

BOR VE TEMİZ ENERJİ

Yıldırım PEHLİVAN ve Merve ÇETİNKAYA***

Bilindiği gibi dünyanın enerji ihtiyacını karşılayan fosil yakıtlarının 40-50 yıllık bir rezerv miktarı kalmıştır. Artık enerji ihtiyacını karşılayabilecek yeni kaynaklar aranmaktadır. Aranan bu yeni enerji kaynaklarının temiz ve yenilenebilir olması üzerinde durulan bir konudur. 21. yüzyılın en güçlü ve çevre uyumu açısından alternatifi halihazırda olmayan, özellikle yakıt pili sistemlerinde, temiz bir enerji yakıtı olarak hidrojen karşımıza çıkmaktadır. Fakat hidrojen temininde kullanılabilecek her yenilenebilir ve temiz enerji kaynağının farklı çevresel etkilere ve sorunlara neden olmayacağı söylenemez. Bu noktada karşımıza hem NaBH_4 , sodyum bor hidrür bileşiği ile hidrojen kaynağı olabilen hem de kendinden enerji elde edilebilen elementler arasında birinci sırada yer alan bor elementi çıkmaktadır. Bor, gerek hidrojen temininde kullanılabilen gerekse kendinden enerji elde edilebilen temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak şimdiden geleceğin petrolü unvanını kazanmıştır.

BOR'UN TANIMI

Kimyasal simgesi B olan bor elementinin atom numarası 5, atom ağırlığı 10.82, ergime noktası $2190 \pm 20^\circ\text{C}$, kaynama noktası 2250°C 'dir. Yoğunluğu $2,84 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Siyah renkte, metal ile ametal arası özelliklere sahip, metalik bir iletken olmasıyla birlikte yarı iletken sanayiinde de kullanılan bor, 51. yaygın element olarak yer kabuğunda yalnız olarak değil, O_2 'li bileşikler olan boratlar ve borasilikatlar halinde bulunan bir elementtir. Bor elementi 150'den fazla mineralin bileşiminde yer alır. Yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunur.¹

BOR'UN OLUŞUMU ve BULUNUŞU

Borat yataklarının yer hareketlerinin sıkça görüldüğü gezegenimizi bir kabuk gibi saran levhaların birbiriyle oluşturdukları sınırlar boyunca yer aldıkları ve günümüzden yaklaşık 24-2 milyon yıl önce (Neojen dönemi) oluştukları saptanmıştır. En büyük borat yatakları kimyasal çökme sonucu gölsel ortamlarda meydana gelmiştir. Bunlar genellikle kil, kil taşı, volkanik kül, kireçtaşı ve benzer gölsel tortul katmanlarıyla ara katmanlıdır. Volkanik etkinliklerle eşzamanlı oluşan sıcak su kaynakları ve hidrotermal çözeltiler, bor elementinin oluşması için en uygun ortamlardır. Borat yataklarının kimyasal çökme sonucu gölsel ortamlarda oluşabilmesi için volkanik etkinliğin yanı sıra boratların birikim oluşturabilecekleri bir havuzun olması, ayrıca, kurak yarı kurak bir iklimin hüküm sürmesi gereklidir. Boratlar suda çözünabilir nitelikte olduklarından dolayı, uzun süre boyunca böyle bir tehlikeden korunabilmeleri için üzerlerinin başka kayaç tabakaları tarafından örtülmesi gerekmektedir. Borat oluşumlarına gölsel ortamlar dışında, deniz ortamında oluşan tuz yatakları içinde de rastlanıyor. Ancak bu tür ortamlarda meydana gelen boratlar çoğunlukla ekonomik değere sahip değildir. Bor mineralleri bundan başka, yeraltındaki magmanın yeryüzüne yükselirken kristalleşmesi sonucu oluşur. Magmanın yeraltından yükselirken sokulum yapması ve yüzeye yaklaşırken soğuması sırasında çevredeki farklı kayaçların yüksek ısı ve basınçtan etkilenmesi de bor elementini oluşturur.²

19. yüzyılın başlarında Fransız bilim adamları Joseph Louis Gay-Lussac ve Louis Jacques Thenand ile İngiliz bilimadamı Sir Humphrey Davy, yaklaşık aynı tarihlerde bor

* İ.T.Ü., Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü Öğrencisi **İ.T.Ü., Kimya Mühendisliği, Yüksek Lisans Öğrencisi

elementini ayırıştırırmayı başardılar, dolayısıyla bor elementini keşfetmiş oldular. Ancak %99 saflıktaki ilk kristalize bor 1909 yılında elde edildi.³

BOR'UN KULLANIM ALANLARI

Günümüzde Bor ürünleri tıp ve cam, kimya ve deterjan, seramik ve polimerik maddeler, metalurji ve inşaat, gıda ve tarım gibi alanlara ek olarak uzay ve hava araçları, askeri araçlar, füzeler, radarlar, iletişim teknolojileri, nano teknolojiler ve enerji olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin, Bor'un kimi özel bileşikleri, bilgi teknolojilerinde kullanılan süper iletkenler ve mikroçiplerde kullanılarak bunların verimi ve kullanışlılığı arttırılmaktadır. Elektro kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren yakıt pillerinde sodyum bor hidrürün suyla tepkimeye girmesi sonucu açığa çıkan hidrojen kullanılabilmektedir.

En yaygın olarak kullanıldığı cam sanayinde camın ısıyla genleşmesini önemli ölçüde indirmek; titreşim, yüksek ısı ve ısı şokuna karşı dayanıklılık sağlamakta ve böylece camın genel olarak dayanıklılığını arttırmaktadır. Bu tip uygulamalara örnek olarak evlerde kullanılmakta olan borcamlar verilebilir. Bor bu etkilerinin yanı sıra cam eriğinin vizkozitesini azaltarak daha akışkan olmasını sağlamaktadır.

Bor fiberler plastiklerde, alüminyum ve titanyuma oranla altı kat daha fazla sertlik ve yoğunluk oranı sağlamaktadır. Yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı, esnek, hafif ve kolay üretilen borlu malzemeler bugün spor malzemelerinde (raketler, kayaklar vb), tekstil (kurşun geçirmez kumaşlar), izolasyon, otomotiv sanayi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Boraks bileşiği suyun yüzey gerilimini azaltarak kir parçacıklarının uzaklaştırılmasını sağlarken, düşük de olsa kimi organik maddeler ile reaksiyona girip ester oluşturarak, dezenfektan olarak da kullanılabilmektedir. Bu özelliklerden dolayı sabun gibi pek çok temizlik maddelerinde kullanım alanına sahiptir. Örneğin, sodyum per borat, aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcı olup çamaşır beyazlatıcısı olarak değerlendirilmektedir.

Son yıllarda, bileşiklerinin (borik asit, boraks, pentahidrat gibi) yangın geciktirici özelliklerinden dolayı, bor düşük maliyetli selülozik yalıtım malzemesinde kullanılmaya başlandı. Bu malzemeler yangına karşı dayanıklılığın yanında bakterilere karşı zehirleyici, sıçanların, farelerin ve böceklerin iştahlarını kapatıcı bir nitelik sağlamaktadır.

Nötron emme gücünün fazla olması onu tek kılan başka bir özelliğidir. Nükleer santrallerde, radyoaktif maddenin bölünmesi ısının açığa çıkmasına, alfa ve beta parçacıkları, gama ışınları ve nötronların oluşmasına yol açar. Nötronlara karşı kalkan görevi görececek malzemeler arasında en etkili olanları bor (özellikle ¹⁰B izotopu), hidrojen, lityum, polietilen ve sudur. Ancak bunların çoğu ikincil gama ışınlarının oluşmasına neden olurken nötronları emme özelliğiyle bor, çok hafif bir gama ışını ve kolay emilebilen bir alfa ışını üretir. Metallerle boritleri oluşturan bor oldukça sert (Mohs'a göre sertlik derecesi 9'dur, elmasınki 10'dur) olmasından dolayı aşındırıcı ve ışık kıran olarak da kullanılır⁴. Ayrıca demir-çelik endüstrisinde florit yerine kolemanit de kullanılabilmektedir.⁵

DÜNYA'DA ve TÜRKİYE'DE BOR CEVHERİ REZERV DAĞILIMI

Tablo 1'de görüldüğü gibi dünya Bor cevheri rezervlerinin %63'ü Türkiye, %16,4'ü ABD ve %10,7'si BDT'de yer almaktadır. Türkiye rezerv ve cevher kalitesi açısından çok önemli bir paya sahip olmasına karşın bor üretimi ve ticareti ABD'nin elinde bulunmaktadır. Buna rağmen Türkiye dünya ham bor tüketiminin %95'ini karşılamaktadır.

Tablo-1: Ülkelere göre Dünya Bor rezerv dağılımı. (KİGEM* ; Roskil, 1999)**

Ülke	Görünür Rezerv*	%	Görünür Rezerv**	%	Muhtemel+Mükün Rezerv	%	Toplam Rezerv	%
ABD	20900	16,4	45000	9,2	60000	11,5	105000	10,3
Arjantin	9000	0,7	2000	0,4	7000	1,3	9000	1,0
Rusya +BDT	136000	10,7	28000	5,6	112000	21,4	140000	13,7
Bolivya	19000	1,5	4000	0,8	15000	2,9	19000	2,0
Çin	36000	2,8	27000	5,4	9000	1,7	36000	3,5
İran	-	-	1000	0,2	1000	0,2	2000	0,2
Peru	22000	1,7	4000	0,8	18000	3,4	22000	2,0
Sırbistan	-	-	3000	0,6	-	-	3000	0,3
Şili	41000	3,2	8000	1,6	33000	6,3	41000	4,0
Türkiye	803000	63	375000	75,4	269000	51,3	644000	63,0
Toplam	1275000	100	497000	100	524000	100	1021000	100

TEMİZ ENERJİ

Günümüzde enerji gereksiniminin %80'i fosil yakıtlarından karşılanmaktadır. Fakat bunların çevreye verdikleri zararlardan ve rezervlerinin azalmasından dolayı yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir kaynaklı enerji üretimi süreci karbon bağımsız olması, diğer bir ifadeyle atmosfer kirliliğine sebep vermemesi nedeniyle temiz enerji olarak sıfatlandırılmaktadırlar. Yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları sırasıyla; güneş, rüzgar, dalga, gelgit, biyokütle, jeotermal, hidrolik ve hidrojen enerjisi olarak sıralanabilir. Her yenilenebilir ve temiz enerji kaynağının farklı çevresel etkilere ve sorunlara neden olduğu da bilinmektedir. Bunları kısaca şöyle açıklayabiliriz:

A: Hidrolik Enerji: Suyun potansiyel enerjisini kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle sağlanan bir enerjidir.

Enerji elde etmek için kurulan bu tesisler, kimi zaman metan gazıyla sera etkisi yaratmaktadır. Kimi zaman iklim değişikliğine neden olmaktadır. Depolama yapıları, malzeme sahaları, ve ek yapılar sebebiyle çevreye olumsuz etkileri olabilir. Kimi zaman tabiat ve tarih varlıkları korunamamaktadır. Bu yeraltı zenginlikleri için de geçerlidir.

B: Jeotermal Enerji: Hidrotermal, kuru sıcak kayalıklar ve jeobasınç bölgeleri olmak üzere üç çeşit kaynak vardır. Yerkabuğunun derinliklerinden gelen ısınin doğal olarak yeraltındaki sulara aktarılması ve ısınin suyun yeryüzüne ulaşması sonucu ortaya çıkan, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.

Jeotermal kaynaklar ile ilgili potansiyel kirleticiler hidrojen sülfat, karbon dioksit, amonyak, metan, borik asit, civa ve arsenik olarak sayılabilir.

Toprak çökmesi, Gürültü, termal kirlilik, Su kirlenmesi, Hava kirlenmesi zararlı etkileridir.

C: Biyokütle Enerjisi: Klasik anlamda ormanlardan elde edilen odun ve yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan atıklarından oluşur. Modern anlamda orman-ağaç endüstrisi

atıkları, bitkisel atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıklarından oluşur. Günümüz kullanımıyla ne yenilenebilir ne de sürdürülebilirdir.

Toprak erozyonu, su tüketimi, su kalitesinin bozulması, Ekosisteme etkisi, ormanların bozulması, İnsan müdahalesi, Hava kirlenmesi gibi zararlı etkileri vardır.

D: Deniz Kökenli Enerji: Deniz dalga enerjisi, deniz sıcaklık gradyen enerjisi, deniz akıntıları enerjisi ve med-cezir enerjisi olarak tanımlanabilir.

Sudaki canlı hayatı ve kıyı sahil şeridinde olumsuz etkileri olur. Termal yapıyı değiştirir. Su kimyasını değiştirmesi açısından deniz ekosistemine zararlı etkileri vardır.

E: Rüzgar Enerjisi: Rüzgar atmosferdeki sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava kütlelerinin yer değiştirmesidir. Hava kitlesinin sahip olduğu kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle rüzgar enerjisi oluşur. Bu dönüşüme uğramış güneş enerjisidir. En zararsız enerji kaynaklarından biridir.

Görüntü kirliliği, Kuş uçuşlarının engellenmesi ve ölümleri, Rüzgar hızının azalmasından dolayı ekosisteme etkisi, Topraktaki nemin yükselmesi, göllerin ısınması, Elektromanyetik alanı bozması sonucu radyo ve TV alıcılarında görüntü bozukluğuna neden olması gibi zararlı etkileri mevcuttur.⁶

1992 de Rio’da düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (UNCED) sonucu ‘İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ yapılmış ve 153 ülke tarafından imzalanmıştır. Aralık 1997’de Kyoto’da ise 171 ülke tarafından Kyoto Protokolü imzalanmıştır. Bu sözleşmelerde CO₂, NO_x ve SO_x gibi sera etkisi yaratan ve asit yağmurlarına sebep olan gaz emisyonlarının azaltılması, 1990’lardaki seviyelere indirilmesine karar verilmiştir. Anlaşılacağı üzere amaç hava kirliliğini azaltmak ve bununla birlikte temiz bir çevre yaratmaktır. Bunun için CO₂, CH₄, N₂O, HFCS, PFCS, SF₆ emisyonlarının biricik kaynağı ve günümüzdeki enerji ihtiyacının %80 ini karşılayan kömür, petrol ve doğal gaz gibi petrol yakıtlarından vazgeçilmelidir.

Hidrojen enerjisi üzerine yapılan çalışmaların, küresel ısınmanın, iklim değişikliğinin, çevre hukukunun bir dayatması sonucunda gerçekleştirildiği düşünülüyor ise de fosil yakıtların yakın bir zamanda tükeneceği ve hidrojenin yakıt olarak tüketilmesi sonucu çevreyi kirlüten ya da sera etkisi yaratan gazların üretilmeyecek olması da göz ardı edilemez. Çevre hukuku anlayışına en uygun yakıt hidrojendir. Hidrojenin enerji yakıtı olarak kullanılmasındaki en uygun bileşikte NaBH₄, sodyum bor hidrürdür.

BORLU YAKIT SİSTEMLERİ

Bugün motor yakıtı olarak hidrojenin kullanımında bazı problemler vardır. Bunlar, benzin motorundan hidrojen motoruna geçiş sonrasında hidrojen-hava karışımının %20 güç kaybına neden olması, emme manifoldunda alev tepkimelerine neden olması, depolama sorunu olarak sıralanabilir.

Bunlardan ilk ikisi çözüme ulaştırılmış, fakat halen depolama sorunu çözüme ulaştırılamamıştır. Depolama sorununun çözümü için de üç yöntem üzerinde çalışılmaktadır. Bunlar, hidrojenin yüksek basınçlı gaz olarak, aşırı soğutulmuş sıvı olarak ve metal hidrür oluşturarak depolanmasıdır.

Bor kullanımının ön plana çıktığı depolama sistemleri metal hidrür depolama sistemleridir. Bu sistemler, yakıt tankında hidrojen gazının metal alaşımına bileşik oluşturarak depolanması ve ısıtma sonrası hidrojenin serbest kalması ilkesi üzerine kuruludur. Bu ilke üzerine çalışan en gelişmiş sistem Millennium Cell Şirketi tarafından icat edilmiş olan “Hydrogen on Demand” dir.

Bu sistemi inceleyecek olursak; çalışma ilkesi, tepkimeye girenler ve ürünler hakkında avantajları görmemiz mümkündür, bunun için sistemin tepkime mekanizmasını inceleyelim;

katalizör



NaBH_4 , sodyum bor hidrür oldukça reaktif, borakstan elde edilen, doğal rezervleri oldukça fazla bulunan bir maddedir. Bununla birlikte maliyeti oldukça yüksek olan NaBH_4 , 1 galon benzininden 50 kat daha pahalı bir maddedir. Katalizör olarak doğada oldukça az bulunan ve pahalı bir element olan rutenyum kullanılır. Bir prosesle, sıkıştırma ve sıvılaştırma işlemlerine ihtiyaç duymadan birçok enerji uygulamaları için hidrojen eldesinde kullanılabilen bir sistemdir. Ürünlerden biri hidrojen diğeri de sodyum metaborattır. Suda çözülebilen ve çevreye zararsız olan bu madde tekrar sodyum bor hidrüre dönüştürülebilir. Tepkime ekzotermik olup, bu sayede sisteme dışardan enerji vermeye gerek kalmamaktadır. Böylece suyun buharlaşması için gerekli olan ısı da elde edilmiş olunur. Ayrıca oluşan nem, hem yakıt pili hem de içten yanmalı motorlara fayda sağlamaktadır. Aynı zamanda görüldüğü gibi inorganik bir reaksiyondur. Depolanmış sodyum bor hidrür çözeltisinin katalizör içeren odadan sıvı olarak geçmesiyle hidrojen açığa çıkar. Bu sistemin avantajları aşağıda sıralanmaktadır;

-Günümüz otomobil yakıtları için kullanılmakta olan gerek araç gerekse benzin istasyonları gibi altyapı sistemlerine uyumludur.

-Ağırlık/enerji oranı benzininkine yakındır. Galon başına benzinle hemen hemen aynı enerjiyi üretir.

-İçten yanmalı motorlarla birlikte yakıt pillerinde kullanılabilir.

“Hydrogen on Demand” sistemi ideal bir güç kaynağı olarak değerlendirilebilir. Çünkü yakıt, tutuşmamakta, yenilenebilir ve yeni baştan kullanılabilir hale gelebilmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi bu sistemde reaksiyon sonucu hidrojen gazı ve sodyum metaborat elde edilmektedir. 150 psi üzerinde bir basınçta dakikada 800-1000 litre %100 saf hidrojen üretebilir. Sodyum metaboratın tekrar kullanılabilir olması büyük bir avantajdır. Tepkimeyle ilgili bazı noktalar:

-Bor hidrür çözeltisi kolay alev almaz.

-Tepkime, tepkime kabı ve katalizör ile kolayca kontrol edilebilir.

-Hidrojenin yarısı bor hidrürden, diğer yarısı da sudan gelmektedir.

-Katalizör çoğu zaman yeniden kullanılabilir.

-Sodyum borat zehirli değildir. Deterjan yapımında kullanılabildiği gibi yeniden sodyum bor hidrür eldesinde de kullanılabilir.

Şu ana kadar sodyum bor hidrürden elde edilen hidrojen yakıt olarak üç değişik yerde kullanılmıştır. Bunlar:

-New York’ ta sıkıştırılmış doğal gaz ile çalışan bir Ford Crown Victoria model takside, içten yanmalı bir motorda,

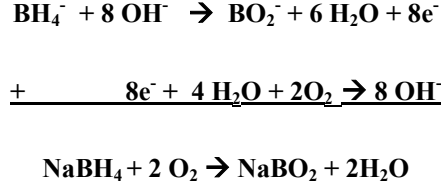
-Hidrojen ile çalışan bir Ford Explorer model bir arabada hidrojen yakan motor, tekerleklerle güç veren aküleri şarj eden bir jeneratörü besler,

-Yakıt pili ve akü ile çalışmakta olan Ford Mercury Sable marka bir arabada da uygulanmıştır.

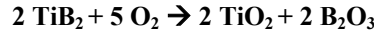
Bu uygulamaların hepsi “Hydrogen on Demand” sistemine göre yapılmıştır.

Bor Esaslı Aküler

NaBH₄, sodyum bor hidrürün bor esaslı akülerde de kullanılabildiği bilinmektedir. Temel mekanizması,



Başka bir mekanizma da titanyum di borit (TiB₂) üzerinden yürütülmektedir. Temel mekanizması,



Çinko veya sodyum kullanılan diğer akülerle serbest enerji bakımında karşılaştırıldığı zaman daha iyi olduğu görülmektedir. Millenium Cell Şirketi'nin çeşitli bor aküleri ürettiği de bilinmektedir.

Tablo- 2: Millenium Cell Şirketi'nin ürettiği çeşitli bor aküleri.

Akü malzemesi	N (moldeki e ⁻ sayısı)	F (faraday sabiti)	E (V)	Serbest Enerji (kJ)
Çinko	2	96485	1,25	241
NaBH ₄	8	96485	1,24	957
TiB ₂	10	96485	1,8	1737

$$\text{Serbest Enerji} = n \cdot F \cdot E$$

Bor Esaslı Yakıt Pilleri

Sodyum bor hidrürün yakıt pillerinde de kullanıldığı bilinmektedir. Patenti Millenium Cell Şirketi'ne ait olan "Hydrogen on Demand" sistemiyle çalışan bu piller akülerdeki tepkime mekanizmasıyla aynı şekilde çalışmaktadır.



Aküler elektrik depolarken yakıt pilleri elektrik üretir. Aynı zamanda akülerde yakıt kullanılması akünün ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Yakıt pillerinde sodyum bor hidrür beslemesi sürdürükçe elektrik enerjisi üretimi de sürer.

Elektro kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren yakıt pillerinin cep telefonlarından güç üretim santrallerine kadar geniş uygulama alanları ve farklı türleri vardır. Ağırlıkça %44'lük sodyum bor hidrür içeren 1 litre çözeltiden 5.11 kWh enerji elde edilir; ki bu da 1 lt benzinden elde edilecek enerjinin teorik olarak % 56'sına eşittir. Proton değişim membranlı yakıt pili kimyası (H₂ + ½ O₂ ...> H₂O) yerine sodyum bor hidrür yakıt pilinin kullanılması daha çok enerji elde edilmesi ve yeniden yakıt ikmali ile tekrar kullanılabilesine imkan sunmaktadır.

Uluslararası otomobil üreticisi Daim-Chrysler firması Millenium Cell Şirketi'nin "Hydrogen on Demand" teknolojiyle hidrojen yakıt pili olarak kullanıldığı otomobillerini tanıtmışlardır. Araca "Natrium" ismi verilmiştir. "Natrium" iki dolum arası 300 mil yol alabilmektedir. Bu başka yakıtlar kullanan yakıt hücreli araçlardan %50 daha fazla yol kat

edebildiğini göstermektedir. Aynı zamanda yakıt pillerinde kullanılan metanol ve benzinde olduğu gibi çevreyi kirlletici maddeler ve karbondioksit üretmez.

Tablo - 3. Chrysler Town & Country Natrium minivan aracına ait teknik özellikler

Transmisyon	: Etkili fren sistemli önden çekişli
Motor	: 35 kW Siemens AC motor
Akü	: 40 kW SAFT Lithium-Ion
Yakıt	: Sodyum Bor Hidrür çözeltisi
Yakıt İşlem Birimi	: Hydrogen on Demand Millenium Cell
Yakıt Pili	: Ballard / XCELLIS
Yakıt Ekonomisi	: 30 mpg benzine eşit
0 – 60 mph Hıza ulaşma	: 16 saniye
Maksimum Hız	: 80 mph
Menzili	: 300 mil
Emisyon	: sıfır emisyon

Görüldüğü gibi araç yakıtı olarak hidrojenin kullanımında, yakıt pillerinde ve akülerde , sodyum bor hidrür kullanılmakta ve avantajları gün geçtikçe artmaktadır.⁷

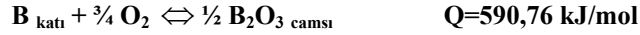
BOR FÜZYON

Bor'un belli koşullar sağlandığı zaman yüksek derecede patlama ve yanıcılık özelliği gösterdiği ve bu tepkimenin ekzotermik bir tepkime olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda gaz emisyonu da olmamaktadır. Bu özellikler sağlanarak A.B.D.'de bor sıvı bileşikler askeri jet yakıtı olarak kullanılabilir. Bu tip çalışmalar 1950 yılından beri devam etmektedir.

Bor Yakıtlı Motorların Çalışma Sistemleri

Saflaştırılmış Bor'un, $\frac{3}{4}$ oranında saf oksijenle yakma hücresine alınarak, pistonun sıkıştırılmasıyla sağlanan 100 bar basınç altında ekzotermik bir tepkimeye girmesine ve patlayarak pistonu yukarı aşağı hareket ettirmesine dayanan bir sistemdir.

Oda koşullarında patlama ve yanma özelliği olmayan borun, $\frac{3}{4}$ oranında saf oksijenle yüksek basınca maruz kaldığı zaman patlayarak içten yanmalı motorlarda itme kuvvetini sağladığı görülmüştür. Temel tepkime şöyledir;



Tepkime ürünü olan B_2O_3 ,Boria, hidrokarbon bir tankta soğutularak toplanabildiği gibi preslenerek külçe şekline getirilerek de saklanması mümkündür. Boria bir takım işlemler sonrası saflaştırılarak tekrar bir yakıt olarak kullanılabilir. Aynı zamanda motor, borun iplik şeklinde sistemi beslemesiyle ve sisteme oksijen verilmesiyle hareket etmektedir.

Bor Yakıt Sistemlerinin Avantajları

Normal şartlar altında patlama, tutuşma, yanma ve infilak etme gibi riskleri olmadığı için güvenlidir, bor yakıtlarının hidrojen gibi kalın bir tank içinde soğutularak tutulmasına da gerek yoktur. İplik yapısıyla makara üzerinden sistemi besleyebilir. Bu özellik taşıma ve saklama kolaylığı sağlar. Boria 200 °C'nin altında sertleşmektedir. Böylece hidrokarbon bir tankta toplanabilmekte veya preslenerek külçeler şeklinde saklanabilmektedir. Geri dönüşüm özelliği olan Boria aynı zamanda bir çevre dostudur, gaz emisyonu yoktur.

Bor Yakıtının Özellikleri

Bor diğer alternatif enerji kaynakları olan hidrojen, lityum, karbon, magnezyum ve alüminyum ile karşılaştırıldığı zaman 1 GJ enerji elde etmek için oksitlenmesi gereken yakıt miktarı açısından 18,30 kg, yakıt hacmi açısından 7,82 l, kül miktarı açısından 58,92 kg, kül hacmi açısından 23,1 l, yakıt tank hacmi açısından 139,9 l ve yakıt tüketimi açısından bor yakıt hacim 32,3 l miktar 54,9 kg, atık boria hacim 97,6 l, miktar 176,8 kg ile

optimize edilmiş gibi en verimli sonuçları vermektedir. Nitekim 1 L hidrojenle 8.03 MJ enerji varken, bu 1 L borda 92.77 MJ değere ulaşır. Bu da borun hidrojenle kıyaslandığında hiç şüphesiz daha üstün olduğunu gösterir.⁸

Laboratuar ortamında çalıştırılabilen bor yakıtlı motorların başlıca problemi aracın seyri sırasında düzenli ve gerekli olan $\frac{3}{4}$ oranında saf oksijenin teminidir. Bor ipliğinin sistemi beslemesinde hiçbir sorun yoktur.⁹

1997 yılında "Science" Dergisi'nde yayınlanan bir makaleye göre, Florida Üniversitesinde çalışan üç fizikçi bilimadaminin yaptığı çalışmalar sonucu 200 gr Bor ile 100 MW enerji elde edilebildiği belirtilmektedir. Bu yeni bor reaktörlerinin 10 yıl içinde faaliyete geçeceği yer alan başka bir bilgidir.¹⁰

SONUÇ

Bor'un enerji elde etmek için içten yanmalı motorlarda kullanılmasının yanı sıra yakıt pillerinde ve akülerde kullanılmasıyla birlikte füzyon reaksiyonlarında da kullanılması geleceğin petrolü olduğunu göstermektedir. Sadece geleceğin petrolü olmakla kalmayan ve aynı zamanda çevreye zarar vermeyen, atıklarının geri dönüşümlü olarak katalizörlerin ise tekrar tekrar kullanılabilirdiği, çevreye zararlı emisyonlarının olmayışı, az hacim kaplaması, yanmaya ve patlamaya karşı direncinden dolayı güvenilir bir yakıt oluşu şüphe götürmezdir. Kyoto protokolü ve İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi için yaratılmış bir enerji kaynağıdır. Bor verimli ve temiz bir yakıt olduğu gerçeğini kesinlikle ortaya koymaktadır.

Türkiye, dünya bor rezervinin %63'üne sahip ve dünyanın ham bor ihtiyacının %95'ini karşılamaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu bor madenleri tek başına 400 yıl yetebilecekken en yakın takipçimiz olan ABD ve Rusya'nın bor madenleri 77 yıl yetebilecek kapasitededir. Fakat 1.2 milyar dolarlık dünya bor pazarından elde edilen gelir %20-22 civarındadır. Uluslararası madencilik şirketi Rio Tinto'nun alt kuruluşu olan US Borax'ın pazar payı ise %70 civarındadır. Oysa Eti Holding ile US Borax dünya bor pazarının %75 ine sahiptirler.¹¹ Görüldüğü gibi ortada bir tezatlık vardır. Bu tezatlığı ortadan kaldırmanın yolu, boru sıradan bir maden olarak görmekle değil, borun geleceğin petrolü olduğunun farkına varmakla olacaktır.

KAYNAKLAR

- 1-Pehlivan, Y., 2003. Geleceğin Elementi Bor, Aydınlanma1923, Sayı 47, s: 25
- 2-Yılmaz,A., "Her Derde Deva Hazinemiz Bor", Bilim Teknik, Sayı 414, s: , 2002.
- 3-Yılmaz,A.,a.g.e., s:39, 2002.
- 4-Yılmaz,A.,a.g.e., s:45, 2002.
- 5-Özpeker,I., Borat Mineralleri ve Strateji, Sektörmaden, s:11, 2002
- 6-Akkaya,A.V., Akkaya,E. K., Dağbaşı, A., "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Açından Değerlendirilmesi", 4. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, C-I, s:37-45, 2002.
- 7-Erarslan,K., Arakoç,F., "Borlu Yakıt Sistemleri-1", 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, 2002.
- 8-Çınk, M., "Petrol'den Bor'a Boraya Yakalanıp Alabora Olmadan", Aydınlanma1923, Sayı 46, s:42, 2002.
- 9-Erarslan,K., Arakoç,F., "Borlu Yakıt Sistemleri-2", 1. Uluslar arası Bor Sempozyumu, 2002.
- 10-Çınk, M., "Küresel Bir Yalan 'Bor Pazarında Rekabet' Küresel Bir Gerçek 'Boron Fuel', Aydınlanma 1923, Sayı 44, s:49, 2002.
- 12- Güyagüler,T., "Türkiye Bor Potansiyeli", 4.Hammaddeler Sempozyumu, s:19, İzmir/Türkiye, 2001.

NOT: Bu yazıyı yazmamıza yardımcı olan sevgili hocamız Doç.Dr.Filiz Karaosmanoğlu ile ETİ Holding Başmüfettişlerinden Sayın Mustafa Çınk'ya teşekkürlerimizi borç biliriz.