

## Bölüm 7

# HİDROJEN ENERJİSİ

## Chapter 7

### ***HYDROGEN ENERGY***

İbrahim DİNÇER - Canan ACAR

#### BÖLÜM İÇERİĞİ

- 7.1. Giriş
- 7.2. Neden Hidrojen?
- 7.3. Hidrojen ile İlgili Temel Bilgiler
- 7.4. Hidrojenin Farklı Uygulamaları
- 7.5. Sürdürülebilir Bir Yakıt Olarak Hidrojenin Rolü
- 7.6. Hidrojen Üretimi
- 7.7. Hidrojen Enerji Sistemleri
- 7.8. Hidrojen Enerjisi Depolama ve Güvenliği
- 7.9. Hidrojen Enerji Piyasası
- 7.10. Sonuçlar
- 7.11. Kaynaklar

## YAZARLAR HAKKINDA / ABOUT AUTHORS

**Prof. Dr. İbrahim Dinçer / Ontario Teknik Üniversitesi - Yıldız Teknik Üniversitesi /**  
**Ibrahim.Dincer[at]ontariotechu.ca / ORCID: 0000-0002-7092-2102**

Profesör İbrahim Dinçer Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) aslı üyesi ve Enerji Çalışma Grubu yürütücüsüdür. Ontario Teknik Üniversitesi tenurlu profesör ve Yıldız Teknik Üniversitesinde öğretim üyesi olan ve sürdürülebilir enerji teknolojileri konusunda öncü Prof. Dinçer'in binin üzerinde hakemli makalesi, yüzlerce konferans makalesi, birçok kitapları ve de kitap bölümleri bulunmaktadır. Yüzlerce uluslararası etkinliğin başkanlığını ve koordinasyonunu yürütmüştür. Aynı zamanda yüzlerce davetli konuşma vermiştir. Birçok uluslararası kurumun aktif üyesi olan, Prof. Dinçer aynı zamanda da birçok dergide baş editör, yardımcı editör ve üye editör olarak görevleri bulunmaktadır. Kanada'nın en büyük araştırma ödüllerinden biri olan "Premier's Research Excellence Award" dahil olmak üzere çeşitli araştırma, eğitim ve hizmet ödüllerinin sahibidir. Geçtiğimiz yedi yıl boyunca Thomson Reuters tarafından "Mühendislikte En Etkili Bilimsel Akıllardan" biri olarak gösterilmektedir ve alanında en çok alıntı yapılan araştırmacılarıdır.

**Prof. Dr. İbrahim Dinçer / Ontario Tech. University - Yıldız Technical University /**  
**Ibrahim.Dincer[at]ontariotechu.ca / ORCID: 0000-0002-7092-2102**

Professor Ibrahim Dincer is a full member of Turkish Academy of Sciences (TUBA) and serves as chair of Energy Working Group at TUBA. Being a tenured professor at Ontario Tech. University and affiliated with Yıldız Technical University, and renowned for his pioneering works in the area of sustainable energy technologies he has authored/co-authored numerous books and book chapters, and many refereed journal and conference papers. He has chaired many national and international conferences, symposia, workshops and technical meetings. He has delivered many keynotes and invited lectures. He is an active member of various international scientific organizations and societies, and serves as editor-in-chief, associate editor, regional editor, and editorial board member on various prestigious international journals. He is a recipient of several research, teaching and service awards, including the Premier's research excellence award in Ontario, Canada. During the past seven years he has been recognized by Thomson Reuters as one of the Most Influential Scientific Minds in Engineering and one of the most highly cited researchers.

**Doç. Dr. Canan Acar / Bahçeşehir Üniversitesi / canan.acar[at]eng.bau.edu.tr / ORCID: 0000-0002-5808-7888**

Boğaziçi Üniversitesi Kimya Mühendisliği mezunu olan Doç. Dr. Canan Acar daha sonra Illinois Institute of Technology Üstün Başarı Bursunu alarak hidrojen depolama üzerine tezini tamamlamış ve Kimya Mühendisliği yüksek lisans derecesini almıştır. Doktora çalışmalarını 2012-2016 yılları arasında University of Ontario Institute of Technology Makine Mühendisliği Bölümü'nde yürütmüş, tezini güneş enerjisiyle çalışan çoklu hidrojen üretim sistemleri üzerine tamamlamıştır. Bu tez ile uluslararası camiada akademik performansını; Haziran 2017'de Kanada Genel Valiliği Akademik Mükemmellik Altın Madalyası ve Üstün Doktora Tezi gibi ödülleri alarak kanıtlamıştır. 2016'da Bahçeşehir Üniversitesi'nde göreve başlayan Acar, çalışmalarıyla 2018'de Türkiye Bilimler Akademisi Üstün Başarılı Genç Bilim İnsanı (TÜBA-GEBİP) Ödülü ve 2019'da Hidrojen Teknolojileri Derneği Genç Araştırmacı Ödülü'nü almaya hak kazanmıştır. Profesör İbrahim Dinçer yürütücülüğündeki "Hidrojen seçenekleriyle akıllı enerji çözümleri" makalesi 2018'de Hidrojen Uygulamaları kategorisinde International Journal of Hydrogen Energy dergisinin en çok alıntı yapılan çalışması olarak Zong Qiang Mao Ödülünü almıştır.

**Assoc. Prof. Dr. Canan Acar / Bahcesehir University / canan.acar[at]eng.bau.edu.tr / ORCID: 0000-0002-5808-7888**

Canan Acar is an Associate Professor at Bahcesehir University in Istanbul, Turkey. She has a Ph.D. in mechanical engineering, and her BSc and MSc are in chemical engineering. She completed her Ph.D. at the University of Ontario Institute of Technology in 2016. During her Ph.D., she researched photoelectrochemical hydrogen production. For her Master's at Illinois Institute of Technology, she developed complex metal hydride-based hydrogen storage systems. Dr. Acar received several prestigious scholarships and awards, including the Ontario Trillium Scholarship, Outstanding Doctoral Thesis Award, Governor General of Canada's Gold Medal for Academic Excellence. She received the Outstanding Young Scientist Award from the Turkish Academy of Sciences in 2018. Her "Smart energy solutions with hydrogen options" article under Prof Dr. Ibrahim Dincer's supervision received the International Journal of Hydrogen Energy's Zong Qiang Mao Award for the most cited paper in the Hydrogen Applications (2018). In 2019, she received the Young Researcher Award from the Turkish National Hydrogen Association.

**Özet**

Hem bölgesel hem de küresel enerji ve iklim sorunları nedeniyle enerji, kaynaklarının çeşitliliğini artıran verimli, temiz ve ekonomik teknolojiler önem kazanmıştır. Bu, enerji üretimi, dönüşümü, dağıtımı, depolanması ve son kullanımında önemli yenilikler gerektirmektedir. Hidrojen enerjisi, küresel enerji talebini karşılamak için mükemmel bir potansiyel çözümdür ve gerek yakıt olarak gerekse enerji taşıyıcı ve de ham madde olarak kullanılacak mükemmel bir seçenek olarak öne çıkmıştır. Hidrojen enerjisi, emisyonlarımızın ve diğer çevresel hasar sorunlarının giderildiği veya en aza indirildiği, ekonomik, verimli, güvenilir ve temiz enerji talebimizin karşılandığı bir dünyayı mümkün kılabilir. “Hidrojen enerjisini” tam olarak anlamak için, hidrojenin karakteristik özelliklerinden mevcut yakıtlardan farkına kadar tüm yönlerini kavramak gerekir. Bu nedenle, bu bölüm hidrojenin özellikleri ve diğer yakıtlar ve enerji kaynakları ile karşılaştırılması hakkında bilgi vermektedir. Buna ek olarak, hidrojen üretimi, depolanması ve son kullanım yöntemleri açıklanmaktadır. Ve bu bölümün sonunda, daha sürdürülebilir enerji sistemleri için gereken araştırma yön ve yöntemleri verilmektedir.

**Anahtar Kelimeler**

Çevre; Ekonomi; Enerji; Enerji Depolama; Enerji Taşıyıcısı; Hidrojen; Hidrojen Üretimi; Yakıt; Yakıt Hücresi.

**Abstract**

Due to global energy and climate problems, efficient, clean and economical technologies that increase the diversity of energy sources are gaining importance. This requires significant innovations in energy generation, conversion, distribution, storage and end-use. Hydrogen energy is an excellent potential solution to meet the global energy demand. Hydrogen power can enable a world where our emissions and other environmental damage issues are eliminated or minimized, and our demand for affordable, efficient, reliable and clean energy is met. To fully understand “hydrogen energy”, it is necessary to grasp all aspects of hydrogen, from its characteristics to its difference from available fuels. Therefore, this chapter provides information on the properties of hydrogen and its comparison with other fuels and energy sources. In addition, hydrogen production, storage and end-use methods are described. And at the end of this chapter, the research directions and methods needed for more sustainable energy systems are given.

**Keywords**

Environment; Economy; Energy; Energy Storage; Energy Carrier; Hydrogen; Hydrogen Production; Fuel; Fuel Cell.

## 7.11. KAYNAKLAR / REFERENCES

- [1] Dincer, I. (2012). Green methods for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(2), 1954–1971.
- [2] Dincer, I., Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 11094–11111.
- [3] International Energy Agency: Hydrogen Production and Distribution. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/essentials5.pdf>.
- [4] Carslaw, D. C., Williams, M. L., Tate, J. E., Beevers, S. D. (2013). The importance of high vehicle power for passenger car emissions. *Atmospheric Environment*, 68, 8-16.
- [5] Stiller, C., Hochrinner, H. (2016). Use of Conventional and Green Hydrogen in the Chemical Industry. In *Hydrogen and Fuel Cell* (pp. 173-186). Springer Berlin Heidelberg.
- [6] FreedomCAR and Fuel Partnership Plan. (2016). [https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/fc\\_fuel\\_partnership\\_plan.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/fc_fuel_partnership_plan.pdf).
- [7] Rand, D. A. J., Dell, R. M. (2007). *Hydrogen Energy: Challenges and Prospects*. Royal Society of Chemistry.
- [8] Bhandari, R., Trudewind, C. A., Zapp, P. (2014). Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis—a review. *Journal of Cleaner Production*, 85, 151-163.
- [9] Acar, C., Dincer, I. (2013). Comparative environmental impact evaluation of hydrogen production methods from renewable and nonrenewable sources. In *Causes, Impacts and Solutions to Global Warming* (493-514). Springer New York.
- [10] Hartwig, J., Chato, D., McQuillen, J. (2014). Screen channel LAD bubble point tests in liquid hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(2), 853-861.
- [11] Garceau, N. M., Baik, J. H., Lim, C. M., Kim, S. Y., Oh, I. H., Karng, S. W. (2015). Development of a small-scale hydrogen liquefaction system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(35), 11872-11878.
- [12] Gao, D., Jiang, D., Liu, P., Li, Z., Hu, S., Xu, H. (2014). An integrated energy storage system based on hydrogen storage: Process configuration and case studies with wind power. *Energy*, 66, 332-341.
- [13] Iiyama, A., Tabuchi, Y., Ohma, A., Sugawara, S., Shinohara, K. (2014). (Plenary) FCEV Development at Nissan. *ECS Transactions*, 64(3), 11-17.
- [14] Parks, G., Boyd, R., Cornish, J., Remick, R. (2014). *Hydrogen Station Compression, Storage, and Dispensing Technical Status and Costs: Systems Integration* (No. NREL/BK-6A10-58564). National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO.
- [15] Wipke, K., Sprik, S., Kurtz, J., Ramsden, T., Ainscough, C., Saur, G. (2012). National fuel cell electric vehicle learning demonstration final report. *Contract*, 303, 275-3000.
- [16] Katikaneni, S. P., Al-Muhaish, F., Harale, A., Pham, T. V. (2014). On-site hydrogen production from transportation fuels: An overview and techno-economic assessment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(9), 4331-4350.
- [17] Dincer, I. (2002). Technical, environmental and exergetic aspects of hydrogen energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27(3), 265-285.
- [18] Ay, M., Midilli, A., Dincer, I. (2005). Thermodynamic modelling of a proton exchange membrane fuel cell. *International Journal of Exergy*, 3(1), 16-44.
- [19] Dincer, I. (2007). Environmental and sustainability aspects of hydrogen and fuel cell systems. *International Journal of Energy Research*, 31(1), 29-55.
- [20] El-Emam, R. S., Dincer, I. (2011). Energy and exergy analyses of a combined molten carbonate fuel cell–gas turbine system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(15), 8927-8935.
- [21] Colpan, C. O., Dincer, I., Hamdullahpur, F. (2007). Thermodynamic modeling of direct internal reforming solid oxide fuel cells operating with syngas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(7), 787-795.
- [22] Hull, J. F., Himeda, Y., Wang, W. H., Hashiguchi, B., Periana, R., Szalda, D. J., Fujita, E. (2012). Reversible hydrogen storage using CO<sub>2</sub> and a proton-switchable iridium catalyst in aqueous media under mild temperatures and pressures. *Nature Chemistry*, 4(5), 383-388.

- [23] Sevilla, M., Mokaya, R. (2014). Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage. *Energy and Environmental Science*, 7(4), 1250-1280.
- [24] Ley, M. B., Jepsen, L. H., Lee, Y. S., Cho, Y. W., Von Colbe, J. M. B., Dornheim, M., Jørgensen, J. E. (2014). Complex hydrides for hydrogen storage—new perspectives. *Materials Today*, 17(3), 122-128.
- [25] Yang, S. J., Kim, T., Im, J. H., Kim, Y. S., Lee, K., Jung, H., Park, C. R. (2012). MOF-derived hierarchically porous carbon with exceptional porosity and hydrogen storage capacity. *Chemistry of Materials*, 24(3), 464-470.
- [26] Yan, Y., Yang, S., Blake, A. J., Schröder, M. (2013). Studies on metal–organic frameworks of Cu (II) with isophthalate linkers for hydrogen Storage. *Accounts of Chemical Research*, 47(2), 296-307.
- [27] Dalebrook, A. F., Gan, W., Grasmann, M., Moret, S., Laurenczy, G. (2013). Hydrogen storage: beyond conventional methods. *Chemical Communications*, 49(78), 8735-8751.
- [28] Jepsen, L. H., Ley, M. B., Lee, Y. S., Cho, Y. W., Dornheim, M., Jensen, J. O., Jensen, T. R. (2014). Boron–nitrogen based hydrides and reactive composites for hydrogen storage. *Materials Today*, 17(3), 129-135.