

# PV-HİDROJEN ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE METAL HİDRİD TANKIN ŞARJI İÇİN OPTİMUM ISIL KOŞULLARIN TESPİTİ

## İsmail Hilali\*

Yrd. Doç. Dr., Harran Üniversitesi,  
Makina Mühendisliği Bölümü,  
Osmanbey Kampüsü 63000 Şanlıurfa  
ihilali@gmail.com

## Nurettin Beşli

Yrd. Doç. Dr., Harran Üniversitesi,  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,  
Osmanbey Kampüsü 63000 Şanlıurfa  
nbesli@harran.edu.tr

## Bülent Yeşilata

Prof. Dr., Harran Üniversitesi,  
Makina Mühendisliği Bölümü  
Osmanbey Kampüsü 63000 Şanlıurfa  
byesilata@yahoo.com

## ÖZET

Fotovoltaik-hidrojen enerjisi sistemlerinde üretilen fazla enerjinin kısa zamanda hidrojen üretiminde kullanılması, metal hidrid tankların ısı şartlarının da kontrolünü gerektirmektedir. Özellikle şebekeden uzak sistemlerde, hidrojenin şarj sırasında, metal hidrür tanklar ile çevre arasındaki ısı transferinin kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada; çevre sıcaklığına bağlı olarak, metal hidrid tankların şarj kapasitelerini arttırmak için optimum ısı koşulları belirlenmiştir. Farklı ısı koşulları oluşturmak için; metal hidrid tank, sıcaklık ve hız kontrollü bir hava kanalı içerisine yerleştirilmiştir. Farklı hava şartlarında, metal hidrid tankın yüzey sıcaklığı ve şarj edilen hidrojen debisi ölçülmüştür. Elde edilen deneysel sonuçlar; hidrojen tank yüzeyindeki termal kontrolün, şarj performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** PV, fotovoltaik, hidrojen, metal hidrid, yakıt pili

## The Establishment of Optimum Thermal Conditions for Charging of Metal Hydride Tank in PV-Hydrogen Energy Systems

## ABSTRACT

The use of excess energy generated by the photovoltaic arrays for hydrogen production requires thermal control of metal hydride tanks especially when the hydrogen is needed in a short time period. This situation is very common in off-grid systems, during the charging of hydrogen, where controlling rate of the heat transfer between the metal hydride tank and the ambient air is of great importance. In this study, optimum thermal conditions with respect to the ambient temperature are experimentally established to increase charging performance to the metal hydride tank, by placing it into an air channel under controlled temperature and velocity conditions. The surface temperatures of metal hydride tank and flow rate of the charged hydrogen gas are measured under different ambient and thermal conditions. Experimental results obtained reveal that thermal control at the surface of the metal hybrid tank has significant effect on the hydrogen charge performance.

**Keywords :** PV, photovoltaic, hydrogen, metal hydride, fuel cell

\* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 13.12.2011  
Kabul tarihi : 07.05.2012

Hilali, İ., Beşli, N., Yeşilata, B. 2012. "PV-Hidrojen Enerjisi Sistemlerinde Metal Hidrid Tankın Şarjı İçin Optimum Isıl Koşulların Tespiti," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 627, s. 32-37.





Şekil 2. Isıtma-Soğutma Kontrol Ünitesi ve Kanalı

çoğunlukla karbon fiber takviye tabakalarından oluşmaktadır. Bu alaşımlar genellikle kendi başına hidrojen absorbe eden bir A metal ile (La,Ti,Zr,Mg,Ca gibi nadir toprak elementleri) hidrojen absorbe edemeyen B metalinden (Fe, Ni, Mn, Co) oluşmaktadır. Kullandığımız hidrojen tüpleri, Helocentris marka metal hidrid hidrojen tankları üç

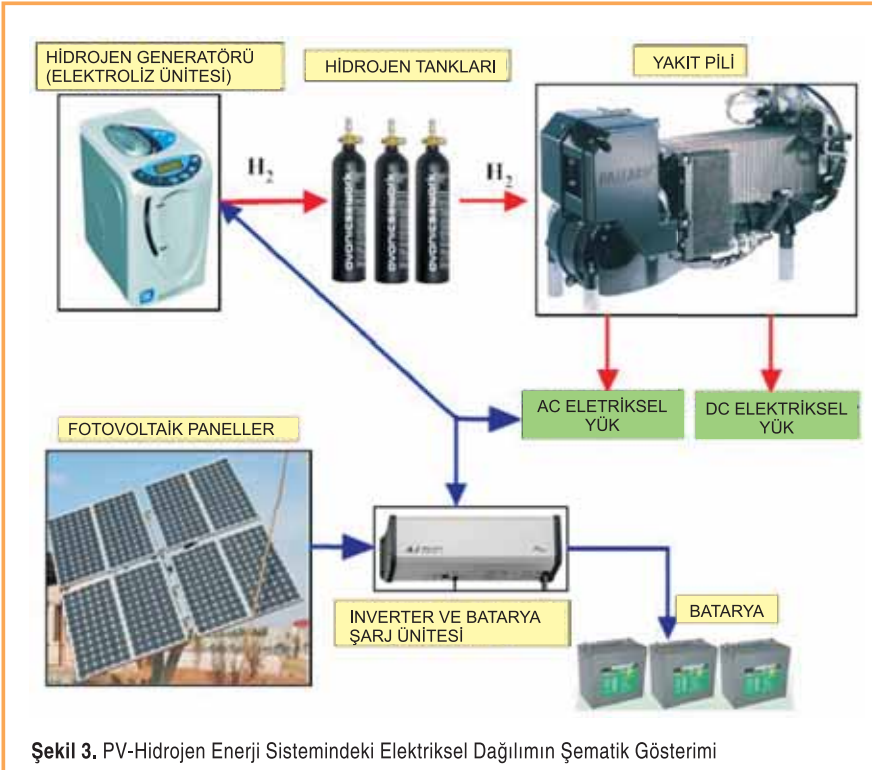
adet olup her biri maksimum standart şartlar altında 900 litre hacminde ve 80 gram ağırlığında hidrojen depolama kapasitesine sahiptir. Hidrojen tüplerinde AB2 tipi geçiş metalleri kullanılmıştır. Genel olarak alaşım formülü, (Ti, Zr) (V, Cr, Mn, Fe, Ni, Al) 2 formundadır. Tüplerin her biri içindeki alaşımlarla birlikte yaklaşık 6.5 kg'dır. Ağırlıkça Hidrojen depolama kapasitesi %1.6–1.7 dir.

Metal hidrid tankın ortam şartlarına bağlı kapasitesinin tespiti için, Şekil 1' de görüldüğü gibi, basınç ayarlı yüksek saflıkta (%99,9999) hidrojen üretebilen PEM tipi elektrolizör, metal hidrid tank için ısıl şartların oluşturulabileceği bir ısıtmalı-soğutmali kontrol ünitesi, 1.2 kW kapasiteli yakıt pili ve sıcaklık ölçümleri için 32 kanallı datalogger kullanılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi

metal hidrid tankın üst, orta ve alt tarafına toplam 12 adet T tipi ısıl çift yerleştirilmiştir [24-25].

Metal Hidrid tanklar ısıtma ve soğutma özelliği olan ünitenin bağlı olduğu yalıtımlı bir kanal içine yerleştirilmiştir (Şekil 2). Ünite iki hız kademesi bulunmaktadır. Her hız kademesi için kanal içinde anemometreyle birçok noktada hız ölçümleri yapılmış ve sırasıyla 3.0 ve 4.5 m/s ortalama hızlar ölçülmüştür. Deneyler sırasında PV panel yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı ise piranometreyle ölçülmüştür. Sistemde kullanılan sekiz adet 24V/175 watt güneş panelleri; tek eksenli güneş izleme sehpası üzerine monte edilmiş olup her iki bileşene ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir. PV modüller tarafından üretilen enerjinin, elektriksel yük için gerekli olan miktardan fazlası, elektroliz ünitesine yönlendirilmekte ve üretilen hidrojen, yakıt pilinde kullanılmak üzere metal hidrid tanklarda depolanmaktadır (Şekil 3).

Doluluk durumuna bağlı olarak, şarj işlemi sırasında, metal hidrid tankta ekzotermik reaksiyon oluştuğu için ısınma olmaktadır. Tankı tekrar ideal ortam sıcaklığına getirmek için zorlanmış konveksiyon yoluyla soğutma yapılmaktadır.



Şekil 3. PV-Hidrojen Enerji Sistemindeki Elektriksel Dağılımın Şematik Gösterimi

Tablo 1. PV Modül Sistemi ve Güneş İzleyici Teknik Özellikleri

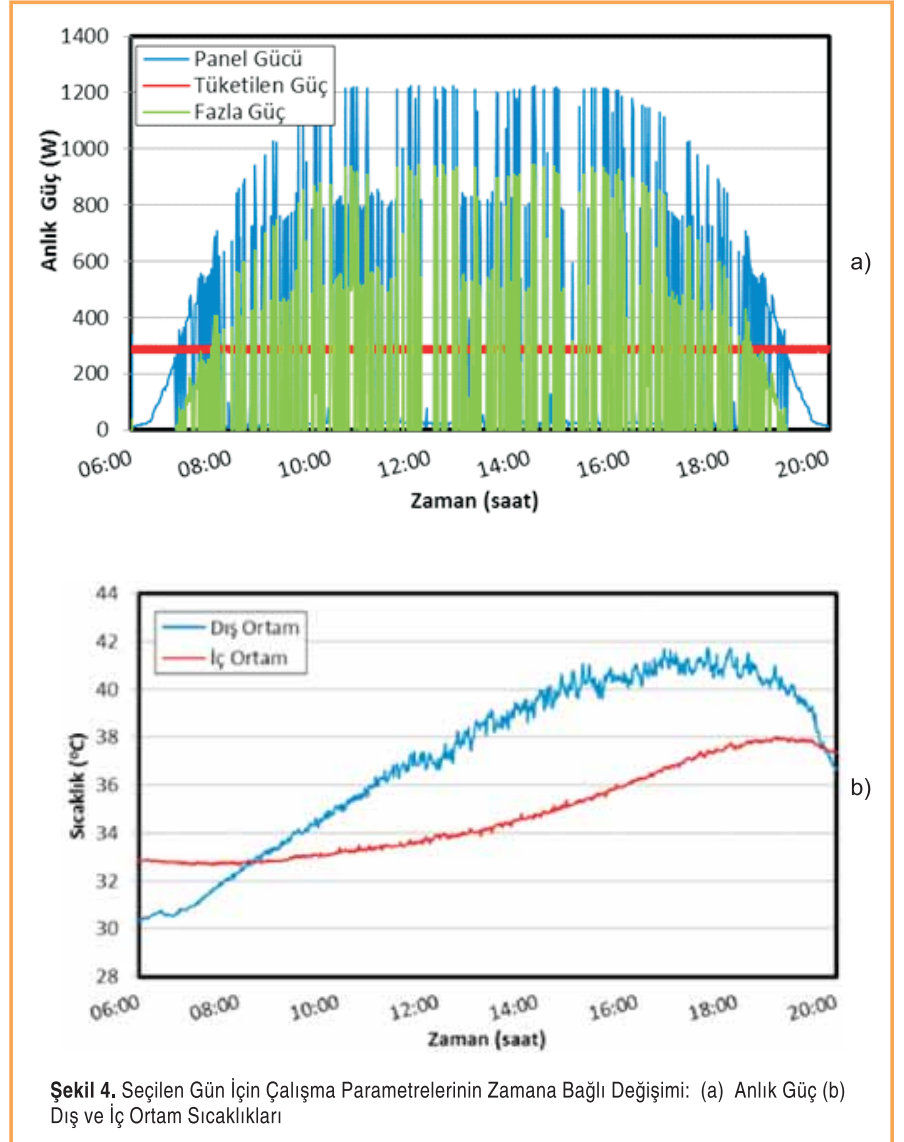
Panel teknik özellikleri (Standart test koşullarında verilen değerlerdir)	Güneş izleyici özellikleri
72 seri bağlı monokristal silikon solar hücre Maksimum voltaj: 35.4 V Maksimum akım: 4.95 A Maksimum güç: 175 W Modül verimi: %13.4	Tek eksenli takip sistemi Doğu-batı yönünde 90° aktif Manuel ayarlanabilir eğim: 0-45° İzleyici yıllık güç tüketimi: 1.25 kWh/yıl Sensörsüz (PV paneli sensör olarak kullanır)

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hidrojen depolama yönteminin performansı, temel olarak hidrojen depolama kapasitesi, şarj ve deşarj oranıyla ifade edilir. Bu çalışmanın asıl amacı, Fotovoltaik destekli sistemlerde farklı çevre şartlarına bağlı olarak metal hidrid tankların şarj kapasitelerini arttırmak amacıyla gerekli optimum ısı koşulları belirlemektir. Bu çalışmada; farklı hava hızı ve ortam sıcaklıklarında; sadece şarj çevrimine yönelik deneysel ölçümler sunulmaktadır. Ölçümlerin çerçevesini göstermek amacıyla; Temmuz ayına ait bir gün için fotovoltaik (PV) sistem güç çıktısı ile iç ve dış ortam sıcaklık değerleri, Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4(a)'da gösterilen güneş ışınım şiddetindeki değişim grafiğinden, maksimum değerlerin beklenildiği üzere öğle saatleri dolaylarında elde edildiği gözlemlenebilmektedir. Göz önüne alınan günde; PV panel sisteminden elde edilen toplam enerjinin 5250 Wh, aydınlatma ve elektronik ölçüm aletleri için gerekli güç talebinin ise yaklaşık olarak 3600 Wh civarında olduğu tespit edilmiştir. Elektrolizörün maksimum hidrojen debisi 5 l/dak ve toplam AC güç gereksinimi 1.75 kWh civarındadır. Dış ve iç ortam sıcaklığına ait Şekil 4(b)'deki grafikte; iki ortam arasındaki sıcaklık farkının maksimum değeri, güneş ışınım şiddeti değişimine benzer şekilde, öğle saatlerinde elde edilmektedir. Saat 13:00 – 13:30 saatleri arasında; dış ve iç ortam ortalama sıcaklıkları sırasıyla 38 °C ve 34°C olarak ölçülmüştür.

Metal hidrid tanka ait şarj çevriminin performansı da yukarıda belirtilen saatler arası için analiz edilmiş; anlık sıcaklık değişimleri özellikle bu saatler arasında belirlenen en kritik 12 dakika

süresince kaydedilmiştir. Bu süreç içerisindeki ölçümlerden; 10 Bar dolum basıncındaki tank sıcaklığı ve hidrojen gazı şarj debisine ait anlık değişimler, Şekil 4'te sunulmuştur. Şarj işlemi ekzotermik bir reaksiyon olduğu için, tankların soğutulması 4 °C sıcaklıkta ve iki hız kademesindeki ( $V=3$  m/s ve 4.5 m/s) havayla gerçekleştirilmiştir. Şekil 5 (a) ve 5



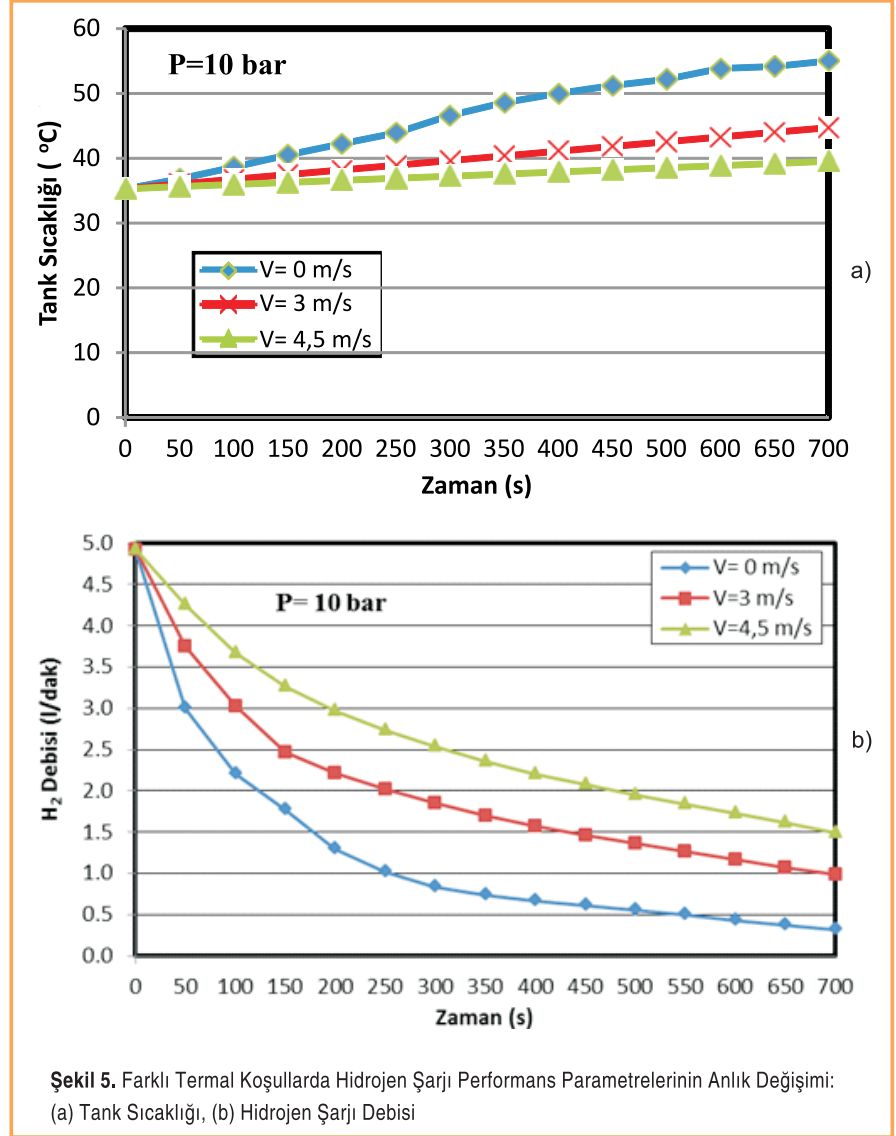
(b)'de görüldüğü üzere; şarj miktarına bağlı olarak, sıfır hava hızında ve ortam sıcaklığında tank sıcaklığı 35 °C'den 55 °C'ye yükselmekte ve buna bağlı hidrojen debisi 5 l/dak' dan 0.3 l/dak'ya düşmektedir. Hava hızı 3 m/s olduğunda, tank sıcaklığı 35 °C'den 45 °C'ye yükselmekte ve buna bağlı hidrojen debisi 5 l/dak' dan 1.0 l/dak'ya düşmektedir. Hava hızı 4.5 m/s, tank sıcaklığı 35 °C'den 40 °C'ye düşmekte ve buna bağlı hidrojen debisi 5 l/dak'dan 1.5 l/dak'ya düşmektedir. Bu durum, artan tank sıcaklığına bağlı olarak reaksiyon basıncının artması ve dolun basıncı ile tank basıncı arasındaki farkın azalmasından kaynaklanmaktadır.

Diğer bir ifadeyle, yeterli soğutma yapıldığında, hidrojen debisi ve dolayısıyla tankın şarj performansı artmaktadır. Ölçüm yapılan süre içindeki depolanan toplam hidrojen miktarları; V=0 m/s, T= 35 °C için 17 l; V=3.0 m/s, T= 4 °C için 24 l ve V= 4.5 m/s; T= 4 °C için ise 34 l olarak ölçülmüştür. Elektrolizörde üretilen hidrojen debisi 5nl/dak ve metal hidrid tankın tam kapasitesi 600 l olduğundan, ideal dolun şartlarında tam dolun için geçen süre yaklaşık iki saat olup [24], ideal süreye en yakın dolun/şarj termal koşullarının V= 4.5 m/s; T= 4 °C ile sağlandığı görülmektedir.

#### 4. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, metal hidrid tankların şarj durumunda çalışma özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Şarj karakteristiğini ve ortam şartlarının buna etkisini araştırmak amacıyla bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Şarj işlemi, ekzotermik bir reaksiyon olduğundan, oluşan ısıya bağlı olarak tankta hızlı bir sıcaklık artışı olmaktadır. Yeterli bir şarj işlemi, tanktan uzaklaştırılacak ısı miktarına bağlıdır.

Yukarıda sunulan deneysel sonuçlardan; hidrojen depolamada iklimlendirmenin etkisinin büyük olduğu net olarak anlaşılmaktadır. Şarj sırasında ısınan metal hidrid hidrojen tanklarının, farklı ısıl şartlarda daha iyi performans sağladığı ölçümlerle direkt olarak gösterilebilmiştir. Şarj debisi uygun ortam şartları sağlandığında daha uzun süre



yüksek değerlerde olmaktadır. Tank basıncı arttıkça, tank sıcaklığı artmakta ve buna bağlı olarak hidrojen şarj debisi azalmaktadır. Soğutma yapıldığı zaman, reaksiyon ısısının, debi üzerindeki etkisi azalmaktadır.

Güneş enerjisi-elektroliz birleşik sistemlerinde, PV panelden elde edilen fazla enerjinin çok kısa zamanda hidrojen üretimine gönderilmesi yeterli olmamaktadır. Çünkü fazla enerjinin optimum kullanımı için, ortam şartlarının da kontrol edilmesi gerekmektedir. Deneylerden görüldüğü gibi, maksimum güneş enerjisinin elde edildiği zamanlarda, metal hidrid tankın dolun kapasitesi ciddi seviyede azalmaktadır. Dolayısıyla, fazla gücün üretildiği zaman aralıklarında, en fazla miktarda hidrojen depolanacağı gibi bir öngörü yanılığlara sebep olabilecektir. Kullanıcının; tank yüzeyindeki termal koşullar dışında göz önüne alması

gereken diğer unsurlar da söz konusudur. Örneğin; PEM tipi elektrolizörün ve DC/AC inverterin ortam sıcaklığıyla ilişkisinin de göz önüne alınması gereklidir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma; 2009/070 nolu Hübak proje desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKÇA

1. www1.eere.energy.gov, son erişim: Aralık 2011
2. www.enerji.gov.tr, son erişim: Aralık 2011
3. **Zhang J., Fisher Timothy S.**, 2005. "A Review of Heat Transfer Issues in Hydrogen Storage Technologies," *Journal of Heat Transfer*, 127, p. 1391-1399.
4. **Jemni, A., Nasrallah, S.B., Lamloumi, J.** 1999. "Experimental and Theoretical Study of a Metal-Hydrogen Reactor," *Int. J. of Hydrogen Energy*, 24, p. 631-644.
5. **Jemni, A., Nasrallah, S.B., Lamloumi, J.** 1999. "Experimental and Theoretical Study of a Metal-Hydrogen Reactor," *Int. J. of Hydrogen Energy*, 24, p. 631-644.
6. **Mat, M., Kaplan, Y.** 2001. "Numerical Study of Hydrogen Absorption in an Lm-Ni5 Hydride Reactor," *Int. J. Of Hydrogen Energy*, 26, p. 957-963.
7. **Aldaş, K., Mat, M.** 2002. "Metal Hidrid Yataklarda Hidrojen Depolamasının Sayısal Analizi," *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 26, p. 201-207.
8. **Gadre, S.A., Ebner, A.D.** 2002. "Modelling the Discharge Behaviour of a Metal Hydride Hydrogen Storage System," *Fuel Chemistry Division Preprints*. 47(2), p. 792.
9. **Kaplan, Y., Veziroglu, T.N.** 2003. Mathematical Modelling of Hydrogen Storage in a LaNi5 bed. *Int. J. of Energy Research*. 27, s. 1027-1038.
10. **Kaplan, Y., Demiralp, M., Veziroglu, T.N.** 2005. "Experimental and Theoretical Study of Metal-Hydride Reactors," *Fuel Cell Technologies: State and Perspectives*, p. 211-222.
11. **Jiang, Z., Dougal, R.A., Liu, S.** 2005. "Simulation of a Thermally Coupled Metal-Hydride Hydrogen Storage and FC System," *J. of Power Sources*, 142, p. 92-102.
12. **Muthukumar, P., Maiya, M.P., Murthy, S.S.** 2005. "Experiments on a Metal Hydride-Based Hydrogen Storage Device," *Int. J. of Hydrogen Energy*, 30, p. 1569-1581.
13. **Demircan, A., Demiralp, M., Kaplan, Y.** 2005. "Experimental and Theoretical Analysis of Hydrogen Absorption in LaNi5-H2 Reactors," *Int. J. of Hydrogen Energy*, 30, p. 1437-1446.
14. **Kaplan, Y., İlbaz, M., Mat, M., Demiralp, M.** 2006. "Investigation of Thermal Aspects of Hydrogen Storage in LaNi5-H2 Reactor. *Int. J. of Energy Research*," 30, p. 447-458.
15. **Kaplan, Y., Mat, M., Veziroglu, T.N.** 2006. "Heat and Mass Transfer of Hydrogen Storage in Metal-Hydrogen Reactors," *WHEC*, 16.
16. **Pregassame, S., Barral, K., Letellier, J.** 2006. "Modelling of the Charging Step of Metal Hydride Tanks for Hydrogen Storage," *WHEC*, 16.
17. **MacDonald, B., Rowe, A.** 2006. "Impacts of External Heat Transfer Enhancements on Metal Hydride Storage Tanks," *Int. J. of Hydrogen Energy*, 31, p. 1721-1731.
18. **MacDonald, B., Rowe, A.** 2006. A Thermally Metal Hydride Hydrogen Storage and FC System. *J. of Power Sources*, 161, p. 346-355.
19. **Nakaso, K., Shigenaga, R. Fukai, J.** 2007. "Effect of Heat Transfer Enhancement on Energy Release Rate From a Metal Hydride Tank," *J. of Chem. Eng. of Japan*, 40, p. 1257-1263.
20. **MacDonald, B., Rowe, A.** 2007. "Experimental and Numerical Analysis of Dynamic Metal Hydride Hydrogen Storage Systems," *J. of Power Sources*, 174, p. 282-293.
21. **Gambini, M., Manno, M., Vellini, M.** 2008. "Numerical Analysis and Performance Assessment of Metal Hydride-Based H<sub>2</sub> Storage Systems," *Int. J. of Hydrogen Energy*, 33, p. 6178-6187.
22. **Askri, F., Ben Salah, M., Jemni, A.** 2009. "Optimization of Hydrogen Storage in Metal-Hydride Tanks," *Int. J. of Hydrogen Energy*, 34, p. 897-905.
23. **Forde, T., Eriksen, J., Pettersen, A.G.** 2009. "Thermal Integration of a Metal Hydride Storage Unit and PEM Fuel Cell Stack," *Int. J. of Hydrogen Energy*, 34, p. 6730-6739.
24. www.heliocentris.com, son erişim: Aralık 2011
25. **Hilali, İ., Beşli, N., Yeşilata, B.** 2010. "Küçük Ölçekli Bir Fotovoltaik-Yakıt Pili Hibrid Sisteminin Deneysel Performans Analizi," *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 51, sayı 602, s. 19-30.