بررسی روش‌های پیش‌گرمایش هوا و آب و افزایش بازده هیتر ایستگاه تقلیل فشار گاز

ابراهیم افشاری[۱]، علی ابراهیم‌پور[۲]، تقی علیان[۳]، داوود طاووسی[٤]، امیر پاشایی[٥]

۱ دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان e.afshari@eng.ui.ac.ir

۲ کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، شرکت گاز استان اصفهان، اصفهان

۳ کارشناس ارشد مهندسی عمران، شرکت گاز استان اصفهان، اصفهان

٤ کارشناس ارشد مهندسی مواد، شرکت گاز استان اصفهان، اصفهان

٥ کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، شرکت گاز استان اصفهان، اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۰

چکیده

ایران با داشتن ۱۵/۵ درصد از ذخایر گازی جهان، بعد از روسیه با ۲۶/۳ درصد، در رتبهٔ دوم جهان از نظر ذخایر گازی قرار دارد و می‌توان گفت دومین صادرکنندهٔ گاز است. مصرف گاز در داخل کشور نیز زیاد بوده نرخ متوسط مصرف سالانه آن در ۱۵ سال گذشته حدود ۱۲ درصد بوده است. با توجه به شرایط اقلیمی کشور، گاز مسیری طولانی را طی می‌کند تا آمادهٔ مصرف شود و با توجه به دبی بالای آن، افزایش بازده در هر مرحله می‌تواند صرفه‌جویی زیادی را درپی داشته باشد. در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز، کاهش فشار سبب کاهش دما می‌شود که این امر جداشدن هیدرات‌های سنگین‌تر و حتی یخزدگی در لوله‌ها را درپی دارد. به‌منظور جلوگیری از این پدیده، قبل از رگلاتور هیتر قرار داده می‌شود که عموماً بازده این هیتر به‌علت تلفات حرارت بالای دودکش، پایین است. در این مقاله، ضمن معرفی انواع هیترهای ایستگاه تقلیل فشار به بررسی روش‌های متنوع افزایش بازده هیترها پرداخته و این روش‌ها مقایسه می‌شود. نتایج حاصل نشان می‌دهد که استفاده از ریکوپراتور باعث می‌شود در ایستگاه تقلیل فشاری مانند ایستگاه هسا در اصفهان، دمای هوا ۶۰ درجه پیش‌گرم شده و این افزایش دما سبب صرفه‌جویی مصرف سوخت در حدود ۱۰ درصد می‌شود.

واژگان کلیدی: گاز طبیعی، هیتر، ایستگاه تقلیل فشار، تلفات حرارتی، ریکوپراتور

۱. مقدمه

برخلاف سیستم‌های مورد استفاده قبل از قرن بیستم، که توزیع گاز با فشار کم صورت می‌گرفت، از ابتدای قرن ۲۰ میلادی به‌دلیل مسافت طولانی بین مرکز تولید گاز طبیعی و مصرف‌کننده‌گان آن، خطوط اصلی گاز عهده‌دار انتقال گاز می‌باشند. فشار گاز داخل این خطوط بالاست و امروزه در طراحی خطوط جدید این فشار به ۱۴۰۰ پوند بر اینچ مربع می‌رسد. این خطوط با فشار بالا نمی‌توانند گاز را در شهرها و صنایع توزیع کنند و باید بعد از گرفتن انشعاب از این خطوط،

ایستگاه تقلیل فشار گاز برون شهر[1] در مبادی شهرها یا صنایع ساخته شود که در آن فشار گاز کم و به شهرها و صنایع فرستاده شود. این ایستگاه‌ها در بیرون از شهرها قرار دارند و فشار گاز را از ۱۰۰۰ پوند بر اینچ مربع در خطوط اصلی به ۲۵۰ پوند بر اینچ مربع در خروجی ایستگاه کاهش می‌دهند. یک ایستگاه تقلیل فشار بسته به نوع تقلیل (فشار ورودی به خروجی) و ظرفیت آن دارای جزئیات فیزیکی و هندسی مخصوص در اجزای خود است؛ اما در عین حال و در شکل کلی، تمامی این مدل ایستگاه‌ها از نظر شکل ظاهری و نوع اجزاء یکسان هستند. اجزای اصلی این ایستگاه‌ها شامل سیستم فیلتراسیون، رگلاتور (جهت شکستن فشار)، شیر اطمینان قطع‌کننده، کنتورهای توربینی، سیستم بودارکننده‌ها و گرمکن می‌باشد. شکل ۱ یک ایستگاه تقلیل فشار گاز برون شهری را نمایش می‌دهد [۱]. ظرفیت ایستگاه تقلیل فشار گاز به جمعیت شهر وابسته است و تا ۱۰۰۰۰۰۰ متر مکعب بر ساعت نیز می‌رسد. این ایستگاه‌ها بخش مهمی از سیستم گازرسانی به شهر را تشکیل می‌دهند و بررسی آنها جهت ساخت تجهیزات جدید، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلایندگی و جز این‌ها بسیار مهم و حائز اهمیت است.

شکل ۱. ایستگاه تقلیل فشار گاز برون‌شهری [۱]

در صنایع نفت و گاز، پارامتر فشار عاملی مهم و عملیاتی به‌شمار می‌رود و تغییر آن اجتناب‌ناپذیر است. کاهش فشار در ایستگاه تقلیل فشار با تغییر دیگر خواص گاز همراه است و ممکن است سبب بروز مشکلات فرایندی (برای مثال تشکیل هیدرات‌ها) شود. مناسب‌ترین روش برای بررسی تغییر خواص گاز بررسی تغییرات دمای آن است. این نکته قابل توجه است که فرایند کاهش فشار، بسیار سریع اتفاق می‌افتد و گاز فرصت نمی‌کند با محیط اطراف تبادل گرمایی داشته باشد؛ بنابراین می‌توان آن را آدیاباتیک در نظر گرفت.

مطالعات نشان می‌دهد در محدودهٔ کاری ایستگاه تقلیل فشار گاز، ضریب ژول - تامسون مثبت است. این بدان معناست که با کاهش فشار دمای گاز نیز کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش دما و فشار، ضریب ژول تامسون نیز کاهش می‌یابد. به این معنا که در دما و فشارهای بالا، میزان تغییرات دما نسبت به فشار کمتر می‌باشد. در واقع با کاهش فشار گاز طبیعی در ایستگاه تقلیل فشار، دمای آن کاهش می‌یابد که می‌تواند منجر به یخزدگی و تشکیل هیدرات گردد و باعث شود لوله‌ها صدمه ببینند و مسیر گاز مسدود گردد. برای جلوگیری از این مشکلات باید قبل از کاهش فشار گاز، دمای آن را افزایش داد و آن را از طریق گرمکن گرم کرد. در این مقاله به بررسی راه‌کارهای افزایش بازده هیترهای ایستگاه تقلیل فشار پرداخته می‌شود.

۲. گرمکن‌ها

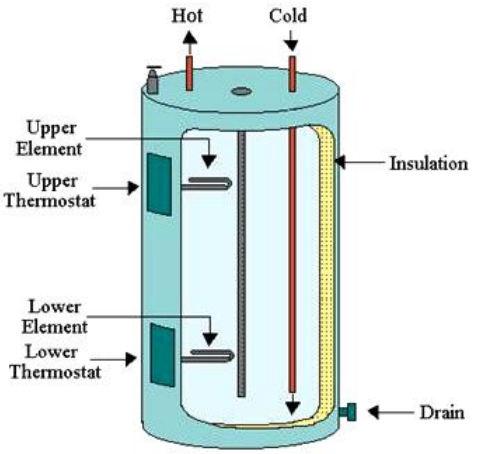
گرمایش گاز می‌تواند با استفاده از انرژی الکتریکی یا از انرژی گرمایی ناشی از احتراق بخشی از گاز طبیعی خط لوله صورت بگیرد [۲]. گرمایش ناشی از احتراق می‌تواند به‌صورت مستقیم از

گازهای احتراقی به گاز پرفشار منتقل شود و یا به‌واسطهٔ سیالی دیگر (مانند آب) منتقل شود. در شکل ۲ یک گرمکن خطی مرسوم گاز با استفاده از گاز طبیعی خط لوله نمایش داده شده است.

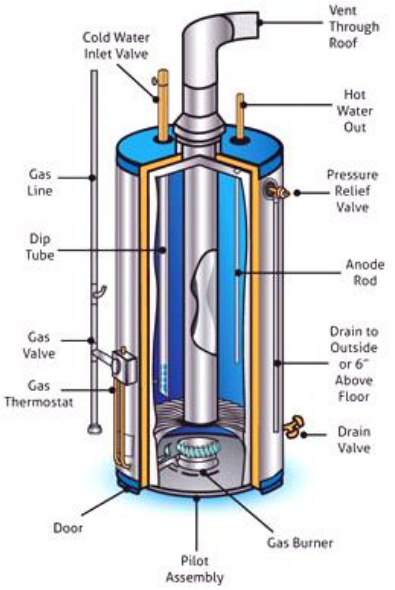
شکل ۲. گرمکن ایستگاه تقلیل فشار؛ ایستگاه هسا اصفهان

گرمکن‌های ایستگاه گاز انواع متنوعی دارند. مهمترین آنها گرمکن‌های الکتریکی، گرمکن‌های گازی، گرمکن‌های غوطه‌ور در بخار، گرمکن‌های غوطه‌ور در نمک و گرمکن‌های خطی می‌باشند. گرمکن‌های الکتریکی در ایستگاه‌های کوچک و مناطقی که محدودیت مکان و فضا وجود دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۳ نمونه‌ای از یک گرمکن الکتریکی نمایش داده شده است [۳]. در این نوع از گرمکن‌ها، انرژی گرمایی از طریق المان‌های حرارتی که توسط جریان الکتریکی گرم می‌شود تأمین می‌گردد و به گاز منتقل می‌شود. مهمترین مزیت گرمکن‌های الکتریکی این است که نیازمند فضای بسیار کمی در مقایسه با فضای مورد نیاز برای نصب تجهیزات گرمکن‌های خطی و گازی می‌باشد. بر این اساس، گرمکن‌های الکتریکی در تأسیسات پتروشیمی یا ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز کابینتی کاربرد دارند. مصرف انرژی الکتریکی در گرمکن‌های الکتریکی بسیار بالاست و با توجه به قیمت بالای انرژی الکتریکی، این مطلب یکی از اصلی‌ترین معایب این نوع از گرمکن‌ها می‌باشد. گرمکن‌های گازی، گرمکن‌هایی با مکش اجباری هستند که از گازهای حاصل از احتراق به‌عنوان محیط گرماده استفاده می‌کنند. در این نوع از گرمکن‌ها، محیط تولید گرما و محیط گاز پرفشار از هم جدا هستند. گازهای حاصل از احتراق از اطراف لوله‌های عبور گاز پرفشار عبور کرده و در نتیجه انرژی گرمایی از طریق انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری به لولهٔ پره‌دار منتقل می‌شود. بعد از آن، مجدداً انرژی گرمایی از طریق جابه‌جایی اجباری از لوله به گاز پرفشار منتقل می‌شود. در شکل ۴ اجزای داخلی گرمکن گازی نمایش داده شده است [۴]. به‌دلیل عدم وجود سیال واسطه در انتقال حرارت این گرمکن‌ها بازده بالایی دارند. هرچند در این گرمکن‌ها، لولهٔ گاز طبیعی در مجاورت گازهای حاصل از احتراق قرار دارد که در صورت هرگونه آسیب به کویل گاز و یا مجرای عبور گازهای احتراقی احتمال انفجار شدید وجود دارد. گرمکن‌های غوطه‌ور در بخار[۲] به‌علت غوطه‌وری لولهٔ آتشدان در محیط گرماده، دارای مجموعه لوله‌های عبوری گاز پرفشار که بالای سطح آب و احاطه‌شده با بخار آب می‌باشند. همچنین گرما از طریق بخار آب به گاز پرفشار منتقل شود. در شکل ۵ یک نمونه گرمکن غوطه‌ور در بخار نمیش داده شده است [۵]. این نوع از گرمکن‌ها دمایی تا حدود ۹۳ درجه سانتی‌گراد را تأمین می‌کنند. گرمکن‌های غوطه‌ور در نمک[۳] نیز می‌توانند دمایی تا حدود ۳۷۱ درجهٔ سانتی‌گراد را تأمین کنند. در شکل ۶ نمایی از یک نمونه گرمکن غوطه‌ور در نمک نمایش

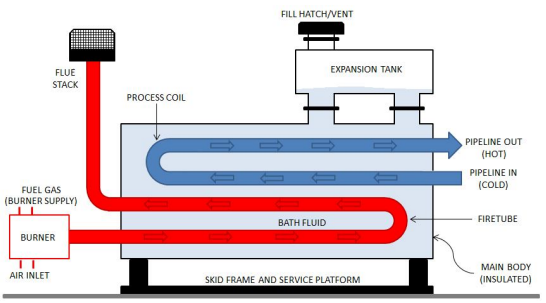
داده شده است [۶]. این نوع از گرمکن‌ها را با نمکی که نقطهٔ ذوبی حدود ۱۴۳ درجهٔ سانتی‌گراد دارد پر می‌کنند. چون نمک در دماهای بالا نیز خاصیت رسانایی بالای خود را از دست نمی‌دهد این گرمکن‌ها دمای بالایی را تأمین می‌کنند.



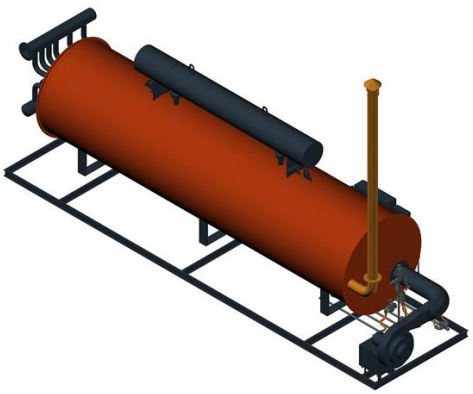
شکل۳. نمایی شماتیک از گرمکن الکتریکی [۳]



شکل ٤. نمایی شماتیک از گرمکن گازی [٤]



شکل ٥. گرمکن غوطه‌ور در بخار [٥]



شکل ٦. گرمکن غوطه‌ور در نمک [٦]

گرمکن‌های خطی[۴] یا غوطه‌ور در آب معمول‌ترین نوع گرمکن‌های ایستگاه تقلیل فشار گاز هستند. شکل ۷ نمونه‌ای از گرمکن خطی را نمایش می‌دهد [۷]. این نوع گرمکن دمای آب را حداکثر تا حدود ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد حفظ می‌کنند. در گرمکن‌های خطی گاز پرفشار تنها در مجاورت آب به‌عنوان سیال گرم‌کننده قرار می‌گیرد و در صورت هرگونه آسیب به کویل گاز یا مجرای عبور گازهای احتراقی شیرهای کنترلی عمل می‌کنند و ورود گاز پرفشار قطع می‌گردد و هیچ‌گونه انفجار شدیدی رخ نمی‌دهد. به‌دلیل بسته‌بودن مدار گردش آب (سیال واسطه) تبخیر آب در گرمکن وجود ندارد، لذا سیستم به آب کمی نیاز دارد. در گرمکن‌های خطی مشعل‌ها و شمعک‌ها و متعلقات آنها درون محفظهٔ احتراق قرار دارند. دریچه‌های ورودی هوای سوخت، که مجهز به شعله‌گیر هستند، روی این محفظه نصب شده‌اند. این محفظه به‌گونه‌ای ساخته می‌شود که مشعل و شمعک قابل رؤیت بوده و دریچهٔ تنظیم آنها قابل دسترسی باشد.

۳. روش‌های افزایش بازده ایستگاه تقلیل فشار گاز

برای بررسی بازده یک ایستگاه تقلیل فشار گاز و افزایش آن، باید بررسی شود که در کدام قسمت‌ها یا فرایندها برگشت‌ناپذیری

و اتلاف انرژی وجود دارد. مشاهده می‌شود فرایندی که در ریگلاتور رخ می‌دهد یک فرایند اختناق کاملاً برگشت‌ناپذیر است. لذا یکی از راهکارهای افزایش بازده اصلاح این مرحله است. یک روش برای اصلاح، استفاده از توربین انبساطی و نیز ترکیب توربین انبساطی و پیل سوختی است. همچنین به‌علت طراحی نامناسب گرمکن‌های ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز طبیعی، معمولاً بازده آنها بسیار پایین‌تر از مقدار ایده‌آل است. به‌همین دلیل مقدار قابل ملاحظه‌ای از انرژی حرارتی سوخت از طریق گازهای خروجی از دودکش به هدر می‌رود؛ به‌طوری‌که دود خروجی از دودکش گرمکن دمای بالایی در حدود ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد دارد که وارد هوا می‌شود. از اینرو یکی دیگر از روش‌های افزایش بازده بازیافت انرژی گرمایی گازهای خروجی از دودکش است. از جمله روش‌های بازیافت حرارت اتلافی از دودکش استفاده از این حرارت برای پیش‌گرم کردن هوای ورودی به گرمکن توسط یک ریکوپراتور یا گرم‌کردن بخشی از آب بویلر توسط اکونومایزر است. از دیگر راه‌های افزایش بازده و بهینه‌کردن ایستگاه تقلیل فشار گاز استفاده از انرژی گرمایی خورشید، مشعل‌های دمنده‌دار و گرمکن‌های کاتالیستی است.

شکل ۷. گرمکن خطی یا غوطه‌ور در آب [۷]

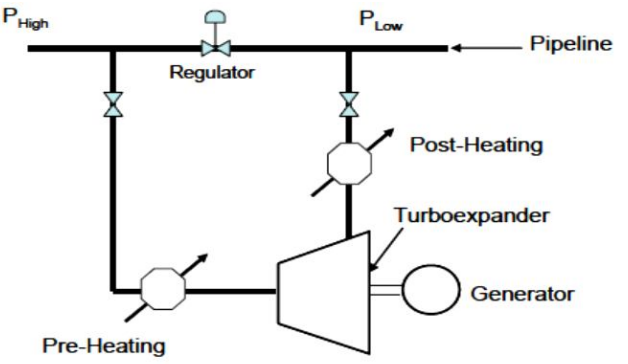
۳-۱. توربین انبساطی

انرژی ذخیره‌شده در گاز طبیعی را می‌توان استفاده از تجهیزات مناسب به نوع مفیدی از انرژی تبدیل کرد. به‌وسیلهٔ توربین انبساطی می‌توان از انرژی حاصل از تقلیل فشار گاز استفاده نمود. گاز با فشار بالا وارد توربین انبساطی شده و با فشار پائین از آن خارج می‌شود. انرژی حاصل از کاهش فشار به حرکت دورانی تبدیل و با دوران ژنراتور برق تولید می‌شود. به این فناوری تبدیل فشار به انرژی می‌گویند [۸]. نحوهٔ عملکرد ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز که با توربین انبساطی کار می‌کنند در شکل ۸ نمایش داده شده است. مشکل عمده درایستگاه‌های تقلیل فشار ثابت‌نبودن دبی گاز عبوری و از دست دادن یک مقدار از پتانسیل تولید کار می‌باشد [۹].

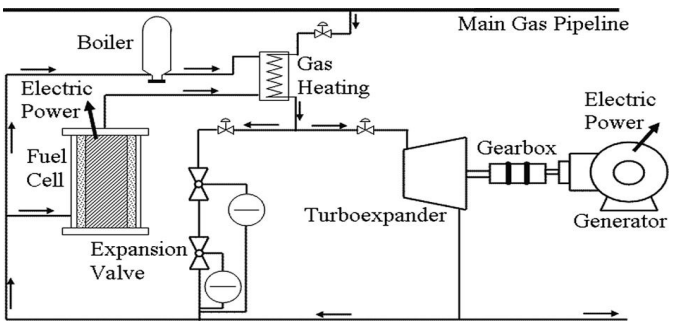
۳-۲. ترکیب توربین انبساطی - پیل سوختی

با استفاده از توربین انبساطی در اغلب موارد گاز باز هم باید پیش‌گرم شود که بدین منظور باز هم از دیگ بخار با سوخت گاز طبیعی استفاده می‌شود که مصرف سوخت بالا و آلایندگی زیادی به‌همراه دارد. استفاده از سیستم هیبریدی توربین انبساطی و پیل سوختی روشی جدید برای کاهش مصرف انرژی در ایستگاه تقلیل فشار است. بدین منظور از پیل سوختی کربنات مذاب یا پیل سوختی اکسید جامد استفاده می‌شود که ضمن پیش‌گرم کردن گاز، توان الکتریکی تولید می‌کنند که سبب بالا رفتن بازده می‌شود و آلودگی را نیز کاهش می‌دهد. پیل سوختی کربنات مذاب در دمای نزدیک به ۶۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد کار می‌کند. دمای کاری بالای این پیل سبب دفع گرمای زیادی از پیل می‌شود که می‌توان از این گرمای زیاد، نهایت استفاده را

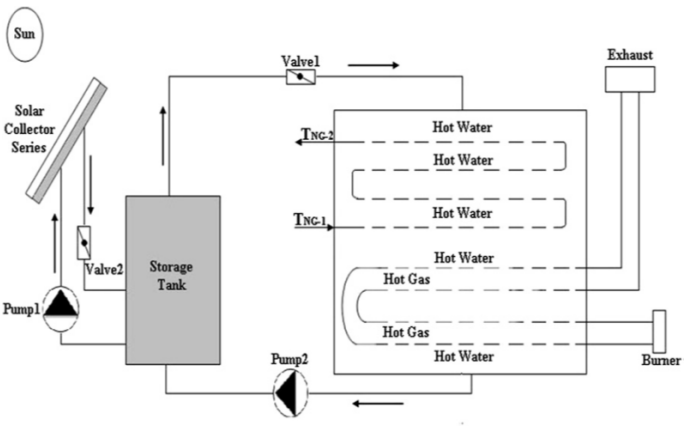
کرد [۱۰]. اگرچه سیستم ترکیبی پیل سوختی - توربین انبساطی هزینهٔ اولیهٔ زیادی می‌خواهد؛ اما درآمد بالایی ناشی از تولید برق اضافی ایجاد خواهد کرد [۱۱]. در شکل ۹ نمایی شماتیک از سیستم توربین انبساطی و پیل سوختی نمایش داده شده است.



شکل ۸. عملکرد ایستگاه تقلیل فشار گاز، مجهز به توربین انبساطی



شکل ۹. نمایی شماتیک از یک سیستم ترکیبی از توربین انبساطی و پیل سوختی [۱۱]



شکل ۱۰. نمایی شماتیک از به‌کار بردن سیستم خورشیدی در ایستگاه گاز شهری

۳-۳. استفاده از انرژی خورشیدی برای گرمایش سیال

استفاده از انرژی گرمایی خورشیدی نسبت به دیگر سیستم‌های موجود از آنجا حائز اهمیت است که به‌غیر از صرف هزینه جهت تجهیزات اولیه و نصب و نگه‌داری سیستم، هزینه‌ای پرداخت نخواهد شد. به‌عبارت دیگر، سیستم‌های گرمایش خورشیدی اصولاً فاقد هرگونه هزینه جهت انرژی مصرفی می‌باشند [۱۲]. برای استفاده از انرژی گرمایی خورشید باید از تعداد زیادی کلکتور خورشیدی استفاده کرد که آب‌گرمکن ایستگاه تقلیل

فشار گاز را با استفاده از آنها گرم کرد. در شکل ۱۰ نمایی شماتیک از کاربرد انرژی خورشیدی در ایستگاه گاز شهری نمایش داده شده است [۱۳].

۳-٤. مشعل‌های دمنده‌دار به‌جای مشعل‌های اتمسفریک

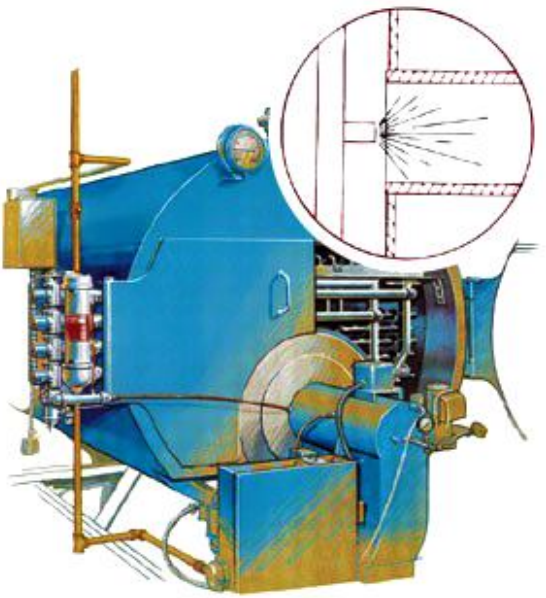
یکی از راه‌های افزایش بازده ایستگاه تقلیل فشار گاز جایگزینی مشعل‌های اتمسفریک با مشعل‌های دمنده دار می‌باشد. در شکل ۱۱ یک نمونه مشعل دمنده‌دار نمایش داده شده است [۱۴].

۳-۵. گرمکن‌های کاتالیستی

در گرمکن‌های کاتالیستی دمای احتراق گاز طبیعی به ۶۰ درصد مقدار آن در گرمکن‌های معمولی کاهش می‌یابد. این عمل منجر می‌شود که منبع حرارتی تشعشعی ایمن گردد و گاز طبیعی بدون شعله بسوزد. با توجه به اینکه دمای واکنش در این گرمکن‌ها پایین است (کمتر از ۴۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد) این گرمکن‌ها از چند دهه قبل کاربردهای صنعتی متفاوتی داشته‌اند؛ مخصوصاً که برای استفاده در محیط‌های حاوی گازهای قابل اشتعال مناسب می‌باشند. در شکل ۱۲ نمایی شماتیک از گرمکن کاتایستی نمایش داده شده است [۱۵].

۳-٦. گرمایش آب موجود در گرمکن با اکونومایزرها

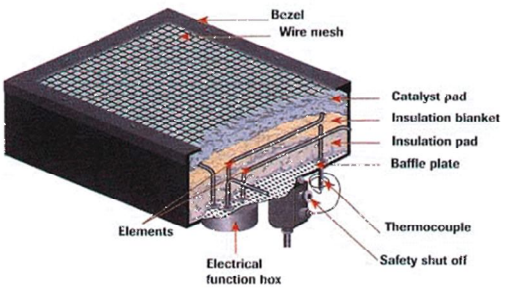
چون در گرمکن‌های غوطه‌ور در آب، امکان تبدیل تمام انرژی ورودی به کار مفید وجود ندارد بخش زیادی از این انرژی به شکل حرارت از قسمت‌های مختلف دستگاه تلف می‌شود که عمدهٔ این تلفات حرارتی شامل گازهای خروجی از طریق دودکش‌ها به محیط زیست می‌باشد که در محیط زیست به دام می‌افتد و قابل استفاده برای اهداف اقتصادی نمی‌باشد. یکی از روش‌های افزایش بازده گرمکن استفاده از انرژی گرمایی گازهای خروجی از دودکش برای گرمایش آب موجود در گرمکن به وسیلهٔ اکونومایزر می‌باشد. در شکل ۱۳ نحوهٔ عملکرد یک اکونومایزر در گرمکن ایستگاه تقلیل فشار گاز نمایش داده شده است [۱۶].



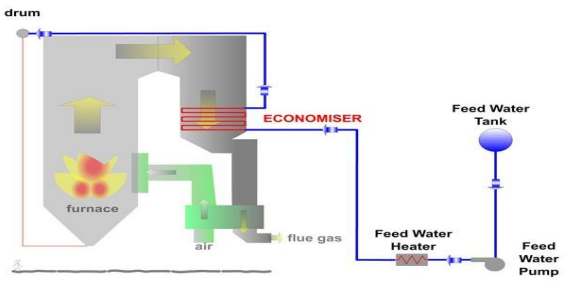
شکل ۱۱. یک نمونه مشعل دمنده‌دار [۱٤]

اکونومایزرها در واقع همان مبدل‌های حرارتی مایع - گاز می‌باشند که از لوله‌های متعددی تشکیل شده و در یک کانال از کوره قرار گرفته‌اند. این لوله‌ها از دو طرف به دو لوله با قطر بزرگتر متصل است که یکی برای تقسیم آب و دیگری برای جمع‌آوری آب گرم شده می‌باشد. آب تغذیهٔ دیگ که قبلاً توسط پمپ تحت فشار بالا قرار گرفته از یک طرف تقسیم شده و از لوله‌های اکونومایزر با سرعت کم عبور می‌کند و در طرف دیگر جمع شده و به گرمکن فرستاده می‌شود. گاز داغ گرمکن در داخل کانال از اطراف لوله‌ها جریان می‌یابد و بدین ترتیب قسمت عمدهٔ حرارت آن به آب منتقل می‌شود. با توجه به دمای پایین آب‌گرمکن (۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد) نسبت به دمای گازهای خروجی از دودکش (۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد)، بازده حرارتی

اکونومایزرها نسبتاً بالاست. وزن فلز به‌کار رفته در یک اکونومایزر نسبت به ریکوپراتور مشابه کمتر می‌باشد که به معنای هزینهٔ مواد کمتر است. از طرفی، وزن فلز به‌علاوه وزن سیال موجود در آن از ریکوپراتور مشابه بیشتر می‌باشد که این به معنای نیاز به استقامت بیشتر دودکش می‌باشد که در نتیجه به هزینه اولیه بیشتر جهت مقاوم‌سازی دودکش نیاز می‌باشد. از مشکلات عمدهٔ اکونومایزرها پدیدهٔ خوردگی می‌باشد که لوله‌ها اکثراً از سمت قسمت آب‌گذر خورده می‌شوند؛ که دلیل آن تبخیر آب در لوله‌ها و عبور بخار آب از سطح فلز می‌باشد. بنابراین هزینهٔ نگه‌داری این مبدل‌ها بالا می‌باشد. از طرفی مواد خورده شده وارد گرمکن خواهند شد که سبب رسوب‌گرفتگی گرمکن نیز می‌گردند. از عوامل مشکل‌زا در اکونومایزرها رسوب است. مهم‌ترین مواد شیمیایی در ایجاد رسوب، املاح کلسیم و منیزیم هستند که به نام املاح سختی‌زا معروف‌اند.



شکل ۱۲. نمایی شماتیک از گرمکن کاتالیستی [۱۵]



شکل ۱۳. عملکرد اکونومایزرها در گرمکن‌های ایستگاه تقلیل فشار گاز

۳-۷. افزایش دمای هوای ورودی به محفظهٔ احتراق با ریکوپراتورها

یکی از عوامل تأثیرگذار در بهبود بازده حرارتی گرمکن‌ها پیش‌گرم کردن هوای ورودی به محفظهٔ احتراق است. منبع حرارتی این گرمایش می‌تواند جریان گازهای داغ حاصل از احتراق باشد که از دودکش خارج می‌شود و دمای بالایی در حدود ۴۰۰ درجهٔ یانتی‌گراد دارد [۱۷]. با نصب یک مبدل حرارتی در مسیر گازهای داغ حاصل از احتراق هنگام ترک دودکش، بخش زیادی از این حرارت جذب و به هوای ورودی به محفظه احتراق منتقل خواهد شد. ریکوپراتورها مبدل‌های حرارتی انتقال حرارت گاز به گاز هستند که در مسیر دودکش نصب می‌شوند. صفحات یا لوله‌های داخلی حرارت را از گازهای داغ از طریق انتقال حرارت جابه جایی دریافت می‌کنند و به هوای تازه و سرد ورودی انتقال می‌دهند، بدون آنکه منجر به اختلاط جریان‌ها شوند. در شکل ۱۴ نمایی شماتیک از نحوهٔ عملکرد یک ریکوپراتور نمایش داده شده است [۱۸]. با افزایش دمای هوای ورودی به مشعل، تأثیر افزایش دمای هوای واکنش‌دهنده بر افزایش دمای شعلهٔ آدیاباتیک بیشتر می‌شود. با توجه به این نکته سعی می‌شود تا حد امکان دمای هوای ورودی به مشعل افزایش یابد تا انرژی بیشتری بازیابی شود. مطالعهٔ دینامیک سیالات محاسباتی مبدل لوله در لولهٔ حلزونی به‌عنوان ریکوپراتور برای میکروتوربین گازی در یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت خانگی در انگلستان توسط کلی و تنسلی انجام شد [۱۹]. ریکوپراتور مورد استفاده آنها از نوع کویلی می‌باشد. بیشترین کارآیی مبدل با داشتن کمترین افت فشار همراه با طول زیاد لوله است. هرچه طول مبدل مورد استفاده بیشتر باشد کارآیی مبدل بهتر است و بهترین مقطع لوله مقطع دایره‌ای می‌باشد. مزایای استفاده از ریکوپراتورها عبارت‌اند از:

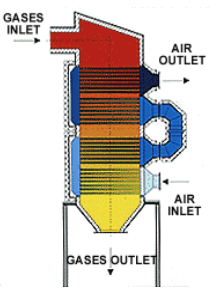
۱. کم‌بودن وزن سیال عبوری در ریکوپراتور (هوا) که در نتیجه افت فشار آن در عبور از لوله‌ها و مبدل گرمایی کمتر می‌گردد و باعث می‌شود نیاز به انرژی کمتری برای جابه‌جایی آن باشد
۲. ریکوپراتورها وزن سیال به‌علاوهٔ فلز کمتری نسبت به اکونومایزرها دارند که در نتیجه برای نگه‌داری آنها روی دودکش به استقامت و زیرسازی کمتری نیاز است
۳. با توجه به این که گاز طبیعی، سوخت پاکی است مشکل کثیفی و رسوب گرفتگی مجراها وجود ندارد که در نتیجه نیاز به نگه‌داری، مراقبت و بازدید کمتری دارد

البته ریکوپراتورها معایبی نیز دارند که عبارت‌اند از:

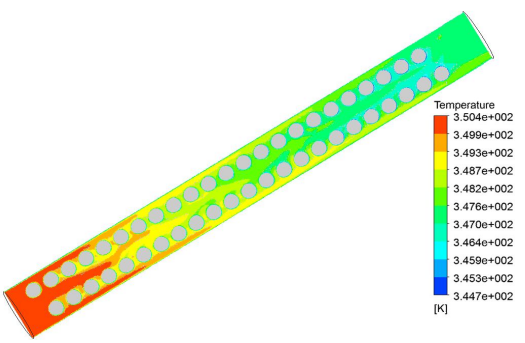
۱. ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی گازها از مایعات کمتر می‌باشد که در نتیجه برای انتقال گرمای مشابه با اکونومایزر نیاز به مساحت بیشتری از مبدل می‌باشد

۲. کم‌بودن ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی و محدودیت در اندازهٔ ریکوپراتورها باعث می‌شود که بازده ریکوپراتورها نسبت به سایر مبدل‌های گرمایی تفاوت عمده‌ای نداشته باشد

با مدلسازی عددی یک ریکوپراتور در انسیس - فلوئنت نسخهٔ ۱۶، مشخص می‌شود به‌طور نمونه در هیتر ایستگاه تقلیل فشار گاز هسا اصفهان، دمای هوا در ریکوپراتور حدود ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. شکل ۱۵ تغییرات دما داخل ریکوپراتور این ایستگاه را نشان می‌دهد. اگر این هوای پیش گرم وارد مشعل هیتر شود سبب صرفه‌جویی سوخت در حدود ۱۰ درصد می‌شود.



شکل ۱۴. نمایی شماتیک از نحوهٔ عملکرد ریکوپراتورها [۱۸]



شکل ۱۵. کانتور تغییرات دمای هوا در داخل ریکوپراتور کویلی

٤. نتیجه‌گیری

در این مقاله، با بررسی ایستگاه‌های تقلیل فشارگاز شهری، انواع گرمکن‌های مورداستفاده در ایستگاه گاز معرفی شدند. همچنین انواع روش‌های افزایش بازده ایستگاه تقلیل فشار معرفی و مقایسه شدند. طی این بررسی مشخص شد که استفاده از توربین انبساطی موجب صرفه‌جویی در برخی هزینه‌ها (انرژی صرفه‌جویی شده، سوخت صرفه‌جویی شده و هزینه‌های اجتماعی ناشی از کاهش آلودگی محیط زیست) می‌شود [۲۰]. مهم‌ترین عیب سیستم‌های توربین انبساطی در مقایسه با استفاده از شیر فشار شکن هزینه اولیه، نگهداری و نصب آن می‌باشد. ترکیب پیل سوختی و توربین انبساطی مصرف سوخت را کاهش و آلایندگی کمی به‌همراه دارد. پیل سوختی ضمن پیش‌گرم کردن گاز، توان الکتریکی تولید می‌کند که سبب بالا رفتن بازده سیستم می‌شود. از برجسته‌ترین مزیت‌های انرژی خورشیدی می‌توان به پاک‌بودن، بازده حرارتی بالا و رایگان بودن آن اشاره کرد. همچنین از معایب سیستم‌های خورشیدی می‌توان به نوسان و کاهش انرژی در طول روزهای ابری و شب‌ها اشاره کرد [۲۱]. از مزایای استفاده از مشعل‌های دمنده می‌توان به کاهش تولید مونو اکسید کربن و انجام احتراق کامل و همچنین قابلیت تنظیم میزان مصرف سوخت و هوا، که باعث کاهش روشن و خاموش شدن مشعل می‌گردد، اشاره کرد که در نتیجه میزان خرابی مشعل کاهش یافته و هزینهٔ نگه‌داری آن کم می‌شود. از معایب آنها نیز می‌توان به قیمت بالا و نیاز همیشگی آنها به دمنده و منبع برق ثابت اشاره کرد. از مزایای گرمکن‌های کاتالیستی این است که محصولات جانبی احتراق علاوه بر گرما، تنها دی اکسید کربن و بخار آب می‌باشد و تولید مونو اکسید کربن، که نتیجهٔ احتراق ناقص است، خیلی کم می‌باشد. مزیت دیگر این گرمکن‌ها عدم نیاز به منبع الکتریکی ثابت است. اهمیت این امر در مناطقی که دسترسی به منبع پیوسته ندارند مشخص می‌شود. بازده حرارتی اکونومایزرها نسبتاً بالاست. وزن فلز به‌کار رفته در یک اکونومایزر نسبت به ریکوپراتور مشابه کمتر است که به معنای هزینهٔ متریال کمتر است. از طرفی وزن فلز به‌علاوهٔ وزن سیال موجود در آن از ریکوپراتور مشابه بیشتر می‌باشد که این به معنای نیاز به استقامت بیشتر دودکش است. از مشکلات عمدهٔ اکونومایزرها پدیدهٔ خوردگی است که لوله‌ها اکثراً از سمت قسمت آب‌گذر خورده می‌شوند؛ بنابراین هزینهٔ نگه‌داری این مبدل‌ها بالا می‌باشد. هزینهٔ ساخت بالا و رسوب‌گیری دو عیب عمده اکونومایزرها هستند. از مزایای استفاده از ریکوپراتورها نیز کم‌بودن وزن سیال عبوری (هوا) در ریکوپراتور است که در نتیجه افت فشار آن در عبور از لوله‌ها و مبدل گرمایی کمتر شده و باعث می‌شود نیاز به انرژی کمتری برای جابه‌جایی آن باشد.

همچنین با توجه به وزن سیال ریکوپراتورها نیاز به فلز کمتری نسبت به اکونومایزرها دارند که در نتیجه برای نگه‌داری آنها بر روی دودکش به استقامت و زیرسازی کمتری نیاز است. با توجه به سیال عبوری مشکل رسوب در مجراها وجود ندارد. از معایب عمدهٔ ریکوپراتورها می‌توان به پایین‌بودن ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی گازها اشاره کرد که در نتیجه نیاز به مساحت بیشتری از مبدل می‌باشد و بنابراین نیاز به فلز بیشتری می‌باشد. لذا کم‌بودن ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی و محدودیت در اندازهٔ ریکوپراتورها باعث می‌شود که بازده ریکوپراتورها نسبت به سایر مبدل‌های گرمایی تفاوت عمده‌ای نداشته باشد. استفاده از ریکوپراتور باعث می‌شود در ایستگاه تقلیل فشاری مانند ایستگاه هسا در اصفهان، دمای هوا ۶۰ درجه افزایش یابد و این افزایش دما باعث صرفه‌جویی میزان مصرف سوخت در حدود ۱۰ درصد می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از حمایت‌های مالی شرکت گاز استان اصفهان، امور پژوهش، تشکر و قدردانی کنند.

۵. مآخذ

[1] Fanoy Gas L.L.C, Gas Field Servicing Company, 2014; http://www.fanoygas.com/gallery.html (accessed August 10, 2016).

[2] EN-FAB, Inc, Engineering, fabrication and packaging company, 2015, http://www.en-fabinc.com (accessed August 15, 2016).

[3] Green Riverside, Replacement Electric Water Heater, 2015, http://www.energydepot.com (accessed August 10, 2016).

[4] Clean Water Store, How to Eliminate Water Heater Odors, Gas Water Heater, http://www.cleanwaterstore.com (accessed February 10, 2015).

[5] Processprinciples, Indirect Bath Heaters, 2012, http://processprinciples.com (accessed August 15, 2016).

[6] Fseenergy, the Adara Line of Process Bath Heaters, Salt Bath, 2014, http://www.fseenergy.com (accessed August 15, 2016).

[7] Sigmathermal, Process Bath Heaters, 2014, http://www.sigmathermal.com (accessed August 15, 2016).

[8] Hedman, Bruce A. "Waste energy recovery opportunities for interstate natural gas pipelines." *Interstate Natural Gas Association of America. Retrieved July* 25 (2008): 2011.

[9] Ipieca, Turbo-expanders, 2014, http://www.ipieca.org (accessed August 15, 2016).

[10] O'Hayre, R., and S. Cha. "W., Colella, W., Prinz, F., B.,"." *Fuel Cell Fundamentals, John Wiley & Sons, Hoboken* (2005).

[11] Howard, Clifford, Patrick Oosthuizen, and Brant Peppley. "An investigation of the performance of a hybrid turboexpander-fuel cell system for power recovery at natural gas pressure reduction stations." *Applied Thermal Engineering* 31, no. 13 (2011): 2165-2170.

[12] Solar skies, Solar Collectors, Solar Skies Solar Thermal Collectors, 2015, http://www.solarskies.com (accessed August 1, 2016).

[۱۳] عرب کوهسار، ا، فرزانه گرد، م، دیمی دشتبیاض، م. و خسروی، ع.، "امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی بعنوان جایگزینی برای هیترهای غیر هوشمند در ایستگاه تقلیل فشار گاز"، *نوزدهمین همایش سالانه مهندسی مکانیک ایران*، ۱۳۹۰.

[14] Fuelefficiencyllc, Automatic Boiler Tube Cleaners Soot Blowers, http://www.fuelefficiencyllc.com (accessed June 1, 2014).

[15] Americancatalytic, American Catalytic Technologies, 2015, http://www.americancatalytic.com (accessed June 15, 2015).

[16] Bright Hub Engineering, How does a Power Plant Boiler work? - Water and Steam System., Pre-Heating & Economiser, 2015, http://www.brighthubengineering.com (accessed September 13, 2015).

[17] Karamarković, Vladan, Miljan Marašević, Rade Karamarković, and Miodrag Karamarković. "Recuperator for waste heat recovery from rotary kilns." *Applied Thermal Engineering* 54, no. 2 (2013): 470-480.

[18] Szegö, G. G., B. B. Dally, and G. J. Nathan. "Operational characteristics of a parallel jet MILD combustion burner system." *Combustion and Flame* 156, no. 2 (2009): 429-438.

[19] Clay, A., and G. D. Tansley. "Exploration of a simple, low cost, micro gas turbine recuperator solution for a domestic combined heat and power unit." *Applied thermal engineering* 31, no. 14 (2011): 2676-2684.

[20] Mansoor, S. A., and Arshad Mansoor. "Power generation opportunities in Bangladesh from gas pressure reducing stations." In *3rd International Conference on Electrical & Computer Engineering, ICECE*, pp. 28-30. 2004.

[21] Farzaneh-Gord, M., A. Arabkoohsar, M. Deymi Dasht-bayaz, and V. Farzaneh-Kord. "Feasibility of accompanying uncontrolled linear heater with solar system in natural gas pressure drop stations." *Energy* 41, no. 1 (2012): 420-428.

پی‌نوشت

1. CGS
2. steam bath indirect heaters
3. salt bath heater
4. water bath indirect heaters

آموزش انجمن مهندسان مکانیک ایران

- اعطا گواهینامه معتبر (مورد تایید وزارت علوم و ASME آمریکا)
- برگزاری چندین دوره تخصصی و نرم افزاری برای شرکت ها و اشخاص از سال ۱۳۷۰ تا کنون
- برگزاری چندین دوره تخصصی برای شرکت مپنا و پتروشیمی ها
- حضور اساتید مجرب و شاغل در صنعت
- ارائه تخفیفات ویژه برای دانشجویان و اعضاء انجمن
- و...

021-88900965
09100641245

88938373

www.isme.ir

education@isme.ir

تهران، خیابان سپهبد قرنی، بالاتر از چهارراه ارای، بن بست دژن، پلاک ۳