آنالیز اگزرژی چیلر جذبی- خورشیدی در اقلیم تهران و بررسی میزان مصرف انرژی و آلایندگی با سیستم‌های دیگر

سیدعلی صدر واقفی [۱]، امیرحسین نیازی [۲]

۱- نویسنده مسئول، استادیار گروه مکانیک ،دانشکده فنی و مهندسی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام (ره)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ، تبدیل انرژی ، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام (ره)

* تهران ، ۱۹۵۵۷-۴۳۸۷۴ ،Amirhosein.chevy@gmail.com

تاریخ دریافت:

۱۳۹۹/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۱۲/۲۱

واژگان کلیدی:

اگزرژی، چیلر جذبی خورشیدی، مصرف انرژی،آلایندگی

چکیده

هدف از نگارش این مقاله بررسی آنالیز اگزرژی چیلر جذبی – خورشیدی در شهر تهران و همچنین برر سی میزان مصرف انرژی این چیلر جذبی – خور شیدی با سایر سیستم های سرمایشی رایج در ساختمان ها در شهر تهران با ا ستفاده از آمار و اطلاعات ساختمان تجهیز شده به سیستم چیلر جذبی – خور شیدی می با شد . مهمترین چالش های موجود در ا ستفاده از سیستم چیلر جذبی– خورشیدی هزینه بالای راه اندازی و نصب آن میباشد. همچنین با توجه به این هزینه بالا می بای ست توجیه اقت صادی ا ستفاده از آن با توجه به راندمان و صرفه جویی در مصرف انرژی و هزینه بررسی گردد. در عین حال یکی از مسائل مهمی که میبایست در نظر داشت راندمان و عملکرد این سیستم تهویه در ساختمانهای قدیمی با توجه به ضعف آنها در کنترل اتلاف انرژی میباشد. برای این منظور آنالیز فنی – اگزرژی استفاده از این سیستم در اقلیم تهران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته ا ست و در پایان به برر سی میزان مصرف انرژی و آلایندگی و کمتر شدن تولید گاز دی اکسید کربن انجام گرفته است .

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

مقدمه:

با افزایش استانداردهای زندگی، استفاده از انرژی به میزان بی سابقه‌ای افزایش یافته است. از این رو، به جای گسترش منابع انرژی با قابلیت استفاده مجدد، بازیافت حرارت اتلافی و ترکیب سیستم‌های انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، راه حلی برای تامین این انرژی مورد نیاز و بهره برداری بهینه از منابع محدود انرژی موجود خواهد بود. در سال‌های اخیر توجه بشر به افزایش بی‌رویه مصرف انرژی و همین‌طور واقعیت فناپذیر بودن سوخت‌های فسیلی جلب شده است. به همین دلیل دانشمندان به مطالعات بسیار و همه‌جانبه ای در سطح جهانی با هدف کاهش میزان مصرف انرژی و نیز کاهش هزینه‌های تولید انرژی و همین‌طور چگونگی استفاده از منابع انرزی تجدیدپذیر، بدون ایجاد لطمه به روند توسعه کشورها، پرداخته‌اند.

مصرف انرژی و به خصوص سوخت‌های فسیلی مهمترین عامل آلودگی هوا و تغییرات آب و هوایی می‌باشد. به همین دلیل استفاده بهینه از انرژی در فرآیند توسعه اقتصادی همواره عنوان یک هدف مهم در توسعه پایدار مدنظر بوده است. یکی از راهکارهایی که امروزه سیاست گذاران انرژی در دنیا از آن به عنوان ابزاری موثر و کارآمد در مدیریت انرژی بهره می‌برند، استفاده از منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر، مانند انرژی خورشیدی است. معمولا از انرژی خورشیدی به عنوان انرژی مورد نیاز در سیستم‌های تبرید(چیلرها) جذبی استفاده می‌شود. این سیستم‌ها گزینه‌ای مناسب جهت مصارف تهویه مطبوع در مقیاس خانگی به شمار می‌آیند. قابلیت استفاده از انرژی کمکی و رابطه مستقیم بین تولید انرژی تابشی خورشید و میزان مصرف انرژی سرمایشی در طول روز از جمله مزایای این سیستم‌ها محسوب می‌شوند. مواردی از قبیل افزایش جهانی قیمت انرژی، باعث افزایش استفاده از سیستم‌های تبرید جذبی به جای سیستم‌های تبرید تراکمی در جهت مبارزه با تخریب لایه ازن و پدیده گرم شدن زمین و... شده است. به همین دلیل توسعه تحقیقات در جهت کاربردی شدن و فراگیر شدن این سیستم‌ها در شرایط آب و هوایی مختلف امری مهم تلقی می‌شود. و در کشور ما نیز با توجه به پتانسیل بالای تابشی در ایران، استفاده از سیستم‌های سرمایش جذبی خورشیدی با در نظر گرفتن اقلیم مناسب می‌تواند منجر به صرفه‌جویی انرژی و اقتصادی گردد.

طرح مساله:

بحران انرژی و پایان پذیری منابع فسیلی به همراه آلودگی ناشی از استفاده‌ی نادرست از این منابع، نوسانات قیمت حامل‌های انرژی، تمایل به کاهش هزینه‌های مصرفی سوخت و انرژی، گرایش به ذخیره سازی سوخت‌های فسیلی برای کاربردهایی به جز سوزاندن آنها و همچنین توجه به لزوم کاهش آلایندگی ناشی از مصرف سوخت‌ها در دهه‌ی اخیر، از جمله عوامل محرک بشر به منظور دستیابی بر سرچشمه‌های انرژی فناناپذیری چون خورشید، باد و سایر منابع انرژی می‌باشد که در عرض دهه گذشته اهمیت بیشتری یافته است. (**فراهت[1]، ۱۳۹۷**)

در گذشته مهمترین راهکار موجود استفاده از روش‌های جلوگیری از هدر رفت انرژی می‌بود اما امروزه علاوه بر توسعه این روش‌ها به مدد تکنولوژی‌های مدرن ،تغییر منابع تامین انرژی برای تامین گرمایش و همچنین سرمایش مطبوع برای سکونت به منظور کاهش هزینه‌ها و صرفه جویی بیشتر مدنظر بسیاری از محققین و مهندسین می‌باشد. یکی از مهمترین منابع انرژی طبیعی که انرژی بی انتها و بالایی را در طبیعت آزاد می کند خورشید است. در طول دهه‌های اخیر تلاش‌ها و تحقیقات و اختراع‌های زیادی به منظور استفاده از انرژی این منبع بی پایان صورت پذیرفته است (**یوآن ساربو[2]، ۲۰۱۳**).

مقایسه میزان مصرف انرژی بین ساختمان‌های کشور با مقدار متناظر آن در کشورهای توسعه یافته، گویای فاصله زیاد این دو مقدار است که این تفاوت، تجدید نظر اصولی در سیاست‌های مصرف انرژی در بخش ساختمان را ضروری می‌سازد. یکی از این موارد، انتخاب دستگاه‌های مرکزی ایجاد سرمایش در سیستم های تهویه مطبوع ساختمان می‌باشد. با توجه به گسترش روزافزون تقاضا، تولید این دستگاه‌ها بسیار متنوع شده که از آن جمله می‌توان به انواع چیلرهای جذبی و تراکمی اشاره نمود. بی شک استفاده از این تجهیزات همراه با دستگاه‌های هواساز یا فن کویل، یکی از مناسب ترین سیستم‌های تهویه مطبوع را برای یک ساختمان فراهم می‌آورد(**شکری[3]، ۱۳۹۶**).

فناوری تبرید جذبی روشی عالی برای تهویه‌ی مطبوع مرکزی ساختمان می‌باشد و از طرفی تاثیر مستقیم نحوه انتخاب مناسب تجهیزات سیستم تهویه مطبوع در میزان صرفه جویی انرژی کل ساختمان اهمیت موضوع را نشان می‌دهد. از جمله تجهیزات بسیار مهم در سیستم تهویه مطبوع چیلر می-باشد(آقابالایی[4]، ۱۳۹۴). چیلر دستگاهی است که حرارت را از مایع(معمولا آب) بر اساس سیکل تبرید تراکمی و یا جذبی دفع می‌کند. این مایع می‌تواند برای خنک کاری هوا و یا دستگاه‌ها استفاده شود که معمولا به صورت سیکل و درون یک مبدل حرارتی جریان دارد. به عنوان یک محصول جانبی مهم،

---

[1] ferahat
[2] Johan sarbo
[3] Shokri
[4] Agha Balayi

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

حرارتی که از مایع جذب شده یا باید به محیط خارج دفع شود یا برای کارایی‌های بالاتر برای مقاصد گرمایی استفاده شود. نگرانی‌هایی در مورد طراحی و انتخاب چیلرها وجود دارد. این نگرانی‌ها شامل کارایی، بازده، تعمیر و نگهداری، آسیب پذیری‌های محیطی است(**جی. امان[۵]، ۲۰۱۳**). یکی از چالش‌های مهندسین طراح در زمینه تهویه هوای مطبوع، انتخاب و طراحی سیستم تهویه مطبوع متناسب با پروژه در دست احداث می‌باشد. در یک سیستم تهویه مطبوع پارامترهای مختلفی از جمله دمای مورد نیاز، اختلاف دمای داخل و خارج محیط، رطوبت، کیفیت هوا، آلودگی‌های صوتی ایجاد شده توسط سیستم و همچنین هزینه‌های راه اندازی و سرویس نگهداری سیستم در طول زمان بهره بردای می باشد. از جمله راه‌های مورد استفاده برای تامین و تهویه هوای مطبوع در ساختمان‌ها بکار بردن سیستم چیلر جذبی خورشیدی می‌باشد. این سیستم تهویه مطبوع قابلیت تجاری بسیار بالایی دارد. همچنین با توجه به امکانات مورد نیاز برای راه‌اندازی این نوع از تهویه مطبوع براحتی می‌توان از این سیستم در ساختمان‌های مسکونی در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران نیز استفاده نمود(**فلاحتکار[۶]،۱۳۹۰**).

آنالیز اگزرژی همراه با قانون اول و دوم ترمودینامیک، این امکان را فراهم می‌سازد که روش مطلوب برای تحلیل سیستم‌های تبدیل انرژی و همچنین شناخت سطوح انرژی و فرآیندهای نامطلوب ترمودینامیکی سیستم‌های انرژی را بتوان یافت. آنالیز اگزرژی، ابزاری مفید برای ظاهر کردن تفاوت بین تلفات انرژی با برگشت ناپذیری‌های داخلی در یک پروسه است (**هپباسلی[۷]، ۲۰۰۹**).

تحلیل اگزرژی روشی مناسب برای سنجش کارکرد اجزای پروسه است. با این روش می‌توان اگزرژی نقاطی را که در آنها تبدیل انرژی صورت می‌گیرد، به دست آورد، راندمان اجزای سیکل را محاسبه کرد، همچنین می‌توان محل وقوع بیشترین تلفات را شناسایی و برای کاهش آنها تلاش کرد(**احمدی دانش[۸]، ۱۳۹۱**).

حال در این پژوهش سعی داریم اگزرژی چیلر جذبی- خورشیدی را مورد تحلیل و بررسی قرار داده سپس میزان مصرف انرژی و آلایندگی این سیستم‌ها را با سیستم‌های دیگر در اقلیم تهران مقایسه کنیم.

معرفی چیلر جذبی – خورشیدی:

منابع انرژی را می‌توان به دو دسته تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر تقسیم‌بندی کرد. بزرگترین منبع انرژی تجدیدناپذیر سوخت‌های فسیلی می‌باشند که امروزه بیشترین سهم را در تولید انرژی مورد نیاز بشر دارد. با توجه به ذخایر محدود انرژی فسیلی و افزایش سطح مصرف انرژی در جهان فعلی، دیگر نمی‌توان به منابع موجود انرژی متکی بود. منابع فسیلی محدوداند و برآوردها نشان می‌دهد که منابع فسیلی جهان نهایتا تا قرن آینده به پایان می‌رسند. یک جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی منابع تجدید پذیر می‌باشند. توسعه و گسترش انرژی‌های تجدید پذیر باعث کمک به تحقق اهداف توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی کشور می‌شود که از عوامل اساسی در رسیدن به توسعه پایدار در هر کشوری می‌باشند. استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر می‌تواند باعث کاهش وابستگی به منابع فسیلی و همچنین باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای که تاثیر اساسی بر گرمایش جهانی دارند، شود. یکی از عظیم ترین منابع تجدیدپذیر که سرآغاز و منشاء انواع دیگر انرژی می‌باشد انرژی خورشیدی است. برای سرمایش می‌توان از انرژی خورشیدی در چند سیستم استفاده کرد، از جمله‌ی این سیستم‌ها، سیستم سرمایش جذبی خورشیدی، سیستم سرمایش الکتریکی خورشیدی و سیستم سرمایش گرمایی خورشیدی(**کارلسون[۹]، ۲۰۱۴**).

اگزرژی:

برای تمام فرآیندها وقتی جرم با محیط اطراف خود در حالت تعادل است، هیچ‌گونه تغییرحالت خود به خود روی نمی‌دهد و جرم قادر به انجام هیچ کاری نمی‌باشد. لذا چنانچه یک جرم در یک حالت معلوم، یک فرآیند کاملا برگشت پذیر را تا رسیدن به حالت تعادل با محیط طی کند، حداکثر کار بازگشت پذیر به وسیله جرم انجام شده است. در این صورت مقدار قابلیت کاردهی در حالت اولیه به مفهوم پتانسیل دستیابی به حداکثر کار ممکن توسط جرم

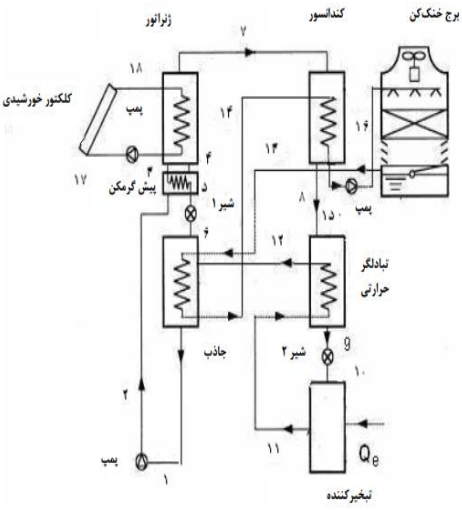
---

۵ J. Aman
۶ Felahatkar
۷ Hepbasli
۸ Ahmadi Danesh
۹ Carlson

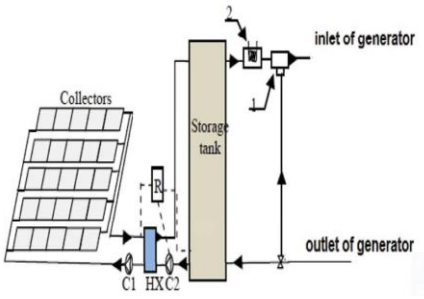
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

است. قانون دوم ترمودینامیک بر اساس آنالیز اگزرژی سعی در مینیمم کردن برگشت ناپذیری سیستم دارد. چون هرچه درجه برگشت ناپذیری سیستم کمتر شود سیکل ماشین گرمایی به سیکل ایده‌آل نزدیکتر شده، بازده ترمودینامیکی آن بالاتر خواهد رفت(**کشتکار**[۱۰]، **۲۰۰۵**)

کل اگزرژی جریان‌های چندجزیی برابر با دو جزء است: اگزرژی شیمیایی، و اگزرژی فیزیکی(احمدی[۱۱]، ۲۰۱۳). اگزرژی فیزیکی همان مقدار کار قابل حصول از سیستم از یک حالت مشخص تا رسیدن به حالت تعادل فیزیکی با محیط است. در مورد اگزرژی شیمیایی می‌توان گفت که همان مقدار کار قابل حصول از سیستم از یک حالت مشخص تا رسیدن به حالت تعادل شیمیایی با محیط است. در تحلیل اگزرژی دو شاخص مورد توجه هستند، تخریب اگزرژی و راندمان اگزرژی. تخریب اگزرژی برابر است با اختلاف سوخت ورودی به هر جزء(**ونگ**[۱۲]، **۲۰۱۲**).



شکل۱ یک سیکل جذبی خورشیدی

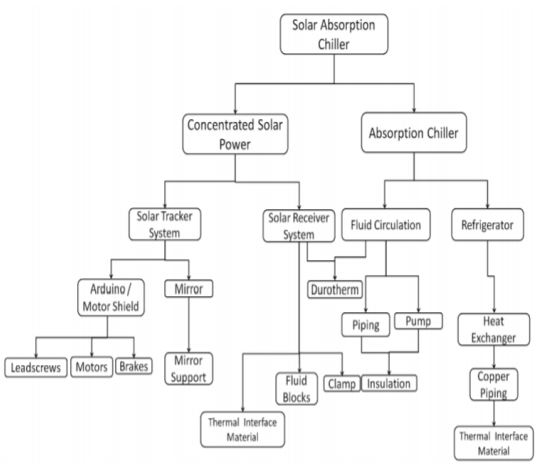


شکل۱ شماتیک سیستم خورشیدی در چیلر جذبی خورشیدی

هر چیلر جذبی خورشیدی اجزای ریزتر و زیرمجموعه های دیگری نیز تقسیم می‌شود، که این زیر مجموعه‌ها و راه‌های ارتباطشان باهم در شکل زیر نشان داده شده است:

Keshtkar [۱۰]
Ahmadi [۱۱]
L.wang [۱۲]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

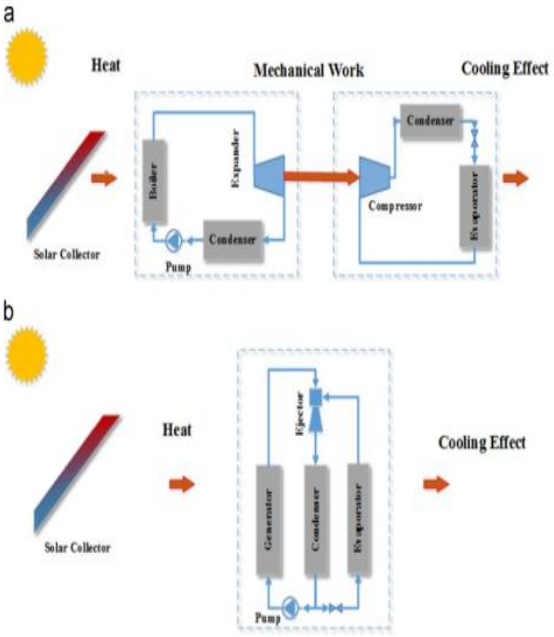


شکل۳ نحوه ی عملکردهای زیر سیستم های یک چیلر جذبی خورشیدی

سیستم‌های جذبی خورشیدی:

گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها با استفاده از انرژی خورشیدی ایده‌ای بود که در سال ۱۹۳۰ میلادی مطرح گردید و در کمتر از یک دهه به پیشرفت‌های قابل توجهی دست یافت. با افزودن سیستم معروف تبرید جذبی به سیستم‌های خورشیدی می‌توان علاوه بر آب گرم مصرفی و گرمایش از این سیستم‌ها در فصل گرم سال نیز برای سرمایش ساختمان استفاده نمود. این سیستم‌ها گزینه‌ای مناسب جهت مصارف تهویه مطبوع در مقیاس خانگی به شمار می‌آیند. با توجه به پتانسیل بالای تابشی کشور استفاده از سیستم های سرمایش جذبی خورشیدی با در نظر گرفتن اقلیم مناسب می تواند منجر به صرفه جویی انرژی و اقتصادی گردد.

مشکلات عمده‌ای که این سیستم‌های خورشیدی دارا هستند عبارتند از: هزینه‌ی اولیه‌ی بالا، بهره‌گیری از انرژی خورشیدی فقط برای یک مدت کوتاه در طول روز و کارایی نسبتاً پایین البته با پیشرفت‌های جدید در زمینه‌های سردسازی و بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، ضریب عملکرد ۱و حتی بیشتر هم قابل دسترسی است. واحدهای تجاری امروزه به ضریب عملکردی تا حدود ۱/۳۵برای دستگاه‌های دو مرحله‌ای با جریان موازی، دست یافته‌اند (**لی**[۱۳]، **۲۰۰۱**).



Li [۱۳]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

شکل ۴ دو نمونه از سیکل‌های تولید برودت با انرژی گرمایی خورشید

روش تحقیق:

روش مورد استفاده در این تحقیق تحلیلی می باشد. در این بررسی از نرم افزار دیزاین بیلدر جهت محاسبه پارامترهای مؤثر بر بار حرارتی و میزان مصرف انرژی گرمایشی یک ساختمان مسکونی با کنترل و عدم کنترل اتلاف انرژی استفاده شده است. نرم‌افزار دیزاین بیلدر قابلیت محاسبهٔ بارهای حرارتی و برودتی و محاسبات مربوط به سیستم مرکزی و اجزاء و سیستم تهویه را دارد. این نرم‌افزار همچنین می‌تواند اندازه اجزاء خنک‌کننده و جریان هوای لازم را محاسبه کند و قابلیت استفاده از فایل‌های استاندارد آب و هوایی را دارد. این برنامه ضمن محاسبهٔ مصرف انرژی ماهیانه و سالیانه یک ساختمان به کاربر اجازه می‌دهد اثر مواردی چون عایق‌کاری، استفاده از پمپ‌های حرارتی و شیشه‌های دوجداره را در صرفه‌جویی انرژی بررسی کند. همچنین می‌توان با دادن ورودی‌های مناسب شامل قیمت مصالح، انرژی و نگهداری تعمیرات و پارامترهای متنوع دیگر و با استفاده از روشهای محاسبهٔ هزینه‌ها در طول عمر یک واحد مسکونی با این نرم افزار به بررسی اثر اقتصادی صرفه‌جویی انرژی پرداخت. بعد از مدل سازی هردو ساختمان، آن ها را یکبار با سیستم چیلر جذبی خورشیدی و یکبار نیز با سیستم چیلر قدیمی تحلیل می کنیم. در هر ساختمان میزان عملکرد نسبی هردو سیستم نسبت به یکدیگر سنجیده می شود و در آخر عملکرد های نسبی بدست آمده از هر دو ساختمان سنجیده می شود تا میزان کارایی و توجیه پذیری استفاده از سیستم جذبی خورشیدی در ساختمان های قدیمی علاوه بر ساختمان های جدید مشخص گردد.

متغیرهای پژوهش:

با توجه به عنوان پایان نامه برای متغیر های وابسته تحقیق میتوان کنترل اتلاف انرژی ساختمان را بیان کرد که رابطه مستقیمی بر عملکرد سیستم گرمایشی و سرمایشی ساختمان دارد. هم چنین بکارگیری سیستم مناسب تهویه و توجیه پذیری استفاده از سیستم تهویه جذبی خورشیدی در ساختمان های جدید و قدیم که توسط نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی طراحی می شود.

مفهوم اگزرژی:

کیفیت انرژی در واقع همان ظرفیت آن برای ایجاد تغییرات و توانایی انجام کار است. میزان قابلیت کاردهی یک سیستم که حاوی مقدار معینی انرژی است، علاوه بر شکل یا نوع انرژی (شیمیائی، حرارتی و ...) به شرایط ترمودینامیکی (دما، فشار، حجم و غیره) و شرایط محیط بستگی دارد. برای مقایسه کیفیت سیستم های انرژی و ارایه یک معیار عددی برای اندازه گیری کیفیت، یک استاندارد جهانی به منظور تعریف مفهوم کیفیت انرژی مورد نیاز است. یک معیار بسیار مناسب و همگانی می تواند میزان ماکزیمم کاری باشد، که از یک سیستم حاوی انرژی با در نظر گرفتن یک شرایط محیطی مشخص قابل تولید است. این معیار استاندارد اندازه گیری کیفیت انرژی، اگزرژی نامیده شده است. شایان ذکر است که قابلیت انجام کار مفید، زمانی وجود دارد که دو سیستم با شرایط متفاوت فیزیکی و شیمیایی در تعامل با یکدیگر قرار بگیرند.

برای روشن تر شدن مفهوم اگزرژی و تفاوت آن با انرژی ذکر چند نکته ضروری است :

- انرژی از بین نمی رود (قانون بقای انرژی) اما اگزرژی در فرآیند های باز گشت ناپذیر نابود
- می شود (قانون تنزل کیفیت انرژی)
- اگزرژی می تواند کیفیت با میزان مفید بودن یک ژول انرژی الکتریکی را با یک ژول انرژی
- حرارتی موجود در آب ۴۰ درجه سانتی گراد مقایسه کند، در حالی که از دیدگاه انرژی هر دو
- سیستم دارای یک ژول انرژی هستند.
- هنگامی که یک سیستم با محیط به تعادل می رسد اگزرژی آن صفر شده است اما هنوز حاوی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

- مقداری انرژی می باشد.
- انرژی صرفاً تابع حالت سیستم است، اما اگزرژی تابع حالت سیستم و محیط است.
- مقدار انرژی در گازهای کامل از فشار مستقل است، اما مقدار اگزرژی همواره وابسته به فشار سیستم است.
- اگزرژی همانند انرژی می تواند منتقل شود.
- برای تمام حالات مختلف یک سیستم، میزان اگزرژی بزرگتر یا مساوی صفر است.
- اگزرژی بیان کننده میزان تفاوت و یا فاصله یک سیستم از محیط اطرافش می‌باشد.

اگزرژی فیزیکی:

اگزرژی فیزیکی، ماکزیمم کاری است که از یک سیستم با جریان در اثر به تعادل رساندن آن با محیط (هم دما، هم فشار شدن با محیط می تواند تولید شود. برای بررسی بیشتر این مفهوم وسیلهای ایده آل را در نظر می گیریم که جریان مورد نظر با خواص خود شامل دما و فشار و حجم وارد آن می شود و پس از تبادل حرارت و تولید کار به تعادل با محیط می رسد.

اگزرژی شیمیایی:

طبق تعریف، اگزرژی فیزیکی، مربوط به اختلاف دما و فشار سیستم با دما و فشار محیط اطراف است، حال یک مخلوط گازی را در نظر بگیرید که دارای دما و فشار محیط است اما ترکیب شیمیائی آن با ترکیب شیمیایی محیط اطرافش متفاوت است. بنابراین با استفاده از چند غشاء نیمه تراوای ایده آل می توان از تفاوت فشار جزئی اجزای مخلوط مورد نظر با فشار جزئی همان اجزا در محیط مقداری کار تولید کرد. بیشترین مقدار این کار را اگزرژی شیمیائی آن مخلوط گازی می نامند. در واقع این بخش از اگزرژی پس از به تعادل رسیدن سیستم با محیط از نظر دما و فشار)، و بر اساس تفاوت ترکیب شیمیائی آن با ترکیب شیمیایی محیط اطرافش تعریف می شود.

اگزرژی محیطی و اقتصادی:

از منافع تولید همزمان برق و حرارت می توان به صرفه جویی در مصرف سوخت، کاهش آلاینده ها و در نتیجه کاهش هزینه های زیست محیطی اشاره نمود. صرفه جویی سوخت که ناشی از عدم نیاز به یک مولد حرارتی دیگر (مثل دیگ بخار در تولید جداگانه میباشد و همچنین استفاده از سوختهای تمیز مثل گاز طبیعی از عوامل اساسی در کاهش آلایندگی این گونه سیستم ها می باشد. مزیت زیست محیطی تولید همزمان برق و حرارت در استفاده از سوخت کمتر با بازدهی بالاتر و در نتیجه آلایندگی کمتر می باشد.

مشخصات مدلسازی :

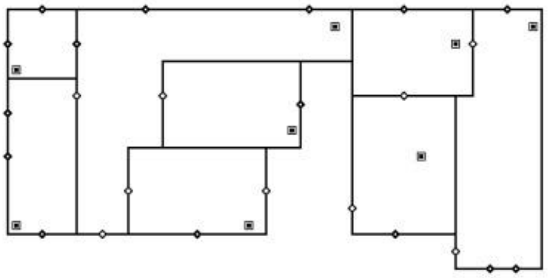
مشخصات کلی ساختمان ساختمان مورد نظر با کاربری آموزشی و زیربنای ۱۰۰۰ متر مربع است. ساختمان قدیمی ساز و در ابتدا با کاربری مسکونی بوده است. دیوارهای این ساختمان از آجر توپر ۳۵ سانتی متری و دیوارهای داخلی از آجر توپر ۲۲ سانتی متری ساخته شده اند. ضریب انتقال حرارت دیوار با آجر توپر ۳۵ سانتی متری و مجاور فضای خارج با لحاظ کردن اندودهای دیوار و ضرایب موجود در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، U = 1 . 798 [W / mk] و ضریب انتقال حرارت دیوار با آجر توپر ۲۲ سانتی متری مجاور فضای کنترل نشده، U = 1, 976 [W / mk] و ضریب انتقال حرارت بام 1. 256 [W / mk] محاسبه شد. ضرایب انتقال حرارت درها و پنجره ها نیز از مبحث نوزدهم استخراج شدند. گرمایش ساختمان به وسیله سیستم مرکزیموتورخانه) تأمین می شود و از سیستم گرمایش مستقلی استفاده نمی شود. سیستم سرمایش ساختمان نیز به صورت مستقل و شامل ۵ عدد کولر آبی است. همین طور سیستم روشنایی ساختمان، از نوع لامپ های مهتابی اند. از آنجا که مدل قابلیت ترسیم فضا را به صورت هندسی دارد، درها و پنجره ها و تمامی بازشوها مطابق ابعاد واقعی خود و در مکان و جهت گیری مشابه ساختمان اصلی در نرم افزار ترسیم شد مدل سازی ۳. ۱. مدل سازی انرژی از اصلی ترین شاخص هایی که در این مطالعه برای ارزیابی مصرف انرژی بنا در نظر گرفته شده، بار گرمایی و سرمایی ساختمان است. بدین منظور ابتدا، بار گرمایی و سرمایی مدل اولیه در نرم افزار برآورد شد تا اثر این اقدامات گوناگون در تغییر آنها مشخص شود. دماهای پایه گرمایش و سرمایش، با توجه به اندازه گیری های صورت گرفته در محل به ترتیب ۲۱ و ۲۵ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده اند. در جدول ۱ بار گرمایی و سرمایی برآورد شده بناء همچنین اجزای مختلف تبادل حرارت فضاهای کنترل شده ساختمان نشان داده شده است. در تنظیم گزارش های نرم افزار سعی شده است مجموعه ای از خروجی ها که تشکیل دهنده کل بار سرمایی و گرمایی ساختمان اند، کنار یکدیگر قرار داده شوند (جمع جبری اجزای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

مختلف تبادل حرارت با اختلافی در حدود ۶ درصد برابر با بار گرمایی و سرمایی برآورد شده است. به این ترتیب شناخت درستی از اجزای تبادل حرارت ساختمان و سهم هر یک از آنها حاصل شده است و اثر اقدامات بهینه سازی در هر کدام مشخص می شود همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود میزان دفع حرارت در ساختمان از طریق تهویه زیاد است. اتلاف حرارت از طریق تهویه شامل دفع حرارت از طریق باز شدن در و پنجره ها به فضای خارج و فضای کنترل نشده، نشت و نفوذ هوا از ترکها روی بدنه ساختمان و از درزهای دیوارها، سقف ها و پنجره ها، مسیر لوله های تأسیسات، ونت ها و ... است. مدل سازی کیفیت هوای داخل ساختمان برای مدل سازی کیفیت هوا از نرم افزار کانتم استفاده شده است. در این برنامه امکان ترسیم هندسی مدل به طور کامل وجود ندارد. تنها می توان دیوارها و جداکننده های داخلی را در فضاها رسم کرد تا برنامه بتواند برای هر فضا جریانی مجزا در نظر بگیرد، بنابراین پلان ساختمان با رسم دیوارهای خارجی و جداکننده قابل رسم است. در واقع تنها می توان طرحی کلی از ساختمان را به مدل معرفی کرد. شکل ۱ ترسیم هتاکسی پلان ساختمان در محیط نرم افزار را نشان می دهد.

جدول ۱. اجزای مختلف تبادل حرارت ساختمان و بار گرمایی و سرمایی برآوردشده پیش از بهینه‌سازی

تبادل حرارت در ساختمان	پوستهٔ ساختمان		پنجره‌ها		تهویه		کسب حرارت داخلی	بار گرمایی/بار سرمایی
	کسب حرارت	دفع حرارت	کسب حرارت	دفع حرارت	کسب حرارت	دفع حرارت		
دورهٔ گرمایش ۶ ماه	۲۳۸۹	۵۶۹۱۵	۲۳۶۵۲	۱۱۲۸۷	۰	۸۰۹۹۶	۵۸۷۹۱	۶۴۵۰۸
دورهٔ سرمایش ۶ ماه	۳۴۱۶۷	۱۱۹۷۸	۳۲۵۷۵	۴۸۰	۹۲۵۹	۹۸۲۵	۴۵۹۲۸	۹۹۳۰۹
کل سال	۳۶۲۵۶	۶۸۸۹۳	۵۶۲۲۷	۱۱۷۶۷	۹۲۵۹	۹۰۸۲۱	۱۰۳۷۱۹	۱۷۳۱۹۵

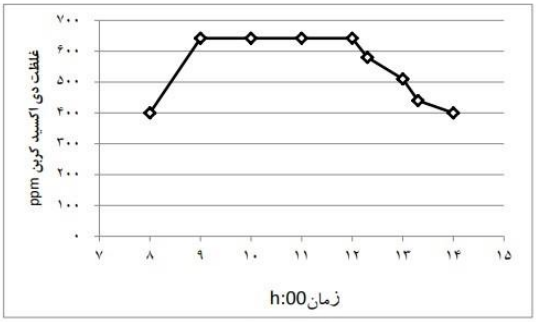


شکل۵ پلان رسم شده از ساختمان در نرم افزار

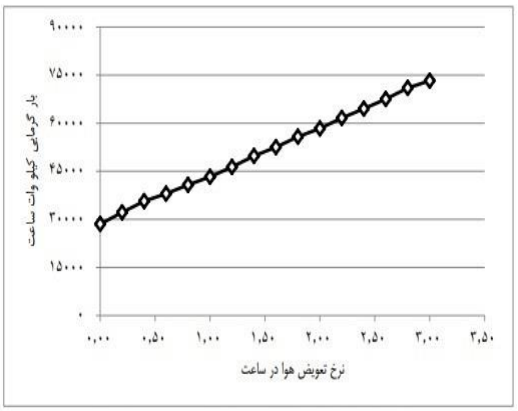
تعیین محل قرارگیری درها و پنجره ها با استفاده از تعریف جریان هوا صورت می گیرد. در دیوارها و محل قرار گیری بازشوها علامت جریان قرار می گیرد. بسته به محل قرارگیری بازشو، مدل، جریان هوا را از نواحی داخل یا از محیط بیرون به داخل هر فضا منتقل می کند. برای تعریف مسیر جریان هوا، مدل از روابط ریاضی استفاده می کند که رابطه بین اختلاف فشار و جریان هوا را تبیین می کنند. همان طور که در جدول ۱ مشاهده شد یکی از عوامل مهم و تأثیر گذار در میزان مصرف انرژی ساختمان، تهویه و میزان نشت و نفوذ هوا از ساختمان است. در ساختمان مورد مطالعه میزان تعویض ناخواسته هوا، هم به واسطه باز و بسته شدن زیاد در و پنجره ها و هم به علت نشت و نفوذ هوا از درزها و پوسته ساختمان، بالاست. مجاورت فضاهای داخلی کنترل شده با فضاهای کنترل نشده ساختمان نیز بر این اتلاف حرارت دامن می زند. زمانی که منبعی چون استعمال دخانیات یا پخت و پز در محل وجود نداشته باشد، غلظت دی اکسید کربن به منزله شاخصی از کیفیت هوای محیط بسته قابل قبول خواهد بود .بدین ترتیب، برای بررسی کارآمدی تهویه ساختمان، میزان غلظت دی اکسیا- کرین در ساختمان شبیه سازی شد. دی اکسید کربن محصول جانبی تنفس است. هنگام تنفس، افراد اکسیژن را به درون ریه تنفس و دی اکسید کربن را بازدم می کنند. این امر سبب می شود سطح دی اکسید کربن ساختمان به مرور افزایش یابد و بعد از چندین ساعت به مقدار بیشینه برسد. به همین دلیل دی اکسید کرین به منزله شاخصی از گردش هوا در محیط به کار می رود، زیرا غلظت آن با تعداد افراد ساکن در ساختمان و نرخ کلی تهویه در ارتباط است . . به طور کلی در اماکن و ساختمان های غیر مسکونی، در صورت نبود منابع احتراق، نباید غلظت دی اکسید کربن بیش از ppm۶۵۰ * از مقدار آن در محیط بیرون تجاوز کند و تهویه ناکافی سبب افزایش سطح دی اکسید کربن در مقایسه با حالت طبیعی می شود. زمانی که غلظت این ماده به ppm۸۰۰ برسد احساس ناراحتی در محیط ایجاد و اصطلاحا گفته می شود که هوا کهنه شده است (توکلی، ۱۳۸۷). میزان دی اکسید کرین در محیط داخل ساختمان معمولا بین ۴۰۰ تا ۲۰۰۰ ppm متغیر است و غلظت در محیط بیرون بین ۳۵۰ تا

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

۴۵۰ ppm در نظر گرفته می شود. البته در مناطقی در مجاورت بخش هایی با فعالیت صنعتی این غلظت به حدود ppm۸۰۰ نیز می رسد. در مدل غلظت آلاینده برای محیط بیرون ۴۰۰ ppm و برای هر فرد نیز نرخ تنفسی برابر با ۱ / ۰/ h m3 در نظر گرفته شده است. همچنین، فرض شده است کلاس ساعت ۸ صبح شروع و ۱۲ ظهر به اتمام رسیده است. بازه زمانی تا ساعت ۱۴ و تعداد افراد حاضر ۲۰ نفر در نظر گرفته شده است. شکل ۲ روند تغییرات غلظت دی اکسید کربن را در بازه زمانی یادشده نشان می دهد. مشاهده می شود در زمان شروع غلظت ۴۰۰ ppm است که معادل غلظت دی اکسید کربن در محیط بیرون است. پس از گذشت زمان و افزایش میزان دی اکسید کربن محیط، غلظت به حدود ۶۴۲ ppmمی رسد و پایدار می ماند و پس از اتمام ساعت کلاس غلظت به تدریج کاهش می یابد و دوباره به مقدار ۴۰۰ ppmمی رسد.



شکل ۶ نمودار تغییرات غلظت دی اکسید کربن به زمان



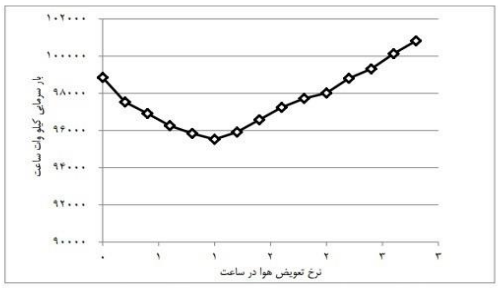
شکل ۷ نمودار بار گرمایشی ساختمان با میزان متفاوت تعویض هوا در ساعت

بیشینه غلظت دی اکسید کربن در محیط داخل ppm۶۴۲ است که مطابق استانداردهای موجود مجاز است، اما در صورت افزایش تعداد افراد حاضر در مدل تا ۳۰ نفر، این مقدار به رقمی نزدیک به ppm ۸۰۰ خواهد رسید و به افزایش تهویه در داخل کلاس نیاز خواهد بود. همان طور که گفته شد تهویه یکی از عواملی است که در تغییر سطح آلاینده های محیط بسته نقش مهمی ایفا می کند. تهویه به منزله راه حلی برای کاهش سطح آلودگی محیط، به ویژه در مواردی که امکان کنترل آلودگی در منبع نباشد، بسیار مهم و قابل توجه است.

در برخی بخش ها برای کنترل رطوبت هوا، رفع بو و دور نگه داشتن محیط از حالت خفقان تهویه ضروری است. از طرفی کنترل نکردن جریان هوا، علاوه بر اینکه به تهویه نامناسب منجر می شود، می تواند با تأثیر در میزان گرمایش و سرمایش در صورت حساب انرژی اثرگذار باشد. برای بررسی این موضوع چندین نرخ تهویه مختلف به نرم افزار دیزاین بیلدر وارد و میزان تغییرات در بارهای گرمایی و سرمایی ساختمان بررسی شد. میزان نرخ تهویه ساختمان مورد مطالعه ۲/۴ بار در ساعت و میزان بار گرمایی ساختمان ۶۴۵۰۸ کیلووات ساعت برآورد شده است. برای بررسی اثر تعویض هوا در مصرف انرژی تمام پارامترهای مؤثر در مصرف انرژی ثابت فرض شده اند و در هر مرحله تنها نرخ تعویض هوا تغییر داده شده است. مطابق شکل ۳ میزان تعویض هوا

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

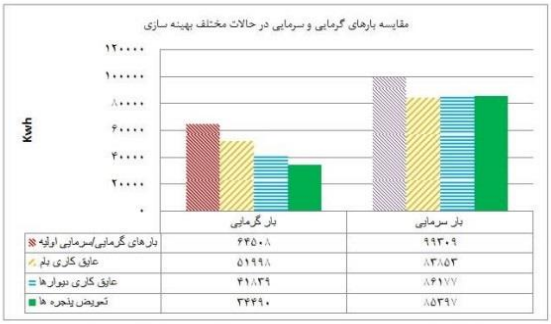
در ساختمان از صفر آغاز و با فواصل ۰/۲ بار تعویض در ساعت تا ۳ بار تعویض در ساعت ختم شد ملاحظه می شود که میزان بار گرمایی ساختمان به شدت و با نسیتی خطی افزایش می یابد. بنابراین، می توان میزان تعویض هوا را از مهم ترین فاکتورهای تأثیرگذار در مصرف انرژی گرمایشی ساختمان دانست. در شکل ۴ میزان بار سرمایش ساختمان با میزان متفاوت تعویض هوا در ساعت نشان داده شده است. مشاهده می شود رفتار بار سرمایشی ساختمان با بار گرمایشی متفاوت و اثر تعویض هوا در بار سرمایشی اندک است. بر اساس این نمودار افزایش میزان تعویض هوا در ساعت از صفر تا ۱ بار تعویض هوا، سبب کاهش بار سرمایشی خواهد شد. به دنبال افزایش نرخ تعویض هوا، از ۱ تا ۳ بار تعویض هوا در ساعت، میزان بار سرمایشی اختمان افزایش می یابد. همچنین، مشاهده می شود که اثر تعویض هوا در بار سرمایشی بسیار کمتر از اثر آن در پار گرمایشی ساختمان است. با مشاهده نتایج بالا می توان دریافت که از طرفی افزایش نرخ تهویه سبب کاهش میزان دی اکسید کربن در ساختمان می شود و در بهبود شرایط و ایجاد آسایش ساکنان امری ضروری است و از طرف دیگر با افزایش تهویه و نرخ تعویض هوا میزان مصرف انرژی به خصوص انرژی گرمایشی به میزان زیادی افزایش می یابد. در ساختمان مورد مطالعه میزان تعویض هوا در بخش های مختلف متفاوت است. برای مثال، در راهروها و اتاق های پر رفت و آمد نرخ تعویض هوا در ساعت بالاست و این مسئله بر افزایش اتلاف انرژی دامن می زند.



شکل ۸ نمودار میزان بار سرمایشی ساختمان با میزان متفاوت تعویض هوا در ساعت

در ادامه به منظور بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان، مجموعه ای از اقدامات بهینه سازی شامل عایق کاری بام، دیوارهای خارجی، تعویض پنجره های ساختمان با پنجره های دوجداره پی وی سی در نرم افزار دیزاین بیلدر به مدل اولیه ساختمان اعمال و فرض شد که در پی نصب پنجره های دوجداره علاوه بر کاهش میزان نشت و نفوذ هوا از جداره های پنجره، تعداد دفعات باز و بسته شدن پنجره ها نیز کاهش یافته است. شکل ۵ میزان تغییرات بارهای گرمایی و سرمایی ساختمان را در اثر هر یک از اقدامات بهینه سازی به طور مجزا نمایش می دهد و جدول ۲ نیز میزان تغییرات هر یک از عوامل مؤثر در تبادل حرارتی در ساختمان را بعد از اعمال مجموعه تغییرات نشان می دهد. مشاهده می شود که تعویض پنجره های ساختمان با پنجره های پی وی سی بیشترین کاهش بار گرمایی ساختمان را در پی داشته است و عایق کاری بام نیز، مؤثرتر از دیگر تغییرات، بار سرمایی ساختمان را در فصول گرم سال کاهش می دهد مشاهده می شود که پس از اقدامات ذکر شده بار گرمایی ساختمان ۶۲ درصد و بار سرمایی ساختمان ۳۹ درصد کاهش خواهد یافت. میزان تهویه نیز حدود ۶ درصد کاهش یافته است. در پی این کاهش ۶ درصدی نرخ تعویض هوا به میزان ۲ / ۲ بار در ساعت کاهش می یابد. ساختمان با نرخ تعویض هوای ۲ / ۲ بار در ساعت بار دیگر در نرم افزار کانتم مدل شد تا میزان سطح بیشینه دی اکسید کرین در کلاس بررسی شده در بخش قبلی، شبیه سازی شود. سطح دی اکسید کربن در هوا پس از یک ساعت حضور ۳۰ نفر از دانشجویان به میزان ppm ۱۲۰۰ برآورد و مطابق آنچه ذکر شد این گاز گلخانه ای از غلظتی بیش از ppm۱۰۰۰ به منزله آلاینده اطلاق می شود و موجب نارضایتی افراد ساکن و بروز سرگیجه و حالت تهوع خواهد شد. بنابراین، به دنبال کاهش ۶۷ درصدی بار گرمایی و کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان، کیفیت هوای داخل ساختمان کاهش یافت. برای رفع این مشکلات می توان از سیستم های هواساز استفاده کرد. در این صورت می توان میزان تهویه طبیعی را به میزان زیادی کاهش داد و وظیفه تأمین هوای مناسب را به دستگاههای هواساز سپرد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]



شکل ۹ میزان تغییرات بار گرمایی و سرمایی ساختمان در اثر هر یک از اقدامات بهینه سازی

تبادل حرارت در ساختمان Kwh		پوستهٔ ساختمان		پنجره‌های ساختمان		تهویه		کسب حرارت داخلی	بار گرمایی/سرمایی
		کسب حرارت	دفع حرارت	کسب حرارت	دفع حرارت	کسب حرارت	دفع حرارت		
دورهٔ گرمایش	بعد از بهینه‌سازی	۱۷۴۶	۱۸۵۰۵	۲۱۴۵۸	۱۰۰۹۵	۰	۷۵۸۹۶	۵۷۳۴۶	۲۳۹۴۶
	قبل از بهینه‌سازی	۲۳۸۹	۵۶۹۱۵	۲۳۶۵۲	۱۱۲۸۷	۰	۸۰۹۹۶	۵۸۷۹۱	۶۴۵۰۸
	درصد تغییرات	٪-۲۶	٪-۶۷	٪-۹	٪-۱۰	۰	٪-۶	٪-۲	٪-۶۲
دورهٔ سرمایش	بعد از بهینه‌سازی	۶۹۵۰	۸۴۸۹	۲۲۹۴۴	۳۰۵	۸۸۲۳	۹۰۵۲	۴۴۸۷۲	۶۳۴۹۲
	قبل از بهینه‌سازی	۳۴۱۶۷	۱۱۹۷۸	۳۲۵۷۵	۴۸۰	۹۲۵۹	۹۸۲۵	۴۵۹۲۸	۹۹۳۰۹
	درصد تغییرات	٪-۷۹	٪-۳۰	٪-۲۹	٪-۳۶	٪-۴,۷	٪-۷	٪-۲	٪-۳۹

شکل ۱۰ تأثیر مجموعه اقدامات بهینه سازی در تبادل حرارتی ساختمان

نتیجه گیری :

به منظور بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان، مجموعه ای از اقدامات بهینه سازی شامل عایق کاری بام، دیوارهای خارجی، تعویض پنجره های ساختمان با پنجره های دوجداره پی وی سی در نرم افزار دیزاین بیلدر به مدل اولیه ساختمان اعمال و فرض شد که در پی نصب پنجره های دوجداره علاوه بر کاهش میزان نشت و نفوذ هوا از جداره های پنجره، تعداد دفعات باز و بسته شدن پنجره ها نیز کاهش یافته است. شکل ۵-۱ میزان تغییرات بارهای گرمایی و سرمایی ساختمان را در اثر هر یک از اقدامات بهینه سازی به طور مجزا نمایش می دهد و جدول ۱ نیز میزان تغییرات هر یک از عوامل مؤثر در تبادل حرارتی در ساختمان را بعد از اعمال مجموعه تغییرات نشان می دهد. مشاهده می شود که تعویض پنجره های ساختمان با پنجره های پی وی سی بیشترین کاهش بار گرمایی ساختمان را در پی داشته است و عایق کاری بام نیز، مؤثرتر از دیگر تغییرات، بار سرمایی ساختمان را در فصول گرم سال کاهش می دهد.

نتیجه گیری گاز دی اکسید کربن به منزله شاخص بررسی کیفیت هوای داخل ساختمان ارزیابی و مشاهده شد که با افزایش تعداد افراد حاضر در کلاسی با نرخ تعویض هوای برابر با ۲ / ۴ | بار در ساعت، میزان دی اکسید کربن ناشی از تنفس افراد، تا • ۸۰ppm افزایش می یابد و به مرز حد مجاز خواهد رسید برای رفع این مشکل نیاز است تا نرخ تعویض هوا افزایش یابد. مشاهده شد که با افزایش نرخ تعویض هوا بارهای گرمایشی ساختمان به شدت افزایش می یابند و این امر سبب افزایش مصرف انرژی در ساختمان می شود. عملکرد بارهای سرمایش متفاوت است و به طور کلی تأثیر نرخ تعویض هوا در بارهای سرمایشی ساختمان بسیار کمتر از تأثیر آن در بارهای گرمایشی است. در ادامه پاره ای اقدامات بهینه سازی بر ساختمان صورت گرفت و

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

مشاهده شد که با اعمال تغییراتی از قبیل عایق کاری دیوارها و بام و تعویض پنجره های موجود با پنجره های دوجداره بار گرمایی ساختمان ۶۷ و بار سرمایی ۳۹ درصد کاهش می یابد.

مراجع :

[1] صادقی نقد علی، علیرضا، فراهت، سعید، *بررسی و بهبود عملکرد چیلرهای جذبی خورشیدی، ۱۳۹۵، نخستین کنفرانس ملی تحقیقات بین رشته ای در مهندسی کامپیوتر، برق، مکانیک و مکاترونیک*

[2] *Ioan Sarbu, Calin Sebarchievici, (2013) , Review of solar refrigeration and cooling systems*

[3] شکری، مظفر،دوست یاسوری، امیر کریم، حاتمی، حسین، *۱۳۹۶، بررسی و مقایسه اقتصادی چیلر تراکمی و جذبی، سومین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک- عمران و فناوری های پیشرفته*

[4] فلاحتکار، امیر ، اخوان ارمکی، حمیدرضا (۱۳۹۰)،*طراحی یک سیستم چیلر جذبی خورشیدی در شهر تهران و بررسی عملکرد این سیستم در مقایسه با چیلرهای جذبی رایج،دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی انرژی، تهران، ایران*

[5] Utlu Z. , Hepbasli A. , *"A Review on Analyzing and Evaluating the Energy Utilization Efficiency of Countries, Renewable and Sustainable Energy" Reviews, Vol. 11, pp. 1-29, 2009*

[6] نصر آزادانی، سیدحسین، احمدی دانش، حسین، ۱۳۹۱، *تحلیل انرژی و اگزرژی نیروگاه بخار پالایشگاه اصفهان، نشریه علمی- پژوهشی مدیریت انرژی، شماره دوم، سال دوم.*

[7] Carlson, C. , Coulter, M. , Kunkle, C. , & Watson, P. (2014). *Solar absorption chiller*

[8] Keshtkar, M. M. (2017). Energy, *exergy analysis and optimization by a genetic algorithm of a system based on a solar absorption chiller with a cylindrical PCM and nano-fluid, Int. Journal of Heat and Technology, 35(2), 416-420 .*

[9] L.Wang, Y. Yang, T. Morosuk, G. Tsatsaronis, *Advanced thermodynamic analysis*

[10] Z. F. Li, K. Sumathy. *"Experimental studies on a solarpowered air conditioning system with partitioned hot water storage tank". Solar energy; 71:285-279, (2001)*

[11] آقابالایی، حامد، فیضی، آرام، عباس نژاد، سجاد، ۱۳۹۴، *بررسی میزان صرفه جویی مصرف انرژی ساختمان با استفاده از انتخاب مناسبترین چیلر دراقلیم شهر تبریز، کنفرانس بین المللی علوم و مهندسی - ۱۳۹۴*

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]