

مطالعه تجربی یک مبدل حرارتی گرمکن آب با مشعل‌های متخلخل و مقایسه با مشعل معمولی

سید عبدالمهدی هاشمی^{۱*}، احمد رضا طیاره^۲، مجید نیکفر^۳

کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی مکانیک و پژوهشکده انرژی

(*hashemi@kashanu.ac.ir)

چکیده

در این تحقیق با استفاده از محیط متخلخل فلزی، بازدهی مبدل حرارتی (آبگرمکن مخزنی) مورد ارزیابی قرار گرفت و راندمان دو نوع مشعل مورد مقایسه قرار گرفت. در هر آزمایش، زمان لازم برای رسیدن دمای آب آبگرمکن به دمای مورد نظر (۶۰ درجه‌ی سلسیوس) ثبت شد. در این پروسه، ۴ نوع جامد فلزی متخلخل، مورد بررسی قرار گرفت. نمودار دمای آب داخل مخزن بر حسب زمان رسم شد. جامد متخلخل بهینه از بین انواع جامدهای متخلخل، انتخاب شد. نتایج نشان داد که با استفاده از مشعل با جامد متخلخل بهینه (جامد متخلخل به طول ۱۰ سانتی‌متر)، می‌توان حداکثر، راندمان را تا ۱۰ درصد افزایش داد. این افزایش راندمان، در اثر افزایش انتقال حرارت تابشی، کاهش میزان هوای اضافه و افزایش انتقال حرارت هدایت بین جسم متخلخل و دیواره‌ی مخزن صورت می‌گیرد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، به دلیل کم بودن هزینه‌ی شبکه‌های سیمی مورد استفاده و در دسترس بودن آن‌ها، طرح از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مبدل حرارتی - جامد فلزی متخلخل - آبگرمکن مخزنی - راندمان حرارتی

۱- مقدمه

بخش عظیمی از انرژی مورد نیاز در دنیا به واسطه‌ی واکنش‌های احتراقی تأمین می‌شود. احتراق یک واکنش شیمیایی برگشت‌ناپذیر است که از ترکیب سوخت و اکسیدکننده ایجاد می‌شود. یک سوخت رایج مورد استفاده گاز طبیعی است. گاز طبیعی، گازی بی‌رنگ، بی‌بو و سبک‌تر از هوا است که ترکیب اصلی آن، گاز متان به همراه گازهای دیگری چون CO_2 , H_2 , C_2H_6 , C_3H_8 , O_2 , He و ... با درصد کمتر می‌باشد. با توجه به گسترش شبکه گازرسانی در کشور، سوخت رایج مورد استفاده در مصارف خانگی گاز طبیعی می‌باشد. با توجه به ارزشمندی منابع این سوخت و سیاست هدفمند شدن پارانها، بحث افزایش راندمان تجهیزاتی که با این سوخت کار می‌کنند، اجتناب‌ناپذیر است و ایجاد راهکارهایی برای کاهش مصرف گاز طبیعی، ضروری است.

در این تحقیق، آزمون‌هایی بر روی آبگرمکن مخزنی انجام می‌گیرد و اثر استفاده از جامد متخلخل فلزی، بر روی راندمان این مبدل حرارتی بررسی می‌شود. در مقایسه با احتراق معمولی، بازدهی احتراق در مشعل متخلخل بیشتر است. یک تفاوت مهم میان احتراق در محیط متخلخل و احتراق عادی، انتقال حرارت بهتر و مؤثرتر از گازهای سوخته به مخلوط نسوخته است. در سیستم احتراق عادی، انتقال حرارت از محصولات احتراق به مخلوط اولیه به صورت انتقال حرارت هدایتی است که موجب پیش‌گرم شدن مخلوط اولیه و افزایش دمای آن تا دمای آغاز واکنش احتراق می‌شود. اما در محیط متخلخل، علاوه بر انتقال

۱- دانشیار، دانشگاه کاشان

۲- کارشناس ارشد، دانشگاه کاشان

۳- کارشناس ارشد، دانشگاه کاشان

حرارت هدایت، انتقال حرارت تابشی نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین بهبود فرآیند احتراق در مشعل‌های متخلخل در نتیجه انتقال حرارت بهتر در سراسر شبکه جامد به صورت هدایت جامد و تابش بالا از سطح جامد گرم است. علاوه بر این، انتقال حرارت در مشعل‌های متخلخل در مقایسه با مشعل‌های معمولی بواسطه افزایش مساحت سطح محیط متخلخل، بهتر صورت می‌گیرد. این افزایش سطح محیط متخلخل به واسطه ی خلل و فرج‌های بسیاری است که در محیط متخلخل وجود دارد.

تا به حال کارهای متفاوتی در زمینه‌ی استفاده از مشعل‌های متخلخل در مبدل‌های حرارتی مختلف انجام گرفته است. مایکل^۱ و همکاران [۱] بر روی بازدهی یک آبگرمکن شامل یک مخزن و یک رویه‌ی استوانه‌ای کار کردند. آنها به منظور جلوگیری از اتلاف حرارت، اطراف مخزن را به کمک یک دیواره بین رویه و مخزن عایق‌کاری کردند. این دیواره حاوی مواد عایقی بود که درون یک محفظه‌ی پلاستیکی قرار می‌گرفتند. به منظور مسدود شدن بالای فضای عایق‌کاری شده، یک درپوش در بالای رویه نصب شده بود. آنها با این عایق‌کاری، بازدهی این مبدل حرارتی را افزایش دادند. وارن^۲ [۲]، یک آبگرمکن مخزنی که یک مشعل مادون قرمز در یک طرف آن نصب شده بود را بررسی کرد. این مشعل به صورت افقی برای کار در دمای بالا در یک ضلع مخزن قرار گرفته بود. در مبدل حرارتی وارن، گازهای سوخته به سمت بالا هدایت می‌شدند و از طریق هدایت گرمای خود را به آب داخل مخزن می‌دادند و سپس تخلیه می‌شدند. یک برتری دیگر این آبگرمکن به انواع مشابه آن، این بود که در دودکش آبگرمکن از پره‌های مارپیچ استفاده شده بود و به این ترتیب گرمای حاصل از گازهای سوخته، بیشتر در تماس با لوله‌ی دودکشی که در مرکز مخزن است، قرار می‌گرفت و زمان برای انتقال حرارت از گازهای سوخته افزایش پیدا می‌کرد. به این ترتیب او توانست راندمان سیستم را افزایش دهد. پائول^۳ [۳]، به بررسی یک آبگرمکن حاوی یک مخزن و یک رویه‌ی استوانه‌ای، که شامل یک مشعل گازی مادون قرمز بود، پرداخت. به این گونه که یک صفحه‌ی سرامیکی دایره‌ای که سوراخ‌هایی در آن تعبیه شده بود، به طور مورب، در بالای محفظه‌ی احتراق قرار داشت و یک فضا نیز برای اختلاط سوخت و هوا در زیر آن تعبیه شده بود. وی با این روش از اتلاف گرمای گازهای خروجی جلوگیری کرد. او با استفاده از این سیستم توانست بازدهی این مبدل حرارتی را افزایش و میزان تولید NO_x را به شدت کاهش دهد. رانگسی مونوچارت^۴ و همکارش [۴]، از سیستم حرارت برگشتی مبنی بر تکنولوژی محیط متخلخل به منظور بهبود راندمان مشعل‌های گازی خانگی استفاده کردند. در این روش از محیط متخلخل برای پیش‌گرمایش هوای احتراق در اجاق گاز با مشعل‌های معمولی استفاده شد. آن‌ها مدعی شدند که با این سیستم می‌توان بازده اجاق گازهای معمولی را (که کمتر از ۳۰ درصد است) به میزان ۱۲ درصد افزایش داد. در روشی دیگر آن‌ها از همین طرح با مشعل جریان چرخشی بجای مشعل‌های معمولی استفاده کردند. آن‌ها اذعان کردند که با استفاده از این طرح حداکثر راندمان حرارتی اجاق گاز می‌تواند به ۶۰ درصد برسد.

گنجعلی خان نسب [۵]، طرحی از یک مبدل حرارتی هواگرم کن ارائه داد، که در آن از مشعل متخلخل استفاده شده بود. اصول کار این سیستم بر پایه تبدیل انرژی گاز به انرژی تابشی استوار بود. مبدل حرارتی مذکور دارای سه لایه‌ی متخلخل در سه قسمت اصلی خود بود. وی نتیجه گرفت در صورتی که از لایه‌های متخلخل، درون ساختمان مبدل استفاده شود، سیستم مذکور دارای راندمان بالایی خواهد بود. دلالیچ^۵ و همکاران [۶]، یک مشعل متخلخل را که در داخل یک مبدل حرارتی قرار داده شده بود، مورد بررسی قرار دادند. مشعل متخلخل آن‌ها دو قسمتی و دارای توان ۱۰ کیلووات بود. در این آزمایش به منظور افزایش ضریب انتقال حرارت بین محصولات احتراق و مبدل، از رینگ‌های سرامیکی میان محفظه احتراق و مبدل حرارتی استفاده شد. در آزمایش آن‌ها مشعل متخلخل در بالای مبدل قرار گرفته است. علت این امر به خاطر خارج شدن بخار آب چگالش یافته از محصولات احتراق است تا به سمت بیرون از مبدل هدایت شوند. پس از اندازه‌گیری افت فشار در داخل محفظه

¹ michael

² warren

¹ paul

¹ Runsimuntuchart

¹ Delalic

احتراق و انتشار NO_x ، این نتایج حاصل شد که با افزایش درصد هوای اضافه، افت فشار افزایش و میزان انتشار NO_x کاهش می‌یابد.

جهان‌شاهی [۷]، مشخصه‌های حرارتی نمونه‌ی جدیدی از یک مبدل حرارتی متخلخل را مورد بررسی قرار داد. در هر کدام از قسمت‌های این مبدل، قطعه متخلخل مستطیل شکلی نصب بود، به طوری که می‌توانست انرژی تابشی را صادر، جذب و پخش نماید. نتایج نشان می‌داد که مبدل مذکور در مقایسه با مبدل‌های معمولی از راندمان بسیار بالایی برخوردار بودند. ابراهیمی [۸]، جریان در دو مشعل محیط متخلخل متفاوت را شبیه سازی عددی نمود و سپس عملکرد آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. مشعل نخست در دانشگاه ارلانگون آلمان ساخته و آزمایش شده بود و مشعل دوم، یک مشعل محیط متخلخل ۱۰ کیلو وات بود که در دانشگاه خواجه نصیر طوسی طراحی، ساخته و آزمایش شده بود. در بررسی آزمایشگاهی این دو طرح، تأثیر نسبت هوای اضافی، میزان انتشار آلاینده‌ها، ضریب هدایت حرارتی جامد، ضریب انتقال حرارت حجمی بین دو فاز و خواص تشعشعی جامد، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج او نشان داد که بازدهی مشعل‌های متخلخل بسیار بالا بوده و میزان آلاینده‌های تولیدی آن‌ها بسیار پایین است. همچنین او نشان داد که با افزایش نسبت هوای اضافه، چون دمای شعله کاهش می‌یابد، میزان تولید آلاینده‌ی NO_x کاهش می‌یابد. اشرفی [۹] یک مبدل حرارتی بر پایه‌ی مشعل متخلخل را تحلیل کرد و آن را در هیت‌ر ایستگاه‌های تقلیل فشار به کار برد. وی نتیجه گرفت که استفاده از مشعل‌های متخلخل در گرمکن‌های ایستگاه تقلیل فشار، میزان شار حرارتی بیشتری را نسبت به مشعل‌های اتمسفریک تولید می‌کند و راندمان را نیز افزایش می‌دهد. هاشمی و همکاران [۱۰] به طراحی و ساخت مبدل حرارتی بر مبنای مشعل متخلخل پرداختند و مقایسه‌ای بین راندمان مبدل حرارتی با استفاده از مشعل متخلخل و مبدل‌های معمول انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که مقادیر راندمان مبدل حرارتی با به کارگیری مشعل متخلخل افزایش می‌یابد و این افزایش در حالت استوکیومتری حداکثر است.

هدف از این تحقیق، بررسی میزان راندمان حرارتی مشعل‌های متخلخل و مقایسه آنها با مشعل‌های معمولی در سیستم گرمکن آب است. به همین منظور ابتدا یک عدد آبگرمکن مخزنی از لحاظ شرایط عملکرد و میزان مصرف سوخت و بازدهی و دیگر شرایط مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس با استفاده از جامدهای فلزی متخلخل ضمن بررسی شرایط ایجاد شده، با مشعل معمولی مقایسه می‌شود.

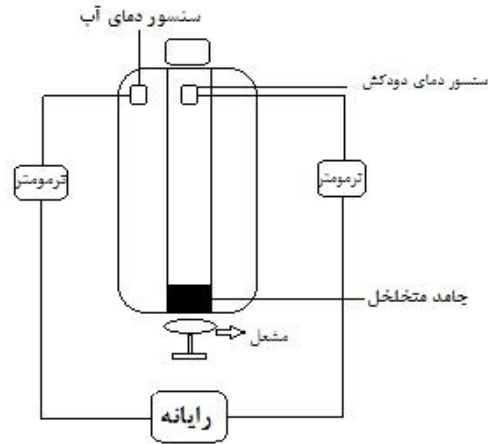
۲- تجهیزات آزمایش

آبگرمکنی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته از نوع آبگرمکن‌های مخزنی است که معمول‌ترین نوع آبگرمکن است و به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته و در مناطقی که فشار آب کمتر از حد معمول است کاربرد بیشتری دارد. در این مدل از آبگرمکن، آب در محفظه‌ای جمع شده و از طریق مشعل زیر مخزن، گرم می‌شود. آب سرد از پایین مخزن وارد و پس از گرم شدن از بالای آن خارج می‌شود. در شکل (۱) طرح‌واره‌ای از سامانه‌ی آزمایش دیده می‌شود. در طی انجام آزمایش‌ها، دمای آب داخل مخزن و دمای دودکش، توسط ترموکوپل اندازه‌گیری می‌شدند و این دماها به صورت لحظه‌ای، توسط دستگاه نمایشگر، به صورت یک فایل در رایانه ذخیره می‌شدند. در این تحقیق از ترموکوپل نوع K استفاده شده است. ترموکوپل نوع K نیز دارای بازه‌ی کارکردی دمای ۲۰۰- تا ۱۳۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است. خروجی ترموکوپل به صورت اختلاف پتانسیل است. این اختلاف پتانسیل باید توسط یک ولت‌متر و یا یک دستگاه مبدل ولتاژ به دما تبدیل شود. در این تحقیق از یک ماژول اندازه‌گیری دما^۱ مدل $DTE10T$ ساخت شرکت دلتا^۲ استفاده شده است که تصویر آن در شکل (۲) نشان داده شده است. این دستگاه از یک مبدل تبدیل آنالوگ به دیجیتال، یک نمایشگر دیجیتال (قابلیت نمایش دما تا $1999/9^{\circ}C$)، یک منبع تغذیه‌ی ۲۴ ولتی و همچنین یک مبدل ($USB \rightarrow RS232$) تشکیل شده است. هر ماژول قابلیت اتصال ۴ ترموکوپل را دارد. با استفاده از نرم افزار $LABVIEW$ دمای ترموکوپل‌ها در زمان‌های مختلف به

¹Data logger

²Delta

صورت فایلی در کامپیوتر ذخیره می‌شود، بازه‌های زمانی ثبت مقادیر دما می‌تواند به دلخواه تغییر کند که در اینجا مقدار آن یک ثانیه در نظر گرفته شده است.



شکل (۱): طرح‌واره‌ای از سامانه‌ی آزمایش



شکل (۲): نمونه‌ای از نمایش‌گر ساخت شرکت Delta

در تمامی آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق برای اندازه‌گیری دبی گاز از روتامتر استفاده شده است. از جمله مزیت‌های استفاده از این وسیله در مقایسه با سایر وسایل اندازه‌گیری دبی جریان، می‌توان به قیمت ارزان، نصب راحت و دقت مطلوب آن (یک الی دو درصد کل مقیاس) اشاره کرد. در مسیر جریان گاز یک روتامتر قرار داده شده که در شکل (۳) نشان داده شده است.

روتامتر گاز دارای بازه‌ی کارکردی جریان بین ۰ تا ۱۰۰۰ لیتر بر ساعت و فشار تفاضلی عملکرد آن در شرایط دمایی نرمال، ۱۶ میلی‌تر آب، معادل فشار شبکه‌ی گاز طبیعی بعد از رگلاتور است. دقت دبی‌های اندازه‌گیری شده توسط روتامتر گاز $\pm 1.0 \text{ Lit/hr}$ می‌باشد. به طور کلی آزمایش‌ها در دبی‌های سوخت بین ۳۰۰ تا ۷۵۰ لیتر بر ساعت که شرایط کارکرد متداول آبگرمکن‌هاست، انجام شده است.



شکل (۳): روتامتر به کار رفته برای اندازه‌گیری دبی گاز

در این تحقیق از چند نوع جامد فلزی متخلخل استفاده شده است. دو نمونه از آن‌ها، توری‌های فلزی هستند که به صورت حلقه‌ای دور هم پیچیده شده‌اند (جامد فلزی متخلخل به طول ۵ سانتی‌متر و جامد فلزی متخلخل به طول ۱۰ سانتی‌متر) و دو نمونه‌ی دیگر شبکه‌های سیمی هستند که به صورت گلوله‌ی فلزی در آمده‌اند (شبکه‌ی سیمی کم تراکم شبکه‌ی سیمی پرتراکم). در شکل (۴) نمایی از جامدهای متخلخل مورد استفاده، دیده می‌شود.



(ب)



(الف)



(د)



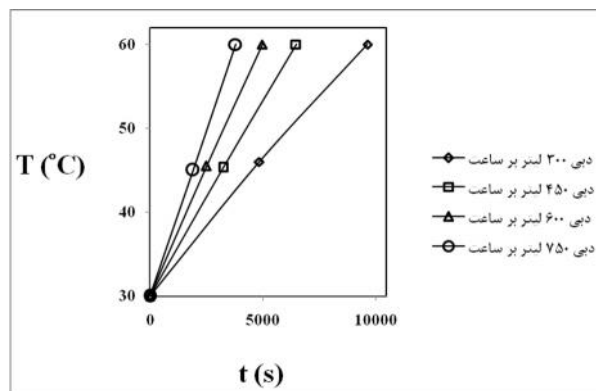
(ج)

شکل (۴): محیط‌های متخلخل مورد آزمایش (الف) جامد فلزی متخلخل به طول ۵ سانتی‌متر (ب) جامد فلزی متخلخل به طول ۱۰ سانتی‌متر (ج) شبکه‌ی سیمی کم تراکم (د) شبکه‌ی سیمی پرتراکم

۳- نتایج

در این تحقیق دمای مقدار مشخصی آب که در مخزن آبگرمکن قرار دارد به اندازه‌ی معینی افزایش داده می‌شود. لازم به ذکر است که برای یکسان بودن شرایط، حجم آب آبگرمکن و میزان افزایش دما برای تمامی آزمون‌ها یکسان می‌باشد. معیار اصلی در این تحقیق مدت زمان افزایش دمای آب است و بازدهی‌ها بر اساس این معیار محاسبه شده است. در تمامی آزمون‌ها، دمای آب آبگرمکن از ۳۰ به ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد رسیده است. حجم مخزن آبگرمکن نیز، ۱۵۵ لیتر می‌باشد. آزمون انجام شده برای هر مشعل برای ۴ دبی مختلف گاز صورت گرفته است. این دبی‌ها عبارت‌اند از: ۳۰۰، ۴۵۰، ۶۰۰ و ۷۵۰ لیتر بر ساعت.

اولین آزمون مربوط به مشعل معمولی آبگرمکن، بدون استفاده از هیچ گونه جسم متخلخل می‌باشد. نمودار دمای آب بر حسب دبی‌های متفاوت برای مشعل معمولی آبگرمکن در شکل (۵) آورده شده است.

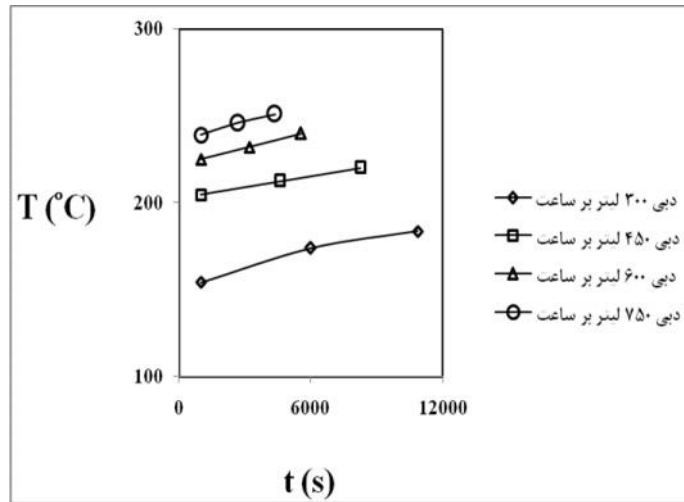


شکل(۵): نمودار دمای آب برای مشعل معمولی در دبی‌های متفاوت

همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد، در هر دبی دما از ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ۶۰ درجه سانتی‌گراد به صورت خطی افزایش می‌یابد. مشخص است که یک رابطه‌ی منطقی بین افزایش دبی و کاهش زمان وجود دارد و هرچه دبی گاز افزایش پیدا کرده است، مدت زمان افزایش دمای آب، کاهش یافته است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود در دبی گاز ۳۰۰ لیتر بر ساعت، مدت زمان افزایش دما حدود ۹۰۰۰ ثانیه و در دبی ۷۵۰ لیتر بر ساعت، این افزایش دما در حدود ۳۸۰۰ ثانیه، به طول انجامیده است.

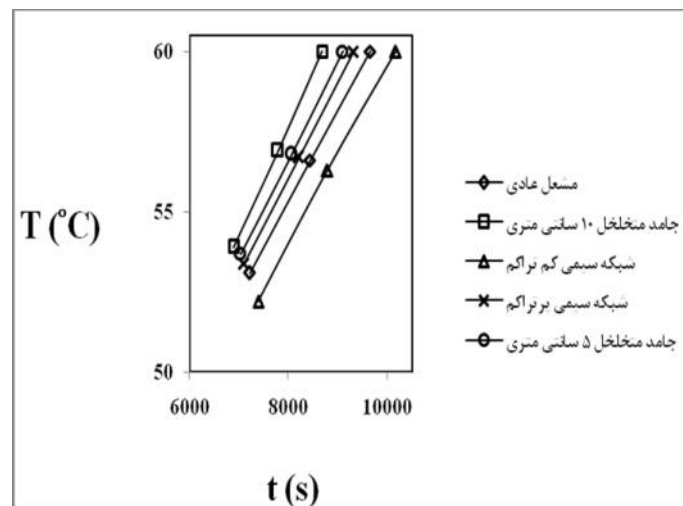
در شکل (۶)، دمای دودکش در ۴ دبی مختلف برای مشعل عادی، رسم شده است. در این شکل فقط قسمت پایدار نمودار دمای دودکش رسم شده است و ۱۰۰۰ ثانیه‌ی اول در نظر گرفته نشده است.

دیده می‌شود که هرچه دبی گاز افزایش پیدا کرده، دمای دودکش نیز افزایش یافته است که این افزایش دما تقریباً به صورت خطی است و دیگر اینکه، همان‌طور که در نمودار دمای آب توضیح داده شد، با افزایش دبی گاز، مدت زمان افزایش دما کاهش پیدا کرده است.

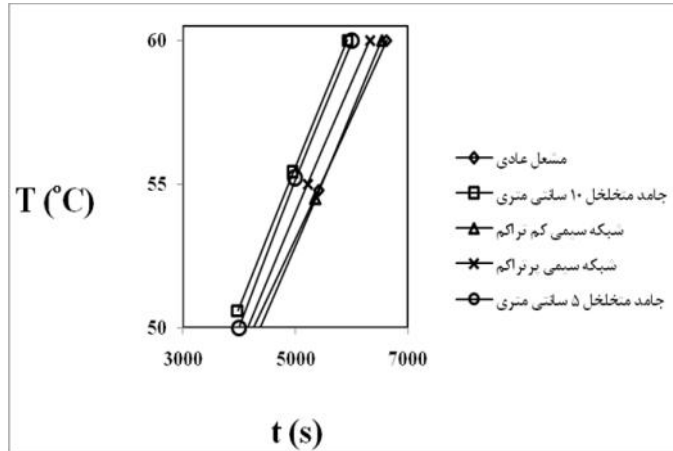


شکل(۶): نمودار دمای دودکش برای مشعل معمولی در دبی‌های متفاوت

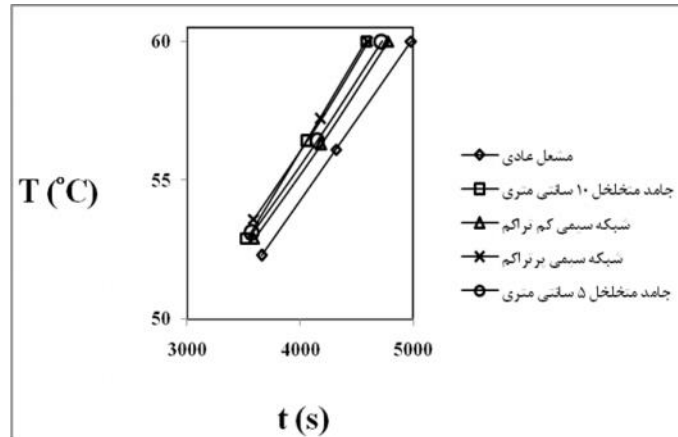
برای مقایسه‌ی مدت زمان گرم شدن آب توسط مشعل‌های متفاوت نمودارهای جداگانه‌ای در دبی‌های ثابت ارائه می‌شوند. شکل‌های (۷) تا (۱۰)، مقایسه‌ای بین مدت زمان گرم شدن آب را برای ۵ نوع مشعل در دبی‌های مختلف و در شرایط یکسان نشان می‌دهند. با توجه به اهمیت زمان نهایی، در این نمودارها، کل بازه‌ی دمایی در نظر گرفته نشده و فقط دمای نهایی آب مد نظر قرار گرفته است.



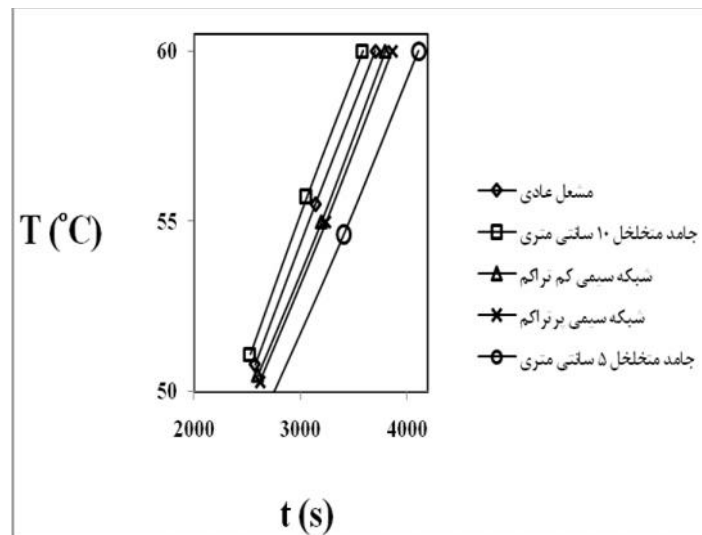
شکل(۷): نمودار دمای آب برحسب زمان در دبی ثابت ۳۰۰ لیتر بر ساعت برای مشعل‌های متفاوت



شکل(۸): نمودار دمای آب برحسب زمان در دبی ثابت ۴۵۰ لیتر بر ساعت برای مشعل‌های متفاوت



شکل(۹): نمودار دمای آب برحسب زمان در دبی ثابت ۶۰۰ لیتر بر ساعت برای مشعل‌های متفاوت



شکل(۱۰): نمودار دمای آب برحسب زمان در دبی ثابت ۷۵۰ لیتر بر ساعت برای مشعل‌های متفاوت

با دقت در نمودارها، دیده می‌شود که با گذر زمان، دمای آب افزایش یافته و این افزایش دما در همه‌ی حالت‌ها، تقریباً روندی خطی دارد.

با توجه به شکل (۷)، در دبی ۳۰۰ لیتر بر ساعت، مشعل با شبکه‌ی سیمی کم تراکم، بیش‌ترین زمان را برای افزایش دما نیاز داشته است و این مورد در دبی ۴۵۰ لیتر بر ساعت نیز به چشم می‌خورد. این در حالی است که با توجه به شکل (۹) در دبی ۶۰۰ لیتر بر ساعت مشعل عادی بیش‌ترین زمان را برای افزایش دما نیاز داشته است. در نهایت در دبی ۷۵۰ لیتر بر ساعت، مشعل با جامد متخلخل ۵ سانتی‌متری، ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است. این در حالی است که جامد متخلخل ۵ سانتی‌متری در دبی‌های دیگر عملکرد نسبتاً خوبی داشته است. عملکرد ضعیف این جامد در دبی ۷۵۰ لیتر بر ساعت، به دلیل نبود هوای لازم برای احتراق کامل و با کیفیت می‌باشد. زیرا بر طبق توضیحات قبل، این جامد بسیار متراکم است و وقتی دبی به مقدار زیادی افزایش می‌یابد، هوای لازم برای احتراق کامل فراهم نیست.

حال با توجه به نمودارها، مقایسه‌ای بین مشعل‌ها انجام می‌گیرد و مشخص می‌شود که کدام مشعل، عمل افزایش دما را در مدت زمان کمتری انجام داده است.

همان‌طور که در تمامی نمودارها دیده می‌شود، در تمامی دبی‌ها با استفاده از جامد فلزی متخلخل ۱۰ سانتی‌متری، مدت زمان کمتری برای رساندن آب ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به آب ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد صرف شده است. این امر نشان می‌دهد که با استفاده از این جسم متخلخل (جامد متخلخل ۱۰ سانتی‌متری) بازدهی از تمام موارد دیگر بیشتر می‌شود و به عبارت دیگر، در میان مشعل‌ها، این مشعل بهینه است.

لازم به توضیح است که افزایش بازدهی با استفاده از جسم متخلخل ۳ دلیل عمده می‌تواند داشته باشد، یکی اثر تابش جسم متخلخل و انتقال حرارتی که از طریق تابش از این جسم متخلخل به دیواره‌ی مخزن آبگرمکن و در نتیجه به آب داخل مخزن صورت می‌گیرد. عامل دوم اثر کاهش هوای اضافی در اثر استفاده از این جسم متخلخل است. زیرا همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد با قرار دادن این جسم متخلخل (جامد متخلخل فلزی) در دهانه‌ی ورودی دودکش آبگرمکن در نزدیکی مشعل، میزان هوای مکش شده از طریق دودکش کاهش پیدا می‌کند. عامل سومی که باعث افزایش راندمان می‌شود انتقال حرارتی است که از طریق هدایت، از جسم متخلخل گداخته شده به دیواره‌ی مخزن و در نهایت به آب داخل مخزن صورت می‌گیرد.

برای محاسبه‌ی راندمان حرارتی مشعل‌ها، انرژی مورد نیاز آب برای گرمایش و انرژی آزاد شده از سوخت را محاسبه کرده و در نهایت با تقسیم کردن این دو مقدار بر هم، راندمان حرارتی مشعل به دست می‌آید.

انرژی مورد نیاز حجم مشخصی از آب برای افزایش دمای معین، با استفاده از فرمول (۱) محاسبه می‌گردد:

$$Q = mc\Delta\theta \quad (1)$$

در رابطه‌ی (۱)، m جرم آب، c گرمای ویژه‌ی متوسط آب و $\Delta\theta$ میزان افزایش دمای آب می‌باشد.

در این تحقیق، حجم آب برای تمامی تست‌ها برابر با ۱۵۵ لیتر بوده و اختلاف دما نیز برای همه‌ی آن‌ها برابر با ۳۰ درجه می‌باشد. مقدار ظرفیت گرمایی ویژه‌ی متوسط آب نیز برابر با ۴/۱۸۴ کیلوژول بر کیلوگرم درجه‌ی کلونین می‌باشد. پس به این گونه انرژی مورد نیاز آب برای گرمایش، با جاگذاری مقادیر داده شده، به راحتی قابل محاسبه است. پس از جاگذاری مقادیر، انرژی مورد نیاز آب برای گرمایش برابر با ۱۹۴۵۵ کیلوژول به دست می‌آید. واضح است که این مقدار برای تمامی آزمایش‌ها یکسان است، چرا که جرم آب و میزان افزایش دما برای تمامی آن‌ها یکسان است.

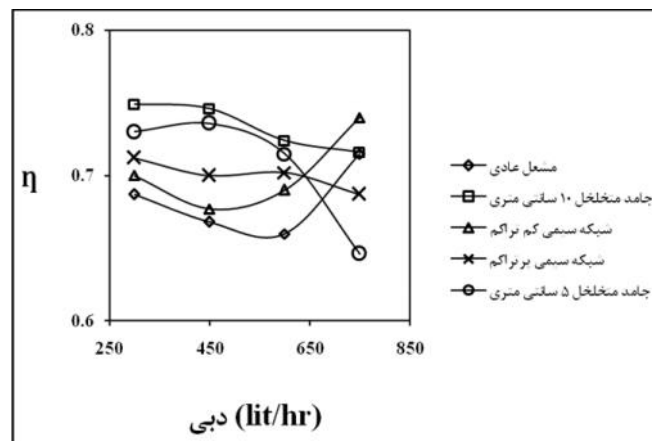
برای محاسبه انرژی آزاد شده از سوخت نیز از رابطه‌ی (۲) استفاده می‌شود:

$$E = c_f t \dot{V} \quad (2)$$

در رابطه‌ی (۲)، c_f ارزش حرارتی خالص سوخت، t مدت زمان لازم برای گرمایش آب و \dot{V} دبی سوخت ورودی می‌باشد. ارزش حرارتی خالص برای گاز طبیعی ۸۴۰۰ کیلوکالری بر متر مکعب است [۱۱]. با تبدیل این مقدار به کیلوژول بر متر مکعب، ارزش حرارتی خالص گاز طبیعی برابر با ۳۵۱۴۵ کیلوژول بر متر مکعب به‌دست می‌آید. t نیز در حین انجام آزمایش توسط رایانه ثبت شده و دبی ورودی سوخت هم مشخص است و در نتیجه انرژی آزاد شده‌ی سوخت در هر آزمایش قابل محاسبه می‌گردد. در نهایت امر، پس از انجام محاسبات، با تقسیم کردن انرژی مورد نیاز برای گرمایش آب بر انرژی آزاد شده توسط سوخت، راندمان حرارتی طبق رابطه‌ی (۳) به‌دست می‌آید.

$$y = \frac{Q}{E} \quad (3)$$

شکل (۱۱) راندمان مشعل‌های مورد آزمایش را در دبی‌های مختلف سوخت نشان می‌دهد.



شکل (۱۱): نمودار راندمان حرارتی برای مشعل‌ها در دبی‌های مختلف

با توجه به شکل (۱۱) مشخص است که در دبی‌های ۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ لیتر بر ساعت، روند منطقی و یکسانی بین راندمان مشعل‌ها برقرار است. در این دبی‌ها، مشعل با جامد متخلخل ۱۰ سانتی‌متری دارای بیش‌ترین راندمان، و مشعل عادی دارای کمترین راندمان است. ولی در دبی ۷۵۰ لیتر بر ساعت، رفتار متفاوتی مشاهده می‌شود. به گونه‌ای که مشعل با شبکه‌ی سیمی کم تراکم، دارای بیش‌ترین راندمان و مشعل با جامد متخلخل ۵ سانتی‌متری دارای کمترین میزان راندمان می‌باشد. این امر به این دلیل است که برای مشعل با جامد متخلخل ۵ سانتی‌متری، در دبی ۷۵۰ لیتر بر ساعت، میزان هوایی که برای احتراق لازم است، فراهم نیست و احتراق به صورت کامل اتفاق نمی‌افتد و انرژی احتراق کاهش می‌یابد. نکته‌ی جالب این است که در این دبی گاز، راندمان مشعل عادی افزایش چشم‌گیری داشته است. به طوری که راندمان مشعل عادی و مشعل با جامد متخلخل ۱۰ سانتی‌متری، تقریباً برابر شده است. بنابراین، با توجه به افزایش راندمان مشعل عادی در این دبی و کاهش راندمان مشعل با جامد متخلخل ۵ سانتی‌متری، این نتیجه‌ی کلی گرفته می‌شود که در این دبی سوخت، بر خلاف دیگر دبی‌ها، تابش، نقش چندانی در افزایش راندمان ندارد و عامل مهم و تعیین کننده در میزان راندمان، هوای اضافی می‌باشد. با دقت در نمودار دیده می‌شود که برای مشعل عادی و مشعل با شبکه‌ی سیمی کم تراکم تا دبی ۶۰۰ لیتر بر ساعت روند کاهشی وجود دارد و پس از

این دبی افزایش راندمان وجود دارد. این در حالی است که رفتار مشعل‌های با جامد متخلخل ۵ و ۱۰ سانتی‌متری، کمی متفاوت است و در دبی ۷۵۰ لیتر بر ساعت، کاهش راندمان دیده می‌شود. دلایل علمی این موارد با توجه به توضیحاتی که در مورد میزان هوای اضافی داده شد، قابل توجیه می‌باشد.

در نهایت از شکل (۱۱) استنباط می‌شود که در حالت کلی، مشعل با جامد متخلخل ۱۰ سانتی‌متری، نسبت به دیگر مشعل‌ها، دارای راندمان بیشتری می‌باشد. البته در دبی ۷۵۰ لیتر بر ساعت، راندمان مشعل با شبکه‌ی سیمی کم تراکم، از راندمان مشعل با جامد متخلخل ۱۰ سانتی‌متری، به میزان کمی، بیشتر است. ولی به غیر از این استثنا، مشعل با جامد متخلخل ۱۰ سانتی‌متری دارای بیش‌ترین راندمان است.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مصرف بالای انرژی در کشور، نیاز شدید به راه‌کارهایی برای کاهش مصرف سوخت، احساس می‌شود. با توجه به اینکه آبگرمکن‌های مخزنی به طور وسیعی در سطح کشور استفاده می‌شوند، بهینه کردن این وسیله‌ی گازسوز، حائز اهمیت است و تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر مصرف سوخت در مقیاس کلان خواهد داشت. در این تحقیق، با استفاده از ۴ نوع جامد فلزی متخلخل، تحلیل‌هایی بر روی راندمان آبگرمکن‌های مخزنی صورت گرفت و نتایج به دست آمده در مقایسه با مشعل عادی آبگرمکن، تحلیل شدند. مشاهده شد که استفاده از جامد فلزی متخلخل باعث افزایش راندمان می‌شود. این افزایش راندمان در مواردی تا حدود ۱۰ درصد می‌رسد. دمای آب داخل مخزن برای تمامی حالات اندازه‌گیری شد و با توجه به نمودارهای به دست آمده و تحلیل آن‌ها، جامد فلزی متخلخل بهینه تعیین شد. در میان انواع جامدهای فلزی، جامد متخلخل به طول ۱۰ سانتی‌متر، به عنوان جامد متخلخل بهینه انتخاب شد. در تحلیل نتایج آزمایش مشخص شد که در بیشتر موارد، مشعل عادی و مشعل با شبکه‌ی سیمی کم تراکم رفتاری نزدیک به هم داشتند. این مشابهت در رفتار، در مواردی برای مشعل با جامد فلزی متخلخل به طول ۱۰ سانتی‌متر و مشعل با شبکه‌ی سیمی پرتراکم نیز دیده می‌شد. راندمان حرارتی آبگرمکن در تمامی حالات، محاسبه شد و با راندمان آبگرمکن در حالت عادی مقایسه شد و این نتایج در نمودارهای ترکیبی طبقه‌بندی شدند. در دبی‌های ۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ لیتر بر ساعت، مشعل با جامد فلزی ۱۰ سانتی‌متری دارای بیش‌ترین راندمان، و مشعل عادی دارای کمترین راندمان شد. ولی در دبی ۷۵۰ لیتر بر ساعت، رفتار متفاوتی مشاهده شد. به گونه‌ای که مشعل با شبکه‌ی سیمی کم تراکم، دارای بیش‌ترین راندمان و مشعل با جامد فلزی متخلخل ۵ سانتی‌متری دارای کمترین میزان راندمان بود.

مراجع

- 1- Michael, D.R. and Weinberg, F.J. "Converter Efficiency in Burner Systems Producing Large Excess Enthalpies". Combust. Sci. and Tech., Vol.12, p.p. 153-157,1984.
- 2- Warren, X.Y. "Numerical Study of Combustion and Pollutions Formation in inert Non homogenous Porous Media", Combust. Sci. and Tech., Vol.130, p.p. 335-364,1985.
- 3- Paul, P.H. "Premixed Combustion on Ceramic Foam Burners" Combustion and Flame, Vol. 119, p.p. 133-143,1996.
- 4- Rungsimuntchart, N.,and Jugjai, S. "High Efficiency Heat-Recirculating Domestic Gas Burners", Experimental Thermal and fluid Science, p.p. 581-592,2002.
- 5- Ganjalikhan Nassab, S.A. "Transient Characteristics of an Energy Recovery System Using a Porous Medium", Eng., J. Power and Energy, Vol. 216, pp. 387-394,2002
- 6- Delalic, N., Mulahasanovic, Dz., Ganic E.N. "Porous Media Compact Heat Exchanger Unit- Experiment and Analysis", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 28, p.p.185-192,2004.
- 7- Jahanshahi, A.H "Thermal behavior of a new type of multi-layered porous air heater", IJE Transactions A: Basics, Vol. 19, No. 1, 2006, 87-94.
- ۸- ابراهیمی، رضا. "طراحی، مدل‌سازی و ساخت یک نمونه مشعل محیط متخلخل". پروژه شرکت ملی گاز. واحد پژوهشی:



پنجمین کنفرانس سوخت و احتراق ایران

تهران - دانشگاه علم و صنعت ایران - بهمن ماه ۱۳۹۲



- ۹- اشرفی، رضا. "تحلیل مبدل حرارتی بر پایه مشعل متخلخل و کاربرد آن در هیتر ایستگاه‌های تقلیل فشار". پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، ۱۳۸۸.
- ۱۰- هاشمی، سید عبدالمهدی، عطوف، حسین، شاهرودیان، حسین. "طراحی و ساخت مبدل حرارتی بر مبنای مشعل متخلخل". طرح علمی پژوهشی، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، ۱۳۹۱.
- ۱۱- نیکفر، مجید، " شبیه سازی عددی و مطالعه احتراق پیش آمیخته در مشعل ترکیبی متخلخل- شعله آزاد "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، ۱۳۹۰.