Archive of SID

طراحی سیستم سرمایش جذبی – تبخیری خورشیدی متناسب با شرایط اقلیمی در ایران

مهندس محمد شجاعی: کارشناس ارشد مهندسی انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
حسین قدمیان، استادیار گروه مهندسی انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
"تحت حمایت شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کشور"

چکیده

مقایسه وضعیت انرژی ایران در سال ۱۳۸۶ با ارقام مشابه در سال ۱۳۶۶ نشان می دهد که کل مصرف نهایی انرژی از ۳۰۷/۷ به ۹۷۵/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش یافته است (رشد سالیانه ۵/۹ درصد). این افزایش چشمگیر در مصرف انرژی، ضرورت تداوم و شتاب در اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی را بیش از پیش نمایان می سازد. چرا که ادامه روند جاری باعث خواهد شد که علاوه بر کاهش سالانه توانایی صادرات انرژی، کشور ما در میان مدت به وارد کننده انرژی نیز تبدیل شود. سیستم سرمایش جذبی تبخیری – تبخیری خورشیدی از سه بخش اصلی خشک کن، منبع گرمایی و سرمایش تشکیل شده است. نحوه عملکرد آن بدینگونه است که هوای گرم و مرطوب وارد بخش خشک کن شده و توسط مواد جاذب رطوبت خود را از دست می دهد. سپس هوای گرم و خشک وارد بخش سرمایش (که عمدتاً تبخیری می باشد) شده و خنک می گردد. سپس این هوای خنک به فضایی که بایستی تهویه گردد هدایت می شود. مواد جاذبی که رطوبت هوا را جذب نمودند جهت احیا به منبع گرمایی نیاز دارند که در این قبیل سیستمها معمولاً از کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی استفاده می گردد. در این مقاله با انجام برآورد اقتصادی مشخص گردید که در صورت جایگزینی سیستمهای سرمایش تراکمی متداول مانند کولر گازی، حدود ۶۳ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی حاصل گردیده و نرخ بازگشت سرمایه آن با استفاده از روش محاسباتی پویا حدود ۳ سال و ۸ ماه بدست می آید.

واژه های کلیدی: سرمایش جذبی تبخیری خورشیدی– خشک کن (Desiccant) – ماده جاذب

مقدمه

کشور ما از وسعت قابل ملاحظه ای برخوردار است که تنوع آب و هوایی گسترده ای در درون خود دارد. بی هیچ تردیدی در کشور پهناور ما که دارای مناطق با شرایط آب و هوایی گوناگون می باشد ، هر منطقه نیازمند سیستمهای تهویه ای خاص خود می باشند.ابتدا باید اطمینان حاصل کنیم هر منطقه ای نیازمند چه نوع سیستم تهویه ای می باشد و میزان نیاز آن چقدر است سپس اقدام به بکارگیری آن نمائیم.

در ابتدا به تعریف دمای خنثی می پردازیم. دمای خنثی دمایی است که افراد در هنگام قرار گیری در آن احساس سردی و یا گرمی خاصی نمی کنند. دمای خنثی طبق استاندارد بین المللی ASHRAE بین ۲۴ تا ۲۶ درجه سانتیگراد می باشد.

با توجه به اینکه حدود ۹۸٪ شهرهای ایران (طبق جدول شرایط طراحی تابستانی شهرهای ایران که توسط دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ارائه گردیده است) دمایی بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد دارند، لذا بر اساس دمای خنثی تعریف شده نیازمند سیستم سرمایش می باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

سیستمهای سرمایش متداول در ایران بر سه گونه سیستم سرمایش تبخیری (کولرآبی، ایرواشر و زنت)، سیستم سرمایش با آب خنک شده بوسیله چیلر جذبی و چیلر تراکمی، سیستم سرمایش توسط انبساط ماده مبرد در کویلهای سرمایش (کولر گازی، پکیج تراکمی) می باشند.

سیستمهای سرمایش تبخیری مقرون به صرفه ترین، قدیمی ترین و شناخته شده ترین سیستمهای سرمایش متداول در ایران است که بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد ولی از این سیستم در مناطق با هوای مرطوب نمی توان استفاده نمود.

دستگاه چیلر جذبی که در قدیم از سیکل آب – آمونیاک استفاده می نموده و اخیراً بدلیل مشکلات زیست محیطی از سیکل آب – لیتیوم برماید استفاده می نماید، سیستمی است که بجای استفاده از انرژی الکتریکی جهت تامین سرمایش از انرژی حرارتی حاصل از سوخت گاز طبیعی بهره می گردد که با این امر در مصرف برق صرفه جویی قابل ملاحظه ای را ایجاد می نماید ولی این دستگاه نیز بدلیل نیاز به برخ خنک کننده آبی در مناطق با هوای مرطوب کارایی لازم را ندارد.

سیستمهای سرمایش تراکمی شامل چیلر تراکمی، پکیج تراکمی و کولر گازی تنها دستگاههای موجود در ایران بوده که در کلیه مناطق کشور مورد استفاده قرار می گیرند ولی بدلیل نیاز مندی به انرژی الکتریکی مشکلاتی را جهت شبکه توزیع برق سراسری کشور در فصل تابستان پدید می آورند.

بنابراین نیاز به یافتن راه مناسبی برای جایگزینی یک سیستم سرمایش که علاوه بر امکان صرفه جویی در مصرف انرژی، امکان استفاده در مناطق با هوای شرجی (مانند شهرهای جنوبی و شمالی ایران) را دارا باشد، به شدت احساس می گردد.

در دهه های ۱۹۳۰و۱۹۴۰ زمانیکه Thomas Midgley و همکارانش در شرکت شیمیایی Kinetic مشغول به کار بودند، انقلابی در زمینه بکارگیری از سیالات شیمیایی جهت صنعت تبرید پدید آوردند. Alexis Berestneff مشغول توسعه و بهبود سیستم های جذبی لیتیوم برماید-آب جهت شرکت Carrier بود، Edmund Altenkirch و Francis Bichowsky در حال یافتن راه حل های فنی و اجرایی جهت سیستم های جذبی باز بودند. این قبیل سیستم ها اکنون پس از گذشت ۸۰ سال است که به عنوان سیستم های موفق جهت تهویه مطبوع و صرفه جویی انرژی و هم چنین دوستدار محیط زیست مورد استفاده قرار می گیرند.ولی بکارگیری از سیکل سرمایش تبخیری در کنار سیکل جذبی، سیستمی را پدید می آورد که می تواند جایگزین بسیار مناسبی از لحاظ اقتصادی و سازگاری با محیط زیست برای سیستمهای تبرید تراکمی متعارف باشند. از همه مهمتر با استفاده از انرژی خورشیدی و یا بازیافت گرمایی در اینگونه سیستم ها می توان کاهش قابل توجهی در مصرف سوخت ایجاد نمود.

اولین سیستم سرمایش جذبی – تبخیری (Desiccant) توسط Lof پیشنهاد شد که مایع خشک کن آن تری اتیلن گلیکول بوده و منبع گرمایی آن هم انرژی خورشیدی بوده است.

بطور کلی سیستمهای سرمایش جذبی – تبخیری بر حسب نوع ماده جاذب به دو گونه جامد (Solid Desiccant Air Condition System) و مایع (Liquid Desiccant Air Condition System) تقسیم می گردند که در این مقاله به شرح طراحی سیستم سرمایش جذبی – تبخیری خورشیدی با جاذب مایع می پردازیم.

شرح اولیه طرح

سیستم سرمایش جذبی – تبخیری از انواع سیستم های جذبی باز بوده که به لحاظ تئوری دارای این خصوصیات هستند:

www.SID.ir

Archive of SID

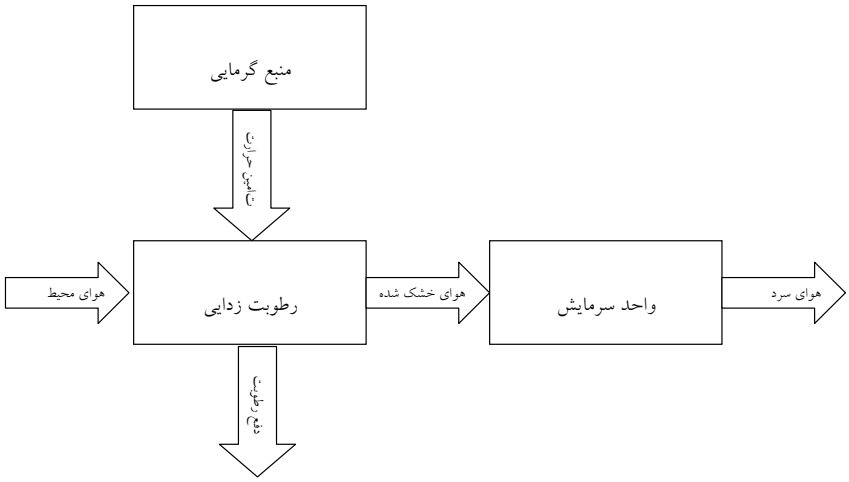
۱-جهت ساخت سیستم ساده ای دارند.

۲-جهت احیاء سیکل خود به انرژی با دمای پایینی نیاز دارند که برای این منظور می توان از کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت، تولید همزمان، گرمایش با لوله های آب گرم و... استفاده نمود.

۳-راندمان مناسبی جهت جذب رطوبت هوا دارند.

بخشهای اصلی یک سیستم سرمایش جذبی - تبخیری که شامل منبع گرمایی جهت احیاء، بخش رطوبت زدایی (خشک کن) و واحد سرمایش (تبخیری یا تبریدی) می باشد را در شکل ۱ مشاهده می کنید.

انتخاب نوع و نحوه قرارگیری سه بخش اصلی این دستگاه که در بالا عنوان شد بسیار متنوع می باشد و به آیتمهای مختلفی وابسته بوده که در زیر به شرح طراحی انجام شده در این مقاله می پردازیم.

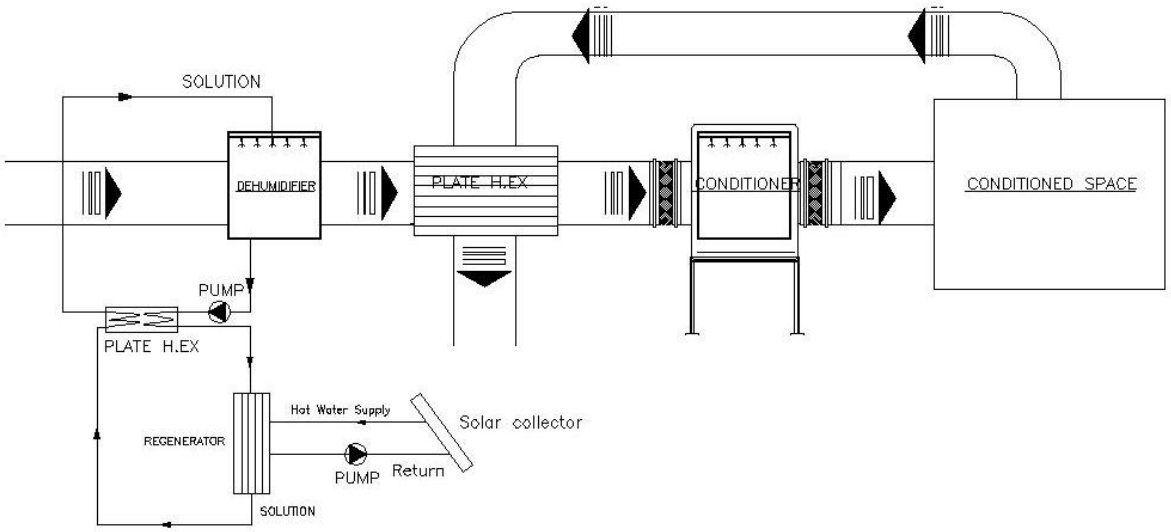


شکل ۱- بخشهای اصلی سیستم سرمایش جذبی - تبخیری

اجزا و چیدمان بخشهای مختلف در نظر گرفته شده جهت طراحی انجام گرفته را شکل شماره ۲ مشاهده می نمائید.

www.SID.ir

Archive of SID



این سیستم شامل سه بخش اصلی می باشد:

۱ - بخش خشک کن (Dehumidifier)

یکی از مهمترین قسمتهای این سیستم بخش خشک کن آن می باشد که توسط مواد جاذب رطوبت هوای ورودی به دستگاه را جذب می نماید. در یک سیستم سرمایش جذبی – تبخیری، ماده جاذب بعنوان عامل اصلی سیستم شناخته می شود.

مواد جاذب یا جامد هستند و یا مایع که تری اتیلن گلیکول، لیتیوم برماید، لیتیوم کلراید و کلسیم کلراید از جمله مواد جاذب مایع و انواع سیلیکاژل ها، زئولیت و کربن ها جزء جاذب های جامد هستند. در این مقاله محلول لیتیوم کلراید با غلظت ۴۳٪ بعنوان ماده جاذب انتخاب گردیده است که در زیر خواص مربوط به نمک لیتیوم کلراید آمده است:

رنگ: سفید - فرمول شیمیایی: Licl - نقطه جوش: 1325°C - نقطه ذوب: 612°C

دانسیته: 2.07 (Water = 1)- وزن مولکولی: 42.394 - حلالیت: قابل حل در آب -تبخیر: بسیار ناچیز

جهت افزایش راندمان عمل رطوبت گیری بایستی سطح تماس هوا را با محلول جاذب به حداکثر میزان ممکن رساند لذا برای این منظور از پدهای پلیمری استفاده شده که محلول جاذب توسط نازل بر روی این صفحات پاشیده شده و هوا از میان مجراهای موجود داخل پدها عبور می نماید.

نکته دیگری که بر راندمان رطوبت گیری تاثیر گذار می باشد دمای محلول جاذب است که هر چه این دما پائین تر باشد میزان جذب رطوبت از هوا افزایش خواهد یافت. بدین منظور از یک عدد مبدل حرارتی صفحه ای مایع – مایع (Plate Heat Exchanger) بین قسمتهای احیاء و خشک کن استفاده شده است. نحوه عملکرد این مبدل حرارتی میانی بدین گونه است که محلول جاذب لیتیوم کلراید خروجی از خشک کن در تماس با محلول جاذب خروجی از بخش احیا قرار گرفته وبدین گونه هم در مصرف انرژی گرمایی در بخش احیا صرفه جویی نموده و هم محلول جاذب ورودی به بخش خشک کن را خنک نموده تا راندمان بخش خشک کن نیز افزایش یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲. بخش احیاء (Regenerator)

یکی دیگر از بخشهای اصلی سیستم سرمایش جذبی – تبخیری بخش احیاء می باشد.جهت احیای محلول جاذب رقیق شده که بدلیل جذب رطوبت از هوا غلظت آن پائین آمده است، نیاز به انرژی گرمایی داریم. محلولهای جاذب مایع در دمای بین۶۰ الی ۸۰ رطوبت جذب شده را از دست می دهند (۲۵)و به غلظت مناسب می رسند لذا امکان استفاده از انرژیهای گرمایی متنوع جهت این منظور فراهم می باشد. یکی از مطلوب ترین انرژیهای موجود انرژی خورشیدی می باشد که با توجه به دمای پائین مورد نیاز امکان استفاده از کلکتورهای تخت که هزینه اولیه پائین تری نسبت به دیگر کلکتورهای خورشیدی موجود دارند وجود داشته و همین موضوع این پکیجهای سرمایش را بسیار مورد توجه قرار داده است.

بنابراین جهت احیای محلول جاذب آبگرم تامین شده توسط کلکتور خورشیدی به سمت کویل حرارتی (بخش REGENERATOR)که در تماس با محلول جاذب می باشد رفته و محلول را تا دمای حدود ۷۰ درجه سانتیگراد گرم می نماید و محلول مجدداً احیا شده و وارد سیکل رطوبت گیری می شود.

۳. بخش سرمایش (Conditioner)

در سیستم های سرمایش جذبی – تبخیری بمنظور خنک نمودن هوای اصلی از فرآیند تبخیری بهره می گیریم. مزیت این سیستم فراهم نمودن امکان استفاده از سیستم تبخیری در مناطق با هوای شرجی می باشد. همانگونه که می دانیم در مناطقی که رطوبت هوای بالایی دارند نمی توان از دستگاههایی مانند Air Washer و یا کولر آبی استفاده نمود و عمدتاً بایستی از سیستمهای سرمایش تراکمی بهره گرفت ولی در سیستم سرمایش جذبی – تبخیری پس از آنکه رطوبت هوا در بخش خشک کن گرفته شد، هوا به سمت بخش سرمایش تبخیری هدایت شده و با انجام عمل رطوبت زنی که ماده مبرد آن نیز آب می باشد هوا سرد می گردد. در اینجا برای این منظور از یک دستگاه Air Washer استفاده گردیده است.

بمنظور افزایش راندمان پکیج و رسیدن به هوا با دمای پائین تر بایستی از یک سیستم سرمایش کمکی که عمل پیش سرمایش هوای محیط را انجام می دهد بهره گرفت. لذا بمنظور صرفه جویی در مصرف انرژی و افزایش ضریب عملکرد دستگاه از هوای برگشتی محیطی که تهویه شده استفاده نموده و عمل پیش سرمایش هوای ورودی به پکیج را انجام می دهیم.

محاسبات بخشهای مختلف سیستم سرمایش جذبی – تبخیری خورشیدی و مقایسه فنی - اقتصادی

بمنظور کسب اطلاعات لازم جهت طراحی و انتخاب تجهیزات مربوطه بایستی ابتدا یک مورد مطالعاتی (case study) تعریف نمائیم. به این منظور یک اتاق با ابعاد صد متر مربع واقع در طبقه چهارم یک ساختمان با کاربری اداری در شهر بندر انزلی را درنظر گرفتیم. دمای هوای شهر بندر انزلی جهت طراحی تابستانی ۳۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی آن ۶۰ درصد می باشد.

سپس بار سرمایش مورد نیاز آنرا توسط نرم افزار Hourly Analysis Program محاسبه نموده و در ادامه با تعیین مفروضات اولیه به انجام محاسبات تک تک اجزای سیستم پرداختیم که خلاصه نتایج آنرا در جدول شماره ۱ مشاهده می نمائید.

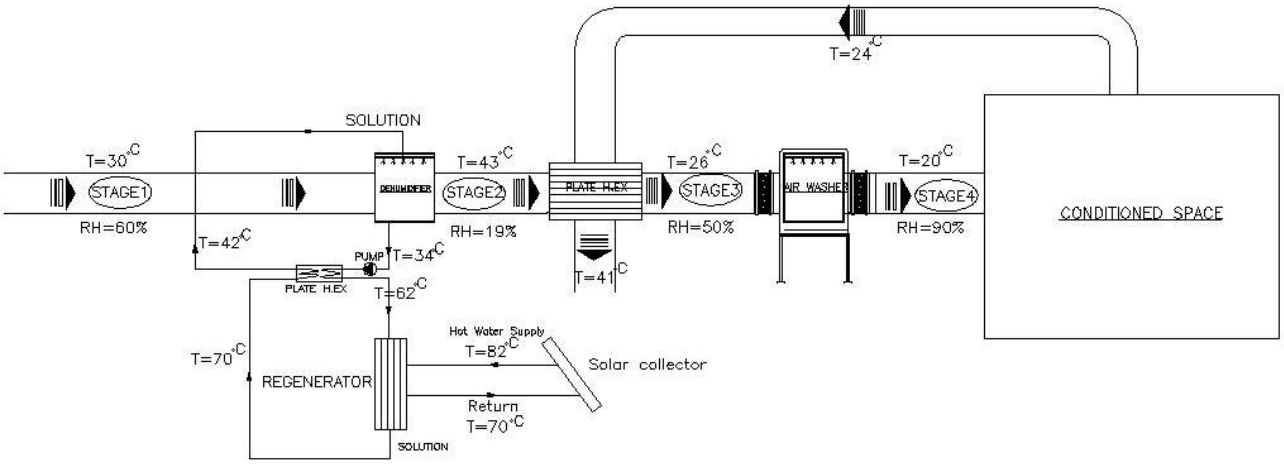
www.SID.ir

Archive of SID

بار سرمایش بر اساس محاسبات نرم افزار HAP	۲۴۰۰۰	Btu/hr
دبی جریان هوا دستگاه	۳۰۸۶	ft³/min
دمای هوا ورودی به رطوبت گیر	۸۶	F
رطوبت نسبی هوا ورودی به رطوبت گیر	۶۰	٪
دمای هوا خروجی از رطوبت گیر	۱۰۶	F
رطوبت نسبی هوا خروجی از رطوبت گیر	۱۹	٪
دمای هوا خروجی از مبدل حرارتی	۸/۷۸	F
دمای هوا خروجی از Air Washer	۶۸	F
رطوبت نسبی هوا خروجی از Air Washer	۹۰	٪

جدول شماره ۱ – نتایج حاصل از محاسبات بخشهای مختلف سیستم

فلودیاگرام سیستم بهمراه نتایج حاصل از محاسبات در شکل شماره ۳ قابل مشاهده است.



شکل شماره ۳- فلودیاگرام سیستم سرمایش جذبی – تبخیری خورشیدی بهمراه نتایج حاصل از محاسبات

www.SID.ir

Archive of SID

تجهیزات بکار رفته در این سیستم (شکل شماره ۳) شامل بخشهای زیر می باشد:

۱- دستگاه Air Washer با دبی حجمی 3086 cfm

۲- مبدل حرارتی هوا – هوا جهت پیش سرمایش هوای اصلی

۳- مبدل حرارتی صفحه ای محلول جاذب

۴- کویل گرمایی با ظرفیت حرارتی 76500 btu/hr

۵- کلکتور خورشیدی صفحه تخت با مساحت 2 m^2

۶- پمپ سیرکولاسیون جهت گردش مایع جاذب با دبی 1 gpm

۷- پمپ سیرکولاسیون جهت گردش آب گرم با دبی 8 gpm

بمنظور انجام مقایسه فنی – اقتصادی این سیستم با سیستم های سرمایش متداول، توان مصرفی وضریب عملکرد این دستگاه محاسبه و با چیلر تراکمی، پکیج تراکمی و کولر گازی طبق جدول شماره ۲ مقایسه گردیده است.

شرح دستگاه	میزان دفع گرما	توان مصرفی	ضریب عملکرد
سیستم سرمایش جذبی – تبخیری خورشیدی	7 kw	1.03 kw	6.79
چیلر تراکمی	7 kw	2.13 kw	3.28
پکیج تراکمی	7 kw	3.03 kw	2.31
کولر گازی	7 kw	2.8 kw	2.5

جدول شماره ۲ – مقایسه توان مصرفی و ضریب عملکرد

بر اساس توان مصرفی محاسبه شده و همچنین با فرض کارکرد سالیانه ۴ ماه و نیم در سال و ۱۲ ساعت در شبانه روز (کاربری اداری ساختمان در مورد مطالعاتی تعریف شده) این دستگاهها و همچنین قیمت برق مصرفی هر کیلو وات ساعت ۷۷۳ ریال، مقایسه اقتصادی طبق جدول شماره ۳ انجام یافته است.

همانگونه که در جدول دیده می شود و با توجه به اینکه هزینه سرمایه گذاری سیستم چیلر تراکمی بیشتر از قیمت سیستم سرمایش جذبی – تبخیری بوده و همچنین قیمت پکیج تراکمی تقریباً نزدیک به این سیستم می باشد، لذا جهت محاسبه نرخ بازگشت سرمایه این دو سیستم را با سیستم سرمایش جذبی – تبخیری مقایسه نمی کنیم. در ادامه به محاسبه نرخ بازگشت سرمایه در صورت استفاده از سیستم سرمایش جذبی – تبخیری بجای کولر گازی خواهیم پرداخت.

www.SID.ir

Archive of SID

شرح دستگاه	قیمت دستگاه (ریال)	ساعات کارکرد سالیانه	انرژی مصرفی (Kwh)	هزینه انرژی سالیانه(ریال)
سیستم سرمایش جذبی – تبخیری خورشیدی	22,000,000	1680	1730.4	1,337,600
چیلر تراکمی	31,250,000	1680	3578.4	2,766,100
پکیج تراکمی	20,000,000	1680	5090.4	3,934,880
کولر گازی	14,000,000	1680	4704	3,636,190

جدول شماره ۳ – مقایسه اقتصادی

با توجه به محاسبات انجام یافته کل صرفه جویی سالانه انرژی در صورت بکارگیری از سیستم سرمایش جذبی – تبخیری خورشیدی بجای کولر گازی برابر خواهد بود با ۲۲۹۸۵۹۰ ریال، ضمناً اختلاف هزینه سرمایه گذاری بین این دو سیستم ۸.۰۰۰.۰۰۰ ریال می باشد. محاسبات مربوط به محاسبه نرخ بازگشت سرمایه با استفاده از روش پویا در زیر آمده است:

$$\sum_{j=1}^{j=n} \frac{g\ *(1+e)^j}{(1+i)^j} - \Delta K_o = 0$$

در این معادله g میزان صرفه جویی انرژی سالیانه، e نرخ رشد سالیانه ٪) و ΔK_o اختلاف هزینه سرمایه گذاری دو سیستم است. همچنین n نرخ بازگشت سرمایه است که با حل معادله بدست می آید.

$$\sum_{j=1}^{j=n} \frac{2298590*(1+0.13)^j}{(1+0.155)^j} - 8000000 = 0 \rightarrow n = 3.67 = 3\ \ Years + 8\ \ Month$$

بحث و نتیجه گیری

بر اساس ترازنامه انرژی کشور منتشر شده در سال ۱۳۸۶ حدود ۳۳/۴ درصد از مصرف برق کشور متعلق به بخش خانگی بوده و ظرفیت اسمی نیروگاههای وزارت نیرو در این سال معادل ۴۹۴۲۴ مگاوات بوده است.

سیستمهای سرمایش جذبی – تبخیری با توجه به اینکه رطوبت هوا را توسط مواد جاذب می گیرند، امکان استفاده از سرمایش تبخیری را در مناطق با هوای مرطوب فراهم می نمایند. لذا قابلیت جایگزینی این سیستم با سیستمهای سرمایش تراکمی در این قبیل مناطق وجود دارد. بنابراین در صورت جایگزینی، در مناطق شرجی کشور مانند شهرهای

www.SID.ir

Archive of SID

واقع در سواحل جنوب دریای مازندران و سواحل شمالی دریای عمان و خلیج فارس مصرف انرژی الکتریکی بطور قابل ملاحظه ای در فصل تابستان کاهش خواهد یافت.

پس از انجام برآورد اقتصادی سیستمهای مذکور، با توجه به هزینه سرمایه گذاری اولیه فقط دستگاه کولر گازی از نظر قیمت تمام شده اختلاف قابل توجهی با سیستم سرمایش جذبی – تبخیری داشته که با محاسبه انرژی مصرفی سالیانه این دو سیستم، سیستم سرمایش جذبی – تبخیری صرفه جویی انرژی سالیانه حدود ۶۳ درصد داشته که معادل ۲۲۹۸۵۹۰ ریال می باشد. نرخ باز گشت سرمایه این سیستم با استفاده از روش پویا ۳ سال و ۸ ماه می باشد.

منابع

۱- نشریه ۲۷۱ دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور

2- ASHRAE Standard, Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers, 1986.

3- Lof GOG. Cooling with solar energy. Proceedings of congress of solar energy, Tucson, Arison 1955 p. 171–89.

4- Bichowsky, F. R., G. A. Kelley 1935. Concentrated Solutions in Air-Conditioning, I&EC, 27(8), 879 - 882.

5-Altenkirch, Bichowsky, F. R., G. A. Kelley 1935. Concentrated Solutions in Air-Conditioning, I&EC, 27(8), 879 - 882.

6- Camargo JR, Ebinuma CD, Silveira J. Thermoeconomic analysis of an evaporative desiccant air conditioning system. Appl Thermal Engng 2003; 23:1537–49.

7- Incropera, F. P. and DeWitt, D. P., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 4th Edition, John Wiley & Sons, New York, 1996.

www.SID.ir