

Türkiye'nin Petrol Bağımlılığı Doğrultusunda Borun Petrol İkamesi Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Examining of Boron of Disposability as Substitution of Oil in the Line With Turkey's Petrolleum Dependency

Samet TOKCAN

Yüksek Lisans Öğrencisi, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Bölümü, samet.tkc@hotmail.com

Ahmet GÜLMEZ

Doç. Dr., Sakarya Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, İktisat Bölümü, agulmez@sakarya.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Geliş 10 Ocak 2021

Düzeltilme Geliş 8 Şubat 2020

Kabul 18 Şubat 2020

Anahtar Kelimeler:

Petrol Bağımlılığı, Bor, Türkiye

© 2021 PESA Tüm hakları saklıdır

ÖZET

Bu çalışmada borun petrole alternatif bir enerji kaynağı olarak Türkiye piyasasında kullanılabilirliğinin incelenmesi ve olası faydalarını ortaya koymak amacıyla çok sayıda ulusal ve uluslararası kuruluşlardan 2001-2020 arası dönemdeki çeşitli yıllara ait elde edilen veriler doğrultusunda analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde sodyum borhidritin yakıt olarak Türkiye'deki petrol ve türevi yakıtlarla rutenyum (Ru) katalizör fiyatlarının 1\$-32\$ aralığında olduğu her durumda rekabet edebileceği tespit edilmiştir. Tüm bunların gerçekleşebilmesi için ise, Türkiye'nin öncelikli olarak bora dayalı; mevcut üretim kapasitesini ve üretimini artırılması, arz yapısını iç tüketim lehine olacak şekilde kaydırması gerektiği vurgulanmıştır. Bunların gerçekleşmesi durumunda hem Türkiye'nin enerji açığının büyük bir bölümünün azaltılabileceği hem de bor ihracatlarından elde edilen gelire kıyasla daha yüksek katma değer sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 10 January 2021

Received in revised form 8 February 2021

Accepted 18 February 2021

Keywords:

Petroleum Dependency, Boron, Turkey

© 2021 PESA All rights reserved

ABSTRACT

In this study, analyses were carried out from numerous national and international organizations in line with the data obtained from various years between 2001 and 2020 in order to examine the disposability of boron in the Turkish market as an alternative energy source to oil and to reveal its possible benefits. As a result of the analyses, it was determined that sodium borohydride can compete with oil and derivative fuels in Turkey as fuel in any situation where ruthenium (Ru) catalyst prices are in the range of \$1-32. In order for all this to happen, Turkey is primarily based on boron; it is emphasized that increasing the existing production capacity and production should shift the supply structure in favor of domestic consumption. In the event of these, it was found that a large part of Turkey's energy deficit could be reduced and higher added value could be achieved compared to the income from boron exports.

GİRİŞ

Küresel enerji kaynakları özellikle de petrol, otomobilin icadından sonra dünya genelinde birincil önemde kullanılan enerji kaynağı olma hüviyetine sahip olmuştur. Bu açıdan Türkiye de petrol kullanımının yoğun olduğu ülkelerden biridir. Ancak mevcut rezerv yapısının yeterli düzeyde olmaması nedeniyle ihtiyaç duyduğu petrolü dışarıdan karşılayabilmektedir. Bu durum, Türkiye'nin enerji kaynağı olarak petrole karşı aşırı bağımlı olmasına ve bundan ötürü yüksek derecede enerji açığı vermesine neden olmaktadır.

Türkiye, 2018 yılı itibariyle petrol ithalatına %95 oranında bağımlı bir ülkedir ve ithal etmiş olduğu petrolün de %77'sini taşımacılık sektöründe kullanmıştır. Yine Türkiye'nin 2018 yılı itibariyle ithaline toplamda 13,4 milyar \$ ödediği petrol, Türkiye'nin toplam enerji ithalatının %67'sini oluşturmaktadır. Dolayısıyla Türkiye'de petrolü ikame edebilecek bir enerji kaynağının keşfi Türkiye'yi petrol ithaline karşı oldukça rahatlatacaktır.

Bor'un dünya genelinde yapılan çalışmalar neticesinde otomobillerde yakıt olarak kullanılabilirliğini tescil edilmesi ve küresel bor rezervlerinin %73'ünün Türkiye'nin elinde bulunması Türkiye açısından oldukça önemli bir avantaj teşkil etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, petrol ikamesinde borun yakıt olarak Türkiye piyasasında kullanılabilirliğini saptamaya çalışmak ve olası faydalarını ortaya koymaktır. Bu amaca yönelik olarak çok sayıda ulusal (TÜİK, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Yenişafak, Sabah) ve uluslararası (Alibaba, Millennium Cell, Shell, Bloomberg, UNCTADSTAT ve EUROSTAT) kuruluşlardan 2001-2020 arası dönemdeki çeşitli yıllara ait veriler toplanarak birtakım matematiksel analizler gerçekleştirilmiştir.

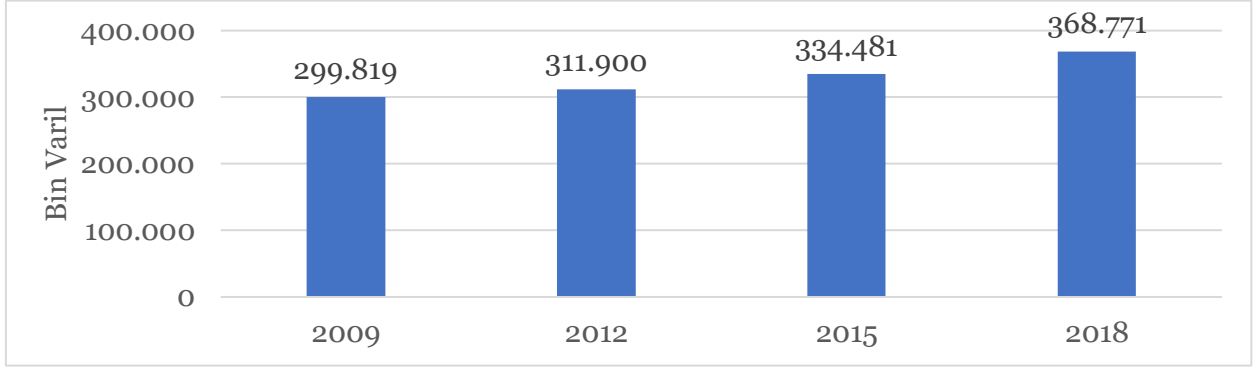
Çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, Türkiye'nin 2000-2018 yılları arasındaki petrol görünümü ele alınmıştır. İkinci bölümde, borun birtakım fiziksel ve kimyasal özelliklerine değinilip yakıt olarak kullanılabilir olma durumundan bahsedilmiştir. Son bölümde ise, veri seti ve yöntem hakkında bilgi verildikten sonra borun Türkiye'de petrol ikamesinde otomobil yakıtı olarak kullanılması konusunda birtakım matematiksel analizler gerçekleştirilmiştir.

1. Türkiye'nin Petrol Görünümü

1.1. Petrol Rezervleri

Türkiye'de üretilebilir durumda bulunan ham petrol rezervleri 2018 yılında toplamda 369 milyon varil olarak gerçekleşmiştir (Grafik 1). 2009 yılından 2018 yılına kadar geçen süre içerisinde yapılan keşifler ve saha çalışmaları neticesinde Türkiye genelindeki petrol kuyuları toplamda %32 oranında artmış, buna bağlı olarak da üretilebilir konumdaki ham petrol rezervleri toplamda %23 oranında artış göstermiştir (MAPEG, http://www.mapeg.gov.tr/petrol_istatistik.aspx).

Grafik 1: 2009-2018 Arası Türkiye'nin Üretilabilir Durumdaki Ham Petrol Rezervleri



Kaynak: MAPEG, http://www.mapeg.gov.tr/petrol_istatistik.aspx.

Ancak Türkiye'nin ham petrol rezervlerinin artması petrol talebi karşılamaya yeterli olamamaktadır ve Türkiye'nin mevcut petrol rezervlerinin sadece 18 yıllık bir ömrü bulunmaktadır (TPAO, 2019: 37). Bunun yanında Türkiye'nin mevcut ham petrol rezervleri küresel petrol rezervleri içerisindeki payı oldukça düşüktür. Buna göre 2018 yılında Türkiye'nin mevcut üretilabilir durumdaki toplam ham petrol rezervleri küresel toplam petrol rezervlerinin sadece %0,02'sini oluşturmaktadır. Bu durum, Türkiye'yi, mevcut petrol talebinin mevcut rezervleriyle karşılanması açısından sıkıntılı duruma sokmaktadır (BP, 2019: 14).

1.1.1. Petrol Üretimi ve Talebi

Türkiye, mevcut petrol rezerv yapısından ötürü ve bu nedenle petrol üretiminin petrol talebini karşılayamamasından dolayı ihtiyaç duyduğu petrolün büyük bir bölümünü dışarıdan temin edebilmektedir. Buna göre 2011 yılında Türkiye'nin mevcut petrol kuyularından toplamda ham petrol üretimi 2,3 milyon ton gerçekleşirken toplam petrol talebi ise 24 milyon ton olarak gerçekleşerek ihtiyaç duyduğu toplam petrol talebinde 22 milyon tonluk açık meydana gelmiştir. Bu durum 2011 yılı takip eden süreç içerisinde de devam etmiştir. Keza 2015 yılında Türkiye'nin ham petrol üretimi, 2011 yılına kıyasla %6 oranında artmasına rağmen toplam petrol talebi de %46 artmış ve buna bağlı olarak da toplam petrol açığı da %51 oranında büyümüştür. 2018 yılında ise, Türkiye'de ham petrol üretimi 2015 yılına kıyasla toplamda %13, 2011 yılına kıyasla toplamda %20, toplam petrol talebi de bu dönemler içerisinde sırasıyla %9 ve %59 oranında artmıştır. Toplam petrol açığı ise yine aynı dönemler içerisinde sırasıyla %63 ve %8 artış göstermiştir (Tablo 1).

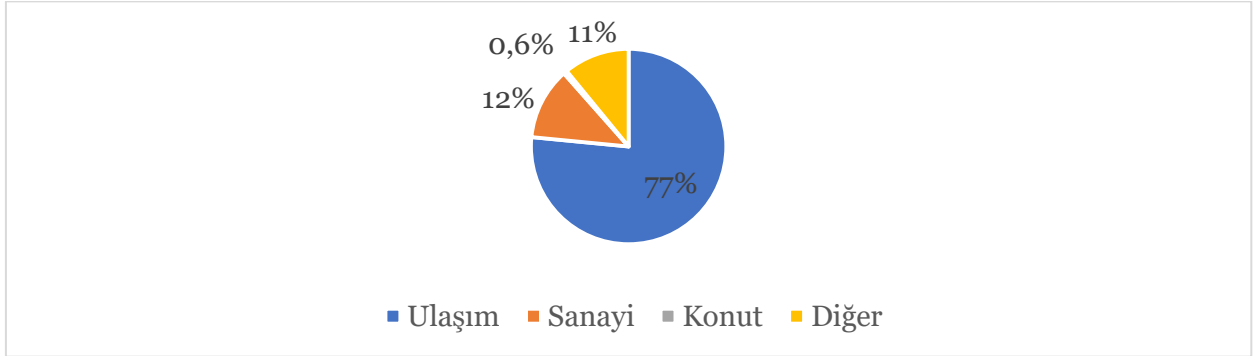
Tablo 1: 2011-2018 Arası Dönemde Türkiye'nin Ham Petrol Üretimi ve Toplam Petrol Talebi

Yıllar	Ham Petrol Üretimleri (Bin Ton)	Toplam Petrol Talepleri (Bin Ton)
2011	2.367	24.346
2012	2.337	29.230
2013	2.398	29.230
2014	2.455	31.179
2015	2.515	35.630
2016	2.571	36.406
2017	2.551	38.551
2018	2.850	38.682

Kaynak: EPDK, 2013: 21-30; EPDK, 2016: 15-22; EPDK, 2019: 17-26; MAPEG, http://www.mapeg.gov.tr/petrol_istatistik.aspx.

Sektörel bazda ise, Türkiye’de kullanılan petrolün önemli bir kısmı ise ulaşım sektöründe yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda 2018 yılı itibariyle iç tüketimde kullanılan toplam petrol ürünlerinin %77’si akaryakıt olarak ulaşım sektöründe kullanılırken, %12’sinin sanayi ve %11’inin de diğer çeşitli sektörler tarafından kullanımı gerçekleşmiştir (Grafik 2).

Grafik 2: 2018 Yılı İtibariyle Türkiye’deki Petrol Tüketiminin Sektörel Dağılımları



Kaynak:

EUROSTAT,

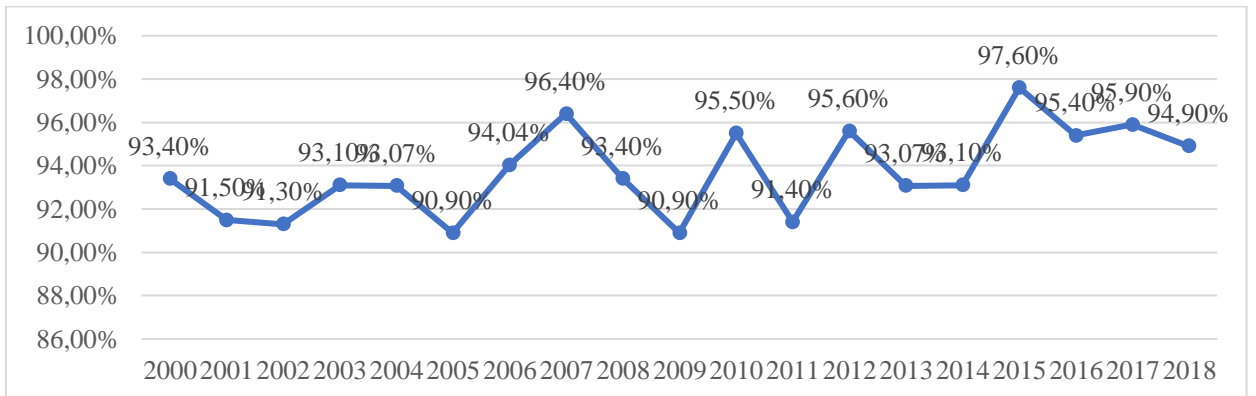
<https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00124&language=en>.

1.1.2. Petrol Ticareti

Türkiye mevcut petrol ihtiyacını yerli kaynaklardan karşılayamadığından dolayı önemli bir petrol ithalatçısı ülke konumundadır. Bu bakımdan Türkiye, petrol ithalatına ortalama olarak yaklaşık %95 oranında bağımlı bir ülkedir (Grafik 3). Türkiye’nin petrol ithalatına olan bağımlılığı Avrupa ülkeleri ile kıyaslandığında, Türkiye 2018 yılı itibariyle Avrupa genelinde petrol bağımlılığı en yüksek olan 38 ülke içerisinde 23. sırada yer almaktadır (EUROSTAT,

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_50/default/table?lang=en).

Grafik 3: 2000-2018 Arası Dönemde Türkiye’nin Petrol İthalatına Olan Bağımlılığı



Kaynak: EUROSTAT, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_50/default/table?lang=en.

Türkiye’nin toplam petrol ithalatının büyük bir bölümü ham petrol ithalatından oluşmaktadır. Buna göre Türkiye’nin ham petrol ithalatı, toplam petrol ithalatının 2011’de %65’ini, 2015 yılında %63’ünü, 2017 yılında %60’ını ve 2018 yılında da %54’ünü oluşturmuştur. Petrol Ürünleri ithalatında ise bu durum 2011 yılında %35, 2015 yılında %37, 2017 yılında %40 ve 2018 yılında %46’ı şeklinde gerçekleşmiştir (Tablo 2).

Türkiye'nin ham petrol ithalatının büyük bir kısmını İran ve Irak gibi ülkelerden karşılanmıştır. Buna göre 2018 yılında Türkiye'nin toplam ham petrol ithalatının %65'i oluşturan bu ülkelerden İran %34 pay alırken, Irak ise %31'ini oluşturmuştur. Petrol ürünleri ithalatında ise, en fazla petrol ürünleri ithalatı %44 ile Rusya ve %24 ile Hindistan'dan yapılmıştır.

Tablo 2: 2011-2018 Arası Dönemde Türkiye'nin Petrol İthalatı ve İhracatı

Yıllar	Ham Petrol İthalatı (Bin Ton)	Petrol Ürünleri İthalatı (Bin Ton)	Toplam Petrol İthalatı (Bin Ton)	Toplam Petrol İhracatı (Bin Ton)
2011	18.092	9.630	27.722	7.715
2012	19.484	12.794	32.278	8.669
2013	18.554	13.480	32.034	8.644
2014	17.477	15.073	32.550	9.286
2015	25.064	14.573	39.637	10.806
2016	24.957	15.116	40.073	9.688
2017	25.766	16.886	42.652	10.081
2018	20.970	17.740	38.710	8.875

Kaynak: EPDK, 2012: 19; EPDK, 2016: 9-15; EPDK, 2017: 9-17; EPDK, 2019: 9-17.

Türkiye'nin toplam petrol ithalat giderine bakıldığında ise, Türkiye'nin uygulamaya koymuş olduğu yenilenebilir enerji politikaları nedeniyle 2011 yılına kıyasla 2018 yılında ham petrol ithalatının toplam enerji ithalatı içerisindeki payında genel itibariyle bir azalma görülse de 13,4 milyar \$ ile %67 gibi önemli bir bölümünü oluşturmuştur. Yine bu dönem içerisinde Türkiye'nin toplam petrol ithalatının toplam ürün ithalatı içerisindeki payı %6'lar seviyelerinde gerçekleşmiştir. Toplam petrol ihracat gelirlerinde ise, 2011-2018 arası dönemde bir azalma söz konusu olmuştur (Tablo 3).

Tablo 3: 2011-2018 Arası Dönemde Türkiye'nin Toplam Petrol İthalatı ve İhracatındaki Gelir-Gider Görünümleri

Yıllar	Toplam Petrol İthalatı (Milyon \$)	Toplam Petrol İhracatı (Milyon \$)	Toplam Petrol İthalatı Giderlerinin Toplam Enerji İthalatı Giderleri İçerisindeki Payları (%)	Toplam Petrol İthalatı Giderlerinin Toplam Ürün İthalatı Giderleri İçerisindeki Payları (%)
2011	15.245	6.027	77	6,3
2012	16.179	6.964	78	6,8
2013	16.115	6.173	80	6,4
2014	16.087	5.602	80	6,6
2015	9.553	4.105	66	4,6
2016	7.707	2.919	65	3,8
2017	10.381	3.830	63	4,4
2018	13.462	3.927	67	6

Kaynak: UNCTADSTAT, <https://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx>.

2. Enerji Kaynağı Olarak Bor

2.1. Borun Tanımı, Kapsamı ve Genel Özellikleri

Bor, kelime kökeni olarak Arapça'da Buraq-Baurach ve Farsça'da Burah kelimelerinden meydana gelen bir elementtir (TMMOB, 2008: 2). Periyodik tabloda 3A grubunda yer almaktadır. Atom numarası 5 ve atomik ağırlığı 10.811 g/mol'dür (Taşcıoğlu, 1992: 1). Bunun yanında cm³ başına 2,84 gr yoğunluğa, yarı iletken özelliğe ve kristal bir görünüme sahiptir (Yenmez, 2009: 61). Bunların dışında borun atom yapısı ve diğer bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4: Borun Atomik Yapısı, Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Değişkenler	Değerler	Değişkenler	Değerler
Atom Çapı (Å)	1,17	Kaynama Noktası (°C)	4002
İyon Çapı (Å)	0,23	Ergime Noktası (°C)	2300
Atom Hacmi (cm ³ /mol)	4,46	Mohs Sertliği	9,3
Elektron Dizilimi	1s ² 2s ² p ¹	Vickers Sertliği MN M-2	4900
Elektron Sayısı	5	Buharlaşma Isısı (KJ/mol)	489,7
Nötron Sayısı	6	Buhar Basıncı (pa)	0,348
Füzyon Isısı (KJ/mol)	50,2	Fiziksel Görünümü (20°C ve 1 ATM Basınç)	Katı

Kaynak: Eti Maden, <https://www.etimaden.gov.tr/>.

Bor, doğada saf halde bulunmayan çeşitli elementlerle (sodyum, kalsiyum, magnezyum vb.) bileşik yapı halde bulunmaktadır. Borun bu elementlerden sodyum kökenli bileşik yapılarına tinkal (boraks), kalsiyum kökenli bileşik yapılarına kolemanit ve hem sodyum hem de kalsiyum karışımı bileşik yapılarına üleksit denilmektedir (Yenmez, 2009: 61). Ayrıca bor, oksijenle bağ kurabilen yapısı nedeniyle basit ve karmaşık yapı çok sayıda bileşik oluşturabilmektedir. Bu şekilde oluşan bileşiklere ise borat denilmektedir (Yılmaz, 2002: 39).

Bunların yanında bor elementi, yanma sonucunda açığa çıkardığı enerji miktarı bakımından da diğer elementlere ve enerji kaynaklarına göre bir üstünlüğü bulunmaktadır. Buna göre bir litre bordan yanma sonucunda yaklaşık olarak 93 MJ değerinde enerjiyi açığa çıkarabilmektedir. Tablo 5'te görüleceği üzere bu değer, aynı miktarda yanma sonucunda doğalgazdan yaklaşık 4,5 kat, benzinden yaklaşık 3 kat, petrol türevlerinden olan bütandan 2 ve oktandan da yaklaşık olarak 3 kat daha fazladır (Acaroğlu, 2003: 210-290). Bir kg kömürün yanmasından ise, 3 ila 6 kat daha fazla enerji içeriğine sahiptir (MIT, 2007: 23). Bunlara ek olarak geleceğin enerji kaynaklarından biri olarak gösterilen hidrojenden de yanma sonrasında tam 11 kat daha fazla enerji açığa çıkarabilmektedir. (Acaroğlu, 2003: 210-290).

Tablo 5: Bor Madeninin ve Diğer Bazı Elementlerin Enerji İçerikleri

Elementler	Enerji İçerikleri (MJ/l)
Bor	92,77
Hidrojen	8,41
Metan (D. Gaz)	20,8
Metanol	15,9
Benzin	31,8
Etanol	21,3
Bütan	45,6
Lityum	15,69
Berilyum	86,15
Oktan	33,22
Karbon	54,01
Magnezyum	29,52
Silis	51,55
Alüminyum	357,42
Fosfor	43,01

Kaynak: Acaroğlu, 2003: 210-290.

2.2. Bor Türleri

Doğada, köken olarak sodyum, kalsiyum, magnezyum ya da bunların bileşikleri halinde olmak üzere 230'u aşkın bor minerali bulunmaktadır (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2020b: 5). Bu minerallerden herhangi bir işleme tabii tutulmayanlara (yataktan olduğu gibi çıkarılanlar) ham borlar, çeşitli kimyasal işlemlere tabii olanlara ise rafine borlar ve özel bor ürünleri ve kimyasalları adı verilmektedir. Bor cevherleri içerisinde de kolemanit, tinkal (boraks), kernit, üleksit, pandemit ve hidroborasit, szaybelit, borasit, datolit, sassolit ve tinkalkonit ticari önem teşkil eden bor cevherleri olmuşlardır (Lyday, 2002: 8). Bor minerallerin ticari önemini belirleyen ise içerdikleri bor oksit (B₂O₃) değerleridir (Tablo 8). Tablo 8'de ticari öneme sahip bor cevherleri, içerdikleri bor oksit (B₂O₃) miktarları ve bulunduğu ülkeler verilmektedir.

Tablo 6: Bazı Bor Türleri ve Bunların Bor Oksit (B₂O₃) İçerikleri

Ham Borlar	Kimyasal Formülleri	Bor Oksit (B ₂ O ₃) İçerikleri	Rafine Borlar	Kimyasal Formülleri	Bor Oksit (B ₂ O ₃) İçerikleri
		(%)			(%)
Tinkal (Boraks)	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,5	Boraks Dekahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,5
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51	Boraks Pentahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	47,8
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43	Susuz Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇	69,3
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,8	Borik Asit	H ₃ BO ₃	56,5
Pandemit	CaB ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	59,8	Susuz Borik Asit	B ₂ O ₃	100
Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50,5	(Bor Oksit)		
Probertit	NaCaB ₃ O ₉ .5H ₂ O	49,6	Sodyum Metaborat	NaBO ₂	64,2
Datolit	CaBSiO ₄ .OH	24,9	Sodyum Perborat	NaBO ₃ .4H ₂ O	22
Sassolit	H ₃ BO ₃	56,3	Disodyum Oktaborat	Na ₂ B ₈ O ₁₃	81,8
(Doğal Borik Asit)					
Szaybelit	MgBO ₂ .20H	41,4			
Borasit	Mg ₆ B ₁₄ O ₂₆ C ₁₂	62,2			
Özel Bor Ürünleri ve Kimyasalları	Kimyasal Formülleri	Özel Bor Ürünleri ve Kimyasalları	Kimyasal Formülleri		
Elementel Bor	B	Borik Asit Esterleri	-		
- Titanyum Diborür	TiB ₂	- Boronik Ester	-		
- Magnezyum Diborür	MgB ₂	- Metil Boronik Ester	-		
Potasyum Tetraborat	K ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	- Fenil Boronik Ester	-		
Potasyum Pentaborat	K ₂ B ₁₀ O ₁₆ .8H ₂ O	- Sodyum Bor Hidrür	NaBH ₄		
Çinko Borat	ZnB ₂ O ₄ .2H ₂ O	- Lityum Bor Hidrür	LiBH ₄		

Baryum Metaborat	BaB ₂ O ₄ .2H ₂ O	- Potasyum Bor Hidrür	KBH ₄
Amonyum Tetraborat	(NH ₄)HB ₄ O ₇ .3H ₂ O	- Magnezyum Bor Hidrür	MgBH ₄
Amonyum Pentaborat	(NH ₄) ₂ B ₁₀ O ₁₆ .8H ₂ O	Bor Triflorür	BF ₃
Lityum Tetraborat	Li ₂ B ₄ O ₇	- Sodyum Bor Hidrür	NaBH ₄
Lityum Metaborat	LiB ₂ O ₄	- Lityum Bor Hidrür	LiBH ₄
Baryum Metaborat	BaB ₂ O ₄ .2H ₂ O	- Potasyum Bor Hidrür	KBH ₄
Fluoborik Asit	HF ₃	- Magnezyum Bor Hidrür	MgBH ₄
-Fluoborat Tuzlar	-	- Diboran-Dekaboran	B ₂ H ₆ -B ₁₀ H ₁₄
Bor Fosfat	B ₂ O ₃	Diboran-Dekaboran	B ₂ H ₆ -B ₁₀ H ₁₄
Ferrobör	B ₂ O ₃	- Sodyum Bor Hidrür	NaBH ₄
Bor Karbür	B ₄ C	- Lityum Bor Hidrür	LiBH ₄
Bor Nitrid	BN	- Potasyum Bor Hidrür	KBH ₄
Bor Triklorür	BCl ₃	- Magnezyum Bor Hidrür	MgBH ₄

Kaynak: Acarkan, 2002: 2; BOREN, <https://www.boren.gov.tr/>; DPT, 2001: 12; Sümer, 2004: 157-161.

2.3. Borun Enerji Bazında Kullanım Yerleri ve Alanları

Bor mineralleri enerji kaynağı olarak; güneş enerji sistemlerinde depolamadan elektrik enerji sistemlerindeki iletim kayıplarını önlemeye, hidrojen üretiminden depolamaya, direk yakıt olarak kullanımdan yakıt üretiminde katkı maddesi ve katalizöre ve nükleer enerji üretiminden yakıt pili sistemlerine kadar pek çok alanda kullanılabilir. Buna göre Tablo 7'de bazı bor minerallerini enerji bazında kullanım yerleri ve alanları verilmektedir.

Tablo 7: Bazı Bor Minerallerinin Enerji Bazındaki Kullanım Yerleri ve Alanları

Bor Mineralleri	Kimyasal Formülleri	Kullanım Yerleri ve Alanları
Magnezyum Diborit	MgB ₂	Haberleşme, Görüntüleme Cihazları, Elektrik Motorları, Manyetik Rezonans, Manyetik Fırlatma Elektrik Enerjisi Şebekeleri, Hızlı Trenler
Boraks Dekahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	Güneş Enerjisini Depolama
Diboranlar	B ₂ H ₆	Jet ve Roket Yakıtlarında Katalizör
Lityum Fluoborat	LiBF ₄	Pil Elektrolitleri
Lityum Borhidrit	LiBH ₄	Roket Yakıtı
Sodyum Borhidrit	NaBH ₄	Hidrojen Üretimi, Depolama, Jet ve Roket Yakıtı ve Yakıt Pili Teknolojilerinde Enerji Girdisi
Potasyum Borhidrit	KBH ₄	Hidrojen Üretimi
Sodyum Tetaborat	Na ₂ B ₄ O ₇	Yakıtlar İçin Katkı Maddesi
Bor Triflorür	BF ₃	Petrol Rafinerilerinde Katalizör

Bor Triklorür	BCl ₃	Petrol Rafinerilerinde Katalizör
Bor Esterleri	-	Petrol Rafinerilerinde Katalizör
Pentaboran	B ₅ H ₉	Jet ve Roket Yakıt
Dekaboran	B ₁₀ H ₁₄	Jet ve Roket Yakıtı
Bor-11	B ₁₁	Nükleer Füzyon Reaktörlerinde Girdi
Tetrametil Amonyum Borhidrit	(CH ₃) ₄ NBH ₄	Yüksek Hidrojen Yoğunluğu Gerektiren Nükleer Uygulamalar
Tetraetil Amonyum Borhidrit	(C ₂ H ₅) ₄ NBH ₄	Yüksek Hidrojen Yoğunluğu Gerektiren Nükleer Uygulamalar

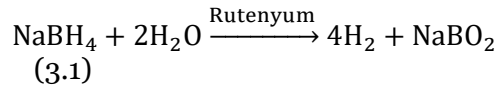
Kaynak: BOREN, <https://www.boren.gov.tr/>; Helvacı, 2004: 17; Sümer, 2004: 158-161; Yiğitbaşoğlu, 2004: 16-17.

Ancak bu çalışmada Türkiye'nin mevcut enerji görünümü doğrultusunda enerji ithalatının büyük bir bölümünü oluşturan petrolün ikamesi olarak sodyum borhidrit ele alınacaktır.

2.3.1. Borun Araç Yakıt Olarak Kullanımı

Borun alternatif bir enerji kaynağı olarak araçlarda kullanımı ilk olarak 1970'li yıllarda ABD Enerji Bakanlığı'nın (DOE) başlattığı çalışmalar neticesinde 1998 yılında oluşturulan New Jersey Genesis Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Projede, alternatif enerji kaynağı olarak karbon emisyonuna neden olmayan, temiz ve çevre dostu enerji üretimi esas alınmıştır. Bu amaçla ABD'de New Jersey'de kurulan Millennium Cell firması tarafından 2001 yılında Hydrogen on Demand (talep halinde hidrojen) sistemi kurularak hidrojen üretimi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan sistemle, bir bor ürünü olan sodyum borhidritten (NaBH₄) hidrojen üretimi gerçekleşmiş, oluşturulan hidrojen de yakıt pili aracılığıyla elektrik enerjisine çevrilerek aracın hareket ettirilmesi sağlanmıştır (Acaroğlu, 2003: 287-288).

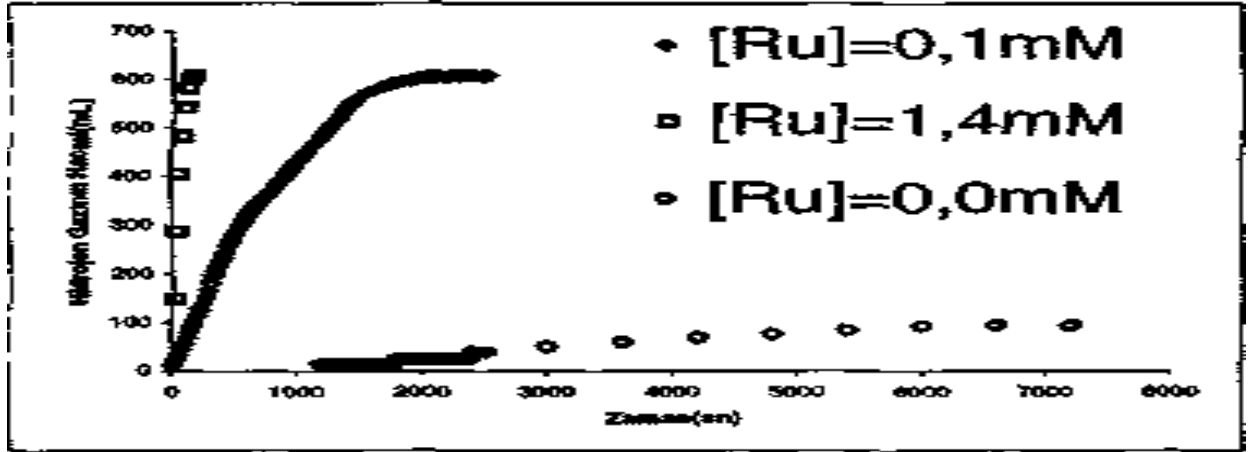
Hydrogen on Demand sisteminin kimyasal reaksiyonu (3.1)'de verilmektedir.



Reaksiyonda ağırlıkça %20 (1000 g) sodyum borhidrit (NaBH₄), %1 sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi, %79 (950 g) saf su (H₂O) ve %5 (0,25 g) rutenyum (Ru) katalizörü kullanılmış, reaksiyon neticesinde 213,5 g H₂ üretimi gerçekleştirilmiştir (Amendola vd., 2000: 187; Eraslan ve Karakoç, 2002: 150; Sazry ve Maher, 2001: 27).

Sodyum borhidritten hidrojen eldesinin etkin ve verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi için kimyasal reaksiyonlar katalizörler eşliğinde desteklenmesi gerekmektedir. Bu katalizörlerden Hydrogen on Demand sisteminde kullanılan rutenyum (Ru) katalizörünün kimyasal reaksiyona ilavesi reaksiyonun hidrojen üretim etkinliğini arttırmaktadır. Şekil 1'de herhangi bir Ru katalizörünün kullanılmadığı ve farklı Ru içerik değerlerine sahip Ru nanokümlerinin kullanıldığı bir ortamda açığa çıkan hidrojen gazının zamana bağlı grafiği verilmektedir. Buna göre hidrojen eldesinde herhangi bir Ru katalizörünün kullanılmadığı reaksiyon sonucunda yaklaşık 150 dk (7.200 sn) boyunca 100 mL değerinde hidrojen gazı açığa çıkarken, reaksiyona farklı içerikli Ru nanokümlerinin ilave edilmesi sonucunda ise, 0,1 mM Ru ilavesinde yaklaşık 30 dk'da (1.800 sn) ve 1,4 nM Ru ilavesinde de yaklaşık 3 dk'lık (180 sn) süre zarfı içerisinde 600 mL değerinde hidrojen gazı açığa çıkmaktadır.

Şekil 1: Hidrojen Gazı Eldesinde Farklı İçerikli Rutenyum(Ru) Katalizörlerinin Zamana Bağlı Değişimleri

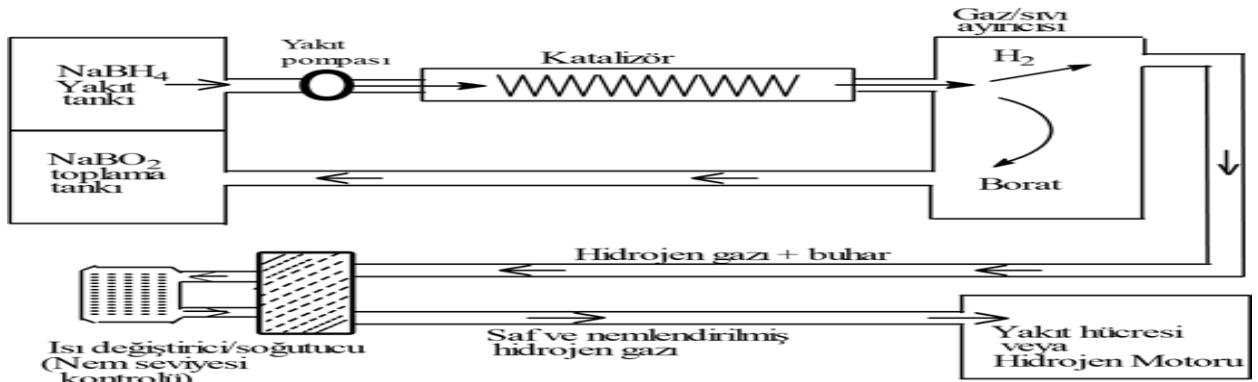


Kaynak: Özkar ve Zahmakıran, 2004: 140.

Ru katalizörünün dışında hidrojen sentezinde nikel (Ni), kobalt (Co), Platin (Pt) vb. bazı katalizörler de kullanılmaktadır. Ru katalizörünün diğer katalizörlere göre en büyük avantajı, katalizörde reaksiyon sonucunda herhangi bir azalmanın meydana gelmemesidir. Bu sebeple katalizör hidrojen sentezinde defalarca kullanılabilir. Ayrıca yine hidrojen sentezinde diğer katalizörlere kıyasla Ru katalizörü, en hızlı bir şekilde sonuç vermektedir (Amendola vd., 2000: 186).

Sistemin çalışma prensibi ise; yakıt tankında bulunan çözelti halindeki sodyum borhidrit (NaBH_4), öncelikli olarak bir yakıt pompası aracılığıyla emilmek suretiyle katalizör işleminin gerçekleşeceği odaya gönderilmektedir. Reaksiyon odasına gelen sodyum borhidrit (NaBH_4) çözeltisi burada bulunan rutenyum (Ru) katalizörü aracılığıyla hidroliz işlemine tabii tutulmaktadır. İşlem neticesinde hidrojen gazı (H_2) ve yan ürün olarak sodyum metaborat (NaBO_2), su (H_2O) ve bir miktar ısı açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu ürünlerden sodyum metaborat (NaBO_2), bir ayırma tankında hidrojen gazından ayrıştırılarak yeniden hidrojene (H_2) dönüştürülmek üzere sodyum metaborat (NaBO_2) tankına geri gönderilmektedir. Gaz halindeki hidrojenin (H_2) ise, ısı sonucunda buharlaşan su ile birlikte saflaştırılması ve nem içeriğinin ayarlanmasından sonra yakıt piline ya da içten yanmalı motora gönderilmektedir. Yakıt piline gönderilen yakıt, elektrik enerjisine dönüştürülerek aracın hareket etmesini sağlayan gücü oluşturmaktadır (Sazry ve Maher, 2001: 12-13).

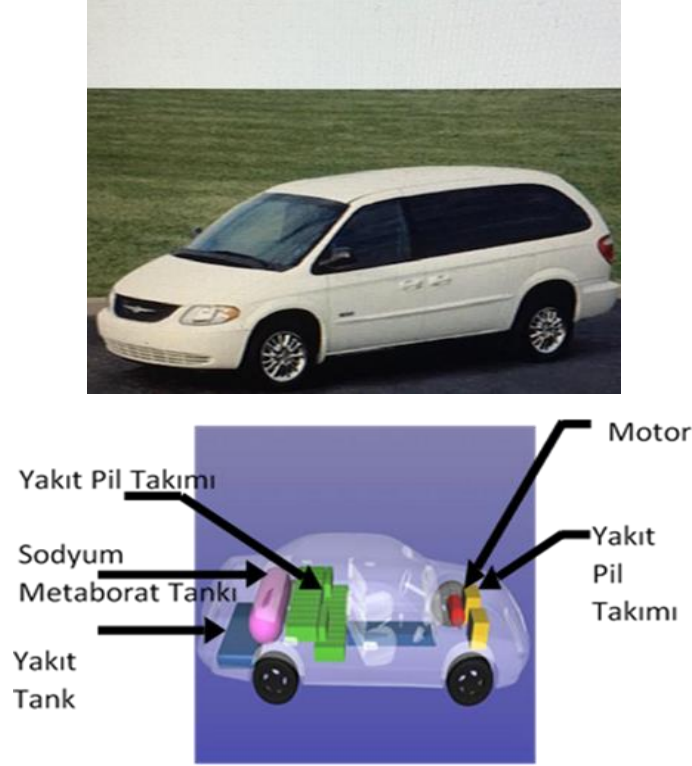
Şekil 2: Hydrogen on Demand Sisteminin Çalışma Prensibi



Kaynak: Millennium Cell, 2003: 7.

Bu sistem, Millennium Cell firmasının Daimler Chrysler ile ortaklaşa geliştirdikleri Town & Country Natrium aracında kullanılmıştır. Sistemde kullanılan yakıt pili Daimler Chrysler firmasının ortaklarından biri olan Ballard/XCELLSIS tarafından üretilmiştir. Araç, 2001 yılında Detroit otomobil fuarında sergilenmiştir (Çınk, 2002: 30-31).

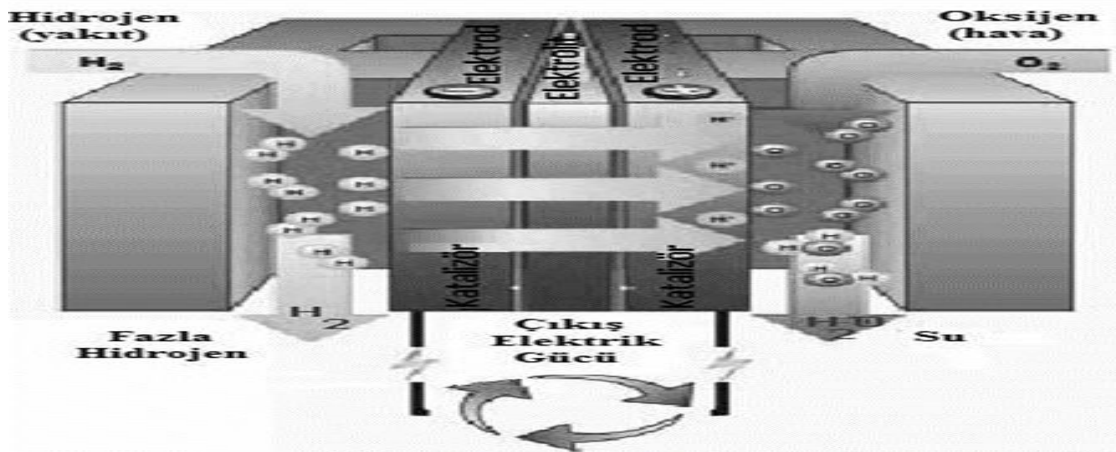
Şekil 3: Natrium Aracı ve Yakıt Pili Düzenegi



Kaynak: Sazry ve Maher, 2001. 30.

Araçta, PEMEC (Proton Değişimli Membran) yakıt pili kullanılmıştır. Yakıt pilinin görünümü ve çalışma prensibi Şekil 4'te gösterilmektedir. Buna göre Şekil 2'de gösterilen kimyasal reaksiyon sonucu yakıt piline gelen hidrojen (H₂) başlangıçta anotta pozitif yüklü protonlara ve negatif yüklü elektronlara ayrışmaktadır. Daha sonrasında ayrışan negatif yüklü elektronlar harici bir devreden katoda geçerek elektriksel yük oluşturmaktadır. Protonlar ise, doğrudan katoda geçerek buradaki elektriksel yük oluşturan negatif yüklü elektronlarla birleşip oksijenle reaksiyona girerek su ve enerji açığa çıkarmaktadırlar.

Şekil 4: Hidrojen Yakıt Pili ve Çalışma Düzenneği



Kaynak: Ural ve Gençoğlu, 2009: 150.

Hydrogen on Demand sistemiyle üretilen aracın özellikleri ayrıntılı bir şekilde Tablo 8’de verilmektedir.

Tablo 8: Hydrogen on Demand Sistemi İle Üretilen Aracın Özellikleri

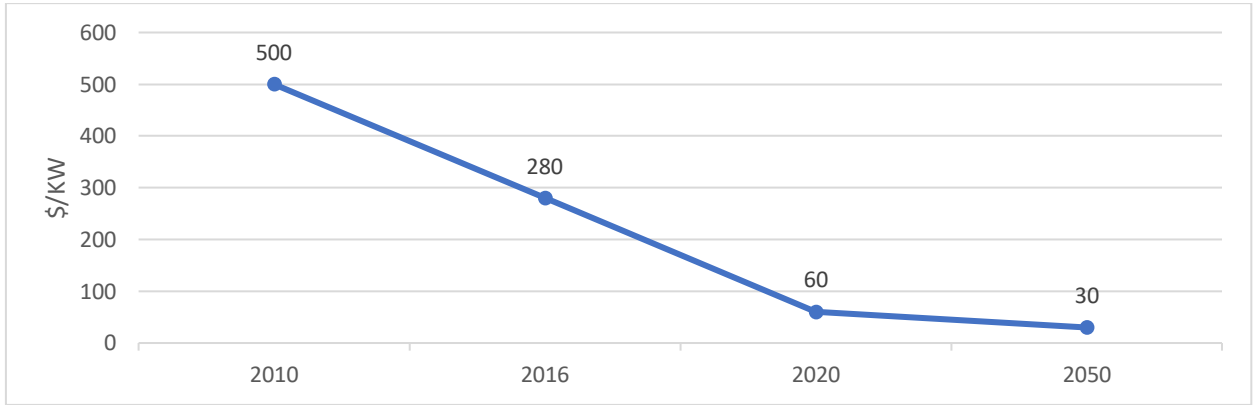
Parametreler	Değerler
Gövde ve Çerçeve	Alüminyum Mercury Sable
Motor ve Şanzıman	Solectria 78 KW 105 hp Motor ve Solectria Şanzıman
Yakıt Pili Malzemesi	Titanyum Çubuklar ve Uç Plakalar
Yakıt Pili	Her biri 5.85 KW Olmak Üzere Toplam 2 Adet (11 KW) H-Power yakıt Pili, 120 V-130 V ve 90 AMPS.
Yakıt Pili Net Gücü (KW)	9,6
Voltaaj Dönüştürücü	Her biri 7.5 KW Gücünde 2 Adet Advanced Power Associates Dönüştürücü
Hidrojen Kaynağı	Sodyum Borhidrit
Hidrojen Üretimi (g)	213,5
Yakıt Tüketimi (l/dk.)	138,8
Yakıt Pilinin Toplam Çalışma Süresi (Saat)	7,5
Hidrojen Depolama -%20 NaBH ₄ Çözeltilisinden (l)	121,1
Vantilatör (Adet)	1
Menzil (Mesafe) (mil)	450

Kaynak: Sazry ve Maher, 2001: 9-28.

Millennium Cell firması, sodyum borhidritin ve buna bağlı teknolojilerinin kullanılmasını yaygınlaştırmak amacıyla Daimler Chrysler ve Ballard/XCELLSİS firmaları dışında başta Rohm & Hass, Avantium ve ABD'nin en önemli borat üreticisi olan U.S. Borax olmak üzere Nissan, Toyota, Honda, General Motors, Volkswagen, Mitsubishi Motors, Ford, Peugeot ve Citroen gibi ulusal ve uluslararası pek çok kuruluşla stratejik ortaklıklara gitmiştir (Acaroğlu, 2003: 288).

Ancak yakıt olarak sodyum borhidritin (NaBH₄) kullanıldığı hidrojen üretim sistemi günümüzde dünya genelinde çok fazla yaygınlaşmamıştır. Bunun nedeni ise, hidrojen (H₂) üretiminde kullanılan katalizörlerin yüksek maliyetleridir. Bunların içerisinde Hydrogen on Demand sistemi içerisinde kullanılan %99,9 oranında saflık derecesine sahip toz halindeki Ru katalizörünün gram fiyatı 1\$' ile 100 \$ arasında değişim göstermektedir (Alibaba, <https://turkish.alibaba.com/g/ruthenium-catalyst.html>). Bu durum, ucuz maliyetli hidrojen üretiminde bir sorun teşkil etmektedir. Ancak katalizör maliyetlerini düşürmeye yönelik çalışmalar devam etmektedir. Diğer taraftan başka bir olumsuz durum ise, yakıt pillerinin yüksek maliyetleridir. Ancak devam eden çalışmalar neticesinde yakıt pili maliyetleri 2020 yılı itibariyle 500 \$/KW seviyelerinden 60 \$/KW seviyelerine kadar iyileştirilmiştir. 2050 yılına kadar olan süreç içerisinde de küresel yakıt pillerinin maliyetleri 30 \$/KW dolaylarına kadar düşürülmesi beklenmektedir. (Grafik 4).

Grafik 4: Yıllar İtibariyle Yakıt Pillerinin Küresel Ölçekteki Maliyet Görünümleri



Kaynak: Hydrogen Council, 2017: 13.

2.4. Türkiye'nin Bor Rezervleri

Türkiye, küresel çapta Dünya'nın en fazla bor rezervlerine sahip ülkesi konumundadır. Türkiye, 2019 yılı itibariyle toplam 3,2 milyar tonluk bor rezervi ile küresel bor rezervlerinin %73'ünü elinde bulundurmaktadır. Türkiye'ye rezerv miktarı ile en yakın ülkelerden olan Rusya ve ABD, sırasıyla 360 milyon ton ve 270 milyon tonluk bor rezervleri ile küresel bor rezervlerinin sadece %8'ini ve %6'sını oluşturmaktadırlar (Tablo 9).

Tablo 9: Türkiye'nin ve Dünya'nın Geri Kalanının Toplam Bor Madeni Rezervleri

Ülkeler	Toplam Bor Rezervleri (Milyon Ton)	Toplam Rezerv İçerisindeki Payları (%)
Türkiye	3.269	73
Rusya	360	8
ABD	270	6

Çin	135	3
Şili	135	3
Peru	135	3
Sırbistan	90	2
Kazakistan	45	1
Bolivya	45	1
Arjantin	45	1
Toplam	4.500	100

Kaynak: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2020b: 44-45.

Bor madeninin ekonomik değerini belirleyen en önemli faktörün daha önceden de belirtildiği üzere içeriğindeki bor oksit (B_2O_3) miktarıdır. Buna göre Türkiye’de bulunan toplam bor rezervlerinin %30’a yakını ekonomik değere sahiptir ve Türkiye, bu rezerv yapısıyla da yine dünya genelinde en fazla ekonomik değere sahip bor rezervlerinin bulunduğu ülke konumundadır. Türkiye, bor oksit (B_2O_3) bazında toplamda 949 milyon tonluk toplam bor rezervi ile küresel bor rezervinin %73’üne hakim durumdadır. Bu rezerv, Türkiye’nin şu anki bor üretim hızında yaklaşık 400 yıl yetebilecek konumdadır. Türkiye’den sonra bor oksit (B_2O_3) bazında da en fazla rezerve sahip ülkelerden olan Rusya ve ABD, küresel bor rezervin yine sırasıyla %8’ini ve %6’sını oluşturmaktadır ve bu ülkelerin şu anki mevcut tüketimleriyle sadece 69 ve 55 yıl yetecek kadar bor rezervleri bulunmaktadır (Tablo 10).

Tablo 10: Türkiye’nin ve Dünya’nın Geri Kalanının Bor Oksit (B_2O_3) Bazındaki Toplam Bor Madeni Rezervleri

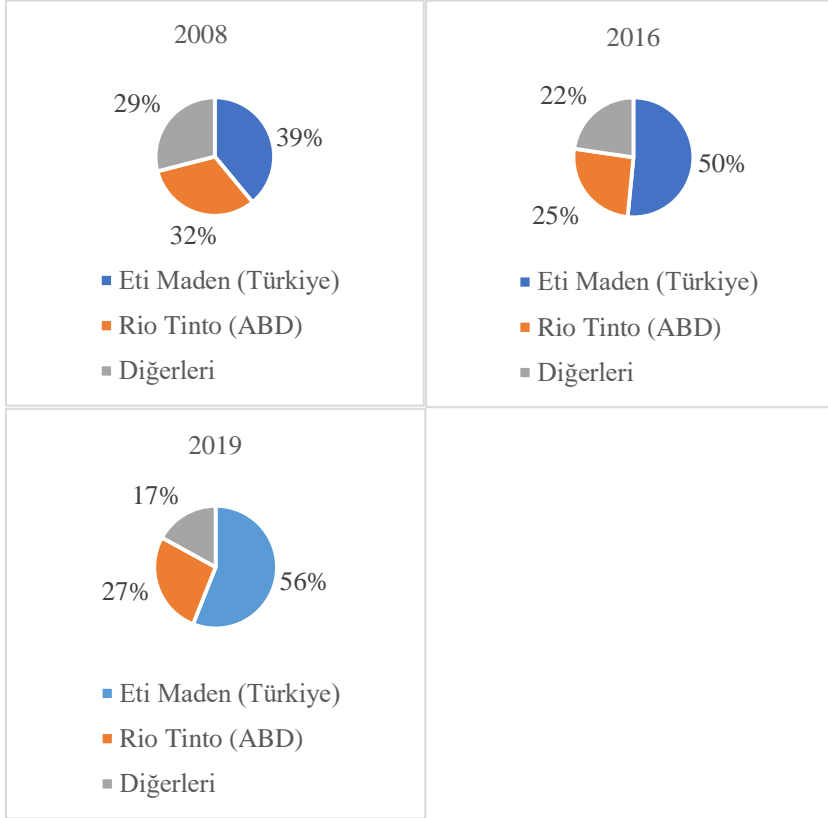
Ülkeler	Bor Oksit (B_2O_3) Bazında Bor Rezervleri (Milyon Ton)	Toplam Rezerv İçerisindeki Payları (%)	Rezerv Ömürleri (Yıl)
Türkiye	949	73	389
Rusya	100	8	69
ABD	80	6	55
Şili	41	3	28
Çin	36	3	25
Peru	22	2	15
Sırbistan	21	2	14
Bolivya	19	2	13
Kazakistan	15	1	10
Arjantin	9	0,7	3
Toplam	1.310	100	621

Kaynak: BOREN, <https://www.boren.gov.tr/>; Helvacı, 2004: 23.

2.4.1. Türkiye’nin Bor Üretimi ve Kapasitesi

Türkiye, küresel bazdaki en önemli bor üreticisi olan ülkedir. Türkiye’de bor madeninin üretilmesine yönelik olarak Eti Maden İşletmeleri, 2019 yılı itibarıyla 3,8 milyon olan küresel bor üretiminin %56’sına hakim durumdadır. Türkiye’den sonra küresel çaptaki en büyük bor üreticisi olan Rio Tinto Şirketi (ABD), yine 2019 yılı itibarıyla küresel bor üretiminin %27’sine sahiptir. Bunun dışındaki ülkeler küresel bor üretiminin sadece %17’sini oluşturmaktadır (Grafik 5).

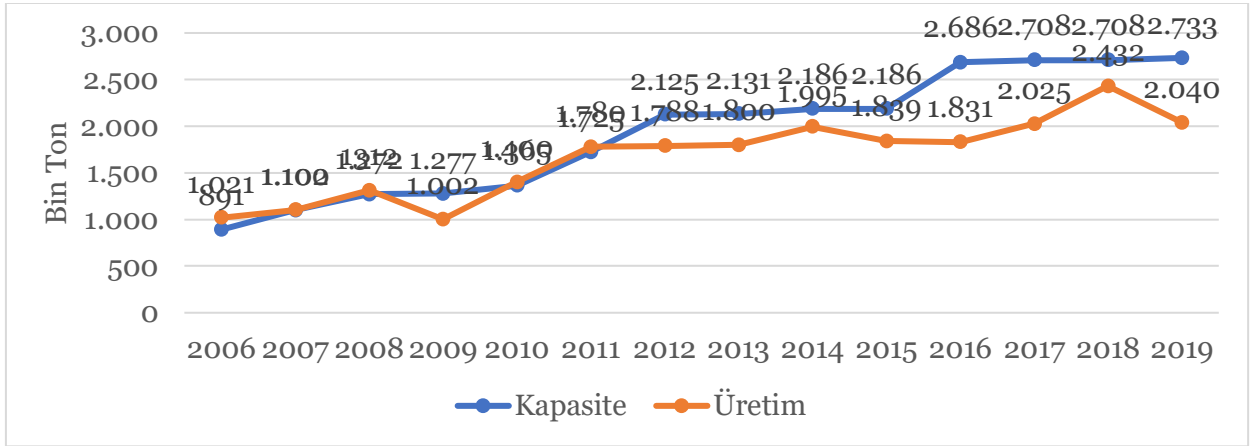
Grafik 5: Yıllar İtibariyle Türkiye'nin Küresel Bor Üretimi İçerisindeki Payları



Kaynak: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009: 5; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2017: 41; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2020a: 19.

Türkiye'nin rafine bor ürünlerinin üretim kapasiteleri 2019 yılı baz alındığında toplamda 2.7 milyon ton, rafine bor üretimleri de toplamda 2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2019 yılından geri dönük 13 yıl içerisinde ise Türkiye'nin rafine bor üretim kapasitelerinde toplamda %207, rafine bor ürünleri üretimlerinde de toplamda %100 artış gerçekleşmiştir. Türkiye'deki rafine bor ürünlerinin üretim kapasiteleri ve üretimlerindeki artışın büyük bir bölümü 2006-2012 arası dönemdeki 6 yıllık süre içerisinde gerçekleşmiştir. Bu süreç içerisinde Türkiye'nin rafine bor ürünlerinin üretim kapasiteleri toplamda %138, rafine bor ürünlerinin üretimleri de toplamda %75 oranında artış göstermiştir (Grafik 6).

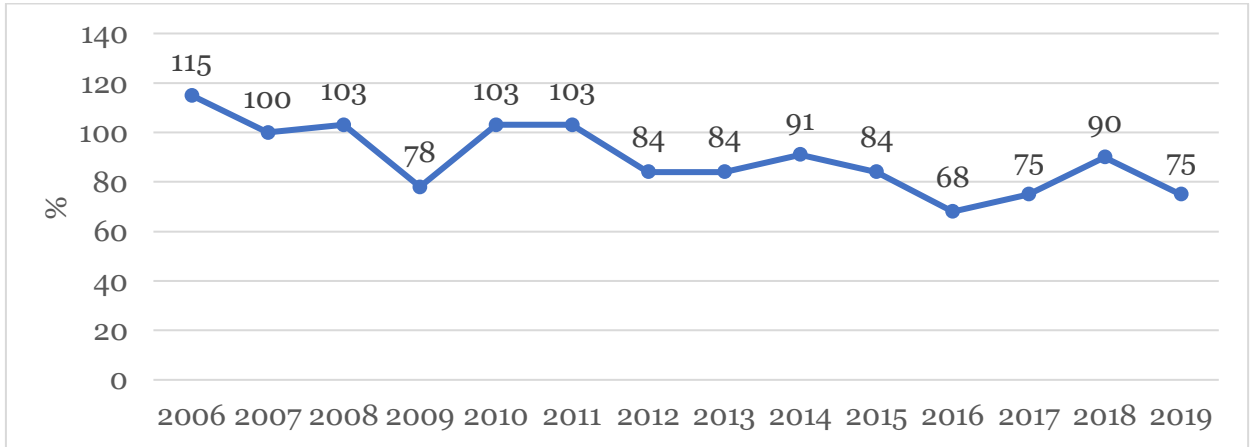
Grafik 6: 2006-2019 Arası Dönemde Türkiye'nin Rafine Bor Ürünleri Üretim Kapasiteleri ve Üretimleri



Kaynak: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2020a: 29.

Türkiye'nin bor ürünleri üretimlerine dayalı kapasite kullanım oranlarına bakıldığında ise 2019 yılında %75 olsa da yıllar itibariyle dalgalı seyirler izlediği görülmektedir. Buna göre Türkiye'nin bor ürünleri üretimlerine dayalı kapasite kullanım oranları 2006-2019 arası dönemde ortalama %81 dolaylarında seyir izlemiştir (Grafik 7).

Grafik 7: Yıllar İtibariyle Türkiye'nin Rafine Bor Ürünlerinin Üretimlerindeki Kapasite Kullanım Oranları



Kaynak: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2020a: 29.

2.4.2. Türkiye'nin Bor Tüketimi ve Dış Ticareti

Türkiye, üretmiş olduğu bor'un (ham bor ve bor ürünleri) büyük bir bölümünü ihraç eden bir ülkedir. Bu doğrultuda Türkiye'nin mevcut bor ve bor ürünlerinin iç piyasadaki tüketimlerine ve dış piyasadaki ihracatlarına (toplam arz) bakıldığında 2019 yılı itibariye piyasalara arz edilen toplam 2,1 milyon bor ve bor ürünlerinin 101 milyon tonu iç piyasalar tarafından tüketilmişken 2 milyon tonu da dış piyasalara ihraç edilmiştir. Bunların karşılığında ise yurt içi piyasalardan toplamda 40 milyon \$, dış piyasalardan ise toplamda 780 milyon \$'lık döviz gelir elde edilmiştir. Türkiye, 2010-2019 arası dönemde bor ve bor ürünlerine dayalı en fazla getiriyi 2018 yılında elde etmiştir. 2018 yılında elde edilen toplam 1 milyar \$'lık gelirin 990 milyon \$'ı yurt dışından, 23 milyon \$'ı da yurt içinden sağlanmıştır (Tablo 11).

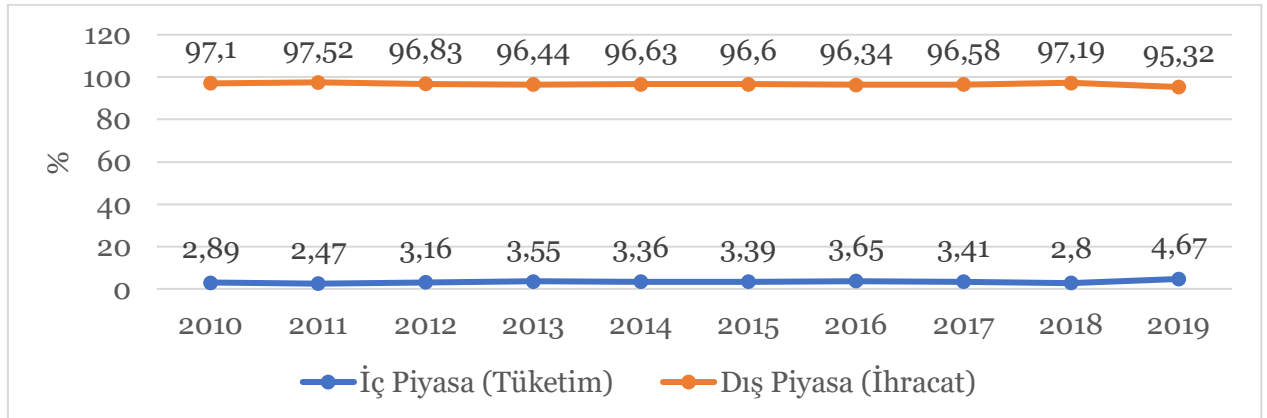
Tablo 11: 2010-2019 Arası Dönemde Türkiye'nin Ham Bor ve Rafine Bor Ürünlerinin Tüketim ve İhracat Göstergeleri

Yıllar	İç Piyasa (Tüketim)		Dış Piyasa (İhracat)		Toplam	
	Satış (Ton)	Satış (\$)	Satış (Ton)	Satış (\$)	Satış (Ton)	Satış (\$)
2010	48.000	18.000.000	1.612.000	629.000.000	1.660.000	647.000.000
2011	51.000	22.000.000	2.008.000	831.000.000	2.059.000	853.000.000
2012	58.000	25.000.000	1.772.000	797.000.000	1.830.000	822.000.000
2013	68.000	25.000.000	1.847.000	801.000.000	1.915.000	826.000.000
2014	72.000	28.000.000	2.068.000	871.000.000	2.140.000	899.000.000
2015	66.000	23.000.000	1.877.000	787.000.000	1.943.000	810.000.000
2016	65.000	22.000.000	1.711.000	689.000.000	1.776.000	711.000.000
2017	75.000	25.000.000	2.123.000	854.000.000	2.198.000	879.000.000
2018	71.000	23.000.000	2.461.000	990.000.000	2.532.000	1.013.000.000
2019	101.000	40.000.000	2.060.000	780.000.000	2.161.000	820.000.000

Kaynak: Eti Maden, <https://www.etimaden.gov.tr/>; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2019: 29; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2020a: 27-29.

Elde edilen bu gelirlerde yurt dışı piyasalara sunulan bor ve bor ürünlerinin etkisi büyük olmuştur. Türkiye'de bor ve bor ürünlerinin arzının ihracat odaklı olmasından dolayı iç piyasalardaki tüketimleri oldukça sınırlı kalmıştır. Buna göre 2019 yılı itibariyle piyasalara arz edilen toplam bor ve bor ürünlerinin %95'i dış piyasalar tarafından ihraç edilmişken yalnızca %5'i iç piyasalar tarafından tüketilmiştir. 2010-2019 arası dönemde ise Türkiye'de arz edilen toplam bor ve bor ürünlerini ortalama %97'si yurt dışı piyasalara ihraç edilmişken ortalama sadece %3'ü iç piyasalar tarafından tüketilmiştir (Grafik 8).

Grafik 8: 2010-2019 Arası Dönemde Türkiye'nin Ham Bor ve Rafine Bor Ürünlerinin Tüketim ve İhracat Oranları



Kaynak: Eti Maden, <https://www.etimaden.gov.tr/>; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2019: 29; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2020a: 27-29.

3. Veri Seti – Yöntem – Bulgular

3.1. Veri Seti ve Yöntem

Bu çalışmada, öncelikli olarak borun Türkiye piyasasında yakıt olarak petrol türevi yakıtlarla kullanılabilirliğinin (rekabetçilik düzeyinin) tespit edilmesine yönelik; yakıt olarak sodyum borhidritin küresel ölçekteki fiyatı, 2001 yılında Millennium Cell firması tarafından üretilmiş olan sodyum borhidritli araç verileri, TÜİK tarafından 2018 yılına ait Türkiye'deki mevcut otomobil verileri, Türkiye'de 2020 yılına ait petrol ve dizel yakıt fiyatları ve bu yakıt türünde depo hacimleri ve Türkiye'de 17 Kasım 2020'ye ait döviz kuru verileri ve yine 2020 yılına ait rutenyum (Ru) katalizör fiyat verileri kullanılmıştır. Sonrasında sodyum borhidritin Türkiye'de yakıt olarak kullanılabilmesi durumunda Türkiye'nin mevcut bor ürünleri üretim kapasitesinin, bor üretim miktarlarının ve bor arz yapısının ne düzeyde olması gerektiğinin tespit edilebilmesine yönelik olarak; Türkiye'nin 2006-2019 arası dönemdeki mevcut bor ürünleri üretim kapasitesi, kapasite kullanımı, bor üretim, tüketim ve ihracat verileri kullanılmıştır. Son olarak da Türkiye'de yakıt olarak bor kullanımına dayalı olası kazanımların değerlendirilmesi amacıyla; döviz cinsinden petrol ithalat değerleri ve bunun toplam enerji ithalatı içerisindeki payları ve yine döviz cinsinden Türkiye'nin bor ihracat verileri kullanılmıştır.

Yöntem olarak ise, bu veriler ışığında birtakım matematiksel analiz işlemlerinden yararlanılmıştır.

3.2. Bulgular

3.2.1. Borun Araç Yakıtı Olarak Türkiye Piyasasındaki Rekabetçilik Düzeyinin Değerlendirilmesi

Sodyum borhidritin küresel ölçekte toz halindeki formu 46.500 \$/t, çözelti halindeki formu 38.200 \$/t'dur (Kalafatoğlu ve Örs, 2003: 71). Geliştirilen Hydrogen on Demand sistemine göre yakıt olarak 1000 g çözelti halindeki sodyum borhidrit ile 724 km yol alınabilmektedir (bk. Tablo 8). Dolayısıyla yakıt olarak sodyum borhidriti kullanan bir aracın 724 km yol mesafesindeki yakıt maliyeti 38,2 \$ olabilmektedir. Bu yakıt maliyeti, aynı mesafe için diğer benzinli ve dizel otomobillerdeki yakıt maliyetleri ile mukayese edildiğinde özellikle Türkiye açısından oldukça rekabetçi olabilmektedir. Şöyle ki; Otomobil segmentindeki araçların mevcut yakıt depolama hacimleri 40 ila 80 litre arasında değişiklik göstermektedir (Yenişafak, <https://www.yenisafak.com/foto-galeri/ekonomi/hangi-arabanin-deposu-kaca-doluyor-2002915?page=1>). 45 litre yakıt depolama hacmine sahip benzinli araçlar dolu bir depo ile toplamda 620 km yol alabilirken aynı hacme sahip dizel yakıtlı araçlar toplamda 920 km yol alabilmektedir (Sabah, https://www.sabah.com.tr/ekonomi/2011/01/12/dizel_mi_daha_ekonomik_benzinli_mi). Bunlardan hareketle 80 litre kapasiteye sahip benzinli araçlar dolu depoyla toplamda 1.102 km, dizel araçlar ise dolu depoyla toplamda 1.635 km yol alabilmektedir. Litre başına ise benzinli araçlar dolu bir depoyla toplamda 13,77 km yol alabilirken dizel araçlar da toplamda 20,43 km yol alabilmektedir.

Türkiye'de 17 Kasım 2020 itibarıyla;

Benzinin litre satış fiyatı= 6,73-6,77 TL

Dizelin (Motorin) litre satış fiyatı=6,27-6,33 TL'dir (Shell, 17 Kasım 2020). Yine aynı tarihte dolar kuru ise, 7,68 \$/TL'dir (Bloomberght, <https://www.bloomberght.com/>). Buna göre;

45 litre yakıt hacmi bulunan benzinli bir aracın toplamda 724 km yol alabilmesi için $724/13,77= 52,57$ litre yani $52,77/45=1,16$ depo benzine, 80 litre yakıt hacmi bulunan benzinli bir araçta ise $52,57/80=0,65$ depo benzine ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt maliyetleri ise benzinin litre satış fiyatının ortalaması alındığında $(6,73+6,77)/2=6,75$ TL $52,77*6,75 =356,19$ TL bu da dolar kuruna çevrildiğinde 46 \$ olabilmektedir. Yani 45 ve 80 litre yakıt hacmine sahip benzinli bir aracın Türkiye şartlarında 724 km yol alabilmesinin maliyeti 46 \$'dir.

45 litre yakıt hacmi bulunan dizel bir aracın toplamda 724 km yol alabilmesi için $724/20,43=35,43$ litre yani $35,43/45=0,78$ depo benzine, 80 litre yakıt hacmi bulunan dizel bir araçta ise $35,43/80=0,44$ depo dizel yakıtı ihtiyacı duyulmaktadır. Yakıt maliyetleri de dizel yakıtın litre satış fiyatlarının ortalaması alındığında ($6,27+6,33/2=6,3$ TL) $35,43*6,3=223,20$ TL aynı şekilde dolar kuruna çevrildiğinde 29 \$ olabilmektedir.

Yani dizel ve benzinli bir araçla 724 km yol alabilmenin Türkiye şartlarındaki maliyetleri 29 ila 46 \$ arasında değişim gösterebilmektedir. Bu da yakıt maliyetleri açısından sodyum borhidritin Türkiye piyasasında rekabetçi olabileceğinin bir göstergesidir. Ancak bu durum, katalizör maliyetlerinin ihmal edildiği durumda geçerliliğini koruyan bir argümandır. Daha önce de belirtildiği üzere Ru katalizörünün gram fiyatı 1\$-100\$ arasında değişim göstermektedir. Sisteme 0,25 g değerinde Ru katalizör maliyetleri de eklendiğinde yakıt olarak sodyum borhidritin Türkiye piyasasında diğer yakıtlara (benzin ve dizel) kıyasla rekabetçi yapısını koruyabilmesi için Ru katalizör maliyetlerinin 1\$ ila 32\$ aralığında seyretmesi gerekmektedir. 32 \$'ın üzerinde oluşabilecek her bir katalizör maliyeti yakıt olarak sodyum borhidritin Türkiye piyasası açısından rekabetçi olma durumunu engelleyecektir.

3.2.2. Türkiye'nin İç Piyasaya Yönelik Bor Üretim Kapasitesinin ve Bor Üretim Değerlendirilmesi

Türkiye'nin, petrolü ikame edici olarak bor'u kendisine yakıt bazlı alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanabilmesi için öncelikle iç piyasaya yönelik mevcut bor üretim kapasitesini ve bor üretim miktarını arttırması gerekmektedir. Şöyle ki bor ürünlerinden biri olan sodyum borhidritin (NaBH_4) otomobil teknolojilerinde kullanılabilirliğinin öncüsü olan Millennium Cell firmasının 2002 yılında yaptığı açıklamada yıllık olarak dünya genelinde sodyum borhidrit yakıt pili teknolojisine sahip 50 milyon adet aracın üretilmesi için 20 milyon ton bora ihtiyaç duyulabileceğini, yakıtın yanması sonucunda yan ürün olarak açığa çıkan sodyum metaboratın tekrar geri kazanılması durumunda ise ihtiyaç duyulacak olan bor miktarının 20 milyon tonun da üzerine çıkabileceğini belirtmiştir (Çinkı, 2002: 28).

Buna göre TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre Türkiye'de Kasım 2018 itibarıyla trafiğe kayıtlı toplam 22.850.238 adet, araç bulunmaktadır. Bu araçların %54'ü otomobil, %16'sı kamyonet, %14'ü motorsiklet, %8'i traktör, %4'ü kamyon, %2'si minibüs, %0,9'u otobüs ve %0,3'ü de özel amaçlı taşıtlardan oluşmuştur (TÜİK, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Kasim-2018-30628>).

Yakıt olarak sodyum borhidriti kullanan yakıt pilli araçların Türkiye'de öncelikle araç sayısının büyük bir bölümünü oluşturan otomotiv sektöründe uygulanması durumunda Millennium Cell firmasının ve Türkiye'deki otomobil sayısı verilerinden hareketle 2018 yılı için teorik olarak üretilmesi gereken bor miktarı;

$$Tb_{q-2018} = \frac{T_{oq-2018} * Mb_q}{Mv_q}$$

(3.1)

formülasyonundan burada;

Tb_{q-2018} = Türkiye'nin 2018 yılı verileriyle ihtiyaç duyacağı bor üretim miktarı (ton)

$T_{oq-2018}$ = 2018 yılı verileriyle Türkiye'deki toplam otomobil miktarı (adet)

Mv_q = Millennium Cell firması tarafından belirtilen teorik araç miktarı (adet)

Mb_q = Millennium Cell firması tarafından belirtilen teorik bor miktarı (ton) temsil edilmektedir.

Türkiye’de 2018 yılındaki toplam otomobil miktarı ise, Türkiye’deki toplam araç miktarının %54’ü olduğundan;

$$T_{oq-2018} = T_{vq-2018} * 0,54 \quad (3.2)$$

burada;

$T_{vq-2018}$ =2018 yılında Türkiye’deki toplam araç miktarını temsil etmektedir.

Buna göre Türkiye’de 2018 yılındaki toplam otomobil miktarı;

$$T_{oq-2018} = 22.850.238 * 0,54 = 12.339.129 \text{ adet olmaktadır.}$$

Buradaki değer ve diğer parametre değerleri denklem (3.1)’de yerine konulduğunda teorik bazda 2018 yılı verileri ile üretilmesi gereken bor miktarı;

$$T_{bq-2018} = \frac{12.339.129 * 20.000.000}{50.000.000}$$

$T_{bq-2018}$ = 4.959.652 ton olabilmektedir.

Bu durumda Türkiye’nin bor üretim kapasitesinin de, 2018 yılı verileri ile;

$$T_{bc-2018} = \frac{T_{bq-2018}}{Tr_{cu}}$$

(3.3)

burada;

$T_{bc-2018}$ = 2018 yılı verileriyle Türkiye’nin bor ürünleri kapasitesi (ton)

Tr_{cu} = Türkiye’nin ortalama bor ürünleri kapasite kullanım oranını (%) ifade etmektedir.

Türkiye’nin bor ürünlerinin kapasite kullanım oranı ortalama %89,5 ~ %90 alındığında (bk. Grafik 7) ve bulunan değerler yerlerine koyulduğunda;

$$T_{bc-2018} = \frac{4.959.652}{0,90}$$

dan $T_{bc-2018}$ = 5.510.724 ton olmaktadır.

Bu durumda Türkiye’de mevcut bor ürünleri üretimlerinin yıllık bazda 2018 yılı verileri baz alındığında toplamda 1,8 kat (%104), artırılması gerekmektedir. Bu artışın da yıllık üretilen otomobil sayısı oranında güncellenmesi gerekmektedir. Mevcut bor ürünleri kapasitelerinin de yine yıllık bazda 2018 yılı verileri baz alındığında 2,03 kat (%104) artırılması gerekmektedir. Yani Türkiye’nin bor’u (sodyum borhidrit) yakıt bazlı alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanabilmesi için mevcut üretim miktarlarını ve kapasitelerini yaklaşık 2 kat artırması gerekmektedir. Yine bor üretim kapasitelerinin de yıllık bazda otomobil sayılarındaki artışla güncellenmesi gerekmektedir. Tabii bu durum ilk etap için geçerlidir. Yani bor minerallerinin (sodyum borhidrit) yalnızca

otomobil endüstrisindeki kullanımı için geçerlidir. Bu yapının Türkiye'deki tüm araçları kapsayacak şekilde genişletilmesi durumunda, hiç kuşkusuz ki daha fazla bor üretim kapasitelerine ve bor üretimlerine ihtiyaç duyulacaktır.

Ancak yakıt olarak sodyum borhidritin öncelikli olarak 2018 yılı verilerinden hareketle Türkiye'deki otomobillerin yarısı (6 milyon adet otomobil) için kullanılması durumunda Türkiye'nin bor üretiminin yine 2018 yılı bor üretim verilerinden hareketle yaklaşık 2,5 milyon ton, bor üretim kapasitesinin ise yine yaklaşık 3 milyon ton olması gerekmektedir. Bu değerler, Türkiye'nin 2018 yılı bor üretim kapasitesi ve bor üretimi değerlerine oldukça yakın seyirler izlemektedir.

3.2.3. Türkiye'nin Toplam Bor Arz Yapısının Değerlendirilmesi

Türkiye'de bor'un yakıt olarak kullanımı konusunda iç piyasaya yönelik mevcut üretim ve kapasite miktarlarının ayarlanmasından sonra üzerinde durulması gereken diğer bir konuda mevcut bor arz yapısıdır. Türkiye'nin daha önce de belirtildiği üzere bor ürünlerinin büyük bir bölümünü yurt dışına arz etmektedir. Bu yapı, ortalama %3'ü yurt içi (tüketim), %97'si de yurt dışı (ihracat) şeklindedir (bk. Grafik 8). Türkiye'nin bor enerjisini sürdürülebilir, katma değer yaratacak şekilde hayata geçirebilmesi için yine ilk etapta mevcut arz yapısının ihracat odaklı olmaktan ziyade iç piyasaya yönelik olması gerekmektedir. Şöyle ki sodyum borhidritli araç sistemlerinin Türkiye'de faaliyete geçebilmesi için 2018 yılı verileriyle iç piyasada tüketilmesi gereken teorik bor miktarı $Tb_{q-2018} = 4.959.652$ ton olarak bulunmuştur.

Yani iç piyasada %3 oranında 4,9 milyon ton bor üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye'nin bor ürünlerine yönelik halihazırdaki arz yapısının %3'ü yurt içi (tüketim) ve %97'si de yurt dışı (ihracat) olduğu düşünüldüğünde toplam arz için gerekli olacak bor miktarı;

$$\begin{array}{r} 4.959.652 \text{ ton bor} \quad \%3 \text{ (iç piyasa)} \\ \times \quad \quad \quad \%97 \text{ (dış piyasa)} \\ \hline \end{array}$$

$X = 160.362.081$ ton bor, toplam arz miktarı ise $160.362.081 \text{ ton} + 4.959.652$ tondan $165.321.733$ ton bor'dur.

Türkiye'nin bu arz miktarlarını kısa ve orta vadede yakalanabilmesi oldukça güçtür. Çünkü bu arz miktarlarının elde edilebilmesi için 2018 yılı verileriyle mevcut arz miktarlarının 65 kat artırılması gerekmektedir ve Türkiye'nin 2006-2019 arası dönemdeki bor üretimi ise toplamda sadece 2 kat (1 milyon tondan 2 milyon tona) artmıştır. Yani Türkiye'deki toplam bor arz miktarlarının aynı üretim hızında 65 kat arttırılabilmesi için 422 yıla ihtiyaç duyulacaktır. Bu, 2018 yılında Türkiye'deki araç verileri doğrultusundaki rakamdır. Fakat Türkiye'deki araç sayıları her geçen yıl artmaktadır ve 422 yıl sonrasında toplam arz miktarlarının 65 kattan daha fazla olması gerekecektir.

Ancak Türkiye'nin bor ürünlerine yönelik arz yapısının ilk etapta %50 yurt içi (tüketim) ve %50 yurt dışı (ihracat) olarak dönüştürüldüğü varsayıldığında ihtiyaç duyulacak toplam bor miktarının 2018 yılındaki verilerden hareketle;

$$\begin{array}{r} 4.959.652 \text{ ton bor} \quad \%50 \text{ (iç piyasa)} \\ \times \quad \quad \quad \%50 \text{ (dış piyasa)} \\ \hline \end{array}$$

$X = 4.959.652$ ton bor'dan toplamda $4.959.652 \text{ ton} + 4.959.652$ tondan $9.919.304$ ton bor olacaktır. Bu durum orta vadede daha makul düzeydedir. Çünkü mevcut arz miktarlarının 2018 yılı verileriyle yaklaşık 4 kat, arttırılması gerekmektedir. Bu da

mevcut üretim hızında 26 yıla denk gelmektedir. Mevcut arz yapısının iç piyasaya lehine daha da genişletilmesi durumunda ihtiyaç duyulacak toplam arz miktarına daha kısa sürede ulaşabilmek mümkün olacaktır.

3.2.4. Bor Kullanımına Dayalı Olası Kazanımların Değerlendirilmesi

3.2.4.1. Petrol İthalatında Azalma ve Yüksek Katma Değer Sağlama

Türkiye'nin 2018 yılı itibariyle petrol ithalatına ödediği döviz toplamda 13.462.000.000 \$'dir (bk. Tablo 3). İthal edilen 13.462.000.000 \$ değerindeki toplam petrolün ise %77'si (10.366.000.000 \$) ulaşım sektöründe kullanılmıştır (bk. Grafik 2). Daha önceden de belirtildiği üzere Türkiye'deki toplam araç miktarının %54'ü otomobillerden oluşmaktadır. Yani bu da demek oluyor ki Türkiye'nin 2018 yılı itibariyle ithal etmiş olduğu toplam 13.462.000.000 \$'lık petrolün $10.366.000.000 * 0,54$ 'den 5.597.640.000 \$'lık bir kısmı otomobiller tarafından tüketilmiştir.

Buna göre, Türkiye'nin ilk etapta yakıt olarak sodyum borhidritli araç teknolojilerinin Türkiye'de araç sektörünün yoğun olduğu otomotiv sektöründe uygulanması durumunda mevcut petrol ithalatında 5.597.640.000 \$'lık bir tasarrufun sağlanması muhtemeldir. Bu değer, Türkiye'de en çok bor ihracat gelirinin elde edildiği 2018 yılındaki değerden 5,5 kat daha fazladır (bk. Tablo 11).

Ayrıca elde edilecek 5,5 milyar \$'lık potansiyel gelir, Türkiye'nin toplam petrol ithalatının toplam enerji ithalatı içerisindeki payını da düşürecektir. Türkiye'nin 2018 yılında petrol ithalatına ödediği 13,4 milyar \$'lık döviz, Türkiye'nin 2018 yılı itibariyle toplam enerji ithalatının %67'sini oluşturmaktadır. Buna göre Türkiye'de sodyum borhidrite dayalı enerji teknolojilerinin kullanılması durumunda elde edilecek olan 5,5 milyar \$'lık potansiyel gelir ile Türkiye'nin petrole dayalı enerji ithalatının toplam enerji ithalatı içerisindeki payının;

13.462.000.000 \$	%67
5.597.640.000 \$	x

$X = \%28$ 'sinin önlenmesi mümkündür. Bu durum petrole dayalı enerji ithalatının toplam enerji ithalatı içerisindeki payında da $[(\%28 / \%67) * 100]$ 'den %42'lik bir tasarrufun oluşmasına zemin hazırlayacaktır.

Sodyum borhidrit kullanıma dayalı yakıt pili teknolojisinin Türkiye'de kademeli olarak diğer araç teknolojilerini de kapsayacak şekilde genişletilmesi durumunda tasarruf oranının;

13.462.000.000 \$	%67
10.366.000.000 \$	x

$X = \%52$ 'den $[(\%52 / \%67) * 100]$ 'den %78'e çıkma potansiyeli bulunmaktadır. Yani Türkiye'nin bor enerji teknolojilerine entegre olması, buna yönelik olarak kapasite ve üretim yapılarını arttırması, arz yapısını iç piyasa lehine olacak şekilde ve sektörel yapının da enerji üretiminin yoğun olacağı enerji sektörünü kapsayacak şekilde genişletilmesi durumunda daha yüksek bir katma değer sağlayabilme potansiyeli bulunmaktadır.

SONUÇ

Türkiye'de borun petrole alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilmesine yönelik gerçekleştirilen analiz çerçevesinde Alibaba, TÜİK, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Millennium Cell, Shell, Bloomberght, UNCTADSTAT gibi çok sayıda ulusal ve uluslararası kuruluşlardan elde edilen veriler neticesinde öncelikli olarak Türkiye'de sodyum borhidritin otomobillerde yakıt olarak kullanılabilirliğine ilişkin petrol ve türevlerine kıyasla rekabetçi olma durumu analiz edilmiştir. Yapılan analiz neticesinde çözümlenmiş durumda kullanılacak olan sodyum borhidrit yakıtının katalizör maliyetleri ihmal edildiğinde Türkiye piyasası açısından diğer yakıtlarla rekabetçi bir yapıda olduğu sonucunda ulaşılmıştır. Ancak katalizör maliyetleri de eklendiğinde yakıt olarak sodyum borhidritin Türkiye piyasasında diğer yakıtlara kıyasla rekabetçi olabilmesi için Ru katalizör maliyetlerinin 1\$-32\$ aralığında seyretmesi gerekmektedir.

Daha sonrasında borun yakıt olarak kullanımının gerçekleşebilmesi için Türkiye açısından öncelikli olarak 3 türden öncülün yerine getirilmesi gerekmektedir. Bunlardan ilki, Türkiye'nin mevcut bor üretim kapasitesinin ve bor üretimlerinin iç piyasaya yönelik artırılması gerekmektedir. Türkiye'de sodyum borhidritin öncelikli olarak enerjinin büyük bir kısmını tüketen otomobil sektörlerinde kullanılması durumunda Türkiye'nin mevcut bor üretim kapasitesinin Türkiye'deki 2018 yılına ait araç verilerinden hareketle toplamda 2,03 kat artırılması, bor üretimlerinin de yine 2018 yılına ait araç verilerinden hareketle toplamda 1,8 kat artırılması ve bunun da sürdürülebilir bir şekilde devam ettirilebilmesi için de yıllık araç sayılarında meydana gelecek artış oranında güncellenmesi gerekmektedir. Ancak yakıt olarak sodyum borhidritin ilk etapta Türkiye'deki otomobillerin yarısı için kullanılması durumunda ihtiyaç duyulabilecek muhtemel bor üretim kapasitesi ve bor üretim miktarları Türkiye'nin 2018 yılı verilerindeki bor üretim kapasitesi ve bor üretim miktarlarına oldukça yakın durumdadır. Tabii bu durum sodyum borhidritin yalnızca otomobillerde kullanımı için geçerli olabilecek kapasite ve üretim verileridir. Sodyum borhidrit kullanımının diğer araçları kapsayacak genişletilmesi, durumda bu verilerin çok daha üstünde bor kapasiteleri ve üretimleri gerekecektir.

İkinci olarak, Türkiye'nin halihazırdaki bor arz yapısı (tüketim+İhracat) borun Türkiye açısından enerji teknolojilerinde kullanımı için uygun değildir. Türkiye'deki mevcut bor ürünlerinin ortalama %3'ü iç piyasa tarafından tüketilirken %97'si de ihraç edilmektedir. Türkiye, bor ürünlerine yönelik arz yapısını bu şekilde sürdürmesi durumunda 2018 yılı verileriyle hesaplanmış olan toplam bor arzının 165 milyon ton olması gerekmektedir. Bu durumda Türkiye'de toplam arz miktarını 2018 yılı toplam arz verileriyle 65 kat artırılması gerekmektedir. Bu artış miktarlarının yakalanabilmesi Türkiye açısından orta ve uzun vadede mümkün gözükmemektedir. Çünkü Türkiye'nin 2006-2019 arası dönemde bor ürünleri üretimleri toplamda sadece 2 kat artmıştır. Buna göre bu artış miktarının yakalanabilmesi için bu üretim hızında 422 yıla gereksinim duyulmaktadır. Oysaki Türkiye'nin bora yönelik toplam arz yapısının %50 - %50 olarak iç piyasa lehine genişletilmesi durumunda ihtiyaç duyulacak toplam bor arz miktarı 2018 yılı verileriyle 9,9 milyon ton bor olacaktır. Bu toplam arz yapısı, bir önceki toplam arz yapısına (%3 - %97) göre orta ve uzun vadede daha ulaşılabilir düzeydedir. Çünkü bu şekilde toplam arz miktarının 2018 yılı verileriyle 4 kat artırılması gerekecektir. Bu da, Türkiye'nin mevcut bor üretim hızında 26 yıllık bir süreye tekabül etmektedir.

Tüm bu türden durumların gerçekleşmesi durumunda toplamda %67 olan petrol ithalatının toplam enerji ithalatı içerisindeki payının %58'lik kısmının karşılanabilmesi potansiyeli bulunmaktadır. Bununla birlikte petrol ikamesinden kaynaklanması muhtemel 5,5 milyar \$'lık tasarruf, Türkiye'nin küresel piyasalardan bor ürünleri ihracına dayalı en çok gelirin elde edildiği 2018 yılındaki değerden tam 5,5 kat daha fazladır. Bu açıdan bakıldığında borun dış piyasaya ihracından çok iç tüketimde

kullanılması durumunda daha yüksek katma değer elde edilebilme şansı mümkün gözükmektedir.

KAYNAKÇA

Acarcan, N. (2002), “Bor Ürün Çeşitleri ve Kullanım Alanları”, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya.

Acaroğlu, M. (2003), *Alternatif Enerji Kaynakları*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Alibaba, <https://turkish.alibaba.com/g/ruthenium-catalyst.html>.

Amendola, S.C., S.L. Sharp-Goldman, M.S. Janjua, M.T. Kelly, P.J. Petillo ve M. Binder (2000), “An Ultrasafe Hydrogen Generator: Aqueous, Alkaline Borohydride Solutions and Ru Catalyst”, *Journal of Power Sources*, Cilt: 8, Sayı: 2, s.186-189.

Bloomberght, <https://www.bloomberght.com/>, 17. 11.2020.

BOREN, (Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü), <https://www.boren.gov.tr/>, 12.10.2020.

BP, (British Petroleum), (2019), *Statistical Review of World Energy 2019*.

Çinkı, M. (2002), “Petrolde Bor'a”, *Metalürji Dergisi*, Sayı: 130, s.25-35.

DPT, (Devlet Planlama Teşkilatı), (2001), *Sekizinci Kalkınma Planı (2001-2005) Özel İhtisas Komisyonu Raporları: Madencilik Sanayi Hammaddeleri Kimya, Bor Tuzları, Trona*, T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara.

EPDK, (Enerji Piyasası Düzenleme ve Denetleme Kurumu), (2012), *Petrol Piyasası Sektör Raporu*.

EPDK, (Enerji Piyasası Düzenleme ve Denetleme Kurumu), (2013), *Petrol Piyasası Sektör Raporu*.

EPDK, (Enerji Piyasası Düzenleme ve Denetleme Kurumu), (2016), *Petrol Piyasası Sektör Raporu*.

EPDK, (Enerji Piyasası Düzenleme ve Denetleme Kurumu), (2017), *Petrol Piyasası Sektör Raporu*.

EPDK, (Enerji Piyasası Düzenleme ve Denetleme Kurumu), (2019), *Petrol Piyasası Sektör Raporu*.

Eraslan, K. ve F. Karakoç (2002), “Borlu Yakıt Sistemleri-1; Hidrojen Motorları ve Entegre Sistemleri”, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya.

Eti Maden, <https://www.etimaden.gov.tr/>, 10.10.2020.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, (2009), *Bor Sektör Raporu 2008*.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, (2017), *Bor Sektör Raporu 2016*.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, (2019), *Bor Sektör Raporu 2018*.

- Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, (2020a), *Bor Sektör Raporu 2019*.
- Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, (2020b), *Faaliyet Raporu 2019*.
- EUROSTAT, (European Statistical Office), Energy Statistics: Energy Imports Dependency, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_50/default/table?lang=en, 26.06.2020.
- EUROSTAT, (European Statistical Office), Energy Statistic: Finaly Energy Consumption By Sector, <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00124&language=en>, 10.09.2020.
- Helvacı, C. (2004), "Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası", 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir.
- Hydrogen Council, (2017), *How Hydrogen Empowers The Energy Transition*, Hydrogen Council, Brussels.
- Kalafatoğlu, İ.E. ve S.N. Örs (2003), "21. Yüzyılda Bor Teknolojileri ve Uygulamaları", *Bahkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 5, Sayı: 1, s.59-71.
- Lydal, P. A. (2002), *Boron Minerals Yearbook*, USGS.
- MAPEG, (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü), Petrol İstatistikleri, http://www.mapeg.gov.tr/petrol_istatistik.aspx, 22.10.2020.
- MIT, (Massachusetts Institute of Technology), (2007). *The Future of Coal: An Interdisciplinary MIT Study*, MIT, Massachusetts.
- Millennium Cell, (2003), *Millennium: Clean Energy to Power The World*.
- Özkar, S. ve A. Zahmakıran (2004), "Sodyum Borhidrürün Hidrolizini Katalizleyen Metal Nanokümlerinin Sentezi", 2. *Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir.
- Sabah, https://www.sabah.com.tr/ekonomi/2011/01/12/dizel_mi_daha_ekonomik_benzinli_mi, 17. 11.2020.
- Shell, <https://www.shell.com.tr/suruculer/shell-yakitlari/akaryakit-pompa-satis-fiyatlari.html>, 17.11.2020.
- Sümer, G. (2004), "Bor Bileşikleri", 2. *Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir.
- Szary, P. J. ve A. Maher (2001), *New Jersey Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle*, The State of New Jersey Department of Transportation, New Jersey.
- Taşcıoğlu, S. (1992), *Bor ve Silisyum Kimyası*, Marmara Üniversitesi Yayın Evi, İstanbul.
- TMMOB, (Türk Mühendis ve Mimarlar Odalar Birliği), (2008), *Bor Raporu*, Maden Mühendisleri Odası, Ankara.
- TÜİK, (Türkiye İstatistik Kurumu), <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Kasim-2018-30628>, 4.01.2019.

TPAO, (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı), (2019), *2018 Yılı Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu*, TPAO, Ankara.

UNCTADSTAT, (United Nations Conference on Trade And Development Statistics),
<https://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx>,
12.02.2020.

Ural, Z. ve M.T. Gençoğlu (2009), “Yakıt Pillerinin Konutsal Uygulamalarda Kullanımı”,
5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır.

Yenişafak, <https://www.yenisafak.com/foto-galeri/ekonomi/hangi-arabanin-deposu-kaca-doluyor-2002915?page=1>, 17.11.2020.

Yenmez, N. (2009), “Stratejik Bir Maden Olarak Bor Minerallerinin Türkiye İçin Önemi”,
Coğrafya Dergisi, Sayı: 19, s. 59-94.

Yılmaz, A. (2002), “Her Derde Deva Hazinemiz Bor”, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Sayı: 414,
s 38-48.

Yiğitbaşoğlu, H. (2004), “Türkiye İçin Önemli Bir Maden Bor”, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 2, s.13-25.