

# ELEKTRİK ÜRETİMİNDE ALKALİ YAKIT PİLLERİ VE TEKNOLOJİSİ

Zafer SARI<sup>1</sup>

Ahmet ÇAPOĞLU<sup>2</sup>

Alp Er Şevki KONUKMAN<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü.

<sup>2</sup>Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze 41400, Kocaeli

<sup>1</sup> e-posta: zafersari@penta.gyte.edu.tr <sup>2</sup> e-posta: capoglu@penta.gyte.edu.tr

<sup>3</sup> e-posta: konukman@penta.gyte.edu.tr

Anahtar sözcükler: Alkali Yakıt Pili, Elektrik Üretimi

## ABSTRACT

*In the twenty-first century, the climate change is forcing nations to find clean and renewable energy sources other than fossil fuels. The energy demand of our changing world continues to rise. Therefore the ways must be found to provide the needed energy. In this study, alkaline fuel cell that can produce direct current electricity from stored hydrogen and oxygen in a clean and efficient manner for automobiles, utilities and buildings is described.*

## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde görülen enerji üretim ve kullanım konseptlerindeki değişim, dünyanın enerji talebinin karşılanmasında önemli bir paya sahip olan fosil kökenli yakıt rezervlerinin sınırlı oluşu ve gelecek elli yılda üretiminin azalma trendine girecek olması, ayrıca enerji üretiminde enerji-çevre ikileminin zorunlu kıldığı temiz ve sürdürülebilir enerji şartı, bilim adamlarını alternatif enerji kaynak ve sistemlerini araştırmaya yöneltmiştir. Bu araştırmalar gerek fosil yakıtla enerji üretiminde daha verimli ve çevreye daha az zarar veren teknikler geliştirme, gerekse fosil yakıtların yerine ekonomik ve yaygın temiz enerji kaynaklarını devreye sokma çabaları şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Kısacası, dünyanın yeni bir yakıtta ve bu yakıtı şimdiki konvansiyonel teknolojilerden çok daha verimli bir şekilde enerjiye dönüştürebilecek, yepyeni bir güç üretim sistemine gereksinimi vardır. Bu yeni yakıt çağdaş teknoloji ürünü hidrojenidir. Temiz ve yenilenebilir olması hidrojen gazını geleceğin enerji taşıyıcısı ve kaynağı haline getirmektedir. Hidrojen gazının yakıt olarak kullanılmasına olanak sağlayan önemli bir konuda bu gazın yakıt pillerinde en verimli bir şekilde yakılarak elektrik üretilmesidir. Elektrik enerjisi temiz ve kullanımı en elverişli enerjidir.

İlk yakıt pili 1839 yılında Sir William Grove tarafından İngiltere’de tasarlanmış ve günümüze

kadar üzerinde bir çok çalışmalar yapılarak uygulama aşamasında önemli yol alınmıştır. Dünyada halen araştırma ve geliştirme çalışmaları devam eden beş çeşit yakıt pili vardır. Yakıt pili sistemleri, operasyon sıcaklığına veya bu çalışmada olduğu üzere elektrolit tipine bağlı olarak sınıflandırılabilirler. Yakıt pili çeşitleri ve özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Bunlardan alkali yakıt pilleri diğer yakıt pilleri ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek elektriksel verime ve yüksek yük yoğunluğuna sahiptir. Değişken ve ani yüklerle mükemmel uyum sağlamanın yanısıra oldukça yüksek performanslıdır. Alkali yakıt pilinin uygulamadaki ilk örnekleri Dr. Francis T. Bacon tarafından yapılmıştır. Bacon bu alandaki çalışmalarına 1932’de başlamış ve 1952’de 5 kW’lık H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> yakıt pili güç sisteminin inşasını tamamlayarak kullanıma sunmuştur. O yıllarda Bacon’ın araştırmaları için alkali elektroliti seçmesinin ana nedenlerinden biri, bu tip yakıt pillerinde, elektrotlardaki reaksiyonları katalizlemede platin gibi pahalı metal katalizörlere nazaran ucuz elektrokatalizörlerin de kullanılabilmesidir. [1]

## 2. ALKALİ YAKIT PİLİNİN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Yakıt hücresi herhangi bir yakıtın kimyasal enerjisini, elektrokimyasal süreç aracılığı ile doğrudan ve sürekli olarak elektrik enerjisine dönüştüren gereçtir. Aslında pil/batarya ve ısı motor içinde benzer bir tanım yapılabilir. Yakıt hücresinin bir pilden en büyük farkı, oluşan kimyasal tepkimeden elektrot ve elektrolitinin etkilenmemesi ve kapasite veya şarj/desarj ömrü sonunda atılmasının söz konusu olmamasıdır. Adi bir elektrik pilindeki metal bir yakıt gibi dönüşülebilir ancak burada yakıtı yenileyici ve yükseltgenme ürünlerini ortamdan uzaklaştırıcı bir mekanizma mevcut değildir. Yakıt pilleri ise bilinen pillerden farklı olarak reaktan beslemesi yapıldığı

Tablo 1. Yakıt pili tipleri ve özellikleri

	Yakıt Pili Tipi				
	Alkali	Fosforik Asit	Erimiş Karbonat	Katı Oksit	Katı Polimer
Kullanılan Elektrolit	Alkali (KOH -NaOH)	Fosforik Asit (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	Ergimiş karbonat tuzu	Seramik	Polimer
İşletme Sıcaklığı °C	60-120	160-220	600-700	900-1000	80
Kullanılan Yakıt	H <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> 'ye Tahammülsüz)	H <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> içerebilir)	H <sub>2</sub> CO	H <sub>2</sub> CO/CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>
Yakıcı Madde	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> Hava	CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Hava	O <sub>2</sub> /Hava	O <sub>2</sub> /Hava
Enerji Verimliliği %	60-70	40-50	50-60	45-55	40-50
Kullanım Alanı	Uzay araştırmaları, Mobil elektrik sistemleri	Uzay ve savunma projeleri	Mobil elektrik sistemleri	Mobil elektrik sistemleri	Ulaştırma, Taşınabilir güç kaynakları

sürece akım verirler. Bu özelliği yakıt pillerine önemli bir avantaj sağlar. [2,3,4]

Yakıt pillerinde moleküllerin kinetik çarpışması söz konusu olmayıp sadece elektron alışverişi olduğundan, ısı ile enerji kaybı söz konusu değildir ve bu nedenle % 40-80 gibi yüksek verimler elde edilir.

Herhangi bir alışılmış alevli yanma süreci hareketli veya dönen parçalar da söz konusu olmadığından enerji verimini düşürecek bir kayıp ta söz konusu değildir. Oysa en iyi termik makina olan dizel motorunda bile verim % 40'a ulaşamaz. Bu yüksek verimin nedeni Carnot limitlerinin olmamasındandır. Çünkü yakıt pilleri ısı çevriminden farklı olarak elektrokimyasal bir reaksiyonla güç üretirler. Bu özelliklerinden dolayı yakıt pilleri termik makina değil, soğuk enerji dönüşüm cihazlarıdır.[3]

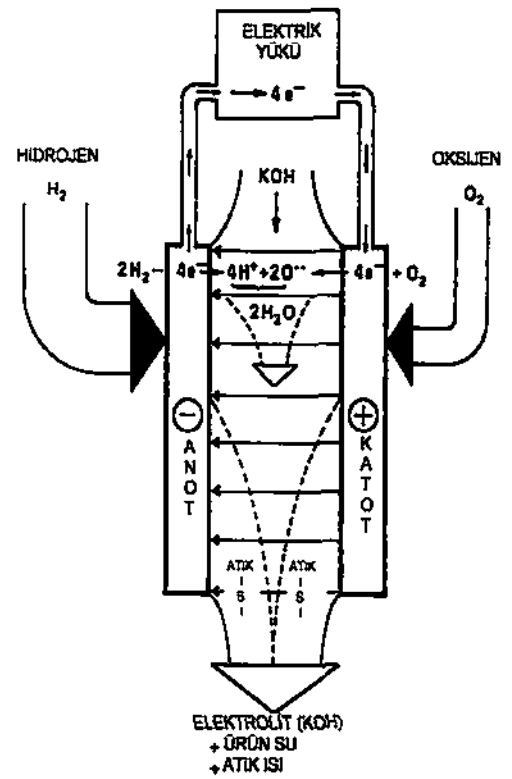
Bir alkali yakıt pili hücresi Şekil 1'de görüldüğü üzere, sandviç şeklinde elektrolitin iki yanına yerleştirilen bir anot (negatif elektrot) ve bir de katot (pozitif elektrot) meydana gelir.

Hücrede kullanılan elektrotlar, elektron toplayıcı ve dayanıklılığı artırıcı bir metal ağ üzerine, karbon ve teflon karışımı gaz geçirgen tabaka ve platin ile doyurulmuş karbon ve teflon karışımı ile hazırlanmış aktif tabakalardan meydana gelir. Aradaki elektrolit ise, anot ve katotta gerçekleşen redox tepkimeleri sonucu meydana gelen iyonların geçmesine izin verirken, elektronların geçmesini engelleyen potasyum hidroksit (KOH) sulu çözeltisidir. [5]

Alkali yakıt pilleri genellikle 20-90 °C arası sıcaklıklarda ve atmosferik basınç civarında çalıştırılırlar. Bazı özel uygulamalarda çalışma sıcaklığı 200 °C'ye çalışma basıncı ise 14 atmosfere kadar çıkabilir.

Yakıt hücrelerindeki tepkime aslında; bir elektrik uygulanarak sudan hidrojen ve oksijen ayrılmasını sağlayan ve elektroliz olarak bilinen reaksiyonun

tersidir. Bir alkali yakıt pilinde elektrik enerjisinin elde edilme süreci kısaca şöyle özetlenebilir:



Şekil 1. Alkali yakıt pilinin çalışma prensibi [4]

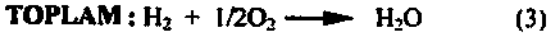
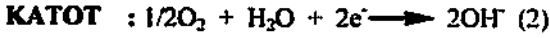
Hidrojen ve oksijen gazları Şekil 1'de görülen gözenekli gaz difüzyon elektrotlarına beslenir. Gözenekli elektrotlarda elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleşebilmesi için beslenen gazlar ve elektrolit, katalizör bir tabaka ile üçlü bölge olarak adlandırılan aktif noktalarda temas etmelidirler. Reaksiyonların gerçekleştiği bu üçlü bölgeler, alkali

yakıt pillerinde; elektrodun gözeneklerine kısmen yayılmış sıvı fazdaki elektrolit (KOH), katı fazdaki katalizör yüzeyi ve gaz fazındaki reaktanlardan (H<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>) meydana gelir. Üçlü bölgelerdeki fazların bu noktadaki teması ile reaksiyonlar gerçekleşir. Her elektrot uygun elektrokimyasal reaksiyonlara olanak sağlamak amacıyla geliştirilmiş bir katalizör (Pt, Pd, Au v.b.) içerir. Yakıt hücrelerindeki tepkime bu katalizör yardımı ile düzenlenir. Reaksiyonlar sonucunda su, ısı ve elektrik enerjisi açığa çıkar.

Anotta, hidrojen gazının OH<sup>-</sup> iyonları ile reaksiyona girerek;



tepkimesi uyarınca yükseltgenmesi sonucu açığa çıkan elektronlar bir dış devre yolu ile katoda taşınır, katotta ise O<sub>2</sub> elektron alarak ve su ile reaksiyona girerek elektrolite indirgenmiş OH<sup>-</sup> iyonlarını bırakır.

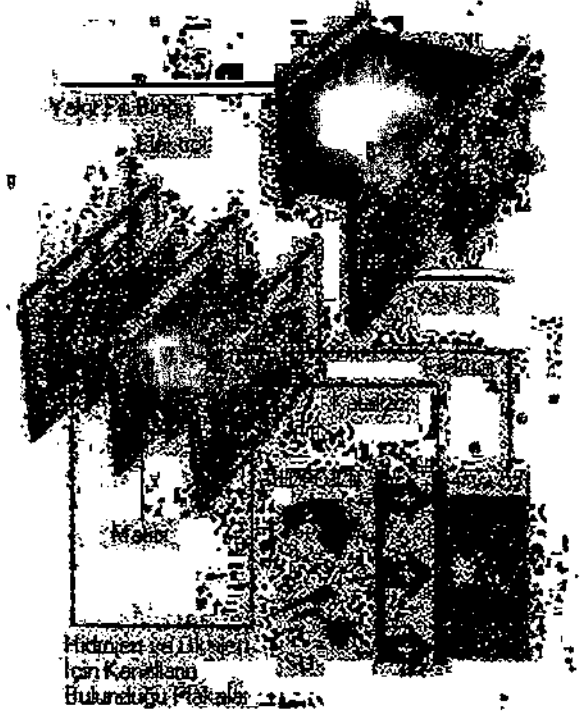


İyonların elektrolit boyunca göçü ile elektrik devresi tamamlanmış olur. Böylece alkali yakıt pili gibi bir galvanik hücrede, kendiliğinden yürüten redox tepkimeleri sırasında alınıp verilen elektronların bir metalik iletken üzerinden, bir elektrottan diğerine aktarılması sonucu yakıtın kimyasal enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüşmüş olur. Anotta H<sub>2</sub> gazı ile OH<sup>-</sup> iyonlarının reaksiyonu sonucunda açığa çıkan suyun bir kısmı daha sonra katot reaksiyonlarında tüketilmek üzere elektrolit boyunca göç eder. Bu nedenle ürün suyun yaklaşık 2/3'ü anottan, 1/3'ü katottan hücreyi terkeder.

Tek bir hücreden elde edilen gerilim gerçekte 1 volttan daha az olduğundan gerekli gerilim seviyesine ulaşmak için birden fazla yakıt hücresi bataryalardaki mantıkla bir araya getirilerek seri olarak bağlanabilir. (Şekil 2) [1,4,6]

Mühendislik açısından bakıldığında alkali yakıt pilleri diğer yakıt pillerine göre inşa etmesi en kolay olanıdır. Bir çok materyal alkali elektrolit ortamında kararlı yapısını koruyabildiğinden, yakıt pilinin konstrüksiyonunda kullanılacak materyal çeşidi fazladır. Alkali yakıt pillerinde elektrotlar arasındaki elektrolit bölmesi; hareketli serbest sıvı halinde veya katı matrix yapısı içinde hapsedilmiş olarak tasarlanabilir. Her ne kadar elektrolitin devirdaim ettirilmesi tasarımı kompleks hale getirirse de, reaksiyon sonrası açığa çıkan ürünlerin uzaklaştırılması, soğutma ortamı olarak kullanılabilmesi (atık ısının uzaklaştırılması), yakıt pili bloklarında hızlı ve üniform sıcaklık dağılımı sağlaması ve gaz reaktantların arasında etkili bir bariyer gibi davranarak karşılıklı sızmaları önlemesi gibi avantajları nedeniyle tercih edilir. Elektrolit olarak

alkali hidroksitler içinde iletkenliği en yüksek olan %30'luk KOH sulu çözeltisi kullanılır. [7,8,9]



Şekil 2. Bir çok hücrenin seri bağlanması ile oluşan yakıt pili bloğu.

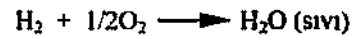
### 3. ALKALİ YAKIT PİLLERİNİN VERİMİ

Yanma olayları sırasında ısı olarak açığa çıkan kimyasal enerjinin en çok % 40 kadarı Carnot yada benzeri termal çevrimlerle işe dönüştürülebilir. Yakıt pillerinde ise ideal halde, kimyasal enerji %83'e ulaşan bir verimle elektriksel işe dönüştürülebilir. Bir yakıt pilinde sabit basınç ve sabit sıcaklıkta tersinir olarak yürüten ekzotermik tepkime sırasında açığa çıkan ısı ΔH tepkime entalpisine eşittir. Sistemden ortama akan maksimum elektriksel iş ise

$$W_c = \Delta G = -nFE = \Delta H - T\Delta S = \Delta H - q_{\text{rev}} \quad (4)$$

olarak ifade edilir. Bu eşitliğe göre yakıt pilinde tersinir olarak yürüten bir kimyasal olay sırasında ΔH tepkime entalpisine eşit olan kimyasal enerjinin ancak ΔG serbest enerjisine eşit olan kadarı elektriksel işe dönüştürülebilmekte, geri kalan kısmı ise sistemde q<sub>rev</sub> ısı olarak kalmakta ve q<sub>rev</sub>/T = ΔS entropi artışına neden olmaktadır.

En genel halde bir yakıt pilindeki toplam reaksiyon



şekindedir. Normal koşullarda, yukarıdaki tepkime uyarınca açığa çıkan toplam enerji ΔH=-286 kJ/mol iken bu enerjinin faydalı işe dönüştürülen kısmı

$\Delta G = -237.3$  kJ/mol'dür. Buradan hareketle bir yakıt pilinin verimi :

$$\eta_{ideal} = \frac{\text{üretilen faydalı enerji}}{\text{açığa çıkan toplam ısı enerjisi}} \quad (5)$$

$\eta_{ideal} = \Delta G / \Delta H = 237,141 / 285,830 = 0.83$  veya %83 olarak hesaplanır.

Yine normal koşullarda tersinir olarak çalışan bir yakıt pilinden elde edilebilecek en yüksek gerilim 1.229 voltur. Fakat yakıt pili çalıştırıldığında ve devreden akım geçmeye başladığında, elektrotlarda meydana gelen tersinmezlikler nedeniyle, uygulamada çok daha düşük verim ve gerilim değerleri elde edilir. Uygulamadaki bu farklılık aktivasyon, konsantrasyon ve ohmik polarizasyonlar gibi, tersinmezliklere yol açan çeşitli kayıplardan ileri gelmektedir. Elektrotlarda oluşan polarizasyonlar sonucunda meydana gelen gerilim düşümleri performansı düşürür. Bu nedenle bir yakıt pilinin verimi çalışma voltajına ( $V_c$ ) bağlı olarak

$$\eta = \eta_{ideal} * (V_c / V_{ideal}) = 0.83 * V_c / 1.229 = 0.6795 V_c$$

şeklinde ifade edilir. Açıkça görüldüğü gibi yakıt pilinin verimi hücreden elde edilen voltaja bağlıdır. Bir hücrede akım yoğunluğu arttıkça çıkış voltajı ters orantılı olarak azalır. Uygulamada yakıt pilleri ihtiyaca göre değişik akım yoğunluğu değerlerinde çalıştırılır. Bu durumda yakıt pilinin verimini, hücrenin çalıştırıldığı akım yoğunluğuna karşılık gelen çıkış voltajı belirler. Akım yoğunluğu azaldıkça çıkış voltajı ve dolayısı ile verim artar. Fakat akım yoğunluğu azaltığı zaman, istenilen gücü üretmek için aktif hücre yüzeyi artırılmalıdır. Bu nedenle yakıt pillerini yüksek verimde çalışacak şekilde tasarlamak yatırım maliyetlerini artırırken, işletme maliyetlerini ise düşürür. Bir yakıt pilinde  $\eta_{ideal}$  sonlu bir büyüklüktür ve alabileceği en büyük değer 0.83'tür. Bundan dolayı enerji dönüşümünde ana hedef ( $V_c / V_{ideal}$ ) değerinin mümkün olduğunca 1'e yaklaştırılmasıdır. Araştırmalar gerilim verimini artırmaya yönelik çabalar şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bunun içinde yakıt pilinin performansını önemli ölçüde etkileyen elektrot, katalizör ve hücre tasarımı üzerine yoğun çalışmalar sürmektedir. [1,10,11]

#### 4. ALKALİ YAKIT PİLLERİNDE KULLANILAN YAKITLAR

Alkali yakıt pillerinde yakıt hammaddesi olarak alkoller (metanol, etanol), doğal gaz, LPG yada saf hidrojen kullanılabilir. Hangi yakıt kullanılırsa kullanılсын yakıtlardan hidrojen zengin gaz elde etmek esastır. Hidrojen dışındaki yakıtların kullanılması durumunda, yakıt hücreye beslenmeden önce bir yakıt dönüştürücü ünitesinden geçerek hidrojen zengin gaz elde edilir. Zaten tüm bu yakıtlar arasında enerji verimi en yüksek olan

hidrojendir. Ayrıca hidrojenin yakıt pillerinde yakılması sonucunda yan ürün olarak yalnızca su buharı açığa çıkar. Öteki yakıtlarsa kaynağına göre azda olsa zehirli veya sera etkisine yol açan gazlar yaymaktadırlar. Alkali yakıt pili en verimli çalışan yakıt pilidir. Fakat anodik ve katodik gaz akımlarında bulunabilecek CO<sub>2</sub> tamamen ayrıştırılmamıştır. Havada bulunabilecek çok küçük seviyelerdeki CO<sub>2</sub> dahi (yaklaşık 350 ppm) elektrolitin bozulmasına neden olur ve elektrot gözeneklerinde katı formda çökelmeler meydana gelir. Bu olay yakıt pilinin performansının önemli ölçüde azalmasına ve elektrotların ömrünün kılmasına neden olur. [1]

#### 5. ALKALİ YAKIT PİLLERİNİN MALİYETİ

Geniş çaplı seri üretimde, termik enerji dönüşüm cihazlarının tipik bir örneği olan Otto makinasının maliyeti kW başına 150\$'dır. Eğer alkali yakıt pilleri, elektrik üretiminin yanısıra ticari rekabetin en fazla yaşandığı taşıt piyasasında kullanılmak isteniyorsa fiyatları düşürülmelidir. Alman Uzay ve Havacılık Araştırma Kuruluşu - DLR ve İsveç Kralliyet Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilen yakıt pilleri ve sistemleri baz alınarak yapılan hesaplamalarda, alkali yakıt pili yığınlarının maliyeti diğer düşük sıcaklıkta çalışan yakıt pilleri ile benzer bulunmuş olup, bugünün teknolojisi ve mühendislik bilgisi kullanılarak yapılan hesaplamalarda geniş çaplı üretimde maliyetler kW başına 400-500 \$ olarak hesaplanmıştır. Küçük çaplı üretimlerde ise maliyet değerleri en az 5 - 10 kat artmaktadır. [12]

#### 6. TİCARİLEŞMİŞ ALKALİ YAKIT PİLLERİ

İlk yakıt pili günümüzden yaklaşık 160 yıl önce tasarlanmasına rağmen gerek teknolojik yetersizlikler gerek enerji üretiminde etkin olan diğer konvansiyonel teknolojiler nedeniyle uzun süre kullanılabilir bir elektrik üretici olarak görülmemiştir. Fakat 60'lı yıllara gelindiğinde uzay mekiklerinin enerji ihtiyacını karşılayabileceği düşüncesiyle NASA'nın ilgisini çekmiştir. Bacon'ın 1952 yılında tamamladığı 5 kW gücündeki yakıt pili NASA çalışmalarını temelini oluşturmuştur. Bu yıllarda Apollo projesi gibi insanlı uzay projelerinde güç kaynağı olarak alkali yakıt pilleri kullanılmıştır. Takipeden yıllarda alkali yakıt pillerine önemli bir katkı Justi ve arkadaşları tarafından ucuz Raney nikel ve Raney gümüş elektrotların üretilmesi ile sağlanmıştır. Daha sonraları 70'li yıllarda Alman Siemens şirketi 7-20 kW gücündeki alkali yakıt pili sistemlerini geliştirmiştir. Bir Belçika firması olan ELENCO ise H-hava (10 kW) alkali yakıt pilleri üzerinde yoğunlaşarak küçük elektrik santralleri şeklinde ve şehir otobüslerinde kullanılan sistemler geliş-

tirmiştir. Ağırlık ve hacmin kritik parametre olduğu denizaltı ve uzay ortamlarında kullanılmak üzere 60 hücreden oluşan alkali yakıt pili yığını yine Siemens tarafından üretilerek kullanıma sunulmuştur. [3.4]

## 7. SONUÇ

Dünya enerji bütçesinin başlıca kaynağı fosil yakıtlar ve kullanım teknolojisi alevli yanma olduğu için emisyonlar nedeniyle oluşan ısı ve çevresel kirlenme dünyanın önemli sorunlarından biridir. Uzun dönemde dünya üzerinde tersinmez değişikliklere sebebiyet vermemek için en kısa zamanda hidrojen ve yakıt pilleri gibi çevrecil yakıt ve teknolojilere geçiş bir zorunluluktur. Alkali yakıt pili ile çalışan otomobiller zararlı gaz yaymadıkları gibi yüksek verimlerde çalıştıklarından dolayı yakın gelecekte içten yanmalı motorların otomobillerdeki egemenliğine son verecektir. Yakıt pilleri yalnızca taşımacılık alanında değil elektrik üretiminde de kökten değişikliklere yol açacaktır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında alkali yakıt pilleri ve diğer yakıt pili sistemleri ile çalışan mobil elektrik sistemlerinin devreye girmesiyle binlerce kilometrelik elektrik iletim ve dağıtım hatlarına, aradaki transformatör merkezlerine artık gerek kalmayacaktır. Böylece iletim sırasında ortaya çıkan elektrik kayıpları en aza indirgenerek elektrik enerjisi ihtiyaç duyulduğu anda ve yerde üretilebilecektir. Bir çok gelişmiş ülke 21. yüzyılın enerji pazarından en büyük payı kapmak için yakıt pili çalışmalarına hız vermektedir. Yapılan tahminlere göre 2010 yılına kadar yakıt pilinden elde edilen toplam gücün 20000 MW civarında olması ve 2050 yılında dünya elektrik üretiminin önemli bir bölümünün yakıt pili elektrik santralleri ile karşılanması beklenmektedir. Araştırma ve geliştirme çalışmaları büyük bir hızla devam eden alkali yakıt pili teknolojisi umut vaatmektedir ve alkali yakıt pilleri yaşamımızın her alanında, karasal ulaşımdan elektrik üretimine, denizaltı çalışmalarından uzay araştırmalarına kadar geniş bir yelpazede kullanılmaya hazırdır.

## REFERANSLAR

- [1] Blomen Leo J. M. J., Michael N. Mugerwa, Fuel Cell Systems, Plenum Press, New York, 1993.
- [2] İsfendiyaroğlu A., Elektrokimyanın Prensipleri, Özarkadaş Matbaası, İstanbul, 1978.
- [3] Kadırgan F., N.D. Fıçıoğlu, 'Yakıt Pilleri ve Uygulamaları, Etilen Glikol-Hava Yakıt Pillerini Geliştirme Çabaları', Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliği, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 22-26 Ekim 1992, Ankara.

- [4] Strasser K., 'The Design of Alkaline Fuel Cells', *Journal of Power Sources*, Vol. 29, pp. 149-166, 1990.
- [5] Ergül M. T., Design and Manufacture of a Low Temperature Hydrogen-Oxygen Alkaline Fuel Cell, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1995.
- [6] Özdemir E., İ. Kılıçarslan, 'Yakıt Hücreli Güç Sistemlerinin Bugünkü Durumu ve Geleceğe İlişkin Beklentiler', *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliği* 2. 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- [7] Cameron D.S., 'World Development of Fuel Cells', *Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 15, No. 9, pp 669-675, 1990.
- [8] Kordesh K., Ch. Gruber, J. Gsellmann, P. Kalal, J. C. T. Oliveira, K.-H. Steininger, K. Tomantschger, 'Fuel Cell Research and Development Projects In Austria', *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 14, No.12 pp. 915 - 925, 1989.
- [9] Tomantschger K., F. McClusky, L. Oporto, A. Reid, K. Kordesch, 'Development of Low Cost Alkaline Fuel Cells', *Journal of Power Sources*, Vol. 18, pp. 317 - 335, 1986.
- [10] Hirschenhofer J.H., D.B. Stauffer, R.R. Engleman, and M.G. Klett, Fuel Cell Handbook, U.S. Department of Energy, Parsons Corporation, 1999.
- [11] Sarıkaya Y., Fizikokimya, Gazi Büro Kitapevi, Ankara, 1997.
- [12] Güllow E., 'Alkaline Fuel Cells: A Critical View', *Journal of Power Sources*, Vol.61, pp 99-104, 1996.