



## KOMBİLER İÇİN YARI KÜRESEL GÖZENEKLİ METAL MATRİS YAKICININ GELİŞTİRİLMESİ

Muhammed Arslan OMAR\*, Kemal ALTINIŞIK\*\* ve İbrahim Aslan REŞİTOĞLU\*\*\*

\*Kafkas Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü  
36000 Kampüs, Kars, arslanomar3@yahoo.com

\*\*Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü  
42030 Kampüs, Konya

\*\*\* Mersin Üniversitesi Teknik Bilimler M.Y.O. Otomotiv Teknolojisi Bölümü  
33480 Kampüs, Mersin

(Geliş Tarihi: 04.09.2014, Kabul Tarihi: 20.06.2015)

**Özet:** Bu çalışmada kombi ve diğer yanma sistemleri için yarı küresel gözenekli metal matris yakıcı geliştirilmiştir. Burada konvansiyonel yanma sistemlerinde kullanılan seramik gözenekli ortam yerine gözenekli metal matris yakıcı kullanılmıştır. Geliştirilen yarı küresel gözenekli metal matris yakıcı yanma odasına yerleştirilerek deneysel çalışma yapılmıştır. Yakıcının değişik debilerdeki performansını ölçmek için farklı debilerde olmak üzere 4 deney yapılmıştır (0,048 kg/s, 0,075 kg/s, 0,105 kg/s and 0,125 kg/s). Deneyselerde yarı küresel gözenekli metal matris yakıcının yüzeyinde sıcaklık 1174 K olarak ölçülmüştür. Çalışmada CO emisyon değerleri sınır değerinin çok altında ve yanma verimi %99,2 olarak elde edilmiştir. Yanma işlemindeki iyileştirmeler sonucunda emisyon değerleri düşürülmüş, yakıt ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kombi, yarı küresel yakıcı, enerji tasarrufu, yanma.

## DEVELOPMENT OF SEMI-SPHERICAL POROUS METAL MATRIX BURNER FOR COMBIES

**Abstract:** In this study, a semi-spherical porous metal matrix burner was developed for boiler combies and other combustion systems. Unlike the conventional ceramic porous medium, metal matrix has been used as porous medium. Experimental investigations on performance of the burner have been carried out. Burner was tested at four different flow rates (0,048 kg/s, 0,075 kg/s, 0,105 kg/s and 0,125 kg/s). Tests showed the temperature on the burner surface has reached up to 1174 K. Value of CO emission dropped under the limit values, and the value of 99,2% was obtained for the efficiency of combustion. As a result, because of excellent combustion, the emission values reduced, and the energy saving was obtained.

**Keywords:** Combi boiler, semi-spherical burner, energy saving, combustion.

### SEMBOLLER:

$Q_B$	: birim zamanda yakıttan elde edilen ısı (W)
$H_u$	: yakıtın alt ısıl değeri (kcal/m <sup>3</sup> )
$v_y$	: yakıt hacimsel debisi (m <sup>3</sup> /h)
$\eta_{yanma}$	: yanma verimi (%)
$T_{egz}$	: egzoz gazı sıcaklığı (K, °C)
$T_{hav}$	: hava sıcaklığı (K, °C)
$k_1$	: sabit katsayı, LPG için 0,42
$k_2$	: sabit katsayı, LPG için 0,63
$TH$	: teorik hava miktarı (Nm <sup>3</sup> hava / Nm <sup>3</sup> gaz)
$FH$	: fazla hava miktarı (%)
$O_2$	: yanma sonu gazlarındaki O <sub>2</sub> yüzdesi (%)
$CO_2$	: yanma sonu gazlarındaki CO <sub>2</sub> yüzdesi (%)
PPI	: gözenek yoğunluğu (pore per inch)

### GİRİŞ

Geleneksel yanma sistemleriyle karşılaştırıldığında yanmanın gözenekli ortamda gerçekleştirilmesi, yüksek enerji verimliliği sağlamak ve yanma sonucunda açığa çıkan kirletici emisyon salınımlarını azaltmaktır (Mujeebu vd, 2011). Geniş yüzey alanına sahip olma, yüksek ısıl verimlilik, geniş güç aralıklarında çalışabilirlik, yüksek yanma oranları, yanma stabilitesi, gözenekli ortamda yanmanın sunmuş olduğu avantajlardır (Reis vd, 2014; Charoensuk ve Lapirattanakun, 2011).

Gözenekli yakıcılarda hava ve yakıt gözenekli ortama ulaşmadan önce karıştırılmaktadır. Yapının hacime oranla yüksek yüzey alanına sahip olması, yakıcı gazlar

ile kullanılan yakıt arasında etkili bir konvektif ısı iletiminin oluşmasını sağlamaktadır. Yanma bölgesinin önündeki ışıma ve iletimle gerçekleşen ısı transferinden dolayı ön yanma bölgelerinde yüksek sıcaklıklara erişebilmektedir (Mujeebu vd, 2009). Gözenekli ortamda, yanma bölgesindeki sıcaklık dağılımları homojen yapıda olmaktadır. Fakir karışımlarda bile yanama sağlanabilmekte ve eksik yanma ürünleri olan HC ve CO emisyonlarında önemli azalmalar görülebilmektedir.

Gözenekli ortamlarda yanma esnasındaki reaksiyon bölgesinin fazla olması katı ve gaz fazları arasında oldukça etkili bir ısı transferi olayının gerçekleşmesine neden olmaktadır. Isı transferinin etkin bir şekilde gerçekleşmesi yanmanın daha düşük alev sıcaklıklarında gerçekleşmesine ve bunun sonucunda NO<sub>x</sub> emisyon oluşumlarının azalmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda gözenekli ortamların yüksek ısı kapasitelerine sahip olması, ısı yüklenmelerindeki ani değişiklikler ve yüksek hava oranlarının olduğu durumlarda, yanma prosesinin yüksek bir kararlılıkta gerçekleşmesini sağlamaktadır (Wood ve Harris, 2008).

Enerji sirkülasyonu, yakıt buharlaşması, üç boyutta tutuşma ve ısı yayılımının düzgün dağılımı, gözenekli ortamda yanmanın sağladığı avantajlardandır. Yanmanın gözenekli ortamda gerçekleşmesi, alev hızını arttırmakta, alevlenebilirlik süresini uzatmakta ve geniş çalışma şartları sağlayabilmektedir (Bubnovich ve Toledo, 2007). Bu avantajlar gözenekli ortamın birçok farklı yanma uygulamalarında kullanılabilmesine imkan vermektedir.

Bakry ve arkadaşları (2010) akış debisi ve alev hızı arasında bir eşleştirme gerçekleştirerek, gözenekli ortamdaki yanmayla ilgili yeni bir teknik geliştirmiş ve deneysel olarak incelemişlerdir. Bu teknikte ön karışımı metan-hava karışımının homojen olmayan inert ortamda yüksek basınç oranlarında (1-9 bar) ve 20-400 °C sıcaklığındaki şartlarda yakarak yeni kararlı bir alev elde etmişlerdir. Gerçekleştirdikleri çalışmalar sonucunda CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında dikkate değer azalmalar saptamışlardır.

Yu ve arkadaşları (2013) metal fiber, seramik ve paslanmaz çelik levha olmak üzere üç farklı malzemeden oluşmuş gözenekli yakıcı ortamları, ısı verimleri ve oluşturdukları emisyon salınımları bakımından birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda, metal fiber

yakıcının en düşük CO emisyonuna sahip olduğunu, en yüksek CO emisyon oluşumlarının ise paslanmaz çelik levhadan yapılan yakıcıda gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Aynı zamanda, maksimum NO<sub>x</sub> emisyonu ve ısı verim değerleri metal fiber yakıcıda elde edilirken, minimum NO<sub>x</sub> emisyonları paslanmaz çelik levhadan oluşturulmuş yakıcıdan elde etmişlerdir.

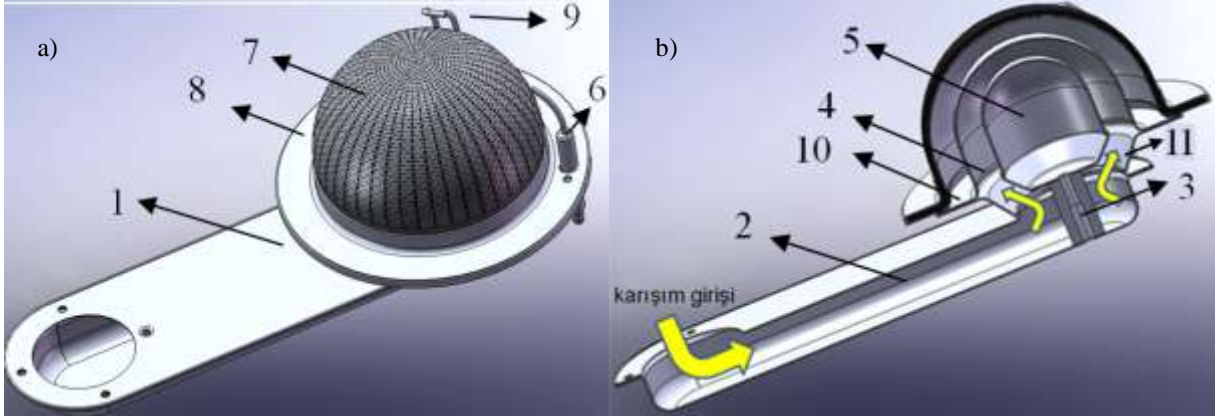
Wu ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalışmada gözenekli metal bir ortama sahip yakıcının, evlerde çok amaçlı olarak kullanılan ocaklara uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Tasarımını gerçekleştirdikleri yakıcının alev karakteristiklerini, sıcaklık dağılımlarını, ısı verimini ve yanma sonu oluşturdukları kirletici emisyonları deneysel olarak incelemiş ve elde ettikleri verileri tipik bir yakıcıyla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak geliştirilen yakıcının tipik yakıcıya oranla çalışma aralığı, emisyon oranı, verimi ve bu donelerin kontrol edilebilirliği açısından önemli avantajlar sergilediğini saptamışlardır.

Keramiotis ve Founti (2013) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, alt katmanda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve üst katmanda 10 PPI gözeneğe sahip SiSiC köpüğü olmak üzere iki katmanlı olarak tasarlamış oldukları yakıcıya ait ısı verimleri ve emisyon oluşumlarını incelemişlerdir. Yakıcı, hacimsel olarak %60 oranında metan ve %40 oranında karbondioksit karışımından oluşan yakıtla çalıştırılmıştır. Sonuçlar, geniş güç oranlarında düşük emisyonlu kararlı çalışma ve farklı ısı yüklemeler ile stokiyometrik oranlarda tam yanma gerçekleştiğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, kombilerde, kazanlarda ve diğer yanma sistemlerinde kullanılmak üzere yarı küresel, ön karışımı, gözenekli metal matris yakıcı geliştirilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak gözenekli ortam, seramik malzeme yerine metal malzemeden oluşturulmuştur. Yarı küresel gözenekli metal matris yakıcı paslanmaz metal sac malzemeden tasarlanarak üretilmiştir. Yakıcının performansının belirlenmesi amacıyla kurulan deney düzeneğinde, farklı akış debilerinde testler gerçekleştirilmiştir.

## **YARI KÜRESEL GÖZENEKLİ METAL MATRİS YAKICI**

Çalışmada geliştirilen yarı küresel metal matris yakıcı, paslanmaz çelik tel örgü ve paslanmaz çelik sacdan imal edilmiş olup Şekil 1'de bu yakıcıya ait resimler verilmiştir.

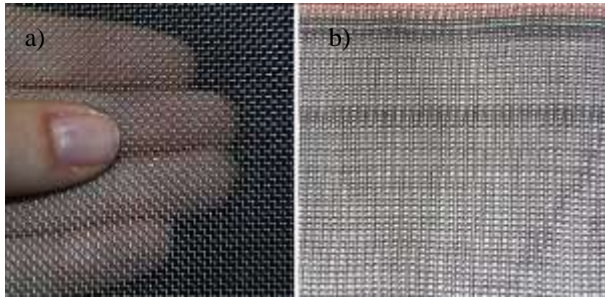


(1 - Hava kanalı kapağı, 2 - Hava kanalı, 3 - Küre tutucu, 4 - Yarı küresel delikli sac, 5 - Dağıtıcı küre, 6 - Buji, 7 - Paslanmaz çelik tel örgü, 8 - Paslanmaz çelik tel örgü tutucu, 9 - İyonizasyon çubuğu, 10 - Küre tutucu sac, 11 - Venturi )  
**Şekil 1.** a) Yarı küresel gözenekli metal matris yakıcı b) kesit görünüşü

Hava kanalı ve kapağı 0,6 mm kalınlığında 304 kalite paslanmaz sacdan sıvama yöntemi ile imal edilmiştir. Hava-yakıt karışımının homojen dağılımının sağlanabilmesi için uygun bir form oluşturulmuştur. Küre tutucu sac 0,6 mm kalınlığında 316 kalite paslanmaz sacdan sıvama yöntemi ile imal edilmiştir. Küre tutucu sac; yarı küresel delikli sacı, paslanmaz çelik tel kafesi, paslanmaz çelik tel örgü ve ateşleme bujilerini sabitlemek için kullanılmış olup, hava kanalı kapağına lehim kaynağı ile sabitlenmiştir.



**Şekil 2.** Paslanmaz çelik tel örgü'lü yarı küresel yakıcı



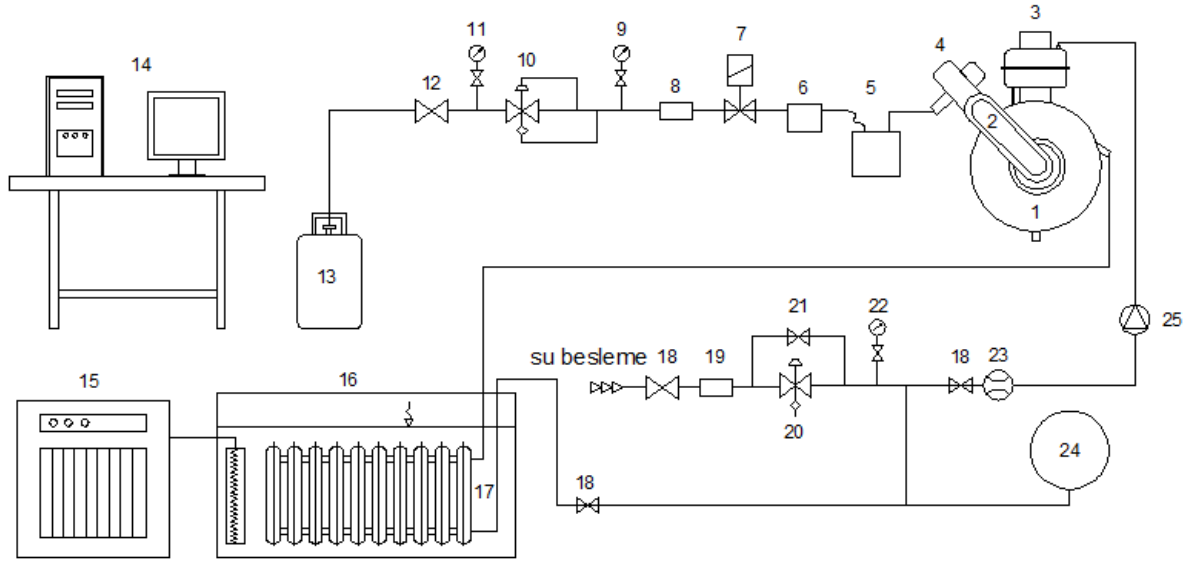
**Şekil 3.** a) Paslanmaz tel kafesi, b) paslanmaz çelik tel örgü

Paslanmaz çelik tel örgü, geçirgenliğe sahip örülmüş paslanmaz çelik tellerden meydana gelmektedir. Hava yakıt karışımı bu bölgede buji ile ateşlenerek yanma

gerçekleşmektedir. Dağıtıcı küre, hava yakıt karışımının yarı küre formundaki delikli sacda homojen şekilde yayılmasını sağlamak için kullanılmış ve bir vidasonun mekanizması ile aşağı-yukarı hareket ettirilerek optimum aralıkta (karışımın hızına bağlı olarak değişebilmektedir, bu çalışmada karışım hızı yarı küresel yakıcıya giriş noktasında 5 m/s olduğu için venturi kesit alanı 42 cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir) sabitlenmiştir. Venturi kesit alanının karışım hızı ile ilişkisi karışımın delikli sacda üniform dağılması açısından önemlidir. Aynı karışım hızında daha küçük kesit alanı olduğu takdirde karışımın hızı bu bölgede daha da yükselmektedir. Karışım hızı daha yüksek olduğunda yakıcının tepe noktasında turuncu renkte bir yanma gerçekleşmektedir. Hız arttıkça turuncu renkteki yanma bölgesi artmaktadır ve böyle bir yanmanın oluşması istenmemektedir. Şekil 2'de paslanmaz çelik tel örgü'lü yarı küresel yakıcı ve Şekil 3'de paslanmaz çelik tel örgü'nün üzerine gerildiği paslanmaz tel kafesi ile paslanmaz çelik tel örgü malzemesi gösterilmiştir.

## MATERYAL VE METOT

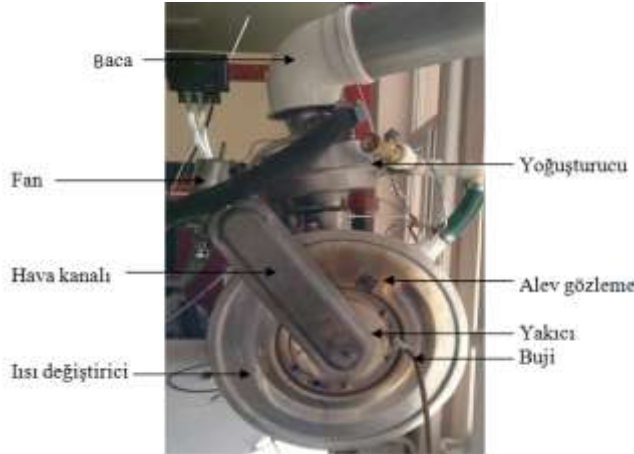
DeneySEL çalışma, Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. DeneySEL çalışma için kurulan deney ünitesi; ısı değiştirici, yoğuşturucu, yakıcı, fan, gaz sayacı, gaz tüpü, gaz regülatörü, gaz filtresi, selenoid vana, manometre, su sayacı, su filtresi, çek valf, sirkülasyon pompası, genleşme tankı, emniyet ventili, açma kapama vanaları, radyatör, üç yollu vana, manometre, termometre, lazer sıcaklık okuyucu, ateşleme trafosu, AC-DC dönüştürücü, ısı çiftleri, veri kaydedici ve bilgisayardan oluşmaktadır. Şekil 4'de deney düzeneğinin şematik resmi gösterilmiştir.



- |                          |                         |                     |                         |
|--------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1. Isı değıştirici       | 7. Selenoid vana        | 13. LPG tüpü        | 19. Su filtresi         |
| 2. Hava kanalı           | 8. Gaz filtresi         | 14. Bilgisayar      | 20. Basınç ayarlayıcı   |
| 3. Yoğuşturucu           | 9. Manometre (0-21mbar) | 15. Soğutucu        | 21. Bypass hattı        |
| 4. Fan                   | 10. Regülatör           | 16. Radyatör havuzu | 22. Manometre           |
| 5. Gaz sayacı            | 11. Manometre (0-5 bar) | 17. Radyatör        | 23. Debimetre           |
| 6. Dijital gaz debimetre | 12. Gaz vanası          | 18. Kesme vanası    | 24. Genleşme tankı      |
|                          |                         |                     | 25. Sirkülasyon pompası |

Şekil 4. Deneysel düzeneğin şematik resmi

Deneysel düzeneğinde, sensörler ile okunan değerler veri kaydedici aracılığıyla bilgisayara aktararak kayıt edilmiştir. Şekil 5’de yarı küresel metal matris yakıcının sistem (ısı değıştirici, yoğuşturucu) içindeki montaj hali gösterilmiştir.



Şekil 5. Yakıcının sistemdeki montaj hali

Deneysel çalışmada, baca gazı sıcaklıkları, karışım oranına bağlı olarak emisyon değerleri, yanma ve sistem verimi ölçülmüştür. Veriler bilgisayar ekranında anlık olarak okunarak ve 1’er dakika ara ile kaydedilmiştir. Sistemin farklı ısı taşıyıcı akışkan debilerindeki performansını ölçmek için minimum (0,048 kg/s), maksimum (0,125 kg/s) ve bu iki değer arasından 0,075 kg/s, 0,105 kg/s debilerde olmak üzere dört farklı deney yapılmıştır.

Şekil 6’da deneysel çalışmanın yakıcı kısmını oluşturan bölümü, ısı değıştiricisinin (kazan) dışında yakılarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Yakıcının yanma hali

Deneysel çalışmada bulunan değerler için kullanılan ifadeler aşağıdaki gibidir,  $Q_B$  birim zamanda yakıttan elde edilen ısı olup aşağıdaki şekilde yazılır.

$$Q_B = H_u \dot{V}_y \cdot 1,162 \quad (1)$$

Yanma verimi İngiliz standardına göre yanma sonu ürünlerindeki  $CO_2$  veya  $O_2$  yüzdesi kullanılarak denklem 2 ve 2a ile bulunmuştur (Kan, 1993),

$$\eta_{yanma} = 100 - (T_{egz} - T_{hav}) \frac{k_1}{CO_2} \quad (2)$$

veya,

$$\eta_{yanma} = 100 - (T_{egz} - T_{hav}) \frac{k_2}{21 - O_2} \quad (2a)$$

Yanma için gerekli teorik hava miktarı yakıtın ısıl değeri kullanılarak aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır (Kan, 1993),

$$TH = \frac{1,09xH_u}{1000} - 0,25 \quad (3)$$

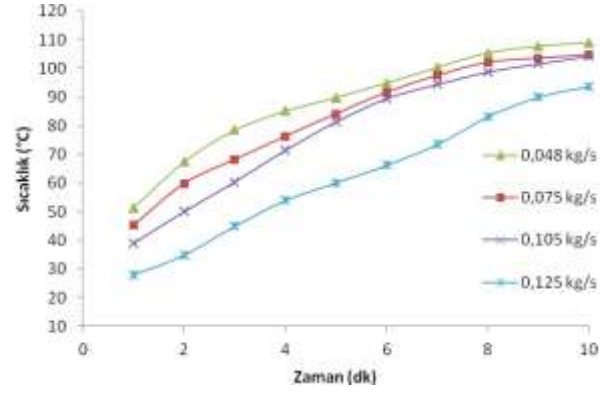
Yanma işleminde kullanılan fazla hava oranı yanma sonu gazlarındaki O<sub>2</sub> yüzdesi kullanılarak denklem 4 ile elde edilmiştir (Kan, 1993).

$$FH = \frac{O_2}{21 - O_2} x 100 \quad (4)$$

## BULGULAR VE TARTIŞMA

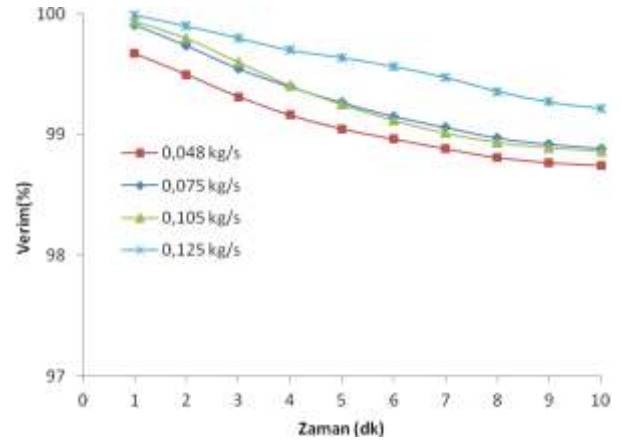
Şekil 7’de 4 farklı debilerde gerçekleştirilen deneylerin egzoz gazı çıkış sıcaklıkları verilmiştir. Deneylerde egzoz gazı başlangıç sıcaklık değerleri düşük iken artarak devam ettiği ve belli bir zaman aralığından sonra değişmediği görülmüştür. 0,048 kg/s debi ile yapılan deneyde egzoz gazı çıkış sıcaklığı 51,4 °C ile başlayarak aynı oranda artış ile 109 °C sıcaklığa kadar çıkmaktadır. Buna benzer olarak 0,075 kg/s, 0,105 kg/s ve 0,125 kg/s debiler ile yapılan deneylerde de yine aynı oranda artış kaydedilmiştir.

Deneysel çalışmada debi arttıkça egzoz gazı başlangıç sıcaklığı ve buna paralel olarak çıkış sıcaklığının yükseldiği görülmüştür. Buna göre 0,048 kg/s için egzoz gazı başlangıç ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 51,4 °C ve 109 °C iken 0,075 kg/s için 45,2 °C , 104,6 °C ve 0,105 kg/s için 39 °C , 104 °C ve 0,125 kg/s için 28 °C , 93,7 °C’dir. Deneysel çalışmada egzoz gazı çıkış sıcaklığının düşük çıkması yoğuşturucu kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Yanma odasından çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı yoğuşturucuya girdikten sonra yoğuşma sıcaklığının altında sıcaklığa sahip yoğuşturucu plakalara temas ederek içindeki su buharı yoğuşmaktadır. Yoğuşma esnasında su buharının gizli ısısından yararlanılarak plakalardan geçen suyun sıcaklığı yükseltilmekte ve egzoz gazı düşük sıcaklıkta dışarıya atılmaktadır.



Şekil 7. Egzoz gazı çıkış sıcaklıkları

Şekil 8’de farklı debilerdeki, yanma verimi değerleri gösterilmiştir. Yanma verimindeki bu azalma baca gazı çıkış sıcaklığının başlangıçta düşük ve deney süresince yükselmesinden kaynaklanmaktadır. Baca gazı çıkış sıcaklığı sabit olduğunda yanma verimi eğrisi düz bir çizgi halini almaktadır. Buradan yanma veriminin baca gazı çıkış sıcaklığı ile ters orantılı olduğu söylenebilir. 0,048 kg/s, 0,075 kg/s, 0,105 kg/s ve 0,125 kg/s debileri ile gerçekleştirilen deneylerde yanma veriminin birbirlerine paralel olduğu görülmüştür.



Şekil 8. Yanma verimleri

Tablo 1’de dört farklı debilerde gerçekleştirilen deneylere ait egzoz gazı emisyon değerleri verilmiştir. Ölçümlerin gerçekleştirilmesinde Madur GA-21 Plus analiz cihazı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen her bir deneyde, emisyon ölçümleri 2, 4, 6, ve 8. dakikalarda yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

**Tablo 1.** Egzoz gazı ölçüm değerleri

	Ölçüm 1 (0,048 kg/s)	Ölçüm 2 (0,075 kg/s)	Ölçüm 3 (0,105 kg/s)	Ölçüm 4 (0,125 kg/s)	Genel Ortalama
Ortam sıcaklığı (°C)	19,8	19,7	19,9	20,1	19,87
O <sub>2</sub> miktarı (%)	5,62	5,88	5,74	6,53	5,94
CO <sub>2</sub> miktarı (%)	8,56	8,42	8,49	8,85	8,58
Gaz sıcaklığı (°C)	34,5	34,1	34,5	34,6	34,42
CO miktarı (ppm)	8	3	5	5	5,25
NO miktarı (ppm)	5	5	5	4	4,75
NOx miktarı (ppm)	5	5	5	4	4,75
Hava fazlalık katsayısı	1,37	1,39	1,38	1,45	1,39
Verim (%)	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2

Yukarıdaki ölçüm raporlarında görüldüğü gibi egzoz gazındaki O<sub>2</sub> miktarı %3 olması gerekirken (Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Ek-1: Emisyon İznine Tabi Tesisler İçin Esaslar Ve Sınır Değerler) sırasıyla %5,62, %5,88, %5,74 ve %6,53 olarak ölçülmüştür. Sınır değer ve ölçülen değerler arasındaki fark baca tertibatı ile kazanın birleşme yerindeki boşluktan kaynaklanmaktadır, bu boşluktan bacada oluşan vakum nedeniyle ortamdan oksijen emilmiştir.

Ölçümlerde CO miktarı sırasıyla 8 ppm, 3 ppm, 5 ppm ve 5 ppm olarak ölçülmüştür. Yakma ısıl gücü 100 MW'ın altındaki tesisler için baca gazı CO emisyonu maksimum sınır değerleri 80 ppm iken deneysel ölçümlerde elde edilen CO emisyonları bu değer için

altındadır (Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Ek-1: Emisyon İznine Tabi Tesisler İçin Esaslar Ve Sınır Değerler). Yapılan ölçümlerde Tablo 1'de görüldüğü gibi yanma verimi %99,2 olarak belirlenmiştir.

Deneysel çalışma ile elde edilen veriler piyasada kullanılan iki farklı yoğuşmalı kombi verileri ile karşılaştırılarak Tablo 2'de gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi deneysel çalışmalarda maksimum çıkış sıcaklığında (pik değerde) sistemin verimi yoğuşturucunun etkisi ile %104 (alt ısıl değerde) ve ortalama çıkış sıcaklığında sistemin verimi %78 olarak hesaplanmıştır. Verileri kullanılan kombinin verimi ise maksimum çıkış sıcaklığı için %97'dir.

**Tablo 2.** Deneysel çalışma ile verileri kullanılan kombinin karşılaştırılması

Açıklama	Giriş kapasitesi (üst ısıl değerde) kW	Giriş kapasitesi (alt ısıl değerde) kW	Çıkış kapasitesi kW	Verim %	NOx emisyonu ppm	CO emisyonu ppm	Baca gazı sıcaklığı °C	Yakıt miktarı m <sup>3</sup> /h
Deneysel çalışma (maksimum değer)	9.3	8.6	8.9	104	5	8	46	0.26 LPG
Deneysel çalışma (ortalama değer)	8.9	8.2	6.4	78	5	8	37	0.26 LPG
Verileri kullanılan kombi-1	25	22.5	21.9	97	8.9	11.3	31	2.43 CH4
Verileri kullanılan kombi-2	25.2	-	24.6	98	-	-	-	2.86 CH4

Tablo 1.'deki baca gazı emisyon ölçüm raporlarında NOx miktarı 5 ppm ve CO miktarı 8 ppm'dir. Bu değerlerin verileri kullanılan kombilerin emisyon değerlerinden (NOx miktarı 8.9 ppm ve CO miktarı 11.3 ppm) daha düşük olduğu görülmektedir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada yoğuşmalı kombiler için yarı küresel metal matris yakıcının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Materyal ve metod belirlenerek hazırlandıktan sonra yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Çalışmada kullanılan yarı küresel gözenekli metal matris yakıcı ile açık ortamda 1174 K sıcaklığa ulaşılmıştır. Kapalı ortamda (kazan içinde) bu sıcaklık daha da yüksektir.
- Yakıcıda delikli sac, paslanmaz çelik tel örgü'lü yarı küresel yakıcı ve dağıtıcı küre kullanılarak, hava-yakıt karışımının homojen karışması sağlanmış ve karışım yarı küresel yakıcının bütün yüzeyine eşit bir şekilde dağıtılarak dengeli bir yanma oluşturulmuştur.
- Egzoz gazı ölçümlerinde CO emisyon değerleri ortalama 5,25 ppm çıkmış, bu değerın sınır değerlerin (80 ppm) ve karşılaştırılan kombi değerinin (11,3 ppm) altında olduğu görülmüştür.
- Yanma verimi için ortalama %99,27 olan yüksek değer elde edilmiştir.

Sonuç olarak elde edilen yakıcı performans ve emisyon karakteristikleri açısından önemli avantajlar sağlamıştır. Bundan sonraki gerçekleştirilecek çalışmalarda, ısı değiştirici ve yoğunlaştırıcıdan çevreye olan ısı kayıpları önlenecek, sisteme otomasyon uygulanarak hava yakıt oranı gibi donelerin optimum bir şekilde ayarlanması sağlanarak sistem veriminin artırılması amaçlanmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın desteklediği 00091.STZ.2007-1 No'lu SAN-TEZ projesi kapsamında hazırlanmıştır. Katkılarından dolayı T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- M. Abdul Mujeebu, M.Z. Abdullah, A.A. Mohamad, 2011, Development of energy efficient porous medium burners on surface and submerged combustion modes, *Energy*, 36, 5132-5139.
- L.C.B.S. Reis, J.A. Carvalho Jr., M.A.R. Nascimento, L.O. Rodrigues, F.L.G. Dias, P.M. Sobrinho, 2014, Numerical modeling of flow through an industrial burner orifice, *Applied Thermal Engineering*, 67, 201-213.
- M. Abdul Mujeebu, M.Z. Abdullah, M.Z. Abu Bakar, A.A. Mohamad, M.K. Abdullah, 2009, Applications of porous media combustion technology – A review, *Applied Energy*, 86, 1365–1375.
- J. Charoensuk, A. Lapidirattanakun, 2011, On flame stability, temperature distribution and burnout of air-staged porous media combustor firing LPG with

different porosity and excess air, *Applied Thermal Engineering*, 31, 3125-3141.

M. Abdul Mujeebu, M.Z. Abdullah, M.Z. Abu Bakar, A.A. Mohamad, R.M.N. Muhad, M.K. Abdullah, 2009, Combustion in porous media and its applications – A comprehensive survey, *Journal of Environmental Management*, 90, 2287–2312.

S. Wood, A. T. Harris, 2008, Porous burners for lean-burn applications, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 667– 684.

C. Keramiotis, M.A. Founti, 2013, An experimental investigation of stability and operation of a biogas fueled porous burner, *Fuel*, 103, 278–284.

H.B. Gao, Z.G. Qu, X.B. Feng, W.Q. Tao, 2014, Methane/air premixed combustion in a two-layer porous burner with different foam materials, *Fuel*, 115, 154–161.

V.K. Pantangi, S.C. Mishra, P. Muthukumar, R. Reddy, 2011, Studies on porous radiant burners for LPG (liquefied petroleum gas) cooking applications, *Energy*, 36, 6074-6080.

W.M. Barcellos, L.C.E.O. Souza, A.V. Saveliev, L.A. Kennedy, 2011, Ultra-low-emission steam boiler constituted of reciprocal flow porous burner, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 570–580.

V. Bubnovich, M. Toledo, 2007, Analytical modelling of filtration combustion in inert porous media, *Applied Thermal Engineering*, 27, 1144–1149.

A. Bakry, A. Al-Salaymeh, A.H. Al-Muhtaseb, A. Abu-Jrai, D. Trimis, 2010, CO and NOx emissions in porous inert media (PIM) burner system operated under elevated pressure and inlet temperature using a new flame stabilization technique, *Chemical Engineering Journal*, 165, 589–596.

B. Yu, S. Kum, C. Lee, S. Lee, 2013, Combustion characteristics and thermal efficiency for premixed porous-media types of burners, *Energy*, 53, 343-350.

C.Y. Wu, K.H. Chen, S.Y. Yang, 2014, Experimental study of porous metal burners for domestic stove applications, *Energy Conversion and Management*, 77, 380–388.

C. Keramiotis, B. Stelzner, D. Trimis, M. Founti, 2012, Porous burners for low emission combustion: An experimental investigation, *Energy*, 45, 213-219.

Kan, M. D., 1993, Yanma gaz analizleri ve doğalgaz uygulamalarındaki önemi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 18.