مدل سازی میزان اتلاف حرارت از دودکش یک نمونه گرمکن ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی

علی کیانی فر، امین کاظمی، حمیده شیخانی، سیدایمان پیش بین
۱- دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- پژوهشگر امور پژوهش و فناوری شرکت گاز استان خراسان رضوی.
٤- رئیس بخش پژوهش و فناوری شرکت گاز استان خراسان رضوی.
amin.com2007@gmail.com

چکیده
باتوجه به اهمیت بحث انرژی و مصرف بهینه آن در کشور، مسئله ممیزی و بازیابی انرژی های اتلافی در صنایع اهمیت دو چندان پیدا می کند. با توجه به اینکه کشور ما یکی از تولیدکنندگان و صادر کنندگان بزرگ گاز در جهان می باشد یکی از بخش های صنعت که باتوجه به وسعت آن نیاز به بررسی دارد، بخش صنعت گاز و انتقال آن می باشد. در ایستگاه های تقلیل فشار گاز طبیعی با استفاده از گرمکن ها و پیش گرم کردن گاز ورودی به ایستگاه، از یخ زدگی گاز در اثر افت فشار جلوگیری می گردد. قسمت اعظم انرژی مصرفی گرمکن ها از بدنه و خصوصا دودکش به محیط هدر می رود. در این متن سعی شده با استفاده از نتایج تجربی حاصل از تحقیقات میدانی و برداشت اطلاعات از یک نمونه گرمکن ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی در شهر مشهد، میزان انرژی هدر رفته از بدنه دودکش توسط مدل سازی عددی با نرم افزار Ansys محاسبه گردد. پس از مدل سازی و تحلیل خروجی های حاصله از حل مدل مشخص گردید که روزانه میزان ۳.۴۶ Kwh انرژی به صورت حرارت از بدنه و ۵۵.۲ Kwh انرژی از خروجی دودکش به محیط هدر می رود که باتوجه به میزان کارکرد گرمکن در روزهای سال و تعداد زیاد این گرمکن ها در کل کشور می توان از طریق بازیابی این انرژی به منبع قابل توجهی دست پیدا نمود.

کلمات کلیدی: ایستگاههای تقلیل فشار،گرمکن ها، دودکش، مدل سازی عددی

۱. مقدمه

گاز استخراج شده از میادین گاز بعداز انجام عملیات پالایشی در پالایشگاهها، توسط خطوط انتقال اصلی و خطوط فرعی در سطح کشور توزیع می شود. به علت اصطکاک گاز در طول لوله های انتقالی و ایجاد افت های فرعی در شبکه انتقال، فشار گاز دچار افت می شود که جهت جبران افت فشار گاز، از ایستگاه های تقویت فشار استفاده می شود. فشار گاز در لوله های اصلی انتقال گاز قبل از اینکه به محل توزیع برای مصرف برسند، باید در محدوده مجاز قرار گرفته باشد.[5]

فشار گاز در خطوط اصلی انتقال گاز بین شهری بین 700psi تا 1050psi است که برای مصرف شهری، این فشار طی دو مرحله یک بار تا 250psi در ایستگاه اصلی (C.G.S) و بار دیگر از250psi تا 60psi در ایستگاه تقلیل فشار گاز توزیع داخل شهر (T.B.S) کاهش می یابد. در اثر افت فشار گاز در رگولاتور، دمای گاز نیز افت پیدا می کند. در ایام سرد سال که دمای گاز ورودی به ایستگاه پایین است، دما در خروجی رگولاتور کمتر از صفر درجه سانتی گراد خواهد شد. در نتیجه ذرات بخار آب موجود در گاز دچار تغییر فاز شده و به یخ تبدیل می شوند. این تغییر فاز، مسدود شدن مجرای عبور گاز را به همراه دارد. به منظور جلوگیری از یخ زدن ذرات بخار آب گاز را قبل از کاهش فشار گرم می کنند. سیستم گرمایش مورد استفاده

برای این منظور یک مبدل غیر مستقیم می باشد. این نوع از سیستم های گرمایشی به صورت یک منبع استوانه ای افقی با حجم بالا همراه با لوله های مارپیچ بوده که گاز از دورن این لوله ها عبور کرده و گرم می شود. در منبع استوانه ای افقی گرمگن، لوله های عبور گاز طبیعی، سیال واسط (محلول آب وضدیخ) و لوله آتش (لوله عبور محصولات احتراق) قرار دارند. در این گرمکن ها، سیال داغ محصولات احتراق و سیال سرد گاز طبیعی و عامل انتقال محلول آب وضدیخ می باشد. مکانیزم انتقال حرارت در این گرمکن ها جابجایی آزاد است. محصولات احتراق پس از عبور از لوله آتش وارد دودکش شده و به محیط منتقل می گردد. از معدودکارهای انجام شده در بررسی و تحلیل روند انتقال انرژی در گرمکن ها می توان به مقاله منتشر شده توسط عبدالمهدی هاشمی و رضا اشرفی اشاره کرد که به شبیه سازی عددی قسمت مبدل گرمکن ها پرداخته اند و میزان انتقال حرارت از لوله آتش را مورد بررسی قرار داده اند. [3]

در سال ۲۰۰۹ ابراهیم خلیلی و اسماعیل هیبتیان میزان تلفات حرارتی را در گرمکن های غیر مستقیم مورد بررسی قرار دادند. [6]

در سال ۲۰۱۰ سیف الله سعدالدین و سعید رستگار تحلیل اگزرژی در ایستگاه تقلیل فشار گازطبیعی دروازه شهری[1] را انجام داده و میزان انرژی هدر رفته و مقدار اتلاف قابل پیشگیری را به صورت ماهانه مورد بررسی قرار دادند.[2]

در مورد شبیه سازی عددی در قسمت دودکش گرمکن های ایستگاههای تقلیل فشار گاز طبیعی به جرعت می توان گفت تا کنون بررسی در این زمینه انجام نگرفته است .

۲. برداشت اطلاعات

جهت برداشت اطلاعات مورد نیاز برای شبیه سازی ایستگاه تقلیل فشار کوشک مهدی واقع در حومه شهر مشهد انتخاب گردید. ظرفیت این ایستگاه 1000 m^3s/h می باشد که گاز با فشار متوسط 800 psi وارد ایستگاه شده و توسط رگولاتورها در دو مرحله ابتدا فشار آن به 250psi و در مرحله بعد به 60 psi تقلیل پیدا می کند و پس از انجام فرایند بودار کردن گاز به سمت مصرف کننده انتقال پیدا می کند. گرمکن مورد استفاده در این ایستگاه یک گرمکن غیر مستقیم حمام آب با ظرفیت 100000 Btu/hr می باشد که در شکل (۱) تصویر این گرمکن آورده شده است. عملیات برداشت اطلاعات در ساعت ۹ صبح آغاز گردید که در این ساعت، دمای هوا ۱۸ درجه سانتی گراد و سرعت باد برابر با 1.8 m/s بود.

شکل (۱) هیتر مورد مطالعه واقع در ایستگاه کوشک مهدی

[1] CGS

تجهیزات مورد نیاز که برای برداشت اطلاعات مورد استفاده قرار گرفت شامل؛ دستگاه آنالیزور جهت اندازه گیری میزان درصد اکسیژن موجود در محصولات احتراق ورودی به دودکش، انمومتر جهت اندازه گیری سرعت هوا و دمای هوا، دماسنج لیزری جهت اندازه گیری دمای روی سطح بدنه دودکش و... که در شکل (۲)، (۳) و (۴) ارائه گردیده است، همچنین نحوه برداشت اطلاعات توسط دستگاه آنالیزور گاز در شکل (۵) ارائه گردیده است.

شکل (۲) دستگاه آنالیزور گاز

شکل (۳) انمومتر

شکل (۵) نحوه برداشت اطلاعات توسط دستگاه آنالیزور گاز

شکل (٤) دماسنج لیزری

در جدول (۱) اطلاعات ثبت شده در مرحله برداشت اطلاعات ارائه شده است که در ادامه آورده شده است.

جدول(۱) اطلاعات ثبت شده از گرمکن ایستگاه تقلیل فشار

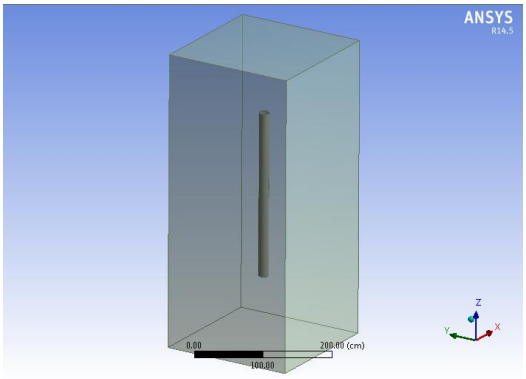
نام ایستگاه		کوشک مهدی	
ظرفیت ایستگاه	۱۰۰۰ m^3s/h	ظرفیت گرمکن	۱۰۰۰۰۰ Btu/hr
ساعت برداشت اطلاعات	۹:۰۰	سرعت هوای ورودی به مشعل (m/s)	۱. ۸
مساحت ورودی هوای مشعل (m^2)	۰.۹۵	دمای هوای ورودی به مشعل (°C)	۱۸.۷
اکسیژن محصولات احتراق وورودی به دودکش (%)	۱۰.۳۷	دمای گاز ورودی دودکش (°C)	۲۳۶
دمای بدنه دودکش			
ارتفاع (m)	۰	۰,۴۰	۰,۵	۲,۵
دما (°C)	۷۵	۷۶	۷۵	۶۵
مشخصات دودکش				
جنس		ضخامت (mm)	قطر (cm)	ارتفاع (m)
فولاد		۵	۱۵	۲.۵

۳. تعریف شرایط مرزی مسئله

مسئله حاضر شامل سه دامنه است که شامل موارد زیر می باشد :

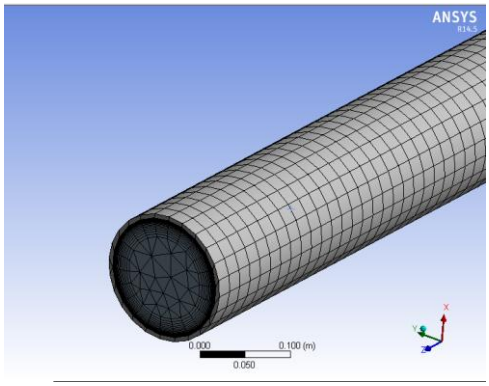
- دامنه سیال اول: محصولات حاصل از احتراق گاز ورودی به دودکش
- دامنه صلب: بدنه دودکش
- دامنه سیال دوم: جریان هوای آزاد محیط

در شکل (۶) شماتیک مسئله که در نرم افزار Ansys workbench تعریف شده است ارائه گردیده است.



شکل (٦) شماتیک مدل تعریف شده

حل مسایل بصورت عددی نیازمند تقسیم دامنه حل به شبکه های کوچکتر می باشد که اصطلاحا مش بندی نامیده می شود که در شکل(۷) شبکه مش بندی دامنه مسئله مورد نظر ارائه گردیده است.



شکل (۷) نمایی ازشبکه بندی استفاده شده در

پس از تعریف مدل فیزیکی مسئله و مش بندی دامنه حل لازم است که در مرحله بعدی به تعریف قیود و شرایط ورودی لازم برای حل مسئله پرداخته شود.

شبیه سازی مدل مسئله دودکش نیازمند سه شرط مرزی در دامنه سیال است، که در اینجا محصولات احتراق حاصل از سوختن گاز طبیعی می باشد، که شامل دبی سیال ورودی به دوکش، دمای سیال ورودی به دودکش و یک شرط مرزی در خروجی دودکش، که در اینجا فشار نسبی در خروجی نظر گرفته شده است که بدلیل اینکه خروجی دودکش با هوای محیط در تعادل است برابر با فشار اتمسفر یا فشار نسبی صفر می باشد. دمای سیال ورودی به دودکش نیز بوسیله دستگاه آنالیزور گاز اندازه گیری می شود. چالش اصلی در تعریف شرایط مرزی مسئله حاضر اندازه گیری دبی سیال ورودی به

دودکش می باشد، بدلیل اینکه اندازه گیری دقیق سرعت سیال ورودی به دودکش بدلیل عدم دسترسی، مقدور نمی باشد و همچنین بدلیل دمای بالای گازهای خروجی از دودکش اندازه گیری سرعت این گازها توسط دستگاه انمومتر ممکن نمی باشد لذا از روش منحصر بفرد زیر دبی جرمی گازهای ورودی به دودکش محاسبه گردید که در ادامه به شرح این روش پرداخته شده است.

دبی جرمی گازهای ورودی به دودکش حاصل مجموع دبی جرمی هوای مصرف شده توسط مشعل جهت انجام عمل احتراق و دبی جرمی گاز مصرفی مشعل می باشد. دبی جرمی هوای ورودی به مشعل از طریق اندازه گیری سرعت هوای ورودی از مجرای مکش هوای مشعل از طریق رابطه (۱) محاسبه گردید که در این رابطه ρ چگالی هوای ورودی به مشعل است که با داشتن دمای هوا از روی جدول خواص ترمودینامیکی هوا قابل دسترس می باشد، A مساحت مجرای ورودی هوای مشعل، و V سرعت هوای ورودی است که توسط دستگاه انمومتر اندازه گیری گردید.

$$Q_{air}\,(kg/s) = \rho AV \qquad (1)$$

بدلیل اینکه معمولادر ایستگاه ها بدلیل دسترسی به خط گاز خروجی از ایستگاه، گاز مصرفی گرمکن توسط نصب کنتور گاز در خط ورودی مشعل گرمکن اندازه گیری نمی شود جهت اندازه گیری دبی گاز مصرفی ابتدا میزان درصد اکسیژن سوخته نشده موجود در محصولات احتراق توسط دستگاه آنالیزور گاز اندازه گیری شد سپس از طریق رابطه (۲) میزان هوای اضافه محاسبه گردید.

$$\%\text{Excess air} = \frac{O_2}{21\text{-}O_2} \qquad (2)$$

از کسر این درصد هوای اضافه از دبی هوای مصرف شده توسط مشعل که پیش تر محاسبه گردید میزان حجم هوای استوکیومتری مورد نیاز برای سوختن کامل حجم گاز ورودی به مشعل محاسبه می گردد. با توجه به فرمول شیمیایی فرایند احتراق گاز که در رابطه (۳) ارائه گردیده است میزان نسبت هوای مورد نیاز برای سوختن گاز محاسبه می گردد که برابر ۱۷.۱۶ کیلوگرم هوا به ازای یک کیلوگرم گاز می باشد.

$$CH_4 + 2(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 7.52N_2 \qquad (3)$$

با یک تناسب ساده بین این معادله و میزان حجم هوای استوکیومتری که محاسبه گردید میزان دبی جرمی سوخت ورودی به مشعل محاسبه می گردد. همانطور که قبلا ذکر گردید دبی جرمی هوای ورودی به دودکش از حاصل جمع دبی جرمی هوای ورودی به مشعل و گاز مصرفی آن محاسبه می گردد. در جدول (۲) این مقادیر محاسبه شده برای گرمکن مورد مطالعه ارائه گردیده است.

جدول(۲) محاسبه دبی ورودی به دودکش

Air inlet Diameter(cm)	Inlet Air Velocity (m/s)	Air density(kg/m3)	Excess Air (%)
11	1.8	1.0455	97.5
Air flow (kg/s)	**Air flow Stoichiometric (kg/s)**	**Gas flow (kg/s)**	**Stack inlet flow (kg/s)**
0.017875227	0.009050748	0.000527433	**0.01840266**

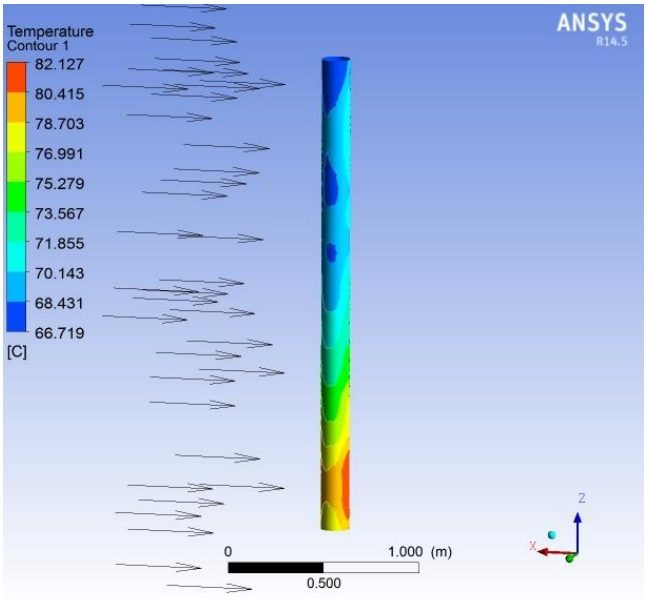
اطلاعات مورد نیاز برای تعریف دامنه صلب مسئله که بدنه دودکش می باشد در فرایند برداشت اطلاعات اندازه گیری گردید که در جدول (۱) ارائه شده است که طول آن ۲.۵ متر، با قطر ۱۵ سانتی متر و از جنس فولاد به ضخامت ۵ میلی متر می باشد.

برای دومین دامنه سیال نیز که جریان هوای محیط و باد می باشد شرایط مرزی سرعت و دمای هوا می باشد که توسط دستگاه انمومتر اندازه گیری شده که سرعت هوا با دمای ۱۸ درجه سانتی گراد برابر ۱.۸ m/s می باشد.

۴. تحلیل نتایج

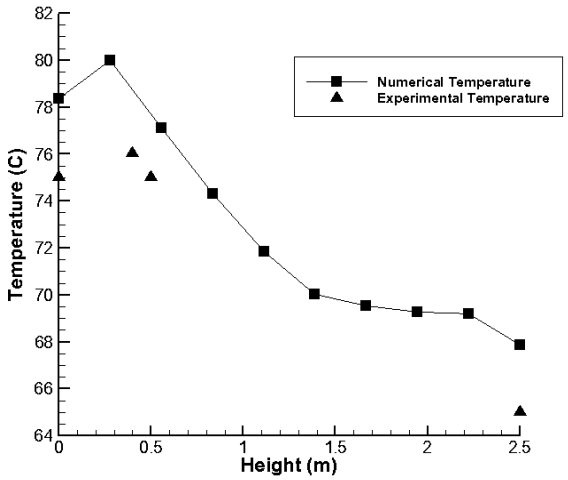
پس از حل مدل توسط نرم افزار که تا باقیمانده هدف (Residual) 10^{-5} همگرا شد. نتایج در ادامه ارائه گردیده است.

در شکل (۸) نحوه تغیرات دما در روی بدنه دودکش نمایش داده شده است، همانطور که در شکل مشهود است دما در پایین دوکش حدود ۸۲ درجه سانتی گراد می باشد و هر چه ارتفاع بیشتر می گردد بدلیل کاهش انرژی محصولات احتراق و انتقال حرارت با جریان هوای روی بدنه دما کاهش می یابد و در بالای دودکش به حدود ۶۶ دجه سانتی گراد می رسد.



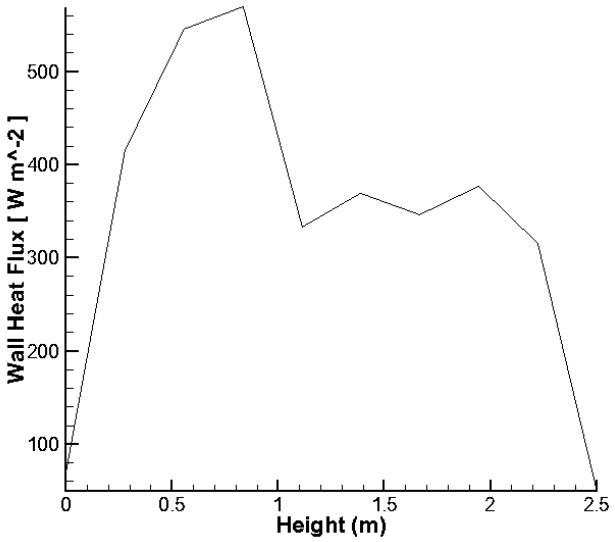
شکل (۸) نحوه تغییرات دما در روی بدنه دودکش

در شکل (۹) نمودار تغییرات دما در طول دودکش نشان داده می شود و نقاط برداشته شده در قسمت برداشت اطلاعات در آن مشاهده می گردد که نشان دهنده خطای قابل قبول در شبیه سازی می باشد که در حدود ٪ ۵- ۱ می باشد که این میزان خطا در تحلیل های عددی پذیرفته شده می باشد.



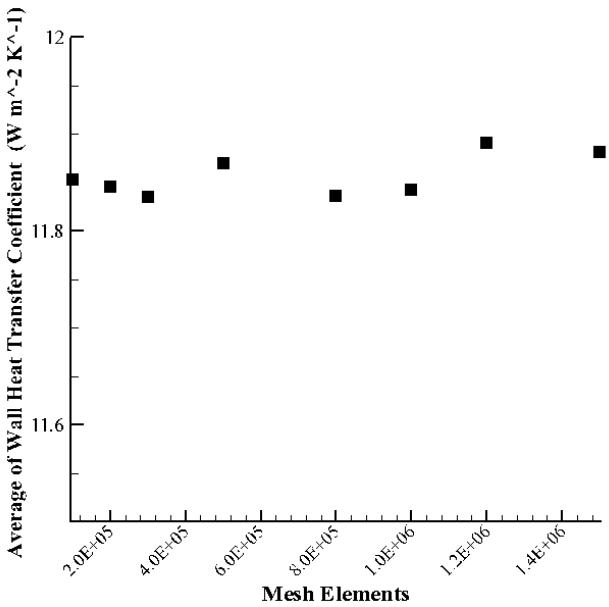
شکل (۹) نمودار تغییرات دما در روی بدنه دودکش

در شکل (۱۰) میزان انتقال حرارت از بدنه دودکش نشان داده شده است همانطورکه در تصویر مشهود است میزان انتقال حرارت از بدنه دودکش با افزایش ارتفاع کاهش می یابد.



شکل (۱۰) میزان انتقال حرارت از بدنه دودکش

جهت اطمینان از صحت اطلاعات بدست آمده در شبیه سازی باید بحث استقلال از گره در مدل بررسی گردد بدین معنا که خروجی های مسئله از تعداد المان های شبکه بندی مستقل باشد و با افزایش تعداد المان ها تغییر زیادی نکند [4] این مسئله در شکل (۱۱) نشان داده شده است که نحوه تغییرات ضریب انتقال حرارت از دیواره را با افزایش تعداد المان ها نشان می دهد. همانطور که مشاهده می گردد این تغییرات ناچیز و در حد ٪ ۱– ۰/۵ درصد می باشد که این امر تایید بر عدم وابستگی مدل به شبکه بندی و صحت شبیه سازی می باشد.



شکل (۱۱) بررسی استقلال از گره مدل حل شده

۴. بحث ونتیجه گیری

میزان انرژی که از بدنه دودکش به جریان هوای محیط منتقل می گردد به طور متوسط برابربا $604.224\ W/m^2$ می باشد که با توجه به مساحت بدنه دودکش با قطر ۱۵ cm و ارتفاع ۲.۵ m که برابر $1.18\ m^2$ می باشد، این مقدار انرژی برابر ۷۱۳ w می باشد، اگر گرمکن به طور متوسط روزانه ۲۰ ساعت روشن باشد ۳.۴۶ Kwh انرژی فقط از طریق بدنه به محیط منتقل می شود که این مقدار شامل میزان توانی که از خروجی دودکش به محیط منتقل می گردد نمی باشد که برابر ۲.۷۶ Kw می باشد و روزانه به حدود ۵۵.۲ Kwh می رسد. با توجه به دبی گاز مصرفی مشعل که در جدول (۲) آورده شده است و ارزش حرارتی گاز طبیعی که ۸۶۰۰ کیلوکالری یا ۳۶ مگاژول به ازای هر متر مکعب می باشد [1] میزان انرژی مصرفی گرمکن ۲۹.۲۴ kw می باشد و با توجه به میزان انرژی اتلافی از دودکش که پیش تر محاسبه گردید ٪ ۸ .۱۱ از انرژی گاز مصرفی گرمکن به محیط تلف می شود. می توان با بازیابی و تبدیل این مقدار انرژی و تعداد زیاد گرمکن های موجود در کشور که به حتم ظرفیت، مصرف و در نتیجه اتلاف بیشتری از گرمکن مورد مطالعه در این متن دارد به مقدار قابل توجهی از انرژی دست یافت.

۵. قدردانی

این تحقیق با استفاده حمایتهای علمی و مالی شرکت گاز استان خراسان رضوی انجام شده که در اینجا از آنها تشکر و قدردانی می شود.

۶. منابع

۱. ون وایلن، زونتاگ و بورگناک، ترجمه، ملک زاده، غلامرضا و کاشانی حصار، محمدحسین؛ مبانی ترمودینامیک، انتشارات آذرجم، چاپ بیست و سوم ۱۳۸۶
۲. سعدالدین، سیف الله و رستگار، سعید ؛ تحلیل اگزرژی در ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی دروازه شهری، مجله مدل سازی در مهندسی، شماره۲۲، ۱۳۸۹
۳. هاشمی، عبدالمهدی، اشرفی، رضا و شیخ زاده، قنبرعلی؛ شبیه سازی و تحلیل عددی مبدلهای موجود در ایستگاههای تقلیل فشار گاز، دومین همایش ملی انرژی، **98-F-EEF-579** ، ۱۳۸۰
4. *ANSYS CFX Tutorials ANSYS, Inc. Release 14.5 - October 2012- Canonsburg, PA 15317 ANSYS, Inc. is certified to ISO9001:2008- ansysinfo@ansys.com - http://www.ansys.com*
5. *Katz, D.L., Kobayashi, D., Vary, J.A., Elenbaas, J.R., Poettmann, F.H., Weinaug, C.F. (1956), - Handbook of Natural Gas Engineering, Chapter 16, pp. 597-654, McGraw-Hill Co., New York.*
6. *Khalili, Ebrahim Heybatian, Esmaeil 2009 -Efficiency and heat losses of indirect water bath heater installed in natural gas pressure reduction station evaluating a case study in Iran, the 8th international energy conference*