



Hidrojen ve Doğal Gaz Karışımının Evsel Cihazlarda Kullanımının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi

Experimental and Theoretical Investigation of Utilization of Hydrogen and Natural Gas Blend in Domestic Appliances

Fatih Sorgulu^{1*}, Merve Öztürk², Nader Javani³, İbrahim Dinçer⁴

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2734-106X, fatih@sorgulu.yildiz.edu.tr

² Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4414-0916, merveoz@yildiz.edu.tr

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9788-7888, njavani@yildiz.edu.tr

⁴ Ontario Tech University, Ontario, Kanada ve Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7092-2102, ibrahim.dincer@ontariotechu.ca

Geliş Tarihi: 5/01/2022 – Kabul Tarihi: 14/03/2022

DOI: 10.55205/joctensa.11202244

ATIF: Sorgulu, F., Öztürk, M., Javani, N., & Dinçer, İ., (2022). Hidrojen ve doğal gaz karışımının evsel cihazlarda kullanımının deneysel ve teorik olarak incelenmesi. *Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 23-38.

Öz

Günümüz ekonomilerinde nüfusun artışı ve yaşam kalitesindeki değişiklikler, enerji üretim altyapısında da büyük değişiklikleri beraberinde getirmektedir. Fosil yakıt kullanımı sonucu ortaya çıkan karbondioksit emisyonlarını azaltmak ve iklim değişikliği ile mücadele etmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Bu eğilimin nedeni, dünya genelinde artan enerji talebi ve fosil yakıt tüketimidir. Doğal gaz, toplam enerji talebinin üçte birini oluşturan ve küresel olarak en yüksek karbon emisyonunu üreten fosil yakıttır. Hidrojen ise, daha düşük sera gazı emisyonları ve sürdürülebilir enerji sağladığı için başta yenilenebilir enerji bazlı sistemler olmak üzere

* Sorumlu yazar: fatih@sorgulu.yildiz.edu.tr

entegre enerji sistemlerinde büyük ilgi görmektedir. Bu bağlamda hidrojen, enerji güvenliği ve sürdürülebilirlik için kritik bir enerji taşıyıcısı olarak görülmektedir. Bu çalışmada hidrojenin doğal gaza karıştırılmasının yanma üzerindeki etkileri deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Doğal gaza hidrojen ilavesiyle hacim bazlı alt ısı değer artarken, Wobbe indeksi ve yoğunluk değerleri düşmektedir. Doğal gazın içerisine karıştırılan hidrojen oranı hacimsel olarak %0'dan %20'ye çıkarıldığında; Wobbe indeksi 50.395 kJ/m³ değerinden 47.654 kJ/m³ değerine düşerken, çevreye olan karbondioksit emisyonları %9,1'den %7,9'a azalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojen, doğal gaz, karışım, yanma, emisyon.

Abstract

Development of appropriate energy systems and infrastructures is inevitable in societal progress. Renewable energy deployment should be boosted to combat local and global environmental impact in general and climate change in specific, due to the increased carbon dioxide emissions, particularly from fossil fuel processes. Natural gas is a fossil fuel that accounts for one-third of the total energy demand and produces the highest carbon emissions globally. Hydrogen, on the other hand, is among the best candidates to reform the energy trend from fossil fuels to carbon-free sustainable energy systems. In this study, the advantages/disadvantages of blending hydrogen with natural gas on the combustion are investigated experimentally and theoretically. With the addition of hydrogen into natural gas, the volumetric heating value increases, while the Wobbe index and density values decrease. When the proportion of hydrogen blended into the natural gas reaches up to 20% by volume, the Wobbe index decreases from 50,395 kJ/m³ to 47,654 kJ/m³, and the carbon dioxide emission decreases from 9.1% to 7.9%, respectively.

Keywords: Hydrogen, natural gas, blend, combustion, emission.

GİRİŞ

Çevresel, ekonomik ve teknik açıdan sürdürülebilir çözümler, artan enerji talebi ve çevre kirliliğinin üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır. Enerji sistemlerinde çeşitlilik sağlamak elektrik, ısıtma, soğutma ve temiz su sağlamada hayati önem taşımaktadır. Enerji güvenilirliği, enerji depolama seçenekleriyle entegre edilmiş, yenilenebilir enerji tabanlı sistemlerle sağlanabilir. Günümüzde çevre bilinci her zamankinden daha önemli hale gelmiştir. CO, CO₂, SO₂, NO_x emisyonları ve yanmamış hidrokarbonlar birincil çevre sorunları olarak kabul edilmektedir. Yenilenebilir enerji ve

depolama seçeneklerini entegre ederek fosil yakıt kaynaklarını akıllıca kullanmak kritik olacaktır. Çevreye zarar vermeden elektrik üretmek için muazzam bir yenilenebilir enerji potansiyeli mevcuttur. Yenilenebilir enerji kaynaklı sistemler, yaşam kalitesini koruyarak daha temiz bir çevre için umut vadeden alternatiflerdir. Ancak, fosil yakıtlar pek çok ülkede yaygın olarak elektrik, ulaşım, ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA, 2021) göre dünyada toplam elektrik üretiminin ortalama %74'ü kömür, doğal gaz, petrol ve nükleer enerji kullanılarak sağlanmaktadır. Elektrik gibi, ısınma ve ulaşım için de fosil yakıt kaynaklı enerji kullanımı yaygındır. Fosil yakıt kullanımı, insan sağlığına, insan refahına ve ekosistemlere birçok dezavantaj ve zararlar sonuçlanmaktadır (Stougie vd., 2018). Bu zararları, sınırlı fosil kaynaklar ve bunların dünya genelinde heterojen bir şekilde dağılımı, değişen fiyat politikaları, hızlı tüketimleri ve sera gazı emisyonları olarak özetleyebiliriz (Zhang, 2017). Paris'te emisyonlarla mücadele amacıyla düzenlenen Conference of the Parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP21) etkinliğinde, küresel sıcaklık artışının sanayi öncesi seviyelere göre 2 °C'nin altında tutulması kararlaştırılmıştır (UNFCCC, 2015). İklim değişikliğinin artan görünür etkileri ile son yıllarda dünya ekonomilerinin fosil yakıtlardan çekilme çabaları artmıştır. Enerji sektörünün karbondan arındırılması, fosil yakıtların kullanımının ortadan kaldırılmasını ve/veya en aza indirilmesini gerektirmektedir. 82 milyon nüfuslu Türkiye'de 2020 yılında doğal gaz tüketimi 48 milyar m³'e ulaşmış durumdadır (EPDK, 2021).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi bir fotovoltaik (FV) panel vasıtasıyla elektriğe dönüştürülür. Ticari, konut ve endüstriyel amaçla FV panel kurulumları teknolojinin gelişmesiyle son on yılda hızla artmış durumdadır. Rüzgâr türbinleri de benzer şekilde yıllardır artan bir ilgiyle kurulmaya devam etmektedir. Güneş panelleri ve rüzgâr

türbinleri güneş ışınımı ve rüzgâr hızının elektrik talebinden daha fazla elektrik üretecek seviyede olduğu durumlar için depolama alt üniteleri ile inşa edilmelidir.

Bir kimyasal enerji depolama seçeneği olarak hidrojen, üretilen elektriği çevreye zarar vermeyecek şekilde depolamak için umut verici bir çözümdür. Özellikle yenilenebilir enerjiye dayalı sistemler ile üretilen hidrojen, yakıt hücrelerinde yakıt olarak kullanılmak üzere gaz, sıvı ve metal hidrit formunda depolanır. Burada potansiyel bir çözüm olarak mevcut doğal gaz boru hatlarına hidrojen enjeksiyonu üzerinde durulmuştur. Yüksek hidrojen depolama maliyeti nedeniyle mevcut hatların hidrojen depolanması ve taşınması için kullanılması oldukça ekonomik ve güvenilir bir yöntemdir. Ayrıca burada hidrojen kullanımı için başka bir çözüm analiz geliştirilmektedir. Fazla elektrik kullanılarak üretilen hidrojen, mevcut doğal gaz boru hattına doğrudan enjekte edilebilir ve doğal gaz kullanılan cihazlarda yakıt olarak kullanılabilir. Mevcut doğal gaz şebekesine hidrojen eklenmesi ile, rüzgâr santralleri gibi yenilenebilir enerji sistemlerini daha yaygın olarak kullanmak mümkün olacaktır (Melaina vd., 2013). Ayrıca, hidrojen karbon içermeyen yapısı nedeniyle, yakıt olarak yakıldığında zararlı emisyonlar üretmez. Hidrojen kullanımının hava kirliliği, küresel ısınma ve dolayısıyla iklim değişikliği gibi bazı çevresel ve sosyal sorunların çözümüne yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Sherif vd., 2015). Bu sayede hidrojen için bir depolama seçeneği sunulurken, doğal gaz da daha etkin bir şekilde kullanılabilir. Hâlihazırda tüm dünyada milyonlarca kilometre uzunluğundaki düşük basınçlı doğal gaz boru hatları, hidrojen depolanması ve taşınması için kritik bir yoldur. Türkiye’de hidrojen enjeksiyonuna uygun 38.340 km’lik servis hattı ile düşük basınçlı (dört bar) doğal gaz taşınmaktadır (EPDK, 2019).

Ateşlemeli motorlarında hidrojen ve doğal gaz karışımının yanması üzerine yapılan birçok çalışmaya rağmen, hidrojenin kombi ve ocakta yanmasının performans etkisini analiz etmek için özgün araştırmalara

ihtiyaç vardır. Deheri vd. (2020) motorun optimum performansını ve emisyon özelliklerini belirlemek için sıkıştırma ateşlemeli motorlarda metan, karbondioksit ve hidrojen karışımları ile ilgili çalışma yaptılar. Azot oksit emisyonlarındaki azalmayı ve tepe silindir basıncındaki ve ısı yayma hızındaki artışı hesapladılar. (Mahmood vd., 2018), yakıt olarak hidrojen ve sıkıştırılmış doğal gaz karışımını kullanan bir motor üzerinde deneysel ve teorik bir çalışma gerçekleştirdiler. Değişen tasarım parametreleri için yakıt özelliklerini tanımlamak için hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile bir simülasyon yaptılar. Yakıt karışımının homojenliğini iyileştirdiler.

Hatlardaki direnç problemlerinden dolayı hidrojenin doğal gaz boru hattına karıştırılmasının bir üst limiti bulunmaktadır. Bu limit genellikle hidrojen için hacimce %20 civarındadır (Götz vd., 2016). Mevcut boru hatlarında hidrojenin doğal gaza karıştırılması, Wobbe endeksini düşürür ve yanma özelliğini değiştirir. Öztürk ve Dinçer (2020), evsel cihazlarda kullanım için güneş ve rüzgâr enerjisi destekli hidrojen ve doğal gaz karışım sistemi önermişlerdir. Yapılan analizler sonucunda yanma reaksiyonundan kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının, yenilenebilir hidrojenin doğal gaza %20 hacimsel oranda karıştırılmasıyla azaldığı belirtilmiştir. Performans değerlendirmesine göre, toplam enerji ve ekserji verimliliği için en yüksek değerler mart ayında sırasıyla %67,3 ve %53,2, en düşük değerler ise aralık ayında sırasıyla %58,4 ve %44,2 bulunmuştur.

(Jones & Dunnill, 2021), %0'dan %50'ye kadar farklı hidrojen oranlarına sahip hidrojen ve doğal gaz karışımının yanmasındaki teknik riskleri ve en iyi tasarım koşullarını belirlemek için bir çalışma yaptılar. 1,0–2,4 mm arasında farklı çaplarda brülör ile üfleme eşiğini tanımlamak için deneysel testleri gerçekleştirdiler. Jet başına 80 W'a kadar enerji akış oranlarına sahip bir brülör düşündüler. Hava/yakıt ön karışımının enerji yoğunluğu, toplam molar akış hızı, üfleme başlangıcında üretilen enerji ve jet açıklığı çapının yanan yakıtın çıkış gücüne etkisini karşılaştırdılar.

Sorgulu ve Dinçer (2022), çeşitli yakıtlarla çalışan trijenerasyon sistemlerinin termoeconomik ve çevresel etkilerini analiz etmek için bir çalışma yaptılar. Dizel, kömür, biyogaz ve biyodizel gibi çeşitli yakıtlarla hidrojen doğal gaz karışımını karşılaştırdılar. 100 haneden oluşan bir topluluk için ihtiyaç duyulan elektrik, ısı, temiz su ve doğal gaz karışımı için gereken hidrojeni karşılayacak solar FV panel ve rüzgâr türbini ihtiyacını optimum bir şekilde karşılamak için analiz yaptılar. Sermaye, yakıt, işletme ve bakım maliyetlerini ayrıntılı olarak hesapladılar. Ayrıca yanma sonucu ortaya çıkan karbonmonoksit, karbondioksit, azot oksit, kükürt dioksit, yanmamış hidrokarbonlar ve partikül maddelerin miktarlarını karşılaştırdılar. Hidrojen ve doğal gaz karışımı esaslı (DG-%80 ve H₂-%20) sistemin enerji ve ekserji verimlerini %27,47 ve %37,43 olarak hesapladılar. Diğer yandan, hidrojenin doğal gaz şebekesine karıştırılmasını ele alan projeler dünya çapında ilgiyle devam etmektedir. Son üç yıl içinde devam eden ve yapılması planlanan projeler Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca planlama aşamasında pek çok proje mevcuttur. Bunlardan bir tanesi de 2025 yılında Birleşik Krallıkta gerçekleştirilmesi planlanan HyNet North West projesidir (HyNet, 2022).

Tablo 1

2018 Yılı ve Sonrasında Başlamış ve Halen Devam Eden Projeler

Proje İsmi	Ülke	Başlama Tarihi	Hidrojen Üretimi	Uygulama	Kaynak
Jupiter 1000	Fransa	2018	Alkali ve PEM Elektrolizör (1 MW)	Hatta enjeksiyon Metanlaşma	(Jupiter 1000, 2022)

Tablo 1 (Devam)

2018 Yılı ve Sonrasında Başlamış ve Halen Devam Eden Projeler

Underground Sun Storage	Avusturya	2018	Alkali Elektrolizör (0,6 MW)	Hatta enjeksiyon Depolama	(USS, 2022)
Wind to Gas Südermarsch	Almanya	2018	PEM Elektrolizör (2,5 MW)	Hatta enjeksiyon Depolama	(Hydrogenics, 2019)
HyP SA	Avustralya	2018	Elektrolizör (1,25 MW)	Hatta enjeksiyon Depolama	(HyP SA, 2022)
MéthyCentre	Fransa	2019	PEM Elektrolizör (250 kW)	Ulaşım Metanlaşma	(MéthyCentre, 2022)
H2ORIZON	Almanya	2019	PEM Elektrolizör (880 kW)	Ulaşım	(H2ORIZON, 2022)
H2 Wyhlen	Almanya	2019	Alkali Elektrolizör (1 MW)	Depolama	(Energiediens t, 2022)
HyDeploy	Birleşik Krallık	2019	PEM Elektrolizör (0,5 MW)	Hatta enjeksiyon	(HyDeploy, 2022)
Low-Carbon Energy Project	Kanada	2021	PEM Elektrolizör	Hatta Enjeksiyon	(Enbridgegas, 2022)
H2V Product	Fransa	2021	Alkali Elektrolizör (100 MW)	Hatta enjeksiyon	(H2V, 2022)

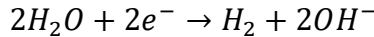
Bu çalışmada, hidrojenin doğal gaza karıştırılması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklı deneysel bir sistem Türkiye’de ilk defa kurulmuştur. Bu sistemde FV paneller ve rüzgâr türbinleri yenilenebilir enerji kaynakları olarak kullanılmakta ve üretilen güç, hidrojen üretmek ve doğal gaza karıştırmak için elektrolizör ünitesine beslenmektedir. Hidrojen ve doğal gaz karışımı, kombi ve ocak gibi evsel cihazlara beslenmektedir. Sistem performansı ve doğal gaza hidrojen ilavesinin kombiden atılan baca gazı emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. İncelenen sistem, FV paneller,

rüzgâr türbinleri, alkali su elektrolizörü, depolama için hidrojen ve oksijen tüpleri, karıştırma ve yakma cihazlarından oluşmaktadır.

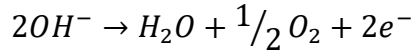
DENEYSEL SİSTEM TANITIMI

Konya’da yer alan GAZBİR-GAZMER laboratuvarında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu desteği, Yıldız Teknik Üniversitesi işbirliği ile kurulan sistemde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kurulan laboratuvarın yer aldığı binanın görüntüsü Şekil 1 (a)’da doğal gaz ve hidrojen hatları ile karışım sisteminin bir fotoğrafı da Şekil 1 (b)’de gösterilmektedir. Sistemin elektrik gereksinimi laboratuvar binasının çatısı üzerine kurulmuş olan güneş panelleri ve rüzgâr türbini ile karşılanmaktadır. Sistemde hidrojen üretimi, bir alkali elektrolizör aracılığıyla suyun elektrolizi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Alkali elektrolizör ünitesine beslenen su, şebeke suyunun saflaştırılmasıyla elde edilen saf sudur. Elektrolizörde saf su, bir elektrokimyasal proses ile hidrojen ve oksijene ayrıştırılır. Alkali elektrolizörün katot, anot ve toplam reaksiyonları aşağıdaki gibidir:

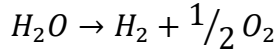
Katot reaksiyonu,



Anot reaksiyonu,



Toplam reaksiyon,



Şekil 1

(a) Kurulan Laboratuvarın Yer Aldığı Bina

(b) Doğalgaz ve Hidrojen Hatları ile Karışım Sistemin Fotoğrafı

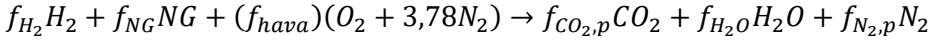


Elektrolizör ünitesinde üretilen maksimum 10 bar basınçtaki hidrojen gazı tüplerde depolanmaktadır. Depolanan hidrojen gazının basıncı, Şekil 2'de gösterilen karışım ünitesinde 4 bar değerine düşürülerek aynı basınçta şebekeden gelen doğal gaz ile homojen olarak karıştırılmaktadır. 4 bar basınçtaki karışım gazının basıncı bir basınç regülatörü aracılığı ile evsel cihazların çalışma basıncı olan 21 mbar değerine düşürülerek ocak ve kombiye beslenmektedir. Karışım gazının homojenliği ocak ve kombi gibi evsel cihazlara beslenmeden önce belirli bölgelerde gaz analiz cihazı ile kontrol edilmektedir. Deneylerde karışım gazındaki hidrojen oranları hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 iken doğal gaz oranları hacimsel olarak %95, %90, %85 ve %80 alınmıştır. Karışım oranları, doğal gaz ve

hidrojen hatlarında bulunan akış kontrol vanaları aracılığı ile sistem üzerinde değiştirilebilmektedir.

ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

Hidrojen ve doğal gaz karışımının yanma reaksiyonu, havanın %20,9 oksijen ve %79,1 azottan oluştuğu varsayılarak aşağıdaki gibi yazılabilir:



Burada, f gazların hacimsel oranlar, $ü$ ve g , ürünler ve reaksiyonlara girenler anlamına gelmektedir. Hesaplamalarda şebekede kullanılan doğal gaz (%92,3 metan, %3,42 etan, %1,12 propan, %0,54 bütan, %0,16 pentan, %0,04 hekzan, %2,16 azot, %0,27 karbondioksit) dikkate alınmaktadır. DIN 51857'ye göre yanma odasına beslenen gaz yakıtların akış enerjisini kıyaslamak için kullanılan Wobbe indeksi (WI) şu şekilde tanımlanabilir (Beuth Publishing DIN, 2022):

$$WI_i = \frac{AID_{vol,i}}{\sqrt{\frac{\rho_i}{\rho_{hava}}}} \quad (1)$$

Burada AID ve ρ sırasıyla gazların hacimsel alt ısı değeri (kJ/m^3) ve yoğunluğudur (kg/m^3). Güneş paneli enerji dönüşüm verimliliği aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\eta_{FV} = \frac{W_{E,FV}}{IA_{FV}} \quad (2)$$

Rüzgâr türbininin kinetik enerjisi, rotorun süpürülen alanı (A_r) dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\dot{E}_{rüzgâr} = \frac{1}{2} \rho_{hava} A_r V_{rüzgâr}^3 \quad (3)$$

Rüzgâr türbini tarafından üretilen net güç, güç katsayısı, mekanik verim ve jeneratörün verimi dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\dot{W}_{jen} = c_p \eta_{mek} \eta_{jen} \dot{E}_{rüzgâr} \quad (4)$$

Güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinden elde edilen fazla elektrik, hidrojen üretmek için elektrolizörde kullanılmaktadır. Elektrolizör ünitesinin enerji verimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\eta_{en,EL} = \frac{\dot{m}_{H_2} AID_{H_2}}{W_{EL}} \quad (5)$$

Sistemde kullanılan güneş panelleri ve rüzgâr türbininin teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2

Sistemde Kullanılan Güneş Panelleri ve Rüzgâr Türbininin Teknik Özellikleri (Sorgulu & Dinçer, 2022)

Parametreler	Birim	Değer
Rüzgâr Türbini;		
Gücü	kW	2
Kanat Çapı	m	3,3
Optimum Çalışma Hızı	m/s	12,5-25
Elektrik Üretimine Başlama Hızı	m/s	3,8
Güneş Paneli;		
Modül Verimi	%	20,1
Panel Ömrü	yıl	25
Toplam Alan	m ²	800

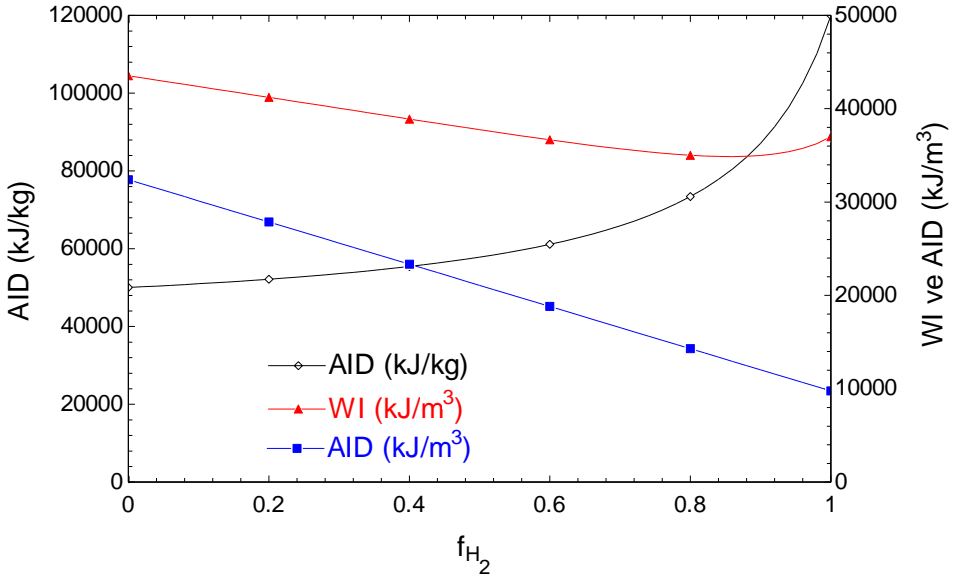
BULGULAR VE TARTIŞMA

Hidrojen ve doğal gaz karışımı içerisindeki hacimsel hidrojen oranının kütle ve hacim bazlı alt ısıl değer (AID) ve Wobbe indeksi değerlerine etkisi Şekil 2’de görülebilir. Wobbe indeksi, yakıt olarak kullanılan gazların birbiriyle değiştirilebilirliğinin ve bu gazların enerjiyi iletme yeteneklerinin

göreceli bir ölçüsüdür. Gazların yanma performanslarını karşılaştırmak için kullanılmaktadır.

Şekil 2

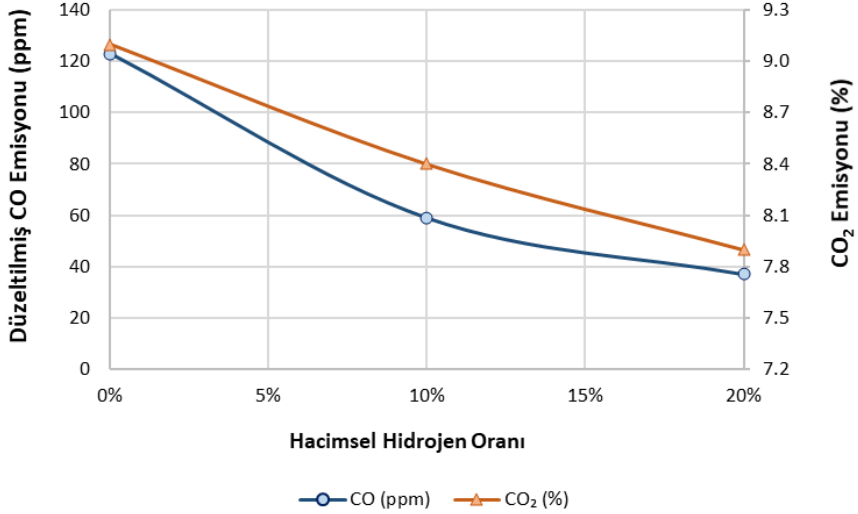
Karışımın Wobbe İndeksi ve Alt Isıl Değerlerinin Karışımdaki Hidrojen Oranı ile Değişimi



Kombiden atılan baca gazı içeriği Wöhler A450 marka ve model baca gazı analiz cihazı ile ölçülmüştür. Hacimce %0, %10 ve %20 hidrojen içeren hidrojen ve doğal gaz karışımı için düzeltilmiş karbonmonoksit ve karbondioksit emisyon değerleri Şekil 3'te gösterilmektedir.

Şekil 3

Hidrojen Karışım Oranının Kombideki Baca Gazı Emisyonlarına Etkisi



SONUÇLAR

Ülkemizde ilk defa hidrojen ve doğal gaz karışımının evsel cihazlarda kullanılması ile ilgili Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği Teknik Merkezinde (GAZBİR-GAZMER), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı desteği ile kurulan laboratuvarında kapsamlı deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kurulan sistemin elektrik ihtiyacı güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri ile karşılanmaktadır. Hidrojen ve doğal gaz karışımı, doğal gazla çalışan evsel cihazlarda test edilmiştir. Burada deneysel olarak, doğal gaza hidrojen enjeksiyonu ve karışım gazının ocaklarda ve kombilerde yakılması çalışılmıştır. Bu çalışmada elde edilen başlıca bulgular şu şekilde sıralanabilir:

- Doğal gazın içerisine karıştırılan hidrojen oranı hacimsel olarak %0'dan %20'ye çıkarıldığında Wobbe indeksi 50.395 kJ/m^3 değerinden 47.654 kJ/m^3 değerine düşmektedir.

- Hidrojenin hacimsel karışım oranı %20 olduğunda, kombi baca gazından çevreye olan karbondioksit emisyonları %9,1'den %7,9'a azalmaktadır.

KAYNAKLAR

- Beuth Publishing DIN. (2003). *Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase* (DIN 51857:1997-03). <https://www.beuth.de/de/norm/din-51857/2918924>
- Deheri, C., Acharya, S. K., Thatoi, D. N., & Mohanty, A. P. (2020). A review on performance of biogas and hydrogen on diesel engine in dual fuel mode. *Fuel*, 260, 116337. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116337>
- Enbridgegas (22 Şubat 2022). *Low-Carbon Energy Project*. Enbridge. <https://www.enbridgegas.com/about-enbridge-gas/projects/low-carbon-energy>
- Energiedienst (22 Şubat 2022). *Wasserstoffanlage am Wasserkraftwerk Wyhlen*. Energie Dienst. <https://www.energiedienst.de/produktion/wasserstoff/power-to-gas/>
- EPDK. (2019). *2019 Yılı Doğal Gaz Piyasası Yıllık Sektör Raporu*. https://www.gazbir.org.tr/2019-dogalgaz-sektor-raporu/files/downloads/2019_YILI_DOGAL_GAZ_DAGITIM_SEKTOOR_RAPORU.pdf
- EPDK. (2021). *2020 Yılı Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu*. https://www.gazbir.org.tr/uploads/page/2020_Yili_Dogal_Gaz_Sektor_Raporu.pdf
- Götz, M., Lefebvre, J., Mörs, F., Koch, A. M., Graf, F., Bajohr, S. & Kolb, T. (2016). Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review. *Renewable Energy*, 85, 1371-1390.
- H2ORIZON, (18 Şubat 2022). *H2ORIZON – Mit Windstrom ins Weltall*. Energie & Klimaschutz. <https://www.energie-klimaschutz.de/h2orizon-mit-windstrom-ins-weltall/>

- H2V PRODUCT (22 Şubat 2022). <http://h2vproduct.net/en/h2v-industry-home/>
- Hydrogenics (2019). *State of Play and Developments of Power-To-Hydrogen Technologies* [PowerPoint Sunusu]. Etip Wind. https://etipwind.eu/wp-content/uploads/A2-Hydrogenics_v2.pdf.
- HyDeploy (22 Şubat 2022). HyDeploy. <https://hydeploy.co.uk/about/technology/>.
- HyNet North West (22 Şubat 2022). HyNet. <https://hynet.co.uk/>.
- Australian Gas Infrastructure Group. (19 Şubat 2022). *Hydrogen Park South Australia*. Australian Gas Infrastructure Group. <https://www.agig.com.au/hydrogen-park-south-australia>
- Jupiter 1000 project (21 Şubat 2022). Jupiter 1000. <https://www.jupiter1000.eu/english>.
- Mahmood, H. A., Adam, N. M., Sahari, B. B., & Masuri, S. U. (2018). Development of a particle swarm optimisation model for estimating the homogeneity of a mixture inside a newly designed CNG-H₂-AIR mixer for a dual fuel engine: An experimental and theoretic study. *Fuel*, 217, 131-150.
- Melaina, M. W., Antonia, O., & Penev, M. (2013). *Blending hydrogen into natural gas pipeline networks: a review of key issues* (NREL/TP-5600-51995). NREL. <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/51995.pdf>
- MéthyCentre (22 Şubat 2022). Meth Centre. <https://methycentre.eu/>
- Ozturk, M., & Dinçer, I. (2020). Development of renewable energy system integrated with hydrogen and natural gas subsystems for cleaner combustion. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 83, 103583.
- Sherif, S. A., Goswami, D. Y., Stefanakos, E. L., & Steinfeld, A. (Eds.). (2014). *Handbook of hydrogen energy*. CRC Press.
- Sorgulu, F., & Dinçer, I. (2022). Thermo-economic and impact assessments of trigeneration systems with various fuels. *Fuel*, 317, 123503.

- Stougie, L., Giustozzi, N., van der Kooi, H., & Stoppato, A. (2018). Environmental, economic and exergetic sustainability assessment of power generation from fossil and renewable energy sources. *International Journal of Energy Research*, 42(9), 2916-2926.
- UNFCCC S. (2015). Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. Addendum. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its twenty-first session, United Nations Framework Convention on Climate Change Bonn; 2015.
- USS, 2030 Underground Sun Storage 2030. (22 Şubat 2022). Underground Sun Storage 2030. <https://www.uss-2030.at/en/>
- Zhang, X. R. (2017). Natural future of energy utilization. *International Journal of Energy Research*, 41(6), 757-760.

Yazar Katkıları

Fatih Sorgulu ve Merve Öztürk: Veri toplama, Analiz, Deneysel Çalışmalar. Nader Javani: Analiz, Değerlendirme. İbrahim Dinçer: Kavramsallaştırma, Proje yönetimi, Denetim.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından çıkar çatışmasının olmadığı rapor edilmiştir.

Fonlama

Herhangi bir fon desteği alınmamıştır.

Not

Yazarlar, veri sağlayan GAZBİR-GAZMER'e (Türkiye Doğal Gaz Dağıtım Şirketleri Derneği Teknik Merkezi) ve deneysel çalışmalara mali destek sağlayan Türkiye Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na (EPDK) teşekkür eder.

Etik Bildirim

Çalışma için etik kurul izni gerekmemektedir