Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، اسفند 1395، دوره 16، شماره 12، ص‌ص 657-664

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

مقایسه تجربی بازدهی و آلایندگی مشعل متخلخل و معمولی در ظرفیت‌های مناسب برای مصارف خانگی

مهدی معرفت[1*]، سجاد نوریان[2]

1- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
2- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
* تهران، صندوق پستی 14115-111، maerefat@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 16 شهریور 1395
پذیرش: 27 آبان 1395
ارائه در سایت: 08 دی 1395

کلید واژگان:
مشعل متخلخل
آلایندگی
بازدهی
اجاق گاز
مشعل معمولی

چکیده

در مقاله حاضر به مقایسه تجربی بین مشعل متخلخل سطحی و مشعل معمولی در مصارف خانگی به عنوان اجاق گاز بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره 10325 پرداخته شده است. این مقایسه بین مشعل معمولی رایج در بازار و مشعل متخلخل هم اندازه آن صورت گرفته است. ابتدا حدود شعله‌وری مشعل متخلخل سیلیکون‌کاربایدی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده تشکیل شعله در نسبت هم ارزی‌های کمتر از 1 بود، به طوریکه بهترین عملکرد در نسبت هم‌ارزی حوالی 0.7 به‌دست آمد. با تغییر فاصله مشعل تا ظرف و قطر ظرف مشخص شد که برای ظرف به قطر 26 و فاصله 1 سانتی‌متر مشعل متخلخل تا 55% بازدهی دارد. مقایسه بازدهی و آلایندگی مشعل معمولی و حالت بهینه مشعل متخلخل نشان داد که در شرایط برابر توان، فاصله مشعل از ظرف، قطر ظرف، قطر مشعل، ابزار اندازه‌گیری و روش یکسان بازدهی مشعل متخلخل می‌تواند تا 1.5 برابر بزرگتر از بازدهی مشعل معمولی باشد. تولید آلاینده‌های ناکس و کربن‌مونواکسید در مشعل معمولی به ترتیب 8 و 8 تا 26 برابر مشعل متخلخل است. با توجه به بازدهی بالاتر و آلایندگی کمتر، مشعل‌های متخلخل می‌توانند جایگزین مناسبی برای مشعل‌های معمولی در مصارف خانگی باشند.

Experimental comparison of efficiency and pollution of conventional and porous burners in appropriate power for domestic use

Mehdi Maerefat*, Sajjad Noorian

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
* P.O.B. 14115-111 Tehran, Iran, maerefat@modares.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 06 September 2016
Accepted 17 November 2016
Available Online 28 December 2016

Keywords:
Porous burner
Emissions
Efficiency
Stove
Conventional burner

ABSTRACT

In this paper, experimental comparison between conventional burner and porous burner in domestic purposes as stove, according to Iranian National Standard No. 10325 has been carried out. This comparison between the conventional burner available in the Iranian market and its equivalent porous burner is done. First, flammability of the porous silicon carbide burner was investigated. The results showed that the flame is formed when the equivalence ratio is less than 1, so the best performance equivalence ratio was around 0.7. By changing the distance between the pot and the burner and also changing the pot diameter, it was found that for a pot with 26 cm diameter and burner distance of 1 cm, porous burner efficiency increases to 55%. The comparison between the conventional burner and optimum situation porous burner showed that at the same factors like power, distance between the pot and the burner, the pot diameter, the burner diameter, measuring tools and the same method, porous burner efficiency is 1.5 times more than conventional burner. In conventional burners CO and NO_X pollutant are 8-26 and 8 times more than porous burners. Due to higher efficiency and lower emissions, conventional burners can supersede porous burners for domestic purposes.

1- مقدمه

در راستای کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی محیط زیستی، استفاده از مشعل‌های متخلخل سطحی در مصارف خانگی مورد توجه محققان بسیاری بوده است. از نمونه مقالات در مورد استفاده از مشعل‌های متخلخل سطحی می‌توان به تحقیق موجیبو و همکارانش [1] اشاره کرد، که در آن دو مشعل گاز مایع پیش اختلاط متفاوت و دو لایه را برای کارکردهای خانگی ساختند. در یکی از مشعل‌ها، شعله در داخل محیط متخلخل و در دیگری بالای سطح (بالای سطح متخلخل و چسبیده به آن) تشکیل می‌شد. آنها ثابت کردند که مشعل شعله سطحی برای کارکردهای پخت و پز مناسب‌تر است، زیرا در پخت و پز مطلوب است که شعله به اندازه کافی تا بالای سطح متخلخل ادامه داشته باشد.

در تحقیقات اولیه از محیط متخلخل فقط برای بازیابی حرارت استفاده می‌شد [2]، اما پس از آن محققان به بررسی احتراق در محیط متخلخل پرداختند. در ادامه به چند نمونه از کارهای تجربی صورت گرفته درمورد

Please cite this article using:
M. Maerefat, S. Noorian, Experimental comparison of efficiency and pollution of conventional and porous burners in appropriate power for domestic use, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 12, pp. 657-664, 2016 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

www.SID.ir

Downloaded from mme.modares.ac.ir at 13:57 IRDT on Wednesday May 9th 2018

Archive of SID

Downloaded from mme.modares.ac.ir at 13:57 IRDT on Wednesday May 9th 2018

مشعل متخلخل خانگی اشاره شده است.

یوکسناکول و همکاران [3] یک مشعل محیط متخلخل ساختند که به علت نازلی شکل بودن مسیر اختلاط عمل مکش به صورت طبیعی رخ می‌داد، آنها مشعل خود را "مشعل متخلخل خود مکش" نامیدند. در مشعل آنها احتراق درون قالب متخلخل صورت می‌گرفت که داری بستری شامل کره‌های آلومینیومی 15 میلی‌متری بود. این مشعل با ظرفیت 23 تا 61kW مورد آزمون قرار گرفت. بازده تابشی ٪23 و دامنه تنظیم 2.65 به دست آمد. انتشار کربن‌مونواکسید و ناکس نیز به ترتیب کمتر از 200، ppm 98 بود.

ماکمول و همکارانش [4] یک بررسی آزمایشگاهی صورت دادند تا عملکرد 400 مشعل موجود در تایلند با توان کمتر از 5 kW را مورد ارزیابی قرار دهند. به طور متوسط، مشعل‌های تابشی متخلخل بازده بهتری در مقایسه با مشعل‌های مرسوم داشتند، اما انتشار کربن‌مونواکسید نسبتا زیادی در حدود 1800 ppm نیز در آنها مشاهده شد.

کاکاتی و همکارانش [5] از محیط متخلخل در یک اجاق نفت سفید مرسوم استفاده‌کردند. استفاده از محیط متخلخل منجر به ٪34 کاهش مصرف سوخت، ٪10 افزایش بازدهی و کاهش قابل توجهی در انتشار کربن‌مونو-اکسید، هیدروکربن و ناکس شد. در مطالعه‌ای دیگر، پانتانگی و همکارانش [6] سرمشعل‌های عادی را از آنها جدا و آن را با محیط متخلخل عوض کردند و یک مشعل متخلخل دو لایه را تشکیل دادند. در برخی آزمایشها، پانتانگی و همکارانش کف و دیواره‌های محفظه را با استفاده از پشم سرامیکی عایق‌بندی کردند تا هدر رفت گرمایی را به حداقل برسانند. پانتانگی و همکاران نتیجه-گیری کردند که بطور کلی هنگامی که از احتراق محیط متخلخل استفاده می‌شود، عملکرد مشعل‌ها بهتر از مشعل‌های معمول بود. بهترین نتایج هنگامی به‌دست آمد که بریده‌های فولادی در محفظه احتراق به کار رفتند و محفظه ترکیبی عایق‌بندی شده بود. در این مورد و در مقایسه با بهترین مشعل معمولی، بازده مشعل محیط متخلخل بهبود عملکردی ٪4 از خود نشان داد، انتشار کربن‌مونواکسید و مصرف سوخت به ترتیب تا ٪52 و ٪10 کاهش یافت.

شارما و همکارانش [7] به طور آزمایشگاهی به مطالعه اجاق نفتی اصلاح شده‌ای پرداختند، که در آن یک سپر گرمایی آلومینیومی و محیط تابشی متخلخل از جنس زیرکونیا در ناحیه احتراق به کار رفته بود. آنها نتیجه‌گیری کردند که این اصلاحات منجر به ٪15 افزایش بازده شدند.

در مطالعه‌ای دیگر، پانتانگی و همکاران [8] اقدام به ساخت یک مشعل دو لایه کردند، که در آن ناحیه پیش‌گرمایش توسط توپ‌های آلومینیومی 5 میلی‌متری و ناحیه احتراق از سیلیکون کارباید با ٪90 تخلخل تشکیل شده بود. آنها تأثیر قطر مشعل، ضخامت جدار قالب مشعل و طول قالب‌های متخلخل را مورد آنالیز قرار دادند. در بهترین حالت بازده گرمایی ٪68 به دست‌آمد.

ماتکومار و همکارانش [9] یک مشعل تابشی متخلخل گاز مایع مشابه را مورد آزمایش قرار دادند. قطر مشعل معادل با آن مشعلی بود که عملکرد بهتری را در مطالعه پانتانگی داشت. ناحیه احتراق دارای ویژگی‌های مشابهی بود، اما ناحیه پیش گرمایش از سرامیکی با ضخامت 10 میلی‌متر و تخلخل ٪40 ساخته شد. بازده گرمایی حداکثر ٪71 از مشعل تابشی متخلخل به دست‌آمد. این بازده برای نسبت هم‌ارزی 0.68، توان 1.24 kW و دمای محیط 31 درجه سلسیوس به‌دست آمد. کربن‌مونواکسید و ناکس گزارش شده همواره به ترتیب کمتر از 16 و 0.2 ppm بودند.

ماتکومار و همکاران [10] به توسعه کارهای انجام شده پرداختند. آنها عملکرد یک مشعل متخلخل دو لایه را که مشابه با مدل‌های تولید شده قبلی بود مورد آزمایش قرار دادند. در این مورد قطر متخلخل برابر 90mm انتخاب شد، مانند مرجع [9] ناحیه پیش‌گرمایش شامل یک قالب سرامیکی با تخلخل ٪40 و ضخامت 10mm و ناحیه احتراق دارای فوم سیلیکون کاربایدی با ضخامت 20mm بود. در این مطالعه تخلخل سیلیکون کارباید از 80 الی ٪90 تغییر داده شد. بازده گرمایی و انتشار کربن‌مونواکسید و ناکس به طور تجربی برای نسبت‌های هم ارزی از 0.54 الی 0.7 و توان از 1.3 الی1.7 kW به‌دست آمد. بالاترین بازده گرمایی به‌دست‌آمده حدود ٪75 بود. میزان انتشار آلاینده های مشعل متخلخل کمتر از مشعل‌های عادی مرسوم بود. برای فوم سیلیکون‌کارباید با تخلخل 90%، تولید ناکس و کربن‌مونواکسید به ترتیب در بازه 0 تا 0.75 و 12 تا 124 میلی‌گرم بر متر مکعب بود. اجاق گازهای مرسوم گاز مایع مقدار ناکس معادل با 4 تا 7 و 250 تا 650 میلی‌گرم بر متر مکعب کربن مونو اکسید منتشر می‌کنند.

میشرا و همکارانش [11] به توسعه مشعل‌های متخلخل دو لایه قبلی ارائه شده توسط ماتکومار پرداختند و میزان توان آنها را به بازه 5 الی 10kW برای مقیاس متوسط اجاق‌های پخت و پز گاز مایع رساندند. آزمایش‌های تجربی ثابت کرد که مشعل متخلخل کارآمدتر و کم‌آلاینده تر از اجاق‌های گاز مایع تجاری متناظر است. محققان نشان دادند که بازده گرمایی با افزایش توان کاهش می‌یابد.

وو و همکارانش [12] یک مشعل با شعله مسطح گاز مایع را برای پخت و پز خانگی ساختند. همانند مشعل دوم ارائه شده توسط موجیبو و همکارانش برای کاربردهای پخت و پز، شعله در بالای محیط متخلخل تشکیل می‌شد. انتخاب این حالت امکان رسیدن به دماهای بالاتر شعله را می‌دهد که منجر به انتقال حرارت بالاتری می‌شود. محیط متخلخل از جنس ساچمه‌های برنزی بود. آنها بطور آزمایشگاهی ثابت کردند که مشعل متخلخل دارای دامنه تنظیم بیشتری در مقایسه با مشعل شعله آزاد می‌باشد. به علاوه، انتشار ناکس و کربن مونو اکسید بطور کلی در مشعل متخلخل با شعله سطحی، در مقایسه با مشعل شعله بونسن پایین‌تر بود.

در تحقیقات داخلی نیز شفیعی و همکاران [13] بازدهی نزدیک به ٪100 برای مشعل متخلخل با مبدل در حالت چگالش گزارش نمودند. دوازده‌امامی و همکاران [14] برای یک مشعل متلخلخل 5 کیلووات و در نسبت هم‌ارزی 0.65 با اندازه‌گیری توزیع دما برگشت شعله را بررسی کردند. هاشمی و همکاران [15] به بررسی پدیده برگشت شعله در مشعل‌های متخلخل پرداختند، آنها با تغییر عواملی نظیر نسبت هم‌ارزی، نرخ آتش و ویژگی‌های محیط متخلخل پرش و نفوذ شعله در داخل محیط متخلخل را مورد ارزیابی تجربی قرار دادند. هاشمی و همکاران [16] در ادامه بررسی‌ها در مورد مشعل متخلخل به استفاده از محیط متخلخل برای پایدارسازی شعله غیر پیش آمیخته پرداختند، آنها در نسبت هم‌ارزی 0.63 شعله پایدار به‌دست آوردند که تقریباً با نسبت هم‌ارزی تشکیل شعله پیش آمیخته در مشعل متخلخل برابر است.

در مجموع تحقیقات خوبی برای استفاده از مشعل‌های متخلخل در مصارف خانگی در خارج از ایران انجام شده است. تحقیقات داخلی بیشتر بحث ایجاد و پایداری شعله را مد نظر قرار داده‌اند که عموما با توجه به ماهیت کارشان امکان استفاده از استاندارد مرجع وجود نداشته است. برای بررسی ویژگی‌های کاربردی مشعل متخلخل و مقایسه آن با مشعل معمولی

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from mme.modares.ac.ir at 13:57 IRDT on Wednesday May 9th 2018

نیاز به تعریف روش آزمون یکسان برای هر دو مشعل وجود دارد.

در تحقیق حاضر نتایج تجربی حاصل از مقایسه مشعل معمولی و متخلخل سطحی بر اساس استاندارد ملی اجاق گاز به شماره 10325 [17] ارائه شده که تا کنون این کار صورت نگرفته است.

2- روش آزمایش

در آزمون مشعل‌ها باید 3 پارامتر توان، بازدهی و محصولات احتراق اندازه-گیری شوند. با نصب روتامتر در مسیر گاز و اندازه‌گیری دبی گاز توان مشعل-ها به‌دست آمده است. برای اندازه‌گیری بازدهی ظرف آب مشخص بر روی مشعل قرار گرفته و زمان رسیدن از دمای محیط به دمای 90°C اندازه‌گیری شده و با در دست داشتن توان مشعل از نسبت انرژی مفید خروجی به انرژی ورودی بازدهی محاسبه و گزارش شده است. در آزمون سنجش میزان آلایندگی محصولات احتراق در داخل یک هود نمونه‌برداری محصور شده و با استفاده از دستگاه گاز آنالایزر اندازه‌گیری می‌شدند.

یادآوری می‌شود روش آزمون همه موارد یاد شده از استاندارد ملی اجاق گاز به شماره 10325 [17] استخراج شده‌اند، استاندارد ملی نیز خود برگرفته از استاندارد EN30-2-1 [18] است.

2-1- اندازه گیری توان مشعل

در استاندارد فشار گاز مصرفی برای دو نوع گاز طبیعی و مایع آمده است، فشار معمولی گاز طبیعی 18 میلی‌بار است. پس از تنظیم فشار ورودی مشعل با ضرب حجم گاز مصرفی در ارزش حرارتی گاز با استفاده از رابطه (1) انرژی خروجی مشعل (با تقسیم بر زمان می تواند به صورت توان اعلام شود) به‌دست می‌آید.

$$Q = 0.278 \times V \times H_{\text{net}} \quad (1)$$

برای هم‌گونی و توازن بین تمامی داده‌ها باید همه توان‌ها و بازده‌های اعلامی در شرایط مرجع دما و فشار که به ترتیب 15°C و1013.25 mbar هستند، گزارش شود. اما در آزمایشگاه این شرایط برقرار نیست به همین دلیل باید مقادیر اندازه گیری شده به صورت رابطه (2) اصلاح شوند و در رابطه محاسبه توان و بازده بکار برده شوند.

$$\frac{V_0}{V} = \sqrt{\frac{(1013.25+P)\times(P_a+P)}{(1013.25)^2} \times \frac{288.15}{273.15+t_g} \times \frac{d}{d_r}} \quad (2)$$

2-2- اندازه‌گیری بازده

برای به‌دست آوردن بازده باید متناسب با توان مشعل ظرف و حجم آبی که در جدول (7) استاندارد [17] آورده شده، را بر روی مشعل قرار داده و اجازه داده شود تا دمای آب از 1°C ± 20 تا 1°C ± 90 بالا رود. ملاک اندازه‌گیری دمای آب سنسور دمایی با عدم قطعیت اندازه‌گیری 0.1 °C است، که در وسط حجم آب قرار داده شده است. به صورت خلاصه برای به‌دست آوردن بازده باید ابتدا مشعل با دقت ±2% در محدوده توان نامی تنظیم شود، سپس مشعل با هر توانی به مدت 10 دقیقه با قرار دادن ظرفی به قطر 220mm که با 3.7 کیلوگرم آب پر شده گرم شود، در پایان 10 دقیقه ظرف مناسب و میزان آبی که در جدول (7) استاندارد [17] تعیین شده بر روی مشعل قرار گیرد، آب به دمای 1°C ± 90 رسانده و زمان افزایش دما به میزان 70 °C یادداشت شود، با قرار دادن مقادیر اندازه‌گیری شده در رابطه (3) بازده مشعل به‌دست خواهد آمد.

$$\eta = 4.18 \times 10^{-3} \times m_e \times \frac{t_2 - t_1}{V_0 H_{\text{net}}} \quad (3\text{-الف})$$

$$m_e = m_{el} + 0.213\, m_{e2} \quad (3\text{-ب})$$

2-3- اندازه‌گیری محصولات احتراق

با توجه به نصب بدون دودکش اجاق گازها و ورود محصولات احتراق به فضای خانه اطمینان از عدم خام‌سوزی مشعل بسیار حائز اهمیت است. حد مجاز CO برای حالت کارکرد در توان نامی 1000ppm است [17].

نمونه‌برداری از محصولات احتراق با استفاده از هود تعیین شده در استاندارد [17] و آنالیز محصولات احتراق توسط گاز آنالایزر تستو 350 انجام شده است. دستگاه گاز آنالایزر مقادیر کربن‌مونواکسید و ناکس را به ترتیب با ریزنگری 1 و 0.1ppm اندازه‌گیری می‌کند.

3- دستگاه آزمایش

دستگاه برای آزمون مشعل‌های متخلخل و معمولی به عنوان یک اجاق گاز طراحی و ساخته شده است. در شکل 1 نمایی شماتیک از مشعل متخلخل نمایش داده شده است. در مشعل از محیط متخلخل سیلیکون‌کاربایدی با قطر 7 (معادل مشعل‌های معمولی) و ضخامت 2 سانتی‌متر و چگالی حفره محیط متخلخل 20 ppi است.

دستگاه شامل تجهیزاتی نظیر کمپرسور هوا، رطوبت‌گیر هوا، رگولاتور، روتامتر هوا و گاز، لوله اختلاط و سرمشعل متخلخل است. هوا و گاز از دو مسیر مجزا عبور کرده و سپس در لوله اختلاط 30 سانتی‌متری با یکدیگر ترکیب شده و در نهایت وارد سرمشعل متخلخل می‌شوند.

برای تامین هوای احتراق از یک کمپرسور با قابلیت فشرده‌سازی هوا تا 2bar استفاده شده‌است. هوای فشرده شده توسط کمپرسور از رطوبت‌گیر که برای جلوگیری از ایجاد خطا در مسیر هوا تعبیه شده عبور می‌کند، بعد از آن فشار هوا توسط رگولاتور با خروجی 20 تا 200 میلی‌بار تثبیت و به وسیله فشار سنج نمایش داده می‌شود. در انتهای خط هوا روتامتر با قابلیت اندازه-گیری در محدوده کارکرد 40 تا 400 لیتر بر دقیقه تعبیه شده است.

خط گاز همان‌گونه که در شکل 1 نمایش داده شده است، از دماسنج و فیلتر گاز شروع شده، سپس برای تثبیت فشار گاز از رگولاتور با خروجی 9 تا 50 میلی‌بار گذر کرده و مقدار فشار توسط فشار سنج 0 تا 100 میلی‌بار اندازه-گیری می‌شود. در انتهای خط نیز روتامتر با قابلیت اندازه‌گیری در محدوده کارکرد 1.4 تا 14 لیتر بر دقیقه با خطای کمتر از 2٪ تعبیه شده است.

4- نتایج مشعل متخلخل

4-1- حدود شعله‌وری

مهم‌ترین مسئله در شروع آزمون‌ها، یافتن بهترین حالت شعله‌وری مشعل متخلخل برای نازل و سرمشعل انتخابی است. حالتی که در آن برگشت و پرش شعله وجود نداشته باشد. شعله مخصوصاً در مصارف خانگی باید مطمئن، قابل روئیت و بدون خطر خاموشی ناگهانی باشد. در شعله‌های معمولی قابلیت تغییر نسبت دبی هوا به دبی گاز (نسبت هم‌ارزی) در یک توان خاص وجود ندارد اما در شعله‌های متخلخل این قابلیت وجود دارد.

کمترین توان مشعل که در آزمایش‌ها قابلیت اشتعال وجود داشت در مصرف گاز 4.4 لیتر بر دقیقه به‌دست‌آمد. این مصرف گاز با توجه به رابطه (1 و2) و ارزش حرارتی خالص متوسط گاز که از آزمایشگاه بوتان به صورت روزانه استعلام می‌شد (H_{net}=8055 kcal/m^3) معادل 2.36 کیلووات توان خالص مشعل است.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from mme.modares.ac.ir at 13:57 IRDT on Wednesday May 9th 2018

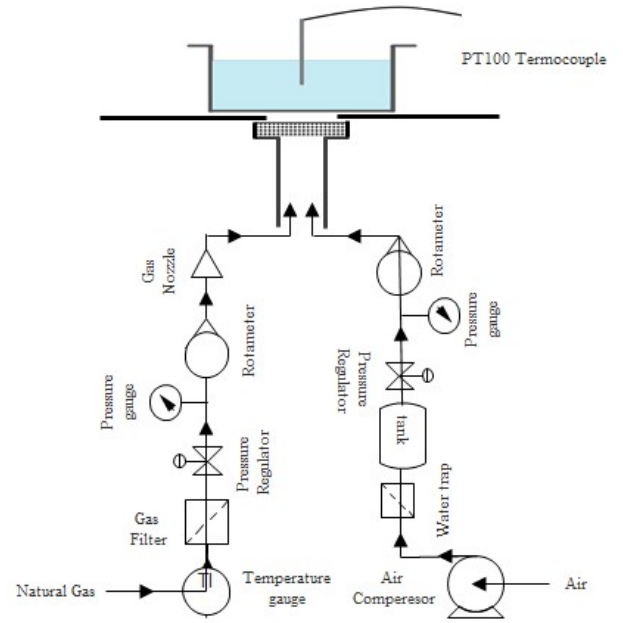

Fig. 1 Schematic of the experimental set-up

شکل 1 شماتیک دستگاه آزمایش

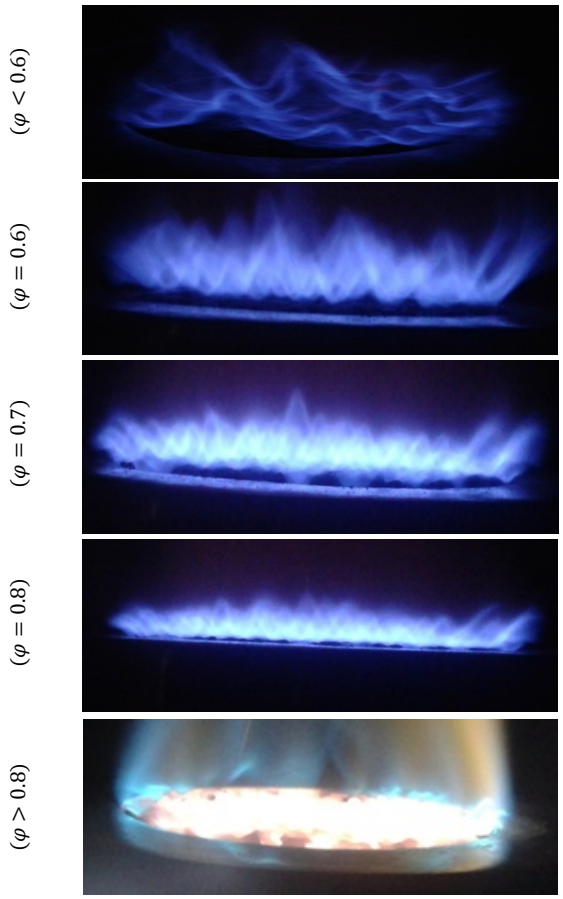

Fig. 2 Appearance of flame with 2.36 kW output at Various equivalence ratios

شکل 2 تصاویر شعله با توان 2.36 kW در نسبت هم ارزی های متفاوت

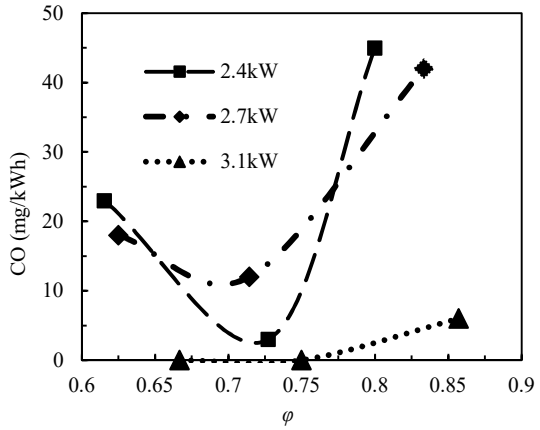

Fig. 3 Effect of equivalence ratio and power on CO

شکل 3 تأثیر نسبت هم‌ارزی و توان بر تولید CO

در شکل 2 عکس‌هایی از شعله‌های مشعل متخلخل ارائه شده‌است. شعله متخلخل در نسبت هم ارزی تقریباً 0.6 ایجاد و در نسبت هم‌ارزی‌های کمتر به علت هوای اضافه بسیار زیاد از سطح مشعل جدا می‌شد. در نسبت هم‌ارزی نزدیک 0.7 شعله مطمئن‌تری تشکیل می‌شد، که نه تمایل به جدا شدن از سطح مشعل داشت و نه تمایل به برگشت به داخل محیط متخلخل. اما در نسبت هم ارزی 0.8 شعله بشدت به سطح متخلخل نزدیک و ارتفاع برخاستگی آن کم می‌شد. در نسبت هم ارزی‌های بالاتر از 0.8 شعله شروع به داخل رفتن در محیط متخلخل می‌کرد و همین امر موجب سرخ شدن محیط متخلخل می‌شد. بعد از چند لحظه شعله ناپایدار شده و کم کم خاموش می‌شد. در هر دو حالت هوای اضافه خیلی کم و خیلی زیاد، خام‌سوزی شدید مشعل مشاهده شد. در نسبت هم‌ارزی پایین به دلیل پایین آمدن دمای شعله خام سوزی افزایش می‌یابد. اما در نسبت هم‌ارزی بالا به دلیل کاهش میزان هوای اضافه، هوای در دسترس برای احتراق کم شده و منجر به افزایش خام سوزی می‌شود.

نتایج به‌دست‌آمده حاکی از بهتر بودن کارکرد در نسبت هم‌ارزی تقریباً 0.7 و شعله سطحی است که با نتایج مراجع [1] و [10] همخوانی دارد.

4-2- آلایندگی

آلاینده‌های کربن‌مونواکسید و ناکس برای 3 توان و 3 نسبت هم‌ارزی مختلف اندازه‌گیری و نتایج در شکل‌های 3 و 4 نمایش داده شده‌است. برای آزمون احتراقی بر حسب استاندارد ملی به شماره 10325 باید از ظرف با قطر 22 سانتی‌متری استفاده شود. فاصله مشعل تا ظرف نیز بر حسب فاصله‌های مشعل معمولی 2 سانتی متر انتخاب شد.

در احتراق معمولا انتظار می‌رود از نسبت هم‌ارزی 0.7 تا 1 آلاینده کربن مونواکسید رو به افزایش باشد [19]. اما در مورد مشعل‌های متخلخل همواره این گونه نیست، مشعل‌های متخلخل در سوخت‌های فقیر عملکرد بهتری دارند. برای مثال ماتکومار و همکارانش [10] در نسبت هم ارزی 0.54 تا 0.7 کار کردند و دریافتند که تا نسبت هم ارزی 0.7 کاهش تولید کربن مونو اکسید ادامه می‌یابد اما بعد از آن در کار آقای ماتکومار نمایش داده نشده‌است. در تحقیق حاضر آزمون در حوالی نسبت هم ارزی 0.8 نیز انجام شد، که افزایش تولید کربن‌مونواکسید را به همراه داشت. افزایش خام‌سوزی مشعل به دلیل نزدیک شدن شعله به سطح متخلخل و تمایل به تو رفتگی شعله است. برای افزایش نسبت هم‌ارزی میزان هوای اضافه باید کم شود، با کاهش میزان هوای اضافه شعله به داخل متخلخل کشیده شد اما به دلیل ضخامت بالای محیط متخلخل شعله دچار ناپایداری شده و پرش و فرو رفتگی متوالی

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from mme.modares.ac.ir at 13:57 IRDT on Wednesday May 9th 2018

داشت. در نسبت هم‌ارزی 0.8 به بالا دراثر کاهش هوای در دسترس برای احتراق و ناپایدرای شعله ترکیب سوخت و هوای مناسب صورت نگرفته و خام سوزی تشدید می‌شود.

در شکل 4 نیز میزان تولید ناکس نمایش داده شده است. با افزایش نسبت هم‌ارزی شعله داغ‌تر شده و تولید ناکس حرارتی نیز افزایش می‌یابد. بیشترین حجم ناکس تولیدی ناکس حرارتی است. تولید ناکس رابطه مشخص و مستقیم با توان ندارد، به طوریکه در برخی موارد با افزایش توان تولید ناکس کاهش پیدا کرده است.

4-3- بازدهی

بعد از بررسی حدود شعله‌وری و آلایندگی، برای 3 توان و 3 نسبت هم‌ارزی مختلف بازدهی به‌دست آمد که در شکل 5 نمایش داده شده‌است. از شکل 5 پیداست که بازدهی به ترتیب با توان و نسبت هم‌ارزی رابطه عکس و مستقیم دارد. با افزایش توان اتلافات افزایش پیدا کرده و بازدهی کاهش می‌یابد، اما با افزایش نسبت‌هم‌ارزی دمای شعله بالاتر می‌رود و بازدهی در این محدوده نسبت هم‌ارزی تا 2٪ افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج و پایداری و تولید آلاینده کم در نسبت هم ارزی 0.7 و توان 2.7 کیلووات این حالت به عنوان حالت بهینه مشعل متخلخل با قطر 7 سانتی‌متر انتخاب شد. در این مرحله حالت بهینه بازدهی با تغییر پارامترهای فاصله مشعل تا ظرف و قطر ظرف مورد استفاده در مشعل متخلخل به‌دست‌آمد. در شکل 6 برای سه قطر ظرف و سه فاصله مختلف بازدهی خالص نمایش داده شده است.

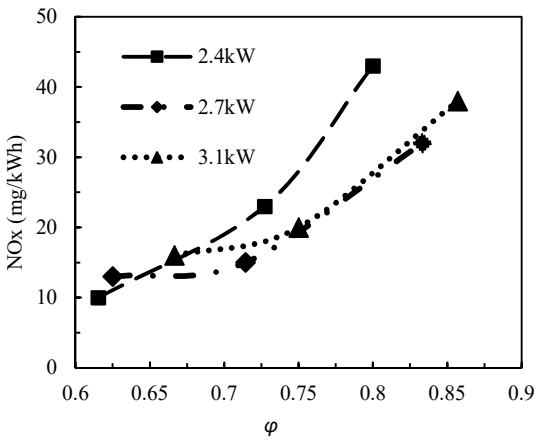

Fig. 4 Effect of equivalence ratio and power on NO_X

شکل 4 تأثیر نسبت هم‌ارزی و توان بر تولید NO_X

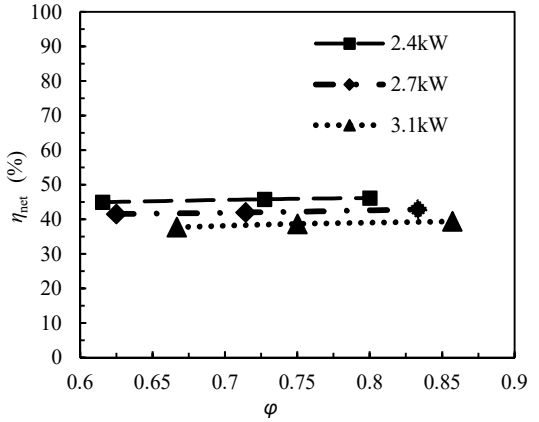

Fig. 5 Effect of equivalence ratio and power on efficiency

شکل 5 تأثیر نسبت هم‌ارزی و توان بر بازده

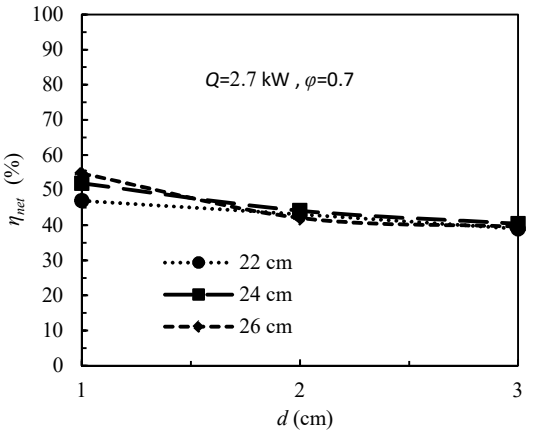

Fig. 6 Effect of Pot diameter and Distance between Pot and Burner on efficiency

شکل 6 تأثیر قطر ظرف و فاصله ظرف تا مشعل بر بازده

بهترین عملکرد برای ظرف به قطر26cm و در فاصله 1cm به‌دست آمد. بازدهی در بهترین حالت تا 55٪ افزایش پیدا کرده است. در کل با افزایش فاصله مشعل و ظرف بازدهی کاهش می‌یابد، اما نمی‌توان رابطه قطعی بین قطر ظرف و بازدهی عنوان کرد. به طوریکه با افزایش قطر ظرف به علت افزایش اتلافات از سطح در برخی موارد بازدهی کاهش نیز می‌یابد.

5- مقایسه مشعل معمولی و متخلخل

برای مقایسه مشعل معمولی و متخلخل یک نمونه مشعل موجود در بازار با شعله بونسن که در شکل 7 شعله آن نمایش داده شده، استفاده شد.

در این مرحله ابتدا با تعویض سر مشعل معمولی با متخلخل وضعیت شعله بررسی و میزان آلایندگی اندازه‌گیری شده است. شعله تشکیل شده که در شکل 8 نمایش داده شده به علت ارتفاع زیاد (25cm) و ناپایداری برای مصارف خانگی مناسب نبوده و حتی آلایندگی آن از مشعل معمولی نیز بیشتر بود. بر همین اساس مقایسه بین مشعل متخلخل سطحی با طراحی شکل 1 و مشعل معمولی با شعله شکل7 انجام گرفته است. سعی شده تا حد ممکن شرایط یکسانی بین مشعل‌ها بوجود آید. موارد زیر برای هر دو مشعل به صورت یکسان در نظر گرفته شده است :

1- قطر یکسان 7 سانتی‌متری معادل مشعل‌های کوچک معمولی بازار
2- فاصله یکسان مشعل تا ظرف 2 سانتی‌متر مطابق با شرایط مشعل‌های معمولی
3- توان یکسان
4- ابزار اندازه‌گیری یکسان

مشعل متخلخل در نسبت هم‌ارزی 0.7 تنظیم شد.

5-1- مقایسه بازدهی

نتیجه مقایسه بازدهی در شکل 9 نمایش داده شده، در سه توان معمول برای مشعل‌های اجاق گاز مقایسه بازدهی صورت گرفته است. به دلیل ساختار شعله‌های معمولی امکان تغییر نسبت هم‌ارزی وجود ندارد. اختلاف بازدهی بین 10 تا 15٪ وجود دارد، به معنای دیگر بازدهی مشعل‌های متخلخل 1.38 تا 1.5 برابر بازدهی مشعل‌های معمولی است. با افزایش توان بازدهی هر دو مشعل کاهش پیدا می‌کند که با نتایج [11] همخوانی دارد. مهم‌ترین دلایل بالاتر بودن بازدهی مشعل متخلخل موارد زیر است :

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from mme.modares.ac.ir at 13:57 IRDT on Wednesday May 9th 2018

Fig. 7 Conventional burner flame

شکل 7 شعله مشعل معمولی

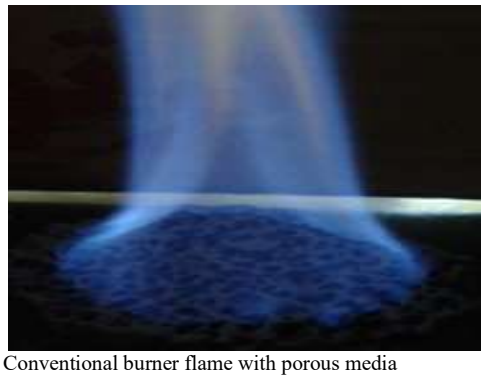

Fig. 8 Conventional burner flame with porous media

شکل 8 شعله مشعل معمولی با سر مشعل متخلخل

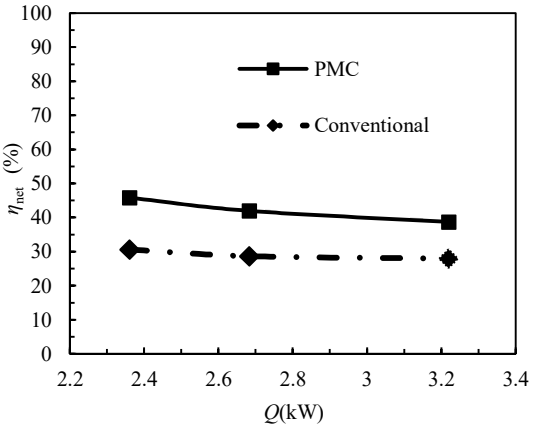

Fig. 9 Efficiency of conventional and porous burners

شکل 9 بازدهی مشعل معمولی و متخلخل

- توزیع شعله در سطح بیشتر به عبارت دیگر افزایش سطح انتقال حرارت.
- به دلیل کارکرد مشعل متخلخل با میزان هوای اضافه کمتر به نسبت مشعل معمولی دمای شعله بالاتر است.

5-2- مقایسه کربن مونو اکسید

در شکل 10 میزان تولید کربن‌مونواکسید در مشعل معمولی با حالت بهینه مشعل متخلخل (نسبت هم‌ارزی 0.7) مقایسه شده است. میزان تولید کربن-مونواکسید مشعل‌های معمولی بین 8 تا 26 برابر مشعل‌های متخلخل است. این اختلاف زیاد ناشی از موارد زیر است :

- در مشعل متخلخل پیش‌اختلاط کامل‌تر سوخت و هوا صورت می‌گیرد.
- پیش‌گرمایش مخلوط نسوخته در مشعل‌های متخلخل بسیار بهتر صورت می‌گیرد.
- هوای اضافه زیاد در مشعل‌های معمولی موجب سرد شدن شعله شده و خام‌سوزی به وجود می‌آورد.
- در مشعل معمولی شعله تا سطح ظرف ادامه دارد و به دلیل بر خورد با بدنه سرد ظرف موجب افزایش میزان خام سوزی می‌شود، اما در مشعل‌های متخلخل در نسبت هم‌ارزی 0.7 شعله نزدیک سطح بوده و برخوردی با ظرف ندارد.

با افزایش توان مشعل‌های معمولی تولید کربن‌مونواکسید افزایش پیدا کرده-است. در مشعل‌های معمولی می‌تواند به دلیل کم شدن هوای اضافه باشد. در مشعل‌های متخلخل تغییرات با توان بسیار کمتر است.

5-3- مقایسه تولید ناکس

در شکل 11 میزان تولید ناکس دو نوع مشعل با یکدیگر مقایسه شده‌است. ناکس تولیدی مشعل‌های معمولی حدود 8 برابر مشعل‌های متخلخل است.در مشعل معمولی نقاط داغ[1] بیشتری وجود دارد، اما در مشعل متخلخل به دلیل توزیع انرژی گرمایی در سطحی بیشتر نقاط داغ کمتر هستند و به همین دلیل تولید ناکس حرارتی در مشعل متخلخل کمتر است.

با افزایش توان تولید ناکس بیشتر می‌شود که به دلیل داغ تر شدن شعله و تولید ناکس حرارتی بیشتر است.

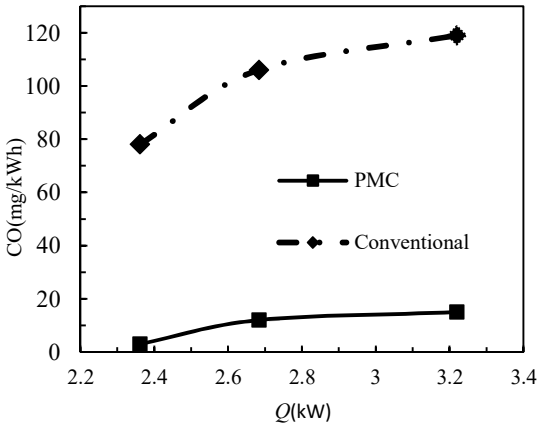

Fig. 10 Comparison of CO emission for different power for conventional and porous burners

شکل 10 مقایسه انتشار CO مشعل متخلخل و مشعل معمولی برای توان‌های مختلف

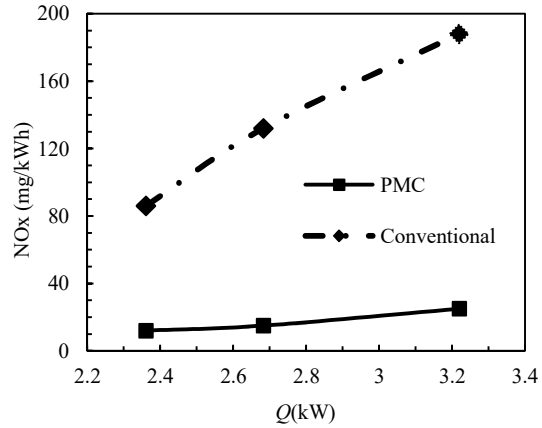

Fig. 11 Comparison of NO_X emission for different power for conventional and porous burners

شکل 11 مقایسه انتشار NO_X مشعل متخلخل و مشعل معمولی برای توان‌های مختلف

[1] Hot spot

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from mme.modares.ac.ir at 13:57 IRDT on Wednesday May 9th 2018

6- جمع بندی

در تحقیق حاضر مقایسه تجربی مشعل متخلخل سطحی سیلیکون‌کاربایدی با مشعل‌های معمولی به عنوان اجاق گاز برای به‌دست آوردن حدود شعله‌وری، میزان آلایندگی و بازدهی انجام شد. با توجه به نتایج آزمایشگاهی موارد زیر مشاهده شد :

الف- شعله مشعل متخلخل در نسبت هم‌ارزی‌های کمتر از 1 تشکیل می‌شود و بهترین عملکرد در نسبت هم‌ارزی 0.7 به‌دست‌آمد. نسبت هم‌ارزی‌های کمتر از 0.6و بزرگتر از 0.8 به ترتیب پرش و برگشت شعله رخ داد.

ب- آلاینده کربن‌مونواکسید مشعل متخلخل با افزایش نسبت هم‌ارزی تا 0.7 به دلیل کامل‌تر شدن احتراق کاهش یافته اما بعد از آن رو به افزایش است.

آلاینده ناکس مشعل متخلخل با افزایش نسبت هم‌ارزی به دلیل داغ‌تر شدن شعله افزایش می‌یابد.

پ- بازدهی مشعل متخلخل با توان و نسبت هم‌ارزی به ترتیب رابطه عکس و مستقیم دارد.

ت- در فاصله 1 سانتی‌متری مشعل متخلخل تا ظرف با افزایش قطر ظرف بازدهی افزایش می‌یابد.

ث- در فواصل بیشتر مشعل متخلخل تا ظرف به دلیل افزایش اتلافات از سطح ظرف لزوما با افزایش قطر ظرف بازدهی بیشتر نمی‌شود.

ج- بازدهی مشعل متخلخل تا 1.5 برابر بیش از مشعل معمولی است.

ح- انتشار آلاینده کربن مونواکسید در مشعل معمولی بین 8 تا 26 برابر مشعل متخلخل است.

خ- انتشار آلاینده ناکس مشعل معمولی حدود 8 برابر مشعل متخلخل است.

7- فهرست علایم

c_p	گرمای ویژه مخلوط واکنش دهنده ها ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
D	چگالی گاز نسبت به هوای خشک
d_r	چگالی گاز مرجع نسبت به هوای خشک
H	ارزش حرارتی گاز ($kcal/m^3$)
m_e	جرم معادل (kg)
m_{el}	جرم آب موجود در ظرف (kg)
m_{e2}	جرم ظرف آلومینومی (kg)
P	فشار گاز محل اندازه گیری دبی (mbar)
P_a	فشار اتمسفر(mbar)
Q	توان مشعل (kW)
t_g	دمای گاز (℃)
t_2	دمای ثانویه آب (℃)
t_1	دمای اولیه آب (℃)
V	دبی حجمی گاز (m^3)

علایم یونانی

φ	نسبت هم‌ارزی
η	بازدهی (٪)

زیرنویس‌ها

N	شرایط نامی
0	شرایط مرجع دمای 15℃ و فشار 1013.25 pa
net	خالص
gross	ناخالص

اختصارات

ppm	Part per million
ppi	Pores per inch
PMC	Porous media combustion

8- تقدیر و تشکر

این تحقیق تحت حمایت و پشتیبانی شرکت ملی گاز ایران صورت گرفته است، لذا نویسندگان کمال تشکر را از این همراهی دارند. همچنین نویسندگان از همکاری مدیریت مرکز ملی آزمون و تحقیقات سیستم‌های گرمایشی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران سرکار خانم مهندس خوشنویسان و جناب آقای مهندس ابراهیمی از شرکت ژوپن گاز کمال تشکر را دارند.

9- مراجع

[1] M. A. Mujeebu, M. Abdullah, A. Mohamad, Development of energy efficient porous medium burners on surface and submerged combustion modes, *Energy*, Vol. 36, No. 8, pp. 5132-5139, 2011.

[2] M. Isabel, M. A. Mujeebu, Potential of Porous Media Combustion Technology for Household Applications, *International Research Establishment for Energy and Environment (IREEE)*. Kerala. India, Vol. 1, No. 1, pp. 50-69, 2015.

[3] W. Yoksenakul, S. Jugjai, Design and development of a SPMB (self-aspirating, porous medium burner) with a submerged flame, *Energy*, Vol. 36, No. 5, pp. 3092-3100, 2011.

[4] U. Makmool, S. Jugjai, S. Tia, P. Vallikul, B. Fungtammasan, Performance and analysis by particle image velocimetry (PIV) of cooker-top burners in Thailand, *Energy*, Vol. 32, No. 10, pp. 1986-1995, 2007.

[5] S.Kakati, P. Mahanta, S. K Kakoty. Performance analysis of pressurized kerosene stove with porous medium inserts, *Journal of Scientific and Industrial Research*, Vol. 66, No. 7, pp 565-569, 2007.

[6] V. K Pantangi, A. S. S. R.Karuna Kumar, S. C. Mishra, N. Sahoo. Performance analysis of domestic LPG cooking stoves with porous media, *International Energy Journal*, Vol. 8, No. 2, pp. 139-144, 2007.

[7] M.Sharma, S.Mishra, P. Mahanta, An experimental investigation on efficiency improvment of a conventional kerosene pressure stove, *International Journal Energy clean Enviromment*, Vol. 12, No. 1, pp. 79-93, 2011.

[8] V. K. Pantangi, S. C. Mishra, P. Muthukumar, R. Reddy, Studies on porous radiant burners for LPG (liquefied petroleum gas) cooking applications, *Energy*, Vol. 36, No. 10, pp. 6074-6080, 2011.

[9] P. Muthukumar, P. Anand, P. Sachdeva, Performance analysis of porous radiant burners used in LPG cooking stove, *International Journal of Energy and Environment*, Vol. 2, No. 2, pp. 367e74, 2011.

[10]P. Muthukumar, P. I. Shyamkumar, Development of novel porous radiant burners for LPG cooking applications, *Fuel*, Vol. 112, No. 12, pp. 562-566, 2013.

[11]N. Mishra, P. Muthukumar, S. C. Mishra, Performance Tests on medium-scale porous radiant burners for LPG cooking applications, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 3, No. 3, pp. 126-130, 2013.

[12]C.-Y. Wu, K.-H. Chen, S. Y. Yang, Experimental study of porous metal burners for domestic stove applications, *Energy Conversion and Management*, Vol. 77, No. 1, pp. 380-388, 2014.

[13] M. Shafiei, M. Farzaneh, R. Ebrahimi, M. Shams, Experimental research on combustion in a porous media burners, *Second Combustion Conference of Iran*, Vol. 15, 2008.(in persian فارسی)

www.SID.ir

Archive of SID

[14]M. davazdahemami, M. Rezaei bakhsh, H. atoof, Experimental Study flashback in a 5kW two-layer porous burner, *fuel and Combustion Conference of Iran*, Vol. 9, 2011.(in persian فارسی)

[15]S. A. Hashemi, M. Dastmalchi, M. Nikfar, Experimental Study flashback phenomenon in porous ceramic, *Amirkabir Journal of Science & Research (Mechanical Engineering)*, Vol. 46, NO. 1, pp. 25-35, 2014.(In persian فارسی)

[16]S.A.Hashemi, E.Noori, A.Aghaei, Experimental study of non-premixed turbulent flame stabilization with porous medium, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 15, No. 5, pp.341-349,2015. (In Persian فارسی)

[17]ISIRI 10325, Domestic cooking appliances burning gas – Specifications and test methods, 2007. (in persian فارسی)

[18]EN 30-2-1 Domestic cooking appliances burnings gas- Rational use of energy - General, 1980.

[19] S. R. Turns, *AN Introductitoon Combustion Concepts and Applications*, second edition, pp. 46, Pennsylvania, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, 2000.

Downloaded from mme.modares.ac.ir at 13:57 IRDT on Wednesday May 9th 2018

www.SID.ir