



تحلیل ترموگنومیک استفاده از بویلرهای چگالشی در مدارس استان لرستان

سیدعلی اشرفی زاده*^۱، اسد دریگوند^۲، فرزانه جافری^۳

چکیده

پکیج‌های چگالشی از جدیدترین دستاوردهای دنیای مدرن برای تامین نیازهای گرمایشی ساختمان‌های بزرگ و برج‌ها می‌باشد که در سال‌های اخیر، به‌کارگیری آنها در کشورهای اروپایی توسعه‌ی چشمگیری یافته است و در حال حاضر سیستم رایج برای تامین نیازهای گرمایشی ساختمانهای مراکز آموزشی، موتورخانه‌های سنتی مرکزی می‌باشد. تحقیق حال حاضر کارایی و راندمان پکیج‌های چگالشی (condensing) در مدارس استان لرستان را مورد بررسی قرار می‌دهد. با توجه به اینکه حدود ۶۰۰ مدرسه‌ی ۱ تا ۲۴ کلاس در سطح استان لرستان وجود دارد و همچنین به لحاظ آب و هوایی سال آموزشی در این استان نیاز چندانی به سیستم‌های سرمایشی نداشته و فقط موضوع تامین گرمایش مطرح می‌باشد، استفاده از پکیج‌های چگالشی با راندمان ۹۶ تا ۱۰۰ درصدی در مقایسه با پکیج‌های سیستم مرکزی و سنتی با راندمان ۷۵ تا حداکثر ۹۰ درصدی، اهمیت صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف سوخت و جلوگیری از افت فشار در سرمای دی و بهمن که زمان اوج مصرف در استان و کشور است را نشان داده و به لحاظ بودجه‌ی اندک مراکز آموزشی، اهمیت اقتصادی خود را بسیار نمایان می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بویلر چگالشی، بهینه‌سازی، ائتلاف انرژی، نوسازی مدارس، بازگشت هزینه.

۱- استادیار دانشگاه آزاد دزفول.

۲- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد دزفول.

۳- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد دزفول.

* نویسنده‌ی مسئول مقاله: ashrafi@iaud.ac.ir

۱- مقدمه

با رشد و توسعه صنایع وابسته به گاز طبیعی و نیاز روز افزون جامعه به این کالای استراتژیک و اهمیت استفاده از سوخت با آلاینده کمی و همچنین رو به پایان بودن سوخت های فسیلی، بحث صرفه جویی و استفاده بهینه و کاربردی از این انرژی با ارزش دغدغه کارشناسان و صاحب نظران حوزه انرژی می باشد که این منبع انرژی عمدتاً یا در صنعت مصرف شده (کلان) و یا به صورت منبع گرمایشی در منازل مسکونی و ادارات (خرد) مورد استفاده قرار دارد. یکی از مهمترین وسایل گاز سوز تولید گرما در بخش مدارس پکیج های گرمایشی است که مقدار قابل توجهی انرژی از طریق گاز های خروجی از دودکش آنها وارد محیط شده و تلف میشوند. برای جلوگیری از اتلافات در این بخش از سال ۱۹۷۰ میلادی ساخت بویلر های چگالشی آغاز گردید (۵-۴). در پکیج های غیر چگالشی حدود بیست درصد انرژی بصورت گرمای نهان تبخیر آب در محصولات احتراق موجود است (۶). در این مطالعه بحث استفاده بهینه از این انرژی را در مقیاس و چهارچوب مدارس و فضاهای آموزشی که میتواند الگوی مناسبی برای منازل مسکونی نیز باشد مورد بررسی قرار داده ایم. هم کنون حدود ۶۰۰ مدرسه آموزشی در سطح استان لرستان مورد استفاده قرار دارد که بیش از ۸۵ درصد این مدارس به خط تغذیه منبع انرژی گاز طبیعی متصل بوده (۷) که در بحث تامین انرژی گرمایشی تنها سوخت موجود و در دسترس میباشد. استان لرستان در فصول پاییز و زمستان افت دمای بالای را تجربه میکند که این شرایط آب و هوایی خود باعث استفاد بیشینه از گاز شده و افت فشار گاز را موجب میشود لذا این منبع انرژی همیشه به صورت نرمال و کارا به سیستم های تولید گرمایش در کلیه نقاط و بصورت یکسان رسانده نمیشود. در این شرایط سیستم های با استانداردهای بالا و با صرفه اقتصادی مورد توجه قرار می گیرند. با وجود محدودیت های همیشگی اعتبارات مالی مراکز آموزشی و مدارس، مصرف غیر استاندارد و استفاده از سیستمهای با اتلاف انرژی بالا و راندمان پایین باعث افزایش هزینه سوخت در مدارس شده و موجب دغدغه خاطر مدیران مدارس و آموزش و پرورش می شود. این در حالی است که عمدتاً این سیستم

های گرمایشی هوای مطبوع و یکنواختی را در فضاهای آموزشی ایجاد نمی کنند. در مقابل وضعیت ناهنجار موجود، پکیج های چگالشی که در حال حاضر مدرن ترین سیستم های گرمایشی به لحاظ اتلاف انرژی حداقل و ثبات و پایداری و یکنواختی در تولید گرمای لازم به کمک کنترل کننده های که این سیستم لحاظ شده، بهترین گزینه برای جایگزینی سیستم های سنتی و حل این مشکلات بوده و در مقابل راندمان حداکثری ۸۵ درصدی سیستم های سنتی دیگ چدنی و پکیج غیر چگالشی، با راندمانی با حداقل ۹۶ و حداکثر ۱۰۶ درصدی پاسخی برای دغدغه های موجود هم از هدر رفتن و افت فشار گاز از جانب اداره گاز و استفاده مطبوع توسط دانش آموزان و همچنین هزینه پایین برای مدیران مدرسه و آموزش و پرورش می باشد.

۲- مبانی نظری

۲-۱- چگالش

در شرایطی که دمای بخار آب کمتر از دمای نقطه شبنم بخار آب موجود در محیط باشد چگالش صورت می گیرد ولی اگر بخواهیم این شرایط را به صورت خود خواسته ایجاد کنیم باید بخار آب را در گذر از یک فضای سرد و ایجاد انتقال حرارت چگاش کنیم و به صورت مایع برگردانیم.

۲-۲- دیگ چگالشی چگونه کار می کند؟

در یک دیگ معمولی، با احتراق سوخت گاز های داغ تولید میشود که با گذشتن از مبدل حرارتی بیشتر این انرژی به آب منتقل شده که باعث بالا رفتن دمای آب می شود. بخار آب یکی از گاز های داغ تولید شده در فرایند احتراق است که نتیجه ترکیب هیدروژن با اکسیژن می باشد. در دیگ های چگالشی (کندانسینگ)، حرارتی که توسط خروج گازهای داغ تلف می شود، جذب شده و بخار آب موجود با از دست دادن گرمای نهان تبخیر به آب مایع (یا به اصطلاح به کندانس) تبدیل می شود و این گرمای نهان نیز به آب داده می شود که این عمل اضافی می تواند بازدهی را تا ۱۰-۱۲٪ بالا ببرد. البته بازدهی فرایند های کندانس متفاوت است و بستگی

۲-۳- راندمان

مقدار کل گرمای ایجادشده توسط پکیج متناسب با مقدار گاز سوخته شده می باشد.

(کار داده شده به دستگاه/کار انجام داده شده توسط دستگاه) = راندمان
 قدرت اسمی(مقدار کل انرژی گاز سوخته شده توسط دستگاه)/قدرت خروجی(حرارت انتقال داده شده به آب) = راندمان

در پکیجهای سنتی درجه حرارت دود بالای 100°C می باشد و آب موجود در دود به حالت بخار بوده و لذا ارزش حرارتی گاز پایین می باشد(۷).

به عنوان مثال در یک پکیج سنتی با سوخت گاز طبیعی و قدرت خروجی ۲۳/۸ k/w یا ۲۰۴۶۸ cal/hr با مصرف گاز ۲/۷ m3/h

قدرت اسمی حرارت = ارزش حرارتی گاز * مصرف گاز

$$۲/۷ \times ۸۱۲۵ = ۲۱۹۳۷/۵ \text{ kcal/hr}$$

$$\eta = E_{out}/E_{in}$$

$$\eta = ۲۰۴۶۸ \div ۲۱۹۳۷/۵ = ۹۳/۳$$

برای نشان دادن تفاوت بین راندمان پکیج های چگالشی و سنتی از محصولات حاصل از احتراق با ارزش حرارتی پایین استفاده می کنیم. همچنین برای یک پکیج چگالشی با قدرت خروجی k/w ۲۱/۸۵۶ و مصرف گاز به مقدار ۲/۵۴ m3/h

$$\text{پایین} = ۲.54 \text{ m}^3/\text{h} \times 8125 \text{ kcal/m}^3 = 20619 \text{ kcal/h}$$

گاز * گاز ورودی = قدرت اسمی

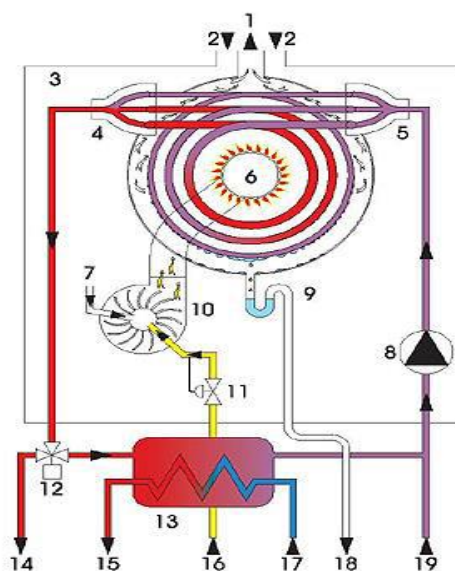
قدرت اسمی/قدرت خروجی = راندمان

$$100 = 106\% \times 20.619 \text{ kcal/h} / (21.856 \text{ kcal/h}) = \eta$$

همانطور که مشاهده می شود میزان اختلاف بازده برای یک بویلر چگالشی قابل ملاحظه است.

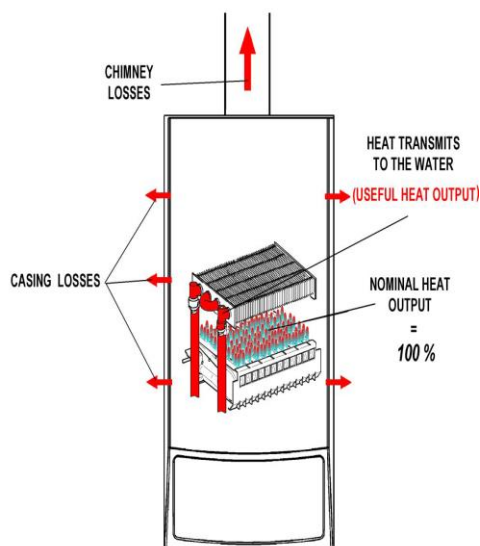
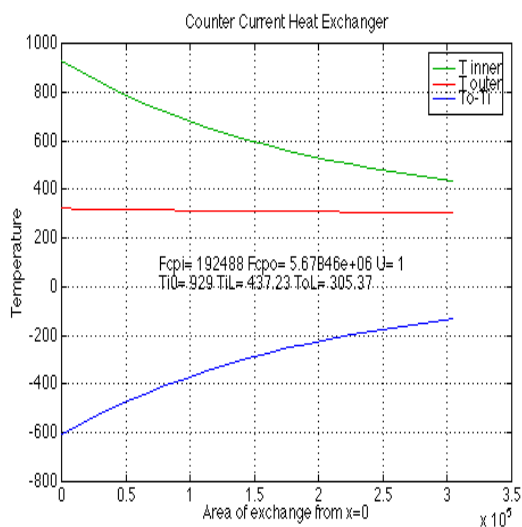
شکل ۲ بخشهای مختلف خروج حرارت را در یک پکیج چگالشی نشان می دهد.

به دمای آب برگشتی به دیگ دارد اما در شرایط برابر همیشه بازدهی دیگ های چگالشی اگر بیشتر از دیگ های غیر چگالشی نباشد دست کم با آنها برابر است. کندانس تولید شده کمی اسیدی است بنابراین انتخاب مواد برای قسمت های که در معرض خوردگی هستند باید مناسب باشد. در دماهای بالا معمولاً از آلیاژ های آلومینیوم و استیل ضد زنگ استفاده می شود و فولاد و مس خراب میشوند (۸) ، در قسمت هایی با دمای پایین تر از پلاستیک هایی همچون پلی پروپیل استفاده می شود که باعث تاثیر در قیمت نهایی می شوند. کندانسه تولید شده در مبدل چگالش گر باید به فاضلاب تخلیه شود. در حالت کلی برای نصب، این بخش تنها تفاوتی است که بین دیگ های چگالشی و غیرچگالشی وجود دارد. برای اینکه تولید دیگ های چگالشی اقتصادی و قابل مدیریت در نصب باشند، مبدل های داخلی در کوچک ترین سایز های فنی ممکن ساخته می شوند. این امر باعث تولید مبدل هایی با مقاومت بالا در طرف محفظه احتراق شده و از فن برای به حرکت در آوردن محصولات احتراق در مجراهای باریک استفاده می شود که استفاده از فن بخاطر خارج کردن گازهای خروجی الزامی می باشد چون گاز ها معمولاً تا دماهای زیر ۱۰۰ درجه سانتی گراد خنک می شوند و دیگر نیروی شناوری را برای خروج طبیعی از دودکش ندارند(۶).



شکل ۱. شماتیک یک پکیج چگالشی

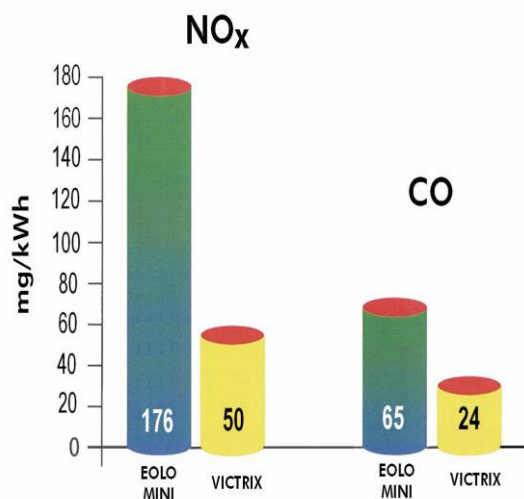
محصولات حاصل از احتراق به میزان مطلوبی کاهش یافته و به دنبال آن افزایش بازده را خواهیم داشت.



شکل ۲. شماتیک اتلافات و بازدهی پکیج چگالشی

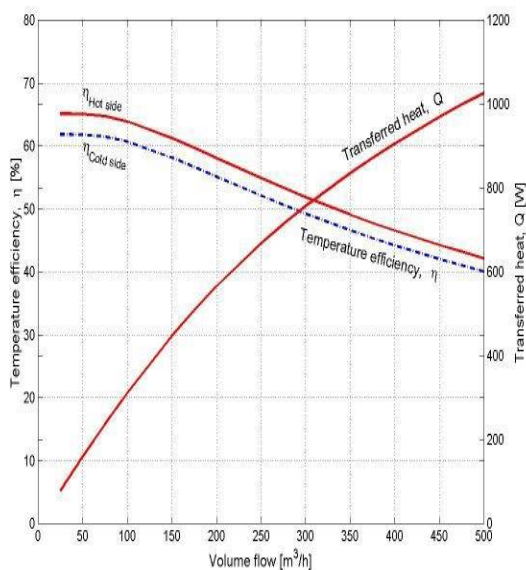
نمودار ۲. اثر تغییرات سطح مبدل روی اختلاف دمای ایجا شده در سیال ورودی و خروجی

میزان آلاینده های خروجی از سیستمهای گرمایشی امری غیر قابل اغماض و بسیار حائز اهمیت میباشد. نمودار ۳ مقایسه دو سیستم سنتی و پکیج های چگالشی را نشان می دهد (۳). بر اساس این نمودار میزان آلاینده های NO_x و CO خروجی از پکیج های چگالشی نسبت به پکیج های سنتی به مقدار قابل توجهی کمتر می باشند.



نمودار ۳. مقایسه ایجاد آلایندهی

نمودار ۱ میزان تغییرات راندمان پکیج چگالشی را بر اساس تغییرات دبی سیال ورودی نشان می دهد (۱). بر اساس این نمودار با افزایش حجم سیال ورودی به پکیج، راندمان سیستم در مقایسه با گرمای گرفته شده کاهش می یابد. بنابر این برای تعیین بازدهی مناسب باید میزان دبی سیال ورودی به سیستم کنترل شود.



نمودار ۱. تغییرات راندمان بر اساس تغییرات دبی ورودی

نمودار ۲ اثر تغییرات سطح مبدل روی اختلاف دمای ایجا شده در سیال ورودی و خروجی را نشان میدهد (۲). مطابق این نمودار با افزایش سطح مبدل حرارتی بکار رفته در یک پکیج چگالشی، میزان تبادل حرارت بین سیال سرد و گرم افزایش می یابد. لذا دمای

جدول ۴: فرمول محاسبه گاز بهای مصرفی

تعرفه گاز طبیعی در سال ۱۳۹۳

نوع مصرف	گازها در ۷ ماهه گرم سال به ازاء هر متر مکعب (ریال)	گازها در ۵ ماهه سرد سال به ازاء هر متر مکعب (ریال)
صنعتی		
پتروشیمی	۳۶۵۰	۳۶۵۰
فولاد	۱۳۳۰	۱۳۳۰
کشاورزی و دامپروری	۱۱۵۰	۶۹۰
سایر صنایع	۱۰۰۰	۱۰۰۰
عمومی		
تجاری عادی	۱۳۰۰	۱۳۰۰
تجاری عمومی (دولتی)	۲۶۰۰	۱۳۰۰
ناتولایی و گرمابه	۹۱۰	۹۱۰
سایر		
آموزشی	۸۰۵	۸۰۵
ورزشی	۸۰۵	۸۰۵
مذهبی	۸۰۵	۸۰۵
خبریه	۸۰۵	۸۰۵

علاوه بر نرخ های فوق بر اساس بند (ج) تبصره ۲ ماده واحده قانون بودجه سال ۱۳۹۳ مبلغ ۱۲۰ ریال به ازای هر متر مکعب گاز طبیعی دریافت می شود.

مجموع هزینه صرفه جویی انرژی را که در نتیجه استفاده از سیستم گرمایش پکیج چگالشی حاصل می شود توسط رابطه زیر بیان می کنیم.

$$C_f = E_W C_E PWF$$

(C_E) هزینه گاز مصرفی، (E_W) مجموع اتلاف انرژی برای یک سیستم گرم کننده و (PWF) ضریبی است که اثر افزایش میزان قیمت انرژی را در طول مدتی مشخص در نظر می گیرد. با توجه به نرخ افزایش قیمت گاز مقدار (PWF) توسط رابطه زیر محاسبه می گردد.

(۸)

$$PWE = \frac{1}{IR} \left[1 - \frac{1}{(1 + IR)^N} \right]$$

که (IR) درصد افزایش قیمت سالانه گاز می باشد.

از تفاضل میزان صرفه جویی در مصرف گاز به وسیله سیستم پکیج چگالشی و ما به التفاوت قیمت سیستم های چگالشی با سیستم های سنتی می توان میزان صرفه جویی در هزینه کلی پرداخت قبوض گاز در مدت زمان ۴ سال عمر مفید از سیستم پکیج چگالشی به دست آورد.

۳- مزایای تکنولوژی کاندنسینگ (چگالشی)

از جمله مزایایی که برای پکیج های چگالشی نامبرد می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مصرف انرژی مینیمم و در نتیجه بیشترین بازده ممکن (۱)
- قابلیت مدولاسیون و گرمایش مناطق حرارتی مختلف
- کاهش آلودگی محیط زیست بعلا کاهش گازهای حاصل از فرایند احتراق

۳-۱- توجیح ترمو اکونومیکی

از تاریخ ۱۳۸۹/۰۹/۲۸ در راستای هدفمند شدن یارانه ها تعرفه های گاز در هر استان و شهر متناسب با آب و هوای آن مکان محاسبه می گردد. در این راه استان های کشور به ۵ اقلیم آب و هوایی تقسیم بندی شده است که شهر خرم آباد در اقلیم ۳ قرار دارد. مصرف میانگین گاز طبیعی در یک مدرسه ۳ کلاسه در هر ماه ۴۶۰ متر مکعب می باشد. بهای گاز مصرفی در سال ۱۳۹۳ مطابق جدول شماره ۴ محاسبه می شود. با توجه به قیمت گاز معادل ۹۳۵ ریال و مصرف میانگین ۴۶۰ متر مکعب در هر ماه هزینه کل معادل $430100 = 460 \times 935$ ریال برای پکیج های سنتی خواهیم داشت. حال اگر از سیستم های چگالشی استفاده کنیم و اختلاف راندمان ۱۱ درصدی را در مقدار فوق لحاظ کنیم صرفه جویی در حدود ۵۱ متر مکعب و مبلغی معادل $47685 = 51 \times 935$ ریال در فصل خواهیم داشت که می توان معادل ۱۴۳۰۵۵ هزار ریال در یک فصل صرف جویی مالی نمود و با توجه به اختلاف قیمت ۳۰۰ هزار تومانی سیستم سنتی و چگالشی مورد استفاده در مدارس ۳ کلاسه علاوه بر مزیت های صرفه جویی در مصرف گاز که خدمتی ملی و انتقال سرمایه به آیندگان است در راستای جلوگیری از ورود گازهای آلاینده به محیط زیست که اقدامی بارز جبهانی و بشری است و نیز کیفیت گرمایشی در ایجاد هوای مطبوع که موضوع اصلی می باشد، در طول حدود چهار سال اختلاف هزینه پرداختی از محل صرفه جویی بازگردانده میشود.



۴. نتیجه گیری

در مطالعه ترمو اکونومیک انجام شده پیرامون استفاده از بویلر های چگالشی در مدارس استان لرستان باتوجه به اختلاف قیمت 300 هزار تومانی سیستم سنتی و چگالشی در مدارس ۳ کلاسه، علاوه بر مزیت صرفه جویی در مصرف گاز که خدمتی ملی و انتقال سرمایه به آیندگان است، در ایجاد هوای مطبوع و همچنین در راستای جلوگیری از ورود گازهای آلاینده به محیط زیست که اقدامی بارزش جهانی وبشری است بسیار مفید واقع شده است. نتایج حاکی از آن است که بر اساس بازدهی بالای این سیستم در طول حدود چهار سال اختلاف هزینه پرداختی از محل صرفه جویی بازگردانده میشود.

۵. منابع

- ۱- واحد نظارت و طراحی تاسیسات مکانیکی نوسازی مدارس استان لرستان
- ۲- واحد شناسنامه نوسازی مدارس استان لرستان
- ۳- ww. Minagar. Ir شرکت طراحی و ساخت میناگر ایران
- 4- Field AA. Reclaiming latent heat in flue gases. Heating, Piping Air Condition 1974;46(11):85-7.
- 5- Shook JR. Recover heat from flue gas. Chem Eng Progr 1991;87(6):49-54.
- 6- Sonntag, Borgnakke, V. Wylen. Fundamentals of Thermodynamics, 5th Edition.
- 7- McNair HP, Shiret AR. Factors that influence the annual efficiency of domestic wet central heating systems. Gas Eng Mgmt 1985;25(3):90-3
- 8-<http://www.wolf-heiztechnik.ir/>