

## بررسی تجربی تاثیر موانع در افزایش راندمان حرارتی آبگرمکن مخزن دار گازسوز

شهرام کاشانیاصل، محمدتقی شروانی تبار\*، مرتضی یاری، سیما باهری اسلامی

دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۴  
بازنگری: ۱۳۹۹/۰۱/۱۱  
پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴  
ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۴/۲۸

### کلمات کلیدی:

آبگرمکن مخزن دار گازسوز  
موانع  
راندمان حرارتی  
آزمون تجربی

**خلاصه:** این تحقیق، افزایش راندمان حرارتی آبگرمکن مخزن دار گازسوز را به صورت تجربی بررسی می کند. برای این کار، از شش مانع جهت کاهش سرعت حرکت گازهای خروجی احتراق در تنوره آبگرمکن استفاده شد. با قراردادن ۶ مانع در داخل تنوره، از خروج سریع گازهای حاصل از احتراق جلوگیری به عمل آمد. ۳ مانع از نظر هندسه و ابعاد تقریباً مانند هم و ۳ مانع از نظر هندسه و ابعاد متفاوت هستند. همچنین، فاصله بین موانع یکسان در نظر گرفته شد. هندسه و ابعاد موانع از روی بررسی های تجربی انتخاب شدند. نتایج تجربی نشان دادند که در صورت استفاده از هندسه، ابعاد و ترتیب بهینه برای موانع، راندمان حرارتی تا ۸۲/۵ درصد افزایش می یابد. همچنین، نتایج اندازه گیری تحلیل گر گاز در آزمایشگاه، نشان داد که با بهبود راندمان حرارتی، گازهای آلاینده در خروجی دودکش نیز تقریباً در کمترین مقدار ممکن قرار داشتند. در نهایت، با در نظر گرفتن کمیت های تاثیر گذار بر روی عدم قطعیت راندمان حرارتی، با لحاظ سطح اطمینانی تقریباً برابر ۹۵ درصد، عدم قطعیت کل برای راندمان حرارتی مدل بهینه نهایی عدد  $\pm 0.17$  محاسبه گردید.

### ۱- مقدمه

کلیه انواع آبگرمکن های گازسوز مخزن دار ارائه نمود. برای اینکه نمونه طراحی و ساخته شده آبگرمکن گازسوز مخزن دار، مدلی واقعی و نیز کاربردی بوده و بتوان از نتایج تحقیق در صنعت لوازم خانگی گازسوز و برای تولید انبوه استفاده نمود، نباید از نظر هندسه خیلی پیچیده باشد تا تولید آن زمان بر شود. همینطور، هزینه ساخت آن نیز نباید گران تر از محصولات موجود در بازار باشد تا تولید انبوه آن برای کارخانه سازنده لوازم خانگی توجیه پذیر باشد. آبگرمکن ساخته شده این تحقیق در یک کارخانه تولیدکننده لوازم خانگی گازسوز معتبر ساخته شده و موانع به کاررفته در آن پیچیدگی خاصی نداشته و به راحتی قابلیت تولید انبوه را دارد و نتایج تحقیق می تواند در تمامی انواع آبگرمکن های گازسوز مخزن دار با حجم های مختلف مخزن، مورد استفاده قرار گیرد. هندسه، ابعاد و تعداد موانع و نیز محل قرار گیری موانع حرارتی از روی سال ها آزمون و بررسی تجربی بر روی آبگرمکن های مختلف واحدهای سازنده لوازم خانگی گازسوز در آزمایشگاه های مرجع و همکار سازمان ملی استاندارد به دست آمده است.

در سال های اخیر، ممیزی انرژی در صنعت از کارخانجات پرمصرف کشور شروع شده و به تدریج به کلیه واحدهای تولیدی تسری یافته است. از طرفی، چندین سال است که درج برچسب انرژی در لوازم خانگی گازسوز از سوی سازمان ملی استاندارد ایران اجباری شده و با توجه به وجود لوازم خانگی خارجی با رده های انرژی بالا، چنانچه واحد تولیدی نتواند رده انرژی محصولات خود را ارتقاء دهد، از عرصه بازار حذف خواهد شد. کلیه واحدهای تولیدی باید دستگاهها و محصولات تولیدی خود را طوری طراحی و یا در صورت نیاز تعویض نمایند که الزامات الگوها و معیارهای مصرف انرژی را برآورده نمایند. ارائه طرح بهینه برای آبگرمکن گازسوز مخزن دار جهت ارتقاء راندمان حرارتی یعنی نسبت انرژی خروجی (حرارت تحویل شده به عنوان آب داغ) به کل انرژی مصرف شده و بهینه سازی مصرف انرژی آن، مهم ترین هدف این تحقیق می باشد که با توجه به پتانسیل های موجود در کشور می توان آن را به صورت صنعتی با تولید انبوه و برای

\* نویسنده عهده دار مکاتبات: msherv@tabrizu.ac.ir



داشته باشد.

- استفاده وسایل پرمصرف گازسوز (پکیج گازی و آبگرمکن دیواری گازی) از اکسیژن موجود در هوای محل مورد نظر، جهت تامین هوای لازم برای احتراق، نسبت به آبگرمکن گازسوز مخزن دار، به مراتب بیشتر بوده و برای ساکنین آپارتمان‌ها یا خانه‌های کوچک خطرات ایمنی جدی در پی دارد.

- به علت محدودیت‌های پایین‌بودن فشار آب ورودی ساختمان، استفاده از پکیج گازی و آبگرمکن دیواری گازی امکان‌پذیر نبوده و الزاما باید از آبگرمکن گازسوز مخزن دار استفاده کرد.

معینی و خدادادی [۲] با هدف کاهش ۵ درصدی سوخت، مدل‌های سه بعدی مختلفی از مقاطع آبگرمکن را بررسی نموده، دو نوع مانع در آبگرمکن‌ها پیشنهاد دادند و نتایج عددی و تجربی را با هم مقایسه و در نهایت، نوعی مانع که مصرف سوخت را ۴/۹۵ درصد کاهش می‌دهد، انتخاب نمودند. محرم‌خانی و همکاران [۳] با مقایسه کمی و کیفی جریان‌های سیال در آبگرمکن مخزن دار گازسوز دارای کلاهدک تعدیل با حالت بدون کلاهدک تعدیل، نشان دادند میزان حرارتی که از دهانه خروجی سیستم دارای کلاهدک به بیرون راه می‌یابد، نسبت به حالت بدون کلاهدک، به اندازه ۶۲ درصد افزایش یافته است. بیدآبادی و همکاران [۴] با بررسی عددی و تجربی هندسه مشعل و تاثیر آن بر روی عملکرد بخاری‌های دودکش‌دار نشان دادند که تغییر طولی محل روزنه مشعل تاثیرچندانی در درصد اکسیژن در مخلوط سوخت و هوا ندارد ولی با افزایش سرعت تا حدود ۸۵ متر برثانیه، میزان درصد اکسیژن افزایش یافته و در اثر افزایش قطر روزنه مشعل، درصد اکسیژن کاهش می‌یابد و این دو مورد با هم نسبت عکس دارند. با افزایش قطر روزنه مشعل و افزایش سرعت ورودی گاز از روزنه مشعل میزان درصد مولی اکسیژن ورودی به مشعل به طور مشهودی افزایش می‌یابد که در نتیجه تاثیر مستقیمی در اختلاط بهتر و راندمان بالاتر دستگاه دارد. کرمی نژاد و همکاران [۵] احتراق در آبگرمکن‌های مخزن دار گازسوز خانگی و تاثیر هندسه تنوره بر نرخ انتقال حرارت و راندمان حرارتی آن را به کمک شبیه‌سازی عددی مطالعه و با ایجاد موانع در مسیر جریان و استفاده از کلاهدک تعدیل، نشان دادند وجود موانع به شکل‌های مختلف در مسیر محصولات احتراق با توجه به تشکیل فوران سیال و گردابه در پشت موانع، سبب افزایش ضریب انتقال حرارت شده و زمان ماندن محصولات

استفاده از آبگرمکن‌های مخزن دار گازسوز هنوز در مناطق روستایی و آپارتمان‌های کوچک بسیار اهمیت دارد و در برخی ساختمان‌ها به دلایل فنی، تنها وسیله تامین آبگرم محسوب می‌شود. از طرفی، قیمت پایین آن در مناطق روستایی و محروم دلیلی محکم برای استفاده و تقاضا از آن را دارد و این موضوع، همچنان تولید آبگرمکن‌های مخزن دار گازسوز را برای سازندگان این وسیله گازسوز توجیه‌پذیر می‌نماید.

از دیدگاه فنی و مهندسی، در برخی موارد استفاده از پکیج و آبگرمکن دیواری به دلایل مختلفی که تعدادی از آنها در زیر می‌آید، به هیچ وجه امکان‌پذیر نبوده و الزاما باید در طراحی سیستم تاسیسات مکانیکی و نیز لوله‌کشی گاز از آبگرمکن‌های مخزن دار زمینی استفاده نمود:

طبق مبحث هفدهم از مقررات ملی ساختمان، نصب وسایل گازسوز پرمصرف مانند آبگرمکن دیواری گازی و پکیج دیواری گازی در واحدهای مسکونی با مساحت کمتر از ۶۰ متر مربع، ممنوع است، مگر آنکه هوای لازم جهت احتراق، از طریق دریچه تامین هوای دائمی (به شرط امکان تعبیه) که به هوای آزاد راه دارد، تامین گردد که به دلایل مختلف گاه تعبیه این دریچه دائمی تامین هوا نیز ممکن نمی‌گردد [۱]. علل دیگری که استفاده از آبگرمکن‌های گازسوز مخزن دار را ناگزیر می‌کند، عبارتند از:

- مصرف زیاد گاز در پکیج گازی و آبگرمکن دیواری گازی و محدودیت در طراحی قطر لوله‌ها که می‌تواند هم به جهت پایین‌آوردن هزینه‌ها و هم به سبب عدم امکان طراحی با قطر بیشتر باشد، دو عاملی است که توسط مهندس طراح و بازرس گاز باید در نظر گرفته شود. بنابراین در زمانی که شرایط فنی محل مورد نظر یا رعایت هزینه‌ها الزام می‌کند که از لوله‌های با قطر پایین استفاده گردد، برای پایین‌آوردن قطر لوله‌کشی، آبگرمکن گازسوز مخزن دار در طراحی برای تاسیسات مکانیکی و گاز رسانی پیش‌بینی می‌شود که مصرف گاز آن به مراتب کمتر از پکیج گازی و آبگرمکن دیواری گازی بوده و باعث می‌شود که بتوان از لوله‌هایی با قطر کمتر استفاده نمود. در نتیجه با این کار هزینه لوله‌کشی در ساختمان نیز به حداقل مقدار خود می‌رسد. در بخش ۲-۱-۳ مقدار تقریبی گاز مصرفی در وسایل گازسوز آمده است.

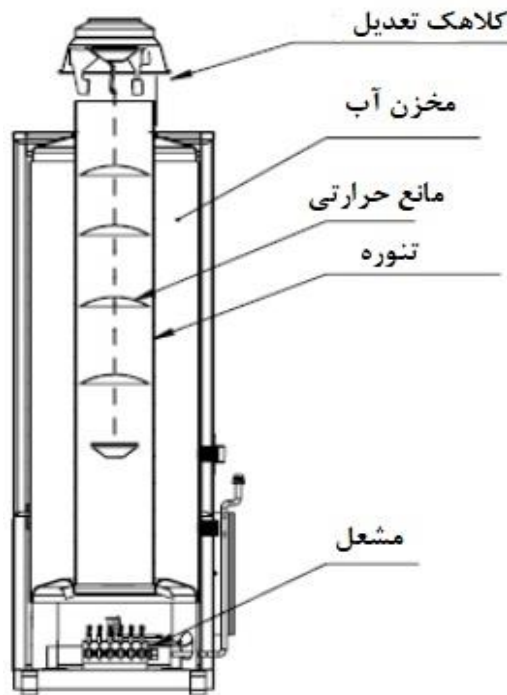
- زمانی که قطر دودکش‌های مورد استفاده ساختمان کمتر از ۱۵ سانتی‌متر باشد.

- گاهی که محدودیت در کوچک‌بودن فضای مورد نظر وجود

ضریب اصطکاک سیستم آبگرمکن خورشیدی با سیرکولاسیون اجباری نصب شده با تسمه‌های پیچشی حلزونی، نشان دادند، هنگامی که نسبت پیچش افزایش می‌یابد، ضریب اصطکاک و انتقال حرارت به حداقل مقدار خود می‌رسد. صادقی و رجبی [۱۵] با قراردادن تعدادی صفحه دایره‌ای با شعاع‌های مختلف در مسیر تنوره گازهای داغ خروجی، راندمان حرارتی آبگرمکن مخزن دار گازسوز خانگی را افزایش دادند. چادهاری و همکاران [۱۶] با بررسی افزودن هیدروژن به گاز طبیعی در محفظه احتراق آبگرمکن، نشان دادند، زمانی که به میزان ۳۰ درصد هیدروژن به گاز طبیعی اضافه می‌شود، تاثیر بر میزان گازهای حاصل از احتراق به کمترین مقدار خود می‌رسد. لیو و همکاران [۱۷] با طراحی نوعی آبگرمکن برقی لحظه‌ای با لوله دوگانه ماریپیچی و با مطالعه و تحلیل عددی نرخ گرمایش در این لوله نشان دادند که در آبگرمکن با لوله دو گانه ماریپیچی نسبت به لوله ماریپیچی به صورت تکی، به دلیل افزایش سطح تبادل حرارت، راندمان حرارتی به اندازه ۳۷/۸ درصد افزایش یافت. امینی و همکاران [۱۸]، با بررسی عددی اثرات استفاده از پره‌های لوله و ماریپیچ بر عملکرد حرارتی و راندمان مبدل حرارتی پوسته و لوله، نشان دادند وقتی که پره‌های ماریپیچ و پره‌های به چند قسمت تقسیم شده، به ترتیب در مبدل حرارتی قرار داده شده باشند، راندمان تا ۹/۵ درصد افزایش می‌یابد. نیشیموموری و جانگی [۱۹] راندمان حرارتی آبگرمکن خورشیدی را با جایگزینی ورق آهنی گالوانیزه با ورق آلومینیومی شکاف دار سیاه رنگ افزایش دادند.

تحقیقات پیشین، یا در خصوص آبگرمکن‌های مخزن دار الکتریکی بوده و یا مورد خاصی از روش‌های افزایش راندمان حرارتی را بررسی نموده است. در این تحقیق، با بررسی هندسه‌های مختلف موانع که از روی سال‌ها آزمون و بررسی تجربی بر روی آبگرمکن‌های مختلف واحدهای سازنده لوازم خانگی گازسوز در آزمایشگاه‌های مرجع و همکار سازمان ملی استاندارد به دست آمده، علاوه بر انتخاب مناسب موانع، تعداد و محل دقیق قرارگیری آنها، سعی شد در جریان کامل شدن تدریجی احتراق زنجیره‌ای با کمترین درصد هوای اضافه در داخل تنوره و با تنظیم روزنه مشعل، راندمان حرارتی افزایش داده شود. در تحقیق حاضر، برای دست‌یافتن به بیشینه راندمان حرارتی، هر دو بحث احتراق از طریق تنظیم اوریفیس و انتخاب موانع و جاگذاری آنها به صورت همزمان مورد بررسی قرار گرفته است. در

احتراق در داخل تنوره را نیز افزایش می‌دهد. حسین‌پور و کاشانی اصل [۶، ۷] با تعبیه موانع مناسب درون کوره بخاری‌گازی و در مسیر جریان گازهای داغ خروجی، از خروج سریع گازهای حاصل از احتراق از طریق دودکش جلوگیری نموده و با این کار زمان ماندن گازهای داغ در داخل بخاری را افزایش داده و به تبع آن راندمان حرارتی بخاری گازی را بهبود بخشیدند. سزای و همکاران [۸] با توجه به این موضوع که در اکثر آبگرمکن‌های مخزن دار الکتریکی، سیم‌پیچ برقی در انتهای پایین مخزن قرار می‌گیرد، عملکرد آبگرمکن الکتریکی را با قراردادن سیم‌پیچ برقی دیگری در قسمت بالای مخزن بررسی نمودند و با قراردادن سیم‌پیچ برقی در ارتفاع ۶۰۰ میلی‌متری از کف مخزن، مشاهده کردند که ۸۵ درصد انرژی ذخیره شده در آبگرمکن، قابل استفاده شد. هگازی [۹] سه نوع مختلف طرح هندسی برای ورودی آب در آبگرمکن برقی را به صورت تجربی بررسی نموده و نشان داد، طرح ورودی، نقش کلیدی در عملکرد حرارتی آبگرمکن دارد و آبگرمکن برقی با طراحی ورودی از نوع لوله شکاف دار، راندمان حرارتی بهتری داشته و ساخت آن نیز ساده‌تر است. گل‌نشان و متقی [۱۰] انتقال حرارت در آبگرمکن‌های مخزنی با طراحی جدید را با آبگرمکن‌های مخزنی مرسوم مقایسه و گازهای گرم را به جای گذر از لوله مدور میانه آبگرمکن‌ها، از درون کانالی حلقوی عبور دادند و نتیجه گرفتند که در جریان مساوی گاز، آبگرمکن‌های جدید از ضریب کارایی بالاتری برخوردارند. بیدآبادی و همکاران [۱۱] در جهت بهینه‌سازی آبگرمکن گازی به طرح مباحث نظری و عملی در نوعی آبگرمکن جدید پرداختند. این بهینه‌سازی شامل طراحی مشعل، استفاده از عایق پلی یورتان بین مخزن و جداره، تغییر موانع حرارتی و مقایسه راندمان این طرح با طرح قدیم بود. رحیمی [۱۲] برای بهینه‌سازی مصرف سوخت آبگرمکن‌ها، با طراحی و ساخت نمونه‌ای از آن، مواردی مثل افزایش سطح تبادل حرارت، افزایش زمان ماندگاری محصولات احتراق، کاهش اثرات منفی رسوب آب را منظور و بازده حرارتی نمونه ساخته شده را محاسبه نموده و نشان داد که با افزایش سطح تبادل حرارت در آبگرمکن به مقدار دو برابر، مصرف گاز آن، حدود ۲۱ درصد کمتر می‌شود. جاسنکار و همکاران [۱۳] نشان دادند که کاهش در عدد ناسلت در کل طول ماریپیچ پیچشی سیستم آبگرمکن خورشیدی در حداقل مقدار خود قرار دارد. جاسنکار و همکاران [۱۴] با مطالعه تجربی روی انتقال حرارت و خصوصیات



شکل ۱: طرحواره‌های از آبگرمکن مخزن‌دار گازسوز

Fig.1. Schematic picture of gas water heater

طرح‌واره ترسیم‌شده در آزمایشگاه برای آبگرمکن مخزن‌دار گازسوز در شکل ۱ نشان شده است.

#### ۲-۱-۱- تنوره

تنوره لوله‌ای است که در داخل مخزن آبگرمکن و هم محور با محور طولی قرار گرفته، دو قاعده مخزن را به همدیگر وصل می‌کند. انتقال حرارت ناشی از احتراق گاز با دمای بالا، از طریق دیواره جانبی تنوره به مخزن آب منتقل می‌گردد. محصولات احتراق نیز از طریق تنوره به دودکش مکش می‌شود [۲۰].

#### ۲-۱-۲- مانع حرارتی

برای کاهش سرعت حرکت محصولات ناشی از احتراق که در تنوره جریان می‌یابد و در نتیجه وجود زمان بیشتر جهت انتقال حرارت آن به آب داخل مخزن آبگرمکن، از صفحاتی با اشکال و هندسه‌های مختلف که معمولاً از طریق زنجیرهایی به هم متصل می‌شوند، استفاده می‌گردد که مانع حرارتی نامیده می‌شود [۲۰].

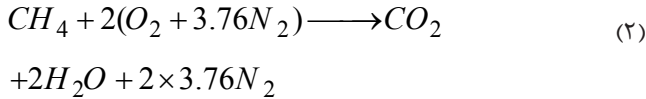
خصوصاً موانع، ذکر این نکته مهم است که از شش مانع طراحی شده، پایین‌ترین مانع، مانع ویژه‌ای بوده و به صورت پره‌ای طراحی شده است. این مانع که متمایز با ۵ مانع دیگر و نیز موانع مختلف موجود در آبگرمکن‌های مخزن‌دار تولید شده در کارخانجات لوازم خانگی است، حرارت را به صورت خاصی چرخانده و به اطراف و بالا منتقل نمود و در نتیجه، سبب افزایش میزان انتقال حرارت به دیواره مخزن گردید. بنابراین می‌توان بررسی‌های فوق را از تازگی‌های این تحقیق عنوان نمود. نمونه عملی آبگرمکن گازسوز مخزن‌دار بهینه نیز در کارخانه تولید کننده لوازم خانگی ساخته شد.

#### ۲- مبانی و روش‌ها

##### ۲-۱- هندسه مساله و اجزای تشکیل‌دهنده

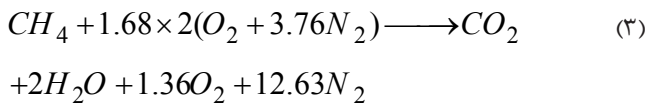
آبگرمکن‌ها بر اساس نحوه تخلیه محصولات احتراق به صورت‌های مختلف رده‌بندی می‌شوند که در این تحقیق نوع آبگرمکن از نوع  $B_1$  (آبگرمکنی که کلاهک داشته و دودکش آن، محصولات احتراق را به خارج از اتاقی که آبگرمکن در آن نصب شده، منتقل می‌کند و هوای احتراق مستقیماً از داخل اتاق تهیه می‌شود) می‌باشد.

### ۲-۱-۳- مصرف گاز



که در این فرآیند محصولات مواد اولیه شامل گازهای اکسیژن و متان بوده و محصولات احتراق شامل گاز دی‌اکسیدکربن و آب است. عناصر تشکیل‌دهنده هوا تقریباً به این صورت است: ۲۱٪ اکسیژن، ۷۱٪ ازت، ۱٪ آرگون.

واکنش احتراق در نمونه اولیه آبگرمگن قبل از انجام بهینه‌سازی به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:



در این حالت نسبت هوا به سوخت به صورت زیر محاسبه می‌شود:

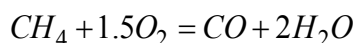
$$AFR = \frac{A}{F} = \frac{1.68 \times 2 \times 4.74}{1} = 15.99$$

تعداد شش گونه زیر در واکنش سوختن گاز متان شرکت دارد:



در بین محصولات احتراق، برخلاف گاز مونواکسیدکربن و گاز دی‌اکسیدکربن، آب یک محصول اجباری احتراق است که هم در سوختن ناقص و هم در سوختن کامل گاز متان، همواره ۲ مول آب در محصولات احتراق تولید می‌شود. از احتراق ناقص گاز متان، گونه‌های دیگری در محصولات احتراق مشاهده می‌شود که مهم‌ترین آنها گاز مونواکسیدکربن است. در صورت وجود اکسیژن کافی، این نوع گاز در دمای بالا به گاز دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود. واکنش تبدیل به گاز دی‌اکسیدکربن، حرارت زیادی تولید کرده و سبب افزایش راندمان احتراق می‌شود. برای اینکه راندمان احتراق نیز هر چه بیشتر بهبود یابد، تنظیماتی روی اورفیس در آزمایشگاه انجام گردید.

در این تحقیق، به دلیل اهمیت مطالعه گاز مونواکسیدکربن، ساز و کار دو مرحله‌ای برای احتراق متان با هوا در نظر گرفته شده است [۵]:



واکنش اول در مرحله اول:



واکنش دوم در مرحله دوم:

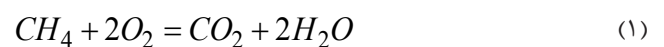
مقدار تقریبی گاز مصرفی در وسایل گازسوز در مبحث ۱۷ مقررات ملی ساختمان آمده است [۱]. در این مبحث، برای آبگرمکن مخزن‌دار گازسوز مقدار ۱/۵ متر مکعب بر ساعت، برای آبگرمکن دیواری گازسوز مقدار ۲/۵ متر مکعب بر ساعت و برای پکیج گازسوز مقدار ۳/۵ تا ۵ متر مکعب بر ساعت مصرف گاز در نظر گرفته شده است.

### ۲-۱-۴- اتلافات حرارت

در آبگرمکن مخزن‌دار گازسوز بخشی از حرارت تولیدشده به وسیله مشعل هدر رفته و صرف گرم‌کردن آب مخزن نشده، در نتیجه سبب کاهش راندمان حرارتی می‌گردد. این حرارت هدررفته همان اتلافات حرارتی در آبگرمکن می‌باشد. عمده اتلافات حرارتی در آبگرمکن شامل اتلاف حرارت ناشی از خروج حرارت از طریق دودکش به فضای آزاد و از طریق جدار دودکش به محیط آزمون، اتلاف حرارت ناشی از خروج حرارت از طریق بدنه خارجی آبگرمکن به محیط آزمون، اتلاف حرارت ناشی از منتقل‌شدن حرارت مشعل به محیط آزمون از طریق شبکه‌های هوا و نیز منتقل‌شدن حرارت مشعل به کف زمین در قسمت پایین آبگرمکن و اتلاف حرارت ناشی از عدم وجود احتراق کامل در مشعل و در مسیر تنوره می‌باشد.

### ۲-۲- احتراق

احتراق، اکسیداسیون اجزایی از سوخت است که جرم هرکدام از اجزا در فرآیند احتراق ثابت باقی می‌ماند. احتراق کامل سوخت با وجود مقدار کافی اکسیژن امکان‌پذیر است. گازی که آبگرمکن مخزن‌دار تحقیق حاضر برای کار با آن ساخته شده، گاز طبیعی بوده و گاز آزمون مرجع مورد استفاده در آزمون آبگرمکن تحقیق حاضر، بر طبق الزام استاندارد ملی به شماره ۲-۱۲۱۹ تحت عنوان آبگرمکن گازسوز مخزن‌دار - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون - مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی [۲۱]، گاز ۲۰ G است که از گازهای خانواده دوم مربوط به گازهای طبیعی بوده و ۹۹ درصد آن گاز متان است. با توجه به ساختار گاز متان و نوع احتراق آن در این سیستم، احتراق کامل آن با هوا با رابطه شیمیایی زیر انجام می‌شود [۲۱، ۲۲]:



سوختن گاز متان با رابطه زیر قابل نمایش است:





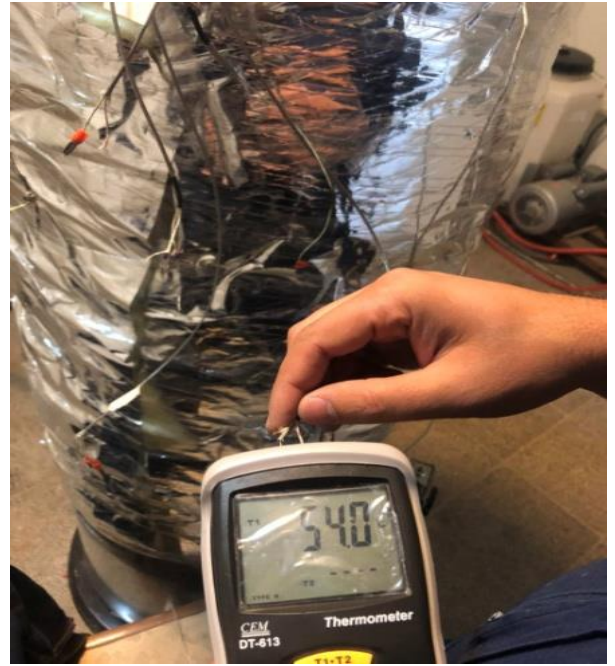
شکل ۲: آزمایشگاه و اتاقک آزمون  
Fig.2. Laboratory and Hot room



شکل ۳: نمودار جریان آزمایشگاهی  
Fig.3. Lab flow chart



شکل ۴: دماسنج لیزری برای اندازه گیری دمای بدنه و دیوارهای کناری آبگرمکن  
Fig.4. Laser thermometer to measure body temperature and side walls of water heater



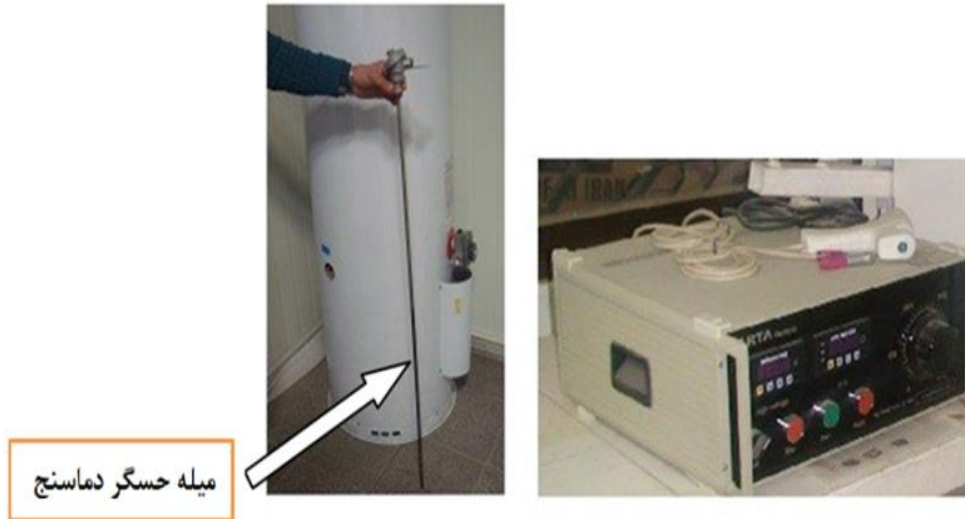
شکل ۵: عایقکاری و بررسی خروج حرارت از مخزن آبگرمکن  
Fig.5. Insulation and investigation heat exit from the water heater tank



شکل ۶: تحلیلگر گاز جهت اندازه گیری گازهای حاصل از احتراق  
Fig.6. Gas analyzer for measuring of combustion gases



شکل ۷: فشارسنج دیجیتال  
Fig.7. Digital Barometer



شکل ۸: دماسنج شش راهه

Fig.8. Thermometer with six channels



شکل ۹: باسکول آزمون

Fig.9. Test weighbridge



شکل ۱۰: رطوبت‌سنج

Fig.10. Psychrometer

از اکسیداسیون گاز مونواکسیدکربن، گاز دی‌اکسیدکربن تشکیل می‌شود.

۳-۲- ابزار آزمون راندمان حرارتی

$$\eta = mC_p (T_2 - T_1) / V \times H \quad (5)$$

براساس این ساز و کار، در مرحله اول از اکسیداسیون متان، گاز مونواکسیدکربن و بخار آب تشکیل می‌شود. سپس در مرحله دوم،



از محصولات احتراق، رایانه و نرم‌افزار جهت ثبت داده‌ها و گاز ۲۰ G (از گازهای خانواده دوم- گازهای طبیعی) با ارزش حرارتی ثابت [۲۱] حسگرهای دمائی جهت اندازه‌گیری کمیت‌های زیر:

دمای آب در ورودی و خروجی، دمای آب در تخلیه و شش نقطه در داخل مخزن آب

کمیت‌های مختلفی که از طریق استاندارد ملی اندازه‌گیری آنها الزام شده و به وسیله ابزارهای ذکر شده اندازه‌گیری شده است، بیش از ده بار آزمون، اندازه‌گیری و تکرار در آزمون و اندازه‌گیری شده است تا خطای آزمون و اندازه‌گیری به حداقل مقدار ممکن برسد.

در شکل ۳، نمودار جریانی آزمایشگاه نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، کنتور گاز، وان و متعلقات آن، فشارسنج U شکل و ورودی گاز در خارج از اتاقک آزمون قرار دارد.

فشار گاز با استفاده از فشارسنج U شکل نمایش داده شده در شکل ۳، بدست می‌آید.

دماسنج لیزری نشان‌دهنده شده در شکل ۴، برای اندازه‌گیری دمای سطوح از راه دور مانند اندازه‌گیری دمای بدنه تنوره، به کار می‌رود. همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، جهت جلوگیری از

در تحقیق حاضر برای انجام آزمون، از آزمایشگاه همکار لوازم خانگی گازسوز مورد تایید سازمان ملی استاندارد ایران استفاده شد. طراحی و ساخت قطعات آبگرمکن مخزن‌دار نیز در کارخانه تولیدکننده لوازم خانگی گازسوز انجام شده است. در شکل ۲، تصویر تهیه‌شده از آزمایشگاه و اتاقک آزمون و نیز بخش نرم‌افزار مربوط به ترسیم نمودارهای دما که خارج از اتاقک آزمون در آزمایشگاه قرار دارد، به همراه تصویر آبگرمکن تحقیق حاضر که در حال آزمون است، نشان داده شده است. بعد از ساخت نمونه نهایی آبگرمکن در کارخانه، راندمان حرارتی آبگرمکن باید در آزمایشگاه مورد آزمون قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که راندمان حرارتی (نسبت انرژی خروجی یا حرارت تحویل شده به عنوان آب داغ به کل انرژی مصرف شده بوسیله آبگرمکن) افزایش یافته است.

ابزار لازم جهت آزمون راندمان حرارتی و عملکردی:

تحلیل‌گر گاز جهت مطالعه و تحلیل گازهای حاصل از احتراق، کنتورگاز جهت اندازه‌گیری حجم گاز مصرفی، فشارسنج U شکل جهت اندازه‌گیری فشارگاز، تنظیم‌کننده فشار جهت تنظیم فشار گاز، باسکول جهت اندازه‌گیری وزن مخزن و آب داخل مخزن، تجهیزات تولید آب ۱۵درجه سلسیوس، اتاقک آزمون با شرایط دمایی ثابت، دودکش صلیبی جهت نمونه‌برداری



شکل ۱۱: موانع مدل اولیه

Fig.11. Baffles of initial model



شکل ۱۲: موانع مدل نهایی

Fig.12. Baffles of final model

خروج حرارت آب داخل مخزن آبگرمکن به بیرون، جدار خارجی مخزن آب، در کارخانه عایق‌بندی می‌شود.

ذکر این نکته ضروری است که، طبق آزمون‌های انجام‌یافته با تحلیل‌گر گاز که تصویر آن در شکل ۶ نشان داده شده، با وجود افزایش راندمان حرارتی آبگرمکن مخزن‌دار، در محل جاگذاری میله حسگر تحلیل‌گر در دودکش که در نمودار جریانی آزمایشگاه در شکل ۳ به تصویر کشیده شده، نه تنها اکسیژن خروجی در بهترین حالت بوده است، بلکه مونواکسیدکربن مجاز نیز در حداقل مقدار خود قرار گرفته است.

فشارسنج دیجیتال شکل ۷ برای اندازه‌گیری فشار محیط به کار می‌رود.

دماسنج شش‌راهه شکل ۸، برای اندازه‌گیری دمای شش نقطه عمودی آب در داخل مخزن آبگرمکن که میله حسگر مربوط به آن نیز نشان داده شده، به کار می‌رود. این دماسنج، به نرم‌افزار رایانه نشان‌داده‌شده در داخل آزمایشگاه و خارج اتاقک آزمون در شکل ۲، متصل بوده و نمودار تغییرات دما در داخل مخزن آبگرمکن را نمایش می‌دهد.

باسکول نشان‌داده‌شده در شکل ۹، برای اندازه‌گیری جرم آب موجود در مخزن آبگرمکن گازسوز مورد استفاده قرار می‌گیرد. رطوبت‌سنج شکل ۱۰ که در مجموعه آزمایشگاه و اتاقک آزمون شکل ۲ نیز نشان داده شده، جهت اندازه‌گیری رطوبت محیط آزمایشگاه به کار می‌رود.

۲-۴-۲- آزمون راندمان حرارتی

۲-۴-۱- روش و مراحل انجام تحقیق

۲-۴-۱-۱- آزمون آبگرمکن اولیه موجود در آزمایشگاه و ثبت نتایج.

۲-۴-۱-۲- یادداشت و ثبت مشخصات آبگرمکن اولیه.

۲-۴-۱-۳- بررسی همزمان تاثیر موانع بر احتراق مشعل و انجام

تنظیمات لازم بر روی روزنه مشعل

۲-۴-۱-۴- ساخت نمونه جدید آبگرمکن و آماده‌سازی آن در کارخانه

سازنده آبگرمکن برای ارسال به آزمایشگاه با توجه به شرایط خاص آزمون

۲-۴-۱-۵- آزمون آبگرمکن نهایی ساخته‌شده در آزمایشگاه، جهت

تحلیل گازهای حاصل از احتراق در دودکش و اندازه‌گیری راندمان حرارتی به صورت تجربی.

### ۲-۴-۲- راندمان حرارتی آبگرمکن

راندمان حرارتی از فرمول زیر بدست می‌آید که مقدار آن طبق استاندارد ملی مربوطه باید حداقل ۷۰ درصد باشد [۲۳، ۲۱]:

(۶)

که در آن:

$m$  جرم آب تزریق شده به آبگرمکن بعد از پیش‌گرمایش آبگرمکن بر حسب (kg)

$C_p$  گرمای ویژه آب در فشار ثابت بر حسب (MJ/kg°C)

$(T_2 - T_1)$  افزایش دمای آب بر حسب (°C)

که در آن،  $T_2$  دمای آب مخزن در انتهای آزمون و برابر  $60^\circ\text{C}$  و  $T_1$  دمای آب مخزن در ابتدای آزمون و  $15^\circ\text{C}$  در نظر گرفته می‌شود.

$V$  حجم گاز خشک مصرفی به وسیله آبگرمکن در طول آزمون بر حسب ( $\text{m}^3$ )

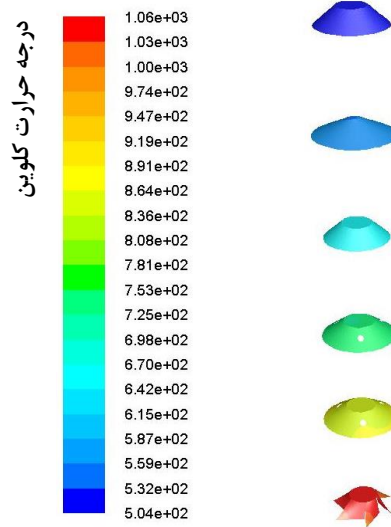
$H$  ارزش حرارتی خالص گاز خشک بر حسب ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )

مطابق الزام استاندارد ملی [۲۱]، قبل از آزمون راندمان حرارتی، آبگرمکن

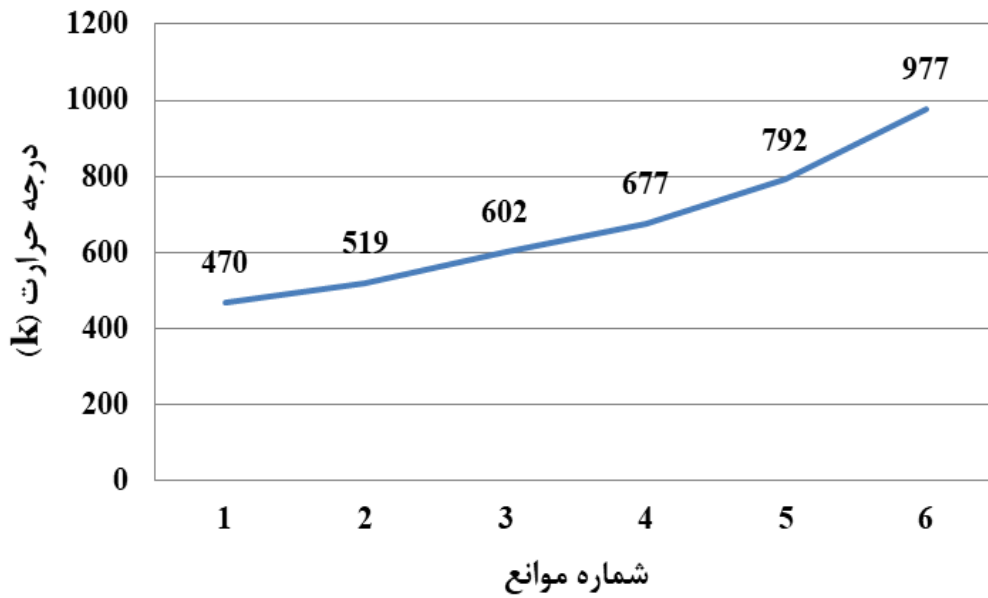
### جدول ۱: نمودار جریانی آزمایشگاهی

Table 1. Lab flow chart

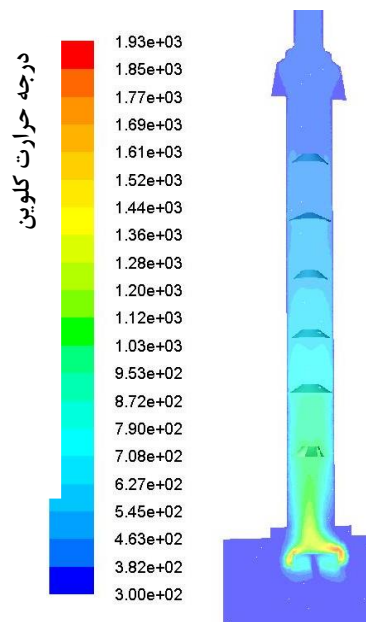
مقدار مجاز بر اساس استاندارد ملی	نتیجه اندازه‌گیری شده	موارد اندازه‌گیری شده
۲۰	۵/۸	اکسیژن محیط بر حسب (درصد)
۲۰۰	۱۸	مونواکسیدکربن بر حسب (ppm)
-	۸/۵	اکسیدکربن (بر حسب درصد) دی
نباید کمتر از $80^\circ\text{C}$ باشد	۸۹	دمای محصولات احتراق بر حسب (°C)
این دماها از دمای محیط نباید بیشتر از $80^\circ\text{C}$ فراتر رود.	۹۳	دمای بدنه، دیواره‌های کناری، جلو و سر آبگرمکن بر حسب (°C)



شکل ۱۳: منحنی توزیع دما (بر حسب کلوین) در موانع مدل بهینه نهایی  
Fig.13. Counters of temperature distribution (K) in the final optimized model



شکل ۱۴: نمودار تغییرات دما در موانع مدل نهایی  
Fig.14. Temperature variation in baffles of final model



شکل ۱۵: توزیع دما (بر حسب کلوین) در مدل نهایی در صفحات  $X = 0, Z = 0$

Fig.15. Counters of temperature distribution (K) in the final optimized model in  $X = 0, Z = 0$

جدول ۲: مقایسه نتایج آزمون آبگرمکن اولیه و آبگرمکن بهینه سازی شده

Table 2. Comparison of primary water heater test results and optimized water heater

دمای محصولات احتراق (°C)	راندمان حرارتی (درصد)	انتقال حرارت به آب داخل مخزن (kW)	مقدار مونواکسیدکربن (ppm)	ردیف
۱۴۰	۶۰	۳/۱۴	۴	آبگرمکن اولیه
۸۹	۸۲/۵	۴/۳	۱۸	آبگرمکن بهینه‌سازی شده

جدول ۳: عدم قطعیت‌های تفکیک‌پذیری و گواهی کالیبراسیون برای کمیت‌های (جرم، دما و حجم) موثر در عدم قطعیت کل برای راندمان

Table 3. The uncertainty of the calibration certificate for the breakdown and the quantity (mass, temperature and volume) are influencing the entire efficiency of uncertainty

$V(m^3)$	$T(^{\circ}C)$	$M(kg)$	نوع عدم قطعیت
۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۵	۰/۱	۱- عدم قطعیت تفکیک‌پذیری
۰/۰۰۰۰۵	۰/۳	۰/۲	۲- عدم قطعیت خوانده شده از گواهی کالیبراسیون



آزمون کمیت‌های اندازه‌گیری شده برای آبگرمکن بهینه‌سازی شده به همراه مقدار مجاز بر اساس استاندارد ملی آمده است [۲۱].  
دمای محیط ۱۹/۱ درجه سلسیوس، فشار مطلق محیط ۸۳۰/۵ میلی بار، رطوبت محیط ۴۶ درصد اندازه‌گیری شد.

### ۲-۳- نتایج شبیه‌سازی برای آبگرمکن بهینه‌سازی شده

در شکل ۱۳، منحنی دما در موانع مدل نهایی یا بهینه‌سازی شده که بوسیله نرم‌افزار شبیه‌ساز فلوئنت ترسیم شده، آمده است. همچنین، نوع و هندسه موانع نیز نشان داده شده است [۲۵].  
در شکل ۱۴، نمودار تغییرات دما در موانع مدل نهایی یا بهینه‌سازی شده که از روی نتایج تجربی و با قرار دادن حس‌گر و در آزمایشگاه بدست آمده، آورده شده است.

در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود که دما در مانع شماره ۱ که در بالاترین و دورترین فاصله از مشعل قرار دارد، کمترین و در مانع شماره ۶ که در نزدیک‌ترین فاصله از مشعل قرار دارد، بیشترین مقدار را دارد.

در شکل ۱۵ توزیع دما (بر حسب کلون) در مدل نهایی نشان داده شده است. این توزیع دما، جهت مشاهده نحوه توزیع و تغییرات دما در تنوره و لابلاهای موانع مختلف که بوسیله نرم‌افزار فلوئنت ترسیم گردیده، آورده شده است [۲۵].

### ۲-۳- محاسبه توان و انتقال حرارت خالص

#### ۲-۳-۱- محاسبه توان و انتقال حرارت خالص در مدل اولیه (با مانع حرارتی اولیه)

صرف نظر از رابطه راندمان حرارتی که با رابطه ۶ نشان داده شده، می‌توان از طریق محاسبات، انرژی ورودی و خروجی را بدست آورد که در این حالت پیش‌گرمایش انجام نمی‌شود. بنابراین، از آنجایی که حرارت ورودی به آبگرمکن، قبل از گرم کردن آب داخل مخزن، بایستی صرف گرم کردن مخزن آب و دیگر ملحقات مخزن گردد، بنابراین در محاسبه راندمان حرارتی، بایستی انرژی لازم جهت گرم کردن مخزن و دیگر ملحقات  $Q_{preheat}$  از انرژی ورودی کسر گردد. در نتیجه رابطه راندمان حرارتی پس از تصحیح، به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\eta = \frac{Q_{OUT}}{Q_{IN} - Q_{preheat}} \quad (7)$$

مخزن دار باید پیش‌گرم شود زیرا بدنه مخزن آب و دیگر ملحقات مخزن آبگرمکن، در ابتدای آزمون سرد هستند و پیش‌گرم کردن به این دلیل انجام می‌شود که اطمینان حاصل شود، حرارت ورودی فقط صرف گرم کردن آب  $15^{\circ}C$  و رساندن دمای آب داخل مخزن تا دمای  $60^{\circ}C$  می‌گردد.

در این تحقیق، دمای آب به طور متوسط، بوسیله شش حسگر از نوع PT ۱۰۰ اندازه‌گیری شد که این حسگرها با فاصله‌های مساوی در داخل آب قرار گرفته و دما به صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری شده و نمودار دما نیز ثبت گردید.

طبق استاندارد ملی ۲-۱۲۱۹، دمای محیط آزمون (اتاقک آزمون) باید در محدوده  $20^{\circ}C$  درجه سلسیوس با رواداری یک درجه سلسیوس نگه داشته شود [۲۱]. بدیهی است اگر دمای محیط آزمون (اتاقک آزمون) در خارج از محدوده دمای فوق باشد، موجب بروز خطا در نتیجه آزمون برای راندمان حرارتی خواهد شد.

در شکل‌های ۱۱ و ۱۲، موانع مدل‌های اولیه و نهایی آورده شده است. در شکل ۱۲، تصاویر تهیه‌شده از موانع برای مدل نهایی در آزمایشگاه به همراه شکل ترسیم شده از موانع بوسیله نرم‌افزار شبیه‌ساز فلوئنت نشان داده شده است. شکل هندسی موانع بر اساس آزمایش‌های تجربی بسیاری بوده که در کنار کار تحقیقی عددی حاضر در طول سال‌های گذشته در آزمایشگاه همکار مورد تایید سازمان ملی استاندارد انجام گردیده است. تعداد ۳ مانع از نظر هندسه و ابعاد تقریباً مانند هم و تعداد ۳ مانع از نظر هندسه و ابعاد متفاوت در نظر گرفته شدند. فاصله موانع از همدیگر یکسان در نظر گرفته شد تا اطمینان حاصل گردد که بهبود راندمان حرارتی به خاطر تاثیر شکل هندسی موانع بوده و متغیر فاصله وارد مساله نشده است. پایین‌ترین مانع که به صورت پره‌ای طراحی و ساخته شده، یک مانع خاص بوده و با ایده اعمال چرخش ملایم به گازهای داغ حاصل از احتراق طراحی شده است که باعث ازدیاد اغتشاش گازهای داغ حاصل از احتراق در داخل تنوره آبگرمکن شده و در نتیجه موجب افزایش انتقال حرارت و بهبود راندمان حرارتی شده و سبب بهینه‌سازی آبگرمکن گازسوز گردید.

لازم به ذکر است که از موانع در تجهیزات صنایع از جمله هوا گرمکن‌های خورشیدی، مبدل‌های حرارتی، بخاری‌های گازی، مخازن هم‌زن و غیره نیز استفاده می‌گردد [۲۴].

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نتایج آزمون در آزمایشگاه

یکی از چالش‌های این گونه تحقیقات علمی و تجربی، اجرای عملی در صنعت و پذیرش آنها توسط تولیدکننده می‌باشد. جاگذاری موانع خاص در این تحقیق از نظر فنی و استانداردهای موجود هیچ‌گونه مشکلی در تولید و آزمون بوجود نیاورد. در جدول ۱، نتایج

$$Q_{OUT} = mC_p \Delta T = 160 \times 4.2 \times (42 - 38) = 2688 \text{ KJ} = 642.4 \text{ Kcal}$$

مدت زمان رسیدن دمای مخزن از دمای  $38^\circ\text{C}$  تا دمای  $42^\circ\text{C}$  برابر  $625$  ثانیه است.

$$Q_{OUT} = \frac{2688}{625} = 4.3 \text{ KW}$$

بنابراین: محاسبه انرژی ورودی بوسیله گاز در مدت زمان آزمون: میزان گاز مصرف شده در مدت آزمون برابر  $90$  لیتر معادل  $0.9 \text{ m}^3$  و انرژی حرارتی گاز مصرف شده  $9000 \text{ kcal/m}^3$  می باشد. بنابراین:

$$Q_{in} = 9000 \times 0.09 = 810$$

محاسبه انرژی گرفته شده بوسیله مخزن با جرم  $75 \text{ kg}$  و ظرفیت گرمای ویژه مخزن  $0.45 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$  در مدت زمان آزمون:

$$Q_{preheat} = MC_p \Delta T = 75 \times 0.45 \times (42 - 38) = 135 \text{ kJ} = 32.2 \text{ kcal}$$

راندمان حرارتی آبگرمکن گازسوز مخزن دار در مدل بهینه نهایی طبق رابطه (۷) بدست می آید:

$$\eta = \frac{642.2}{810 - 32.2} \times 100 = 82.5\%$$

که مشاهده می گردد راندمان حرارتی به اندازه  $22/5$  درصد افزایش یافته است.

در جدول ۲ خلاصه نتایج آزمون آبگرمکن اولیه و بهینه سازی شده آمده است.

### ۳-۳- محاسبه عدم قطعیت راندمان مدل بهینه

عدم قطعیت در اندازه گیری، تشریح این واقعیت است که در اندازه گیری یک کمیت، یک مقدار واحد وجود ندارد بلکه تعداد نامحدودی مقادیر وجود دارد که در اطراف نتیجه به دست آمده گسترده شده اند. علت نوسانات در نتایج اندازه گیری های تکرار شده، کمیت هایی می باشند که می توانند نتیجه اندازه گیری را تحت تاثیر قرار دهند. تعیین تمام این کمیت ها، در عمل غیرممکن است. ولی می توان کمیت هایی که بیشترین تاثیر را دارند، شناسایی و میزان

میزان انتقال حرارت لازم جهت گرم کردن  $160 \text{ kg}$  آب داخل مخزن از دمای  $38^\circ\text{C}$  تا دمای  $42^\circ\text{C}$  برابر است با:

$$Q_{OUT} = mC_p \Delta T \quad (8)$$

$$Q_{OUT} = 160 \times 4.2 \times (42 - 38) = 2688$$

یک کالری عبارت است از  $4/2$  ژول، بنابراین:

$$Q_{OUT} = 2688 \text{ KJ} = 642.4 \text{ Kcal}$$

مدت زمان رسیدن دمای مخزن از دمای  $38^\circ\text{C}$  تا دمای  $42^\circ\text{C}$  برابر  $845$  ثانیه است.

بنابراین انرژی خروجی از آبگرمکن بر حسب کیلو وات به این صورت به دست می آید:

$$Q_{OUT} = \frac{Q}{t} \quad (9)$$

$$Q_{OUT} = \frac{2688}{845} = 3.14$$

محاسبه انرژی ورودی توسط گاز در مدت زمان آزمون:

میزان گاز مصرف شده در مدت زمان آزمون برابر  $121$  لیتر معادل  $0.121 \text{ m}^3$  می باشد و انرژی حرارتی گاز مصرف شده برابر  $9000 \text{ kcal/m}^3$  است.

بنابراین:

$$Q_{in} = 9000 \times 0.12 = 1089$$

محاسبه انرژی گرفته شده توسط مخزن و ملخقات آن به جرم  $75 \text{ kg}$  و ظرفیت گرمای ویژه مخزن  $0.45 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{C)}$  در مدت زمان آزمون:

$$Q_{preheat} = MC_p \Delta T = 75 \times 0.45 \times (42 - 38) = 135 = 32.2 \text{ kcal} \quad (10)$$

راندمان حرارتی آبگرمکن گازسوز مخزن دار در مدل اولیه (با مانع حرارتی اولیه) طبق رابطه (۷) به صورت زیر به دست می آید:

$$\eta = \frac{642.2}{1089 - 32.2} \times 100 = 60\%$$

### ۳-۲-۲- محاسبه توان و انتقال حرارت خالص در مدل بهینه نهایی

محاسبه میزان انتقال حرارت لازم جهت گرم کردن  $160 \text{ kg}$  آب داخل مخزن از دمای  $38^\circ\text{C}$  تا دمای  $42^\circ\text{C}$ :

به عدم قطعیت تفکیک‌پذیری که با نماد  $U_R$  نشان داده می‌شود و دیگری عدم قطعیت بدست‌آمده از برگه گواهی کالیبراسیون که با نماد  $U_{cal}$  نشان داده می‌شود.

اگر تفکیک‌پذیری دستگاه آزمون  $R$  باشد، مقدار نمایش داده شده  $X$  می‌تواند هر عددی در بین دامنه  $R \pm 0.5$  باشد. عدم قطعیت مربوط به تفکیک‌پذیری محدود  $U_R$  یک دستگاه دارای نمایشگر دیجیتال، یکی از معمول‌ترین منابع عدم قطعیت می‌باشد. در این حالت عدم قطعیت از فرمول زیر محاسبه می‌گردد [۲۶]:

$$U_R = \frac{0.5R}{\sqrt{3}} \quad (15)$$

در زیر، عدم قطعیت‌های تفکیک‌پذیری و گواهی کالیبراسیون مربوط به کمیت‌های جرم، حجم و دما نشان داده شده‌اند.

$m_{cal}$ : عدم قطعیت جرم مربوطه که از گواهی کالیبراسیون باسکول عدد  $0.0005$  خوانده و ثبت می‌گردد.

$V_{cal}$ : عدم قطعیت حجم که از گواهی کالیبراسیون کنتور گاز عدد  $0.0005$  خوانده و ثبت می‌گردد.

$cal$ : عدم قطعیت دما که از گواهی کالیبراسیون دما عدد  $0.3^\circ C$  خوانده و ثبت می‌گردد.

$R$ : عدم قطعیت مربوط به تفکیک‌پذیری دما که با توجه به  $R \pm 0.5$  و توضیح پایین محاسبه می‌گردد.

گستره تفکیک‌پذیری برای کمیت دما از گواهی کالیبراسیون عدد  $0.1$  خوانده و ثبت می‌گردد. بنابراین عدم قطعیت مربوط به تفکیک‌پذیری محدود  $U_R$  برای کمیت دما با در نظر گرفتن سطح اطمینان تقریباً ۹۵ درصد و ضریب پوشش  $K=2$  و با تقسیم بر عدد  $K=2$ ،  $0.05^\circ C$  بدست می‌آید.  $m_R$ : عدم قطعیت مربوط به تفکیک‌پذیری جرم که با توجه به  $R \pm 0.5$  و توضیح پایین محاسبه می‌گردد.

گستره تفکیک‌پذیری برای کمیت جرم از گواهی کالیبراسیون عدد  $0.2$  خوانده و ثبت می‌گردد. بنابراین عدم قطعیت مربوط به تفکیک‌پذیری محدود  $U_R$  برای کمیت جرم با در نظر گرفتن سطح اطمینان تقریباً ۹۵ درصد و ضریب پوشش  $K=2$ ،  $0.1$  kg بدست می‌آید.

$V_R$ : عدم قطعیت مربوط به تفکیک‌پذیری حجم که با توجه به  $R \pm 0.5$  و توضیح پایین محاسبه می‌گردد.

گستره تفکیک‌پذیری برای کمیت حجم از گواهی کالیبراسیون عدد  $0.0001$   $m^3$  خوانده و ثبت می‌گردد. بنابراین عدم قطعیت مربوط به تفکیک‌پذیری محدود  $U_R$  برای کمیت حجم با در نظر گرفتن سطح اطمینان تقریباً ۹۵ درصد، ضریب پوشش  $K=2$  و با تقسیم بر عدد  $K=2$ ،  $0.00005$  بدست می‌آید.

اغلب در تخمین عدم قطعیت، عدم قطعیت‌های نوع  $B$  استفاده می‌گردد که مربوط به تخمین عدم قطعیت از منابع اطلاعاتی دیگر به غیر از فنون آماری می‌شود. این اطلاعات می‌تواند از تجربیات پیشین اندازه‌گیری‌ها،

تاثیر آنها را بر روی نتیجه اندازه‌گیری تخمین زد.

طبق مطالعه آزمایشگاهی در این تحقیق و نیز از رابطه (۶) کمیت‌های مهم تاثیرگذار بر روی نتیجه اندازه‌گیری راندمان حرارتی عبارتند از جرم آبی که بوسیله باسکول اندازه‌گیری می‌شود، دمای آب در اول و انتهای آزمون و حجم گاز مصرفی بوسیله آبگرمکن گازسوز.

بنابراین از رابطه ۶ که به صورت زیر آورده شد:

$$\eta = mC_p (T_2 - T_1) / V \times H$$

با توجه به اینکه راندمان حرارتی وابسته به ۳ کمیت جرم، دما و حجم می‌باشد، مطابق روش ارائه شده در مرجع [۲۶]، می‌توان تابع زیر را در مورد راندمان حرارتی نوشت:

$$\eta = f(m, T, v) \quad (11)$$

با فرض اینکه کمیت‌های دما، حجم و جرم مستقل از هم هستند، از روابط مشتقات نسبی و با متغیر فرض کردن یک کمیت از ۳ کمیت تاثیرگذار در راندمان حرارتی و با ثابت فرض کردن دو کمیت در هر مرحله، می‌توان روابط ۱۳، ۱۲ و ۱۴ را به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial \eta}{\partial T} = \frac{c_p}{H} \times \frac{m}{V} \quad (12)$$

که در این رابطه دما متغیر و جرم و حجم کمیت‌های ثابت در نظر گرفته شدند.

$$\frac{\partial \eta}{\partial m} = \frac{c_p}{H} \times \frac{T}{V} \quad (13)$$

که در این رابطه جرم متغیر و دما و حجم کمیت‌های ثابت در نظر گرفته شدند.

$$\frac{\partial \eta}{\partial v} = \frac{-\frac{c_p}{H} \times T \times m}{V^2} \quad (14)$$

که در این رابطه حجم متغیر و جرم و دما کمیت‌های ثابت در نظر گرفته شدند.

در رابطه (۶) برای راندمان حرارتی، ارزش حرارتی گاز  $9000 \text{ kcal/m}^3$  و ظرفیت گرمای ویژه آب  $H = 4.2 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{C)}$  است که مقادیر آنها اعداد ثابتی بوده و در محاسبه عدم قطعیت به صورت اعداد ثابت وارد می‌شوند.

در محاسبه عدم قطعیت گسترده برای راندمان حرارتی آبگرمکن مخزن‌دار گازسوز، دو منبع موثر برای عدم قطعیت موجود است. یکی مربوط

$$u_{\eta} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left( \frac{\partial \eta}{\partial x_i} u_i \right)^2} \quad (18)$$

در بسط رابطه (۱۸)، مقادیر جرم، حجم و دما به ترتیب برابر  $60 \text{ kg}$ ،  $0.90 \text{ m}^3$  و  $4$  می‌باشد. طبق فرمول راندمان و براساس عدم قطعیت‌های تفکیک‌پذیری و گواهی کالیبراسیون و با جاگذاری مقادیر مربوطه که در بالا ذکر شد، عدم قطعیت گسترده راندمان حرارتی آبرگرمکن برای مدل نهایی طبق رابطه (۱۸)، عدد  $0.085$  بدست می‌آید. چنانچه سطح اطمینانی تقریباً برابر  $95$  درصد برای عدد گزارش شده مورد نظر باشد، با ضرب عدم قطعیت استاندارد گسترده در ضریب پوششی  $K=2$  عدم قطعیت کل برابر  $\pm 0.17$  گزارش می‌گردد. این بدان معنی است که  $95$  درصد اطمینان هست که عدد بدست آمده برای راندمان حرارتی، در دامنه گزارش شده برای عدم قطعیت کل قرار دارد. به عبارت بهتر، با اطمینان  $95$  درصد می‌توان بیان کرد که راندمان حرارتی آبرگرمکن گازی بدست آمده از آزمون تجربی، بین  $82/67$  و  $82/33$  درصد قرار دارد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت افزایش راندمان حرارتی آبرگرمکن مخزن دار گاز سوز خانگی، با ساخت و انجام آزمون‌های تجربی در کارخانه و آزمایشگاه، با قراردادن شش مانع طراحی شده در مسیر گازهای حاصل از احتراق و داخل تنوره، از خروج سریع گازهای حاصل از احتراق از طریق تنوره جلوگیری به عمل آمده و زمان ماندن گازهای داغ در مسیر تنوره افزایش یافت. تعداد سه مانع از نظر هندسه و ابعاد، مانند هم و تعداد سه مانع از نظر هندسه و ابعاد، متفاوت و همچنین فواصل موانع با آزمایش‌های تجربی، یکسان در نظر گرفته شد. مدل اولیه و مدل بهینه‌سازی شده براساس استاندارد ملی مربوطه، مورد آزمون‌های دقیق در آزمایشگاه قرار گرفته و نتایج ثبت شدند. از آنجایی که انتقال حرارت به آب داخل مخزن آبرگرمکن در مدل بهینه‌سازی شده به حداکثر مقدار خود رسیده، در نتیجه راندمان حرارتی آبرگرمکن مخزن دار گازسوز از مقدار  $60$  درصد در آبرگرمکن اولیه به مقدار  $82/5$  درصد در آبرگرمکن بهینه ارتقاء یافته و از طریق اندازه‌گیری با تحلیل گر گاز در آزمایشگاه، مشاهده گردید که گازهای آلاینده نیز در خروجی دودکش تقریباً در کمترین مقدار ممکن قرار گرفتند. در نهایت، با لحاظ سه کمیت تاثیرگذار دما، حجم و جرم بر روی عدم قطعیت راندمان حرارتی آبرگرمکن و با استفاده از روابط مربوطه، عدم قطعیت گسترده راندمان حرارتی آبرگرمکن

گواهی‌نامه‌های کالیبراسیون، مشخصات سازنده، محاسبات و اطلاعات منتشر شده باشد. در این تحقیق نیز از این نوع عدم قطعیت استفاده شده است. عدم قطعیت‌های استاندارد منفرد که از تخمین‌های نوع B بدست آمده‌اند را می‌بایست با یکدیگر ترکیب نمود. نتیجه این کار، عدم قطعیت استاندارد مرکب نامیده می‌شود.

برای کمی نمودن عدم قطعیت دو عدد وجود دارد. یکی عرض این حاشیه یا فاصله می‌باشد. عدد دیگر سطح اطمینان که بیان کننده میزان اطمینان از این نکته است که مقدار واقعی در حاشیه مزبور قرار دارد. اگر عدم قطعیت بخواهد، با سطح اطمینان دیگری مثلاً  $95$  درصد بیان شود، این مقیاس بندی مجدد را می‌توان با استفاده از یک ضریب پوششی با نام  $K$  که در عدم قطعیت استاندارد مرکب ضرب می‌شود، انجام داد که نتیجه را عدم قطعیت بسط یافته یا گسترده می‌نامند که با علامت  $u$  نشان داده می‌شود. اگر عدم قطعیت کل با استفاده از ضریب پوششی  $K=2$  محاسبه شود، سطح اطمینانی تقریباً برابر  $95$  درصد وجود خواهد داشت. عدم قطعیت بسط یافته از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۲۶]:

$$u_i = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial \eta}{\partial x_i} u_i \right)^2} \quad (16)$$

$u_i$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$u_i^2 = u_R^2 + u_{cal}^2 \quad (17)$$

که در آن اندیس  $i$  برای جرم، دما و حجم به ترتیب با حروف  $u_m$ ،  $u_T$  و  $u_V$  نشان داده می‌شود.

مقدار  $u_m$  از رابطه (۱۷) به صورت زیر بدست می‌آید:

$$u_m^2 = \frac{0.5R}{\sqrt{3}} + u_{cal}^2 = \frac{0.5 \times 0.2}{\sqrt{3}} + \left( \frac{0.2}{2} \right)^2 = 0.0132$$

و به طور مشابه برای دما و حجم اعداد زیر محاسبه می‌شود:

$$u_T^2 = 0.01$$

$$u_V^2 = 0.00000026$$

و از آنجایی که در این تحقیق،  $3$  کمیت تاثیرگذار دما، حجم و جرم بر روی عدم قطعیت وجود دارد، بنابراین می‌توان رابطه (۱۶) را به صورت زیر نوشت:



- the effect of parameters of burner on performance the gas heater, in: The second Conference of combustion of Iran's Islamic Azad University of Mashhad, 2007.
- [5] Q.Karami, H.Heravi, M. Nabavi, S.Javadi, Simulation of a household gas water heater and an investigation on the effect of the adjustment warhead and  $v / \Delta$  baffles on the heat transfer rate in the middle tube, in: The second Conference of combustion of Iran's Islamic Azad University of Mashhad, 2008.
- [6] S.Hossein-pour, Sh.Kashaniasl, Numerical and experimental investigation on the effect of baffles on increasing thermal efficiency of a gas heater, Journal of scientific-research and fuel combustion. , in, 2010.
- [7] Sh.Kashaniasl, Improvement of thermal efficiency of a gas heater by comparison results of simulation of exhaust gases and experimental results, Mechanical energy conversion field, Islamic Azad University, Tabriz, 2008.
- [8] I. Sezai, L. Aldabbagh, U. Atikol, H. Hacisevki, Performance improvement by using dual heaters in a storage-type domestic electric water-heater, Applied Energy, (3)81 305-291 (2005).
- [9] Hegazy, A. A, Effect of inlet design on the performance of storage-type domestic electrical water heaters, Applied Energy, 1355-1338 (2007) (12)84.
- [10] A.Golneshan, A.Motagi, A numerical investigation on the heat transfer in the new designed gas water heater, in, The second International Conference on optimization of fuel consumption in buildings, fuel optimization organization, Tehran, Iran, 2002.
- [11] M.Bidabadi, Partners, Optimizing a gas water heater, in, The second International Conference on optimization of fuel consumption in the building, Tehran, Interior fuel optimization, 2002.
- [12] A.Rahimi, Effective parameters on the thermal efficiency of gas water heater and its economical analysis, in, The Fourth International Conference on new approaches in maintenance energy, 2014.
- [13] S. Jaisankar, T. Radhakrishnan, K. Sheeba, Studies on heat transfer and friction factor characteristics of thermosyphon solar water heating system with helical
- برای مدل نهایی، عدد  $\pm 0/085$  حاصل شد. برای داشتن سطح اطمینانی تقریباً برابر ۹۵ درصد برای عدد گزارش شده برای راندمان، با ضرب عدم قطعیت استاندارد گسترده در ضریب پوششی  $K=2$ ، عدم قطعیت کل برای راندمان حرارتی آبرگرمکن مخزن دار گازسوز در مدل نهایی بهینه عدد  $0/17 \pm$  محاسبه گردید.
- فهرست علائم
- C گرمای ویژه آب ، (MJ/kg°C)  
H ارزش حرارتی خالص گاز، MJ/m<sup>۳</sup>  
m جرم آب، kg  
T دمای آب، °C  
V حجم گاز ،  
U عدم قطعیت  
 $\eta$  راندمان حرارتی
- زیرنویس  
In ورودی  
P فشار ثابت  
Preheat پیش گرمایش
- منابع
- [1] The Office of the national building regulations and to promote the compilation Ministry of housing and urban development department and the way, in: the building Iran's Tose of the publication, 2008.
- [2] M.M. Sedeh, J. Khodadadi, Energy efficiency improvement and fuel savings in water heaters using baffles, Applied energy, 533-520 (2013) 102.
- [3] K. Moharamkhani, M. Tavakoli, F. samvad, Quantitative and qualitative comparison on the exhaust gas between a gas water heater with an adjustment warhead and a gas water heater without warhead, in: 15th Fluid Dynamics Conference, Hormozgan university, 2013.
- [4] M.Bidabadi, M. Sedigi, M.Shirazi, An investigation on

- Exploration & Exploitation, 1161-1147 (2019) (3)37.
- [20] S. Kashaniasl, The household gas water heaters, Publishing Amidi, in, Publishing Amidi, 2013.
- [21] The National Iranian standard organization, national standard number 2-1219 , Gas water heater with chimney properties and test methods and Energy label instructions, in, 2004.
- [22] K.Amiraslani, Fuel and combustion lecture notes, in, Islamic Azad University of Tehran-South, 2014.
- [23] American National Standard/CSA standard for gas water heaters ,4th ed,, in, 2009.
- [24] Y. Kamla, M. Bouzit, H. Ameer, M.I. Arab, A. Hadjeb, Effect of the inclination of baffles on the power consumption and fluid flows in a vessel stirred by a Rushton turbine, Chinese Journal of Mechanical Engineering, (2017) (4)30 1016-1008.
- [25] M. shervanitabar, Sh.Kashanias, S. baheri, M. yari, Numerical investigation of the increase of thermal efficiency of gas tank water heater and validation of its results with experimental results, Amirkabir Journal of Mechanical Engineering, (2019).
- [26] R.J. Moffat, Describing the uncertainties in experimental results, Experimental thermal and fluid science, (1)1 17-3 (1988).
- twisted tapes, Energy, 1064-1054 (2009) (9)34.
- [14] S. Jaisankar, T. Radhakrishnan, K. Sheeba, Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of thermosyphon solar water heater system fitted with spacer at the trailing edge of twisted tapes, Applied Thermal Engineering, 1231-1224 (2009) (6-5)29.
- [15] S.Amini, An investigation of heat transfer enhancing of gas water heater by using a disk shape barrier in the middle tube, Isfahan University of technology, 2002.
- [16] S. Choudhury, V.G. McDonell, S. Samuelsen, Combustion performance of low-NOx and conventional storage water heaters operated on hydrogen enriched natural gas, International Journal of Hydrogen Energy, (2019).
- [17] Z. Liu, K. Xu, L. Qi, H. Pan, Z. Zhang, Y. Pan, Y. Yuan, Y. Zeng, A High Efficiency Electric Heater Based on Dual-helical Tube and Screw-tape for Instant Water Heating, Applied Thermal Engineering, (114018 (2019).
- [18] R. Amini, M. Amini, A. Jafarinia, M. Kashfi, Numerical investigation on effects of using segmented and helical tube fins on thermal performance and efficiency of a shell and tube heat exchanger, Applied Thermal Engineering, 760-750 (2018) 138.
- [19] E. Nshimyumuremyi, W. Junqi, Thermal efficiency and cost analysis of solar water heater made in Rwanda, Energy

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

Sh. Kashani asl, M. T. Shervani-Tabar, S. Baheri Eslami, M. Yari. Experimental study on the enhancement of the thermal efficiency of a household gas water heater. Amirkabir J. Mech Eng., 53(special issue 3) (2021). 2013-2030.  
DOI: [10.22060/mej.2020.17232.6542](https://doi.org/10.22060/mej.2020.17232.6542)

