Archive of SID

ISME

طراحی و ارائه الگوریتم انتخاب سیستم تهویه مطبوع بهینه ساختمان

علی غفاری [۱]
استاد

مجید عمیدپور [۲]
استاد

علیرضا خدایاری [۳]
دانشیار

نسیم مهرفرزام [۴]
دانشجوی کارشناسی ارشد

سیستم تهویه مطبوع عمده ترین مصرف کننده انرژی در ساختمان می‌باشد. لذا کاهش مصرف انرژی با در نظر گرفتن شرایط آسایش، از مهم‌ترین سیاست‌های کلان کاهش مصرف انرژی و استفاده از انرژی ذخیره شده در بخش‌های مولد است. در این مقاله، تاثیر نوع سیستم تهویه مطبوع یک ساختمان بر کاهش میزان مصرف انرژی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد و با استفاده از آن یک الگوریتم جدید برای انتخاب سیستم تهویه مطبوع بهینه ساختمان ارائه می‌شود. این الگوریتم قابلیت اجرا برای ساختمان‌های در حال ساخت و ساختمان‌های ساخته شده را دارد. به منظور ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی یک ساختمان مسکونی پنج طبقه در شهر تهران به عنوان مورد مطالعاتی در نظر گرفته شده و مراحل بر روی مدل این ساختمان شبیه‌سازی شده است. مقایسه بین مدل و ساختمان واقعی از لحاظ مصرف انرژی برای فصل سرمایش و گرمایش کم‌تر از یک درصد خطا نشان می-دهد، که مقدار قابل قبولی می‌باشد.

واژه های راهنما : سیستم تهویه مطبوع ساختمان، شبیه‌سازی انرژی، نرم‌افزار Design Builder، بهینه‌سازی، هزینه مصرف انرژی.

۱-مقدمه

طبق آمار منتشر شده در آمریکا در سال (۲۰۱۵)، حدود ۴۰ درصد کل انرژی این کشور، در ساختمان‌های مسکونی و تجاری مورد استفاده قرار گرفته است و ۴۰ درصد از انتشار گازهای گل‌خانه‌ای در اثر این مصرف اتفاق افتاده است [۱]. مطابق ترازنامه انرژی سال (۱۳۹۲) در ایران، حدود ۳۴ درصد از کل انرژی به دست آمده از فرآورده‌های نفت و گاز طبیعی، در ساختمان‌های مسکونی، عمومی و تجاری مصرف شده است [۲]. از اینرو می‌توان گفت به طور متوسط در حدود ۵۰ درصد انرژی مصرف شده در ساختمان‌ها، صرف سیستم تهویه مطبوع می‌شود [۳]، بنابراین عدم کارایی مناسب سیستم‌های تهویه مطبوع و سیستم‌های کنترلی مربوط به آن، در بسیاری از ساختمان‌ها منجر به هدررفت وسیع انرژی می‌شود.

[۱] استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران ghaffari@kntu.ac.ir
[۲] استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران amidpour@kntu.ac.ir
[۳] دانشیار، گروه مهندسی مکانیک واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران arkhodayari@yahoo.com
[۴] دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی کاربردی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران n.mehrfarzam@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از روش‌های جدید در طراحی و یا بهینه سازی سیستم‌های موجود با هدف کاهش مصرف انرژی در این بخش، تاثیر قابل توجهی بر اقتصاد و شرایط زیست محیطی خواهد داشت. دستیابی به کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها به صورت کلی، نیاز به بازنگری در کل فرآیند طراحی، ساخت و عملکرد ساختمان در مصرف انرژی دارد. در ساختمان‌های مسکونی از سیستم‌های تهویه مطبوع مختلف به منظور فراهم کردن شرایط آسایش افراد ساکن استفاده می‌شود. این سیستم‌ها شامل اجزای متفاوت و زیادی از جمله چیلر، بویلر، مبدل حرارتی، پمپ و فن می‌باشند. در حال حاضر سیستم تهویه مطبوع ساختمان‌ها معمولا با اضافه بار نسبت به بار واقعی ساختمان طراحی می‌شود تا در صورت نیاز به بار حرارتی بیشتر، قادر به تامین شرایط آسایش باشند. این امر باعث هدررفت زیاد انرژی در زمان‌های خارج از پیک بار می‌شود. برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های تهویه مطبوع روش‌های موثری از جمله اعمال روش‌های کنترلی مناسب وجود دارد، اما در گام اول بایستی سیستم مناسب و بهینه برای هر ساختمان انتخاب شود و سپس روش‌های کنترلی بر روی آن اعمال گردد، به این ترتیب می‌توان به بالاترین بازده انرژی در ساختمان دست یافت.

کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های تهویه مطبوع می‌تواند تاثیر چشمگیری بر کاهش مصرف انرژی ساختمان داشته باشد، زیرا این بخش بزرگ‌ترین مصرف کننده انرژی در ساختمان است. لذا مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته است. هدف کلی بسیاری از این پژوهش‌ها طراحی بهینه و مناسب ساختمان‌ها در مرحله قبل از ساخت می‌باشد. در این مقالات عموما به تاثیر و اهمیت انتخاب مصالح، نوع پنجره‌ها و عایق‌کاری پرداخته شده است [۴-۵]. به عنوان نمونه سبحان با بررسی تاثیر مصالح مختلف بر کاهش مصرف انرژی در مجتمع های مسکونی نشان داده است، می‌توان با استفاده از عایقکاری جداره ها حدود ۱۱/۷ درصد و با استفاده از شیشه‌های هوشمند الکتروکورمیک حدود ۲۷/۳ درصد از صرف انرژی ساختمان کاست. همچنین با اجرای هم‌زمان عایق‌کاری جداره‌ها و استفاده از شیشه‌های الکتروکورومیک می‌توان نزدیک به ۴۶/۳ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی کرد [۶].

ویرتا و همکارانش به بررسی تاثیر انواع سیستم تهویه مطبوع بر روی دو ساختمان با مشخصات متفاوت پرداخته‌اند. ایشان نشان داده‌اند که طراحی مناسب ساختمان و سیستم تهویه مطبوع آن تا ۷۵ درصد در میزان مصرف انرژی صرفه‌جویی ایجاد می‌کند [۷].

Kong و همکارانش در پژوهشی به ارائه یک روش برای کاهش میزان مصرف انرژی و هزینه اولیه، با استفاده از طراحی سیستم انرژی ساختمان بر مبنای بهینه‌سازی چند منظوره پرداخته‌اند. در این روش از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی استفاده شده است. هم‌چنین این روش بر روی دو ساختمان کوچک مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج در مورد یکی از ساختمان‌ها نشان می‌دهد با افزایش ۴ درصدی قیمت تجهیزات اولیه می‌توان مصرف انرژی را تا ۱۴ درصد کاهش داد [۸]. استفاده از روش‌های متفاوت کنترلی به منظور بهبود عملکرد سیستم تهویه مطبوع یکی از مهم‌ترین رویکردها در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها می‌باشد.

در بین این روش‌ها، استفاده از شبکه عصبی [۹]، کنترل پیش‌بین مبتنی بر مدل [۱۰-۱۲] و منطق فازی [۱۳] در پژوهش‌های اخیر متداول‌تر بوده است. بررسی عملکرد روش‌های پیشنهادی برای کاهش مصرف انرژی ساختمان در مرحله مقدماتی نیاز به مدل دقیقی از ساختمان دارد [۱۴]. لذا افزایش دقت مدل‌سازی با استفاده از روش‌هایی نظیر روش جعبه خاکستری [۱۵] و نرم‌افزارهای تحلیل انرژی ساختمان مانند

www.SID.ir

Archive of SID

Energy Plus و Design Builder [۱۶و۱۷] در پژوهش‌ها مورد توجه قرار گرفته است. با وجود تحقیقات بیان شده، تاکنون پژوهش جامعی درباره الگوریتم انتخاب سیستم تهویه مطبوع بهینه برای هر ساختمان، قبل از مرحله ساخت ارائه نشده است.

بنابراین در این مقاله به ارائه یک الگوریتم جهت تعیین سیستم تهویه مطبوع ساختمان پرداخته شده است. به منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، یک ساختمان مسکونی در شهر تهران به عنوان مورد مطالعاتی، مدل‌سازی و صحه‌گذاری شده است. سیستم‌های تهویه مطبوع مختلف بر روی مدل ساختمان اجرا شده و با مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی و برآورد هزینه‌های تامین، نصب و نگهداری و هزینه‌های مصرف انرژی، سیستم بهینه انتخاب می‌شود.

۲- ارائه الگوریتم انتخاب سیستم تهویه مطبوع بهینه

در این پژوهش سعی شده است یک روش کلی برای طراحی سیستم تهویه مطبوع بهینه ساختمان‌های بزرگ قبل از مرحله ساخت ارائه شود. هم‌چنین این الگوریتم می‌تواند به منظور بررسی عملکرد سیستم تهویه مطبوع ساختمان‌های ساخته شده به کار گرفته شود. هدف کلی این الگوریتم کاهش میزان انرژی مصرفی در ساختمان از طریق کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های سرمایش و گرمایش می‌باشد. مزیت این روش، قابلیت انتخاب سیستم بهینه در مرحله اولیه است. هم‌چنین سیستم‌های کنترلی متفاوت می‌توانند در مراحل بعدی بر روی این سیستم‌های بهینه اعمال شود و مصرف انرژی با این روش نیز کاهش پیدا کند. الگوریتم پیشنهادی شامل چندین مرحله است که در ادامه ارائه می‌شود.

۲-۱- انتخاب ساختمان

این الگوریتم قابلیت اجرا برای ساختمان‌های در مرحله طراحی و یا ساخته شده را دارد. سیستم تهویه مطبوع بهینه با در نظر گرفتن میزان مصرف انرژی و جنبه‌های اقتصادی برای ساختمان پیشنهاد می‌شود. در مورد ساختمان‌های ساخته شده امکان اصلاح و بهبود بازدهی انرژی از طریق تغییرات قابل اجرا در ساختمان وجود دارد. هم‌چنین با طراحی و اعمال سیستم‌های کنترلی می‌توان میزان مصرف انرژی را در این ساختمان‌ها کاهش داد.

۲-۲- جمع‌آوری اطلاعات

پس از انتخاب نوع ساختمان، مشخصات ساختمان برای مدل‌سازی مورد نیاز می‌باشد. بنابراین اطلاعاتی نظیر نقشه-های معماری ساختمان، نوع مصالح و جهت‌گیری بنا می‌باید مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. هم‌چنین برای ساختمان‌های ساخته شده اطلاعاتی نظیر برنامه حضور افراد در ساختمان و زمان روشن و خاموش شدن سیستم تهویه مطبوع از ساکنین ساختمان جمع‌آوری می‌شود تا با تعریف آن‌ها دقت مدل‌سازی افزایش یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۳- مدل‌سازی و صحه‌گذاری

پس از جمع‌آوری و تحلیل مشخصات ساختمان می‌باید میزان تبادل و مصرف انرژی ساختمان مدل‌سازی شود. روش‌های متفاوتی برای مدل‌سازی ساختمان‌ها وجود دارد. روش پیشنهادی در این الگوریتم استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل و شبیه‌سازی انرژی است. در این زمینه نرم‌افزارهای زیادی وجود دارند که با توجه به پیشرفت تکنولوژی‌های مربوط به مدل‌سازی و شبیه‌سازی توسعه پیدا کرده‌اند.

Energy Plus، eQuest و Modelica از پر استفاده‌ترین برنامه‌های شبیه‌سازی ساختمان هستند [۱۸و۱۹]. در این الگوریتم از نرم‌افزار Design Builder به عنوان ابزار مدل‌سازی ساختمان استفاده می‌شود.

Design Builder یک واسط گرافیکی (GUI)[1] برای نرم‌افزار Energy Plus است، که می‌تواند تخمینی دینامیک از انرژی مصرفی سرمایش و گرمایش در فصول مختلف، به کاربر ارائه دهد. برای شبیه‌سازی یک ساختمان در نرم-افزار Design Builder، بایستی داده‌های اولیه به صورت دقیق به نرم‌افزار وارد شود، تا مدل ایجاد شده رفتار حرارتی مشابه با ساختمان داشته باشد. این اطلاعات در مرحله قبل جمع‌آوری شده است. به این ترتیب یک مدل اولیه از ساختمان ایجاد می‌شود. در مورد ساختمان‌های ساخته شده می‌توان با استفاده از قبوض برق و یا سنسورهای دما (در صورت وجود) مدل ایجاد شده را صحه‌گذاری کرد.

۲-۴- طراحی و انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع

در این مرحله انواع سیستم‌های تهویه مطبوع که امکان اجرای آن‌ها با توجه به کاربری و موقعیت منطقه‌ای ساختمان وجود داشته باشد، طراحی و بر روی مدل اجرا می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی یک سیستم تهویه مطبوع، انتخاب نوع سیستم است. در این انتخاب بایستی ملاحظات زیر درنظر گرفته شود.

- شرایط آسایش مورد نظر و چگونگی تامین آن
- شرایط کارکرد سیستم
- ظرفیت سیستم
- وضعیت جانمایی و اشغال فضا توسط سیستم
- هزینه‌های بهره‌برداری مانند هزینه‌های مصرف برق، گاز، آب و هزینه‌های اولیه، تعمیر و نگهداری

با توجه به موارد بیان شده، سیستم‌های متناسب برای هر ساختمان انتخاب و طراحی می‌شوند.

۲-۵- شبیه‌سازی و محاسبه میزان مصرف انرژی

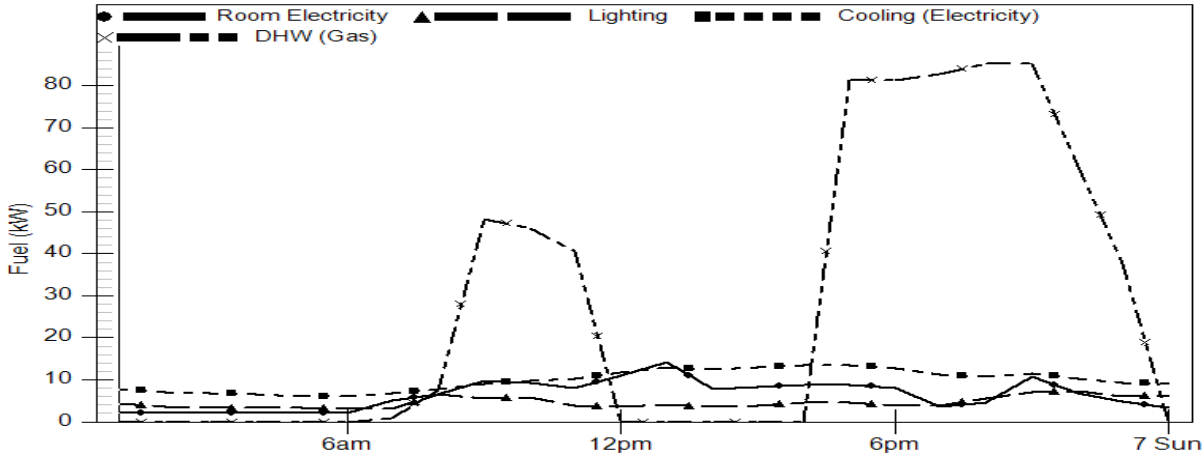
پس از طراحی هر یک از سیستم‌های تهویه مطبوع، شبیه‌سازی مدل ساختمان به منظور مقایسه میزان مصرف انرژی انجام می‌شود. برای به دست آوردن میزان مصرف انرژی سیستم تهویه مطبوع، شبیه‌سازی در بازه‌های زمانی که در آن سیستم سرمایش روشن است صورت می‌گیرد. از آنجایی که سیستم‌ها با جزئیات طراحی شده‌اند، امکان محاسبه میزان مصرف انرژی برای هر قسمت سیستم تهویه مطبوع و در نتیجه مقایسه بخش‌های مختلف وجود دارد.

---

[1] Graphical User Interface

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱- میزان مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان در فصل سرمایش

تفکیک میزان مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان در یک روز از فصل سرمایش در شکل (۱) نشان داده شده است. از نتایج شبیه‌سازی در محاسبه هزینه انرژی مصرفی استفاده می‌شود. این هزینه‌ها بر اساس تعرفه مصرف برق و با لحاظ کردن تصاعدی بودن مصرف محاسبه می‌شوند، بنابراین بازه شبیه‌سازی بایستی منطبق بر بازه قبوض برق ساختمان انتخاب شود.

۶-۲- برآورد هزینه

هزینه‌های تامین، نصب و راه‌اندازی سیستم‌های انتخاب شده در مراحل قبل با استعلام از شرکت‌ها و نمایندگی‌های سیستم‌های تهویه مطبوع به دست آورده می‌شود. هم‌چنین هزینه انرژی مصرفی برای هر سیستم در مدت زمان مصرف، با استفاده از نتایج شبیه‌سازی مدل و تعرفه‌های انرژی موجود قابل محاسبه می‌باشد. مجموع این هزینه‌ها، هزینه کلی هر سیستم را مشخص می‌کند. به این ترتیب مسائلی مانند بازگشت هزینه اولیه و هزینه‌های انرژی هر سیستم قابل ارزیابی می‌باشد.

۷-۲- تحلیل و انتخاب سیستم بهینه

در گام نهایی، با در نظر گرفتن هزینه‌های کلی، هزینه‌های انرژی و هم‌چنین مزایا و معایب هر سیستم، بهترین و کارآمدترین سیستم برای ساختمان انتخاب می‌شود. هدف این الگوریتم انتخاب سیستم سرمایش و گرمایش بهینه برای هر ساختمان با اولویت کاهش میزان مصرف انرژی و با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی است.

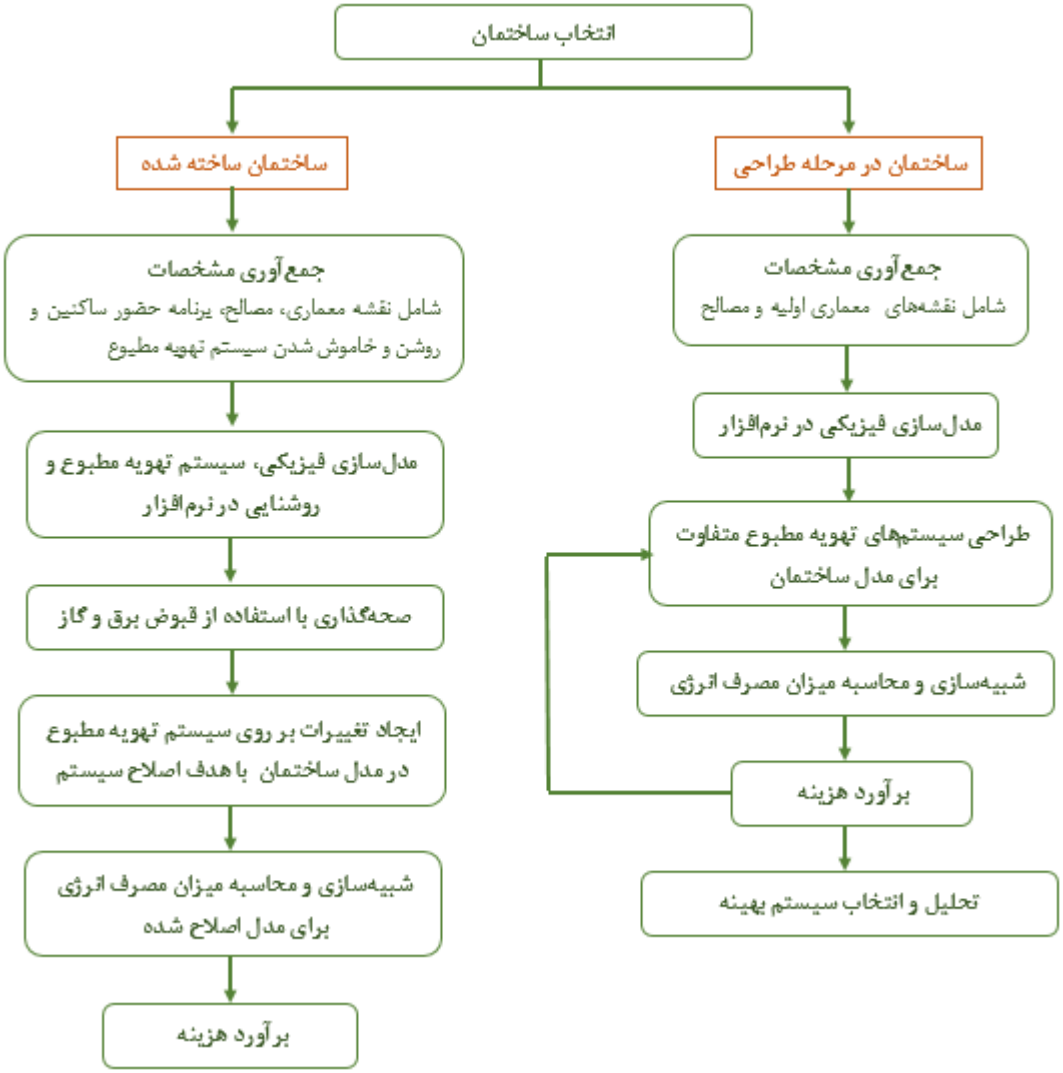
در شکل (۲) مراحل الگوریتم ارائه شده به صورت فلوچارت نشان داده شده است.

۳- اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی

به منظور ارزیابی عملکرد این الگوریتم و امکان سنجی اجرای آن، در ادامه از یک ساختمان موجود در شهر تهران به عنوان مورد مطالعاتی استفاده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

۳-۱- انتخاب و مشخصات ساختمان

ساختمان مورد مطالعه در سال (۱۳۹۱) در شمال شهر تهران ساخته شده است. این ساختمان دارای پنج طبقه مسکونی با نقشه یکسان و دو طبقه شامل سالن ورزشی و استخر، اتاق تاسیسات، انباری، لابی و پارکینگ می‌باشد. هر طبقه مساحتی برابر ۳۲۱ مترمربع دارد، بنابراین مساحت کلی ساختمان ۲۲۴۷ مترمربع خواهد بود. سایر اطلاعات مربوط به هندسه از نقشه های معماری ساختمان به دست آورده می‌شوند. پنجره‌های ساختمان از نوع دو جداره هستند و فضای بین دو شیشه با ۱۲ میلی‌متر گاز آرگون پر شده است. جنس و مصالح استفاده شده در دیوارهای داخلی و خارجی از سازندگان بنا جمع‌آوری و در جدول (۱) آورده شده است.

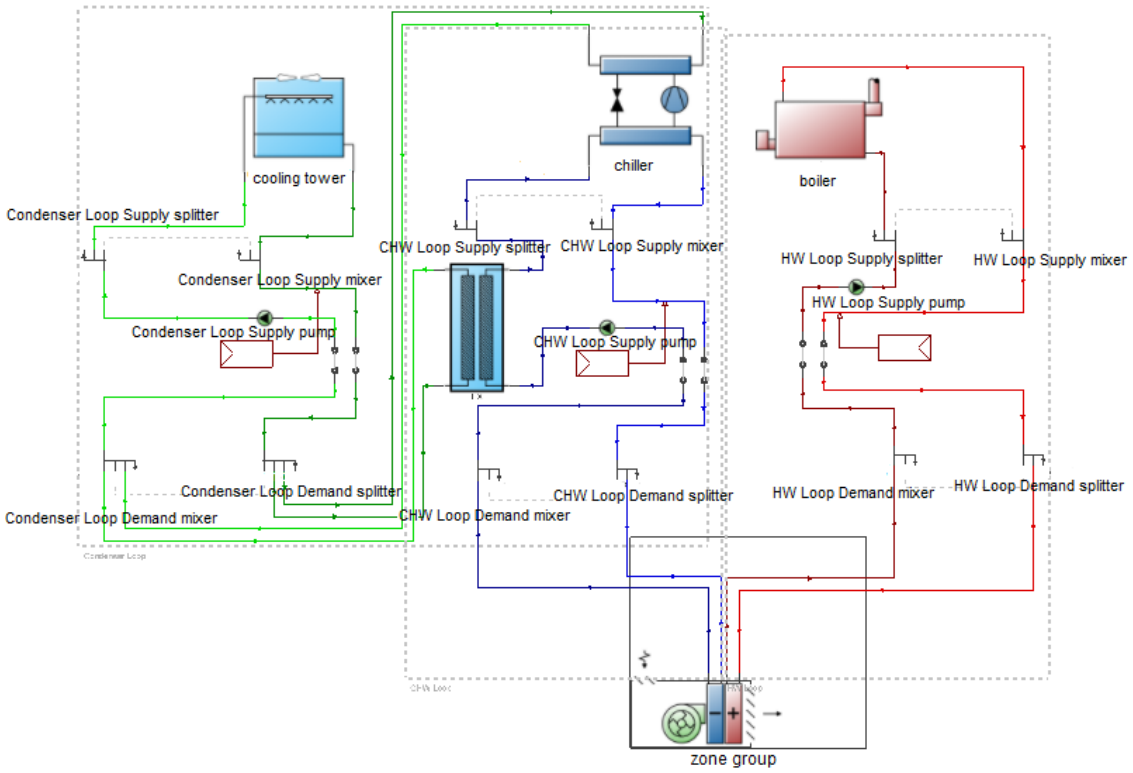
ساختار سیستم تهویه مطبوع ساختمان مورد مطالعه در نرم‌افزار Design Builder در شکل (۳) نمایش داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- مشخصات (جنس – مصالح) دیوارهای ساختمان

دیوارهای خارجی	بلوک عایق لیکا (سبک)	۱۵ سانتی‌متر
	گچ و سیمان	۵ سانتی‌متر
دیوارهای داخلی	گچ و سیمان	۵ سانتی‌متر
	بلوک لیکا	۱۵ سانتی‌متر
	گچ و سیمان	۵ سانتی‌متر
کف	ملات	۵ سانتی‌متر
	سنگ	۲ سانتی‌متر
نما	دوغاب	۳ سانتی‌متر
	سنگ	۲ سانتی‌متر
سرویس‌ها	گچ	۳ سانتی‌متر
	دوغاب	۳ سانتی‌متر
	کاشی	۲ سانتی‌متر



شکل۳- ساختار سیستم تهویه مطبوع ساختمان در نرم‌افزار Design Builder

سیستم سرمایش ساختمان، یک سیستم تمام آب شامل چیلر آب خنک و فن‌کویل است. آب سرد تهیه شده در چیلر از طریق لوله‌کشی به فن‌کویل‌های موجود در فضاهای مختلف ساختمان برده می‌شود. سیستم سرمایش معمولا از اوایل خرداد ماه شروع به کار می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

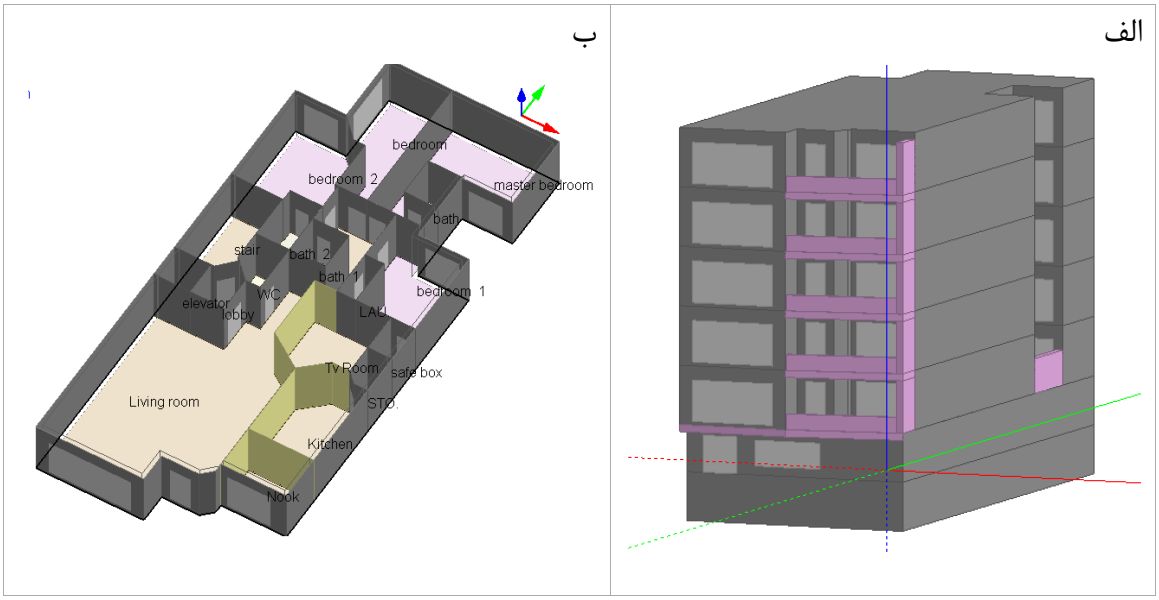
گرمایش ساختمان از طریق بویلر و فن‌کویل صورت می‌گیرد. سیستم گرمایش علاوه بر گرمایش ساختمان در فصول سرد، وظیفه تولید آب گرم مصرفی در تمام فصول و تولید آب گرم برای استخر را دارد. بنابراین سیستم گرمایش در تمام فصول سال روشن است، اما عمده بار آن معمولا از اوایل آبان ماه تا اواخر اسفند، یعنی فصول سرد سال اتفاق می‌افتد. تعیین برنامه زمانی روشن و خاموش بودن سیستم تهویه مطبوع از مهم‌ترین پارامترهای مدل‌سازی درست ساختمان می‌باشد.

۲-۳- مدل‌سازی

برای شروع مدل‌سازی در نرم‌افزار Design Builder، ابتدا باید هندسه بنا در نرم‌افزار ایجاد شود. برای مدل‌سازی بهتر از نرم‌افزار تخصصی Revit استفاده شده است، تا بتوان هندسه بنا را با جزئیات کامل و دقیق ایجاد نمود. Revit نرم‌افزار قدرتمندی در معماری است، که قابلیت ایجاد هندسه‌های پیچیده در فضای سه-بعدی را دارد. مدل ایجاد شده را می‌توان به محیط Design Builder وارد کرد. با توجه به مشخصات و نقشه‌های معماری، ساختمان در ۷ بخش[1] و ۱۰۹ منطقه[2] مدل‌سازی می‌شود.

شکل (۴) نمایی از مدل ساختمان در نرم افزار Design Builder و طبقه اول ساختمان را نشان می‌دهد.

در گام بعدی، اطلاعاتی نظیر تعداد افراد ساکن در ساختمان و الگوی حضور افراد، دمای مورد نیاز سرمایش و گرمایش، میزان آب گرم مصرفی، میزان مصرف وسایل متفرقه استفاده شده و ... بر اساس اطلاعات به دست آمده از سازندگان و ساکنین ساختمان به نرم‌افزار داده می‌شود.



شکل ۴- مدل ساختمان در نرم‌افزار Design Builder (آ. کل ساختمان، ب. طبقه اول)

[1] Block
[2] Zone

www.SID.ir

Archive of SID

Design Builder این اطلاعات را تحت عنوان نیاز[1] می‌شناسد. در قسمت بعد، مشخصات دیوارهای داخلی و خارجی، سقف و کف، شامل مصالح استفاده شده و ضخامت برای همه قسمت‌های ساختمان، مطابق جدول (۱) به نرم‌افزار داده می‌شود. در مرحله بعد نوع و جنس در و پنجره‌ها برای قسمت‌های مختلف ساختمان تعریف می‌شود. سیستم روشنایی و میزان مصرف در هر قسمت به طور جداگانه مشخص می‌گردد. در ادامه مشخصات سیستم تهویه مطبوع ساختمان باید به طور دقیق برای نرم‌افزار تعریف شود. سیستم تهویه مطبوع وظیفه دارد نیازهای تعریف شده برای ساختمان را تامین کند. به این ترتیب با وارد کردن کلیه مشخصات ساختمان در بخش‌های مربوط، مدل‌سازی ساختمان در نرم‌افزار Design Builder کامل می‌شود و می‌توان در گام بعدی شبیه‌سازی و تحلیل ساختمان را انجام داد. شبیه‌سازی مدل در بازه‌های مختلف زمانی، خروجی‌هایی نظیر شرایط آسایش حرارتی (دما و رطوبت نسبی)، بارهای داخلی، میزان مصرف انرژی الکتریکی و گاز و میزان تولید گاز دی اکسید کربن را ارائه می‌دهد. در شکل رنگ قرمز انرژی مصرفی برای تولید آب گرم مصرفی، رنگ آبی روشن انرژی مصرفی سیستم سرمایش، رنگ آبی تیره انرژی مصرفی وسایل برقی و رنگ زرد انرژی مصرفی سیستم روشنایی را بر حسب کیلو وات نشان می‌دهد.

۳-۳- صحه‌گذاری

برای اطمینان از عملکرد صحیح مدل، بایستی رفتار و نتایج حاصل از شبیه‌سازی، با ساختمان واقعی مقایسه شود. درصد خطای مدل‌سازی نشان می‌دهد پاسخ مدل تا چه اندازه به پاسخ سیستم واقعی نزدیک است. چون ساختمان مسکونی است و سنسورهای دمای نصب شده در محل‌های مختلف آن دما را فقط به صورت لحظه‌ای نشان می‌دهند و این اطلاعات در جایی ذخیره و نگهداری نمی‌شوند، نمی‌توان از پارامتر دما برای صحه‌گذاری مدل استفاده کرد، لذا در این پژوهش برای صحه‌گذاری مدل، از قبوض برق و گاز مصرفی ساختمان در طول سال استفاده می‌شود.

در شکل‌های (۵) و (۶) نمونه‌ای از قبوض ساختمان نشان داده شده است.

صحه‌گذاری مدل در سه بازه زمانی جداگانه صورت می‌گیرد تا عملکرد ساختمان در فصل روشن بودن سیستم سرمایش، روشن بودن سیستم گرمایش و خاموش بودن هر دو سیستم ارزیابی شود. میزان خطای نتایج حاصل از شبیه‌سازی و تحلیل مدل در نرم‌افزار Design Builder، در بازه‌های زمانی مختلف و بر اساس مدت زمان قبض‌های برق و گاز ساختمان، در جدول (۲) آورده شده است.

همان طور که از جدول مشاهده می‌شود، میزان درصد خطای مدل نسبت به ساختمان مقدار قابل قبولی است، بنابراین می‌توان گفت مدل رفتار حرارتی مشابه با رفتار حرارتی ساختمان واقعی دارد، بنابراین می‌توان از آن در تحلیل انرژی ساختمان بهره برد.

1 Demand

www.SID.ir

Archive of SID

شرح	تاریخ	میان باری	اوج بار	کم باری	دوره
قرائت کنونی	۹۵/۰۲/۱۵	۸۹۰۱	۳۷۵۸	۵۷۵۹	۹۵-۱
قرائت پیشین	۹۴/۱۱/۲۷	۸۲۸۸	۳۴۸۸	۵۳۹۲	
مصرف (kwh)		۶۱۳	۲۷۰	۳۶۷	
مصرف کل دوره (kwh)		۱۲۵۰			
مصرف متوسط-۳ روز		۴۸۰/۷۷	تعداد روز : ۷۸		

تعداد روز آخرین تغییرات: ۸۲ مصرف آخرین تغییرات: ۱۰۳۶

پله‌های مصرف ۳۰ روزه	نرخ (ریال)	مصرف ۳۰ روزه	مبلغ ۳۰ روزه	فرمول محاسبه و مبلغ
مصرف ۰ تا ۱۰۰	۴۰۹	۱۰۰	۴۰۹۰۰	تعداد روز*(۳۰/ میالغ ماهانه)
مازاد بر ۱۰۰ تا ۲۰۰	۴۷۷	۱۰۰	۴۷۷۰۰	۵۳ (۲۲۱۴۶۲/۳۰)
مازاد بر ۲۰۰ تا ۳۰۰	۱۰۲۳	۱۰۰	۱۰۲۳۰۰	
مازاد بر ۳۰۰ تا ۴۰۰	۱۸۴۱	۱۰۰	۱۸۴۱۰۰	مبلغ مصرف (ریال)
مازاد بر ۴۰۰ تا ۵۰۰	۲۱۱۴	۸۰/۷۷	۱۷۰۷۴۶	۱۴۱۸۹۳۹
مازاد بر ۵۰۰ تا ۶۰۰	۲۶۶۰	۰	۰	
مازاد بر ۶۰۰	۲۹۳۳	۰	۰	

شرح مصرف	نرخ (ریال)	مصرف	شرح مبلغ	مبلغ
میزان مصرف در اوج بار	۴۰۹	۲۷۰	هزینه مصرف اوج بار	۱۱۰۴۳۰
میزان مصرف در کم باری	۲۰۵	۳۶۷	تخفیف مصرف کم باری	۷۵۲۳۵

شکل۵- قبض برق ساختمان

نام :
نشاني : * * *
شماره اشتراك : شهر : تهران تعداد واحد : ۵
کد آدرس : کد حوزه : ۰۰۵ گروه : B
سريال كنتور : ظرفيت : ۶۵
شماره پرونده : نوع مصرف : خانگي

تاريخ قرائت پيشين	تاريخ قرائت فعلي	رقم شمارش گر پيشين	رقم شمارشگر فعلي	كاركرد شمارشگر	مصرف استاندارد
۹۴ / ۱۲ / ۰۲	۹۴ / ۱۲ / ۲۶	۱۳۱,۵۴۸	۱۳۶,۷۰۱	۵,۱۵۳	۵,۱۵۳
بهاي گاز مصرفي	آبونمان	عوارض	بيمه	بدهي متفرقه	مانده بدهي
۱۰,۲۷۸,۵۳۸	۲۰۱,۷۱۴	۹۴۳,۳۹۹	۱,۹۷۳	۰	۰
مانده صورتحساب قبلي	تعداد بدهي	شماره سري	مانده مبلغ هزار ريال	كسر مبلغ هزار ريال	عوارض گازرساني به روستا
۲۲,۹۰۹,۰۰۰	۱	۱۳۷	۵۲۷	۵	۱,۰۲۷,۸۵۴

مبلغ قابل پرداخت	مهلت پرداخت	شناسه پرداخت	شناسه قبض
۳۵,۳۶۳,۰۰۰	۹۵ / ۰۲ / ۱۵	۰۰۰۳۵۳۶۳۱۳۷۳۰	۰۱۱۹۴۳۰۸۰۶۲۳۵

شکل۶- قبض گاز ساختمان

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲- نتایج و خطاها

	ساختمان	مدل	درصد خطا
۱۹ اردیبهشت - ۱۵ تیر	۱۹۱۲۵	۱۹۵۶۳	۲/۲
۱۵ تیر – ۱۵ شهریور	۲۹۴۳۸	۲۸۵۶۱	۲/۸
۱۵ شهریور – ۸ آبان	۱۳۲۵۵	۱۳۶۲۶	۲/۷
مجموع	۶۱۸۱۷	۶۱۷۵۰	۰/۱

	ساختمان	مدل	درصد خطا
۱۱ آبان – ۵ دی	۱۲۲۰۶	۱۲۲۹۴	۰/۷۲
۱۱ آبان – ۳ اسفند	۱۲۷۳۶	۱۲۴۱۵	۲/۳
مجموع	۲۴۹۴۲	۲۴۷۰۹	۰/۹۳

۳-۴- بررسی انواع سیستم‌های تهویه مطبوع

در این بخش انواع سیستم‌های تهویه مطبوع مناسب برای ساختمان مورد بررسی، طراحی و بر روی مدل ساختمان در نرم‌افزار Design Builder قرار داده می‌شود، تا با شبیه سازی در بازه‌های زمانی متناسب، میزان مصرف انرژی هر سیستم محاسبه گردد. سیستم‌های تهویه مطبوع به دلیل گستردگی به شکل‌های متفاوتی دسته‌بندی می‌شوند. یکی از عمده‌ترین این دسته‌ها مستقل یا مرکزی بودن سیستم تهویه مطبوع است. مزیت اصلی سیستم‌های تهویه مطبوع مرکزی، کاهش چشمگیر مصرف انرژی ساختمان و ارتقای سطح آسایش کاربران می‌باشد. همچنین با حذف کندانسورها در بخش سرمایش سیستم تهویه مطبوع مستقل و پکیج‌ها و آبگرم‌کن‌ها در بخش گرمایش سیستم تهویه مطبوع مستقل، در هزینه‌های معماری ناشی از اختصاص فضا برای این تجهیزات و مخفی کردن آن‌ها در نمای ساختمان صرفه‌جویی می‌شود. علاوه بر این انتخاب سیستم مرکزی می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت پست‌های برق، تابلوها، کابل‌کشی‌ها، کنتور برق واحدها و کلیه موارد مربوط به آن شود. بزرگ‌ترین مزیت سیستم‌های تهویه مطبوع مستقل، استقلال واحدها در زمان روشن و خاموش شدن سیستم می‌باشد. با توجه به موارد بیان شده و مشخصات ساختمان موردمطالعه، در این پژوهش صرفا سیستم‌های تهویه مطبوع مرکزی که استفاده از آن‌ها برای این ساختمان توجیه فنی دارد، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته‌اند.

برای مقایسه اختلاف میزان مصرف انرژی سرمایش، در سیستم‌های تهویه مطبوع متفاوت، مدل ساختمان را در فصول گرم سال که در آن‌ها سیستم سرمایش روشن است، در نظر گرفته و شبیه‌سازی در این بازه زمانی با چند نوع سیستم سرمایش متفاوت طراحی شده انجام می‌شود. در ابتدا توضیح مختصری از این سیستم‌ها بیان شده است [۲۰-۲۲]. نتایج با استفاده از جدول (۳) و شکل (۷) مقایسه خواهند شد.

- سیستم سرمایش با چیلر هوا خنک و حجم هوای متغیر (VAV)[1] : از انواع سیستم‌های تهویه مطبوع تمام هوا می‌باشد. در این سیستم‌ها هوای سرد یا گرم در دستگاه مرکزی تولید و به وسیله داکت به فضاهای ساختمان منتقل می‌شود. در سیستم‌های حجم متغیر کنترل سرمایش یا گرمایش با ثابت نگه داشتن دمای هوای ورودی و تغییر حجم هوا از طریق دمپر انجام می‌شود. برای مقایسه، همین سیستم سرمایش با چیلر هوا خنک بر روی مدل ساختمان اعمال شده است.
- سیستم سرمایش با چیلر هوا خنک و حجم هوای ثابت (CAV)[2] : سیستم حجم هوای ثابت یکی دیگر از انواع سیستم‌های تهویه مطبوع تمام هوا می‌باشد. در این سیستم‌ها کنترل سرمایش و گرمایش به

[1] Variable Air Volume
[2] Constant Air Volume

www.SID.ir

Archive of SID

وسیله تغییر دمای هوای تامینی انجام می‌شود و حجم هوای ورودی به فضا ثابت است. این سیستم بیشتر برای فضاهایی مناسب است که کنترل فشار در آن‌ها اهمیت دارد. عمده‌ترین ایراد این سیستم مصرف بالای انرژی به دلیل اتلاف انرژی سرمایش، گرمایش و فن می‌باشد.

- سیستم سرمایش با چیلر هوا خنک و جریان متغیر سیال (VRF)[1] : سیستم‌های تهویه مطبوع VRF از چندین واحد داخلی متصل به یک واحد خارجی تشکیل شده‌اند، که توانایی تولید سرما و گرما به صورت همزمان را دارند. نیاز به لوله‌کشی از مقطع طبقات تا پشت‌بام و جانمایی و نصب تعداد زیادی کندانسور در یک محوطه مشخص از نقاط ضعف این سیستم می‌باشد.
- عدم نیاز به مصرف آب از مهم‌ترین مزایای این سیستم تهویه مطبوع است. استفاده از این سیستم بیشتر برای کاربردهای زیر مناسب می‌باشد.
  - مکان‌هایی که نیاز به سرمایش موضعی داشته باشند.
  - ساختمان های تجاری بزرگ و پاساژها.
  - محل‌هایی که هر قسمت از آن دمای خاصی نیاز دارد و یا انتخاب دما به عهده افراد است مثل بیمارستان‌ها.
- سیستم سرمایش با چیلر هوا خنک و فن‌کویل: چیلر هواخنک و فن‌کویل به عنوان سیستم سرمایش ساختمان در نظر گرفته می‌شود تا از لحاظ میزان مصرف انرژی با چیلر آب‌خنک مقایسه شود.

جدول ۳– مقایسه نتایج شبیه‌سازی سیستم‌های سرمایش

	میزان مصرف انرژی (کیلو وات ساعت)		
	پمپ	فن	سیستم سرمایش
چیلر آب‌خنک و فن‌کویل	۵۴۸/۳۱	۲۳۲۳/۳۶	۱۲۱۱۴/۹۹
چیلر هواخنک و فن‌کویل	۷۷/۱۷	۲۳۲۳/۳۶	۲۴۱۵۹/۰۲
چیلر آب‌خنک و هواساز حجم متغیر	۵۱۷/۶۴	۱۵۱۵۹/۳۷	۱۸۹۰۸/۰۷
چیلر هواخنک و هواساز حجم متغیر	۱۲۱/۶۸	۱۱۸۷۵/۱۰	۳۲۰۰۶/۷۴
چیلر هواخنک و هواساز حجم ثابت	۲۰۵/۷۴	۲۷۸۸۰/۳۵	۲۶۹۱۱/۲۴
VRF	-	۴۹۸۹/۸۸	۲۹۸۱۹/۲۰

[1] Variable Refrigerant Flow

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۷– مصرف انرژی در سیستم‌های سرمایش مختلف

برای مقایسه اختلاف میزان مصرف انرژی گرمایش، در سیستم‌های تهویه مطبوع متفاوت، مدل ساختمان را در فصول سرد سال که در آن‌ها سیستم گرمایش روشن است، در نظر گرفته و شبیه‌سازی در این بازه زمانی با چند نوع سیستم گرمایش مرکزی متفاوت انجام می‌شود.

- سیستم گرمایش با بویلر و گرمایش از کف: آب گرم تولید شده توسط بویلر وارد لوله‌هایی که در کف ساختمان قرار گرفته است، می‌شود. هوای روی لوله‌ها از طریق انتقال حرارت تابشی و جابه‌جایی طبیعی گرم شده و به سمت بالا حرکت می‌کند و هوای سرد جایگزین آن می‌شود. مهم‌ترین اشکال این سیستم‌ها، عدم دسترسی برای تعمیرات می‌باشد. از مزایای این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.
  - تبادل کم دما بین کف و دیوارهای سرد.
  - سطح تابشی بسیار بزرگ (مساحت فضای گرمایش).
  - دمای پایین آب در حال گردش در سیستم گرمایش از کف (بین ۳۵ تا ۵۰ درجه سانتی گراد).
- سیستم گرمایش با بویلر و رادیاتور: آب گرم تولید شده توسط بویلر وارد رادیاتورها می‌شود [۲۳].

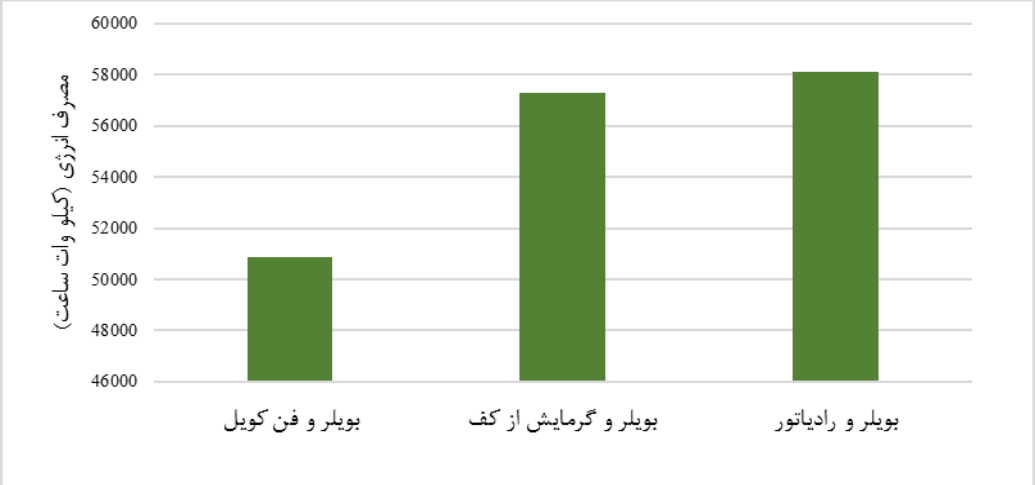
در جدول (۴) و شکل (۸) نتایج مقایسه انواع سیستم‌های گرمایش نشان داده شده است.

جدول ۴– مقایسه نتایج شبیه‌سازی سیستم گرمایش

	مصرف انرژی در سیستم گرمایش
بویلر و فن‌کویل	۵۰۸۴۵/۶۰
بویلر و گرمایش از کف	۵۷۲۸۴/۷۶
بویلر و رادیاتور	۵۸۰۹۵/۳۱

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۸– مصرف انرژی در سیستم‌های گرمایش مختلف

۳-۵- برآورد و مقایسه هزینه

در این بخش اجزا مختلف انواع سیستم‌های تهویه مطبوع با توجه به نیاز ساختمان و با استفاده از اطلاعات به دست آمده از کاتالوگ‌ها انتخاب می‌شود. در مرحله بعد به منظور برآورد و مقایسه هزینه‌ها قیمت‌های سیستم‌های مختلف یک برند، از شرکت سازنده یا نمایندگی استعلام گرفته می‌شود [۲۴و۲۵]. سعی شده است تجهیزات سیستم‌های مختلف تا حد امکان از یک برند و یا از برندهای با کیفیت مشابه انتخاب شوند، تا هزینه‌های اولیه سیستم‌ها قابل مقایسه باشد. هم‌چنین هزینه انرژی مصرفی در یک فصل سرمایش، با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی مدل در نرم‌افزار و تعرفه انرژی محاسبه می‌شود. تعرفه برق و گاز مصوب سال (۱۳۹۵) در شهر تهران در جداول (۵) و (۷) آورده شده است. تصاعدی بودن هزینه‌های مصرف بایستی در محاسبات لحاظ شود. برای بررسی میزان مصرف انرژی و بازگشت هزینه سیستم‌های مختلف، مدت بهره‌برداری ده ساله در نظر گرفته می‌شود. این مدت زمان با توجه به عمر مفید تجهیزات و خدمات شرکت‌های ارائه دهنده انتخاب شده است. محاسبات مصرف انرژی برای مدت ده سال، با در نظر گرفتن میانگین ۱۰٪ افزایش تعرفه‌های انرژی برای هر سال انجام گرفته است [۲۶و۲۷]. به این ترتیب می‌توان به بررسی و مقایسه سیستم‌های مختلف برای یک ساختمان بر اساس تخمین هزینه‌های کلی مصرف انرژی پرداخت. نتایج مربوط به مقایسه انواع سیستم‌های گرمایش در جدول (۶) و نتایج مربوط به مقایسه انواع سیستم‌های سرمایش در جدول (۸) نمایش داده شده است.

جدول۵– تعرفه گاز خانگی در تهران

متر مکعب	قیمت (ریال)	متر مکعب	قیمت (ریال)
تا ۲۰۰	۴۱۴	۷۰۱-۸۰۰	۲۶۲۲
۲۰۱-۳۰۰	۶۹۰	۸۰۱-۹۰۰	۳۰۳۶
۳۰۱-۴۰۰	۹۶۶	۹۰۱-۱۰۰۰	۳۴۵۰
۴۰۱-۵۰۰	۱۲۴۲	۱۰۰۱-۱۱۰۰	۳۸۶۴
۵۰۱-۶۰۰	۱۵۱۸	۱۱۰۱-۱۲۰۰	۴۴۱۶
۶۰۱-۷۰۰	۲۲۰۸	مازاد بر ۱۲۰۰	۴۸۳۰

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۶- هزینه سیستم‌های گرمایش در مدت ده سال

	هزینه تامین، نصب و نگهداری (میلیون ریال)	هزینه انرژی مصرفی (میلیون ریال)	هزینه کل (میلیون ریال)
بویلر و فن کویل	۲۷۷۵/۴	۱۵۶۰	۴۳۳۵/۴
بویلر و رادیاتور	۶۷۸/۵	۱۸۴۰	۲۵۱۸/۵
بویلر و گرمایش از کف	۷۹۱/۵	۱۸۰۰	۲۵۹۱/۵

جدول۷- تعرفه برق خانگی در تهران

متوسط انرژی مصرفی ماهانه (کیلووات ساعت در ماه)	قیمت هر کیلو وات ساعت (ریال)
۰ تا ۱۰۰	۴۵۰
مازاد بر ۱۰۰ تا ۲۰۰	۵۲۵
مازاد بر ۲۰۰ تا ۳۰۰	۱۱۲۵
مازاد بر ۳۰۰ تا ۴۰۰	۲۰۲۵
مازاد بر ۴۰۰ تا ۵۰۰	۲۳۲۵
مازاد بر ۵۰۰ تا ۶۰۰	۲۹۲۶
مازاد بر ۶۰۰	۳۲۲۶

جدول۸- هزینه سیستم‌های سرمایش در مدت ده سال

	هزینه تامین، نصب و نگهداری (میلیون ریال)	هزینه انرژی مصرفی (میلیون ریال)	هزینه کل (میلیون ریال)
چیلر آب‌خنک و فن‌کویل	۵۲۷۶/۴	۱۰۵۰	۶۳۲۶/۴
چیلر هواخنک و فن‌کویل	۶۳۱۰/۴	۱۸۹۰	۸۲۰۰/۴
چیلر آب‌خنک و هواساز حجم متغیر	۴۵۳۰	۲۰۹۰	۶۶۲۰
چیلر هواخنک و هواساز حجم متغیر	۵۵۶۴	۲۴۳۰	۷۹۹۴
چیلر هواخنک و هواساز حجم ثابت	۵۳۶۹	۲۷۱۰	۸۰۷۹
VRF	۵۱۹۰	۲۰۱۰	۷۲۰۰

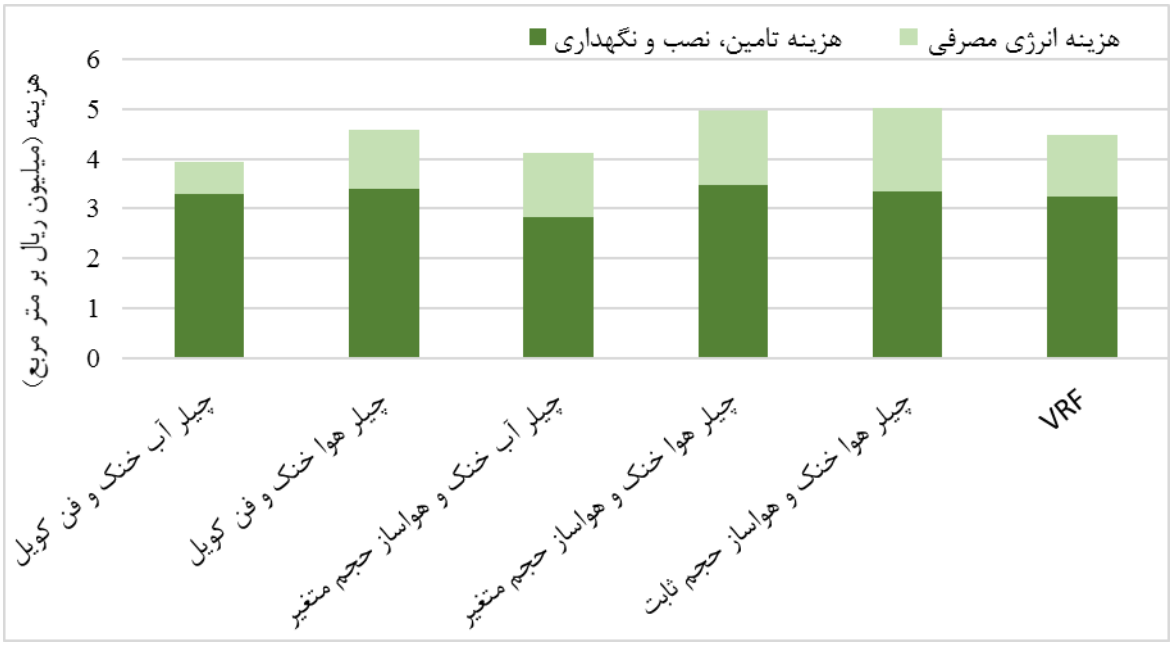
۴- تحلیل نتایج

۴-۱- سیستم‌های سرمایش

سیستم‌های تهویه مطبوع از نظر بازدهی انرژی، هزینه اولیه و هزینه‌های جاری می‌توانند مورد بررسی و مقایسه قرار بگیرند. هدف از این بررسی انتخاب سیستم بهینه برای هر ساختمان است، تا به این ترتیب در مصرف انرژی و هزینه‌ها صرفه‌جویی ایجاد شود. برای مقایسه سیستم‌های سرمایش از جداول مربوط و نمودارهای شکل (۹) استفاده می‌شود. در این نمودارها میزان هزینه‌ها بر واحد مترمربع ساختمان نشان داده شده است، تا امکان مقایسه و تخمین هزینه برای ساختمان‌های مشابه فراهم باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۹- هزینه سیستم‌های سرمایش بر حسب میلیون ریال بر متر مربع در مدت ده سال

با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده و نتایج شبیه‌سازی، در مورد مقایسه بین سیستم چیلر آب خنک و سیستم چیلر هوا خنک می‌توان گفت هزینه اولیه نصب چیلرهای آب‌خنک، به دلیل وجود برج خنک‌کن و نیاز به لوله‌کشی، از هزینه راه‌اندازی اولیه نصب چیلرهای هواخنک، ۱۰۰ میلیون ریال بیشتر است، که این اختلاف هزینه اولیه در طول مصرف به دلیل بازدهی بالاتر این چیلرها جبران می‌شود. مصرف برق سیستم چیلر آب خنک در طول یک سال ۸۴ میلیون ریال کمتر از سیستم چیلر هواخنک خواهد بود. به این ترتیب هزینه اولیه اضافی در طول دو سال جبران می‌شود.

این در حالیست که با استفاده از این سیستم در طول ۱۰ سال، حدود ۵۰۰ مگاوات ساعت در مصرف انرژی برق صرفه جویی خواهد شد. مصرف انرژی مربوط به سیستم سرمایش، در حالت استفاده از سیستم چیلر هواخنک به عنوان سیستم سرمایشی تهویه مطبوع ساختمان، در حدود دو برابر مصرف انرژی در حالت استفاده از سیستم چیلر آب‌خنک است. هم‌چنین در حالت استفاده از سیستم چیلر آب‌خنک، به دلیل گردش آب تا برج خنک‌کن در سیکل سرمایش چیلر، مصرف انرژی مربوط به پمپ‌ها بسیار بیشتر از سیستم چیلر هواخنک است. بنابر نتایج ارائه شده، استفاده از چیلر آب خنک به جای چیلر هوا خنک در سیستم سرمایش ساختمان‌های مشابه در شهر تهران، توجیه فنی و اقتصادی دارد.

علاوه بر مطالب بیان شده، چیلرهای آب خنک معمولا عمر بالاتری نسبت به چیلرهای هوا خنک دارند. عمر مفید چیلرهای آب خنک ۲۰ تا ۲۵ سال و چیلرهای هوا خنک ۱۰ تا ۱۵ سال تخمین زده می‌شود، که دلیل این موضوع نصب چیلرهای هوا خنک در محیط های باز می‌باشد [۲۸]. بزرگ‌ترین مزیت استفاده از سیستم چیلر هواخنک در مقایسه با سیستم چیلر آب خنک ، حذف برج خنک کننده و در نتیجه نیازهایی مثل آب جبرانی، تصفیه آب، تعمیرات و نگهداری می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

در مورد انتخاب تحویل دهنده مقایسه بین فن کویل، هواساز حجم ثابت و هواساز حجم متغیر صورت گرفته است. بنابر نتایج ارائه شده، استفاده از هواساز حجم متغیر و حجم ثابت به دلیل استفاده از داکت به جای فن کویل، هزینه اولیه را به ترتیب به مقدار ۷۴۶/۴ و ۹۴۱/۴ میلیون ریال نسبت حالت استفاده از فن کویل کاهش می‌دهد. استفاده از این سیستم‌ها همراه با چیلر هوا خنک، در طول ۱۰ سال مصرف انرژی برق را به ترتیب ۱۶۸ و ۲۵۴ مگاوات ساعت نسبت به استفاده از سیستم فن‌کویل و چیلر هوا خنک افزایش می‌دهد و هزینه کلی برای هواساز حجم متغیر و حجم ثابت به ترتیب ۲۰۶ و ۱۲۱ میلیون ریال نسبت به استفاده از فن کویل افزایش دارد. از نظر صرفه اقتصادی کلی و تمرکز بر میزان مصرف برق و با توجه به تاثیر کاهش مصرف انرژی بر کاهش میزان مصرف سوخت و آلودگی، استفاده از فن کویل برای این ساختمان توجیه پذیر خواهد بود. با توجه به جداول مربوطه میزان مصرف انرژی در سیستم VRF نسبت به سیستم تهویه مطبوع ساختمان یعنی چیلر و فن‌کویل، به مقدار قابل توجهی بیشتر است.

برای مدت ۱۰ سال این سیستم در مقایسه با چیلر آب خنک و فن کویل ۳۰۰ مگاوات ساعت مصرف بیشتر دارد. هزینه کلی این سیستم برای مدت ۱۰ سال ۶۱۵ میلیون ریال بیشتر از سیستم چیلر آب خنک و فن کویل خواهد بود. هم‌چنین به دلیل جدید بودن این تکنولوژی و عدم وجود تجربه کافی برای تعمیرات، پراکندگی کندانسورهای موجود و گران بودن قطعات یدکی، هزینه‌های نگهداری این سیستم‌ها بالا می‌باشد. این در حالیست که طول عمر سیستم‌های VRF در حدود ۱۵سال و طول عمر سیستم‌های چیلر آب خنک و فن‌کویل در حدود ۲۵ سال می‌باشد. با توجه به تمام موارد ذکر شده، استفاده از سیستم چیلر و فن‌کویل به نسبت سیستم VRF برای این ساختمان اقتصادی‌تر خواهد بود.

۴-۲- سیستم‌های گرمایش

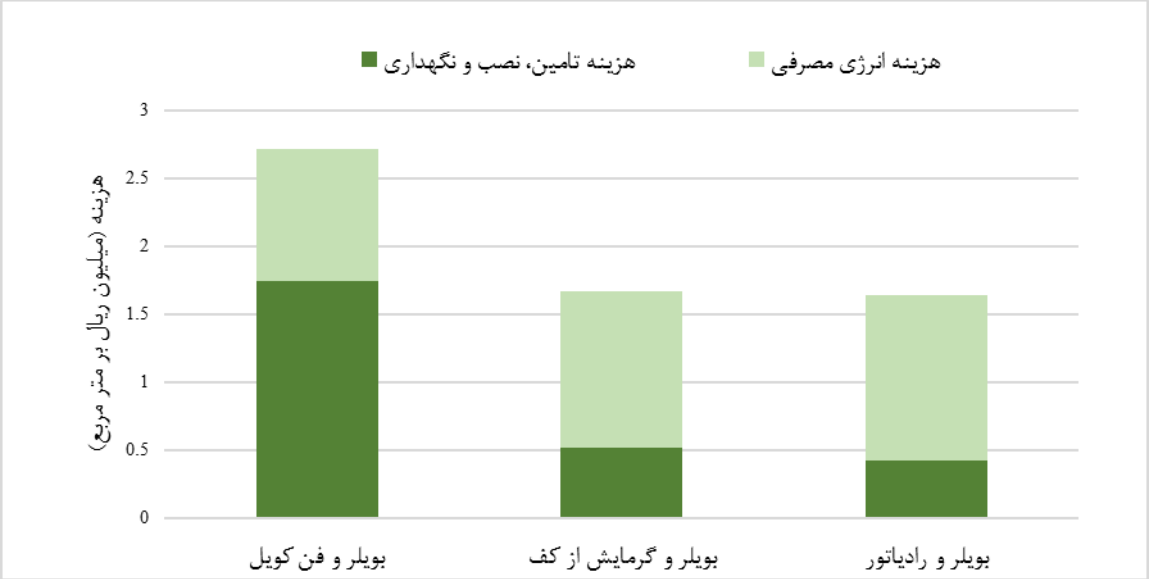
برای مقایسه از جداول مربوط و شکل (۱۰) استفاده می‌شود. در این مقاله دو نوع سیستم گرمایش متفاوت با سیستم اصلی ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم گرمایشی بویلر و گرمایش از کف، مصرف انرژی را نسبت به سیستم اصلی ساختمان (بویلر و فن‌کویل) افزایش داده است.

در سیستم گرمایش از کف زمان پاسخ‌گویی سیستم بسیار کند می‌باشد، یعنی زمان زیادی لازم است تا گرما از مصالح کف ساختمان عبور کرده و به کف برسد. هم‌چنین در صورت اضافه بار زمان زیادی برای کاهش دما مورد نیاز است. تعمیر و نگهداری این سیستم‌ها با مشکلات زیادی همراه است. علاوه بر این برای فصل سرمایش بایستی از یک توزیع‌کننده مانند فن کویل یا هواساز استفاده شود. سیستم گرمایشی بویلر و رادیاتور، مصرف انرژی را به نسبت سیستم گرمایش ساختمان، یعنی بویلر و فن‌کویل افزایش داده است.

این مقدار افزایش در مقایسه با سیستم گرمایش از کف بیشتر بوده است. هزینه اولیه برای این سیستم تا حد زیادی از دو سیستم دیگر پایین‌تر است و می‌تواند به عنوان سیستم گرمایشی فعلی ساختمان مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود سیستم فن کویل به دلیل مشترک بون دستگاه توزیع کننده در سرمایش و گرمایش از لحاظ صرفه‌جویی در فضای ساختمان و اصول زیباسازی نسبت به رادیاتور دارای مزیت می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰– هزینه سیستم‌های گرمایش بر حسب میلیون ریال بر مترمربع در مدت ده سال

با توجه به هدف مهم کاهش مصرف انرژی استفاده از سیستم بویلر و فن کویل به دلیل صرفه‌جویی ۶۰۰۰۰ و ۵۰۰۰ مترمکعب معادل با ۵۲۰ و ۶۳۰ مگا وات ساعت نسبت به گرمایش از کف و رادیاتور در مصرف گاز در طول ۱۰ سال به عنوان سیستم گرمایشی ساختمان توصیه می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک الگوریتم جدید به منظور انتخاب سیستم تهویه مطبوع بهینه برای ساختمان‌های در حال ساخت و یا اصلاح و بهبود عملکرد ساختمان‌های ساخته شده ارائه شده است. یک ساختمان مسکونی در شهر تهران به عنوان مورد مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته است تا عملکرد روش پیشنهادی ارزیابی و اعتبار سنجی شود. با شبیه‌سازی ساختمان و اجرای الگوریتم طراحی شده دیده می‌شود که سیستم چیلر و فن‌کویل برای ساختمان مورد مطالعه در این پژوهش، انتخابی مناسب با در نظر گرفتن مصرف انرژی و هزینه‌ها می‌باشد. همان گونه که در این پژوهش سیستم تهویه مطبوع بهینه بر اساس امکان‌سنجی و کمترین میزان مصرف انرژی برای یک ساختمان مسکونی انتخاب شد، می‌توان از این روش برای تعیین سیستم تهویه مطبوع بهینه ساختمان‌های در حال ساخت استفاده کرد.

در کشور ما سوخت‌های فسیلی اصلی‌ترین منبع تامین انرژی در بخش‌های مختلف است. از سوی دیگر ساختمان‌های تجاری و مسکونی از عمده‌ترین مصرف کنندگان انرژی هستند. به دلیل کاهش منابع و افزایش آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی، کاهش میزان مصرف انرژی بایستی در اولویت طراحی ساختمان‌ها و انتخاب سیستم تهویه مطبوع آن‌ها قرار بگیرد.

مراجع

[1] U.S. DOE, Buildings Energy Data Book, http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ (2014).

www.SID.ir

Archive of SID

[۲] ترازنامه انرژی، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی (۱۳۹۲).

[3] Europe's Buildings under the Microscope, Buildings Performance Institute Europe, (2011).

[۴] فخری، ز.، تاسا، ا.، امیدی آوج، مریم.، "بررسی مصالح هوشمند در معماری نوین و تاثیرات آن در افزایش کارایی ساختمان"، اولین کنفرانس تخصصی معماری و شهرسازی ایران، تهران (۱۳۹۴).

[5] Lobaccaro, G., Fiorito, F., Masera, G., and Poli, T., "District Geometry Simulation: a Study for the Optimization of Solar Facaded in Urban Canopy Layers", Energy Procedia, Vol. 30, pp. 1163-1172, (2012).

[۶] نسیم سبحان، ل.،" بررسی تاثیر مصالح مختلف بر کاهش مصرف انرژی در مجتمع‌های مسکونی با استفاده از نرم‌افزار DesignBuilder ".

[7] Virta, M., Itkonen, H., Mustakallio1, P., Kosonen1, R., and Oy, H., "Energy Efficient HVAC-System and Building Design".

[8] Kong, D.S., Jang, Y.s., and Huh, J.H., "Method and Case Study of Multiobjective Optimization-based Energy System Design to Minimize the Primary Energy use and Initial Investment Cost", MDPI Journal, Energies, Vol. 8, pp. 6114-6134, (2015).

[9] Nassif, N., "Modeling and Optimization of HVAC Systems using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm", Building Simulation, Vol. 7, Issue. 3, pp. 237-245, (2016).

[10] Martincevic, A., Vasak, M., and Lesic, V., "Model Predictive Control for Energy-saving and Comfortable Temperature Control in Buildings", 24th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), Athens, Greece, 21-24 June (2016).

[11] Raissi Dehkordi, V., and Candanedo, J.A., "A Multi-level MPC Simulation Study in a School Building", International High Performance Buildings Conference, Indiana, USA, (2016).

[12] Lauro, F., Moretti, F., Capozzoli, A., and Panzieri, S., "Model Predictive Control for Building Active Demand Response Systems", Energy Procedia, Vol. 83, pp. 494-503, (2015).

[۱۳] خدایاری، ع.ر.، "طراحی کنترلر با منطق فازی برای بهبود عملکرد سیستم هایHVAC"، کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی (۱۳۸۵).

[14] Hazyuk, I., Ghiaus a, C., and Penhouet, D., "Optimal Temperature Control of Intermittently Heated Buildings using Model Predictive Control: Part I – Building modeling", Building and Environment, Vol. 51, pp. 379-387, (2011).

www.SID.ir

Archive of SID

[۱۵] نظری، م.، غفاری، ع.، "طراحی مدل برخط سیستم تهویه مطبوع اتاق تمیز به منظور ارزیابی روش‌های کنترلی با روش جعبه خاکستری"، مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر ۱۳۹۵، دوره ۱۶، شماره ۱۳، ویژه نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۱۷۱-۱۷۴.

[16] Lam, K.P., Zhao, J., Ydstie, B.E., Wirick, J., and Qi, M., "An Energy Plus whole Building Energy Model Calibration Method for Office Buildings using Occupant Behavior Data Mining and Empirical Data", ASHRAE/IBPSA-USA Building Simulation Conference, Atlanta, GA, pp. 160-167, (2014).

[17] Esabegloo, A., Haghshenas, M., and Borzoui, M., "Comparing the Results of Thermal Simulation of Rasoulian House in Yazd by Design Builder Software, with Experimental Data", International Journal of Architecture & Urban Planning, Vol. 26, pp. 121-130 (2016).

[18] Crawley, D.B., Hand, J.W., Kummert, M., and Griffith, B.T., "Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs", Building and Environment, Vol. 43, No. 4, pp. 661-673, (2008).

[19] EnergyPlus, EnergyPlus Engineering Reference: the Reference to EnergyPlus Calculations, Lawrence Berkeley National Laboratory, (2009).

[20] McDowall, R., "*Fundamentals of HVAC Systems*", Elsevier Science & Technology, (2007).

[۲۱] وکیل الرعایا، و.، "طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع با نرم‌افزار Carrier V4.5 "،چاپ سوم، انتشارات صانعی (۱۳۹۳).

[۲۲] خاکپور، ب.، "سیستم‌های تاسیسات تهویه مطبوع"، چاپ اول، انتشارات یزدا (۱۳۹۰).

[۲۳] ایزدخواه، م.، خانی مقدم، ه.، یزدانی، ک.، "گرمایش از کف"، چاپ دوم، انتشارات نوآور (۱۳۹۳).

[۲۴] شرکت تهویه نیا، نماینده انحصاری سیستم های تهویه مطبوع سرمایشی و گرمایشی برندهای اجنرال، گری، هیتاچی ویزمن و سایر برندها در ایران (http://www.nia-ir.com/).

[۲۵] شرکت سوپرپایپ (http://www.superpipe.ir/).

[۲۶] وزارت نیرو، شرکت‌های توزیع نیروی برق، شرکت توزیع نیروی برق استان تهران (http://www.tvedc.ir/).

[۲۷] شرکت ملی گاز ایران، شرکت گاز استان تهران (http://www.tehrangasco.ir/).

[28] Barot, J.M., "Comparative Analysis of HVAC System Based on Life Cycle Cost Analysis", Journal of Engineering Research and Applications Vol. 4, pp. 171-174, (2014).

www.SID.ir

Archive of SID

Abstract

HVAC systems are the biggest energy consumers in buildings. Hence, reducing energy consumption in this sector, while maintaining thermal comfort can be one of the vital policies in order to use saved energy in industrial section. In this paper, we proposed an HVAC system optimization algorithm to analyze and compares the effect of using different HVAC systems on energy consumption reduction. The purpose of this algorithm is to choose the best HVAC system for a building with respect to energy consumption in the pre-construction stage or to improve and optimize its performance in the constructed buildings.
The performance of the proposed algorithm is based on choosing the right HVAC system with respect to the reduction of the energy consumption in the building and initial and current costs. A five story residential building in Tehran has been considered as a case study to analyze proposed algorithm performance. The comparison between the model and building's real energy consumption shows less than one percent error which is acceptable.

www.SID.ir