بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده: مهندسی مکانیک

گروه: حرارت و سیالات

بررسی فنی و اقتصادی سیستم پیش گرمایش آب ورودی به ساختمان‌های مسکونی به روش تجربی

دانشجو: محمد مهدی رضاپور

استاد راهنما:

دکتر علی عباس نژاد

استاد مشاور:

دکتر پوریا اکبرزاده

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

دی ۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: مکانیک

گروه: حرارت و سیالات

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/ خانم محمد مهدی رضاپور

تحت عنوان:

بررسی فنی و اقتصادی سیستم پیش گرمایش آب ورودی به ساختمان‌های مسکونی به روش تجربی

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:	
نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:	
نام و نام خانوادگی:			
نام و نام خانوادگی:			
نام و نام خانوادگی:			

تعهد نامه

اینجانب محمد مهدی رضاپور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سیستم‌های انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان **بررسی فنی و اقتصادی سیستم پیش گرمایش آب ورودی به ساختمان‌های مسکونی به روش تجربی**

راهنمائی دکتر علی عباس نژاد و دکتر پوریا اکبرزاده متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافتهای آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

تقدیم به

همسرم، به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی

سرشار از سلامت و امنیت و آرامش برای من فراهم آورده است.

تقدیر و تشکر

از خداوند متعال سپاسگزارم که توفیق کسب علم و دانش را به من عطا فرمود تا بتوانم این مرحله از علم آموزی را با موفقیت به پایان برسانم. از خانواده عزیزم به خاطر محبت‌های بی‌دریغ که نسبت به من داشته و دارند، کمال تشکر و سپاس را دارم. از استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر عباس نژاد و استاد مشاور آقای دکتر اکبرزده و مهندس زندیه وکیلی مشاور صنعتی شرکت گاز استان گلستان به خاطر راهنمایی‌های ارزشمندشان در کلیه مراحل انجام پایان‌نامه تقدیر و تشکر می‌نمایم.

در انتها از تمامی اساتید محترم دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود که توفیق شاگردیشان را داشتم، سپاس‌گزاری نموده و از خداوند منان آرزوی سلامت و توفیق روزافزون برایشان دارم.

.

چکیده

بازیافت انرژی‌های اتلافی در یک واحد صنعتی و ساختمان نقش مهمی در مدیریت منابع انرژی یک کشور ایفا می‌کنند. تقریباً ۴۰ درصد از انرژی تولید شده در کشور صرف مصارف خانگی و تجاری می‌شود که از کل انرژی این بخش حدود ۲۱ درصد صرف گرمایش آب می‌شود که سهم بسزایی در مصرف انرژی تولید شده خواهد داشت. در این پروژه سعی شده با ساخت مبدل دولوله‌ای انرژی اتلافی در محل استحمام را بازیابی و به چرخه مصرف ارسال شود. آب گرم استفاده شده در حمام بعد از ریخته شدن درون فاضلاب از لوله مسی عبور کرده و لوله مسی دیگری که به دور لوله اولیه پیچیده شده است و محل عبور آب سرد می‌باشد گرمای آب فاضلاب را جذب و باعث پیش‌گرمایش آب ورودی به ساختمان می‌شود. آب پیش‌گرم شده هم می‌تواند مستقیم وارد حمام شود و هم می‌تواند وارد سیستم گرمایش شود و یا به هر دو قسمت ارسال شود که هر حالت بصورت مجزا در این پروژه بررسی شده است. بازدهی مبدل در دبی‌های مختلف بین ۲۰ تا ۴۵ درصد می‌باشد و بیشترین افت فشار ۴۰ بار یا ۴ متر ستون آب که در افت فشار کل تأثیر چشم‌گیری نخواهد گذاشت. در بررسی اقتصادی میزان بازگشت سرمایه با روش ارزش حال خالص محاسبه شده است ازآنجایی که بهای انرژی در حال حاضر به قیمت واقعی خود نرسیده است سعی شده با قیمت صادراتی گاز نیز این مهم بررسی شود که در آخر برای اتصال‌های مختلف مبدل در ساختمان با قیمت داخلی گاز بازگشت سرمایه بین ۷ تا ۱۲ سال و برای قیمت صادراتی بین ۲ تا ۳ سال محاسبه شده است

کلمات کلیدی: بازیافت انرژی، مبدل دولول‌های، پیش‌گرمایش آب، بازگشت سرمایه، روش ارزش حال خالص.

فهرست مطالب

چکیده ز

فهرست مطالب ح

فهرست شکل ک

فهرست جداول ل

فهرست علائم م

فصل۱ روش‌های بازیافت حرارت..... ۱

۱-۱مقدمه..... ۲

۱-۲چشم‌انداز مصرف انرژی درایران..... ۲

۱-۳ اهداف بهینه‌سازی مصرف انرژی ۳

۱-۴انواع مبدل‌های حرارتی..... ۵

۱-۴-۱بازیاب دوار..... ۵

۱-۴-۲مبدلهای حرارتی استاتیک..... ۵

۱-۴-۳ لوله‌های حرارتی..... ۶

۱-۴-۴بازیافت‌گرما از یخچال..... ۶

۱-۴-۵پمپ های حرارتی..... ۷

۱-۵ پیشینه‌تحقیق..... ۷

فصل۲ روش آزمایش و معادلات حاکم..... ۱۷

۲-۱ مقدمه..... ۱۸

۲- ۲معادلات حاکم ۱۸

۲-۲-۱محاسبه بازده مبدل حرارتی ۱۸

۲-۲-۲انتقال حرارت در مبدل حرارتی ۱۸

۲-۲-۳میزان مصرف انرژی درآبگرمکن ۱۹

۲-۳ساخت سازه نگهدارنده مبدل حرارتی.. ..... ۲۰

۲-۴ساخت مبدل حرارتی ۲۱

۲-۵نصب وآزمایش مبدل حرارتی.... ..... ۲۳

۲-۵-۱هدفگذاری..... ۲۴
۲-۵-۲روش آزمایش..... ۲۵
۲-۵-۳ تاثیرعایق در نتایج آزمایش ۲۷
۲-۶ نحوه اتصال سیستم در ساختمان‌های مسکونی ۲۸
۲-۶-۱ داده‌هاوفرضیات انجام شده..... ۲۸
۲-۶-۲ پیش‌گرمایش آب ورودی به حمام وآبگرمکن..... ۳۰
۲-۶-۳ پیش‌گرمایش آب ورودی به آبگرمکن ۳۰
۲-۶-۴ پیش‌گرمایش آب ورودی به حمام..... ۳۱
فصل۳ تحلیل اقتصادی ۳۵
۳-۱مقدمه..... ۳۶
۳- ۲هزینه‌های تولید و جایگاه هزینه‌های انرژی درآن ۳۷
۳-۲-۱هزینه‌های ثابت کل (TFC)..... ۳۷
۳-۲-۲ هزینه‌های متغیر کل(TVC) ۳۷
۳-۲-۳ هزینه‌کل تولید (TC) ۳۹
۳-۲-۴ هزینه نهایی (MC) ۳۹
۳-۳ روشهای بررسی اقتصادی پروژه ۴۰
۳-۳- ۱متدبازگشت سرمایه..... ۴۰
۳-۳-۲ متد ارزش حال خالص ۴۰
۳-۳-۲-۱ نرخ تنزیل ۴۱
۳-۳-۲-۲ نرخ تورم..... ۴۲
۳-۴تحلیل اقتصادی در پروژه پیش‌گرمایش آب ساختمان ۴۴
فصل۴ ارائه نتایج ۴۵
۴-۱ مقدمه ۴۶
۴-۲ نتایج آزمایش دبی‌های یکسان بدون عایقکاری مبدل حرارتی. ۴۶
۴-۳ نتایج آزمایش‌دبی‌های یکسان باعایقکاری مبدل حرارتی. ۴۷
۴-۴ نتایج آزمایش ثابت کردن دبی آب گرم وافزایش دبی آب سرد. ۴۸
۴-۵ نتایج بازدهی و انتقال حرارت در زوایای مختلف ۴۹
۴-۶ نتایج آزمایش افت فشار ۵۷
۴-۷ نتایج نحوه اتصالات مختلف سیستم پیش‌گرمایش آب..... ۵۷

۴-۷-۱حالت اولیه..... ۵۸
۴-۷-۲ پیش‌گرمایش آب ورودی به حمام و آبگرمکن..... ۵۹
۴-۷-۳ پیش‌گرمایش آب ورودی‌به آبگرمکن..... ۵۹
۴-۷-۴پیش‌گرمایش آب ورودی به محل استحمام..... ۶۰
۴-۸ میزان صرفه‌جویی پروژه..... ۶۰
۴-۹ نتایج تحلیل ارزش حال خالص پروژه..... ۶۰
۴-۱۰ عدم قطعیت..... ۶۴
۴-۱۰ آنالیز حساسیت..... ۷۴
فصل۵ نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۷۷
۵-۱نتیجه‌گیری..... ۷۸
۵-۲پیشنهادات..... ۸۰

فهرست شکل‌ها

شکل۱-۱:روند رشد مصرف انرژی درایران ۳
شکل۱-۲:ترکیب دو مخزن جهت بازیافت حرارت ازآب فاضلاب ۸
شکل۱-۳: منبع کویل دارجهت بازیافت حرارت ۹
شکل۱-۴:مبدل حرارتی عمودی دو لوله‌ای بازیافت حرارت ازآب فاضلاب ۱۰
شکل۱-۵:مبدل حرارتی افقی دولوله‌ای بازیافت حرارت ازآب فاضلاب ۱۱
شکل۲-۱:شماتیک کلی از سازه نگهدارنده مبدل حرارتی.....۱۹
شکل۲-۲سازه نگهدارنده مبدل بعد از ساخت ۱۹
شکل۲-۳:نمونه ساخته شده توسط شرکت واترسایکل ۲۰
شکل۲-۴: نمونه ساخته شده نهایی از خم لوله مسی ۲۱
شکل۲-۵:نصب مبدل وآماده سازی جهت آزمایش ۲۲
شکل۲-۶:محل اتصالات سنسورهای دما ۲۶
شکل۳-۷:فشارسنج دیجیتالی جهت محاسبه افت فشار مبدل ۲۷
شکل۲-۸:سنسور دما و نمایشگر استفاده شده در آزمایش ۲۸
شکل۲-۹:ارسال آب پیش‌گرم به محل استحمام وآبگرمکن.....۳۱
شکل۲-۱۰:ارسال آب پیش‌گرم به آبگرمکن ۳۲
شکل۲-۱۱:ارسال آب پیش‌گرم به محل استحمام ۳۳
شکل۳-۱: نمودار هزینه متغیر، هزینه ثابت وهزینه کل ۳۶
شکل۴-۱: تاثیرافزایش دبی برتغییرات انتقال حرارت و بازدهی درشرایط ثابت بودن دبی آب سرد وگرم بدون عایقکاری مبدل ۴۵
شکل۴-۲: تاثیرافزایش دبی بر تغییرات انتقال حرارت و بازدهی در شرایط ثابت بودن دبی آب سرد وگرم با عایق کاری مبدل ۴۷
شکل۴-۳: نمودار تغییرات بازدهی مبدل درشرایط ثابت بودن دبی آب گرم ۴۸
شکل۴-۴:نمودار تغییرات انتقال حرارت در شرایط ثابت بودن دبی آب گرم ۵۰
شکل۴-۵: بازدهی مبدل در دبی ثابت آب گرم ۲ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف ۵۰
شکل۴-۶: بازدهی مبدل در دبی ثابت آب گرم ۴ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف ۵۱
شکل۴-۷: بازدهی مبدل در دبی ثابت آب گرم ۶ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف ۵۲
شکل۴-۸: بازدهی مبدل در دبی ثابت آب گرم ۸ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف ۵۲
شکل۴-۹: بازدهی مبدل در دبی ثابت آب گرم ۱۰ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف ۵۳
شکل۴-۱۰: انتقال حرارت مبدل در دبی ثابت آب گرم ۲ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف ۵۴

شکل۴-۱۱: انتقال حرارت مبدل در دبی ثابت آب گرم ۴ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف ۵۵
شکل۴-۱۲: انتقال حرارت مبدل در دبی ثابت آب گرم ۶ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف..... ۵۵
شکل۴-۱۳: انتقال حرارت مبدل در دبی ثابت آب گرم ۸ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف ۵۶
شکل۴-۱۴: انتقال حرارت مبدل در دبی ثابت آب گرم ۱۰ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف..... ۵۷
شکل۴-۱۵: نتایج آزمایش‌های افت فشار..... ۵۸
شکل۴-۱۶: نمودار مسیر مصرف آب گرم برای استحمام بدون استفاده از مبدل..... ۵۹
شکل۴-۱۷: بازگشت سرمایه با متد ارزش حال خالص هر سه نوع اتصال مبدل با بهای داخلی گاز ۶۴
شکل۴-۱۸: بازگشت سرمایه با متد ارزش حال خالص هر سه نوع اتصال مبدل با بهای صادراتی گاز..... ۶۵
شکل۴-۱۹: آنالیز حساسیت تاثیر عدم قطعیت بر بازگشت سرمایه اتصال نوع اول با بهای داخلی..... ۷۱

فهرست جداول

جدول ۱-۱:محاسبه نرخ تنزیل های مختلف در طی ۱۹ سال..... ۴۲

جدول ۱-۱: ارزش حال خالص حالت اول نصب سیستم در ده سال با نرخ داخلی گاز..... ۶۲

جدول ۱-۲: ارزش حال خالص حالت اول نصب سیستم در ده سال با نرخ صادراتی گاز..... ۶۳

جدول ۱-۳: ارزش حال خالص حالت دوم نصب سیستم در ده سال با نرخ داخلی گاز..... ۶۴

جدول ۱-۴: ارزش حال خالص حالت دوم نصب سیستم در ده سال با نرخ صادراتی گاز..... ۶۵

جدول ۴-۵: ارزش حال خالص حالت سوم نصب سیستم در ده سال با نرخ داخلی بهای گاز..... ۶۶

جدول۴-۶: ارزش حال خالص حالت سوم نصب سیستم در ده سال با نرخ صادراتی بهای گاز..... ۶۷

جدول۴-۷: چهار داده تصادفی سنسور شماره ۱..... ۷۱

جدول ۱-۸: چهار داده تصادفی سنسور شماره ۲..... ۷۱

جدول۴-۹: چهار داده تصادفی سنسور شماره ۳..... ۷۲

جدول۴-۱۰: چهار داده تصادفی سنسور شماره ۳..... ۷۳

جدول۵-۱: خلاصه ای از نتایج بدست آمده در ارتباط با میزان صرفه‌جویی و بازگشت..... ۷۹

فهرست علائم

بازدهی مبدل حرارتی	$\in$
حرارت بازیافت شده	HR
بازدهی آب‌گرم کن	η
دبی آب گرم	m_h
مدت زمان استحمام	p
گرمای ویژه آب	C_p
دمای خروجی آب از آب گرم کن	T_2
دمای ورودی آب از آب گرم کن	T_1
جمعیت خانواده	D
حجم گاز	V
انرژی مصرف شده	C_{rkt}
بازگشت سرمایه	PB
هزینه پروژه	CC
صرفه‌جویی خالص سالیانه	AC
ارزش حال خالص	NPV
ضریب تنزیل	d_t
نرخ بهره	i
شماره سال	n
ارزش واقعی پول در حال حاضر	RV
ارزش واقعی پول در سال N ام	S
هزینه انجام شده	INV
بهای گاز	C_{et}

فصل ۱

روش‌های بازیافت حرارت

۱-۱ مقدمه

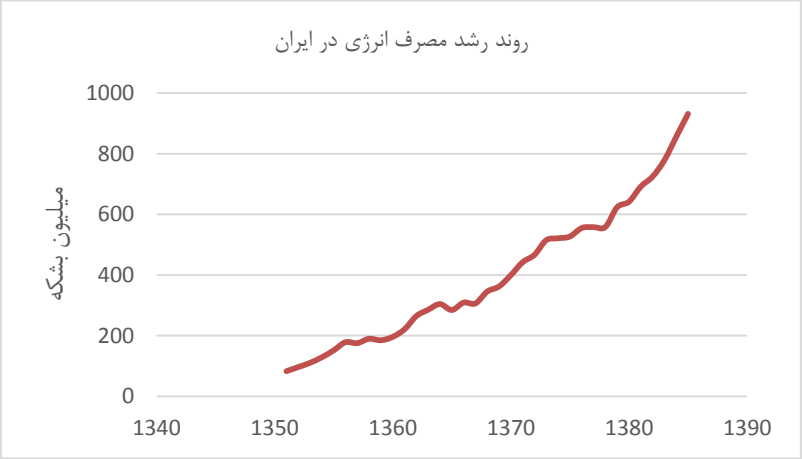
انرژی سرمایه ای گرانبهاست که در صورت استفاده درست و منطقی از آن می‌تواند در هر کشوری باعث پیشرفت در علم، تکنولوژی و رفاه مردم آن جامعه گردد و در غیر این صورت ضررهای جبران ناپذیر اقتصادی و رکود فاحش اقتصادی را موجب خواهد شد و در نهایت میزان مصرف انرژی به‌ازای تولید ناخالص داخلی روز به روز افزایش خواهد یافت

۱-۲ چشم انداز مصرف انرژی در ایران

طبق برآوردهای بانک جهانی ارزش انرژی مصرفی در کشور در حدود ۱۲ میلیارد دلار است که ۳۰ درصد این مقدار یعنی حدود ۴ میلیارد دلار سالانه به دلیل عمر بالای تکنولوژی در صنایع و عدم بهره-وری صحیح از انرژی به هدر می‌رود، و لذا مصرف انرژی در بخش‌های زیادی از صنایع داخلی حدود ۲ برابر کشورهای صنعتی است. در حال حاضر در کشورهای صنعتی به ازای هریک درصد رشد تولید ناخالص داخلی رشد مصرف انرژی معادل یک درصد است که این رقم در کشورما معادل چهار درصد است و این وضعیتی است که کشورهای صنعتی در سال ۱۹۵۰ میلادی داشته‌اند.[۱]

الگوی مصرف انرژی در کشور در بخش تجاری و خانگی حدود ۴۰ درصد و در بخش صنعت حدود ۲۷ درصد مصرف کل انرژی کشور است. از میان انرژی‌های مصرف شده در بخش خانگی حدود ۲۱٪ جهت استفاده در بخش گرمایش آب انجام می‌شود که بخش عمده مصرف آب گرم برای تامین آب جهت استحمام می‌باشد[۲]. ایران با داشتن حدود یک درصد از جمعیت جهان، حدود نه درصد از فرآورده‌های نفتی دنیا را مصرف می‌کند. در سال‌های اخیر رشد مصرف انرژی در جهان سالانه یک تا دو درصد و در ایران پنج تا هشت درصد بوده است؛ به عبارت دیگر رشد مصرف انرژی در ایران پنج برابر رشد متوسط مصرف انرژی در جهان می‌باشد.

به‌طور کلی با احتساب هزینه‌ها سالانه در حدود پنج میلیارد دلار انرژی به‌هدر می‌رود که این رقم از متوسط صادرات غیر نفتی سالانه کشور بیشتر است. به عنوان نمونه در تمامی کشورهای پیشرفته از حرارت خروجی نیروگاه‌های تولید برق به منظور تهیه آب گرم مصرفی برای منازل استفاده می‌شود و با استفاده از این تکنولوژی و بهره‌گیری از گرمای گازهای خروجی نیروگاه توانسته‌اند راندمان نیروگاه‌های خود را تا حدود ۸ درصد افزایش دهند. راهکارهایی همچون استفاده از حرارت های اتلافی در کاهش مصرف انرژی در سطح کلان تاثیر بسزایی دارد که متاسفانه در کشور ایران کمتر به آن توجه می‌شود. شکل ۱-۱روند رشد مصرف انرژی در کشور ایران را از سال ۱۳۵۰ تا سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد.[۲]



شکل ۱-۱: روند رشد مصرف انرژی در ایران[۲]

۱-۳ اهداف بهینه سازی مصرف انرژی

رشد مصرف انرژی به تنهایی یک امتیاز منفی برای کشورها حساب نمی‌شود زیرا در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه معمولا رشد مصرف انرژی به دلیل تغییر در زیر ساخت‌ها و افزایش تولید مصرف انرژی بالاست اما می‌توان با راه‌کارهایی از رشد مصرف انرژی جلوگیری کرد که یکی از آن‌ها بازیافت انرژی‌های اتلافی می‌باشد. مهندسان اینکه چرا بشر به بهینه سازی مصرف انرژی نیاز دارند را به چهار دلیل تقسیم کرده‌اند:

۱) صرفه جویی در هزینه‌ها

مصرف بی رویه انرژی بالاخص سوخت‌های فسیلی، بخشی از درآمد خانواده را بطور مستقیم برای تامین این کالای مصرفی کم دوام هدر می‌دهد. همچنین هزینه‌های درمان و بهداشت خانواده ناشی از آلودگی هوا نیز به طور غیر مستقیم درآمد خانواده ها را از بین می‌برد[۳].

۲)حفاظت از محیط زیست برای آینده

کاهش مصرف انرژی بالاخص سوخت‌های فسیلی، امکان استفاده نسل‌های آینده را از ذخایر طبیعی و کاهش پیامدهای ناسازگار زیست محیطی حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین امکان زیستن در محیط زیست پاک را برای آیندگان فراهم می‌سازد[۳].

۳) توسعه اقتصادی – اجتماعی-فرهنگی

در آمد حاصل از صرفه‌جویی در مصرف سوخت، سرمایه گذاری بیشتری را در زمینه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی فراهم می‌کند[۳].

۴) بالا بردن ضریب بقای منابع انرژی

در نتیجه مصرف کم‌تر انرژی می‌توان منابع انرژی بالاخص سوخت‌های فسیلی مانند نفت و گاز را ذخیره و تا مدت بیشتری از آن‌ها استفاده نمود، در نتیجه مدت زمان بیشتری نیز برای آماده سازی کشور برای مجهز شدن به علوم روز و کسب انرژی از منابع تجدیدپذیر در اختیار می‌باشد[۳].

۱-۴ انواع مبدل های حرارتی

مبدل حرارتی وسیله ای است که برای انتقال حرارت موثر بین دو سیال(گاز یا مایع) به دیگری استفاده می‌شود.در ادامه به انواع مبدل های حرارتی که در بازیافت حرارت نقش دارند پرداخته می‌شود

۱-۴-۱ مبدل حرارتی دو لوله‌ای

ساده‌ترین نوع مبدلی که در صنعت ساخته می شود مبدل حرارتی دو لوله ای است که به آن مبدل سنجاق سری نیز گفته می شود . در این نوع مبدل یکی از سیال ها از درون لوله و سیال دیگر از مجاری بین دو لوله عبور می کند و به این ترتیب عمل انتقال حرارت صورت می پذیرد. در برخی موارد که از مجرای بین دو لوله گاز عبور میکند سطح خارجی لوله داخلی به صورت پره دار ساخته می شود .

از مزایای این نوع مبدل ها می توان به ساخت آسان و هزینه نسبتا کم ، محاسبات و طراحی آسان، کنترل ساده جریانهای سیال در دو مسیر ، نگهداری و تمیز کردن آسان و کاربرد در فشارهای زیاد اشاره کرد . در صنعت معمولا برای سیالاتی که رسوب زا هستند از این نوع مبدل ها استفاده می شود.[۴]

۱-۴-۲ مبدل‌های حراری لوله مارپیچ

این نوع ازمبدل های حرارتی از یک یا چند حلقه لوله مارپیچ تشکیل شده اند که ابتدا وانتهای این لوله مارپیچ به لوله اصلی ورودی و خروجی متصل می شود و محفظه ای اطراف آن را میپوشاند. معمولا جنس لوله های مارپیچ از فولاد کربن دار یا مس و آلیاژ های آن یا فولاد زنگ نزن و آلیاژهای نیکل می باشد. معمولا ابعاد این دسته از مبدل ها در مقایسه با سایر مبدل های لوله ای کمتر است زیرا انتقال حرارت در مسیر های منحنی و پیچ دار بیشتر از مسیر مستقیم است . از معایب و مزایای این نوع از مبدل ها می توان به موارد زیر اشاره کرد :[۴]

معایب :

۱_ به دلیل کوچک بودن لوله مار پیچ تعمیر و جوشکاری آنها مشکل و زمانبر است

۲_ بدلیل مارپیچ بودن لوله ها تمیز کردن انها عملا مشکل است

مزایا :

۱_ راندمان بالا

۲_ مونتاژ آسان

۳_ مقاومت مکانیکی در مقابل انبساط و انقباض

۴_ مناسب برای دبی های کم و بارهای حرارتی پایین

۱-۴-۳ لوله‌های حرارتی

این مبدل حرارتی متشکل است از لوله ای فلزی که طرفین آن کاملاً بسته و آب بندی شده است. جدار داخلی آن دارای آستری از یک نوع ماده نفوذپذیر یا فتیلهٔ حاوی مقدار معینی از یک مایع مبرد است. وقتی یک انتهای لوله گرم شود، مایع مبرد تبخیر شده و گرما را جذب می کند. بخار داغ سپس با حرکت به سمت انتهای دیگر لوله گرمای جذب شده را آزاد می کند. با نصب لوله های حرارتی در سیستم کانال به طوری که هوای خروجی از یک سمت آن جریان یافته و هوای رفت در جهت مخالف، انتقال حرارت از یک جریان هوا به جریان دیگر صورت می گیرد. در زمستان جریان گرما از هوای خروجی به هوای تازه جبرانی سبب پیش گرمایش این هوای سرد می شود و در تابستان این فرآیند برعکس است.[۴]

۱-۴-۴ مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای

مبدل های حرارتی صفحه و قاب از قرار گرفتن یک سری صفحات فلزی در کنار یکدیگر در داخل یک قاب فلزی ساخته می شوند. این صفحات در داخل قاب توسط میله های بلند بهم فشرده می شوند. طول این میله ها در شیارهای فاصله بین دو درپوش را طی می کنند و توسط مهره به درپوش محکم می گردند .واشر اطراف هر صفحه قرار داده می شود تا جریان سیال را در مجرای باریکی بین صفحات هدایت نماید و همچنین از نشت آنها به بیرون جلوگیری کند. در گوشه های هر صفحه مجرایی جهت ورود و خروج سیال گرم و سرد در نظر گرفته شده است و موقعیکه صفحات روی هم فشرده می شوند این محل های سوراخ شده در یک خط مستقیم قرار می گیرند و بدین وسیله هدرهای توزیع سیال در طول مبدل را به وجود می آورند. صفحات می توانند از هر فلزی با ابعاد معین ساخته شوند آنگاه نقوش مختلف توسط پرس و قالبهای مخصوص روی صفحات چاپ گردد. هنگامی که این صفحات در محل خود در کنار یکدیگر قرار می گیرند شیارهای موجود روی صفحات متوالی تشکیل یک سری کانال های باریک جریان را می دهند. و سیال ها از طریق مجرای خیلی باریک و ظریف بین صفحات متوالی عبور می نمایند. در مبدل های مختلف آرایش جریان می توانند متفاوت باشند. یکی از این آرایشها به صورت موازی مختلف الجهت می باشد. در این نوع ارایش جریان های هر کدام از سیالها فقط یک بار ارتفاع صفحات را طی می کنند در حالیکه در آرایشهای چندگذر یک سیال ممکن است ۲ بار و یا بیشتر ارتفاع مبدل را طی نماید[۵.] یکی از امتیازات مهم و اساسی مبدل های حرارتی صفحه و قاب این است که سطح انتقال حرارت مبدل به آسانی از هم جدا می شوند. بعد از برداشتن مهره ها و میله های نگه دارنده و جداسازی صفحه متحرک انتهایی صفحات با لغزیدن روی صفحه باریکی برای معاینه از هم جدا می شوند. این امتیاز که صفحات به آسانی تمیز شوند و یا تعویض گردند باعث شده کاربرد این مبدل ها در صنایع غذایی و لبنیات توسعه یابد . اما از دیگر امتیازات مهمی که این مبدل ها نسبت به مبدل های پوسته و لوله دارند

این است که در مقایسه با مبدل های پوسته و لوله بار حرارتی معینی حدوداً بین یک سوم تا یک چهارم انتقال حرارت لازم دارند .علتش را می توان به صورت زیر خلاصه نمود. توربولانس زیاد به علت حرکت سیال در مجاری باریک و ناهموار سبب افزایش ضریب انتقال حرارت می گردد. فاصله نزدیک به هم صفحات مانند این است که از لوله های با قطر کوچک استفاده شده است که این ضریب انتقال حرارت را افزایش می دهد. توربولانس زیاد سبب تقلیل سرعت کثیف شدن می شود . کاهش سطح انتقال حرارت باعث کاهش حجم و وزن می شود.

۱-۴-۵ مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله

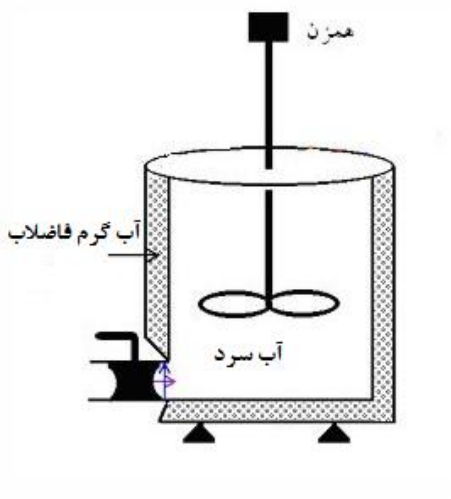
متداولترین و پرکاربردترین نوع مبدل های حرارتی که در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد مبدل های حرارتی لوله- پوسته می باشد که برای کاربرد های مختلف و در اندازه های گوناگون طراحی و ساخته می شود .از این نوع مبدل ها به منظور تبخیر یک مایع یا کندانس کردن یک بخار و یا انتقال حرارت بین دو مایع استفاده می شود. این نوع از مبدل ها از تعداد زیادی لوله حاوی سیال که بخش خارجی آن با سیال دیگر در تماس می باشد تشکیل یافته و عمل انتقال حرارت از طریق سطح واسط که همان بدنه یا جداره لوله است امکان می پذیرد پس باید جنس لوله ها به گونه ای انتخاب گردد که علاوه بر استقامت ، رسانای خوب گرما نیز باشد. در مبدل های لوله-پوسته معمولا دو صفحه از جنس فلز در ابتدا و انتهای مبدل قرار می گیرد که به تعداد لوله های داخل مبدل بر روی این ورقه ها سوراخ ایجاد شده است و این لوله ها به صفحه لوله از طریق جوش یا به طریقه مکانیکی متصل شده اند. دو سر مبدل یعنی سر جلویی و عقبی مبدل به گونه ای طراحی و ساخته می شود که سیال از یک سر مبدل وارد شده و به سمت ورودی لوله ها هدایت شود و پس از عبور از لوله ها وارد سر عقبی شده و در آنجا جمع آوری گردد. هنگامی که سطح انتقال حرارت لازم برای مبدل های دو لوله ای زیاد شود ، بهتر است از مبدل

های پوسته و لوله استفاده شود. مبدل های پوسته و لوله به طور وسیعی در فرایند های انتقال حرارت برای کاربردهای مایع/مایع و همچنین در کندانسورها و مولدهای بخار استفاده می شوند . این مبدل ها برای انتقال حرارت مشخصی سطح کمتری به نسبت مبدل های لوله ای اشغال می کنند. [۵]

۱-۵ پیشینه تحقیق

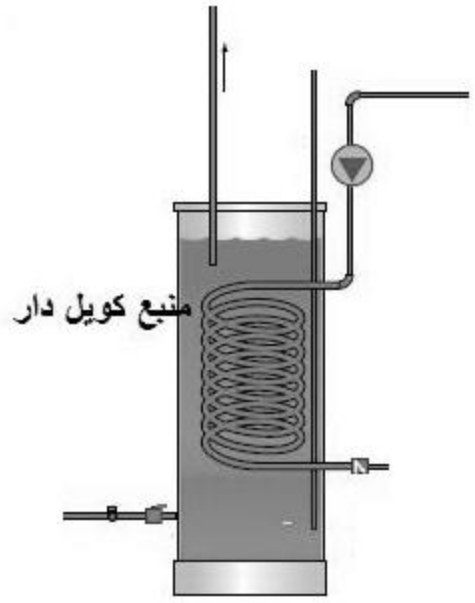
با توجه به افزایش روز افزون تقاضا برای آب گرم در منازل و ساختمان های تجاری و اتلاف حرارتی بالا، شرکت های زیادی برای بازیافت حرارت از حرارت آب گرم استفاده شده، تلاش کردند. درواقع موفقیت این شرکت‌ها در گرو ارائه یک مبدل حرارتی بهینه بود که بتواند با توان بالایی حرارت را از آب گرم ورودی به فاضلاب به آب سرد ورودی به منازل انتقال دهد.

در سال ۱۹۷۰ آقای اسمیت[۶] از موسسه تحقیقاتی کرانفیلد انگلستان، مخزن کوچک را درون مخزنی بزرگتر قرار داد درون مخزن کوچک آب سرد و مخزن بزرگتر آب گرم استفاده شده قرار داشت. آزمایشات انجام شده توسط آقای اسمیت بازدهی سیستم طراحی شده را ۱۰٪ نشان می‌داد. سادگی ساخت و تعمیرات آسان از مزیت‌های این سیستم بود اما نشت مخزن و ترکیب آب فاضلاب و آب ورودی به منزل همیشه افراد ساکن را تهدید می کرد. شکل ۱-۳ نمونه‌ای از این مخزن را نشان می‌دهد.



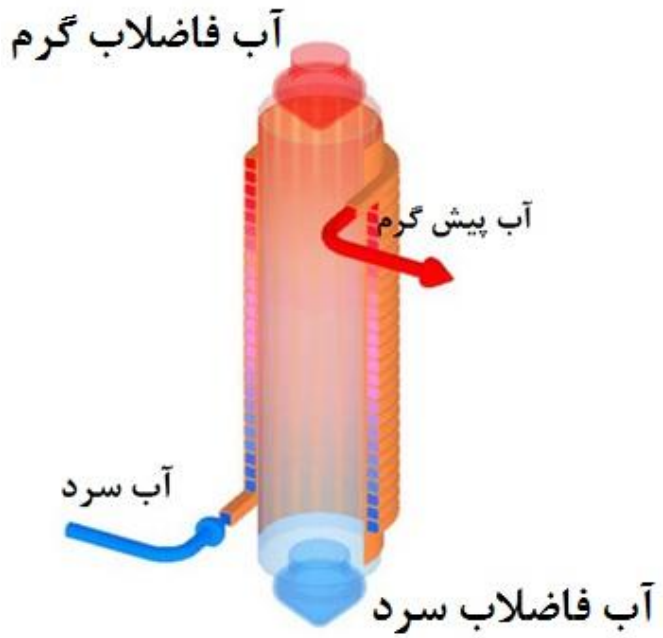
شکل ۱-۲: ترکیب دو مخزن جهت بازیافت حرارت از آب فاضلاب[۴]

در ادامه تحقیقات آقای اسمیت، در سال ۱۹۸۰ آقایان پارکر و توکر[۷] آب ورودی به منزل را به جای اینکه درون مخزن کوچک وارد کنند مخزن کوچک را حذف و به جای آن لوله حلقوی کویل شکل را درون مخزن بزرگتر قرار دادند بدین شکل افزایش سطح تماس آب سرد و گرم افزایش انتقال حرارت را منجر می‌شد و در نوع خود یک موفقیت در این راه به حساب می‌آمد؛ اما از مشکلات این طرح علاوه بر نشت لوله و خطر آلودگی به اشغال فضای زیاد می توان اشاره کرد. شکل ۱-۳ مخزن آب گرمی را نشان می‌دهد که با عبور آب سرد از لوله کویل شکل آن را پیش گرم می‌کند.



شکل ۱-۳: منبع کویل دار جهت بازیافت حرارت[۵]

تحقیقات با ادغام انرژی خورشیدی و استفاده از بازیافت حرارت ادامه داشت تا سرانجام در سال ۲۰۰۶ شکل جدیدی از سیستم بازیافت حرارت آب فاضلاب توسط زالوم و جان گاسدروف در مرکز تحقیقات بهینه‌سازی انرژی در کانادا طراحی شد و مورد آزمایش قرار گرفت. در این سیستم لوله مسی ۰/۵ اینچی به دور لوله مسی ۳ اینچی بطور مارپیچ قرار می‌گرفت و با عبور آب فاضلاب از لوله ۳ اینچی و عبور آب سرد از لوله ۰/۵ اینچی عمل انتقال حرارت صورت می‌گرفت. مزیت این سیستم تشکیل فیلم جریان در لوله ۳ اینچی است که منجر به افزایش سطح تماس می‌شود و انتقال حرارت را افزایش می-دهد.[۸]



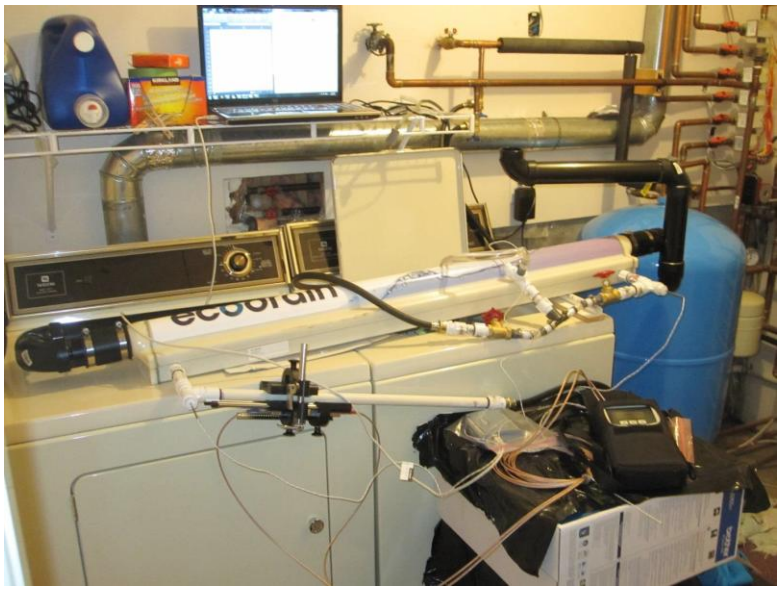
شکل ۱-۴: مبدل حرارتی عمودی دولوله ای بازیافت حرارت از آب فاضلاب [۶]

در سال ۲۰۰۹ آقای وانگ و همکارانش [۹] از دانشگاه پلی‌تکنیک چین مقاله‌ای را تحت عنوان "بازیافت حرارت از دوش آب در منازل مسکونی" انتشار دادند که در آن به بررسی میزان جذب گرمای اتلافی در دوش به کمک مبدل افقی پرداختند. آن‌ها از مدل آزمایشگاهی برای به‌دست آوردن تعداد بهینه واحدهای انتقال حرارت (NTU)[1] استفاده کردند. در نتیجه آن‌ها اثبات کردند که تنها به میزان ۴ تا ۱۵٪ از حرارت اتلافی دوش را می‌توان با کمک یک مبدل ۱/۵ متری تک مسیره بازیابی نمود.

سرانجام در سال ۲۰۱۳ فرانکوسکی همین مبدل حرارتی دولوله‌ای زالوم را که در شکل ۱-۴ مشاهده می‌نمایید به شکل افقی طراحی کرد. او اعتقاد داشت تعبیه مکانی برای این مبدل در ساختمان کمی دشوار است برای همین مبدل حرارتی افقی که در کف محل استحمام قرار می‌گیرد طراحی کرد که نمونه ساخته شده و در حال آزمایش آن را در می‌توان در شکل ۱-۵ مشاهده کرد. نتایج این آزمایش بازدهی

[1]Number of Thermal Units

کم‌تری نسبت به حالت عمودی را دارد و در حالت‌هایی که نصب مبدل دشوار است اسـتفاده از ایـن روش راه حل مناسبی برای بازیافت حرارت آب گرم فاضلاب را می‌باشد[۱۰]



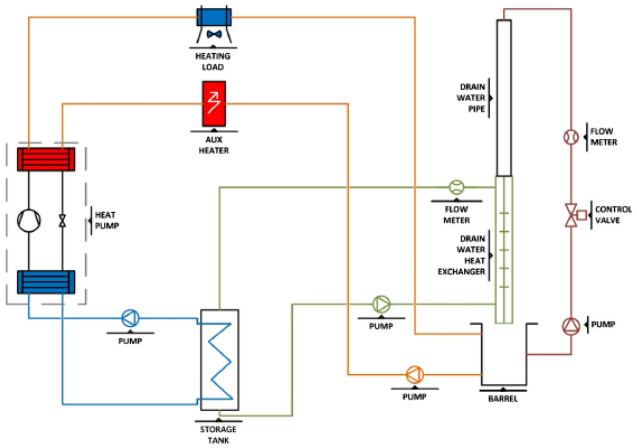
شکل ۱-۵: مبدل حرارتی‌افقی‌دولوله ای بازیافت حرارت ازآب فاضلاب[۷]

در پروژه حاضر بررسی های لازم برای عملکرد مبدل عمودی در کشور عزیزمان ایران پرداخته می-شود و سعی می‌شود به پتانسیل بومی‌سازی این سیستم در ایران پرداخته شود. در این پروژه ابتدا مبدل با دبی‌های یکسان آب گرم و سرد بررسی و سپس تاثیر استفاده از عایق حرارتی در بازدهی مبدل بررسی خواهد شد. در مرحله بعد با ثابت نگه داشتن دبی آب گرم دبی آب سرد را افزایش داده و طیف وسیعی از استفاده‌های این مبدل بررسی می‌شود که خروجی‌های این مرحله بازدهی مبدل و میزان انتقال حرارت می‌باشد. در مرحله آخر جهت بررسی میزان سودآوری پروژه آب پیش گرم شده را به سه طریق به منظور هدف خاص به مجموعه بر می‌گردانیم این هدف دبی ۱۰ لیتر بر دقیقه و دمای ۴۵ درجه برای استحمام در ۱۵ دقیقه می‌باشد. در محاسبه بازگشت سرمایه این محصول این اعداد نقش مهمی را ایفا می‌کنند در

واقع بازگشت سرمایه در این پروژه علاوه بر بحث فنی به نحوه مصرف مصرف‌کننده‌ها نیز بستگی دارد. تفاوت در میزان زمان استحمام و دمای آسایش در حمام به الگوی مصرفی هر کشوری بستگی دارد میزان زمان استفاده از حمام در کشورهای توسعه یافته حدود ۵ دقیقه می‌باشد [۱۱]. از آب پیش‌گرم شده به سه صورت میتوان استفاده کرد. ابتدا آب پیش‌گرم شده به دوقسمت تقسیم می‌شود که قسمتی وارد سیستم گرمایش و قسمت دیگر وارد محل استحمام می‌شود در مرحله دوم آب پیش‌گرم شده به سمت سیستم گرمایش ارسال می‌شود و در مرحله آخر تمام آب پیش‌گرم شده به محل استحمام خواهد رفت. در هر حالت میزان انرژی مصرف شده توسط آب گرم کن محاسبه خواهد شد و میزان صرفه‌جویی مبدل حرارتی در هر مرحله بدست خواهد آمد. در تحلیل اقتصادی سعی شده یک بار با نرخ داخلی و بار دیگر با نرخ صادراتی میزان بازگشت سرمایه محاسبه شود در واقع فرض می‌شود بجای اینکه این گاز دوباره به چرخش مصرف داخلی دربیاید به حجم گازهای صادراتی اضافه و فروخته شود. بازگشت سرمایه به روش ارزش حال خالص بررسی شده است. در این روش تورم و بهره بانکی در محاسبات لحاظ می‌گردد زیرا سرمایه گذار می‌توانست این مبلغ سرمایه گذاری را در بانک گذاشته و از سود بانکی بهره‌مند شود از طرفی تورم در جامعه ارزش پولی را سالیانه کاهش داده و در این پروژه این مهم در قیمت گاز تاثیر خواهد گذاشت. درست است که تورم در کشور در حال حاضر ۳۰٪ است اما این بدان معنی نیست که سالیانه ۳۰٪ بهای گاز افزایش پیدا خواهد کرد. از آنجایی که قیمت گاز توافقی بین دولت و مجلس است و بستگی به برنامه ها و استراتژی مدیریت کشور دارد افزایش قیمت گاز در ده سال آینده از ۰ تا ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است این تغییرات در شرایط عادی جامعه طبیعی است و با مطالعه تغییر قیمت گاز در سال‌های گذشته و مشاوره با بخش پژوهش شرکت گاز استان تهران این اعداد لحاظ گردیده است. تغییرات قیمت گاز به طور سالانه در این پروژه ۱۰،۵،۰ و ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است و با کمک آنالیز حساسیت اثر هرکدام از این ضرایب در بازگشت سرمایه محاسبه شده است. در آخر در بررسی هر

پروژه اندازه‌گیری ضرورت بررسی عدم قطعیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا این عدم قطعیت است که درستی یا نادرستی پروژه را نشان می‌دهد. در اکثر مواقع عدم قطعیت برای هر آزمایشی استاندارد خاص خود را دارد اما اگر این استانداردها موجود نبودند آنالیز حساسیت نشان خواهد داد که در بالاترین و پایین ترین حد تغییرات اندازه‌گیری در نتایج نهایی چه تاثیری خواهد گذاشت اگر تغییرات نتایج بشدت چشم‌گیر باشد باید در اندازه‌گیری دقت بیشتری به خرج داده شود.

در سال ۲۰۱۴ آقایان والیان[1] و کلاسون[2] در آزمایشگاه با مبدل حرارتی عمودی آقای زالوم که در سال ۲۰۰۶ طراحی کرده بود سیستم بسته ای را فراهم کرد در این آزمایش به کمک پمپ حرارتی بازیافت حرارت در سیستم تقویت شد و همچنین بازدهی و میزان انتقال حرارت بررسی شد تحقیقات حاکی از افزایش ۱۰ درصدی بازدهی سیستم به کمک پمپ حرارتی می‌باشد[۲۴]



شکل ۱-۶: نمودار سیستم بسته آزمایشگاهی آقایان والیان و کلاسون

همچنین در سال ۲۰۱۴ آقایان دیپاک[3] و کردانا[4] مبدل حرارتی عمودی دو لوله ای مسی که توسط آقای زالوم طراحی شده بود را برای استفاده در بخش خانه های تک واحدی مورد بررسی قرار داد در این

[1] - Jörgen Wallin
[2] - Joachim Claesson
[3] - J_ozef Dziopak
[4] - Sabina Kordana

پروژه میزان بازگشت سرمایه و میزان انتقال حرارت مبدل در آب و هواهای متفاوت در اروپا بررسی شد. با توجه به بهای انرژی در کشورهای اروپایی این پروژه برای خانوارهای تک واحدی بسیار مفید و با بازگشت سرمایه ۲/۵ تا ۴ سال روبرو می‌باشد.دلیل این اختلاف بازگشت سرمایه در کشورهای مورد بررسی میزان بهای انرژی و دمای آب ورودی به ساختمان ها و تفاوت در الگوی مصرفی آنها بوده است.

فصل ۲

روش آزمایش و معادلات حاکم

۲-۱ مقدمه

در این بخش به بررسی ساخت و روش آزمایش سیستم مورد نظر و همچنین معادلات استفاده شده در بررسی عملکرد سیستم پرداخته خواهد شد. برای جلوگیری از تکرار مکررات تا آنجایی که امکان داشته از آوردن بحث های ابتدایی در مورد مبدل‌ها جلوگیری شده و ارجاع به مرجع مربوطه در دستورکار قرار گرفته شده است. در این آزمایش از مبدل حرارتی ناهمسو استفاده شده است زیرا اختلاف دما متوسط در حالت ناهمسو برای جریان های ورودی و خروجی بیشتر از حالت همسو می‌باشد در نتیجه انتقال حرارت بهتر صورت می‌گیرد.

۲-۲ معادلات حاکم

نظریه و معادلات خاص برای مبدل دو لوله‌ای با لوله مارپیچ وجود ندارد؛ بنابراین در این فصل بیشتر به بررسی معادلات کلی برای مبدل‌های حرارتی پرداخته شده است که باتوجه به توضیحات در قسمت مقدمه معادلات بر اساس انتخاب مبدل حرارتی ناهمسو انتخاب شده اند.

۲-۲-۱ محاسبه بازده مبدل حرارتی

بازده مبدل حرارتی به دماهای ورودی و خروجی سیال سرد و دمای ورودی سیال گرم و همچنین دبی های سیال گرم و سرد وابسته است که معادله (۲-۱) نحوه محاسبه بازدهی مبدل حرارتی را نشان می‌دهد؛ که در آن T_{cin} نشان دهنده دمای آب سرد سیال ورودی است و T_{co} نشان دهنده دمای آب پیش گرم خارج شده و T_{hin}دمای آب گرم که در این جا آب فاضلاب می باشد؛ و$\dot{m}_{cin}$ دبی آب سرد ورودی به مبدل حرارتی می‌باشد[۱۲].

$$\in = \frac{T_{co} - T_{cin}}{T_{hi} - T_{cin}} \times \frac{\dot{m}_{cin}}{\dot{m}_{min}} \qquad (۲-۱)$$

همچنین $\dot{m}_{min}$ با کمینه مقدار $\dot{m}_{cin}$ و $\dot{m}_{hin}$ برابر است. البته در صورت و مخرج دبی آب سرد و یا دبی آب گرم در گرمای ویژه به ترتیب آب سرد یا گرم ضرب می شود اما از آنجا که با توجه به جدول گرمای ویژه آب بر اساس دما در محدود کاری آزمایش انجام شده اختلاف گرمای ویژه آب سرد و گرم ۰/۰۱ می‌باشد این دو بطور تقریبی باهم برابر فرض شده است و از صورت و مخرج ساده شده‌اند.

۲-۲-۲ انتقال حرارت در مبدل حرارتی

میزان حرارت بازیافتی در مبدل حرارتی به دبی جریان و دماهای ورودی و خروجی وابسته است که معادله (۲-۲) گویای این مطلب می‌باشد که در آن C_p گرمای ویژه آب می‌باشد و همان طور که در قسمت قبل توضیح داده شده است گرمای ویژه آب سرد و گرم برابر فرض شده است. میزان گرمای گرفته شده توسط آب سرد درواقع بازیافت حرارتی در این آزمایش تلقی می‌شود[۱۲].

$$HR = \dot{m}_{cin} \times C_p \times (T_{c,o} - T_{c,in}) \qquad (۲-۲)$$

HR توان گرمای بازیافت شده می‌باشد که بر حسب کیلوژول می‌باشد

۲-۲-۳ میزان مصرف انرژی در آب گرم کن

اگر C_{rit} بیانگر میزان انرژی مصرف شده در آب گرم کن می‌باشد اندیس i بیانگر نوع آزمایش است. از آنجایی که آب پیش‌گرم شده با سه نوع اتصال به سه صورت می‌تواند در مجموعه مصرف شود آزمایش‌ها به سه نوع تقسیم شده‌اند که اندیس i به این ترتیب اعداد یک تا سه را به خود می‌گیرد زمانی که $i = 0$ باشد بدین معناست که مجموعه بدون مبدل حرارتی و در شرایط عادی است و C_{r0t} بیانگر انرژی مصرف شده بدون استفاده از مبدل حرارتی می‌باشد. میزان مصرف انرژی در حالت i را می‌توان از معادله (۲-۳) محاسبه کرد[۱۳] که در آن η بازد هی آبگرمکن می‌باشد؛ که با توجه به اطلاعات شرکت سازنده مقدار

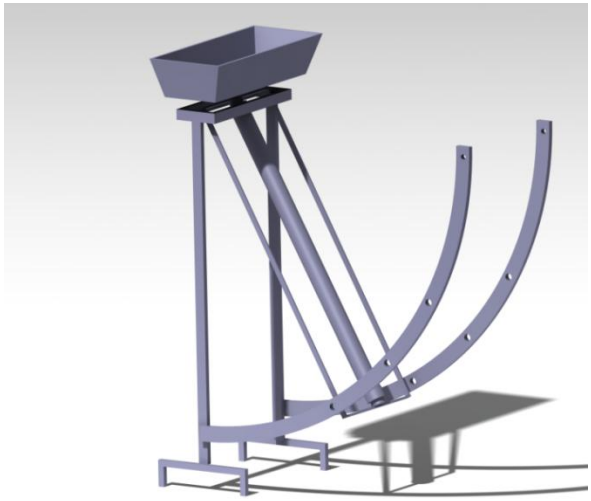
آن ۷۵٪ محاسبه شده است. T_1 و T_2 به ترتیب دمای آب ورودی و آب خروجی از آب‌گرم کن می‌باشد. در حالتی که آب ورودی به آب گرم کن آب سرد باشد مقدار آن در این آزمایش ۲۶ درجه می‌باشد.d در این معادله نشان دهنده تعداد افراد خانواده می‌باشد که میانگین این عدد در کشور چهار لحاظ شده است و p زمان استفاده از حمام بر حسب دقیقه می‌باشد که در کشورهای پیشرفته ۵ دقیقه اما در کشور ایران با تحقیقات انجام شده این عدد ۱۵ دقیقه می‌باشد.$m_{\dot{h}}$ نیز دبی آب گرم استفاده شده در حمام می‌باشد و بر حسب لیتر بر دقیقه است. در این رابطه c_p را بر حسب ژول بر کیلوگرم کلوین (۴/۱۸) قرار داده تا C_{rit} بر حسب کیلوکالری در سال بدست آید. با توجه به ارزش حرارتی گاز طبیعی که ۸۶۰۰ کیلوکالری بر مترمکعب می‌باشد[۱۵] تقسیم معادله (۲-۳) بر ارزش حرارتی گاز مترمکعب گاز مصرف شده بدست خواهد آمد که در معادله(۲-۴) با v نشان داده شده است

$$C_{rkt} = \frac{150.d.p.\dot{m_h}.c_p.(T_2-T_1)}{\eta} \qquad (۲-۳)$$

$$v = \frac{C_{rkt}}{8600} \qquad (۲-۴)$$

۲-۳ ساخت سازه نگهدارنده مبدل حرارتی

جهت نگهداری مبدل برای آماده سازی مرحله آزمایش به سازه‌ای احتیاج است که بتواند وزن مبدل را تحمل کند همچنین سازه باید توانایی نگهداری یک سینک که در واقع شبیه‌سازی محل خروجی آب حمام به فاضلاب می‌باشد را داشته باشد. نکته ای دیگر در طراحی این سازه توانایی نگهداری مبدل در زوایای ۳۰،۴۵،۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به حالت عمودی را داشته باشد تا بازدهی مبدل در زوایای مختلف نیز بررسی شود. قبل از ساخت به کمک نرم افزار شماتیک کلی طراح رسم شد که درشکل ۲-۱ مشاهده می‌شود. شکل ۲-۲ طرح ساخته شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱: شماتیک کلی از سازه نگهدارنده مبدل حرارتی

شکل ۲-۲ سازه نگهدارنده مبدل بعد از ساخت

۲-۴ ساخت مبدل حرارتی

مبدل حرارتی این پروژه از نوع مبدل دو لوله‌ای می‌باشد که از پیچش لوله مسی با قطر ۱۰ میلیمتر

به دور لوله مسی ۳ اینچی ساخته شده است. ابعاد انتخاب شده بر اساس کاتالوگ‌ها و شرکت‌های سازنده مختلف می‌باشد از کاتالوگ‌های ارائه شده توسط این شرکت‌ها بهترین بازدهی مبدل با قطر ۳ اینچ برای لوله آب فاضلاب و قطر ۱۰ میلیمتر برای لوله مارپیچ می‌باشد بدین ترتیب این ابعاد برای آزمایش انتخاب شده است. شکل ۲-۳ نمونه ساخته شده این مبدل با این ابعاد در شرکت واترسایکل[1] را نشان می-دهد[۱۴]

یکی از مشکلات ساخت این مبدل خمش لوله مسی با قطر ۱۰ میلیمتر بوده است؛ زیرا در این ابعاد هنگام خمش لوله، لوله مسی دوپهن می‌شود. از طرفی ابزاری که در صنعت موجود می‌باشد جهت خمش لوله مسی در یک سطح است که در کولر سازی‌ها و یخچال سازی‌ها کاربرد دارد. اما شرکت های تولید انبوه این مبدل‌ها از دستگاه های اتوماتیک خمش لوله مسی استفاده می‌کنند که به دلیل کاربرد نداشتن آن در صنعت امروز در کشور موجود نمی‌باشد. روش‌هایی از جمله پر کردن لوله با نمک یا ماسه بادی و پیچاندن آن با دست موجود می‌باشد که محصول بدست آمده از کیفیت خوبی برخوردار نمی‌باشد.

[1]-Watercycles

شکل ۲-۳: نمونه ساخته شده شرکت واترسایکل[۱۴]

در نهایت لوله مسی با روش ابتکاری خم زده شده به شعاع خم ۱,۵ اینچ و قطر ۱۰ میلیمتر (شکل ۲-۴) آماده جوشکاری به لوله مسی ۳ اینچ می‌باشد. بخاطر انعطاف پذیری لوله مسی و برگشت خم لوله جهت اتصال کامل لوله خم زده شده و لوله ۳ اینچی جوشکاری لازم می‌باشد. ناگفته نماند برای جوشکاری دو لوله مسی به هم از جوش کاربید استفاده می‌شود.

شکل ۲-۴: نمونه ساخته شده نهایی از خم لوله مسی

۲-۵ نصب و آزمایش مبدل حرارتی

همان طور که در شکل ۲-۵ مشاهده می‌شود مبدل حرارتی بر روی سازه نگهدارنده متصل شده و آماده تست می‌باشد. اتصال لوله آب سرد به لوله مسی ۱۰ میلیمتری و تعبیه خروج آب گرم از لوله ۳ اینچی به درون فاضلاب و اتصال سنسورهای دماسنج به قسمت هایی مورد نیاز و آماده سازی آب گرم کن باید قبل از آزمایش صورت گیرد.

شکل ۲-۵: نصب مبدل و آماده سازی جهت آزمایش

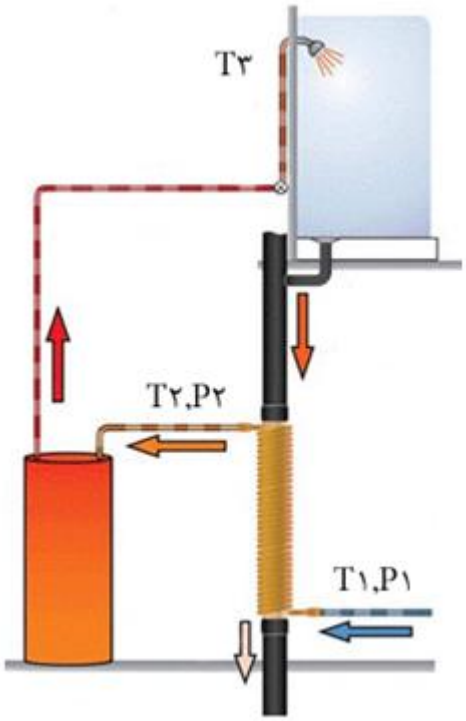
۲-۵-۱ هدف گذاری

در این مرحله آب ۵۸ درجه توسط آب گرم کن تولید می‌شود. دلیل انتخاب این دما برای آزمایش این بوده است که معمولا دمای پیش فرض سیستم‌های گرمایش ۶۰ درجه می‌باشد. دمای آسایش برای استحمام طبق الگوی مصرفی کشور ایران ۴۵ درجه در نظر گرفته شده است بدین ترتیب برای شبیه‌سازی آب مصرفی در حمام آب خارج شده از آب‌گرم کن با آب سرد ورودی به ساختمان مخلوط و مخلوط آن‌ها به دمای ۴۵ درجه رسانده می‌شود. با اندازه‌گیری دمای پیش‌گرم و دبی‌های آب سرد و گرم بازدهی مبدل حرارتی و میزان انتقال حرارت صورت گرفته محاسبه خواهد شد. همچنین آزمایش افت فشار مبدل حرارتی به جهت بررسی لزوم نصب پمپ با اجرای این سیستم در منزل ضروری است زیرا در صورت

نصب پمپ در بررسی اقتصادی انرژی مصرفی پمپ و هزینه های نصب و نگهداری نیز باید لحاظ شود.

۲-۵-۲ روش آزمایش

بعد از نصب مبدل بر روی سازه و نصب آب سرد و گرم به مبدل ۳ سنسور برای اندازگیری دما نصب می‌شود که درشکل ۲-۶ محل های نصب سنسور با T مشخص شده است برای اندازگیری افت فشار به ورودی و خروجی لوله ۱۰ میلیمتری (محل عبور آب سرد) یک سراهه متصل می‌شود و از هر کدام به جریانی به سمت فشار سنج می‌رود که در شکل ۲-۷ فشار سنج مورد نظر را مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۶: محل اتصالات سنسور های دما

شکل ۲-۷: فشار سنج دیجیتالی جهت محاسبه افت فشار مبدل

بعد از باز کردن آب سرد و گرم باید با رسیدن به حالت پایا شروع به اندازه‌گیری دماها کرد و برای هر حالت سه بار اندازه گیری انجام می‌شود و میانگین آن‌ها برای محاسبات لحاظ می‌شود. یک مرحله دبی آب سرد و گرم را برابر گرفته و تغییرات دما را یادداشت برداری کرده و با انجام محاسبات تاثیر افزایش دبی‌ها را بر بازدهی و انتقال حرارت مشاهده می‌شود؛ و در مرحله بعدی با ثابت کردن دبی آب گرم دبی آب سرد را افزایش داده تا طیف وسیعی از نمودارهای بازدهی و انتقال حرارت بر اساس دبی را بدست آورده و از آن در بازگشت سرمایه این سیستم استفاده شود. نمونه‌ای از سنسور دما که در آزمایشگاه مورد استفاده قرار گرفته است را در شکل ۲-۸ مشاهده می‌شود. دبی‌های اندازه‌گیری شده ۸،۶،۴،۲ و ۱۰ لیتر بر دقیقه می‌باشد. اندازه‌گیری دبی به کمک بشر دو لیتری و تایمر در آزمایشگاه صورت گرفته است. هدف از اینکه طیف وسیعی از دبی ها مورد آزمایش قرار بگیرد این است که این مبدل می‌تواند در کاربردهای وسیعی استفاده شود که یکی از آن‌ها منازل مسکونی می‌باشد.

شکل ۲-۸: سنسور دما pt100 *با دقت دهم درجه*

۲-۵-۳ تاثیر عایق در نتایج آزمایش

در این مرحله برای مشاهده تاثیر عایق در نتایج آزمایش، آزمایشات را یکبار دیگر بدون عایق انجام داده می‌شود. ناگفته نماند فقط مرحله برابر بودن دبی های آب سرد و گرم و تاثیر افزایش آن‌ها بر تغییرات دما آزمایش گرفته می‌شود. تفاوت نتایج با حالت اولیه نشان دهنده تاثیر عایق در بهینه‌سازی کارکرد مبدل می‌باشد.عایق حرارتی از جنش پشم شیشه و با ضخامت ۸ سانتی‌متر می‌باشد که به دور کل مبدل پیچیده می‌شود تا از انتقال حرارت لوله مسی با هوا جلوگیری شود.

۲-۶ آزمایش بازدهی مبدل در زوایای مختلف

از آنجا که امکان دارد مبدل حرارتی با توجه به نامناسب بودن موقعیت نصب زاویه قرارگیری آن فرق کند بازدهی مبدل و انتقال حرارت آن در زوایای مختلف بررسی شده است این زوایا ۶۰،۳۰ و ۹۰ درجه می‌باشد فرضیات و معادلات حاکم تغییری نخواهدکرد. در هر زاویه نام برده شده بازدهی و میزان انتقال حرارت آزمایش می‌شود و با یکدیگر مقایسه می‌شود.

۲-۷ نحوه اتصال سیستم در ساختمان های مسکونی

آب پیش‌گرم شده می‌تواند به سه طریق مورد استفاده قرار گیرد در مرحله اول آب پیش‌گرم شده به دو قسمت تقسیم شده و قسمتی به محل استحمام و قسمت دیگر به آب‌گرم کن فرستاده می‌شود. در مرحله دوم آب پیش‌گرم شده به طور کامل وارد آب گرم کن می‌شود و در مرحله سوم آزمایش آب پیش-گرم شده بطور کامل به محل استحمام برده می‌شود که در قسمت های بعدی توضیح داده شده‌است. در هر مرحله همان‌طور که در شکل‌ها نشان می‌دهد سیستم متصل و دما ها و دبی ها اندازه‌گیری شده است و در۲-۳ جایگذاری شده است و در نهایت انرژی مصرف شده در آبگرم کن در هر حالت با این معادله بدست می‌آید؛ و با دانستن ارزش حرارتی سوخت می‌توان میزان مصرف صرفه‌جویی سوخت را محاسبه کرد. قبل از آزمایشات برای حالت های مختلف ابتدا باید حالت قبل از نصب مبدل را بررسی کرد.

۲-۷-۱ داده ها و فرضیات انجام شده

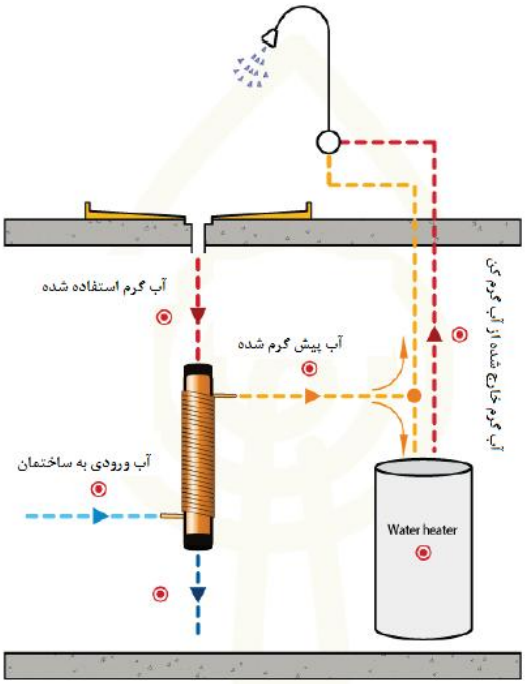
طبق تحقیقات انجام شده میزان دبی استفاده شده در ایران برای حمام بین ۱۰ تا ۱۲ لیتر بر دقیقه می‌باشد که در این پروژه دبی استحمام ۱۰ لیتر بر دقیقه گرفته‌شده است[۱۱] همچنین درجه حرارت سیستم گرمایش بین نیز طبق استانداردهای ارائه شده ۶۰ درجه سانتی گراد تنظیم شده است[۱۱]. برای استحمام در شرایط مناسب حالت‌های مختلفی از ترکیب دبی و دمای سیستم گرمایش موجود می‌باشد در آزمایشگاه برای اندازه گیری باید یک پارامتر را ثابت فرض کرد و پارامتر دیگر (دما یا دبی) را اندازه‌گیری کرد و در معادله (۲-۳) جهت محاسبه میزان انرژی مصرف شده جایگذاری کرد. دمای آب ساختمای آزمایشگاه همیشه ۲۶ درجه سانتی گراد می‌باشد این در حالی است که دمای آب ورودی به ساختمان بین ۸ تا ۱۲ درجه در طول سال تغییر می کند[۱۱]، اما چون میزان انتقال حرارت اهمیت دارد و بازدهی بر اساس تقسیم کمترین و بیشترین اختلاف دما است این موضوع تاثیر قابل توجهی در نتایج نخواهد داشت. دمای آسایش استحمام طبق استانداردهای ارائه شده بی ۳۸ تا ۴۵ می‌باشد [۱۱] که در این پروژه دمای

آسایش همان ۴۵ درجه در نظر گرفته شده است.

در مراحل مختلف نحوه اتصالات که در قسمت های بعد مطالعه خواهید کرد خواهید دید دبی ها بگونه ای تنظیم می‌شوند که دمای استحمام به ۴۵ درجه برسد. چون پارامتر دمای آب گرم نیز متغیر دیگر ما می‌تواند باشد می‌توان نتیجه گرفت حالت های بیشماری وجود دارد که با دماهای آب گرم مختلف و ترکیب دبی‌های مختلف می‌توان به دمای آسایش ۴۵ درجه رسید بر این اساس دمای آب گرم‌کن را ثابت فرض کرده و از آنجا که در سیستم‌های گرمایش بطور پیش فرض این دما ۶۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود. در این آزمایش نیز دمای آب گرم در حالت های مختلف ۶۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است. در ادامه با سه نوع از نحوه استفاده آب پیش‌گرم شده آشنا می‌شوید که بعد از نصب اتصالات آزمایش‌ها همان طور که توضیح داده شد با هدف رسیدن به دمای ۴۵ درجه انجام شده و دبی‌ها اندازه گیری می‌شود

۲-۷-۲ پیش‌گرمایش آب ورودی به حمام و آب‌گرم کن

در این نوع اتصال آب ورودی به ساختمان به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمتی وارد مبدل حرارتی می‌شود (جهت پیش گرمایش) و قسمت دیگر مستقیم وارد آب گرم کن می‌شود و آب پیش گرم شده برای استفاده مستقیم وارد حمام می‌شود (شکل ۲-۹).

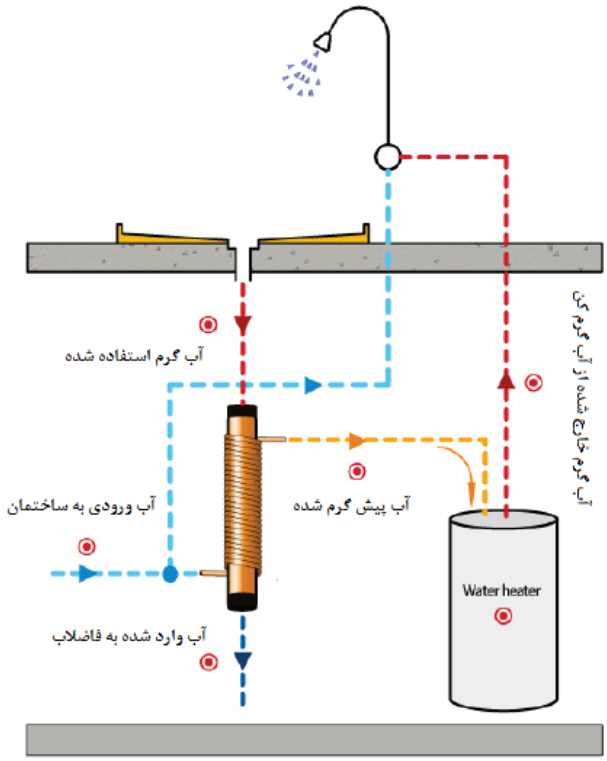


شکل ۲-۹: ارسال آب پیش گرم به محل استحمام و آب گرم کن

۳-۷-۲

۴-۷-۲ پیش‌گرمایش آب ورودی به آب‌گرم کن

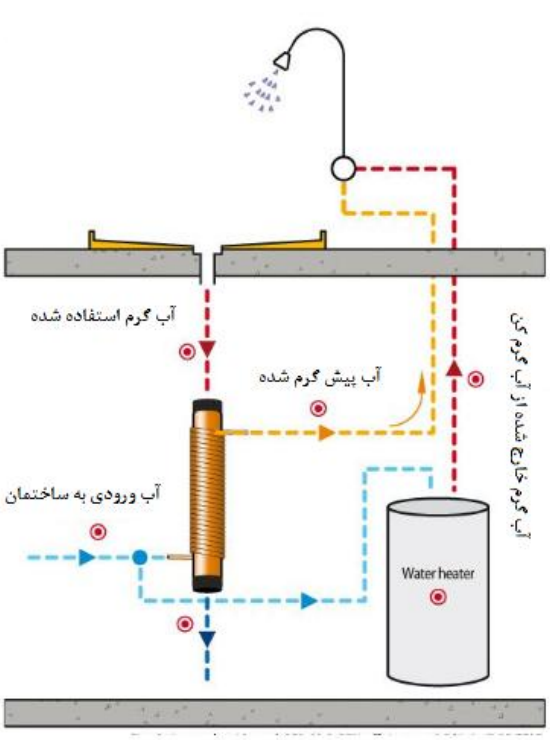
در این چینش همانند حالت قبل آب ورودی به ساختمان به دوقسمت تقسیم می‌شود که قسمتی وارد مبدل حرارتی می‌شود (جهت پیش گرمایش) و قسمت دیگر مستقیم وارد حمام می‌شود؛ و آب پیش‌گرم شده وارد سیستم گرمایش (در این آزمایش آب‌گرم کن) می‌شود (شکل ۲-۱۰).



شکل ۲-۱۰: ارسال آب پیش گرم به آب گرم کن

۲-۷-۵ پیش‌گرمایش آب ورودی به حمام

در این نوع اتصال آب ورودی به ساختمان به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمتی وارد مبدل حرارتی می‌شود (جهت پیش گرمایش) و قسمت دیگر مستقیم وارد آب گرم کن می‌شود و آب پیش گرم شده برای استفاده مستقیم وارد حمام می‌شود(شکل ۲-۱۱)



شکل ۲-۱۱: ارسال آب پیش‌گرم به محل استحمام

فصل ۳

تحلیل اقتصادی

۳-۱ مقدمه

موفقیت و شکست هر پروژه به تصمیم‌گیری آگاهانه و منطقی افراد و بنگاههای متولی پروژه بستگی دارد. نقطه آغازین در هر تلاش آگاهانه برای تصمیم‌گیری منطقی، فرایند مساله‌یابی و انتخاب راهکار مناسب حل مساله است. در فرایند مساله‌یابی، شناخت مساله از طریق جمع‌آوری اطلاعات و در انتخاب راهکار مناسب، آگاهی از تکنیک‌ها و روش‌ها بسیار حائز اهمیت است. با توجه به اهمیت ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها تحلیل اقتصادی پروژه به عنوان یکی از مهمترین تکنیک‌های مقایسه و تصمیم‌گیری و انتخاب از میان مجموعه راهکارها براساس شرایط مطلوب اقتصادی تلقی می‌شود. هر پروژه‌ای قبل از اجرا می‌بایست از نظر مالی و فنی مورد ارزیابی قرار گرفته و امکان‌سنجی شود .فرایند امکان‌سنجی در جهت کسب اطمینان و ارزیابی قابلیت تامین خواسته‌های مشتری صورت می‌گیرد. اقتصاد مهندسی از جمله روش‌های ریاضی برای ساده کردن مقایسه‌ی اقتصادی پروژه‌ها است که مدیران از آن به عنوان تصمیم‌گیری برای انتخاب پروژه‌های مناسب استفاده می‌کنند. بهره، ارزش زمانی پول، تعادل بین بهره و ارزش زمانی پول از اصول پایه‌های اقتصاد مهندسی است که در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها به کار می‌آید و در نهایت اتخاذ تصمیم در خصوص عقد قرارداد با مشتری پس از حصول اطمینان از امکان‌سنجی پروژه است

۳-۲ هزینه‌های تولید و جایگاه هزینه‌های انرژی در آن

امروزه تجزیه و تحلیل هزینه های تولید از اهمیت بالایی برخوردار است. زیرا یکی ازاهداف عمده هر سازمان تولیدی حفظ و ارتقاء سطح منافع آن بوده و در این راستا شناخت دقیق وکنترل هزینه‌ها نه تنها مصرف میزان استفاده، مواد خام و انرژی را تقلیل خواهد داد بلکه مشخص خواهد نمود که تا چه حد ضایعات مواد و تلفات انرژی و همچنین عدم کفایت کار موجب ایجاد هزینه‌های زاید می‌گردد. در اقتصاد برای هزینه‌های تولید طبقه‌بندی خاصی بکارمی‌برند که در زیر بشرح مهمترین آنها درکوتاه مدت می-پردازیم. تمام کمیت های مربوط به هزینه ها بر حسب ریال می‌باشد و در زمانی که نرخ صادراتی پروژه

برای بازگشت سرمایه محاسبه می‌شود هزینه‌های بر حسب دلار خواهد بود که به ریال تبدیل می‌شود.

۳-۲-۱ هزینه‌های ثابت کل

هزینه ای است که میزان آن باتغییر مقدار تولید تغییر نمیکند. در واقع هزینه ثابت TFC[1] تابع مقدار تولید نیست و سازمان تولیدی صرف نظر ازمیزان تولید این نوع هزینه را باید پرداخت نماید؛ مانند اجاره محل و ساختمان‌ها، حقوق کارمندان و مدیران عالی رتبه، بیمه، مالیات‌ها، بهره قروض، هزینه چاپ و نوشت‌افزار، روغن و گریس و موادی که برای پاک کردن ماشین‌ها به کار می‌رود، آب و برق مصرفی، استهلاک دارائی‌ها، خدمات مختلف کارخانه ازقبیل ناهارخوری، هزینه‌های رفاه کارکنان، هزینه های ایمنی و آتشنشانی و توسعه و تحقیقات و هرگونه کار و موادی که مستقیماً در ساخت کالا وارد نشده و نمی‌توان اینگونه مخارج را به یک واحدهزینه بخصوصی ارتباط داد .هزینهٔ ثابت به هزینه‌های غیرمستقیم، عمومی سربار ساخت و بالاسری معروف است.

۳-۲-۲ هزینه‌های متغیر کل

آن دسته از عوامل تولید است که مقدار آن نسبتاً باتغییر میزان تولید تغییرمی‌کند؛ به عبارت دیگر هزینه متغیرTVC [2] تابع مقدار تولید است. اگر مقدار تولید افزایش یابد هزینه متغیر نیز افزایش پیدا می-کند و اگر مقدار تولید کاهش یابد هزینه متغیر نیز کاهش می‌یابد و اگر کالائی تولید نشود هزینه متغیر صفر است؛ مانند دستمزدهای کارگران، بهای مواداولیه، سوخت ومالیاتهای غیرمستقیم. هزینه‌های متغیر را هزینه‌های مستقیم یا مخارج مستقیم نیز می‌نامند.

۳-۲-۳ هزینه کل تولید

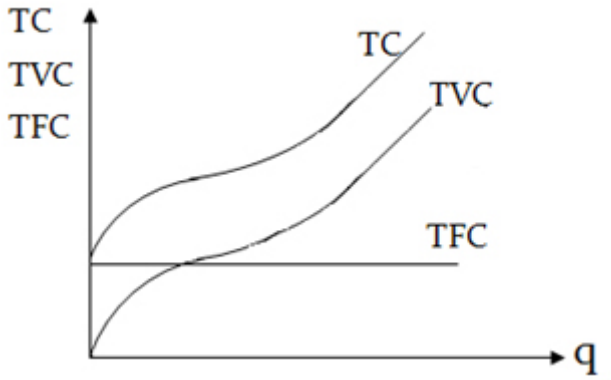
مجموعه هزینه های ثابت ومتغیررا هزینه کلTC[3] می‌نامند. عدم تولید کالا، موجب برابری میزان

[1]-Total Fixed Cost
[2]-Total Variable Cost
[3]-Total Cost

هزینه کل با هزینه‌های ثابت می‌شود؛ در غیر این صورت، همانند هزینه‌های متغیر افزایش پیدا می‌کند. هزینه‌های تولید در کوتاه‌مدت به هزینه‌کل و هزینه نهایی تقسیم می‌شوند. شکل ۳-۱ هزینه ثابت، هزینه متغیر و هزینه کل تولید را نشان می‌دهد[۱].

$$TC = TFC + TVC \qquad (۱-۳)$$

۴-۲-۳



شکل ۳-۱: نمودار هزینه متغیر، هزینه ثابت و هزینه کل[۱]

۳-۲-۵ هزینه نهایی

هزینه اضافیMC[1] برای تولید یک واحد اضافی کالا طبق معادله (۳-۲) به دست می‌آید. به عبارتی تولید یا عدم تولید یک واحد اضافی محصول، تغییری در هزینه‌های ثابت ندارد؛ یعنی افزایش تولید در حد یک واحد، افزایش هزینه‌های ثابت را به دنبال نخواهد داشت؛ اما برای تولید یک واحد اضافی کالا، باید مواد اولیه اضافی داشته باشیم؛ که این خود موجب بالا رفتن هزینه متغیر می‌شود. منحنی هزینه نهایی ابتدا سیر نزولی داشته، سپس سیر صعودی پیدا خواهد کرد[۱۶].

$$TC_2 - TC_1 = MC \qquad (۲-۳)$$

[1]-Marginal Cost

۳-۳ روش‌های بررسی اقتصادی پروژه

روش‌هایی زیادی برای مطالعه اقتصادی پروژه وجود دارد که در اینجا سعی شده به دو روش اشـاره و با یکی از روش‌ها پروژه حاضر مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

۳-۳-۱ روش بازگشت سرمایه

دوره بازگشت سرمایه در علم اقتصاد مهندسی، یکی از روش‌های استاندارد ارزیابی طرح‌های اقتصادی است. در این روش معیار ارزیابی طرح، کوتاهی و بلندی زمان بازگشت سرمایه است. طرح‌های با دوره بازگشت سرمایه کوتاه‌تر جذابیت بیشتری نسبت به طرح‌هایی با دوره بازگشت بلندتر دارند. این روش بخصوص در هنگام مقایسه دو یا چند طرح با یکدیگر کاربرد دارد. در این روش ارزش زمانی پول درنظر گرفته نشده است اما به دلیل کارایی آسان برای پروژه‌های کوچک کاربرد فراوانی دارد که این زمان بازگشت توسط معادله (۳-۳) محاسبه می‌شود که در آن PB زمان بازگشت سرمایه (سال‌ها)، CC هزینه سرمایه‌ای پروژه (برحسب دلار) و AS صرفه‌جوئی هزینه خالص سالیانه (برحسب دلار) است[۱۷].

$$PB = \frac{CC}{AC} \qquad (۳-۳)$$

۳-۳-۲ روش ارزش حال خالص

ارزش فعلی خالص(NPV)[1] عبارت است از مجموع ارزش فعلی جریان‌های نقدی ورودی، منهای ارزش فعلی کل وجوهی که در زمان حال سرمایه‌گذاری می‌شود. ارزش فعلی خالص یکی از بهترین معیارهایی است که بدان وسیله طرح‌های سرمایه‌ای را ارزیابی می‌کنند. چون با گذشت زمان ارزش فعلی پول کاهش پیدا می‌کند نمی‌توان جریان نقدی هرسال را مستقیم باهم جمع کرد و باید ارزش فعلی جریان‌های نقدی را با استفاده از نرخ تنزیل و نرخ تورم محاسبه کرد و مجموع آن‌ها ارزش حال خالص پروژه را نشان می‌دهد. هرچه عدد حاصل بیشتر باشد پروژه به لحاظ اقتصادی جذاب‌تر است. اگر NPV<0

[1]-Net Present Value

باشد پروژه اقتصادی نیست و اگر NPV=0 باشد مخارج و درآمد پروژه در طی این چند سال سربه‌سر شده است[۱۱].

۳-۳-۲-۱ نرخ تنزیل

پایه و اساس تجزیه و تحلیل‌های مالی درک مفهوم این جمله است که هر رقم پیش‌بینی‌شده برای جریانات نقدی در سال‌های آتی برابر یک سرمایه‌گذاری با نرخ سود سالانه در زمان حال است. مطابق آنچه در بحث ارزش زمانی پول ارائه گردید در تجزیه و تحلیل‌های مالی برای حذف عامل زمان در محاسبات، ارزش جریاناتی نقدی را که در سال‌های آتی کسب می‌گردد با استفاده از ضریب تنزیل به ارزش روز تبدیل می‌نمایند. در این حالت نرخ سود سالانه i که در محاسبات به‌عنوان نرخ سود سرمایه‌گذاری در یک بازار بدون ریسک هست را به‌عنوان نرخ تنزیل در نظر می‌گیرند.

در محاسبات مربوط به تحلیل مالی طرح‌ها به‌منظور پیش‌بینی نرخ تنزیل به‌طور معمول بدین‌صورت اقدام می‌گردد که سرمایه‌گذاری در طرح با سرمایه‌گذاری در یک روش بدون ریسک مانند سرمایه‌گذاری در بانک که سود سالانه ثابتی دارد مقایسه گردد و این بدان مفهوم است که اگر سرمایه‌گذار در طرح سرمایه‌گذاری نماید، فرصت سرمایه‌گذاری[1] در یک روش بودن ریسک که باعث افزایش ارزش دارایی خواهد شد را از دست می‌دهد. به‌عنوان‌مثال اگر صاحب سرمایه در احداث و راه‌اندازی طرح سرمایه‌گذاری ننماید می‌تواند با خرید اوراق مشارکت و یا سرمایه‌گذاری در حساب‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت بانکی سالیانه مبلغی را به‌صورت ثابت و بدون هیچ ریسکی از محل این سرمایه‌گذاری به دست آورد. براین اساس سرمایه‌گذاری در طرح بایستی در حالت حداقل بیش از این سپرده‌گذاری سوددهی داشته باشد تا سرمایه‌گذار به سرمایه‌گذاری در طرح ترغیب شود. به نرخ تنزیل نرخ بهره یا نرخ بازگشت[2] نیز می‌گویند

[1]-Opportunity Cost
[2]-rate of return

که معادله (۳-۳) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد [۱۷]:

$$d_t = \frac{1}{(1+i)^n} \qquad (۳-۳)$$

که در این معادله n شماره سال و i نرخ بهره یا نرخ تنزیل می‌باشد. در جدول ۳-۱ نرخ‌های تنزیل مختلف در طی ۱۹ سال محاسبه‌شده است. طبق آمار بانک مرکزی نرخ بهره در سال ۱۳۹۳ در سپرده‌های کوتاه‌مدت ۱۴ درصد می‌باشد [۱۲].

۳-۳-۲-۲ نرخ تورم

تورم از نظر علم اقتصاد به معنی افزایش سطح عمومی قیمت‌ها در طول یک‌زمان مشخص است. نرخ تورم برابر است با تغییر در یک شاخص قیمت که معمول شاخص قیمت مصرف‌کننده است دیدگاه کینه[۱۷] دو دلیل عمده برای تورم ذکر می‌کند: کاهش عرضه کل یا افزایش تقاضای کل دیدگاه پول‌گرایان رشد عرضه پول مازاد بر رشد اقتصادی را عمده‌ترین دلیل تورم می‌داند. به‌عبارت‌دیگر، تورم تناسب نداشتن حجم پول در گردش باعرضه خدمات و کالاهاست. تقریباً تمام اقتصاددان‌ها بر این نکته هم‌نظرند که تورم پایدار و درازمدت ریشه‌ای جز عرضه پول و افزایش نقدینگی ندارد. هر چه میزان تورم بیش‌تر شود، قدرت خرید یک واحد پول کم‌تر می‌گردد. تورم ازجمله پدیده‌هایی است که می‌تواند آثار و تبعاتی مثبت و منفی به دنبال داشته باشد و مهم‌ترین اثر آن توزیعی است به‌نحوی‌که به نفع گروه‌های پردرآمد و به ضرر گروه‌های فقیر و کم‌درآمد و حقوق‌بگیر است؛ به عبارت‌دیگر تورم به افراد دارای درآمدهای پولی ثابت، ضرر می‌زند و از قدرت خرید آنان می‌کاهد و در مقابل، به نفع اغلب کسانی تمام می‌شود که درآمدهای پولی متغیر دارند. گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس تصریح می‌کند: تورم همچنین هزینه‌های عمومی دولت را افزایش داده و درنتیجه دولت را مجبور به کسب درآمد بیش‌تر یا استقراض از بانک مرکزی می‌کند که در هر دو حالت ضربات جبران‌ناپذیری را به اقتصاد کشور وارد می‌کند.

جدول ۳-۱: محاسبه نرخ تنزیل‌های مختلف در طی ۱۹ سال[۱۶]

	نرخ تنزیل ٪							
سال	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶
۱	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۶
۲	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۴
۳	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۶۷	۰/۶۴
۴	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۵۵
۵	۰/۹۰	۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۴۷
۶	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۷	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۵	۰/۴۵	۰/۴۱
۷	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۶۶	۰/۵۸	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۳۹	۰/۳۵
۸	۰/۸۵	۰/۷۳	۰/۶۲	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۴	۰/۳۵	۰/۳۰
۹	۰/۸۳	۰/۷	۰/۵۹	۰/۵	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۳۰	۰/۲۶
۱۰	۰/۸۲	۰/۶۷	۰/۵۵	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۲۲
۱۱	۰/۸	۰/۶۵	۰/۵۲	۰/۴۲	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۱۹
۱۲	۰/۷۸	۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۶
۱۳	۰/۷۷	۰/۶	۰/۴۶	۰/۳۶	۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۱۴
۱۴	۰/۷۵	۰/۵۷	۰/۴۴	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۲	۰/۱۶	۰/۱۲
۱۵	۰/۷۴	۰/۵۵	۰/۴۱	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۰
۱۶	۰/۷۲	۰/۵۳	۰/۳۹	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۹
۱۷	۰/۷۱	۰/۵۱	۰/۳۷	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۸
۱۸	۰/۷	۰/۴۹	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۶
۱۹	۰/۶۸	۰/۴۷	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۵

دلیل اینکه تورم در پروژه‌ها مستقیم مورد مطالعه قرار می‌گیرد این است که تورم باعث می‌شود باگذشت زمان ارزش واقعی جریانات نقدینگی کاهش یابد. ارزش واقعی مقدار پول s که در آن n سال زمانی تحقق می‌یابد را با RV نشان می‌دهند که می‌توان با استفاده از معادله (۳-۴) آن را محاسبه کرد[۱۷]:

$$RV = S \times (1 + \frac{i}{100})^{-n} \qquad (۴-۳)$$

۳-۴ تحلیل اقتصادی در پروژه پیش‌گرمایش آب ساختمان

برای تحلیل اقتصادی این پروژه ابتدا باید میزان صرفه‌جویی انرژی در آب‌گرم‌کن بعد از اجرای پروژه به دست آورده شود برای این کار انرژی مصرف‌شده در حالت قبل از نصب مبدل منهای انرژی مصرف‌شده در حالت بعد از نصب مبدل می‌شود و با دانستن ارزش حرارتی سوخت میزان مترمکعب گاز صرفه‌جویی شده محاسبه می‌شود. درروش ارزش حال خالص طبق رابطه (۳-۵) داریم [۱۳]:

$$NPV_k = CF_{k0}.d_0 + CF_{k1}.d_1 + CF_{k2}.d_2 + \cdots + CF_{kn}.d_n = \sum_{t=0}^{n} CF_{kn}.d_t \qquad (۵\text{-}۳)$$

که در آن CF_k جریانات نقدینگی است که طبق معادله (۳-۶) برابر است با [۱۳]:

$$CF_{\mathrm{k}} = -\mathrm{INV}_{\mathrm{kt}} + \mathrm{SK}_{\mathrm{t}} \qquad (۶\text{-}۳)$$

INV جریان‌های نقدی خارج‌شده یا به عبارتی هزینه‌های کل و متغیر است. از طرفی SK_t صرفه‌جویی یا به عبارتی سود پروژه است که طبق رابطه(۳-۷) محاسبه می‌شود[۱۳]:

$$\mathrm{SK}_{\mathrm{t}} = (C_{r0t} - C_{rkt}).C_{et} \qquad (۷\text{-}۳)$$

در این معادله C_{rkt} در قسمت ۲-۲-۳ معرفی‌شده است و C_{et} بهای مصرف انرژی می‌باشد که در این پروژه سعی شده هم با واحد پول داخلی محاسبه شود و هم با واحد بین‌المللی دلار. طبق استعلام از شرکت گاز ملی استان گلستان به‌طور میانگین قیمت گاز به ازای هر مترمکعب در ایران ۱۰۰۰ ریال است و قیمت صادرات به‌طور میانگین ۰/۳ دلار است[۲۳]

۳-۵ داده‌ها و فرضیات لازم در تحلیل اقتصادی

طبق آمار بانک مرکزی در سال ۱۳۹۳ آخرین میزان تورم در کشور ۳۰٪ و بهره بانکی ۱۴٪ است که در محاسبات لحاظ شده است [۱۸] اما باید توجه کرد بهای گاز با نرخ تورم افزایش پیدا نمی‌کند و صرفه‌جویی انجام‌شده رابطه مستقیم با بهای گاز دارد که شرکت گاز این عدد افزایش را برای ده سال

آینده به‌طور متوسط برای هرسال ۵ رصد اعلام کرده است. همچنین میزان بهای هر مترمکعب گاز طبق اعلام شرکت گاز در قبض‌های گاز خانگی بین ۹۰۰ تا ۱۳۰۰ریال است که در این پروژه ۱۰۰۰ ریال گرفته‌شده است؛ و برای محاسبه میزان سودآوری پروژه برای دولت در صورت صادرات گاز بهای گاز صادراتی با استعلام از شرکت گاز طبق آخرین قرارداد ۳۰ سنت گرفته‌شده است این در حالی است که سال‌های گذشته این مقدار به ۵۰ سنت هم رسیده بود. همچنین با توجه به نوسانات قیمت دلار، هر دلار در این پروژه ۲۷۰۰۰ ریال در نظر گرفته‌شده است. قیمت ساخت مبدل حرارتی ۳۰۰۰ هزار ریال و هزینه تولید آن تقریباً ۲۲۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد. هزینه نصب مبدل ولوله کشی‌های اضافه نیز ۱۳۰۰ هزار ریال در نظر گرفته‌شده است. که درمجموع نصب این مبدل ۳۵۰۰۰۰۰ ریال برای مصرف‌کننده هزینه در بردارد. همچنین با این فرض که در طی این ده سال پروژه هزینه متغیری نخواهد داشت بررسی‌ها انجام‌شده است زیرا مبدل حرارتی لوله مسی با ساختاری ساده نهایت نیاز به یک جرم‌گیری ساده خواهد داشت

فصل ۴

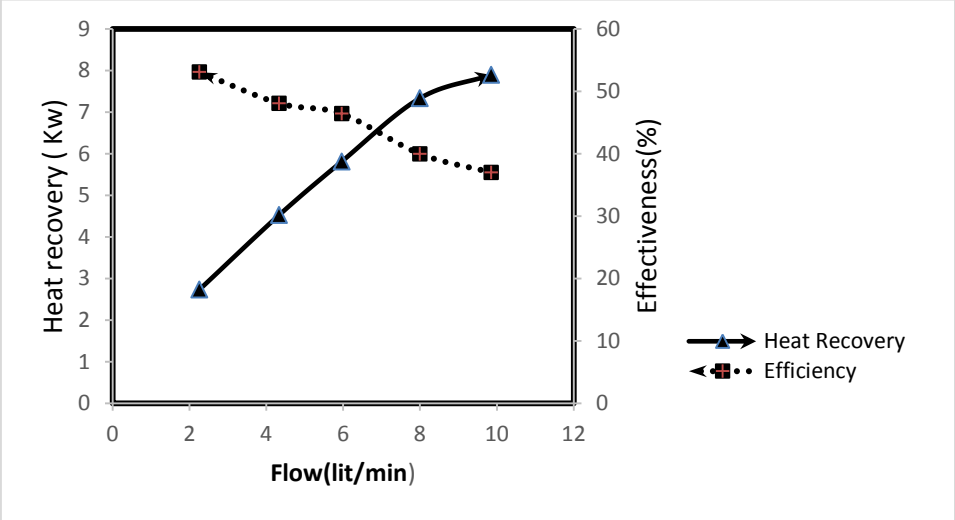
ارائه نتایج

۴-۱ مقدمه

در این فصل به ارائه نتایج آزمایش‌های انجام‌شده پرداخته می‌شود و بحث و نتیجه‌گیری در فصل پنجم پرداخته می‌شود. هدف از هر مرحله آزمایش مشاهده تغییرات دما برحسب تغییرات دبی است و در آخر با انجام محاسبات رسیدن به میزان صرفه‌جویی انجام‌شده هدف موردنظر است.

۴-۲ نتایج آزمایش دبی‌های یکسان بدون عایق‌کاری مبدل حرارتی

دبی‌های آب سرد و گرم برابر فرض شده و با افزایش آن‌ها روند تغییرات دما مدنظر خواهد بود دماهای به‌دست‌آمده از آزمایش را در معادلات (۲-۱) و (۲-۲) قرار داده درنتیجه بازدهی و انتقال حرارت به دست خواهد آمد که در شکل ۴-۱ مشاهده می‌نمایید.



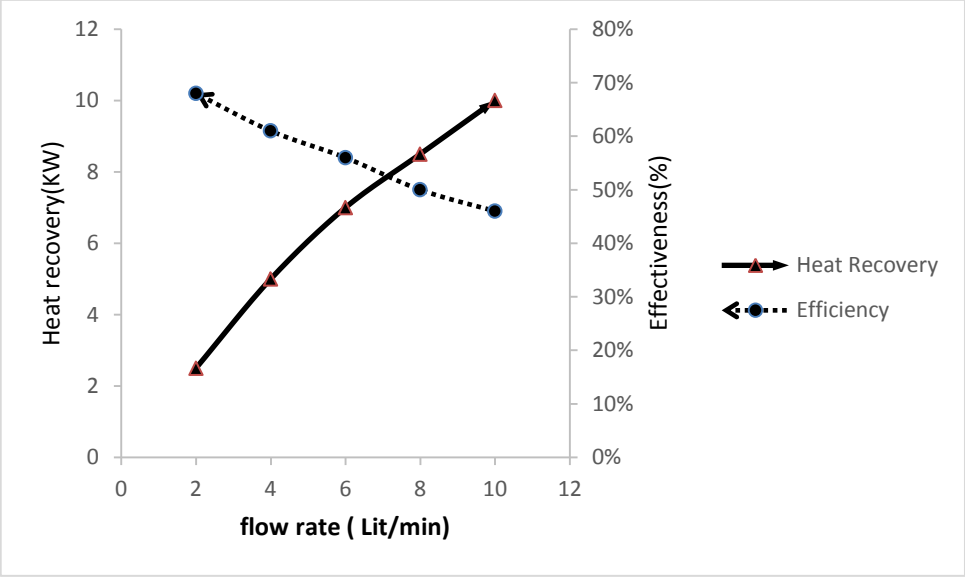
شکل ۴-۱: تأثیر افزایش دبی بر تغییرات انتقال حرارت و بازدهی در شرایط ثابت بودن دبی آب سرد و گرم بدون عایق‌کاری مبدل

طبق نتایج ارائه‌شده در نمودار ۴-۱ بازدهی مبدل با افزایش دبی کاهش می‌یابد. این بدان خاطر است که وقتی دبی زیاد می‌شود دمای آب پیش‌گرم خارج‌شده کم می‌شود و با توجه به معادله ۲-۱ زمانی که دبی آب سرد و گرم یکسان باشد کسر دبی‌ها حذف خواهد شد و با کاهش دمای آب سرد خارج شده

بازدهی نیز کاهش پیدا خواهد کرد. در مورد انتقال حرارت طبق معادله ۲-۲ با افزایش دبی آب سرد انتقال حرارت زیاد می‌شود.

۴-۳ نتایج آزمایش دبی‌های یکسان با عایق‌کاری مبدل حرارتی

در این قسمت همانند قسمت ۴-۲ عمل کرده با این تفاوت که مبدل با عایق حرارتی پوشانده می-شود



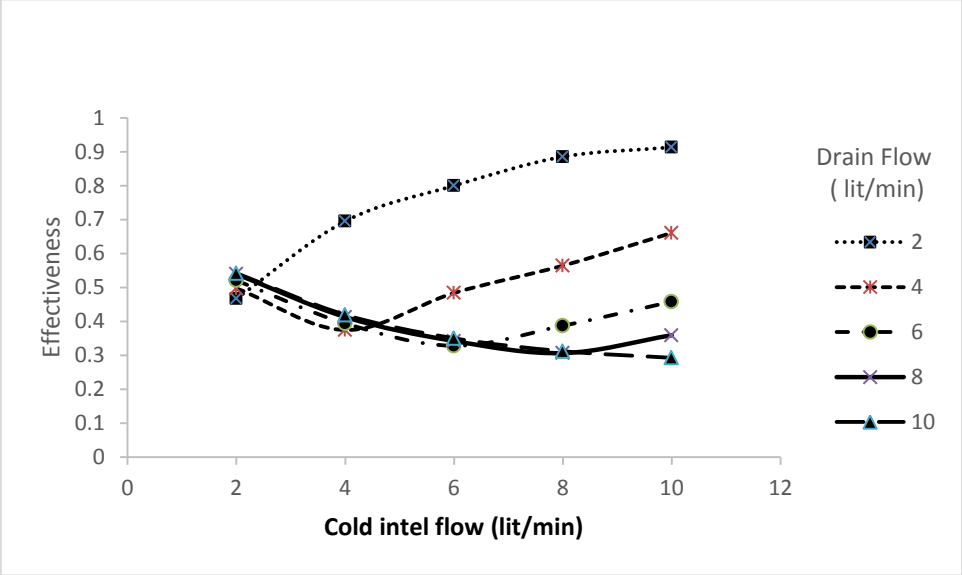
شکل ۴-۲: تأثیر افزایش دبی بر تغییرات انتقال حرارت و بازدهی در شرایط ثابت بودن دبی آب سرد و گرم با عایق‌کاری مبدل

عایق حرارتی همان‌طور که در شکل ۴-۲ مشاهده می‌شود تقریباً ۱۸ درصد برافزایش بازدهی و انتقال حرارت تأثیر خواهد گذاشت و دلیل آن‌هم جلوگیری از انتقال حرارت اتلافی می‌باشد که نتیجه آن افزایش دمای خروجی آب سرد است که باعث افزایش بازدهی و انتقال حرارت سیستم می‌شود.

۴-۴ نتایج آزمایش ثابت کردن دبی آب گرم و افزایش دبی آب سرد

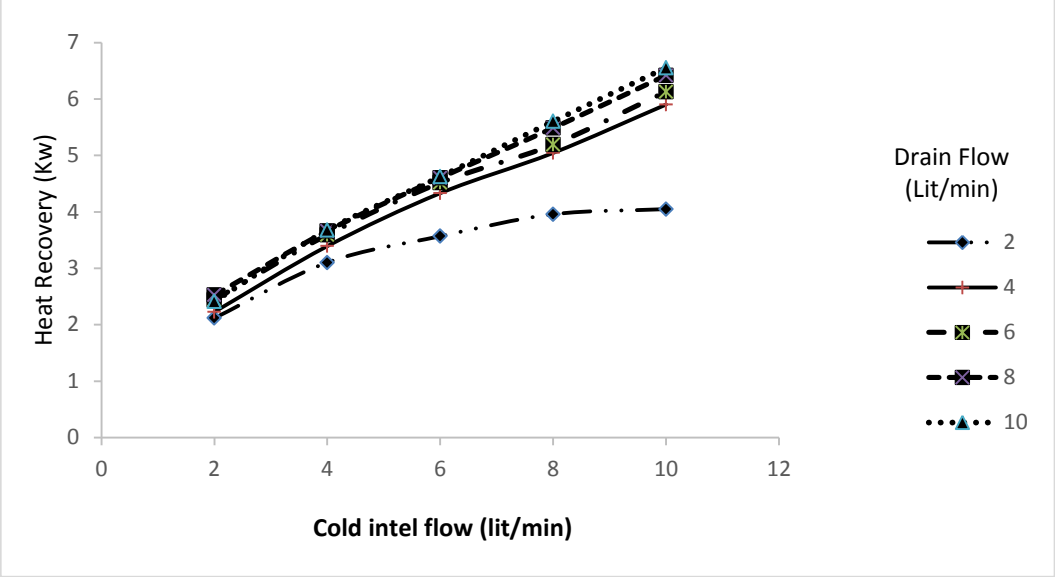
همان‌طور که در فصل ۲ توضیح داده شد در این قسمت دبی آب گرم را ثابت گرفته و دبی آب سرد افزایش داده می‌شود و مانند بخـش قبل بعد از اندازه‌گیری دماهای لازم و قرار دادن در روابط (۲-۱) و

(۲-۲) بازدهـی و انتقال حرارت در این شرایط به دست خـواهد آمد که در شکل ۴-۳ و شکل ۴-۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۳: نمودار تغییرات بازدهی مبدل در شرایط ثابت بودن دبی آب گرم

با افزایش دبی آب سرد و ثابت بودن دبی آب گرم دمای آب سرد خارج‌شده از مبدل کم می‌شود این کاهش دما منجر به کاهش بازدهی می‌شود اما در مخرج معادله (۳-۱) دبی مینیمم وجود دارد. تا وقتی‌که دبی آب سرد مینیمم باشد کسر دبی‌ها حذف خواهد شد اما زمانی که دبی آب سرد بیشتر از دبی آب گرم باشد این کسر که بزرگ‌تر از یک خواهد بود در معادله ظاهر می‌شود که در این قسمت افزایش دبی بر کاهش اختلاف دما غلبه کرده و بازدهی را افزایش می‌دهد به عبارتی دیگر درست است که دمای آب سرد خروجی کم می‌شود اما حجم بیشتری از این آب سرد با توجه با ثابت بودن دبی آب گرم، گرم‌تر خواهد شد.

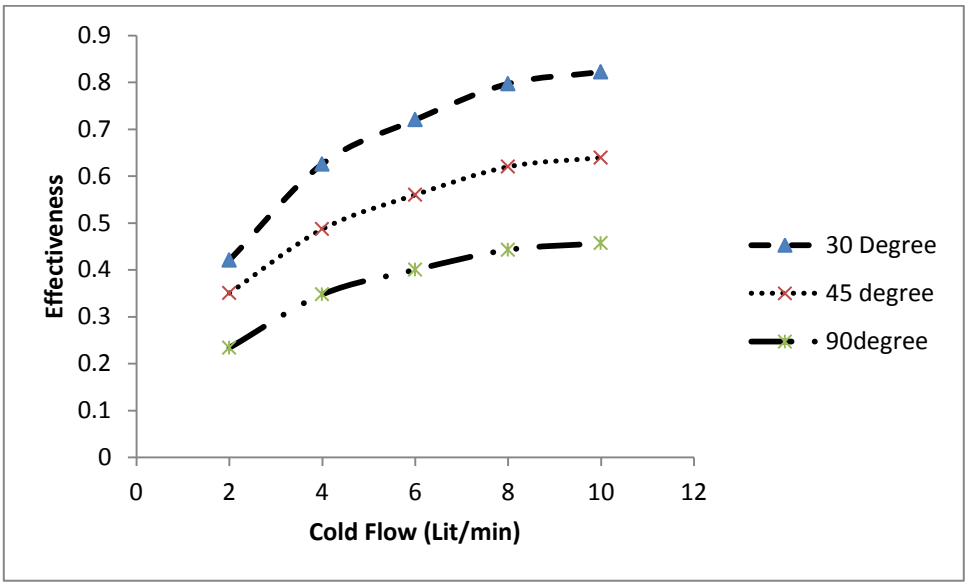


شکل ۴-۴: نمودار تغییرات انتقال حرارت در شرایط ثابت بودن دبی آب گرم

انتقال حرارت مبدل با افزایش دبی بیشتر خواهد شد. معادله (۲-۲) گویای این مطلب خواهد بود. درست است که با افزایش دبی آب سرد اختلاف دما کاهش پیدا می کند اما افزایش دبی بر کاهش اختلاف دما غلبه خواهد کرد و باعث افزایش انتقال حرارت خواهد شد.

۴-۵ نتایج بازدهی و انتقال حرارت در زوایای مختلف

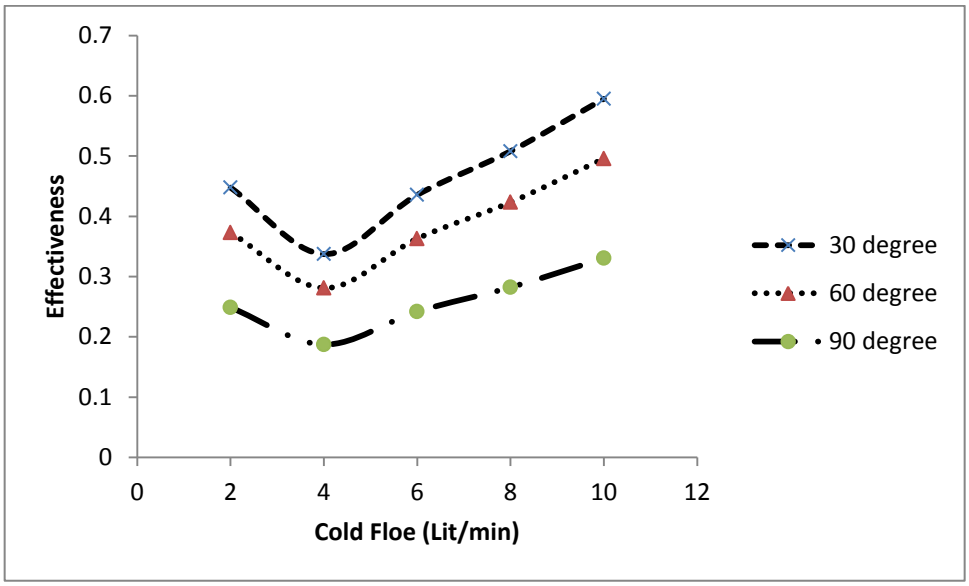
تغییرات بازدهی و انتقال حرارت را در زمانی که مبدل بصورت عمودی نصب شده است مورد مطالعه قرار گرفت در ادامه همان آزمایش‌ها در هنگامی که مبدل در زوایای ۳۰،۶۰ و ۹۰ درجه قرار می‌گیرد مورد بررسی قرار گرفته است. و برای اینکه طیف وسیعی از کاربردها مورد آزمایش قرار گیرد هر بار با دبی ثابت آب گرم دبی آب سرد افزایش داده شده است. در شکل ۴-۵ با دبی ثابت ۲ لیتر بر دقیقه برای آب گرم و افزایش دبی آب سرد همان‌طور که مشاهده می‌نمایید افزایش پیوسته بازدهی را خواهیم داشت.



شکل ۴-۵: بازدهی مبدل در دبی ثابت آب گرم ۲ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف

در تئوری طبق معادله ۳-۱ زمانی که دبی آب سرد بیشتر از دبی آب گرم باشد کسر دبی‌ها ظاهر خواهد شد و در معادله ضریب بزرگ‌تر از یک به وجود خواهد آمد درواقع در این حالت افزایش دبی بر کاهش انتقال حرارت غلبه می‌کند و باعث افزایش بازدهی می‌شود. هرچه شیب مبدل بیشتر می‌شود بازدهی کل آن کاهش پیدا می‌کند. این بدان خاطر است که سطح انتقال حرارت کاهش پیدا خواهد کرد زیرا در حالت عمودی جریان به‌صورت فیلم دورتادور لوله ۳ اینچی را احاطه خواهد کرد اما در حالت زاویه‌دار جریان از حالت فیلم خارج‌شده و تنها قسمتی از لوله مسی وظیفه عبور آب را به عهده دارد و تنها همان قسمت است که با لوله مسی آب سرد می‌تواند انتقال حرارت انجام دهد

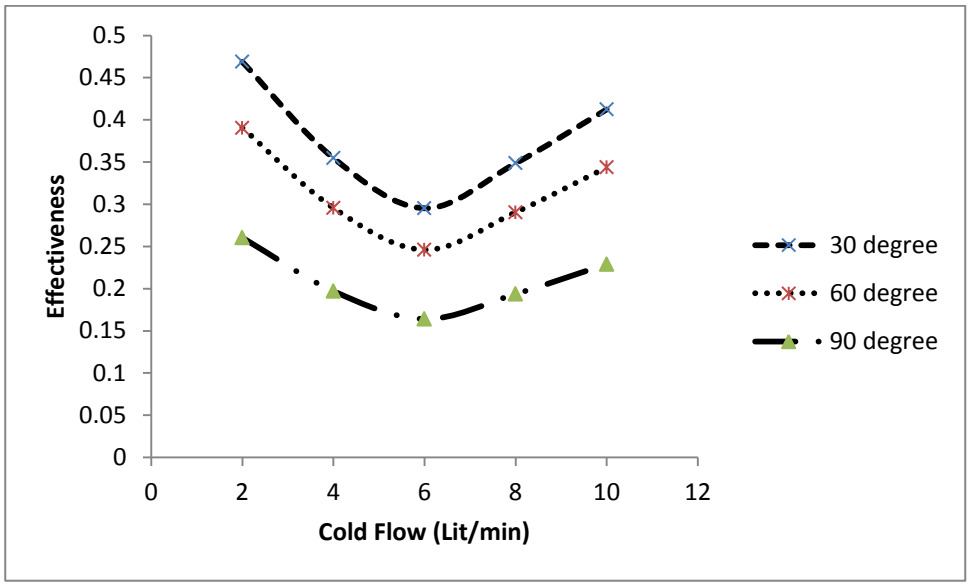
شکل ۴-۶ نتایج بازدهی مبدل در زوایای ۶۰،۳۰ و ۹۰ درجه را نشان می‌دهد با این تفاوت که دبی ثابت آب گرم از ۲ لیتر بر دقیقه به چهار لیتر بر دقیقه افزایش پیدا کرده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌نمایید بر خلاف شکل ۴-۵ در شکل ۴-۶ نمودار صعودی مطلق نیست و ابتدا نزولی و سپس صعودی خواهد شد.



شکل ۴-۶: بازدهی مبدل در دبی ثابت آب گرم ۴ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف

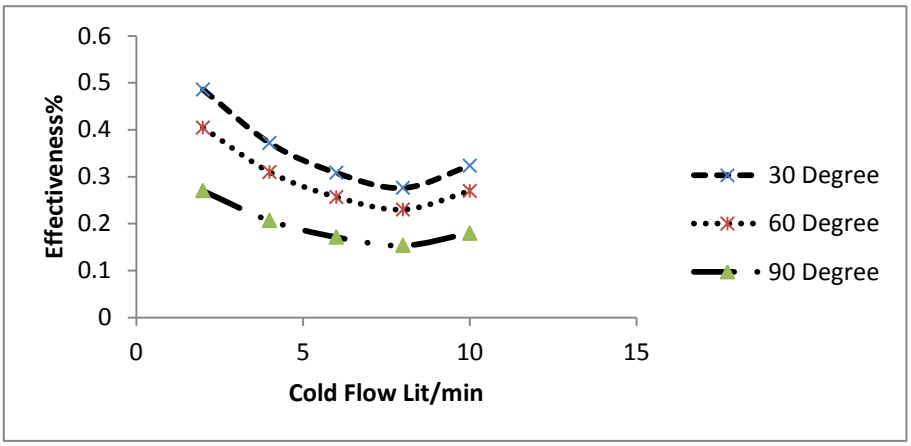
زمانی که دبی آب گرم را ۴ لیتر بر دقیقه ثابت‌شده باشد با افزایش دبی آب سرد از ۲ تا ۴ لیتر بر دقیقه با کاهش بازدهی روبرو خواهیم بود؛ در معادله (۳-۱) در این شرایط کسر دبی‌ها حذف خواهد شد زیرا در مخرج دبی کمینه دبی آب سرد خواهد بود و با توجه به اینکه در صورت دبی آب سرد وجود دارد این کسر حذف خواهد شد و از طرفی با افزایش دبی آب سرد دمای پیش گرم شده کم شده و با کاهش بازدهی روبرو خواهیم شد. با افزایش دبی آب سرد از ۴ لیتر تا ۱۰ لیتر بر دقیقه دبی کمینه دبی آب گرم خواهد شد و کسر دبی به یک کسر بزرگتر از یک ظاهر خواهد شد. هرچند با کاهش دبی آب پیش‌گرم انتظار می‌رود بازدهی کم شود اما ظاهر شدن کسر دبی های بزرگتر از یک باعث افزایش بازدهی می‌شود در واقع می‌توان گفت افزایش دبی بر کاهش اختلاف دما غلبه خواهد کرد. شکل‌های ۵-۶ و ۵-۷ نیز به همین ترتیب است با این تفاوت که در آنجا دبی آب گرم به ترتیب ۶ و ۸ لیتر بر دقیقه است

در مرحله بعد با ثابت نگه‌داشتن دبی آب گرم در ۶ لیتر بر دقیقه و افزایش دبی آب سرد آزمایش‌ها ادامه خواهد داشت که در شکل ۴-۷ نتایج نمایش داده شده است.



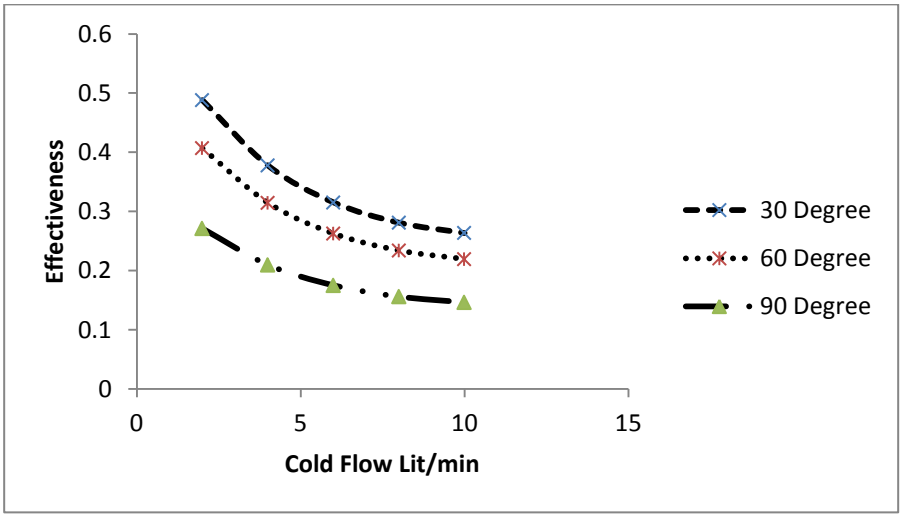
شکل ۴-۷: بازدهی مبدل در دبی ثابت آب گرم ۶ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف

در مرحله بعد دبی آب گرم به ۸ لیتر بر دقیقه تغییر خواهد کرد و همانند مراحل قبل ابتدا با کاهش بازدهی و سپس با افزایش بازدهی روبرو خواهیم شد که دلیل آن در قسمت‌های قبل توضیح داده‌شده است. شکل ۴-۸ تغییرات بازدهی بر حسب دبی ثابت آب گرم ۸ لیتر بر دقیقه به همراه افزایش دبی آب سرد را نشان می‌دهد



شکل ۴-۸: بازدهی مبدل در دبی ثابت آب گرم ۸ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف

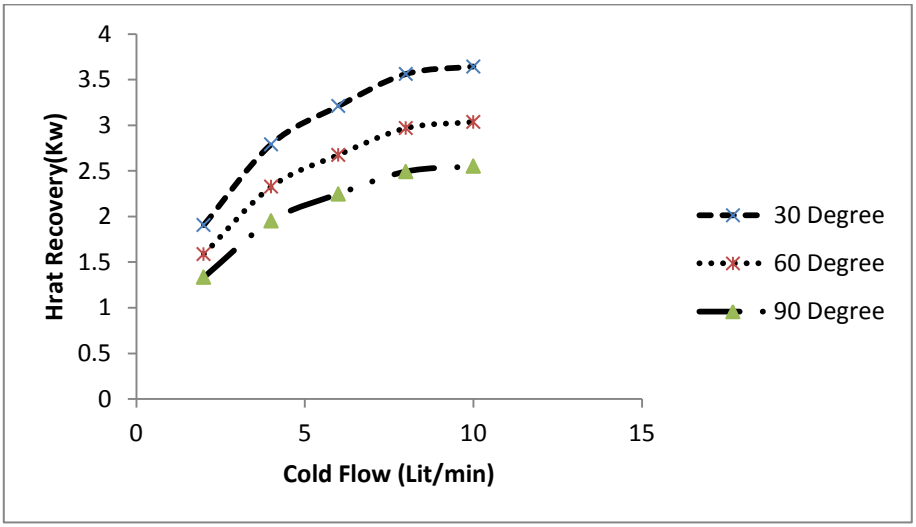
شکل ۴-۹ نتایج بازدهی مبدل حرارتی در دبی ثابت آب گرم ۱۰ لیتر بر دقیقه به همراه افزایش دبی آب سرد را نشان می‌دهد. در همه حالات دبی آب گرم بیشتر از دبی آب سرد است در نتیجه کسر دبی‌ها در معادله (۲-۱) حذف خواهد شد و با افزایش دبی آب سرد دمای پیش گرم کاهش پیدا خواهد کرد و درنتیجه پیوسته کاهش بازدهی را خواهیم داشت. نکته‌ای که حائز اهمیت است با افزایش دبی آب گرم بازدهی در دبی‌های ثابت آب سرد کاهش پیدا خواهد کرد علاوه بر توضیح فیزیکی این اتفاق علت این مهم تغییر کم اختلاف دما با استفاده بیش از حد آب گرم است به عبارتی با مصرف بیشتر دبی آب گرم افزایش دمای کمتری به‌دست‌آمده است مانند این است که شما برای خرید یک کالا بهایی بیشتر از ارزش آن را پرداخت کرده باشید. به این دلیل است که با افزایش دبی آب گرم در نمودارها در کل بازدهی‌ها در دبی‌های ثابت آب سرد کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۴-۹: بازدهی مبدل در دبی ثابت آب گرم ۱۰ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف

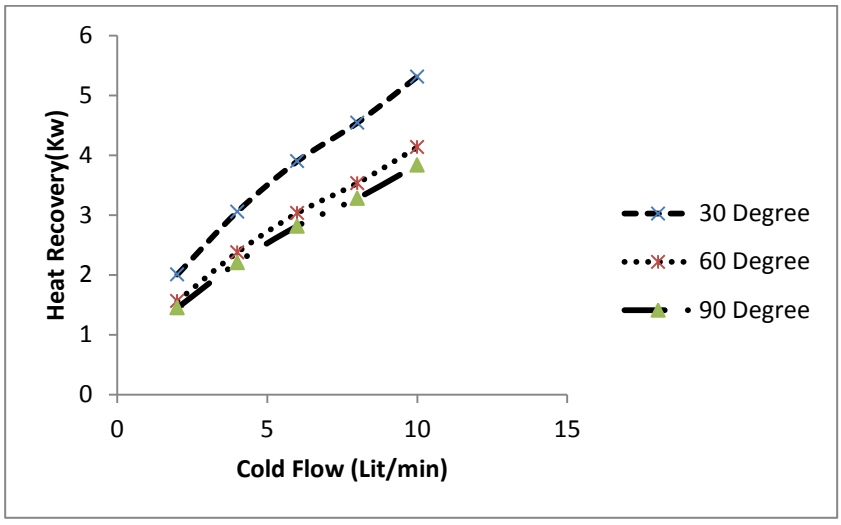
در مرحله بعدی بررسی انتقال حرارت با همین شرایط و در زوایای ۳۰،۴۵ و ۹۰ درجه می‌باشد. افزایش انتقال حرارت با افزایش دبی قابل پیش‌بینی است از آنجایی که معادله ۲-۲ نیز گویای این مطلب است باید بدانیم با افزایش دبی، حجم بیشتری از سیال قابلیت انتقال حرارت را خواهد داشت شاید دمای

خروجی کاهش یابد اما افزایش دبی بر این کاهش اختلاف دما غلبه می‌کند و منجر به افزایش انتقال حرارت می‌شود. شکل ۴-۱۰ نتایج انتقال حرارت مبدل حرارتی در زوایای ۶۰،۳۰ و ۹۰ درجه می‌باشد که در آن آب گرم با دبی ثابت ۲ لیتر بر دقیقه است.

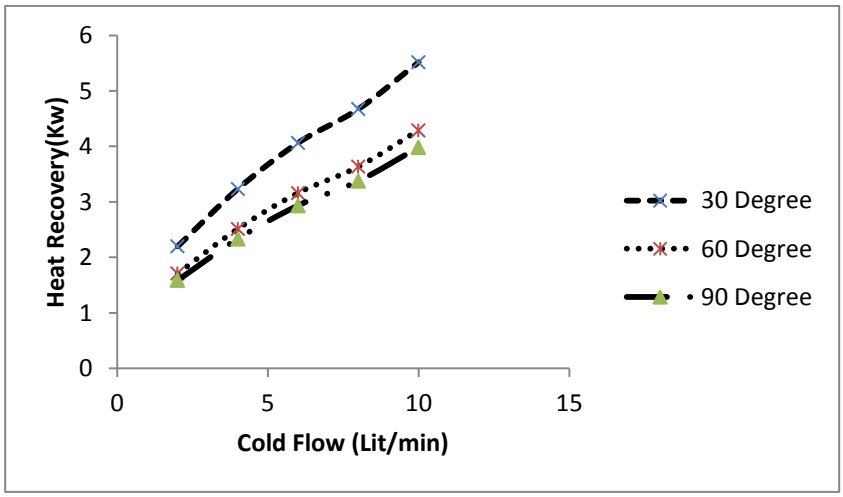


شکل ۴-۱۰: انتقال حرارت مبدل در دبی ثابت آب گرم ۲ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف

در شکل ۴-۱۱ همین شرایط با این تفاوت که دبی آب گرم به ۴لیتر بر دقیقه تغییر پیدا کرده را نشان می‌دهد. با افزایش دبی آب سرد طبق معادله ۲-۲ انتقال حرارت بیشتر شده و از آنجایی که در این مرحله نسبت به مرحله قبل دبی آب گرم نیز افزایش پیدا کرده است با افزایش اختلاف دما افزایش انتقال حرارت نسبت به حالت قبل نیز خواهیم داشت

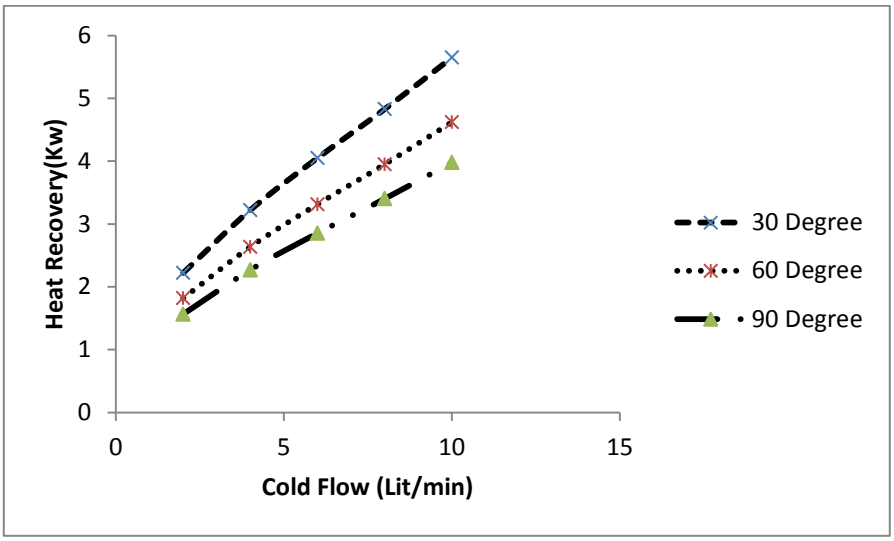


شکل ۴-۱۱: انتقال حرارت مبدل در دبی ثابت آب گرم ۴ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف



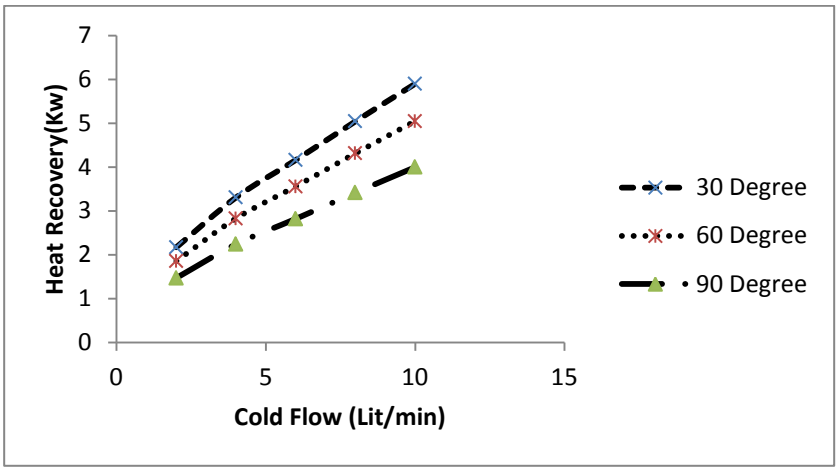
شکل ۴-۱۲: انتقال حرارت مبدل در دبی ثابت آب گرم ۶ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف

همان‌طور که نمودارهای ۴-۱۱ و ۴-۱۲ نشان می‌دهد افزایش دبی آب گرم تاثیری در صعودی بودن نمودار نخواهد گذاشت و مانند مراحل قبل در این مراحل نیز با افزایش زاویه کاهش انتقال حرارت را خواهیم داشت. زیرا با افزایش زاویه فیلم جریان که در دور لوله ۳ اینچی ایجاد شده بود دیگر تشکل نخواهد شد و تنها بخشی از قسمت لوله‌ها باهم جهت انتقال حرارت در تماس هستند.



شکل ۴-۱۳: انتقال حرارت مبدل در دبی ثابت آب گرم ۸ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف

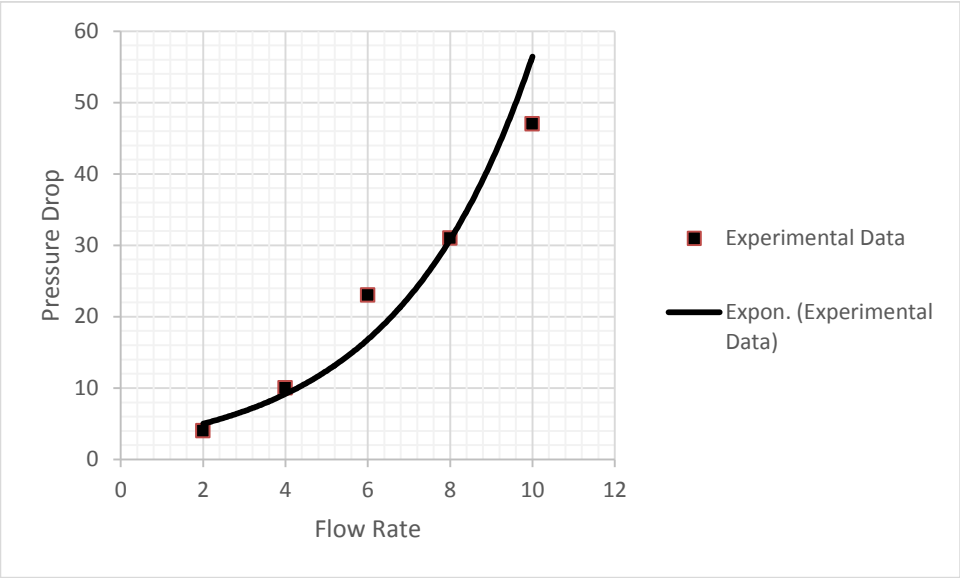
در شکل‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ روند صعودی بودن انتقال حرارت تغییر نکرده است اما همان طور که در قسمت قبل توضیح داده شد با افزایش دبی حجم بیشتری از انتقال حرارت صورت گرفته است که بر کاهش اختلاف دما غلبه کرده است و ویژگی یکسانی که در همه نمودارها مشاهده می‌شود کاهش انتقال حرارت در اثر افزایش زاویه مبدل است. این کاهش را می‌توان بخاطر درگیر شدن حجم کمتری از سیال آب گرم با لوله مارپیچ حامل جریان آب سرد دانست زیرا با تغییر زاویه فیلم جریان تشکیل نخواهد شد و تنها قسمتی از لوله مسی سه اینچی در گیر انتقال حرارت با لوله مارپیچ خواهد شد.



شکل ۴-۱۴: انتقال حرارت مبدل در دبی ثابت آب گرم ۱۰ لیتر بر دقیقه در زوایای مختلف

۴-۶ نتایج آزمایش افت فشار

دانستن میزان افت فشار مبدل از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا در صورت نیـاز بایـد از پمـپ در مجموعه استفاده شود که اقتصادی بودن این شرایط مستلزم بررسی می‌باشد. نتایج آزمایش‌های افت فشار را می‌توانید در شکل ۴-۱۵ مشاهده کرد. از آنجایی که افت فشار در لوله مارپیچ با دبی رابطه نمایی دارد با افزایش دبی فشار کاهش می‌یابد از طرفی مارپیچ بودن لوله و تغییر جهت مداوم سـیال دلیـل فیزیکـی این افت فشار می‌باشد.



شکل ۴-۱۵: نتایج آزمایش‌های افت فشار

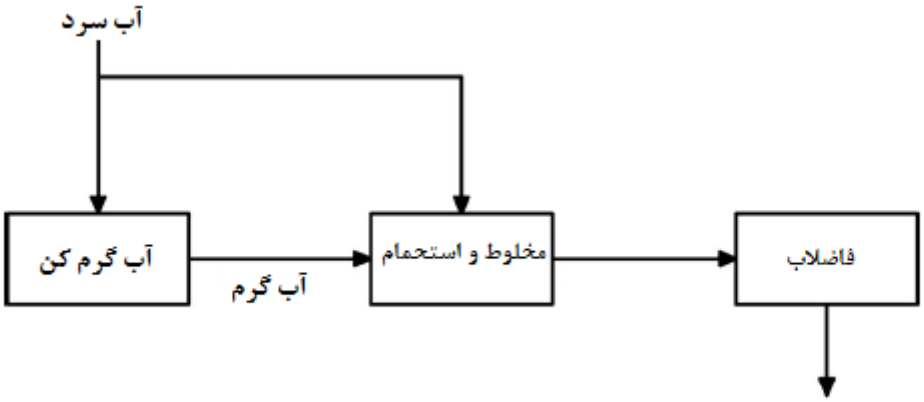
۴-۷ نتایج نحوه اتصالات مختلف سیستم پیش‌گرمایش آب

همان طور که در قسمت ۲-۷ توضیح داده شد آب پیش‌گرم شده در خروجی مبدل به سه صورت قابل استفاده می‌باشد. آب پیش‌گرم شده در مرحله اول به دو قسمت تقسیم شده و قسمتی وارد سیستم گرمایش و قسمت دیگر وارد محل استحمام می‌شود در مرحله بعدی آب پیش‌گرم شده تنها وارد سیستم گرمایش شده و در مرحله آخر آب پیش‌گرم تنها وارد محل استحمام می‌شود. در هر مرحله دبی آب گرم خارج شده از آب‌گرم کن و دمای آن و همچنین دمای آب پیش‌گرم شده و دبی آن اندازه‌گیری می‌شود. برای محاسبه میزان انرژی صرفه جویی شده باید میزان انرژی مصرف شده در حالت اولیه یعنی حالت بدون نصب مبدل را اندازه‌گیری کرد که در قسمت ۴-۷-۱ توضیح داده شده است.

۴-۷-۱ حالت اولیه

حالت اولیه درواقع حالت استفاده از حمام بدون نصب مبدل است چون برای محاسبه میزان مصرف انرژی در معادله (۲-۳) به دبی آب گرم نیاز داریم انجام این آزمایش الزامی می‌باشد. همان‌طور که در فصل‌های پیشین توضیح داده شد آب‌گرم‌کن را روی ۶۰ درجه ثابت، دبی مخلوط را ۱۱ لیتر بر دقیقه در

نظر گرفته می‌شود. ششکل ۴-۱۶ تصویر شماتیک حالت بدون نصب مبدل را نشان می‌دهد



شکل ۴-۱۶: نمودار مسیر مصرف آب گرم برای استحمام بدون استفاده از مبدل

در طی این آزمایش دبی آب گرم ۷ و دبی آب سرد ۴ لیتر بر دقیقه به دست آمد. طبق معادله (۲-۳) و (۲-۴) انرژی مصرف‌شده جهت تامین آب گرم حمام برای یک خانواده ۴ نفره در طول سال در این بخش ۱/۸ میلیون کیلوکالری معادل ۲۱۰ مترمکعب گاز است.

۴-۷-۲ پیش‌گرمایش آب ورودی به حمام و آب‌گرم‌کن

میزان دبی به‌دست‌آمده آب گرم در این حالت ۳/۸ لیتر بر دقیقه است و دمای آب پیش گرم ۳۵ درجه سانتی‌گراد است با جایگذاری در معادله (۲-۳) و (۲-۴) میزان انرژی مصرف‌شده در این حالت برای یک خانواده ۴ نفره ۷۷۴ هزار کیلوکالری معادل ۹۰ مترمکعب گاز می‌باشد. به عبارتی میزان گاز صرفه-جویی شده ۱۲۰ مترمکعب است.

۴-۷-۳ پیش‌گرمایش آب ورودی به آب‌گرم‌کن

میزان دبی به‌دست‌آمده آب گرم در این حالت ۴/۶ لیتر بر دقیقه است و دمای آب پیش گرم ۳۳

درجه سانتی‌گراد است با جایگذاری در معادله ۲-۳ و۲-۴ میزان انرژی مصرف‌شده در این حالت برای یک خانواده ۴ نفره تقریباً ۸۶۰ هزار کیلوکالری معادل ۱۰۰ مترمکعب گاز می‌باشد؛ که برابر است با ۱۱۰ مترمکعب صرفه‌جویی در گاز مصرف‌شده.

۴-۷-۴ پیش‌گرمایش آب ورودی به محل استحمام

میزان دبی به‌دست‌آمده آب گرم در این حالت ۴/۸ لیتر بر دقیقه و دمای آب ورودی به سیستم گرمایش ۲۶ درجه سانتی‌گراد است با جایگذاری در معادله (۲-۳) و (۲-۴) میزان انرژی مصرف‌شده در این حالت برای یک خانواده ۴ نفره ۱/۲ میلیون کیلوکالری معادل ۱۴۰ مترمکعب گاز می‌باشد؛ که میزان گاز صرفه‌جویی شده ۷۰ مترمکعب است.

۴-۸ میزان صرفه‌جویی پروژه

طبق میزان صرفه‌جویی انجام‌شده در سال اول برای حالت اول ۱۲۰ مترمکعب گاز معادل ۱۲۰ هزار ریال و صرفه‌جویی انجام‌شده درازای بهای دریافتی در بخش صادرات گاز معادل ۳۶ دلار و برای حال دوم یعنی پیش‌گرمایش آب ورودی به آب‌گرم‌کن میزان صرفه‌جویی ۱۱۰ مترمکعب گاز که معادل ۱۱ هزار ریال و میزان صرفه‌جویی در این حالت به ازای بهای صادراتی گاز ۳۳ دلار است. در حالت سوم پیش‌گرمایش آب محل استحمام ۷۰ مترمکعب گاز در طی یک سال صرفه‌جویی می‌شود که معادل ۷۰ هزار ریال و بهای صادراتی آن ۲۱ دلار می‌باشد.

۴-۹ نتایج تحلیل ارزش حال خالص پروژه

در این قسمت هر سه حالت نصب مبدل را بررسی کرده و در جدول ارزش حال خالص آورده شده است. هزینه ساخت مبدل و نصب آن ۳۵۰۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته و میزان سودآوری پروژه در ده سال آینده بررسی‌شده است.

در جدول ۴-۱ نتایج بررسی ارزش حال خالص را در ده سال اولیه اجرای پروژه با نرخ داخلی گاز نشان داده‌شده است. مثبت بودن جمع کل ستون ارزش حال خالص به معنای سودآوری پروژه و رسیدن به نقطه بازگشت سرمایه در این ده سال است اما اینکه دقیقاً در چه سالی بازگشت سرمایه انجام خواهد شد در قسمت ۴-۹-۱ توضیح داده شده است.

جدول ۴-۲ همین شرایط را برای حالت اول اما با نرخ صادراتی محاسبه می‌کند. عدد به‌دست‌آمده جمع ستون ارزش خالص بزرگ‌تر از عدد به‌دست‌آمده با نرخ داخلی گاز است این بدان معنی است که نرخ صادراتی پروژه را جذاب‌تر و درنتیجه بازگشت سرمایه زودتری به دنبال خواهد داشت.

جدول ۴-۱: ارزش حال خالص حالت اول نصب سیستم در ده سال با نرخ داخلی گاز

سال	مقدار سرمایه‌گذاری(a)	صرفه‌جویی خالص(b)	افزایش قیمت گاز (c)٪۵	فاکتور تنزیل (e)٪۱۰	ارزش حال $b \times c/e$
۰	-۳۵۰۰۰۰		۱	۱	-۳۵۰۰۰۰
۱		+۱۲۰۰۰	۱/۰۵	۱/۱	۱۱۴۵۰
۲		+۱۲۰۰۰	۱/۱	۱/۲۱	۱۰۹۰۰
۳		+۱۲۰۰۰	۱/۱۵	۱/۳۰	۱۰۰۰۰
۴		+۱۲۰۰۰	۱/۲۱	۱/۴۷	۹۸۰۰
۵		+۱۲۰۰۰	۱/۲۷	۱/۶۱	۹۴۰۰
۶		+۱۲۰۰۰	۱/۳۴	۱/۷۸	۹۰۰۰
۷		+۱۲۰۰۰	۱/۴	۱/۹	۸۸۰۰
۸		+۱۲۰۰۰	۱/۴۷	۲/۱	۸۴۰۰
۹		+۱۲۰۰۰	۱/۵۵	۲/۳	۸۰۰۰
۱۰		+۱۲۰۰۰	۱/۶۲	۲/۶	۷۴۰۰
					NPV=-۲۵۰۰۰۰

جدول ۴-۲: ارزش حال خالص حالت اول نصب سیستم در ده سال با نرخ صادراتی گاز

سال	مقدار سرمایه‌گذاری(a)	صرفه‌جویی خالص(b)	فاکتور تورم (c)٪۵	فاکتور تنزیل (e)٪۱۰	ارزش حال $b \times c/e$
۰	-۳۵۰۰۰۰		۱	۱	-۳۵۰۰۰۰
۱		+۱۰۰۰۰۰	۱/۰۵	۱/۱	۹۵۴۰۰
۲		+۱۰۰۰۰۰	۱/۱	۱/۲۱	۹۰۹۰۰
۳		+۱۰۰۰۰۰	۱/۱۵	۱/۳	۸۸۴۰۰
۴		+۱۰۰۰۰۰	۱/۲۱	۱/۴۷	۸۲۳۰۰
۵		+۱۰۰۰۰۰	۱/۲۷	۱/۶۱	۷۸۸۰۰
۶		+۱۰۰۰۰۰	۱/۳۴	۱/۷۸	۷۵۳۰۰
۷		+۱۰۰۰۰۰	۱/۴	۱/۹	۷۳۷۰۰
۸		+۱۰۰۰۰۰	۱/۴۷	۲/۱	۷۰۰۰۰
۹		+۱۰۰۰۰۰	۱/۵۵	۲/۳	۶۷۰۰۰
۱۰		+۱۰۰۰۰۰	۱/۶۲	۲/۶	۶۲۳۰۰

NPV=۸۰۰۰۰۰

جدول ۴-۳: ارزش حال خالص حالت دوم نصب سیستم در ده سال با نرخ داخلی گاز

سال	مقدار سرمایه‌گذاری(a)	صرفه‌جویی خالص(b)	فاکتور تورم (c)٪۵	فاکتور تنزیل (e)٪۱۰	ارزش حال $b \times c/e$
۰	-۳۵۰۰۰۰		۱	۱	-۳۵۰۰۰۰
۱		+۱۱۰۰۰	۱/۰۵	۱/۱	۱۰۵۰۰
۲		+۱۱۰۰۰	۱/۱	۱/۲۱	۱۰۰۰۰
۳		+۱۱۰۰۰	۱/۱۵	۱/۳	۹۷۰۰
۴		+۱۱۰۰۰	۱/۲۱	۱/۴۶	۹۰۰۰
۵		+۱۱۰۰۰	۱/۲۷	۱/۶۱	۸۶۰۰
۶		+۱۱۰۰۰	۱/۳۴	۱/۷۸	۸۲۰۰
۷		+۱۱۰۰۰	۱/۴	۱/۹	۸۱۰۰
۸		+۱۱۰۰۰	۱/۴۷	۲/۱	۷۷۰۰
۹		+۱۱۰۰۰	۱/۵۵	۲/۳	۷۴۰۰
۱۰		+۱۱۰۰۰	۱/۶۲	۲/۶	۶۸۰۰

NPV=-۲۵۰۰۰۰

جدول ۴-۳ نشان می‌دهد حالت اول از حالت دوم صرفه اقتصادی بیشتری دارد زیرا $NPV_1 > NPV_2$ و در هر دو حالت نرخ صادراتی بازگشت سرمایه سریع‌تری نسبت به بهاد داخلی دارد زیرا؛ در ایران بهای انرژی بسیار کم است و تا حدودی این اختلاف بازگشت سرمایه بین نرخ داخلی و نرخ صادراتی قابل پیش‌بینی بوده است.

جدول ۴-۴: ارزش حال خالص حالت دوم نصب سیستم در ده سال با نرخ صادراتی گاز

سال	مقدار سرمایه‌گذاری(a)	صرفه‌جویی خالص(b)	فاکتور تورم ٪۵(c)	فاکتور تنزیل ٪۱۰(e)	ارزش حال $b \times c/e$
۰	-۳۵۰۰۰۰		۱	۱	-۳۵۰۰۰۰
۱		+۸۵۰۰۰	۱/۰۵	۱/۱	۸۱۲۰۰
۲		+۸۵۰۰۰	۱/۱	۱/۲۱	۷۸۰۰۰
۳		+۸۵۰۰۰	۱/۱۵	۱/۳	۷۵۰۰۰
۴		+۸۵۰۰۰	۱/۲۱	۱/۴۶	۷۰۰۰۰
۵		+۸۵۰۰۰	۱/۲۷	۱/۶۱	۶۷۰۰۰
۶		+۸۵۰۰۰	۱/۳۴	۱/۷۸	۶۳۰۰۰
۷		+۸۵۰۰۰	۱/۴	۱/۹	۶۲۰۰۰
۸		+۸۵۰۰۰	۱/۴۷	۲/۱	۶۰۰۰۰
۹		+۸۵۰۰۰	۱/۵۵	۲/۳	۵۷۰۰۰
۱۰		+۸۵۰۰۰	۱/۶۲	۲/۶	۵۳۰۰۰

NPV=۶۸۰۰۰۰

در جدول ۴-۵ نیز ماند دو حالت قبل حالت با نرخ داخلی بهای گاز و نـرخ صـادراتی آن ارزش حـال خالص بررسی‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که این حالـت از دو حالـت قبـل بازگشـت سـرمایه دیرتـری خواهد داشت.

جدول ۴-۵: ارزش حال خالص حالت سوم نصب سیستم در ده سال با نرخ داخلی گاز

سال	مقدار سرمایه‌گذاری(a)	صرفه‌جویی خالص(b)	فاکتور تورم (c)٪۵	فاکتور تنزیل (e)٪۱۰	ارزش حال $b \times c/e$
۰	-۳۵۰۰۰۰		۱	۱	-۳۲۶۰۰۰
۱		+۷۰۰۰	۱/۰۵	۱/۱	۶۷۰۰
۲		+۷۰۰۰	۱/۱	۱/۲۱	۶۳۰۰
۳		+۷۰۰۰	۱/۱۵	۱/۳	۶۲۰۰
۴		+۷۰۰۰	۱/۲۱	۱/۴۶	۵۷۰۰
۵		+۷۰۰۰	۱/۲۷	۱/۶۱	۵۵۰۰
۶		+۷۰۰۰	۱/۳۴	۱/۷۸	۵۲۰۰
۷		+۷۰۰۰	۱/۴	۱/۹	۵۱۰۰
۸		+۷۰۰۰	۱/۴۷	۲/۱	۴۹۰۰
۹		+۷۰۰۰	۱/۵۵	۲/۳	۴۷۰۰
۱۰		+۷۰۰۰	۱/۶۲	۲/۶	۴۳۰۰
					NPV= -۲۹۰۰۰۰

جدول ۴-۶: ارزش حال خالص حالت سوم نصب سیستم در ده سال با نرخ صادراتی بهای گاز

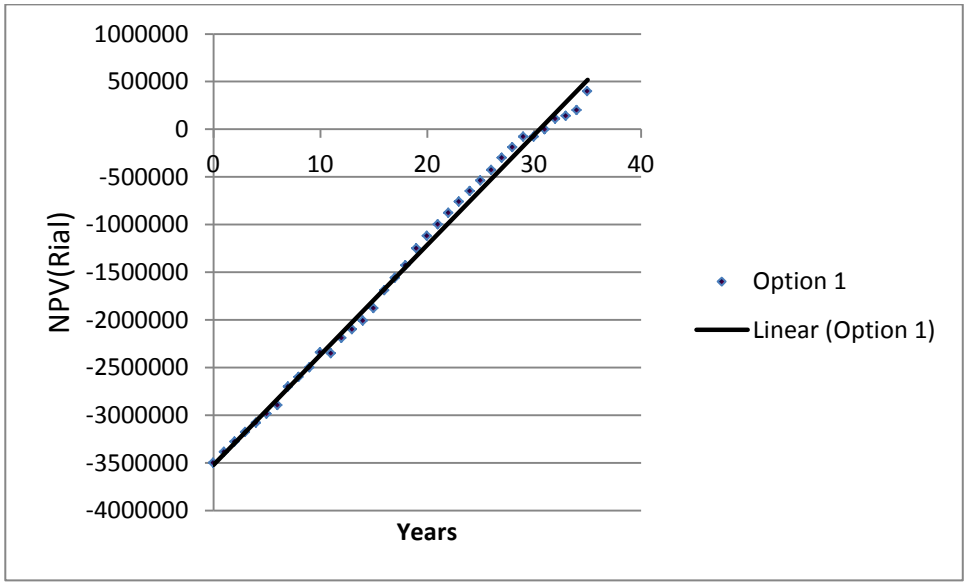
سال	مقدار سرمایه‌گذاری(a)	صرفه‌جویی خالص(b)	فاکتور تورم (c)٪۵	فاکتور تنزیل (e)٪۱۰	ارزش حال $b \times c/e$
۰	-۳۵۰۰۰۰		۱	۱	-۳۵۰۰۰۰
۱		+۵۰۰۰۰	۱/۰۵	۱/۱	۴۷۷۰۰
۲		+۵۰۰۰۰	۱/۱	۱/۲۱	۴۵۴۰۰
۳		+۵۰۰۰۰	۱/۱۵	۱/۳	۴۴۳۰۰
۴		+۵۰۰۰۰	۱/۲۱	۱/۴۶	۴۱۲۰۰
۵		+۵۰۰۰۰	۱/۲۷	۱/۶۱	۳۹۴۰۰
۶		+۵۰۰۰۰	۱/۳۴	۱/۷۸	۳۷۸۰۰
۷		+۵۰۰۰۰	۱/۴	۱/۹	۳۶۸۰۰
۸		+۵۰۰۰۰	۱/۴۷	۲/۱	۳۵۰۰۰
۹		+۵۰۰۰۰	۱/۵۵	۲/۳	۳۳۶۰۰
۱۰		+۵۰۰۰۰	۱/۶۲	۲/۶	۳۱۲۰۰
					NPV=۵۲۰۰۰

در فصل بعد در نمودار ۵-۱ و ۵-۲ برای هر سه حالت مختلف نمودار ارزش حال خالص برحسب سال رسم و سال دقیق بازگشت سرمایه نشان داده‌شده است.

۴-۹-۱ بازگشت سرمایه

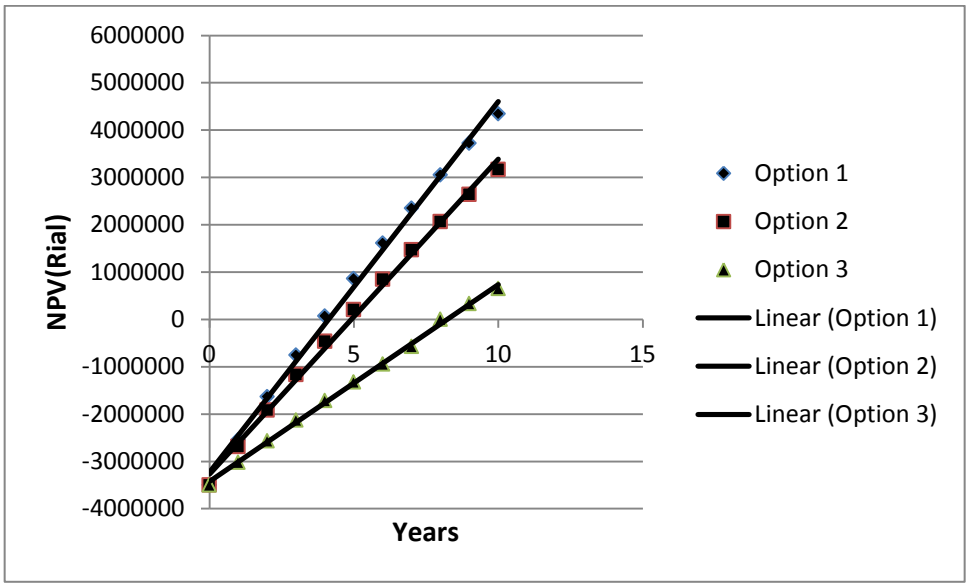
نقطه سر به سر در روش ارزش حال خالص زمانی اتفاق می‌افتد که $NPV=0$ و از این مرحله به بعد سود پروژه تلقی می‌شود برای محاسبه زمان دقیق بازگشت سرمایه از جداول ارزش حال خالص که در

قسمت ۴-۹ محاسبه شد درون یابی کرده و زمان دقیق بازگشت سرمایه محاسبه مـی‌شـود شـکل۴-۱۷و ۴-۱۸ نمودار ارزش حال خالص آزمایشات انجام شده می‌باشد.نرخ بهای داخلی بازگشـت سـرمایه جـذابی نخواهد داشت و بهترین حالت آن ۳۰ ساله خواهد بود از این رو دو حالت بعدی که به مراتب ذخیره‌سازی انرژی کمتری داشته اند در نمودار آورده نشده است محل تلاقی نمودار با محور افقی سال بازگشت سرمایه را نشان خواهد داد.شکل۴-۱۷ بازگشت سرمایه بر اساس نرخ داخلی و شـکل۴-۱۸ بازگشـت سـرمایه بـر اساس نرخ صادراتی می‌باشد



شکل۴-۱۷: بازگشت سرمایه با متد ارزش حال خالص هر سه نوع اتصال مبدل با بهای داخلی گاز

بازگشت سرمایه در اتصال نوع یک سریع‌تر اتفاق خواهد افتاد و تقریبا معادل ۷ سال است این درحالی است که اتصال نوع دوم ۸ سال و اتصال نوع سوم ۱۲ سال بعد بازگشت سرمایه را بدنبال خواهند داشت نمودار ۴-۱۸ سه نوع اتصال را با نرخ صادراتی بررسی کرده است و نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد



شکل ۴-۱۸: بازگشت سرمایه با متد ارزش حال خالص هر سه نوع اتصال مبدل با بهای صادراتی گاز

بازگشت سرمایه با نرخ صادراتی از بازگشت سرمایه با نرخ داخلی سریع‌تر اتفاق می‌افتد و دلیل این امر ارزان بودن بهای انرژی در کشور ایران است

۴-۱۰ اصل عدم قطعیت

عدم قطعیت مفهومی است که در زمینه های مختلفی از قبیل فلسفه، آمار، اقتصاد، بیمه، روانشناسی، جامعه شناسی، مهندسی و علوم اطلاعات کاربرد دارد .این مفهوم در پیش بینی وقایع آینده و اندازه‌گیری های انجام شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. عدم قطعیت به معنی نداشتن قطعیت است یا شرایطی است که به دلیل دانش ناکافی امکان اظهار نظر قطعی در مورد شرایط موجود یا آینده وجود نداشته باشد. کلمه عدم قطعیت به معنی تردید در خصوص مقدار نتیجه اندازه‌گیری می باشد. عدم قطعیت اندازه‌گیری به ما اطلاعاتی درباره کیفیت اندازه‌گیری ارائه می‌دهد. نتیجه فقط تخمینی از مقدار واقعی می باشد و فقط

هنگامی کامل است که با بیانیه‌ای در خصوص عدم قطعیت همراه باشد. بدین دلیل در این قسمت سعی شده نتایج با اصل عدم قطعیت بررسی و ارائه شود.

عدم قطعیت با توجه به موضوع و نوع مسئله از روش‌های مختلفی می‌تواند بررسی شود. که روش‌های آزمون را می‌توان در قالب پارامترهای آماری مختلفی همچون انحراف استاندارد، واریانس، انحراف استاندارد نسبی یا ضریب نوسان و سایر پارامترها گزارش داد. از آنجایی که برای هر داده در این پروژه از سه آزمایش استفاده شده است و میانگین آن‌ها در نمودارها نشان داده شده است تصمیم گرفته شده عدم قطعیت بر پایه آزمون انحراف استاندارد میانگین بیان شود. که آن را با $\sigma_{\bar{x}}$ نمایش می‌دهند. معادله (۴-۱) و معادله (۴-۲) به ترتیب انحراف استاندارد و انحراف استاندارد میانگین را معرفی می‌کنند[۲۱]. که در آن‌ها x داده اندازه‌گیری شده و N تعداد دفعات اندازه‌گیری هر دما می‌باشد. از آنجایی که نحوه اندازه گیری برای تمام شرایط یکسان می‌باشد لازم نیست عدم قطعیت برای تک تک موارد بررسی شود در این شرایط چهار دمای اندازه‌گیری شده را بطور تصادفی انتخاب و عدم قطعیت هریک را محاسبه کرده و بیشترین عدم قطعیت برای کل داده‌ها در نظر گرفته می‌شود.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_{i-}\overline{x})^2} \qquad (۴-۱)$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \qquad (۴-۲)$$

در اینجا برای هر سنسور چهار داده تصادفی انتخاب می‌شود جدول ۴-۷ داده های تصادفی سنسور شماره یک است که وظیفه اندازه‌گیری دمای آب ورودی به ساختمان را به عهده داشته است.

جدول ۴-۷: چهار داده تصادفی سنسور شماره ۱

میانگین	آزمایش ۳	آزمایش ۲	آزمایش ۱	
۲۶/۱۶	۲۶	۲۶/۵	۲۶	داده شماره ۱
۲۶/۳	۲۶	۲۶	۲۶/۵	داده شماره ۲
۲۵/۶	۲۵/۵	۲۶	۲۵/۴	داده شماره ۳
۲۵/۸	۲۶	۲۶	۲۵/۵	داده شماره ۴

انحراف استاندارد میانگین برای هر چهار داده برابر است با :

$\sigma_{\bar{x}_1} = ۰/۳$ $\sigma_{\bar{x}_3} = ۰/۴$

$\sigma_{\bar{x}_2} = ۰/۳$ $\sigma_{\bar{x}_4} = ۰/۳$

جدول ۴-۸ چهار داده تصادفی از سنسور شماره ۲ می‌باشد که وظیفه اندازه‌گیری دمای آب استحمام را به عهده دارد.

جدول ۴-۸: چهار داده تصادفی سنسور شماره ۲

میانگین	آزمایش ۳	آزمایش ۲	آزمایش ۱	
۴۵/۳	۴۵/۵	۴۵	۴۵/۵	داده شماره ۱
۴۵/۳	۴۵	۴۵,۵	۴۵/۶	داده شماره ۲
۴۵/۲	۴۵	۴۵/۱	۴۵/۴	داده شماره ۳
۴۵/۲	۴۵/۲	۴۵/۴	۴۵	داده شماره ۴

انحراف استاندارد میانگین برای هر چهار داده برابر است با :

$\sigma_{\bar{x}_1} = ۰/۳$ $\sigma_{\bar{x}_3} = ۰/۲$

$\sigma_{\bar{x}_2} = ۰/۳$ $\sigma_{\bar{x}_4} = ۰/۲$

جدول ۴-۹ چهار داده تصادفی از سنسور شماره ۳ می‌باشد که وظیفه اندازه‌گیری دمای آب پیش‌گرم را به عهده دارد.

انحراف استاندارد میانگین برای هر چهار داده در این قسمت برابر است با :

$\sigma_{\bar{x}_1} = ۰/۳$ $\sigma_{\bar{x}_3} = ۰/۲$

$\sigma_{\bar{x}_2} = ۰/۳$ $\sigma_{\bar{x}_4} = ۰/۱$

جدول ۴-۹: چهار داده تصادفی سنسور شماره ۳

میانگین	آزمایش ۳	آزمایش ۲	آزمایش ۱	
۳۶/۲	۳۶/۳	۳۶	۳۶/۶	داده شماره ۱
۴۳/۲۶	۴۳/۳	۴۳	۴۳/۵	داده شماره ۲
۳۵/۲۶	۳۵	۳۵/۵	۳۵/۵	داده شماره ۳
۳۸/۶۶	۳۸/۸	۳۸/۷	۳۸/۵	داده شماره ۴

این انحراف استاندارد میانگین را در اینجا عدم قطعیت بیان می‌کنیم. در پروژه‌ها با توجه به تلورانس

تعیین شده برای نتایج عدم قطعیت خوب یا بد مشخص خواهد شد. در آنالیز حساسیت بالاترین و پایین-ترین عدم قطعیت در داده‌ها ورودی مسئله خواهد شد و نتایج نباید از حد مجاز خارج باشد یا اگر این عدم قطعیت نتیجه چشم‌گیری در خروجی بگذارد در اندازه‌گیری دقیق‌تر باید تجدید نظر کرد و حساسیت بیشتری به خرج داد. در این پروژه عدم قطعیت ۰/۳ را که بیشترین مقدار محاسبه شده است برای کل داده‌ها در نظر گرفته و بشکل زیر نمایش داده می‌شود:

$T =$ دمای اندازه گیری شده $\pm$ ۰/۳

از آنجایی که در این پروژه پارامتر دبی هم سه مرتبه اندازه‌گیری شده و در نتایج نهایی تاثیر خواهد گذاشت بررسی عدم قطعیت برای این اندازه‌گیری نیاز می‌باشد. از آنجایی که تمام مراحل اندازه‌گیری دبی برای هر قسمت یکسان بوده است تنها یکی از آزمایش‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. باید توجه داشت تمام اعداد در جدول ۴-۱۰ بر اساس لیتر بر دقیقه می‌باشد.

جدول ۴-۱۰: چهار داده تصادفی اندازه‌گیری دبی

	آزمایش ۱	آزمایش ۲	آزمایش ۳	میانگین
داده شماره ۱	۸/۵	۸/۲	۸	۸/۲۳
داده شماره ۲	۲/۲	۲/۲	۲	۲/۱
داده شماره ۳	۸	۸/۲	۸/۵	۸/۲
داده شماره ۴	۶/۵	۶/۲	۶	۶/۲

انحراف استاندارد میانگین باتوجه به معادله (۴-۲) برای دبی برابر است با:

$\sigma_{\bar{x}_1}$ =۰/۱۸ $\sigma_{\bar{x}_3}$ =۰/۱۴

$\sigma_{\bar{x}_2}$ =۰/۱۷ $\sigma_{\bar{x}_4}$ =۰/۱۷

عدم قطعیت برای دبی برابر است با ۰/۱۸ و دبی برابر است با :

$q =$ دبی اندازه گیری شده $\pm$ ۰/۱۸

۴-۱۰-۱ عدم قطعیت مرکب

از آنجایی که تابع میزان انرژی مصرف شده ترکیبی از ضرب دما و دبی و پارامترهای ثابت می‌باشد عدم قطعیت برای این پروژه به شکل زیر تعریف می‌شود:

اگر تابع ریاضی به شکل رابطه (۴-۳) باشد و u_i برابر با عدم قطعیت پارامتر i ام باشد عدم قطعیت مرکب که با U نشان داده می‌شود طبق ربطه (۴-۴) نشان داده می‌شود[۲۲].

$$y = Cx_1x_2x_3 \dots \dots x_i \qquad (۴-۳)$$

$$\frac{U(y)}{y} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \cdots u_i^2} \qquad (۴-۴)$$

در نتیجه عدم قطعیت مرکب برای تابع انرژی مصرف شده برابر است با ۰/۳۵ که در واقع این می-تواند انحرافی از داده های بدست آمده باشد که در بازگشت سرمایه تاثیر خواهد گذاشت.

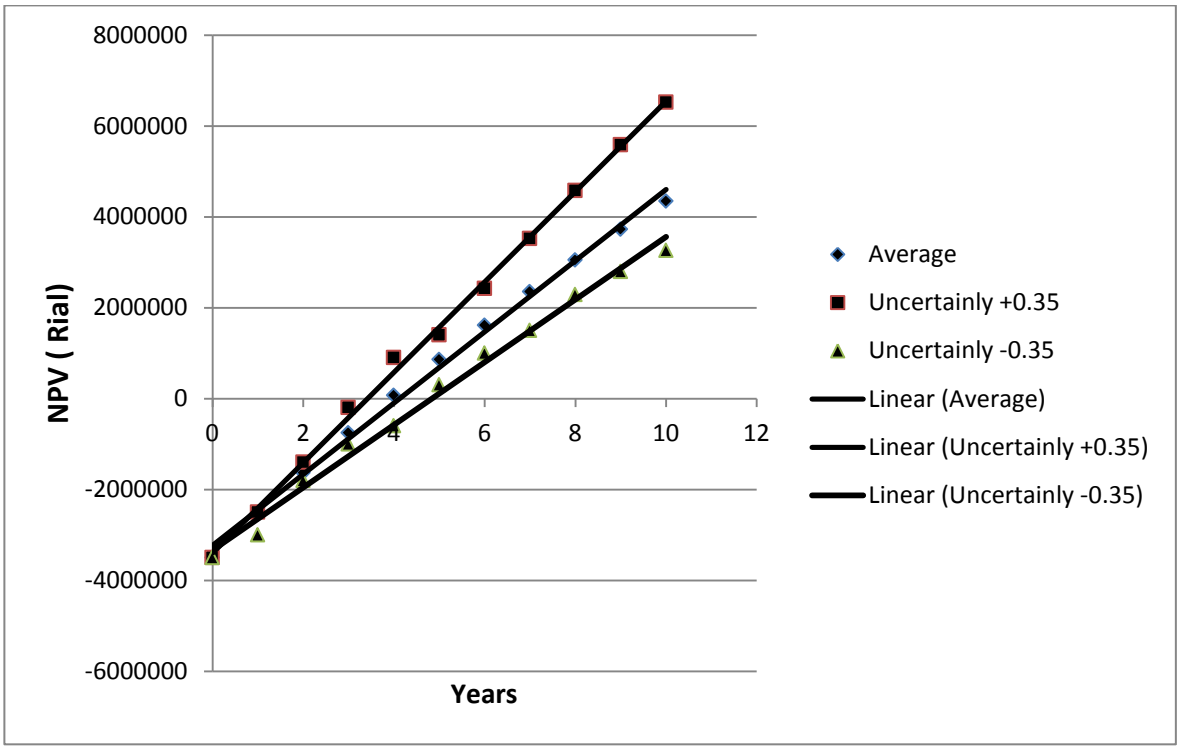
که نحوه بیان آن بصورت زیر خواهد بود :

$y=y \pm yu(y)$

۴-۱۱ آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت در واقع تاثیر بیشترین و کمترین مقدار عدم قطعیت اندازه‌گیری داده‌ها می‌باشد کـه

درست بودن یا نبودن آزمایش را می‌تواند نشان دهد. بطوری که اگر در نتایج نهایی تغییرات چشم‌گیری وجود داشته باشد اندازه‌گیری باید مجدد و با دقت بیشتری لحاظ شود. در بسیاری از موارد برای نتایج نهایی استانداردهایی موجود است که نتایج نهایی بدست آمده را با استانداردها مقایسه کرده و از صحت آزمایش اطمینان حاصل می‌شود. اگر عدم قطعیت ۰/۳۵ را عدم قطعیت مرکب برای انرژی مصرف شده لحاظ شود تاثیر آن برای بازگشت سرمایه اتصال نوع اول در شکل ۴-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۹: آنالیز حساسیت تاثیر عدم قطعیت بر بازگشت سرمایه اتصال نوع اول با بهای داخلی

نمودار ۴-۱۹ نشان می‌دهد با در نظر گرفتن عدم قطعیت در بیشترین مقدار و کمترین مقدار به ترتیب بین ۶ ماه الی ۸ ماه امکان تغییر در جواب نهایی بازگشت سرمایه وجود خواهد داشت. در واقع آنالیز حساسیت می‌تواند در بهترین حالت و بدترین حالت نتایج نهایی را مشخص کند و باعث برنامه‌ریزی دقیق‌تر جهت مصرف نهایی محصول خواهد شد.

فصل ۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

در این پروژه سعی شده مبدل حرارتی ساخته‌شده توسط کشورهای دیگر، ساخته و نتایج حاصل از آن بومی‌سازی شود. وظیفه این مبدل پیش‌گرمایش آب ورودی به ساختمان است. ابتدا به ساخت و بررسی بازدهی مبدل حرارتی پرداخته‌شده است سعی شده مبدل را در دبی‌های مختلف آزمایش و بازدهی توسط معادله ۲-۱ به دست آمد که تقریباً با توجه به دبی‌های مختلف بازدهی بین ۲۰٪ تا ۶۵٪ در حالت عایق‌کاری محاسبه شد. همچنین نتایج حاکی از آن بوده است که عایق‌کاری ۱۰٪ تا ۱۵٪ باعث افزایش بازدهی می‌شود. انتقال حرارت در مبدل در این حالت بین ۷ تا ۱۰ کیلووات است باید توجه داشت در دبی‌های یکسان با افزایش دبی میزان انتقال حرارت افزایش و میزان بازدهی کاهش پیدا می‌کند اما در حالت‌های مختلف زمان‌هایی که دبی آب سرد بیشتر از دبی آب گرم باشد افزایش دبی بر کاهش اختلاف دما غلبه می‌کند و باعث افزایش بازدهی می‌شود.

بررسی بازدهی مبدل حرارتی در زوایای مختلف حاکی از آن است که در زاویه ۳۰ درجه به‌طور کل ۱۰ درصد کاهش بازدهی و ۸ در صد کاهش انتقال حرارت خواهیم داشت و در زاویه ۶۰ درجه به‌طور میانگین برای بازدهی ۳۰ درصد و انتقال حرارت ۲۳درصد کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین برای حالت ۹۰ درجه نیز بازدهی و انتقال حرارت به ترتیب ۵۰ و ۴۵ درجه خواهد بود. دلیل کاهش بازدهی و انتقال حرارت را می‌توان در کاهش سطح تماس سیال گرم و سرد دانست در حالت ۹۰ درجه فیلم جریان در سرتاسر لوله درگیر انتقال حرارت با سیال سرد است درحالی‌که در زوایای مختلف فیلم جریان تشکیل نمی‌شود و بخشی از لوله درگیر انتقال حرارت می‌باشد. در مرحله بعدی میزان افت فشار مبدل بررسی‌شده که در دبی ۱۰ لیتر بر دقیقه افت فشار مبدل تقریباً ۴ متر ستون آب است طبق استانداردهای سازمان آب به‌طور تقریبی میزان فشار بعد از کنتور باید ۳۵ تا ۴۰ متر باشد[۱۹] با این اوصاف ۴ متر افت فشار مقدار زیادی به‌حساب نمی‌آید به تعبیری اگر واحدی برای ۴ متر ستون آب افت فشار نیاز به پمپ داشته باشد

پس قبل از نصب مبدل هم نیاز به پمپ داشته است. در آخر استفاده از آب پیش‌گرمایش شده در سه حالت مختلف بررسی‌شده است و نتایج در فصل گذشته آورده شده است با محاسبات اقتصادی مسئله با روش ارزش حال خالص میزان بازگشت سرمایه در حالت‌های مختلف بطور خلاصه در جدول ۵-۱ آورده شده است

جدول ۵-۱ حالت اولیه نصب را حالت بهینه معرفی می‌کند با بازگشت سرمایه سریعتر نسبت به دو حالت دیگر که تقریبا در بهترین حالت بازگشت سرمایه ۷ ساله خواهد داشت این در حالی است که با نرخ صادراتی برای دولت این پروژه در بهترین حالت بازگشت سرمایه دو ساله را خواهد داشت.

جدول ۵-۱: خلاصه‌ای از نتایج به‌دست‌آمده در ارتباط با میزان صرفه‌جویی و بازگشت سرمایه

حالت ۳	حالت ۲	حالت ۱	
۷۰	۱۱۰	۱۲۰	میزان صرفه‌جویی (مترمکعب)
۴۰	۳۴	۳۰	بازگشت سرمایه با بهای داخلی قیمت گاز
۸	۵	۴	بازگشت سرمایه با بهای صادراتی قیمت گاز

نتایج نشان می‌دهد پروژه برای اتصال‌های مختلف در ساختمان با بهای داخلی قیمت گاز بین ۱۴ تا ۲۸ سال به زمان احتیاج دارد تا بازگشت سرمایه صورت گیرد و با بهای نرخ صادراتی بین ۱/۸ تا ۳/۱ سال بازگشت سرمایه صورت خواهد گرفت دلیل این اختلاف به علت ارزان بودن بهای انرژی برای مصرف‌کننده و یارانه دولت در بخش حامل‌های انرژی است و سرانجام عدم قطعیت نتایج نهایی $\pm$۰/۳۵ بدست آمد که آنالیز حساسیت نشان می‌دهد این عدد در نتیجه نهایی که بازگشت سرمایه باشد در بهترین شرایط ۶ ماه زودتر یا در بدترین شرایط ۸ ماه دیرتر اتفاق خواهد افتاد.

۵-۲ پیشنهادات

برای پژوهشگرانی که می‌خواهند درزمینه بازیافت حرارت در ساختمان به مطالعه و تحقیق بپردازند با توجه به گستردگی روش‌های بازیافت حرارت زمینه‌های تحقیقاتی بسیاری وجود دارد که با توجه به پژوهش حاضر پیشنهادهای زیر برای این محققین ارائه می‌شود.

۱-در این پروژه محقق می‌تواند سهم دولت را در اعطای یارانه و تشویق مصرف‌کننده لحاظ کند و بازگشت سرمایه برای مصرف‌کننده و دولت را در این حالت بررسی کند

۲-مبدل حرارتی افقی نیز که در کف حمام کار گذاشته می‌شود گونه دیگری از مبدل‌های باز بافت حرارت می‌باشد که علاقه‌مندان می‌توانند آن را بومی‌سازی و به بررسی فنی و اقتصادی آن بپردازند

۳-بررسی فنی و اقتصادی مبدل عمودی با دو لوله مجزا در طول لوله سه اینچی که طرح‌های جدیدتر شرکت‌های سازنده است

۴-بررسی فنی و اقتصادی این پروژه برای آپارتمان‌ها

۵- بررسی فنی و اقتصادی سیستم گرمایش آب حمام در محل استحمام جهت کاهش تلفات حرارتی و حذف تأسیسات اضافی

منابع

[1] ذبیحی، ع: برنامه‌ریزی انرژی، انتشارات صنعت آب و برق،۱۳۹۰

[2] رضاپور، ک: مبانی صرفه‌جویی و اصول مدیریت، سازمان بهره‌وری انرژی ایران،۱۳۸۹

[۳] امانی، س: مدیریت مصرف انرژی در ساختمان، سازمان بهره‌وری انرژی ایران،۱۳۸۹

[4] *D.A.Reay:Heat Recovery Systems,E & F.N.Span 2004*

[5] *maxime lafrance:Renewable Energy Data Book,U.s Departman Energy 2013*

[6] *LE.Smith," The Recovery And Utilisation Of Heat From Waste Water Tn The Home" Applied Energy, p205-214, 1975*

[7] *G. J. Parker & A. S. Tucker, "Dynamic Simulation of a Domestic Hot-Water System," Applied Energy,vol. 40-pl-19, 1991*

[8] *Lucky Invention Earns Awards, EnergyWise News Magazine, April/May 2003, Energy Efficiency and Conservation Authority(EECA), ·We 11 ington, New Zealand*

[9] *L. T. Wong, K. W. Mui, and Y. Guan, "Shower water heat recovery in high-rise residential buildings of Hong Kong," Applied Energy, vol. 87, pp. 703–709, 2009***.**

[10] *Chris Frankowski,"Drain Water Heat Recovery A review of performance and economics," practical issues and applications,2013*

[۱۱]اسماعیل حسینی، راهبردهای برنامه‌سازی برای اصلاح الگوی مصرف، پژوهش‌های ارتباطی، ۱۳۸۹

[12] *Alkam MK, Al-Nimr MA." Improving the performance of double-pipe heat exchangers by using porous substrates". Int J Heat Mass Transfer, vol. 42-p3609-18, 1999*

[13] *Daniel Sły´s, Sabina Kordana," Financial analysis of the implementation of a Drain Water Heat Recovery unit in residential housing", Energy and Buildings,vol.71,p1-11,2013*

[14] *catalog of EcoInnovation company,Solutions for the future, www.ecoinnovation.ca,2013*

[15] http://www.sabainfo.ir

[۱۶]صدیقی، فرخ مال: تحلیل سیستم‌های انرژی، نگاه شرقی سبز،۱۳۸۴

[۱۷]زیتون نژاد، ع: مبانی اقتصاد مهندسی، انتشارات آوای نور،۱۳۸۹

[18] http://www.cbi.ir/category/1611.aspx

[۱۹]طباطبایی، م: محاسبات تأسیسات ساختمان، انتشارات فرهنگ معاصر،۱۳۸۲

[۲۰]فرشاد نصراللهی، اثر تعویض هوا بر مصرف انرژی ساختمان‌ها، کنفرانس بین‌المللی تهویه مطبوع،۱۳۸۹

[21] *Quantifying uncertainty in analytical measurement, Second edition, EURACHEM / CITAC Guide CG 4*

[22] *Guidance for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results, Barry N. Taylor and Chris E. Kuyatt, NIST*

[۲۳] وب سایت مرکز تحقیقات استراتژیک-*http://www.csr.ir*

[24] *Jörgen Wallin, Joachim Claesson**,"** Investigating the efficiency of a vertical inline drain water heat recovery heat exchanger in a system boosted with a heat pump", Energy and Buildings,vol. 80,p-7-16,2014*

[25] *Sabina Kordana, Daniel Sły_s*, J_ozef Dziopak ,"Rationalization of water and energy consumption in shower systems of single-family dwelling houses", Cleaner Production,Vol. 82,P-58-69,2014*

Abstract

Waste energy recovery plays an important role in resource management. about 40% of produced energy in the country, consumes in domestic and commercial consumption that 21% of this energy expended in heating of water that has a specific portion in consumption of produced energy. in this project, it is tried with making a double-pipe heat exchanger, waste heat in bathroom recovered and forward to consumption cycle. hot water that is used in bathroom, after pouring to sewage, passed through the copper pipe and another copper pipe that is wrapped around the prior one and cold water crossing through it, absorbs heat from sewage water and reheats water entering to building. reheated water can enter the bathroom directly and also enter the heating system; or forward to both bathroom and heating system that every case is investigated separately in this project. heat exchanger efficiency in different mass flow rates is between 20% to 45%. and maximum pressure drop is 40 bar that will not influence on total pressure drop. in economic study, payback period is calculated with net present value method. since energy prices have not already reached to its actual prices, it is tried to study by export gas prices. finally, for different connections of heat exchanger in building, payback period is calculated 7 to 12 year for internal gas prices and 2 to 3 for export gas prices.

Shahrood University Of Thechnology
Faculty Of Mechanical Engineering

experimental investigation of Technical and Economic Evaluation of water supply system in residential buildings

Mohammad Mehdi Rezapoor

Supervisor:

Dr. Ali abbas Nejad
Dr. Poorya Akbar Zadeh

November 2014