



Adem Yılmaz

Batman University, adem.yilmaz@batman.edu.tr, Batman-Turkey

Sinan Ünvar

Ağrı İbrahim Çeçen University, sunvar@agri.edu.tr, Ağrı-Turkey

Mehmet Ekmen, Selman Aydın

Batman University, Batman-Turkey

mekmen94@gmail.com; selman.aydin@batman.edu.tr

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.12.4.2A0126	
ORCID	0000-0002-3652-1442	0000-0001-7503-6380
ID	0000-0002-5143*5392	0000-0001-9685-9853

YAKIT PİLİ TEKNOLOJİSİ

ÖZ

Son yıllarda artan sanayileşme ve teknolojik gelişmeler enerji tüketim hızını arttırmaktadır. Sanayi sektörünün, insanoğlunun enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan petrol, doğalgaz gibi fosil enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalıp tükenme noktasına doğru ilerlemesi ve enerji üretiminde kullanılan kaynakların çevreye verdiği zararın giderek artması bilim adamlarını alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Bu alternatif enerji kaynaklarından biri olan yakıt pili uygulaması dikkatleri üzerine çekmektedir. Yakıt hücrelerinin sınıflandırılması genellikle hücrelerinde kullanılan elektrolit tipine göre yapılmaktadır. Bu çalışmada yakıt pili çeşitleri, kullanım alanları, tablo ve şekiller halinde anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yakıt Pili, Yakıt Pili Çeşitleri, Yakıt Pili Kullanım Alanları, Teknoloji, Sanayi Sektörü

FUEL CELL TECHNOLOGY

ABSTRACT

Increasing industrialization and technological developments in recent years increase the consumption rate. The fact that the industrial factor progresses to the point where the fossil energy sources such as petroleum natural gas, which constitute a large part of human's energy needs, move to the point of decreasing and exhausting day by day, and the increasing damage caused by the resources used for energy production leads the scientists to alternative energy sources. Fuel oil application, one of these alternative energy sources, attracts attention. The classification of the fuel cells is usually made according to the type to the electrolyte used in their cells. In this study, to the types of fuel cell, usage areas, graphic figures and tables are explained.

Keywords: Fuel Cell, Kind of Fuel Cell, Usage Areas of Fuel Cell, Technology, Industry Sector

How to Cite:

Yılmaz, A., Ünvar, S., Ekmen, M. ve Aydın, S., (2017). Yakıt Pili Teknolojisi, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 12(4):185-192, DOI:10.12739/NWSA.2017.12.4.2A0126.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsanoğlu tarafından kullanılan fosil enerji kaynaklarının çevre kirliliğine sebep olması ve bu enerji kaynaklarının rezervlerinin iler ki yıllarda tükenebileceği öngörüsü insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Bu alternatif enerji kaynaklarından yakıt pili teknolojisi dikkatleri çekmektedir. Yakıt pilinin bir enerji kaynağı olarak kullanılması Nasa'nın 1958 yılında uzay gemilerinde yakıt olarak kullanılmasına dayanmaktadır. Avukat William Grove yakıt pilinin mucidi olarak kabul edilmektedir. Yakıt piliyle ilgili ilk çalışmalar William Grove tarafından geliştirilmiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

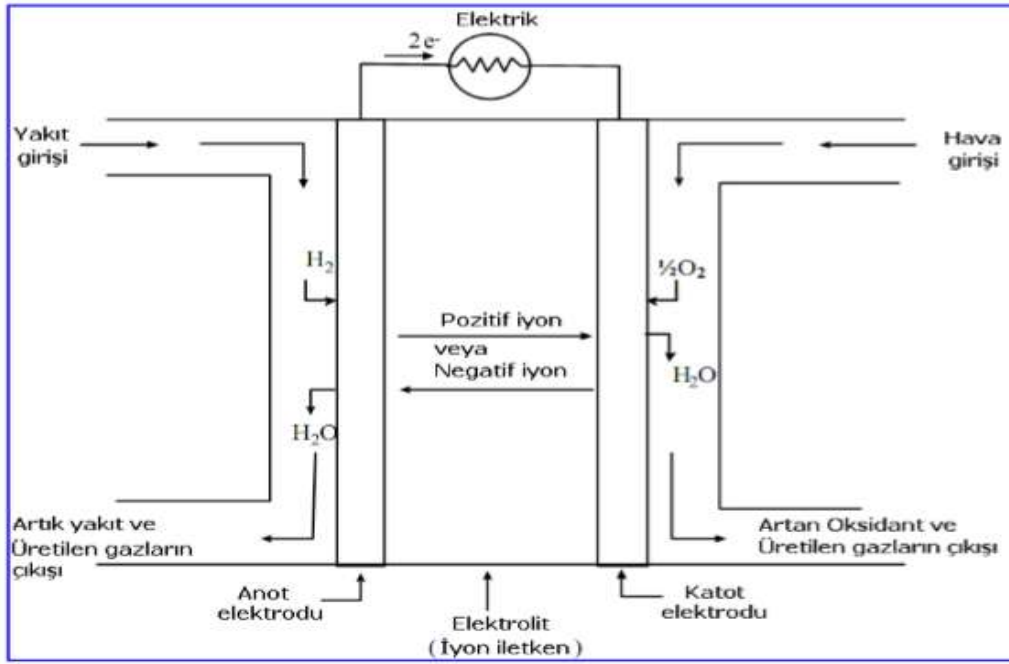
Sanayi sektöründe insanoğlunun enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan fosil enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalıp tükenme noktasına doğru ilerlemesi ve enerji üretiminde kullanılan kaynakların çevreye verdiği zararın giderek artması bilim adamlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Bu çalışmada bu enerji kaynaklarına alternatif olarak yakıt hücreleri araştırılmış olup, yakıt hücresinin çalışması ve günümüz de uygulama alanları irdelenmiştir.

3. YAKIT PİLİ TARİHÇESİ (HISTORY OF FUEL CELL)

- **1838:** İlk yakıt pili çalışmaları William Grove tarafından H_2-O_2 üzerinde yapmıştır. Yaptığı deneyler, çalışmalar esnasında suyun elektrolizinin ters reaksiyonu sonucunda ters akım ve gücün açığa çıktığını gören Grove büyük bir buluşa imza atmıştır.
- **1893:** Friedrich Wilhelm Ostwald yakıt hücresi içerisinde bulunan elemanların yakıt pilindeki görevini ve yakıt piline olan etkisini araştırmıştır.
- **1896:** William W. Jacques eriyik elektrolitli yakıt pillerinin temelini atmıştır. Kömürün elektrokimyasal enerjisinden doğrudan elektrik üretmeyi amaçlamıştır.
- **1937:** Emil Baur 1900 yılında, ünlü bilim adamı Nerst' in başlattığı katı oksit elektrolit ile çalışan yakıt hücresi projesinin başarıya ulaşmasını sağlamıştır.
- **1939:** Günümüzde yakıt pillerinin bu aşamaya gelmesini sağlayan çalışmaları Thomsa Bacon tarafından yapılmıştır. Bu çalışma alkalın yakıt pilleri üzerinde yapılan çalışmadır.
- **2000'li yıllar:** Bu yıllarda kullanım gitgide artmakta üretim maliyetlerinin azaltılması ve kullanımının yaygın bir hale getirilmesi için çalışmalar sürmektedir [1 ve 7].

4. YAKIT PİLİ (FUEL CELL)

Yakıt pilleri temiz, çevreyi kirleten atık madde ürünleri çıkarmayan yüksek verime sahip enerji teknolojisidir. Yakıt pillerinin çalışma mekanizmasını anlaşılabilirliği için suyun elektrolizi deneyinden yola çıkabiliriz. Suyun elektrolizi deneyinde suya doğru akım verilerek su hidrojen ve oksijen olarak ayrıştırılır. Yakıt pillerinde ise bu işlemin tersini düşünebiliriz. Yani suyun ayrışması işleminde elektrik akımı verilip suyun ayrıştırılması sağlanıyorsa, hidrojen ve oksijenin reaksiyonu sonucunda da elektrik enerjisi alınmalıdır. Yakıt pili yakıtın enerjisini elektrokimyasal reaksiyon sonucunda doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür.



Şekil 1. Yakıt pilinin genel yapısı ve işleyişi [8]
(Figure 1. The general structure and operation of the fuel cell)

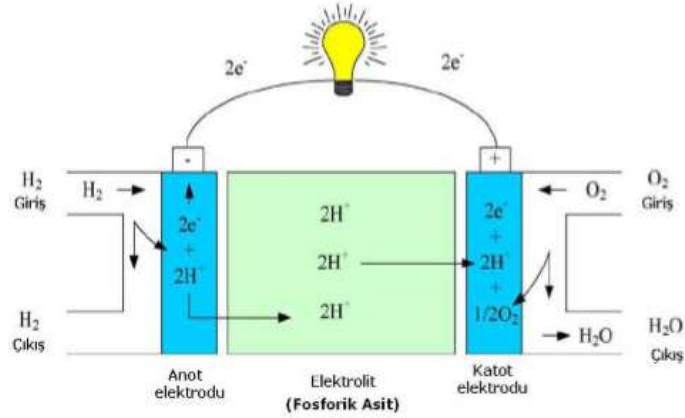
5. YAKIT PİLİNİN SINIFLANDIRILMASI (CLASSIFICATION OF FUEL CELL)

Aşağıda Tablo 1'de yakıt pili çeşitleri ve özellikleri açıklanmıştır.

Tablo 1. Yakıt pili çeşitleri ve özellikleri [9]
(Table 1. Fuel cell types and properties)

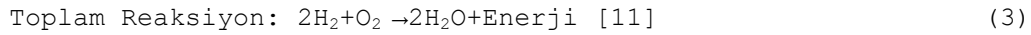
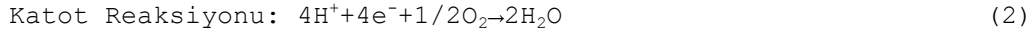
Fuel Cell	Elektrolit	Elektrolitteki Taşıyıcı	Hücre Materyali	Yakıt Türü
Fosforik Asit Yakıt Pili	Fosforik Asit	H ⁺	Karbon	H ₂ , Hidrokarbonlar, Fosil Yakıtlar
Katı Oksit Yakıt Pili	Çinko Üzerine Tutturulmuş Yittria	O ₂ ⁻²	Seramik vb	H ₂ , Hidrokarbonlar
Erimiş Karbonat Yakıt Pili	Karbonat	CO ₃ ⁻²	Nikel, paslanmaz çelik vb	H ₂ , Hidrokarbonlar
Polimer Elektrolit Yakıt Pili	Polimer İyon Değişim Filmi	H ⁺	Karbon	H ₂ , Hidrokarbonlar
Alkali Yakıt Pili	Potasyum Hidroksit	OH ⁻	Karbon	H ₂

- **Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC):** Bu yakıt pilinde elektrolit olarak fosforik asit kullanılırken katalizör olarak da genellikle platinyum kullanılmaktadır. Bu yakıt pilleri birçok alanda (okul, otel, hastaneler) kullanılmaya başlanmıştır. PAFC yakıt pillerinin verimi %40 çalışma sıcaklığı ise yaklaşık olarak 400 °C dir. Fosforik asit yakıt pilinde güç yoğunluğu diğer yakıt pillerine göre daha azdır. Bu ise daha ağır olmalarına ve daha fazla yer kaplamalarına yol açar. Çalışma sistemine baktığımızda anoda gönderilen hidrojen moleküllerinden elektronların ayrılması ile oluşan hidrojen iyonları fosforik asit elektrolitten, elektronlar ise dış devreden katoda ulaşır. Burada oksijen ile bir araya gelen hidrojen iyonları ve elektronların reaksiyonları sonucu devre tamamlanır.

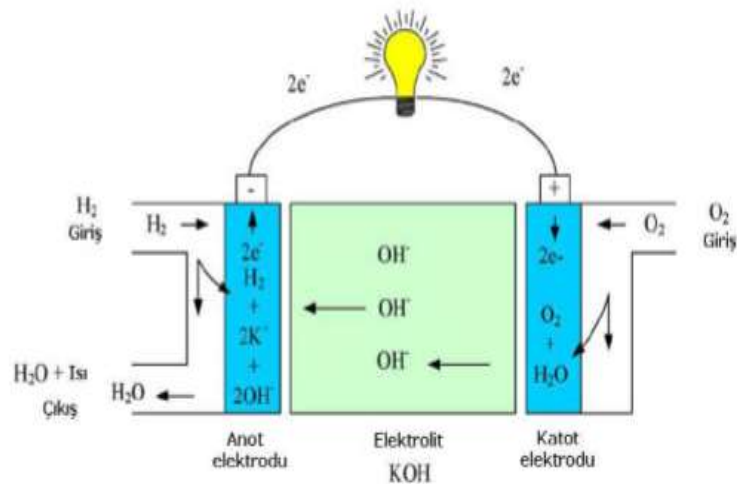


Şekil 2. Fosforik asit yakıt pili genel işletim prensipleri [10]
(Figure 2. The general operating principles of the phosphoric acid fuel cell)

Fosforik asit tipi yakıt pilinin anot ve katotta gerçekleşen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.

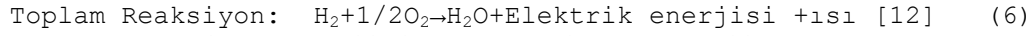
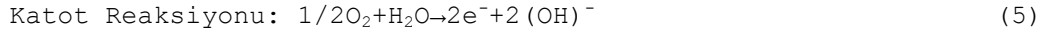
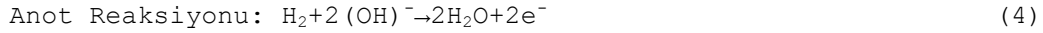


- **Alkali Yakıt Pili (AFC):** İlk olarak geliştirilen yakıt pilli ve NASA uzay programları kapsamında kullanılmıştır. Yakıt hücresinde Elektrolit yerine farklı olarak alkalik potasyum hidroksit kullanılır. Yakıt hücresinin çalışması esnasında sıcaklık yaklaşık 80°C olmakla birlikte verimleri %70' lere kadar çıkabilmektedir. Alkali yakıt pilinin Anot kısmında Ni ve katot kısmında da Ag katalizörler kullanılmaktadır. Dezavantaj olarak güç üretimi düşüktür. Alkalın yakıt pilinin gövdesinde bulunan maddelerin oksitleyici özelliği yakıtta bulunan karbondioksit kimyasal özelliğinden dolayı elektrolitte bulunan potasyum hidroksit ile birleşerek kimyasal bir tepkimeye meydana gelmekte ve elektrolite etki ederek tüketmekte ve akımın geçtiği elektrotları da gereğinden fazla olumsuz olarak etkilemektedir [11].



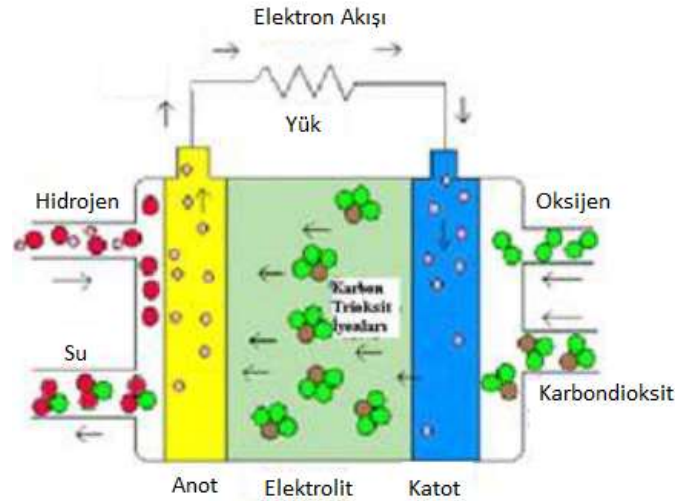
Şekil 3. Alkali yakıt pilinin genel işletim prensipleri [10]
(Figure 3. The general operating principle of the alkaline fuel cell)

Alkali yakıt pilleri anot ve katot kısmında gerçekleşen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.



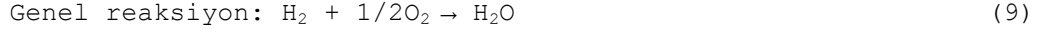
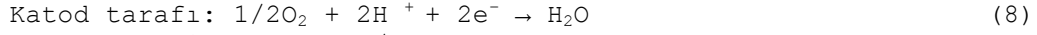
Yakıt hücresi teknolojisi pahalı bir teknoloji olduğundan alkali yakıt pili alanından pek gelime sağlanamamıştır. Fakat alkali yakıt pilleri üretilebilecek en ucuz yakıt hücreleridir. Elektrotlar için gerekli olan katalizörler diğer tip yakıt hücreleri için gerekli olan katalizörlerden daha ucuzdur. Alkali yakıt pilinde katalizör olarak nikel, gümüş, metal oksitler ve soy metaller kullanılır [10].

- **Erimiş Karbonat Yakıt Pili (MCFC):** Erimiş Karbonat Yakıt pillerinde elektrolit malzeme olarak alkali metal karbonat kullanılmaktadır. Alkali metal karbonatın yakıt pili içerisinde elektrolit olarak çalışabilmesi için akışkan şeklinde olması gerekir. Bu yakıt pilleri yaklaşık olarak 700°C sıcaklıklarda çalışabilirler. MCFC'lerde çalışma sıcaklığının yüksek değerlerde olması sistem veriminin en yüksek değerlerde elde edilmesinde önemli yararlar sağlar. Meydana gelen yüksek sıcaklık çalışmada malzemelerin ömürlerini etkilemekle dejavantaj oluşturmaktadır.

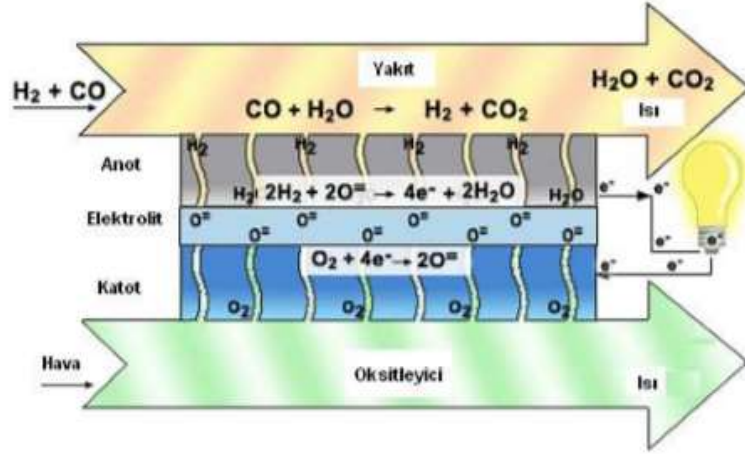


Şekil 4. Erimiş karbonat yakıt pili şematik gösterimi [11]
(Figure 4. Schematic representation of molten carbonate fuel cell)

- **Polimer Elektrolit Yakıt Pili:** Polimer Elektrolit Yakıt Pilinin çalışma sıcaklığı 100 °C'nin altında ve elektrolit olarak asit polimer kullanılmaktadır. Yakıt olarak saf hidrojen ile çalışır. Bir Polimer Elektrolit Yakıt Pili; katalizör, iki kutuplu levhalar, akım toplayıcılar, zarlar, elektrotlar ve contalar ve diğer ekipmanlardan oluşur. Pozitif ve negatif terminaller sırasıyla katot ve anot olarak bilinirler. Sürekli olarak katot tarafına oksidan verilirken anod tarafı yakıt ile beslenir. Farklı şekillerde yakıt/oksitleyici kombinasyonu bulunmaktadır. Çoğu durumda, hidrojen ve oksijenin kimyasal tepkimesi su üretir ve bu tepkime, elektrotlarda birbirinden bağımsız olarak iki hücre tepkimesi olarak adlandırılan iki elektrokimyasal reaksiyona bölünür. Yakıt hücresinde meydana gelen reaksiyon, aşağıdaki eşitliklerinde verilmektedir.



- **Katı Oksitli Yakıt Pili (SOFC):** Katı oksit elektrolitin bazı özel yararları nedeniyle endüstriyel uygulamalar için bu tür yakıt pili çekici olmaktadır. Çok yüksek sıcaklıklara (1000°C) çıkmak mümkün olduğundan, düşük sıcaklık uygulamalarındaki gibi pahalı katalizör kullanımına gerek kalmadan kullanılabilir. KOYP'ler açık devrede teorik voltajın en az % 96'sını verebilmektedir. KOYP' de negatif yükler anottan katoda dıştan bir devre üzerinden iletilirler. Hücre reaksiyonları ise aşağıda verilmektedir. Yüksek sıcaklık ve yakıttan gelebilecek safsızlıklara karşı yüksek tolerans özellikle kömür gazlaştırma prosesleri ile birleştirildiğinde KOYP'leri daha da çekici kılmaktadır. Yakıt pilinden açığa çıkan enerji kömür gazlaştırma ya da hidrokarbonun hidrojene dönüşümü için rahatlıkla kullanılır.



Şekil 5. SOFC yakıt pili şematik gösterimi [10]
(Figure 5. Schematic representation of the SOFC fuel cell)

6. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD)

6.1. Yakıt Pilleri Kullanım Alanları (Usage Areas of Fuel Cells)

Yakıt pilleri aşağıda verilen alanlarda uygulama, kullanım alanı bulmaktadır. Yakıt pilleri ilk olarak NASA'nın uzay gemilerinde kullanım alanı bulmuştur. Askeri alanda yakıt pillerinin kullanımı için çalışmalar yapılmakta örneğin insansız hava araçlarında ve havacılık sektörüyle ilgili diğer alanlarda yakıt pillerinin yakıt olarak kullanılması için çalışmalar devam etmektedir. Yakıt pillerinin daha çok kullanıldığı alan daha doğrusu yakıt pili teknolojisinin diğer alanlara oranla daha fazla uygulamada yer bulunduğu sektör otomobil sektörüdür. Bu sektörde bulunan hemen hemen bütün firmaların yakıt pilleriyle çalışan arabaları mevcuttur.

- Evsel uygulamalar
- Uzay çalışmaları/Askeri uygulamalar
- Taşıt uygulamaları
- Atık/Atık su uygulamaları



6.2. Yakıt Pillerinin Avantaj ve Dezavantajları (Advantages and Disadvantages of Fuel Cells)

Yakıt pillerinin avantajları aşağıda verilmiştir.

- Yakıt pilleri diğer enerji kaynaklarına göre daha verimli ve daha temizdir.
- Yakıt pillerinde hareketli aksam parçalar bulunmadığından gürültü kirliliği azalmaktadır.
- Yakıt pillerinde kullanılan yakıt çeşitliliği fazla olduğundan kullanım alanı geniştir.
- Yakıt pilleri istenilen büyüklükte ve kapasitede imal edilebilir.
- Yakıt pilleri diğer termal enerji sistemleri Carnot çevrimi kriterlerinden etkilenmez.

Yakıt pillerinin dezavantajları aşağıda verilmiştir.

- Yakıt pili kullanımı, çok fazla bilgi ve ileri teknoloji gerektiren bir sistemdir.
- Diğer sistemlerden daha pahalıdır.
- Uygulamada tam verimle gerçekleşmesi için uzun zamana ve paraya ihtiyaç vardır [13 ve 16].

7. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Yakıt pillerinin uygulama alanlarına baktığımızda daha çok taşıt uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır. Dünya devletleri ve otomotiv sektöründeki önemli firmalar yakıt pilleri teknolojilerini geliştirmek için yüklü miktarda paralar harcamaktadır. Bu çalışmalar sonucunda yakıt pili teknolojisinin yüksek verimli, çevreyi kirletmeyen bir alternatif enerji kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır. Ülkemizde birçok üniversitede yakıt pilleri ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Yakıt pillerinin kullanım alanlarına baktığımız zaman PEM yakıt pillerinin diğer yakıt pillerine oranla daha düşük sıcaklıklarda çalışması ve bu düşük sıcaklıklardan yüksek güç üretimine geçebilmesi bu yakıt pillerini otomotiv sektöründe avantajlı kılmaktadır. Ülkemizin de diğer Dünya devletleri gibi yakıt pili teknolojisine yönelmesi ve bu teknolojiye yapılan yatırımları arttırması gerekmektedir.

NOT (NOTE)

Bu çalışma 5-8 Eylül 2017 tarihinde Gürcistan-Tiflis'te düzenlenen "2nd International Science Symposium (ISS2017)" sempozyumunda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Şenol, R., Üçgül, İ. ve Acar, M., (?). Yakıt Pili Teknolojisindeki Gelişmeler ve Taşıtlara Uygulanabilirliğinin İncelenmesi. Mühendis ve Makine Dergisi. Cilt:47. Sayı:563
2. Tavman, A., (2004). Bor Esaslı Yakıt Hücreleri Ve Bataryalar. Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi. Sigma (2004/2).
3. Başyazıcı, U.İ., (29/03/2011). Yakıt Pili Teknolojisinin Ticari Binalarda Kullanılabilirliğinin Sürdürülebilirlik Perspektifiyle Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 173.
4. Okur, O., (2012). Doğrudan Sodyum Borhidrüllü Yakıt Pili Anot Ve Katot Elektrokatalizörünün Sentezi ve Karakterizasyonu. Hacettepe Üniversitesi. Kimya Ana Bilim Dalı. Doktora Tezi
5. Çetinkaya, M. ve Karaosmanoğlu, M., (2003). Yakıt Pilleri. Tesisat Mühendisliği. (Mayıs/Haziran 2003).



6. Tavman, A., (2004). Bor Esaslı Yakıt Hücresi ve Bataryalar. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi. Sigma (2004/2).
7. San, F., Özdemir, S., Örs, N., Kalafatoğlu, E. ve Bahar, T., (2001). Hidrojen Yakıt Pilleri: Otomotiv Endüstrisindeki Uygulamalar ve Geleceği, TÜBİTAK.
8. İnternet: <https://www.bilgiustam.com/yakit-pilleri-nasil-calisir/>.
9. Şenol, R., Üçgöl, İ. ve Acar M., (?). Yakıt Pili Teknolojisindeki Gelişmeler ve Taşıtlara Uygulanabilirliğinin İncelenmesi. Mühendis ve Makine Dergisi. Cilt:47. Sayı:563
10. Kavas, S., (2008). Doğalgaz Yakıtlı Katı Oksitli Yakıt Pili Sistemi İçin Sabit Sıcaklık Buharlı Yakıt Dönüştürücü Tasarımı. Ege Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği. Yüksek Lisans Tezi.
11. Okur, O., (2012). Doğrudan Sodyum Borhidrürlü Yakıt Pili Anot Ve Katot Elektrokatalizörünün Sentezi Ve Karakterizasyonu. Hacettepe Üniversitesi. Kimya Ana Bilim Dalı. Doktora Tezi
12. Kurtaran, A. ve Yılmaz, A., (2016). Yakıt Hücresinin Taşıtlarda Uygulanması, International Engineering, Science and Education Conference, Diyarbakır.
13. Karaoğlan, U.M. ve Kuralay S.N., (?). PEM Yakıt Hücresi Modeli. Mühendis ve Makine Dergisi. Cilt:55. Sayı:657
14. Başyazıcı, U.İ., (29/03/2011). Yakıt Pili Teknolojisinin Ticari Binalarda Kullanılabilirliğinin Sürdürülebilirlik Perspektifiyle Değerlendirilmesi.
15. İnternet: Enerji Üretiminde Verimi Artırmaya, Çevreyi Korumaya Yönelik İleri Teknolojiler. www.inovasyon.org/pdf/euva.bolum4.pdf
16. San, F., Özdemir, S., Örs, N., Kalafatoğlu, E. ve Bahar, T., (2001). Hidrojen Yakıt Pilleri: Otomotiv Endüstrisindeki Uygulamalar ve Geleceği, TÜBİTAK.