

## برآورد نسبت سوخت به هوای مصرفی در یک دستگاه بخاری گازسوز

مصطفی رحیمی<sup>۱</sup>، ابراهیم عبدی اقدم<sup>۲</sup>

اردبیل - دانشگاه محقق اردبیلی - دانشکده فنی - گروه مهندسی مکانیک

E-mail: [mosrah12@Yahoo.com](mailto:mosrah12@Yahoo.com)

### چکیده

هدف از انجام این مطالعه، برآورد نسبت سوخت به هوای مصرفی در یک دستگاه بخاری گاز سوز می باشد. برای این منظور ابتدا با استفاده از معادله احتراق، نسبت سوخت به هوا در مخلوط صحیح شیمیایی یا استوکیومتری (stoichiometric) با استفاده از گاز طبیعی محاسبه شده است. سپس با استفاده از یک دستگاه بخاری گاز سوز معمولی، شدت جریان گاز در حالت بار کامل اندازه گیری و سرعت متوسط جریان محصولات احتراق درون لوله دودکش برآورد شده است. بر اساس نتایج بدست آمده مقدار هوایی که در شرایط معمولی از درون یکدستگاه بخاری، ضمن احتراق جریان پیدا می کند حدود چهار برابر مقدار هوای لازم برای مخلوط استوکیومتری است که این امر به میزان قابل توجهی در کاهش راندمان بخاریهای گاز سوز معمولی موثر می باشد.

واژه‌های کلیدی: بخاری گاز سوز - نسبت سوخت و هوا - راندمان بخاری

### 1- مقدمه

انرژی لازم برای گرمایش منازل بخش عمده‌ای از مصرف انرژی بالاخص در مناطق سردسیر کشور ما را تشکیل می‌دهد. با توجه به کیفیت بالای احتراق گاز طبیعی در مقایسه با سوخت‌های مایع و بدلیل سهل الحصول بودن تبدیل انرژی فسیلی گاز به انرژی حرارتی، استقبال فراوانی در استفاده از آن برای سیستم گرمایش منازل در ایران بعمل آمده است و در این میان بخاری‌های گازسوز در مقیاس وسیعی مورد استفاده قرار گرفته و حتی در بعضی موارد بصورت جایگزین سیستم حرارت مرکزی استفاده شده است. بهینه‌سازی ساختمان‌ها از نظر مصرف انرژی، بر عایق‌بندی دیوارها و کاهش درزهای موجود تاکید دارد در حالی که استفاده از بخاری‌های گازسوز مستلزم پیش بینی راههای تامین هوای لازم برای احتراق است. در این تحقیق ابتدا مشخصات گاز طبیعی مصرفی در ایران مرور می‌شود سپس با در نظر گرفتن معادله احتراق، حداقل مقدار هوای لازم برای انجام احتراق تعیین می‌گردد سرانجام با استفاده از نتایج به دست آمده از آزمایشات، در مورد مقدار هوایی که از درون یک دستگاه بخاری گازسوز معمولی ضمن استفاده از آن جریان پیدا می‌کند اظهار نظر می‌شود.

1 - استادیار، عضو هیات علمی - مهندسی مکانیک

2 - استادیار، عضو هیات علمی - مهندسی مکانیک

## 2 - مشخصات گاز طبیعی مصرفی در ایران و معادله احتراق آن

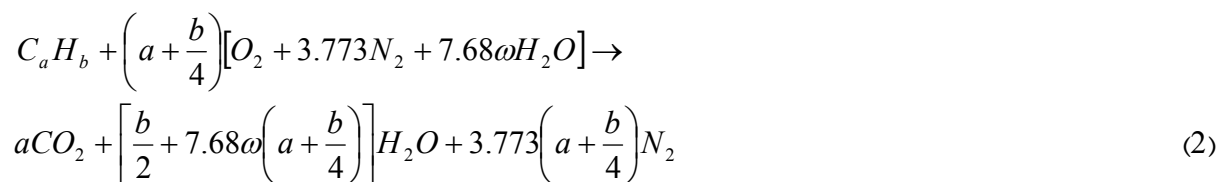
در ایران گاز طبیعی خام از چاه های مستقل گازی و چاه های نفت استخراج می شود. گاز طبیعی خام عمدتاً از هیدروکربور متان و گاز اتان همراه با هیدروکربورهای دیگر (سنگین و مایع) مانند پروپان و بوتان و هیدروکربورهای سنگین تر و بنزین طبیعی و ناخالصی های دیگر مانند آب (H<sub>2</sub>O)، دی اکسید کربن (CO<sub>2</sub>)، منواکسید کربن (CO)، نیتروژن، سولفید هیدروژن (H<sub>2</sub>S) و هلیوم (He) تشکیل شده است. قسمت اعظم گاز طبیعی را متان تشکیل می دهد. گاز متان بیرنگ و بی بو و از هوا سبک تر است. ارزش حرارتی هر متر مکعب متان در شرایط متعارفی تقریباً معادل ارزش حرارتی یک لیتر نفت سفید است. فرمول عمومی اجزای اصلی گاز طبیعی C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> بوده و ارزش حرارتی هیدروکربنهای متان، اتان، پروپان و بوتان بترتیب 8400، 10200، 22200 و 28500 کیلوکالری به ازای هر متر مکعب از آنها در شرایط استاندارد می باشد. گاز طبیعی بدلیل بالا بودن نسبت هیدروژن به کربن از نظر محصولات احتراق تمیزترین سوخت فسیلی بحساب می آید زیرا بخش عمده محصولات احتراق آب بوده و حداقل دی اکسید کربن را در مقایسه با سایر سوختها تولید می کند. گاز طبیعی حاصله از میادین گازی سرخس حاوی متان با درجه خلوص 98 درصد است. گاز طبیعی سایر میادین تقریباً شامل 85٪ درصد مولی گاز متان، 12٪ گاز اتان و 3٪ گاز پروپان، بوتان، ازت و غیره می باشد [1]. ارزش حرارتی مخلوط گازی با مشخصات فوق چنین بر آورد می شود:

(1)

$$0.85 \times 8400 + 0.12 \times 10200 + 0.02 \times 22200 + 0.01 \times 28500 = 9093 \text{ kcal} / \text{m}^3$$

که در شرایط متعارفی این مقدار گاز برابر 0/766 kg جرم خواهد داشت.

مشخصات هوای خشک استاندارد به شرح جدول (1) است. از آنجا که غیر از اکسیژن، سایر گازها در برآورد مخلوط صحیح شیمیایی نقشی ندارند، لذا می توان درصد کم گازهای CO<sub>2</sub> و آرگن را در درصد قابل توجه N<sub>2</sub> ادغام نموده و به استفاده از جرم مولار نیتروژن اتمسفری به مقدار 28.16 اکتفا کرد. در نتیجه در هوای اتمسفری به ازای هر مول اکسیژن 3.773 مول نیتروژن اتمسفری خواهیم داشت. با توجه به تعریف درصد رطوبت (ω)، می توان براحتی نشان داد که به ازای هر مول اکسیژن هوا 7.68 ω مول آب در هوای مرطوب خواهیم داشت. با این حساب معادله استوکیومتری مخلوط سوخت هیدروکربنی و هوای مرطوب را می توان بصورت زیر نوشت [3]:



مشخصات اصلی

نسبت مولار	کسر مولی	وزن مولکولی	ppm حجمی	نوع گاز
1	0/2095	31/998	209500	O <sub>2</sub>
3/773	0/7905	28/012	780900	N <sub>2</sub>
		38/948	9300	A
		40/009	300	CO <sub>2</sub>
4/773	1/000	28/962	1000000	هوا

جدول 1 -  
هوای خشک [2]

در نتیجه نسبت وزنی هوای مرطوب به سوخت در مخلوط استوکیومتری می‌شود:

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{35.56(4+y)(1+\omega)}{(12.011+1.008y)} \quad (3)$$

که در آن  $y$  نسبت تعداد اتم هیدروژن به تعداد اتم کربن در سوخت می‌باشد و برای مخلوط گازی با مشخصات در نظر گرفته شده می‌توان نوشت:

$$y = \frac{H}{C} = \frac{4 \times 0.85 + 6 \times 0.12 + 8 \times 0.02 + 10 \times 0.01}{0.85 + 2 \times 0.12 + 3 \times 0.02 + 4 \times 0.01} = \frac{4.38}{1.19} = 3.68$$

چون عدد مربوط به درصد رطوبت خیلی کوچکتر از واحد می‌باشد لذا با صرف نظر از آن نسبت وزنی هوا به سوخت در مخلوط استوکیومتری چنین محاسبه خواهد شد:

(5)

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = 17.37$$

نسبت حجمی هوا به سوخت در شرایط متعارفی با استفاده از این مقدار برابر 11/23 خواهد بود. وجود رطوبت و افزایش کسر مولی گونه‌های غیرفعال دیگر موجود در هوا نسبت فوق را به مقدار ناچیزی می‌تواند تغییر دهد.

### 3 - اندازه‌گیری و برآورد مقدار گاز و هوای جاری از درون بخاری

به منظور بررسی مقدار هوایی که در شرایط معمولی از درون یک دستگاه بخاری گاز سوز جریان پیدا می‌کند اندازه‌گیری‌های تجربی به شرح زیر به عمل آورده شد. یک دستگاه بخاری گاز سوز معمولی ساخت کارخانه NICALA به عنوان نمونه در آزمایشگاه نصب گردید. برای اندازه‌گیری دبی گاز، جریان آن در حالت بار کامل به کمک شلنگ گازی که به خروجی اریفیس بخاری متصل شده بود به درون یک استوانه مدرج که به طور وارونه درون ظرف آبی قرار داشت هدایت گردید. با حرکت تدریجی استوانه مدرج درون ظرف آب به سمت بالا شرایطی ایجاد گردید که انتهای شلنگ گاز در درون استوانه مدرج همواره در فشاراتمسفر محلی یعنی هم سطح آب قرار گیرد. حجم گاز جمع‌آوری شده درون استوانه مدرج و مدت زمان مربوطه اندازه‌گیری شد و با تکرار آزمایش دبی حجمی گاز در حدود  $220 \text{ cm}^3/\text{s}$  به دست آمد. این عدد با مقدار قرائت شده از روی کنتور گاز مطابقت خوبی داشت. با فرض فشار محلی برابر  $90 \text{ kPa}$  و دمای محیط برابر  $21^\circ \text{C}$  دبی جرمی گاز معادل  $0.544 \text{ kg/h}$  خواهد بود.

بخاری مورد آزمایش در حالت بار کامل و در شرایط پایدار با دودکش خروجی به طول  $3/2 \text{ m}$  در آزمایشگاه مورد تست قرار گرفت. درجه حرارت محیط برابر  $21^\circ \text{C}$  بوده و دودکش مورد استفاده از نوع فلزی و در معرض هوای اطراف قرار داده شد. درجه حرارت در مقطع ورودی دودکش (مقطعی به فاصله  $20 \text{ cm}$  پس از زانویی خروجی) در ناحیه مرکزی جریان به کمک ترموکوپل نوع K که درون غلاف نازک فلزی قرار داده شده بود برابر  $201/3^\circ \text{C}$  اندازه‌گیری شد. مقدار درجه حرارت در ناحیه مشابه و در مقطع خروجی برابر  $149^\circ \text{C}$  ثبت گردید. به دلیل باز بودن محفظه احتراق بخاری و جریان هوا از منافذ مختلف به داخل، اندازه‌گیری دبی هوای ورودی ممکن نبوده همچنین با توجه به محدوده نسبتا بالای درجه حرارت محصولات احتراق درون لوله دودکش، اندازه‌گیری سرعت محصولات احتراق با سنسور سیم داغ نیز میسر نگردید. فلذا سرعت تقریبی جریان به کمک اندازه‌گیری مدت زمان لازم برای حرکت یک توده بسیار سبک از جنس پنبه در طول دودکش برآورد شد. در این قسمت از آزمایش در ابتدای دودکش یک قسمت شیشه‌ای نصب گردیده و در زیر آن منفذ کوچکی در جداره

دودکش تعبیه گردید. توده پنبه مذکور از طریق این منفذ و به کمک سیم نازکی در وسط جریان قرار داده شد تا در زمان مورد نظر آزاد شده، به همراه جریان درون دودکش حرکت و از آن خارج شود و مدت زمان لازم برای این حرکت اندازه گیری شد. به منظور افزایش دقت، آزمایش مذکور چندین بار تکرار گردید. متوسط زمان‌های اندازه‌گیری شده برای حالت بار کامل بخاری و طول دودکش 3 m برابر 1/55 sec بدست آمد. به این ترتیب مقدار متوسط سرعت جریان در حدود 1/94 m/s بر آورد گردید.

با فرض آشفته بودن جریان، و با توجه به روش اندازه‌گیری دما که برای ناحیه مرکزی جریان انجام شده است، درجه حرارت‌های ثبت شده در هر مقطع برابر دمای متوسط جریان در آن مقطع فرض می‌شود این فرض خطای بسیار کمی را باعث خواهد شد (با استفاده از قانون تجربی توزیع سرعت جریان آشفته درون لوله و داده‌های تجربی مربوط به توزیع دمادر جهت شعاعی [4] اختلاف درجه حرارت متوسط با دمای ناحیه مرکزی کمتر از 4 درصد حاصل می‌شود) و با فرض نزدیک بودن خواص سیال درون دودکش به هوا به عنوان یک گاز کامل، مقدار جرم حجمی متوسط جریان در فشار محلی که برابر 90 kPa در نظر گرفته می‌شود برابر  $0/7 \text{ kg/m}^3$  محاسبه گردید. به این ترتیب می‌توان مقدار دبی جرمی جریان از درون بخاری مورد آزمایش را محاسبه نمود که برابر 38/38 kg/h نتیجه می‌شود.

#### 4 - بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از مقدار به دست آمده برای جریان جرمی گاز که برابر 0/544 kg/h می‌باشد و با در نظر گرفتن نتایج بخش دوم که بر اساس آن نسبت جرمی هوا به سوخت برابر 17/37 حاصل شده است می‌توان جریان جرمی هوا برای انجام واکنش استوکیومتری را برابر 9/45 kg/h در نظر گرفت. لذا جریان جرمی درون لوله دودکش برای چنین حالت تئوری برابر 10 kg/h نتیجه می‌شود. در حالیکه عدد برآورد شده برای حالت عملی در حدود چهار برابر آن یعنی 38/38 kg/h می‌باشد. با در نظر گرفتن ارزش حرارتی جریان گازی که به درون بخاری مورد آزمایش راه پیدا می‌کند و مقدار هوای اضافی که به همراه محصولات احتراق به بیرون از محل مورد گرمایش هدایت می‌شود مقدار راندمان حرارتی بخاری مورد آزمایش در حدود 80 درصد می‌باشد در حالیکه اگر تنها مقدار هوای تئوری لازم برای انجام احتراق به درون بخاری هدایت و تحت همان شرایط دمایی از دودکش خارج می‌شد مقدار راندمان حرارتی به حدود 95 درصد افزایش می‌یافت.

مقدار جریان عبوری از درون یک دستگاه بخاری روشن به پارامترهای طراحی آن از جمله شکل و ابعاد منافذ ورود هوا به درون آن، شکل و اندازه محفظه احتراق و نحوه اتصال آن به لوله دودکش و بالاخره قطر و طول لوله دودکش بستگی خواهد داشت. در طراحی چنین سیستمی عدم نشت محصولات احتراق به درون محل مورد گرمایش به عنوان اصلی ترین عامل طراحی در نظر گرفته می‌شود اما بایستی با طراحی بهینه ضمن رعایت این اصل مهم، راندمان حرارتی این نوع وسایل گرمایشی به حد قابل قبولی بهبود داده شود.

#### مراجع

- 1- [www.naftnews.net/More\\_News.asp?id=702](http://www.naftnews.net/More_News.asp?id=702)
- 2- Heywood, J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, 1998.
- 3- Kenneth, K. Kuo., Principles of Combustion, John Wiley & Sons, 2005.
- 4- Maref, W. et al., "Heat transfer in the turbulent flow through a conduit for removal of combustion products", Building and Environment, Vol. 38, pp. 763-770, 2003.