliştirmeli ve bu projelerin hayata geçirilmesine fırsat verilmelidir. Örneğin katılımcıların da sık sık vurguladığı gibi sodyum borhidrür konusu, hidrojen yakıtlı her çeşit araç için bor kullanımı demek olacaktır. Söz konusu projenin Türkiye’de hayata geçirilebilmesi hâlinde ülke içinde de hem bor kullanımı artacak hem de yakıt tasarrufu sağlanmış olacaktır. Bu bağlamda bor ve bileşiklerinden hidrojen üretimi ve depolanması, yakıt pilleri, araç motor teknolojileri, uç ürün üretimi ve nükleer reaktörlerde kullanım özellikleri iyi değerlendirilmelidir. Bu alanlarda gereken teknoloji için stratejik atılımlar gerçekleştirilmelidir.
- Yenilenebilir enerjiye olan talebin yükselmesine paralel olarak enerji depolama teknolojilerinde de bir artış söz konusu olacaktır. Bu gelişmelerle Türkiye yakıt hücresi alanında Ar-Ge çalışmalarını ilerletebilir ve gerekli sertifikaları alabilirse Türkiye’de bor rezervlerinin yerel tüketimde etkin kullanımı sağlanabilecektir.
- Bordan uç ve özel ürün geliştirilmesi için bor yataklarının bulunduğu yerlere araştırma enstitüleri

kurulabilir ve üniversitelerin ilgili bölümlerinde eğitim gören gençlere sağlanacak staj ve araştırma projeleri sayesinde yeni ve yaratıcı fikirlerin doğmasına sebep olunabilir.

- Türkiye’de borla ilgili daha net bilgiye erişimi sağlayabilmek için sorumlu kurumun daha ulaşılabilir bir yaklaşımla kamuoyu desteğini alması, bilgi kirliliğini önleme konusunda yardımcı olabilecektir.

9. SONUÇ

Hem insan yaşamının kalitesinin artırılmasında hem de ulusal ekonomiye benzersiz bir güç kazandırılmasında sonsuz potansiyel taşıyan borun, özellikle ileri teknoloji ürünlerinde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bilim insanlarının çalışmaları özellikle son yıllarda bordan elde edilen borofenin de aynı şekilde çok sayıda alanda fırsatlar barındıran mucizevi bir madde olduğunu kanıtlamaktadır.

Elektrikli araçlar, kapasitörler, piller, enerji depolama çözümleri gibi geleceğin temel dönüştürücü teknolojilerinde bor ve borofen yepyeni inovasyonların kapısını aralamakta ve kullanıldıkları ürünleri katma değerli hâle getirmektedir. 2022’de 3,87 milyar dolar değerinde olan küresel bor pazarının, yıllık ortalama yüzde 5,1’lik bir artışla 2027’de 4,88 milyar dolara ulaşması beklenmektedir.

Tüm bu gelişmeler Türkiye açısından çok daha anlamlıdır çünkü Türkiye dünyanın en zengin bor madeni rezervine sahip ülkesidir. Dünya bor rezervlerinin yüzde 73,3’üne ev sahipliği yapan Türkiye, bor araştırma ve yatırımlarını sürekli genişletmekte ve bor ekonomisinden aldığı payı artırmaya devam etmektedir. Bunun yanında borun özellikle savunma sanayiindeki geniş kullanım alanı, rezerv avantajıyla birleştiğinde Türkiye’nin milli gücüne ciddi katkı sağlama potansiyeli taşımaktadır. Dolayısıyla jeostratejik ve jeoekonomik açıdan Türkiye’nin sahip olduğu rezerv avantajını katma değere dönüştürmek için borla ilgili atılımlarını büyütmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] *TRT Haber*, (2019), "TÜRKİYE'NİN ÇEVRE DOSTU YER ALTI Mİ-RASI: BOR" <https://interaktif.trthaber.com/2019/bor/>
- [2] Çiftçi, Mine Yagıcı; (2021), "Türkiye 2020'de küresel bor talebinin yüzde 57'sini karşıladı *TRT Haber*, (27 Temmuz 2021), [https://www.trthaber.com/haber/turkiye/turkiye-2020de-kuresel-bor-talebinin-yuzde-57sini-karsiladi-597815.html#:~:text=Kaba%20bir%20hesapla%20T%C3%BCrkiye%2C%20tek,de%20bunun%20en%20C3%B6nemli%20ispat%C4%B1](https://www.trthaber.com/haber/turkiye/turkiye-2020de-kuresel-bor-talebinin-yuzde-57sini-karsiladi-597815.html#:~:text=Kaba%20bir%20hesapla%20T%C3%BCrkiye%2C%20tek,de%20bunun%20en%20C3%B6nemli%20ispat%C4%B1.). (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [3] *Eti Maden*, "2019-2023 STRATEJİK PLANI", <https://www.eti-maden.gov.tr/storage/StratejikPlan/HUAMaYfbMokt57ttEgG-ZEXpWo4cenPesRzkgiyPh.pdf>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [4] *Eti Mine S.A.*, "Boron as the Rising Value of Turkey", <http://www.etimine.com/boron-in-turkey/>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [5] *STM ThinkTech*, (2023), "GELECEĞİN MİNERALİ VE MALZEMESİ BOR VE BOROGEN II: Üretim ve Ekonomik Boyutuyla Bor", (15 Aralık 2023), <https://thinktech.stm.com.tr/gelecegin-minerali-ve-malzemesi-bor-ve-borofen-ii-uretim-ve-ekonomik-boyutuyla-bor>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [6] *Türkiye İhracatçılar Meclisi*, (2022), "Türkiye'nin İlk 1000 İhracatçısı", <https://tim.org.tr/files/downloads/Ihracat1000/2022/ILK%201000%202022%20TR.pdf>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [7] *Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü*, (2022), "Bor Sektör Raporu", (Mayıs 2022), <https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/June2022/2021%20YILI%20BOR%20SEKT%C3%96R%20RAPORU.pdf>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [8] *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, "BOR", [https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bor#:~:text=Bor%20mineralleri%20ve%20C3%BCr%20kullanan%20alanlar%20ve%20di%20C4%9Fer%20kullanan%20alanlar%20C4%B1d%20C4%B1r](https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bor#:~:text=Bor%20mineralleri%20ve%20C3%BCr%20kullanan%20alanlar%20ve%20di%20C4%9Fer%20kullanan%20alanlar%20C4%B1d%20C4%B1r.). (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [9] Karakaş, Alime Vildan; (2021), "Türkiye'de bulunan bor rezervlerinin jeostratejik ve jeoekonomik açıdan önemi, *Ankara Üniversitesi Akademik Arşiv Sistemi*, <https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12575/76354>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [10] *Savunma Sanayii Dergilik*, (2023), "Türkiye'nin madeni bor – 'Şehir efsanesi' mi? 'Gerçeklik' mi?", (3 Ekim 2023), [https://www.savunmasanayiidergilk.com/tr/HaberDergilik/Turkiye-nin-madeni-bor-sehir-efsanesi-mi-Gerceklik-mi](https://www.savunmasanayiidergilk.com/tr/HaberDergilik/Turkiye-nin-madeni-bor-sehir-efsanesi-mi-Gerceklik-mi.). (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [11] Tapan, İlhan; "TURKISH BORON", *Indico*, <https://indico.cern.ch/event/323839/contributions/751954/attachments/627123/862954/RD51-Boron-ilhanTapan.pdf>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [12] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2024), "Dünya bor rezervleri", X, (20 Ocak 2024), <https://twitter.com/TCEnerji/status/1748664981074116894>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [13] Sertkaya, Hülya Genç; (2022), "Türkiye'de bor madeni nasıl kullanılıyor? (2)", *Para*, (28 Haziran 2022), <https://www.paradergi.com.tr/sectorler/2022/06/28/turkiyede-bor-madeni-nasil-kullaniliyor-2>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [14] *Bloomberg*, (2023), "Türkiye'nin ilk bor karbür üretim tesisi açıldı", (19 Mart 2023), <https://www.bloomberght.com/turkiye-nin-ilk-bor-karbur-uretim-tesisi-acildi-2327233>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [15] Azizoğlu, Esra Sultan; (2023), "Türkiye'nin ilk bor karbür üretim tesisi açıldı", *Ekonomi*, (19 Mart 2023), [https://www.ekonomim.com/gundem/turkiyenin-ilk-bor-karbur-uretim-tesisi-acildi-haberi-687206#:~:text=Eti%20Maden%27in%20yeni%20yat%C4%B1r%C4%B1m%20C4%B1,miyon%20dolar%20gelir%20getirmesi%20hedefleniyor](https://www.ekonomim.com/gundem/turkiyenin-ilk-bor-karbur-uretim-tesisi-acildi-haberi-687206#:~:text=Eti%20Maden%27in%20yeni%20yat%C4%B1r%C4%B1m%20C4%B1,miyon%20dolar%20gelir%20getirmesi%20hedefleniyor.). (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [16] *TRT Haber*, (2023), "Türkiye bor karbür üretimiyle 60 milyar dolarlık pazara açılıyor", (21 Mart 2023), <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/turkiye-bor-karbur-uretimiyle-60-milyar-dolarlik-pazara-aciliyor-754677.html>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [17] Açık, Deniz; (2020), "Eti Maden, Eskişehir'deki tesisinde lityum karbonat üretimine başladı", *Anadolu Ajansı*, (9 Aralık 2020), <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/eti-maden-eskisehirdeki-tesisin-de-lityum-karbonat-uretimine-basladi/2071011>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [18] *TRT Haber*, (2021), "Eti Maden'den ASPİLSAN ve ASELSAN ile iş birliği", (18 Ağustos 2021), <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/eti-madenden-aspilsan-ve-aselsan-ile-is-birligi-602802.html>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [19] Balçıkoca, Sinan; Kaya, Miraç; (2022), "Temeli atılan ferrobor fabrikasında yıllık 800 ton üretim yapılacak", *Anadolu Ajansı*, (18 Eylül 2022), <https://www.aa.com.tr/tr/yesilhat/teknoloji/temeli-atilan-ferrobor-fabrikasinda-yillik-800-ton-uretim-yapilacak/1817748>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [20] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2022), "Ferrobor Nedir?", (16 Eylül 2022), <https://twitter.com/TCEnerji/status/1570826681421791232/photo/1>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [21] Kıran, Kenan; (2022), "Türkiye'nin ilk Ferrobor üretim tesisinin temeli atıldı: Yıllık 800 ton üretim yapacak!", *Sabah*, (17 Eylül 2022), <https://www.sabah.com.tr/gundem/2022/09/17/turkiyenin-ilk-ferrobor-uretim-tesisinin-temeli-atildi-yillik-800-ton-uretim-yapilacak?paging=3>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [22] Türkoğlu, Faruk; (2023), "Küresel rekabette Eti Maden'in başarısından çıkarılacak dersler...", *Ekonomi*, (7 Mart 2023), <https://www.ekonomim.com/kose-yazisi/kuresel-rekabette-eti-madenin-basarisindan-cikarilacak-dersler/685449>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [23] Sertkaya, Hülya Genç; (2022), "Türkiye'de bor madeni nasıl kullanılıyor? (1)", *Para*, (27 Haziran 2022), <https://www.paradergi.com.tr/sectorler/2022/06/27/turkiyede-bor-madeni-nasil-kullaniliyor-1>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [24] *TRT Haber*, (2019), "Namluların ömrü bor teknolojisiyle uzatılacak", (18 Nisan 2019), <https://www.trthaber.com/haber/bilim-teknoloji/namlularin-omru-bor-teknolojisiyle-uzatilacak-412338.html>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [25] *Savunma Sanayii Dergilik*, (2021), "Titanyum, bor ve karbondan namlu ömrünü uzatan karışım elde edildi", (5 Mart 2021), <https://savunmasanayiidergilk.com/tr/HaberDergilik/Titanyum-bor-ve-karbondan-namlu-omrunu-uzatan-karisim-elde-edildi>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [26] *TENMAK BOREN*, "Hakkında", <https://boren.tenmak.gov.tr/kurumsal/hakkinda.html>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [27] *TENMAK BOREN*, <https://boren.tenmak.gov.tr/>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [28] *Eti Maden*, "Uzun Ömürlü ve Yanmaya Dayanıklı Çinko Borat", <https://www.etimaden.gov.tr/cinko-borat>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [29] *TENMAK BOREN*, (2023), "Bor Dergisi Journal Of BORON'un 2023 yılı 1. Sayısı Yayınlandı", <https://boren.tenmak.gov.tr/haberler-slide/206-bor-dergisi-journal-of-boron-un-4-sayisi-yayinlandi.html>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [30] *STM ThinkTech*, (2023), "GELECEĞİN MİNERALİ VE MALZEMESİ BOR VE BOROGEN I: Borofenin Özellikleri ve Kullanım Alanları", (3 Kasım 2023), <https://thinktech.stm.com.tr/gelecegin-minerali-ve-malzemesi-bor-ve-borofen-i-borofenin-ozellikleri-ve-kullanim-alanlari>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [31] Aksan, Sertaç; Güngörmüş, Özge; Aybek, Ünsel Ayhan; (2021), "Türkiye Borofen üretebilen sayılı ülkeler arasına girdi", *TRT Haber*, (6 Aralık 2021), <https://www.trthaber.com/haber/gundem/turkiye-borofen-uretebilen-sayili-ulkeler-arasina-girdi-633157.html>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [32] *gazeteSU*, (2021), "Dünyada çok az sayıda ülkenin ürettiği Borofen, artık SUNUM'da da üretiliyor", (29 Aralık 2021), <https://gazetesu.sabanciuniv.edu/tr/dunyada-cok-az-sayida-ulkenin-urettigi-borofen-artik-sunumda-da-uretiliyor>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)
- [33] Hasan, Saad; (2023), "How Türkiye's abundant boron reserves are fuelling the future", *TRT World*, <https://www.trtworld.com/turkey/how-t%C3%BCrkiye-s-abundant-boron-reserves-are-fuelling-the-future-61422>. (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2024)



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

