



HİDROJEN VE DOĞAL GAZ KARIŞIMLARI

Merve Öztürk¹, Fatih Sorgulu²
Nadir Javani³, İbrahim Dinçer⁴

1. GİRİŞ

Nüfus artışı, yaşam tarzındaki değişiklikler ve teknolojik gelişmeler gibi nedenlerle birlikte ekonomik, teknik ve çevresel açıdan sürdürülebilir enerji formlarına olan gereksinim de artış göstermektedir. Bu artışın nedenleri arasında fosil yakıtların zamanla tükenmesi ve sera gazı salımlarına neden olması sayılabilir. Doğal gaz, dünyanın toplam enerji gereksiniminin üçte birini karşılayan ve bu yoğun kullanım sonucu yüksek karbon salımına neden olan fosil yakıtlardan biridir. Temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş ile fosil kaynaklara olan bağımlılık ve bu kaynakların kullanımı sonucu ortaya çıkan zararlı salımlar azaltılabilir. Bu kaynaklar rüzgâr, güneş, jeotermal ve dalga gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların son kullanım salım oranları düşüktür ve yeniden

kullanılabilirler. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli olmayan doğaları, enerji depolama sistemlerine olan gereksinimi de beraberinde getirmektedir. Hidrojen, yenilenebilir enerji formlarını depolamak için ilgi çekici bir enerji taşıyıcısıdır. Ancak, sürdürülebilir bir çevre için hidrojenin yenilenebilir ve temiz kaynaklardan üretilmesi büyük bir önem taşımaktadır [1].

Doğal gaz ile yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen hidrojen karıştırıldığında, yenilenebilir enerji depolanırken doğal gazın daha sürdürülebilir kullanımı da sağlanabilir. Doğal gaz içeriğinin büyük bir yüzdesine sahip olan metan gazının yanma özellikleri, sistem tepkimesi ve tutuşma gecikmesi süresi, doğal gaza hidrojen eklendiğinde iyileşme göstermektedir [2]. Guo ve arkadaşları [3], doğal gaza hidrojen ve asal gaz eklenmesinin

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü - merveoz@yildiz.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü - fatih@yildiz.edu.tr

³ Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü - njavani@yildiz.edu.tr

⁴ Prof. Dr., Ontario Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü - Ibrahim.Dincer@ontariotechu.ca

patlama sınırlarına etkisini araştırmıştır. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, hidrojenin çalışma basıncının normal basınçtan yüksek olduğu durumlarda, taşıma, depolama ve kullanım sırasında, doğal gaz karışımlarındaki kendiliğinden tutuşma eğilimini büyük ölçüde azaltabileceği gözlenmiştir.

Doğal gaz ve hidrojen karışımlarının evsel cihazlarda yakıt olarak kullanılmasına yönelik araştırmalar son yıllarda önemli ölçüde artış göstermektedir [4]. Cozzi ve Coghe [5], farklı hacimsel oranlarda doğal gaz ve hidrojen karışımı kullanan ocak başlıklarında alev davranışı üzerine deneysel bir çalışma yürütmüştür. Elde ettikleri sonuçlar, doğal gaza hidrojen eklenmesinin, ocak başlığına daha yakın konumlanmış daha kısa ve daralmış bir mavi alev ve görünür mavi bölgenin üzerinde uzanan merkezi, oldukça parlak sarı bir dumana yol açtığını göstermiştir. Zhao ve arkadaşları [6] ölçülen yakıt/hava yoğunluğu oranlarının sonuçlarını değerlendirmek için hidrojen ve doğal gaz karışımı kullanan konut tipi bir ocakta birincil hava sürüklenmesi gibi belirgin değişkenleri araştırmıştır. Sonuçlar, dikkate alınan değişkenler üzerinde önemli bir etki olmaksızın doğal gaza hacimce %25 hidrojen eklenilebileceğini göstermektedir. Hidrojenin hacimce %25'in üzerindeki değerleri için sınırlayıcı durumunu ise geri tepme olarak belirtmişlerdir.

Öztürk ve arkadaşları [7], doğal gaza hidrojen katılmasının salımlar ve yanma verimi üzerindeki etkisini araştırmak için deneysel bir analiz gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmaların sonuçlarına göre hidrojen karışım oranının 0'dan 0,3'e çıkarılması, yanma veriminin %39,32'den %44,4'e çıkmasını sağlamıştır. Karışımın hidrojen içeriğinin artmasıyla CO ve CO₂ salımları azalırken, NO_x salımları da değişim göstermiştir. Olası karışım durumlarının çevresel etkilerini anlamak için bir yaşam döngüsü analizi de yapılmıştır. Küresel ısınma etkisi olasılığı, hidrojenin hacimce karışım oranı 0'dan 0,3'e artırıldığında kilogram karışım başına 6,233 kg'dan 6,123 kg karbondioksit eşdeğerine düşmüştür.

Ayrıca doğal gaza hidrojen eklenmesinin ısıtma süresi, ısıtma değeri ve doğal gaz tüketimi gibi bazı önemli özellikler üzerindeki etkisini belirlemek için Sorgulu ve arkadaşları [8] deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları, doğal gaz içerisine hacimsel olarak %20 oranında hidrojen karıştırıldığında toplam doğal gaz

tüketiminde %8 oranında tasarruf sağlanabildiğini göstermiştir. Ancak karışımdaki %20 hacimsel hidrojen oranı, ısıtma süresinde %15,9'luk bir artışı da beraberinde getirmektedir. Dünya çapında, hidrojenin doğal gaz hatlarına karıştırılmasını araştıran projeler ilgiyle yürütülmektedir. Başta Almanya, Birleşik Krallık, Avusturya, Fransa, Kanada, Avustralya ve ABD olmak üzere birçok ülkede endüstriyel ve akademik çalışmalar yapılmaktadır.

Bu yazıda, yazarların hidrojen ve doğal gaz karışımı üzerine yaptığı çalışmaların sonuçları verilmiştir. Bu çalışmalarda, farklı hacimsel oranlardaki hidrojen ve doğal gaz karışımının evsel ocaklarda kullanılmasının yanma verimi, gaz salımları ve ısıtma süresi değişkenlerine olan etkisi incelenmiştir. Hidrojen-doğal gaz karışımının kullanımı ile çevreye olan etkinin belirlenmesi amacıyla yaşam döngüsü analizleri de gerçekleştirilmiştir. Ayrıca farklı geometrileri olan ocak başlıkları tasarlanarak, bunlar kullanıldığında ocaktaki yanma veriminin ve yanma sonucu oluşan alev davranışının değişimi incelenmiştir.

2. HİDROJEN VE DOĞAL GAZ KARIŞIMINA YÖNELİK DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Türkiye'de hidrojen ve doğal gaz karışımı ile ilgili ilk çalışmalar, bu yazının yazarları tarafından Konya'da bulunan Gazbir-Gazmer'in tesislerinde bir laboratuvar kurularak başlamıştır. Bu laboratuvarın genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Bu laboratuvarda, güneş panelleri ve rüzgâr türbini ile üretilen elektrik enerjisi, bir alkali elektroliz ünitesine beslenerek hidrojen üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen hidrojenin, şebekeden gelen doğal gaz ile farklı oranlarda karıştırılması için bir karışım ünitesi kurulmuştur. Yapılan testlerde, karışım ünitesinin çıkışında doğal gaz ve hidrojenin homojen olarak karışımının sağlandığı gözlenmiştir. Doğal gaza, hacimce %45'e kadar değişen karışım oranlarında hidrojen eklenmesinin evsel ocak ve kombilerde yanma verimine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmalar ve sonuçları ile ilgili kapsamlı bir rapor Hidrojen Teknolojileri Derneği tarafından yayınlanmıştır [9].

Hidrojen-doğal gaz karışımı çalışmaları Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrojen Araştırma Merkezinde sürdürülmekte, evsel ocaklarda hidrojen ve doğal gaz kullanımını deneysel olarak incelenmektedir. Deneysel sistemin görünümü Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hem doğal gaz hem de karışım (hacimce %10, %20 ve %30 hidrojen içe-



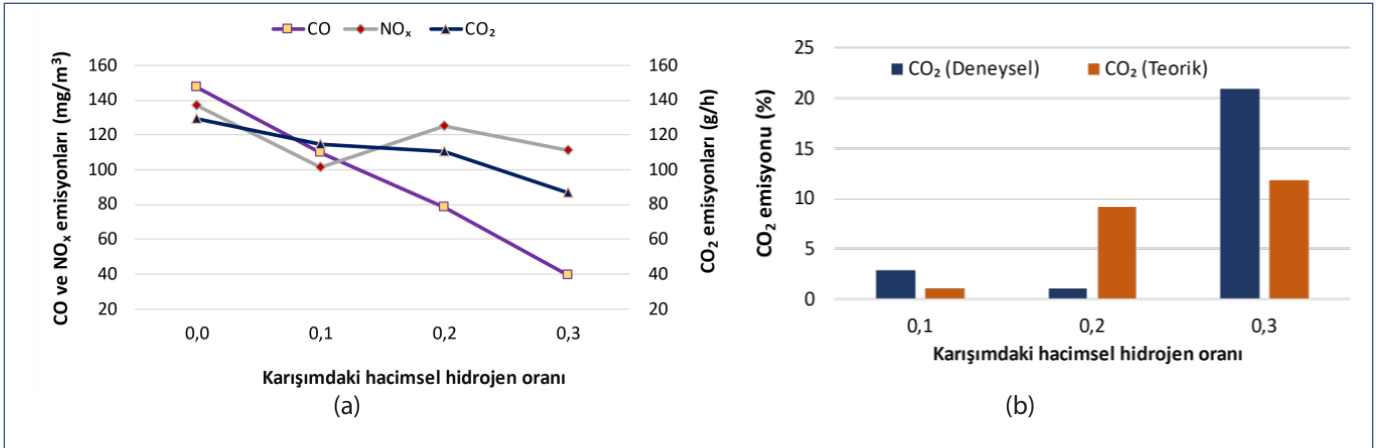
Şekil 1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Hidrojen Üretimi, Depolanması, Dağıtımı ve Kullanım Alanları (Kaynak [6]'dan uyarlanmıştır.)



Şekil 2. Hidrojen Araştırma Merkezinde Hidrojen ve Doğal Gaz Karışımının Evsel Ocaklarda Test Edilmesi

ren), manometreler ve basınç regülatörleriyle donatılmış paslanmaz çelik bir boru hattı aracılığıyla çeker ocak içerisinde bulunan ocağa beslenmektedir. Boru hattında gazın debisi akış kontrol vanası ile istenilen oranlara ayarlanabilmektedir. Gazın basıncı, basınç regülatörleri tarafından ocağın çalışma basıncına düşürülmektedir. Daha sonra,

ocağa beslenen gazın basıncı manometre ile ölçülmektedir. Deneyler için seçilen ocak, 19-21 mbar basınç aralığında çalışmaktadır. Yanma verimini değerlendirmek için her biri 5 kg'lık musluk suyu içeren iki kap, aynı anda yalnız doğal gaz ve doğal gaz-hidrojen karışımıyla beslenen ayrı ocaklara yerleştirilmiştir. Su ortam sıcaklığından 60 °C'ye



Şekil 3. Hidrojen Enerji Ekosisteminin Genel Görüntüsü

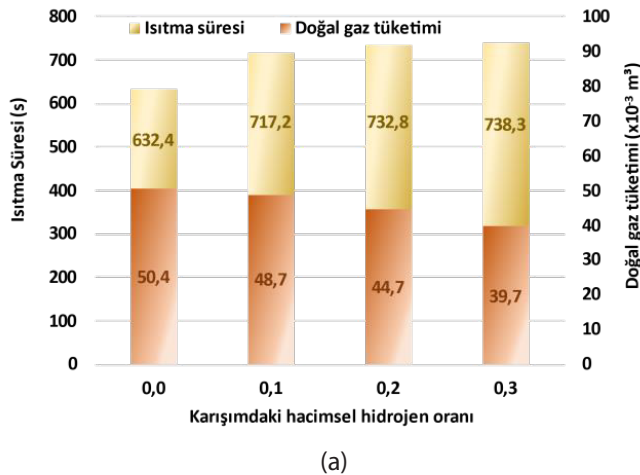
ısıtılırken geçen süre bir kronometre ile tutularak ısıtma süresi belirlenmiştir. Hattaki hidrojen ve doğal gaz oranlarını kontrol etmek için bir gaz analizörü kullanılmıştır.

Farklı hacimsel oranlarda hidrojen içeren doğal gazın ocakta yanması sonucu oluşan CO₂, CO ve NO_x salımları TESTO 350 baca gazı analiz aygıtıyla ölçülmüştür. Baca gazı analiz sonuçları Şekil 3a ve 3b'de verilmiştir. Şekil 3a'da CO salımının önemli ölçüde düştüğü gözlenmektedir. Bu durum, CO zehirlenmelerinden kaynaklanan ölümlerin önlenmesi boyutunda çok önemli bir sonuca ulaşıldığını göstermektedir. Bunun yanında, farklı karışım senaryoları için yaşam döngüsü analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizde beş etki kategorisi irdelenmiştir. Bunlar, insanı zehirlenme olasılığı, asitlenme olasılığı, küresel ısınmaya etki olasılığı, ozon tüketme olasılığı ve abiyotik (fosil yakıt ve mineraller gibi cansız kaynakların) tükenme olasılığıdır.

NO_x ve CO₂ Salımlarına Etkisi (b) Teorik ve Deneysel Olarak Elde Edilen CO₂ Salımlarına Etkisinin Karşılaştırılması

Doğal gaz ve hidrojen karışımı (hidrojen karışım oranı 0,2 olan) için hacim ve kütle bazlı alt ısıl değerler sırasıyla 29,11 MJ/m³ ve 49,71 MJ/kg olarak belirlenmiştir. Doğal gaz ve hidrojenin Wobbe indeksleri sırasıyla 50,4 MJ/m³ ve 43,0 MJ/m³ olarak bulunmuştur. Hacimce 0,2 hidrojen ve 0,8 doğalgaz karışım oranında olan karışımın Wobbe indeksi 47,7 MJ/m³ olarak hesaplanmıştır. Karışımdaki hacimsel hidrojen oranının yanma verimine olan etkisi Şekil 4a ve 4b'de gösterilmiştir. Ocağın enerji verimi, karışımda hacimce 0,3 hidrojen karışım oranıyla %4,4 oranında artış göstermiştir. Aynı zamanda CO₂ salımındaki azalma, 0,3 hacimsel hidrojen karışım oranında %20,87 olarak ölçülmüştür [10].

Ayrıca, Şekil 5'de verilen altı farklı delik geometrileri olan



Şekil 4. Karışımdaki Hacimsel Hidrojen Oranının (a) Isıtma Süresi ve Doğal Gaz Tüketimine (b) Verimdeki Artışa ve Doğal Gazdaki Azalışa Etkisi



Şekil 5. Tasarlanan Ocak Başlıklarının (a) Üstten ve (b) Yandan Görünüşü

ocak başlığı kullanılması durumunda yanma veriminin değerlendirilmesi için 380 gram musluk suyu ısıtılarak her bir ocak başlığının kullanımındaki farklılıklar gözlenmiştir. Bu çalışmada yakıt olarak, doğal gaz ve hacimce %30 hidrojen içeren doğal gaz kullanılmıştır. Farklı ocak başlıklarının alev davranışları üzerindeki etkisi ise yazarların bir başka çalışmasında araştırılarak sonuçlar alev fotoğrafları ve alevlerin en boy oranı olarak verilmiştir [11].

3. SONUÇ

Bu yazıda, yazarların doğal gaz ve hidrojen karışımının evsel aygıtlarda kullanımına yönelik yapmış olduğu deneysel çalışmalar açıklanmıştır. Doğal gaza farklı hacimsel karışım oranlarında hidrojen eklenerek, yanma veriminin ve gaz salımlarının değişimi incelenmiştir. Ayrıca farklı ocak başlıkları kullanımı durumunda oluşan alev profilleri incelenerek, ocak başlığı geometrisinin yanma verimine etkisi araştırılmıştır. Aşağıda bazı önemli sonuçlar verilmiştir:

- Karışım içerisine hidrojen eklenmesi, ocağın yanma verimini artırmıştır.
- Hidrojen eklenmesiyle birlikte karışımın hacimsel ısı değerinin düşmesi, ocaktaki ısıtma sürelerini artırmıştır. Fakat doğal gaz yerine doğal gaz-hidrojen karışımı kullanımı, toplam doğal gaz tüketimini azaltmıştır.
- Hacimsel hidrojen karışım oranı arttıkça yanma sonucu oluşan karbon salımları düşüş göstermiştir. Bu düşüş, ülkemizdeki CO ölümlerinin önlenmesi boyutunda çok büyük bir önem taşımaktadır.
- Elde edilen sonuçlar, doğal gaza hidrojen eklenmesi ile her bir ocak başlığı için alevin yassılaştığı ve alev yüksekliğinin azaldığını göstermektedir.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmayı 2022-4765 ve FBA-2022-4767 numaralı projeler kapsamında destekleyen Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

1. **Acar, C., Dincer, I.** 2014. "Comparative assessment of hydrogen production methods from renewable and non-renewable sources", *International Journal of Hydrogen Energy*, cilt 39, sayı 1, s. 1-12. doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.10.060.
2. **Ferrarotti, M., De Paepe, W. ve Parente, A.** 2021. "Reactive structures and NOx emissions of methane/hydrogen mixtures in flameless combustion", *International Journal of Hydrogen Energy*, cilt 46, s. 34018-34045.
3. **Guo, Q., Liu, J., Liang, W. ve Wang, H.** 2023. "On the explosion characteristics of natural gas with hydrogen and inert gas additions", *Process Safety and Environmental Protection*, cilt 179, s. 700-713.
4. **Gondal, I.A.** 2019. "Hydrogen integration in power-to-gas networks", *International Journal of Hydrogen Energy*, cilt 44, s. 1803-1815. 10.1016/j.ijhydene.2018.11.164.
5. **Cozzi, F. ve Coghe, A.L.** 2006. "Behavior of hydrogen-enriched non-premixed swirled natural gas flames", *International Journal of Hydrogen Energy*, cilt 31, sayı 6, s. 669-677.
6. **Zhao, Y., McDonell, V. ve Samuelsen, S.** 2019. "Experimental assessment of the combustion performance of an oven burner operated on pipeline natural gas mixed with hydrogen", *International Journal of Hydrogen Energy*, cilt 44, sayı 47, s. 26049-26062.
7. **Ozturk, M., Sorgulu, F., Javani, N. ve Dincer, I.** 2023. "An experimental study on the environmental impact of hydrogen and natural gas blend burning", *Chemosphere*, cilt 329, s. 138671.
8. **Sorgulu, F., Ozturk, M., Javani, N. ve Dincer, I.** 2023. "Experimental investigation for combustion performance of hydrogen and natural gas fuel blends", *International Journal of Hydrogen Energy*, cilt 48, sayı 88, s. 34476-34485.
9. **Dincer, I., Javani, N., Sorgulu, F. ve Ozturk, M.** 2021. "Türkiye'de Yeşil hidrojenin üretilip doğal gaza karıştırılması çalışmaları", *Hidrojen Teknolojileri Derneği*. ISBN: 978-605-70717-2-9.
10. **Ozturk, M., Sorgulu, F., Javani, N. ve Dincer, I.** 2023. "Experimental investigation of various burner heads in residential gas stoves tested with hydrogen and natural gas blends", *International Journal of Hydrogen Energy*, cilt 53, s. 1344-1349.
11. **Sorgulu, F., Ozturk, M., Javani, N. ve Dincer, I.** 2023. "Effect of Burner Head Geometry on Flame Dispersion in Gas Stoves with Hydrogen and Natural Gas Blends", *Process Safety and Environmental Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.081>.