

## بررسی عددی و آزمایشگاهی تاثیر موانع جریان بر افزایش بازده گرمایی بخاری گازی

سیامک حسین پور<sup>۱\*</sup> و شهرام کاشانی اصل<sup>۲\*\*</sup>

۱- دانشگاه صنعتی سهند تبریز، دانشکده مهندسی مکانیک

۲- اداره اوزان و آزمایشگاه‌های فلزی، اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی آذربایجان شرقی

(دریافت: ۱۳۸۸/۱۱/۱۳، پذیرش: ۱۳۸۹/۶/۱۴)

در این مقاله نتایج تحقیق در مورد بهبود بازده گرمایی بخاری گازی دودکش دار ارائه شده است. با تعبیه موانع مناسب درون کوره و در مسیر جریان گازهای داغ خروجی، از خروج سریع گازهای حاصل از احتراق از طریق دودکش جلوگیری شده و زمان ماند گازهای داغ در داخل بخاری افزایش و به تبع آن بازده بخاری گازی بهبود می‌یابد. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار فلونت، جریان و انتقال گرمای گازهای حاصل از احتراق برای هندسه‌های مختلف پیشنهادی برای موانع جریان، شبیه‌سازی شده و تاثیر شکل موانع در بازده گرمایی بخاری بررسی شده است. مانع مناسب با بیشترین افزایش بازده گرمایی انتخاب شده و در نهایت با ساخت و انجام آزمون‌های آزمایشگاهی، نتایج حاصل از نرم‌افزار تایید شده است و در نهایت بازده بخاری گازی ساخت شرکت دونار خزر مدل ۱۲۰۰۰ از مقدار ۷۶/۲ به ۸۲/۹ درصد ارتقا داده شده است.

**واژگان کلیدی:** بازده گرمایی بخاری گازی، هندسه موانع جریان، آزمون بازده بخاری گازی، شبیه‌سازی عددی

### مقدمه

بحث انرژی و استفاده بهینه از انواع مختلف آن از دیرباز مورد توجه بشر بوده است. امروزه به دلیل گستردگی مصرف گاز، هر گام در راستای طراحی مناسب وسایل گازسوز، کاهش مصرف سوخت و به تبع آن صرفه‌جویی ارزی کلانی را در کل کشور در پی خواهد داشت. نتیجه این تحقیق در ساخت انواع بخاری گازی دودکش دار کاربرد داشته و قابل تعمیم در انواع بخاری‌های گازی با ظرفیت‌های از ۴۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلوکالری است. بخاری گازی که برای گرم کردن منازل استفاده می‌شود از طریق مشعلی که احتراق مخلوط گاز و هوا در سطح آن صورت می‌گیرد، تولید گرما می‌کند. گرمای تولید شده ابتدا به صورت افزایش دمای گازهای حاصل از احتراق و مقدار اندکی انرژی تشعشعی از شعله ظاهر می‌شود و سپس در حین حرکت این گازها به سمت دودکش به هر سه شکل مختلف انتقال گرما به بدنه بخاری گازی منتقل شده و پس از انتقال به هوای اطراف باعث گرمایش منزل می‌شود. گازهای حاصل از احتراق در حالت کلی شامل بخار آب، دی اکسید کربن و مواد خنثی مثل نیتروژن هوا و هوای اضافی خواهد بود. بخاری‌های گازسوز بر اساس نحوه تخلیه محصولات احتراق و نحوه ورود هوای احتراق در دو دسته بخاری دودکش‌دار و بدون دودکش دسته‌بندی می‌شوند. در این مطالعه بخاری‌های از نوع اول بررسی شده و هدف کلی افزایش بازده گرمایی بخاری بوده است.

بازده بخاری به صورت نسبت کل گرمای داده شده به محیط به کل انرژی آزاد شده از احتراق (ارزش گرمایی سوخت در جرم سوخت مصرف شده) تعریف می‌شود. در کشورهای دیگر مصرف گاز طبیعی به صورت لوله کشی گاز شهری به دلیل نبود منابع گازی کمتر متداول است و در نتیجه به این مساله به صورتی که در این تحقیق پرداخته شده، توجه نشده است. بیشتر بخاری‌های موجود در کشور نیز بدون توجه به این مساله و با توجه به چند نمونه خارجی طراحی و ساخته شده‌اند. شایان ذکر است بر اساس مدارک معتبر موجود، کلیه بخاری‌های گازی موجود در کشور دارای بازده گرمایی زیر ۷۸ درصدند [۱-۳].

\* دانشیار - نویسنده مخاطب (ایمیل: Hossainpour@sut.ac.ir)

\*\* کارشناس ارشد (ایمیل: Kashaniasl@yahoo.com)

موضوعی که در تحقیق حاضر بیشتر نمود پیدا می‌کند تاکید مجدد بر اهمیت شبیه‌سازی مسائل قبل از اقدام به آزمایش است که هزینه و زمان انجام تحقیق را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد. در این تحقیق از نرم افزار فلوئنت برای شبیه‌سازی این پدیده استفاده شده است.

بخاری گازی که برای گرم کردن منزل از طریق جابه‌جا کردن هوای گرم طراحی شده است شامل قسمت‌های مختلفی است.

(۱) مشعل: قسمتی که اختلاط کامل هوا و سوخت در آن انجام شده و شعله احتراقی در سطح خروجی آن تشکیل می‌شود.

(۲) سطوح کاری: قسمت‌هایی از بخاری که به دلیل طراحی آن دمای بالاتری دارند. سطوح دیگر که در حین استفاده عادی بخاری با دست تماس پیدا می‌کنند، مثلاً سطوح نزدیک به شیرهای کنترل دمای پایین‌تری خواهند داشت. شکل (۱) سطوح کاری را نشان می‌دهد.

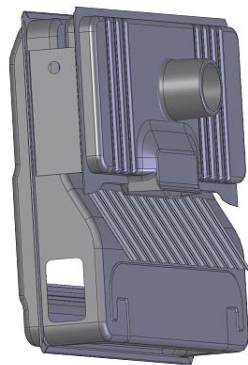
(۳) سطوح مانع: سطوحی که در بخاری تعبیه می‌شود تا جهت و اندازه سرعت جریان هوا و یا مخلوط اولیه و یا گازهای حاصل از احتراق را تغییر دهند.

(۴) کلاهک تعدیل جریان خروجی: مانعی که در مسیر تخلیه محصولات احتراق قرار گرفته و از تاثیر شدید جریان مکش دودکش بر شعله احتراقی جلوگیری کرده و همچنین اثر منفی جریان هوای معکوس دودکش بر ثبات شعله مشعل و احتراق آن را به کمترین مقدار می‌رساند.

ساختمان بخاری طوری ساخته می‌شود که دارای دوام و استحکام کافی بوده و در برابر کج شدن، خمیدگی، تاب خوردگی و سایر نواقص احتمالی مقاوم باشد. بنابراین ضخامت ورق مورد استفاده در ساخت بدنه آن محدودیت ویژه‌ای خواهد داشت [۳].

همچنین به جهت تزئین و افزایش عمر کاری بخاری معمولاً سطوح مختلف آن توسط پوشش‌ها و رنگ‌ها و مواد زد زنگ پوشش داده می‌شوند. همه این عوامل باعث افزایش مقاومت مسیر انتقال گرمای احتراق می‌شوند ولی اجتناب ناپذیرند.

یکی از روش‌های افزایش بازده گرمایی بخاری، استفاده از موانعی در مسیر جریان گازهای خروجی و به تاخیر انداختن خروج گازها از مدت‌ها پیش مطرح بوده است. به طوری که مدل‌های مختلف بخاری از شکل‌های ساده این موانع در داخل کوره استفاده می‌کنند. از طرفی نصب همین موانع از طریق افزایش افت فشار مسیر باعث کاهش بازده احتراق و افزایش تولید مواد آلاینده می‌شود [۴-۶].

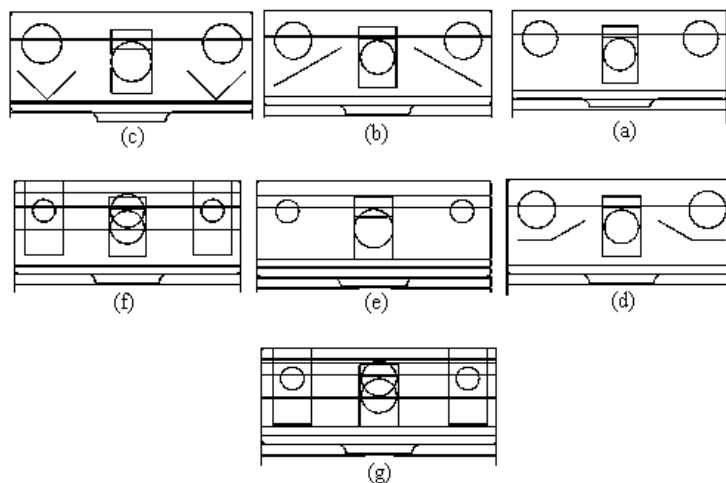


شکل ۱- سطوح گرماده

## روش انجام تحقیق

مسئله‌ای که در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است، بهینه‌سازی شکل و اندازه این موانع جهت رسیدن به بیشترین بازده برای بخاری گازی با کمترین تغییر در افت فشار جریان بوده است. برای این منظور در ابتدا مدل اولیه کوره با شرایط مرزی و ویژگی‌های تعیین شده با نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از آن با نتایج به دست آمده از طریق آزمون نمونه واقعی مقایسه شد. سپس با تکرار شبیه‌سازی حساسیت نتایج حل عددی نسبت به تغییر متغیرهای ورودی مسئله مثل دمای شعله، شرایط مرزی و ضرایب انتقال گرما که بر اساس نتایج آزمایشگاهی تعیین می‌شوند، بررسی شد. دمای محل مورد نظر گرمایش

۳۰۰ کلوین، دمای شعله ۱۰۰۰ کلوین (اندازه‌گیری دمای شعله با استفاده از دماسنج ویژه) و ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی برای هوا  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$  (در شرایط متعارف، در آزمایشگاه یا محل مورد نظر برای گرمایش، جابه‌جایی اجباری هوا وجود ندارد) در نظر گرفته شده است. در نهایت بهترین مقادیری که با استفاده از آن‌ها نتایج شبیه‌سازی با نتایج آزمون منطبق می‌شد انتخاب شد. سپس هفت مسئله تعریف شده با شکل‌های مختلف موانع با همان شرایط مرزی و ویژگی‌های مسئله اولیه در نرم‌افزار فلونتت شبیه‌سازی شد و با بررسی نتایج به دست آمده از این شبیه‌سازی‌ها بهترین شکل مانع برای ساخت انتخاب شد. پس از ساخت و آزمون بخاری با مانع بهینه مقدار بازده گرمایی حاصل از شبیه‌سازی با خطای اندکی مورد تایید قرار گرفت. با استفاده از نرم‌افزار گمبیت (Gambit) ساختار کوره بخاری گازی اولیه و هفت شکل مختلف موانع پیشنهادی شبکه‌بندی شد. برای ایجاد شبکه مورد نیاز از المان‌های نوع چهار وجهی استفاده شد. در شکل (۲) طرح‌های مورد مطالعه موانع جریان برای افزایش بازده گرمایی بخاری گازی نشان داده شده است.



شکل (۲) - موانع مختلف استفاده شده: (a) بدون مانع، (b) با موانع صفحات مورب، (c) با موانع V شکل، (d) با موانع صفحات مورب و افقی، (e) با موانع بزرگ و تغییر در قطر سوراخ‌های کوره، (f) با تغییر در قطر سوراخ‌های داخلی کوره و ایجاد کانال مخصوص، (g) مدل نهایی

### آزمون بازده گرمایی در آزمایشگاه

آزمون‌های این تحقیق بر اساس استاندارد ملی شماره ۲-۱۲۲۰ و با استفاده از تجهیزاتی که در این استاندارد مشخص شده و تحت ضوابط و شرایط مورد نیاز برای این کار انجام شده است. برای این منظور مطابق دستورالعمل این استاندارد دودکش مناسب برای بخاری نصب شده، جریان گاز با شرایط تعیین شده تامین شده و وسایل اندازه‌گیری مورد نیاز در محل‌های تعیین شده نصب شده‌اند. آزمون‌ها تحت فشار محیط و با طول دودکش مشخص شده در استاندارد انجام شده‌اند و برای دائمی شدن شرایط آزمون، ثبت نتایج یک ساعت پس از روشن کردن آن انجام شده است. برای حصول اطمینان از دائمی شدن شرایط، تغییرات دمای گازهای احتراقی توسط ترموکوپلی در داخل کوره به مدت ۱۵ دقیقه مورد توجه قرار گرفته است و در طی این مدت تغییرات آن بیشتر از  $\pm 2/7$  درجه سانتی‌گراد نبوده است. گازهای احتراق خروجی از دودکش برای تعیین مقدار دی اکسید کربن و مواد آلاینده خروجی توسط آنالیزور گاز بررسی شده است.

بازده گرمایی بخاری با روش‌های مختلفی بررسی و بیان می‌شود. بهترین بیان در رابطه با روش‌های اندازه‌گیری مقایسه انرژی کل ایجاد شده با انرژی تلف شده از طریق دودکش است. از بررسی کسر جرمی محصولات احتراق خروجی از دودکش و دمای گاز خروجی می‌توان مقدار انرژی خارج شده از دودکش را در مقایسه با انرژی هوای محل گرمایش به دست آورد. بدین ترتیب بازده گرمایی بخاری به صورت رابطه زیر بیان خواهد شد.

$$\eta = \frac{\dot{m}_g Q}{\dot{E}_L} \quad (1)$$

که در آن  $m_g$  دبی جرمی سوخت مصرفی،  $Q$  ارزش گرمایی سوخت و  $\dot{E}_L$  تلفات انرژی از طریق دودکش بر واحد زمان است. مقدار تلفات دودکش بر حسب درصد، از طریق رابطه تجربی داده شده در استاندارد شماره ۲-۱۲۲۰ به صورت زیر قابل محاسبه خواهد بود [۱].

$$\dot{E}_L = 9.68 + T \left( 0.00909 + \frac{0.33}{Y_{CO_2}} \right) \quad (2)$$

که در آن  $T$  اختلاف دمای گاز خروجی و دمای هوای محل آزمون به کلوین و  $Y_{CO_2}$  درصد کسر جرمی دی اکسید کربن اندازه‌گیری شده توسط آنالیزور گاز است. دما از طریق آنالیزور گاز با دقت ۲ رقم اعشار قابل اندازه‌گیری است. نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده بر روی مدل اولیه بخاری و مدل نهایی آن پس از بهینه‌سازی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- نتایج آزمایشگاهی بخاری گازی قبل و بعد از بهینه‌سازی

مدل کوره	دمای محل آزمون (K)	دی اکسید کربن (%)	دمای گاز خروجی (K)	بازده گرمایی
اولیه	۳۰۱/۱۵	۴/۴	۴۶۸/۹۵	۷۶/۲
نهایی	۲۹۸/۸۵	۸/۲	۴۴۷/۸۵	۸۲/۹

## معادلات حاکم

معادلات حاکم بر مسئله شامل معادلات بقای جرم، تکانه (Momentum) و انرژی از طریق روش عددی حجم محدود در مختصات سه بعدی توسط نرم‌افزار فلونت حل شده‌اند. این معادلات با فرضیات (۱) جریان آرام (۲) جریان دائمی (۳) تراکم ناپذیر (۴) ناچیز بودن نیروهای شناوری، به صورت زیر ساده می‌شوند [۷-۹].

$$\vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot (\mu \vec{\nabla} V) \quad (4)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \left( \rho \left( e + \frac{V^2}{2} \right) \vec{V} \right) = -\vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) + q_r \quad (5)$$

که در آن  $\rho$  چگالی،  $\vec{V}$  بردار سرعت،  $P$  فشار،  $\mu$  ضریب گرانروی،  $e$  انرژی داخلی بر واحد جرم،  $k$  ضریب هدایت گرمایی گاز و  $q_r$  گرمای منتقل شده از طریق تشعشع است. با توجه به اینکه دمای شعله احتراقی بالا بوده و ابعاد آن نیز قابل توجه است در این مدل‌سازی سهم انرژی منتقل شده از شعله از طریق تشعشع نیز لحاظ شده است. ظرفیت گرمایی ویژه و ضریب هدایت گرمایی در نظر گرفته شده برای مواد مختلف در جدول (۲) نشان داده شده است.

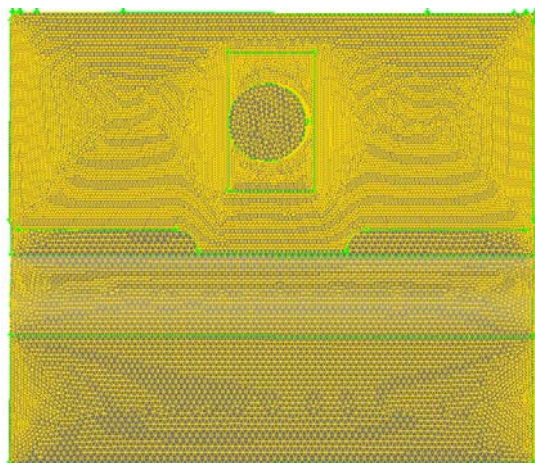
جدول ۲- ظرفیت گرمایی ویژه و ضریب هدایت گرمایی مواد

ماده	ظرفیت گرمایی ویژه (J/KgK)	ضریب هدایت گرمایی (W/mK)
مخلوط گازهای احتراقی و هوا	۱۱۰۰	۰/۰۲۴۲
شیشه	۲۵۰۰	۰/۸۱
فولاد	۵۰۲/۴۸	۱۶/۲۷

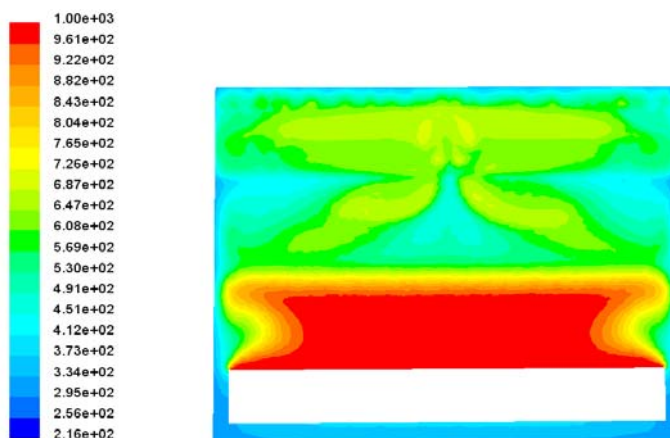
## حل عددی معادلات

معادلات حاکم با استفاده از نرم‌افزار فلونت از طریق روش عددی حجم محدود و توسط روش حل‌کننده تفکیکی حل شده‌اند. از روش سیمپل (SIMPLE) برای همبستگی معادلات بقای تکانه و جرم استفاده شده است [۱۰-۱۲]. حل‌کننده تفکیکی از زیر تخفیف (under-relaxation) برای کنترل تجدید مقادیر محاسبه شده متغیرها در هر تکرار استفاده می‌کند. ضرایب زیر تخفیف به کار رفته در این مسئله برای فشار، انرژی، تکانه و جرم به ترتیب عبارت‌اند از: ۰/۴، ۰/۰۳، ۰/۱ و ۱ و معیار همگرایی در کلیه

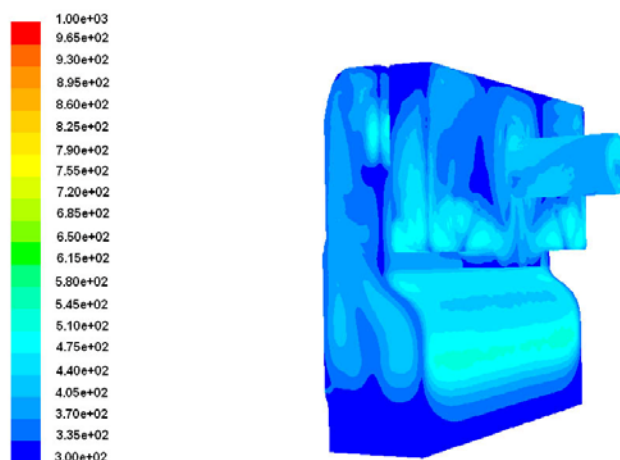
مسائل حل شده کاهش حداقل سه مرتبه در خطای هر کدام از معادلات در نظر گرفته شده است. شکل‌های (۳) تا (۵) به ترتیب نمایش شبکه‌بندی در مدل نهایی، کانتور دمای مدل نهایی (کلوین) در صفحه تقارن و کانتور دما (کلوین) در مدل نهایی بر روی سطح خارجی را نمایش می‌دهند [۱۳ و ۱۴].



شکل ۳- نمایش شبکه‌بندی در مدل نهایی



شکل ۴- کانتور دمای مدل نهایی (کلوین) در صفحه تقارن



شکل ۵- کانتور دما (کلوین) بر روی سطح خارجی

## شرایط مرزی

دمای محل مورد نظر گرمایش ۳۰۰ کلوین (دمای آزمایشگاهی متعارف ۲۷ درجه سلسیوس است)، دمای شعله ۱۰۰۰ کلوین (اندازه‌گیری دمای شعله با استفاده از دماسنج ویژه) و ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی برای هوا  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$  (در شرایط متعارف، در آزمایشگاه یا محل مورد نظر برای گرمایش، جابه‌جایی اجباری هوا وجود ندارد) در نظر گرفته شده است و از سهم انتقال گرمای تشعشعی از بدنه بخاری به محیط اطراف در مقابل جابه‌جایی صرف‌نظر شده است. دبی جرمی گازهای احتراق خروجی از مشعل در بیشترین توان آن و برابر  $0.00013$  کیلوگرم بر ثانیه فرض شده است. از شرط عدم لغزش بر روی تمامی دیواره‌ها استفاده شده است. شعله بخاری به صورت شرط مرزی با شار گرمایی ثابت در دیواره محترق‌کننده مدل‌سازی شده و در محل اتصال دودکش به بخاری از شرط مرزی نوع خروج فشار (Pressure Outlet) استفاده شده است.

## بررسی استقلال حل عددی

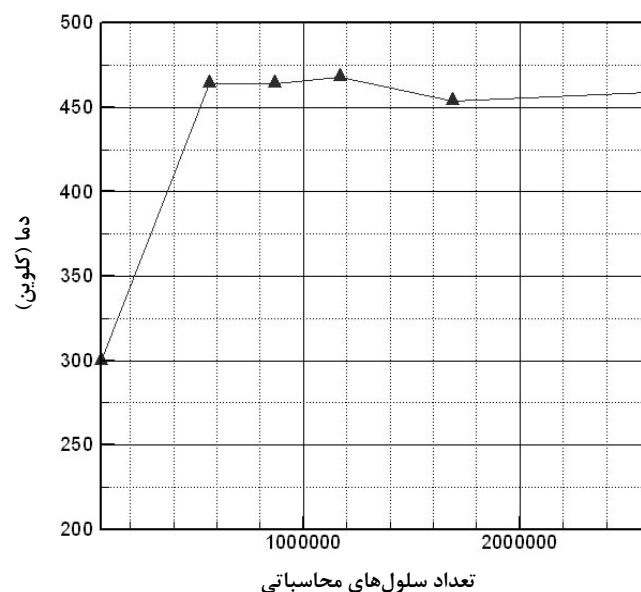
برای بررسی استقلال نتایج از تعداد شبکه‌بندی، دما، فشار و سرعت چند نقطه مرجع از جمله سطح خروجی دودکش برای مدل اولیه در نظر گرفته شد و تاثیر تعداد تکرار حل عددی و تعداد شبکه استفاده شده بر مقدار این کمیت‌ها بررسی شد. بخشی از نتایج این بررسی‌ها به صورت دما بر حسب کلوین در سطح خروجی دودکش در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده است. در نهایت با توجه به این بررسی‌ها تعداد کل شبکه مورد نیاز برای حصول جواب قابل اعتماد در حدود  $1/800/000$  تعیین شد.

## نتایج شبیه‌سازی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی

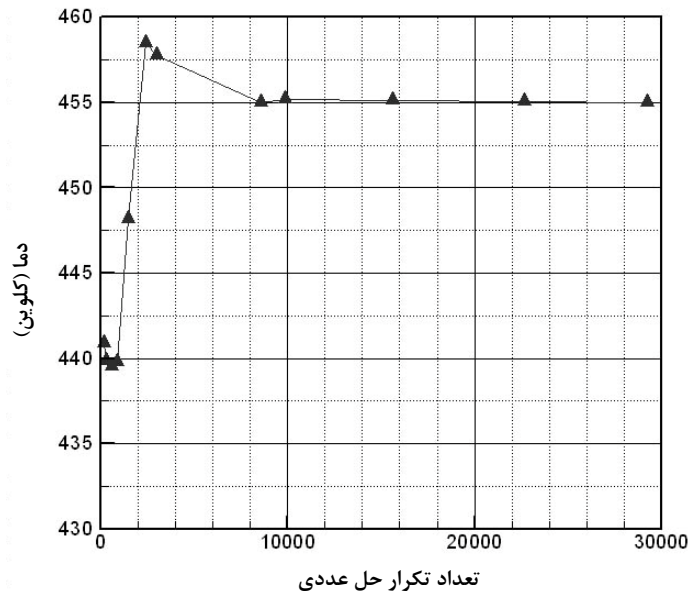
در بین هفت مدل پیشنهادی که با نرم‌افزار شبیه‌سازی شد، مدل (g) که دمای محصولات خروجی حاصل از احتراق در آن کمترین مقدار (۴۵۵ کلوین) و بازده حاصل از نرم‌افزار بیشترین مقدار (۷۹/۵۳ درصد) را داشت، به عنوان مدل بهینه یا نهایی انتخاب شد. دقت نتایج نظری را می‌توان با مقایسه با نتایج آزمایشگاهی سنجید. برای این کار خطای نرم‌افزار به صورت زیر تعریف شده است. (۶)

$$\text{بازده آزمایشگاهی} / (\text{بازده نرم‌افزاری} - \text{بازده آزمایشگاهی}) = \text{خطای نرم‌افزار}$$

دما، فشار و سرعت گازهای خروجی از دودکش از طریق شبیه‌سازی در جدول (۳) آمده است. بازده مربوط به نتایج نظری و تجربی در جدول (۴) مقایسه شده‌اند.



شکل ۶- نمایش استقلال دمای گازهای خروجی از تعداد سلول‌های شبکه محاسباتی مدل (a)



شکل ۷- نمایش استقلال دمای خروجی از تعداد تکرار مدل (a)

جدول ۳- دما، فشار و سرعت گازهای خروجی از دودکش از طریق شبیه‌سازی

ردیف	مدل کوره	تعداد شبکه	دمای گاز خروجی (K)	افت فشار (mPa)	سرعت (m/s)	بازده گرمایی
۱	a	۱۷۲۴۶۶۲	۵۲۱/۵	۴/۳۶	۰/۴۳۷	۷۱/۳
۲	b	۱۷۵۲۶۹۱	۴۹۹/۹	۴/۹۰	۰/۴۵۲	۷۵/۵
۳	c	۱۲۵۷۴۱۲	۵۱۳/۴	۲/۲۹	۰/۲۰۱	۷۳/۳
۴	d	۱۷۵۲۶۹۱	۴۹۹/۵	۵/۵۱	۰/۴۴۴	۷۵/۰
۵	e	۱۸۰۳۳۷۳	۴۹۶/۱	۶/۶۸	۰/۶۰۰	۷۴/۳
۶	f	۱۰۷۴۱۸۸	۴۶۴/۶	۱/۹۹	۰/۲۳۸	۷۸/۰
۷	g	۱۶۹۱۲۲۲	۴۵۵/۰	۸/۵۷	۰/۳۴۶	۷۹/۵

جدول ۴- مقایسه نتایج نظری و تجربی

مدل	بازده گرمایی نرم‌افزاری	بازده گرمایی آزمایشگاهی	خطای نرم‌افزار
اولیه	۷۵/۵۳	۷۶/۲	۰/۸۷
نهایی	۷۹/۵۳	۸۲/۹	۱/۴

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق ابتدا از طریق مقایسه نتایج شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاهی اعتبار مدل برای کوره با شرایط اولیه با دقت بالایی تأیید شد. سپس چند مدل کوره جدید پیشنهاد و از طریق شبیه‌سازی عددی بهترین شکل مانع با بیشترین بازده تعیین شد و در نهایت در آزمایشگاه برای مدل نهایی، دمای گازهای حاصل از احتراق در خروجی دودکش ۴۴۷/۸ کلوین، مقدار دی اکسید کربن ۸/۲۱ درصد و بازده گرمایی ۸۲/۹۷ درصد به دست آمد. در مقایسه با مدل اولیه، دمای گازهای خروجی به اندازه ۲۱/۱ کلوین کاهش و دی اکسید کربن به مقدار ۳/۸۱ درصد افزایش یافت و نتیجه نهایی اینکه بازده گرمایی بخاری گازی مدل پیشنهادی در این تحقیق در آزمایشگاه، به اندازه ۶/۲۷ درصد افزایش یافته و به مقدار ۸۲/۹۷ درصد رسید.

## مراجع

۱. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، بخاری گازی دودکش‌دار، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون و دستورالعمل برجسب انرژی، استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۱۲۲۰، ۱۳۸۵.
۲. نگهداری، س؛ "بهینه‌سازی مصرف سوخت بخاری گازی زمینی و ارتقای برجسب انرژی از D به E"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند، ۱۳۸۶.
۳. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، بخاری گازی دودکش‌دار، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۲۲۰، ۱۳۸۵.
4. American National Standard for Gas-Fired Vented Room Heaters, ANSI21.111, 1974.
5. Gas Space Heating Appliance, 20-AG 103, 2000.
6. Independent Gas-Fired Convection Heater, 21-EN 613, 2001.
۷. مهربابان، م. ع؛ دینامیک سیالاتی محاسباتی، انتشارات دانشگاه باهنر کرمان، ۱۳۸۰.
۸. رستمی، ع. الف؛ شیرازی، م؛ مقدمه‌ای بر انتقال گرما، جلد اول و دوم، ویرایش سوم، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۰.
۹. عالم رجبی، ع؛ دینامیک گازها، نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۴.
۱۰. جمشیدی، ن؛ و افکاری، د؛ آموزش نرم‌افزارهای گمبیت و فلوئنت، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۲.
۱۱. شجایی فرد، م؛ نورپور هشترودی، ع؛ و کفاش، م؛ راهنمای نرم‌افزار گمبیت و فلوئنت، چاپ اول، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۱.
۱۲. سلطانی، م؛ و رحیمی اصل، ر؛ دینامیک سیالات محاسباتی به کمک نرم‌افزار فلوئنت، چاپ چهارم، نشر طراح، ۱۳۸۶.
۱۳. کاشانی، ش؛ "ارتقاء راندمان حرارتی بخاری گازی مدل ۱۲۰۰۰ دونار با شبیه‌سازی جریان گازهای حاصل از احتراق داخل کوره و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، ۱۳۸۵.
۱۴. ولی پور، س؛ کاکائی، الف؛ کاظم زاده، س؛ و سعیدی، م؛ "مدلسازی مصرف انرژی اجاق گاز فردار"، دومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت، ۱۳۸۱.

## English Abstract

### Numerical and Experimental Investigation of Baffles Effect on Thermal Efficiency of Room Gas Heater

S. Hossainpour<sup>1</sup> and S. Kashaniasl<sup>2</sup>

1- Department of Mechanical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz

2- Institute of Standards and Industrial Research, East Azarbayjan, Tabriz

*This paper presents a research on thermal efficiency of home gas heaters. Installing baffles inside the furnace and against hot product gas flow prevents rapid gas flow out of the chimney, causing to increase the residue time of flue gases. Therefore, instead of heat energy loss, the energy is transferred to the room, thereby increasing the thermal efficiency of the gas heater. On the other hand, installing these baffles increases pressure drop, which can cause incomplete combustion and pollutant formation. In this work, we used fluent software to simulate fluid flow and heat transfer of product gases for different suggested obstacle surface configurations, and studied its effect on the thermal efficiency of gas heaters. Obstacle configuration with the maximum thermal efficiency is determined, built in workshop, installed and tested experimentally and its performance is shown to correspond with the computer simulation. Ultimately, the thermal efficiency of the model 12000 of Donar-khazar gas heater increased from 76.2 to 82.9% using this model.*

**Keywords:** Gas heater thermal efficiency, Obstacle surfaces configuration, Gas heater testing, Numerical simulation