معرفی و کاربرد نرم افزار بهینه ساز مصرف انرژی در ساختمانها

مهرداد سرابی[۱]- عبدالسلام ابراهیم پور[۲]×
۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، گروه مکانیک، تبریز، ایران
Mehrdad_sa17@yahoo.com
۲- استادیار، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، گروه مکانیک، تبریز، ایران
Salam_ebr@yahoo.com

Archive of SID

چکیده

با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی می‌توان میزان مصرف انرژی را برآورد نمود. هیچکدام از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی امکان بهینه‌سازی خودکار را ندارند و کاربر باید چندین حالت را مدل‌سازی کرده و سپس حالت بهینه را با ارزیابی نتایج بدست آورد. در این تحقیق، یک نرم افزار برای بهینه سازی خودکار مصرف انرژی طراحی و ارائه شده است. این نرم‌افزار برای بهینه سازی به نرم افزار انرژی پلاس متصل شده، انرژی پلاس محاسبات را ساعتی انجام داده و سپس حالات بهینه توسط نرم‌افزار ارائه می‌شود. نرم افزار تهییه شده با عایق گذاری در بین لایه های جدار پشت بام و دیوار(با عایق های پیشفرض تعریف شده در نرم افزار) و بررسی پنجره ها به صورت تک، دو و سه جداره(با شیشه های از جنس مختلف) و زمان کارکرد سیستم تهویه (بر حسب زمان حضور افراد) به صورت خودکار، اقدام به ارایه درصد بهبود برای تمامی حالات نموده و بهترین نتایج هر قسمت را ارائه می‌دهد. بدین ترتیب می توان شرایط مختلف را در ساختمان به سادگی مقایسه کرده و حالت بهینه را بدست آورد. در حقیقت این نرم‌افزار به صورت خودکار پارامترهای مناسب جهت کاهش مصرف انرژی را بررسی نموده و نتیجه را به صورت درصدی ارائه می‌دهد. نتایج بدست آمده از نرم افزار بهینه‌ساز تهیه شده با نتایج سه تحقیق انجام شده پیشین مقایسه شده و دارای همگرایی می باشد.

واژه های کلیدی: داده‌های نمونهٔ هوایی، شبیه‌سازی، مصرف انرژی، ساختمان، بهینه سازی

www.SID.ir

مقدمه

به منظور برقراری شرایط آسایش در طول سال احتیاج به صرف انرژی است که این انرژی نباید زیاد بوده و باید مصرف آن کاهش پیدا کند. برای کاهش مصرف انرژی باید راهکارهای کاهش مصرف انرژی (عایق کاری بهتر، استفاده از پنجره‌های پیشرفته، کنترل سیستم تهویه و ...) و بهره برداری هر چه بیشتر از محیط خارج تا حد امکان (تابش انرژی خورشیدی، سایبان و غیره) مورد بررسی قرار گیرند. از عوامل موثر در کاهش مصرف انرژی ساختمان می توان به میزان عایق کاری دیوارها و سقف، جهت قرار گرفتن ساختمان، نوع پنجره، زمان کارکرد سیستم تهویه و اقلیم ساختمان مورد نظر اشاره کرد[۱].

برآورد مصرف انرژی برای بررسی پارامترهای تاثیرگذار و همچنین پیداکردن راههایی برای کاهش آن ضرروری می‌باشد. امروزه برای محاسبه میزان مصرف انرژی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند انرژی پلاس، ترنسیس(Transys) و دی او ای(DOE) و غیره استفاده می‌شود. از برنامه های شبیه سازی مصرف انرژی قبل از ساختن ساختمان و یا ایجاد تغییرات در آن می‌توان استفاده نمود و مقدار مصرف انرژی در سال را برآورد نمود. همچنین می‌توان دید که تغییرات انجام شده در ساختمان چه تاثیری بر مصرف انرژی ساختمان داشته است. با استفاده از این برنامه ها میتوان طراحی های مختلف و همچنین مواد مختلفی را برای ساختار ساختمان قبل از ساخت مورد بررسی قرار داد تا بهترین حالت از لحاظ ذخیره و کاهش مصرف انرژی و قیمت تمام شده ساختمان بدست آید[۲].

در مورد بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمانها و همچنین شبیه‌سازی نرم‌افزاری مصرف انرژی تحقیقات زیادی انجام شده است که با توجه به پارامترهای مختلف تاثیرگذار در مصرف انرژی تنوع آنها زیاد می‌باشد. یکی از اولین شبیه‌سازیهای نرم‌افزاری انجام شده بر روی ساختمانهای مسکونی با استفاده از نرم افزار میکرو-دی او ای توسط عدنان شریه (Adnan Shariah) و همکارانش در سال ۱۹۹۷ انجام شده که نتیجه بدست آمده دیوارهایی با ضخامت ۵ سانتیمتر عایق حرارتی بار سرمایی را به اندازه زیادی کاهش می‌دهد[۳]. همچنین میلارد باجیک(Milorad Bojic) و همکارانش در مقاله ای تحقیقی در سال ۲۰۱۲ اقدام به بهینه سازی آسایش حرارتی در ساختمان با شبیه‌سازی توسط نرم افزار انرژی پلاس نمودند و توسط این شبیه‌سازی ضخامت لایه های جدارهای ساختمان که بهترین آسایش حرارتی را دارند، بدست آمده است[۴]. اسلوبودان دجوردجویک(Slobodan Djordjevic) و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در یک پژوهش ابتدا اندازه مناسب سایبان را توسط نرم‌افزار بهینه ساز جن-اپت(GenOpt) پیدا نموده و سپس با شبیه سازی در نرم افزار انرژی پلاس میزان کاهش مصرف انرژی را در صورت استفاده از سایبان مناسب مورد بررسی قرار دادند[۵]. ابراهیم پور و همکارانش، در مقاله ای تحقیقی در سال ۱۳۸۳ بهینه سازی عایق‌کاری در ساختمان های با استفاده مداوم در شرایط اقلیمی ایران از لحاظ بارهای حرارتی سالیانه را با شبیه‌سازی در نرم‌افزار اوپک(Opaque) مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با اجرای عایق کاری در دیوارها ۵۰ تا۷۰ درصد انرژی صرفه جویی می‌شود[۶]. سومساک(Somsak Chaiyapinunta) و همکارانش در سال ۲۰۰۵ بررسی آسایش حرارتی و انتقال حرارت در پنجره‌ها (ساده و با فیلم) را با هم مقایسه نمودند. پنجره‌های مختلفی مانند شفاف، رنگی، انعکاسی، دو لایه و کم گسیل بررسی شده‌اند. فیلم از جنس‌های مختلف با خصوصیات اپتیکی متفاوت به انواع پنجره چسپانده شده و آنالیز برای شهر بانکوک و میانگین ۱۲ ساله شرایط خارجی بوده است[۷].

با توجه به تحقیقات بررسی شده دیده می‌شود که هر محقق برای کاهش مصرف انرژی پارامترهای مختلفی(جنس جدار، ضخامت عایق، محل عایق، جنس شیشه و نوع پنجره، سایبان و ...) را به صورت تک تک و یا پیوسته مورد بررسی قرار داده است و برای این بررسی نیز از نرم افزارهای مختلف شبیه‌سازی استفاده شده است. استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان ساده نبوده و احتیاج به تخصص کافی دارد. هیچکدام از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی امکان بهینه‌سازی خودکار را ندارند و کاربر باید چندین حالت را مدل‌سازی کرده و سپس حالت بهینه را با ارزیابی نتایج بدست آورد. در این تحقیق یک نرم افزار ساده و بهینه ساز ارائه شده است که با استفاده از نتایج این نرم افزار، می توان راههای کاهش مصرف انرژی در ساختمان و پارامترهای موثر در مصرف انرژی ساختمان از قبیل شرایط اقلیمی، جنس، محل و ضخامت عایق بکار رفته در

Archive of SID
www.SID.ir

دیوارها و بام ساختمان، نوع پنجره ها (تعداد لایه پنجره)، نوع شیشه های پنجره ها و زمان کارکرد سیستم تهویه را بطور همزمان و به سادگی بررسی کرده و بهترین حالت هر پارامتر را مشخص نمود. یک مهندس طراح با استفاده از این نرم‌افزار به سادگی می‌تواند قبل و یا بعد از ساخت ساختمان حالتها و پارامترهای مختلف را بررسی و مقایسه کند بدون آنکه نیازی به تخصص کافی در زمینه شبیه‌سازی و استفاده از برنامه‌های تخصصی شبیه‌سازی داشته باشد. این نرم‌افزار برای بهینه سازی و محاسبات به صورت اتوماتیک به نرم افزار انرژی پلاس متصل می‌گردد. انرژی پلاس محاسبات را ساعتی انجام داده و حالات بهینه توسط نرم‌افزار بهینه ساز ارائه می‌شود. نرم افزار تهییه شده با عایق گذاری در تک تک لایه های جدارهای پشت بام و دیوار(با عایق های پیشفرض تعریف شده در نرم افزار) و بررسی پنجره ها به صورت تک، دو و سه جداره(با شیشه های از جنس مختلف) و زمان کارکرد سیستم تهویه(بر حسب زمان حضور افراد) به صورت خودکار، اقدام به ارایه درصد بهبود برای تمامی حالات نموده و بهترین نتایج هر قسمت را با توضیحات مربوطه نمایش می دهد. بدین ترتیب می توان شرایط مختلف را در ساختمان به سادگی مقایسه کرده و حالت بهینه را بدست آورد. در حقیقت این نرم‌افزار، خود، ساختمان را بهینه کرده و پارامترهای مناسب جهت کاهش مصرف انرژی را بررسی نموده و نتیجه را به صورت درصدی ارائه می‌کند. نرم افزار بهینه ساز مصرف انرژی در ساختمان(Building Energy Optimizer Software: BOS) توسط برنامه نویسی در محیط ویژوال سی ++ تهیه شده است.

شرایط اقلیمی

شرایط اقلیمی بیرون ساختمان در طول سال یک قسمت مهم از داده‌های اصلی در برنامه‌های شبیه‌سازی مصرف انرژی می‌باشد و بهترین حالت این است که این داده‌ها به صورت ساعتی برای تمام سال تهییه شوند. برای شبیه‌سازی انرژی در ساختمان معمولا ۱۰ تا ۱۳ پارامتر اقلیمی (مانند دمای خشک، دمای مرطوب، فشار، سرعت و جهت باد، درصد رطوبت و ارتفاع از سطح دریا و غیره) مورد نیاز می‌باشد. این داده های اقلیمی نباید به صورت میانگین در سال یا فقط برای قسمتی از سال باشند. بلکه باید روزانه و در تمام ۸۷۶۰ ساعت سال مشخص باشند. نوع فایل داده های مورد استفاده در نرم‌افزارهای مختلف متفاوت می‌باشد. مثلاً برنامه انرژی پلاس داده‌های ورودی را به صورت فایل ای-پی-دابلیو((EPW(*.epw) می‌گیرد. برای استفاده از نرم افزار بهینه‌ساز تهیه شده احتیاج به تهیه داده‌های هوایی به فرمت ای-پی-دابلیو داریم که این داده ها را می‌توان از روش ساندیا و نرم افزار هایی همچون متونورم(Meteonorm) نیز تولید کرد[۸،۹ و ۱۰].

برنامه انرژی پلاس

برنامه بهینه‌ساز ارائه شده همچنان که گفته شده برای محاسبات مصرف انرژی به نرم‌افزار انرژی پلاس وصل شده و بهترین حالت را از لحاظ مصرف انرژی برآورد می‌کند. انرژی پلاس یک برنامه جدید برای شبیه‌سازی انرژی ساختمان می‌باشد که بر اساس ترکیبی از برنامه‌های بلاست(BLAST) و دی او ای می‌باشد. این برنامه آنالیز را در زمانهای کوتاهتر از یک ساعت انجام می‌دهد و بر اساس یک تعادل حرارتی از کل ناحیه شبیه‌سازی استوار است. این برنامه توسط سازمان انرژی آمریکا ارائه شده است و در مورد اعتبار نتایج آن تحقیقات زیادی انجام شده است. ضعف برنامه مورد اشاره در این است که از سیستم گرافیکی آسانی برای داده‌های ورودی استفاده نمی‌کند و احتیاج به برنامه‌هایی دارد که بتوان ساختمان را در آن طراحی نمود و یا نتایج را مورد بررسی قرار داد[۱۱]. نرم‌افزار بهینه‌ساز تهیه شده در این تحقیق تا حدی مشکل استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس را حل کرده است. البته مزیت اصلی نرم افزار بهینه‌ساز تهیه شده، بهینه‌سازی خودکار می‌باشد که انرژی پلاس این توانایی را ندارد.

تهیه نرم‌افزار بهینه ساز

همچنان که گفته شد، استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان ساده نبوده و احتیاج به تخصص کافی دارد. همچنین هیچکدام از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی امکان بهینه‌سازی خودکار را ندارند و کاربر باید چندین حالت را مدل‌سازی کرده و سپس حالت بهینه را با ارزیابی نتایج بدست آورد. برای رها شدن از مشکلات زیاد طراحی و اجرای بهینه سازی دستی و

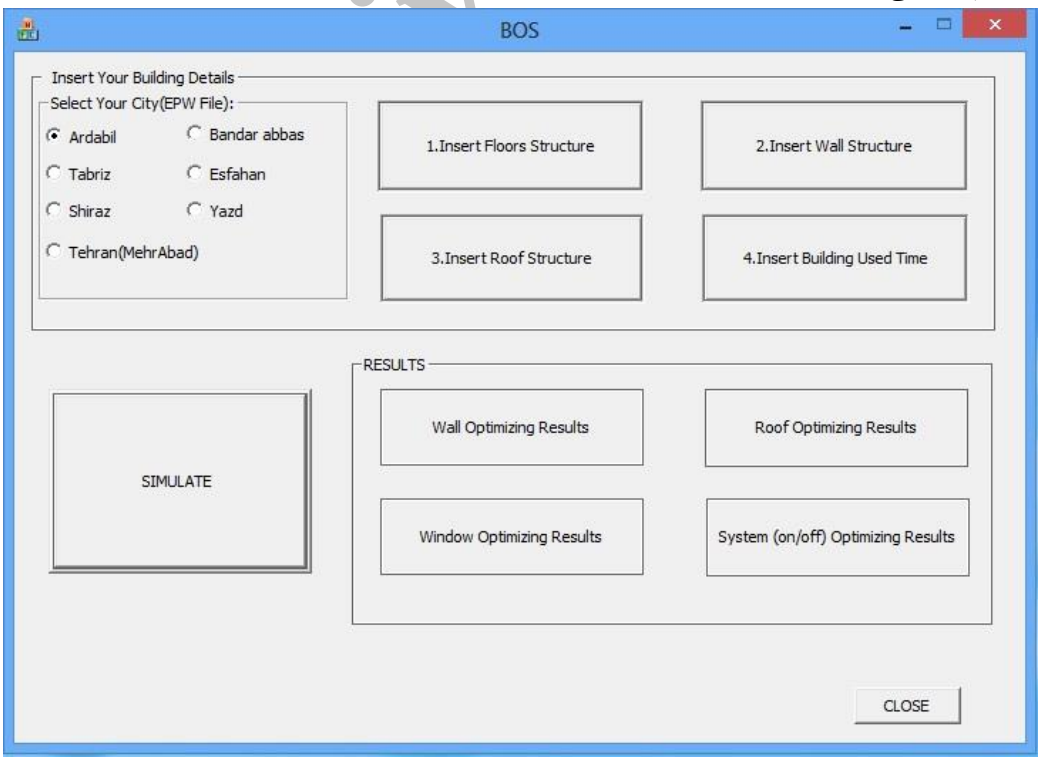
Archive of SID
www.SID.ir

به جهت سهولت، سرعت و دقت در عملیات بهینه سازی و ارایه نتایج همزمان برای حالت‌های مختلف، یک نرم‌افزار بهینه ساز تهییه شده است. این نرم‌افزار بهینه ساز تعدادی داده اولیه از کاربر گرفته و با مدل‌سازی ساختمان به نرم‌افزار انرژی پلاس وصل شده و مصرف انرژی را برآورد می‌کند. نرم افزار تهیه شده با عایق گذاری در تک تک لایه های جدارهای پشت بام و دیوار(با عایق های پیشفرض تعریف شده در نرم افزار) و بررسی پنجره ها به صورت تک، دو و سه جداره (با شیشه های از جنس مختلف) و زمان کارکرد سیستم تهویه (بر حسب زمان حضور افراد) به صورت خودکار، اقدام به ارایه درصد بهبود برای تمامی حالات نموده و بهترین نتایج هر قسمت را با توضیحات مربوطه نمایش می دهد.

نحوه استفاده از نرم افزار بهینه ساز

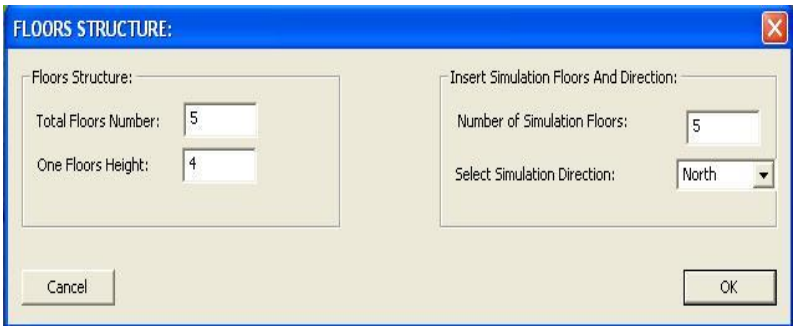
فایل آی دی اف(IDF) فایل اطلاعات و داده های شبیه سازی نرم افزار انرژی پلاس می باشد. نرم افزار بهینه ساز تهییه شده در این تحقیق به صورت خودکار اقدام به ساخت فایل‌های آی دی اف و اجرای همزمان آنها برای بهینه‌سازی می نماید. این نرم افزار پس از ساخت فایل‌های آی دی اف و اجرای آنها در نرم‌افزار انرژی‌پلاس اقدام به ارائه نتایج (مقدار مصرف سالانه انرژی ساختمان) برای هر حالت می‌نماید. پس از تولید نتایج، هر یک از حالت های بهینه سازی شده را با حالت اولیه مقایسه نموده و اقدام به نمایش بهترین حالت و درصد بهبود هر یک از حالت های مختلف می‌نماید. نمای اصلی این نرم‌افزار به شکل زیر است. استفاده از این نرم‌افزار ساده است و کافی است کاربر اطلاعات ساده‌ای از ساختمان را وارد کند.

با توجه به شکل ۱ در ابتدا داده‌های اولیه ساختمان موردنظر از کاربر گرفته می‌شود. ابتدا اقلیم مورد نظر برای شهرهای ایران که فایل داده های هوایی برای آنها تهیه شده انتخاب می شود. سپس در قسمت اول با فشردن دکمه (1.Insert Floors Structure) یک پنجره جدید مطابق شکل ۲ مشاهده می شود که تعداد طبقات ساختمان مورد نظر، ارتفاع هر طبقه و طبقه موردنظر برای اجرای بهینه سازی را از کاربر می‌گیرد.(نرم‌افزار بهینه سازی را در آن طبقه انجام می‌دهد) با گرفتن این اطلاعات نرم‌افزار یک ساختمان به اندازه طبقات موردنظر تولید نموده و به عنوان هندسه ساختمان به نرم افزار انرژی پلاس می‌فرستد.



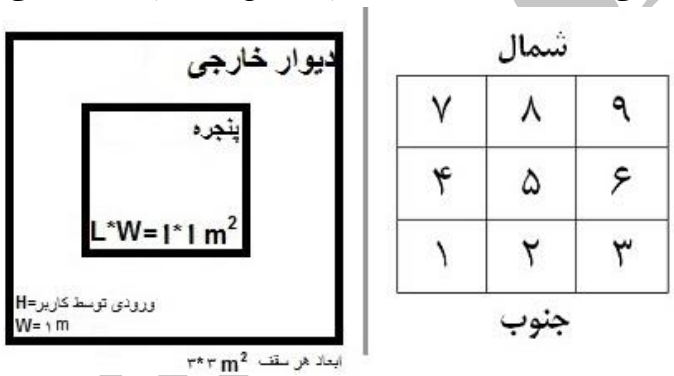
شکل ۱- نمای اصلی نرم افزار بهینه ساز

www.SID.ir



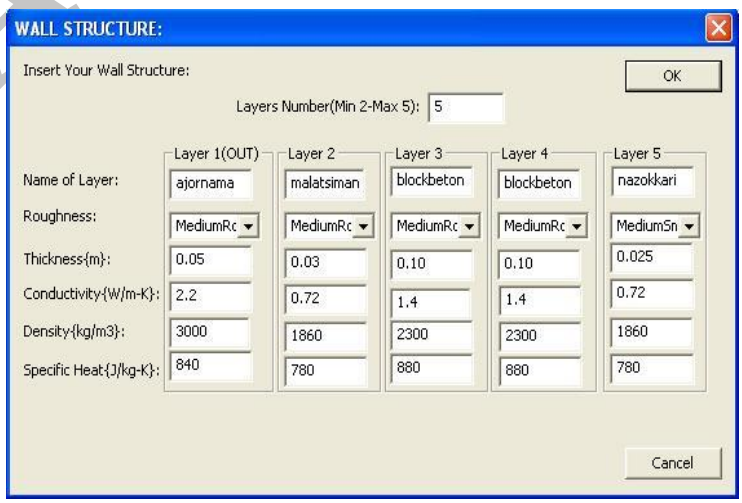
شکل ۲- ورود اطلاعات اولیه(تعداد طبقات ساختمان مورد نظر، ارتفاع هر طبقه و طبقه موردنظر برای اجرای بهینه سازی)

در نرم افزار بهینه‌ساز پلان اصلی به صورت ۹ اتاق به صورت شکل ۳ تولید می شود. در این نرم افزار هندسه اصلی ثابت بوده، تمامی دیوارهای خارجی زون های ۲،۴،۶ و ۸ دارای پنجره تک جداره با شیشه ساده به ضخامت ۴میلیمتر در مرکز دیوار به صورت پیشفرض می باشند و تنها ارتفاع و تعداد طبقه از کاربر دریافت می گردد و سپس نتایج به صورت درصدی برای طبقه و جهت موردنظر بهینه‌سازی ارائه می‌شود. در قسمت بهینه سازی پنجره نوع و جدار پنجره تغییر می یابد.



شکل ۳-حالت قرارگیری اتاق ها در نرم افزار بهینه‌ساز

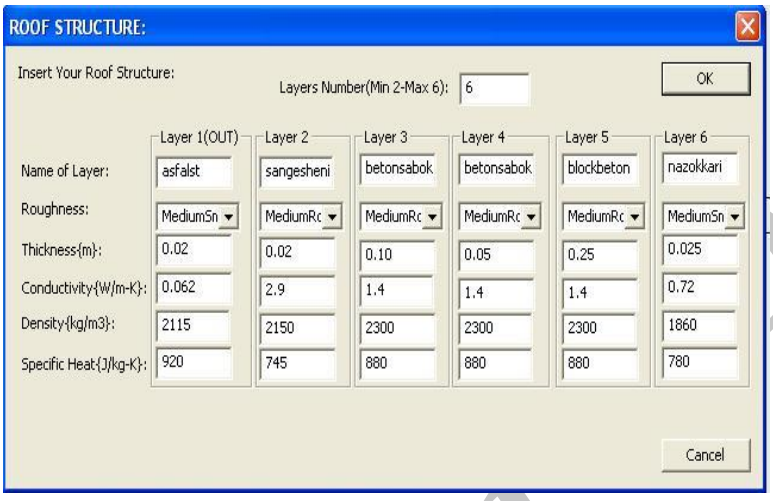
در قسمت دوم با فشردن دکمه (2.Insert Wall Structure) یک پنجره جدید مطابق شکل ۴ مشاهده می شود که تعداد لایه های دیوار خارجی، نام و مشخصات هر لایه مانند زبری سطح، ضخامت، ضریب هدایت حرارتی، چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه وارد می گردد. (مشخصات دیوارهای داخلی به دلیل کنترل شده بودن تمام اتاقها لازم نیست چون انتقال حرارت آنها صفر در نظر گرفته شده است.)



www.SID.ir

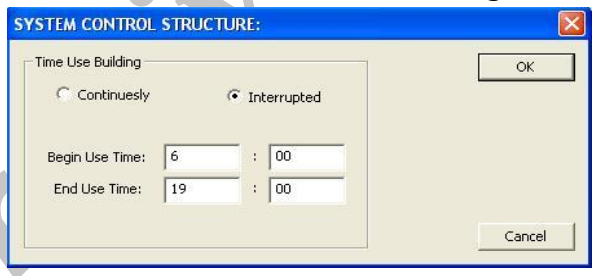
شکل ۴- وارد کردن اطلاعات دیوار خارجی

در قسمت سوم با فشردن دکمه (3.Insert Roof Structure) یک پنجره جدید مطابق شکل ۵ مشاهده می شود که همانند دیوار مشخصات سقف خارجی(پشت بام) وارد می‌گردد. (مشخصات سقف داخلی(همچنین کف) به دلیل کنترل شده بودن تمام اتاقها لازم نیست چون انتقال حرارت آنها صفر در نظر گرفته شده است)



شکل ۵- وارد کردن اطلاعات سقف خارجی(پشت بام)

در قسمت چهارم با فشردن دکمه (4.Insert Building Used Time) یک پنجره جدید مطابق شکل ۶ مشاهده می‌شود که ابتدا نوع کاربری ساختمان از نظر زمان استفاده به دو صورت ۱. دایمی ۲. منقطع، تعیین می گردد و در صورت منقطع بودن زمان استفاده از ساختمان، ساعات شروع و خاتمه استفاده از ساختمان وارد می گردد تا بر اساس این ساعات استفاده، بهترین زمان کارکرد سیستم تهویه استخراج گردد.



شکل ۶- وارد کردن اطلاعات زمان استفاده از ساختمان

شبیه سازی در نرم‌افزار بهینه‌ساز

پس از انتخاب اقلیم مورد نظر و وارد کردن اطلاعات اولیه توسط کاربر کدهای موردنیاز به صورت خودکار توسط نرم افزار بهینه ساز به محیط نرم افزار انرژی پلاس منتقل شده و به صورت همزمان شبیه سازی می شوند. تمامی فرآیندهای تولید و شبیه سازی کدها، پس از انتخاب اقلیم و وارد کردن اطلاعات اولیه، تنها با فشردن دکمه (Simulate) در پنجره اصلی نرم افزار بهینه ساز همزمان انجام می پذیرد. در این پژوهش دمای آسایش ساختمان به طور ثابت ۲۳ درجه سانتی گراد و سیستم تهویه مطبوع ایده آل در نظر گرفته شده است. یعنی مصرف انرژی طوری محاسبه می‌شود که در هر ساعت از سال دما در ۲۳ درجه ثابت بماند. سیستم ایده‌آل در تمام ساعات توانایی ایجاد دمای ۲۳ درجه را در داخل اتاق دارد.

نحوه بهینه سازی در نرم‌افزار

پس از فشردن دکمه (Simulate) برنامه شروع به شبیه‌سازی حالات مختلف نموده و بهینه‌سازی را انجام می‌دهد.

www.SID.ir

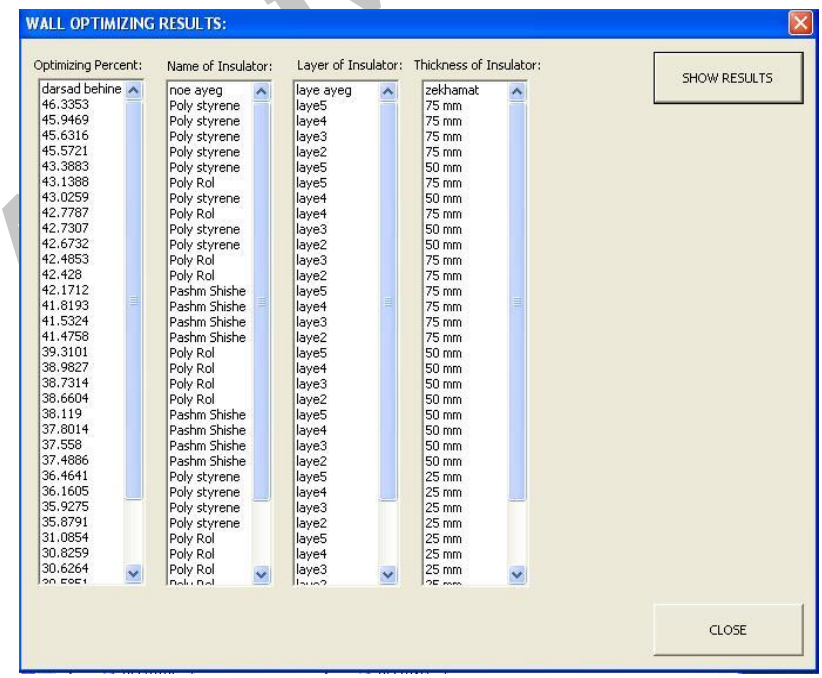
بهینه سازی در دیوارهای خارجی

در این بخش ابتدا نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات اولیه ساختمان را مدل سازی نموده و با توجه به مشخصات حرارتی دیوارهای خارجی وارد شده توسط کاربر برای جهت و طبقه موردنظر مصرف انرژی سالیانه را محاسبه می‌کند. سپس نرم‌افزار به صورت خودکار در بین لایه‌های دیوار، عایق حرارتی مختلف به ضخامتهای مختلف به صورت یک تکه اضافه کرده و محل مناسب، ضخامت و جنس مناسب عایق را از لحاظ مصرف انرژی با مدل سازی هر حالت در نرم‌افزار انرژی پلاس بررسی می‌کند. نرم افزار از سه عایق پشم شیشه، پلی رول(رول پلی اتیلن) و پلی استایرن(یونولیت) استفاده می کند. عایق های فوق در سه ضخامت ۲۵ میلیمتر، ۵۰ میلیمتر و ۷۵ میلیمتر(عملا ۹ حالت عایق) در نرم‌افزار بررسی می‌شود و نتایج به صورت درصدی ارائه می شود. نتایج بهینه سازی دیوار خارجی با فشردن دکمه (Wall Optimizing Results) مشاهده می‌گردد.(شکل ۶) در این پنجره ستون اول درصد بهینه سازی، ستون دوم جنس عایق بکار رفته در جدار، ستون سوم شماره لایه عایق(محل عایق بین لایه‌های دیوار و خود عایق نیز یک لایه از جدار محسوب می گردد.) بکار رفته در جدار(خارجی ترین لایه جدار، شماره یک می باشد) و ستون چهارم نمایشگر ضخامت عایق بکار رفته مورد نظر می باشد. با توجه به شکل ۶ می‌توان دید که نرم افزار به سادگی ضخامت مناسب عایق، محل مناسب قرارگیری عایق در دیوار خارجی و جنس مناسب را ارائه می دهد. مشخصات حرارتی عایق ها در (جدول ۱) آمده است. فرمول محاسبه درصد بهبود به شرح زیر می باشد:

*درصد بهبود=((نتایج حالت اولیه)/(نتایج حالت اولیه–نتایج حالت تغییر یافته))*۱۰۰*

جدول ۱- مشخصات حرارتی عایق ها[12]

نام عایق	پشم شیشه	پلی رول	پلی استایرن
ضریب هدایت حرارتی	۰،۰۳۸ W/m-k	۰،۰۳۴ W/m-k	۰،۰۳۶ W/m-k
چگالی	۲۴ kg/m۳	۳۰ kg/m۳	۳۲ kg/m۳
ظرفیت گرمایی ویژه	۷۰۰ J/kg-k	۷۰۰ J/kg-k	۷۰۰ J/kg-k

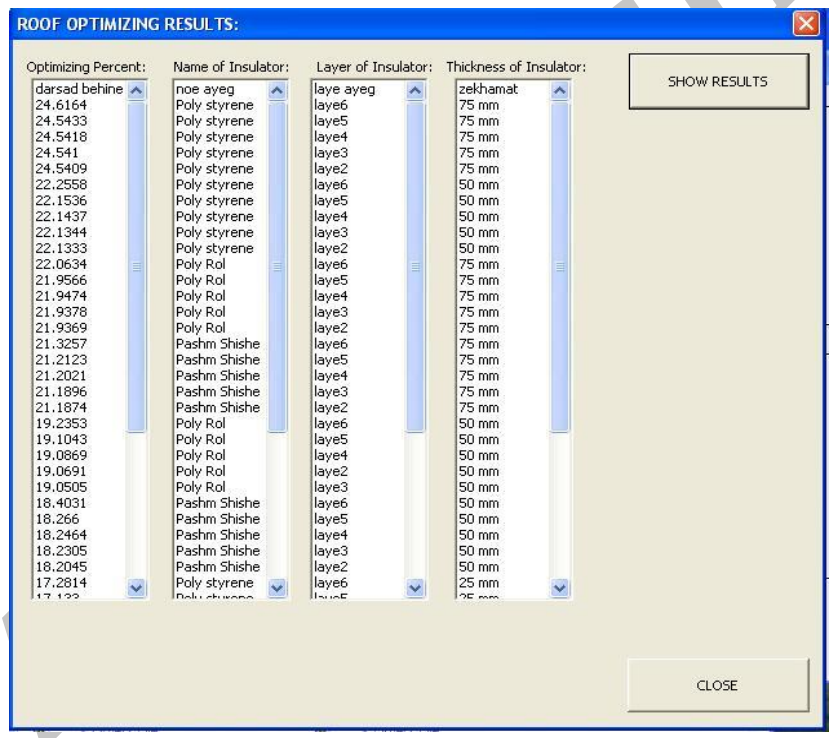


شکل ۶- نتایج بهینه سازی دیوار خارجی

www.SID.ir

بهینه سازی در سقف خارجی(بام)

در این بخش نیز ابتدا نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات اولیه ساختمان را مدل سازی نموده و با توجه به مشخصات حرارتی سقف(فقط پشت بام) وارد شده توسط کاربر برای طبقه آخر مصرف انرژی سالیانه را محاسبه می‌کند. سپس نرم‌افزار به صورت خودکار در بین لایه‌های سقف عایق حرارتی مختلف به ضخامتهای مختلف به صورت یک تکه اضافه کرده و محل مناسب، ضخامت و جنس مناسب عایق را از لحاظ مصرف انرژی با مدل سازی هر حالت در نرم‌افزار انرژی پلاس بررسی می‌کند. نوع عایق و ضخامت عایق مورد استفاده در سقف نیز همانند دیوار می باشد. نتایج بهینه سازی سقف با فشردن دکمه (Roof Optimizing Results) همانند دیوار مشاهده می گردد.(شکل ۷) لازم به توضیح است که نتایج سقف تنها در صورتی قابل محاسبه و مشاهده می باشد که طبقه بهینه سازی شده مورد نظر، طبقه آخر ساختمان باشد. با توجه به شکل ۷ نیز می‌توان دید که نرم افزار به سادگی ضخامت مناسب عایق، محل مناسب قرارگیری عایق و جنس مناسب را در سقف خارجی ارائه می‌دهد.



شکل ۷-نتایج بهینه سازی سقف خارجی(بام)

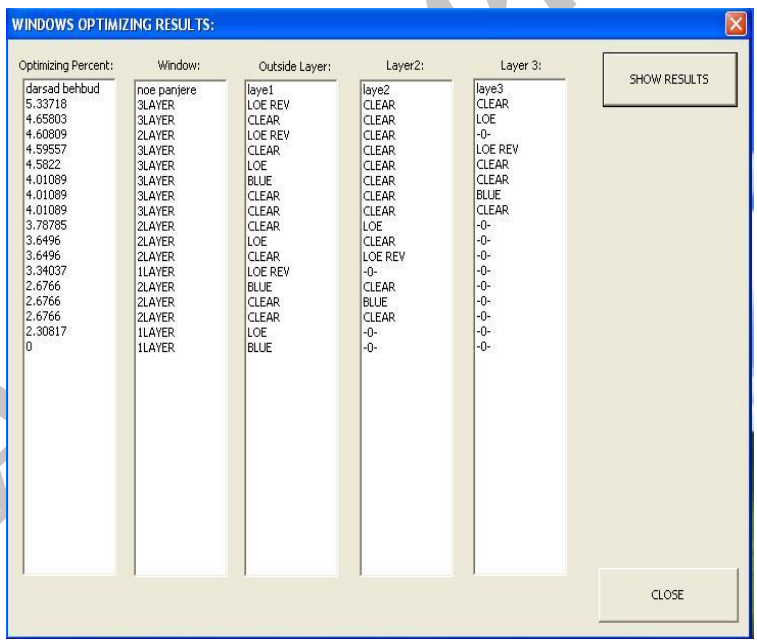
بهینه سازی پنجره های ساختمان

در این بخش نیز ابتدا نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات اولیه ساختمان را مدل سازی نموده و با توجه به طبقه و جهت وارد شده توسط کاربر در دیوار خارجی یک پنجره تک جداره ساده ایجاد می‌کند و سپس مصرف انرژی سالیانه را محاسبه می‌کند. در مرحله بهینه سازی نرم‌افزار به صورت خودکار نوع پنجره تک جداره را به دو و سه جداره تغییر داده، همچنین جنس(شیشه معمولی، کم گسیل، رنگی و ...) آن را نیز تغییر داده و با مدل سازی هر حالت در نرم‌افزار انرژی پلاس میزان مصرف انرژی را محاسبه می‌کند. در نرم افزار بهینه‌ساز تهیه شده از چهار نوع شیشه ۱. ساده ۲. آبی ۳. کم گسیل ۴. کم گسیل برعکس به ضخامت ۴ میلی متر استفاده می شود. در پنجره های دو و سه جداره فاصله بین دو شیشه ۶ میلیمتر و جنس گاز هوا در نظر گرفته شده است. به صورت خلاصه حالت های پنجره به شرح زیر در نرم‌افزار در نظر گرفته شده است:

www.SID.ir

۱- پنجره تک جداره: حالت ۱: شیشه آبی، حالت ۲: شیشه کم گسیل، حالت ۳: شیشه کم گسیل برعکس
۲- پنجره دو جداره: حالت ۱: لایه داخلی ساده-فاصله هوایی- لایه خارجی ساده، حالت ۲: لایه داخلی ساده- فاصله هوایی- لایه خارجی آبی، حالت ۳: لایه داخلی ساده- فاصله هوایی-لایه خارجی کم گسیل، حالت ۴: لایه داخلی ساده- فاصله هوایی- لایه خارجی کم گسیل برعکس، حالت ۵: لایه داخلی آبی- فاصله هوایی-لایه خارجی ساده، حالت ۶: لایه داخلی کم گسیل- فاصله هوایی-لایه خارجی ساده، حالت ۷: لایه داخلی کم گسیل برعکس- فاصله هوایی-لایه خارجی ساده
۳- پنجره سه جداره: حالت ۱: لایه داخلی آبی- فاصله هوایی-لایه وسط ساده- فاصله هوایی-لایه خارجی ساده، حالت ۲: لایه داخلی کم گسیل- فاصله هوایی-لایه وسط ساده- فاصله هوایی- لایه خارجی ساده، حالت ۳: لایه داخلی کم گسیل برعکس- فاصله هوایی-لایه وسط ساده- فاصله هوایی- لایه خارجی ساده، حالت ۴: لایه داخلی ساده- فاصله هوایی-لایه وسط ساده- فاصله هوایی- لایه خارجی آبی، حالت ۵: لایه داخلی ساده- فاصله هوایی-لایه وسط ساده- فاصله هوایی-لایه خارجی کم گسیل، حالت ۶: لایه داخلی ساده- فاصله هوایی-لایه وسط ساده- فاصله هوایی- لایه خارجی کم گسیل برعکس، حالت ۷: لایه داخلی ساده- فاصله هوایی-لایه وسط ساده- فاصله هوایی- لایه خارجی ساده

نتایج بهینه سازی پنجره نیز با فشردن دکمه (Window Optimizing Results) مشاهده می‌گردد. (شکل ۸) در این پنجره ستون اول درصد بهینه سازی، ستون دوم نوع پنجره بکار رفته، ستون سوم نوع شیشه لایه خارجی، ستون چهارم نوع شیشه لایه دوم و ستون پنجم نشانگر نوع شیشه لایه سوم(داخلی) می باشد. لازم به توضیح است، هنگامی که علامت "-0-" در هر یک از ستون های نشانگر نوع شیشه ظاهر شود، در آن لایه هیچ نوع شیشه ای وجود نخواهد داشت.(مثلاً پنجره تک جداره یک لایه شیشه دارد)



شکل ۸-نتایج بهینه سازی پنجره

بهینه سازی زمان کارکرد سیستم تهویه مطبوع

در این پژوهش دمای آسایش ساختمان به طور ثابت ۲۳ درجه سانتی گراد و سیستم تهویه مطبوع ایده آل در نظر گرفته شده است. زمان کارکرد سیستم تهویه مطبوع ساختمان ابتدا به صورت استفاده تمام وقت در نظر گرفته شده است. با انتخاب کاربر نوع ساختمان را از نظر استفاده می تواند مداوم یا منقطع باشد که در صورت منقطع بودن، ساعت شروع و خاتمه استفاده از ساختمان در ۲۴ ساعت شبانه روز را وارد می‌کند. در صورت منقطع بودن، نرم افزار بهینه‌ساز اقدام به تولید حالت‌های

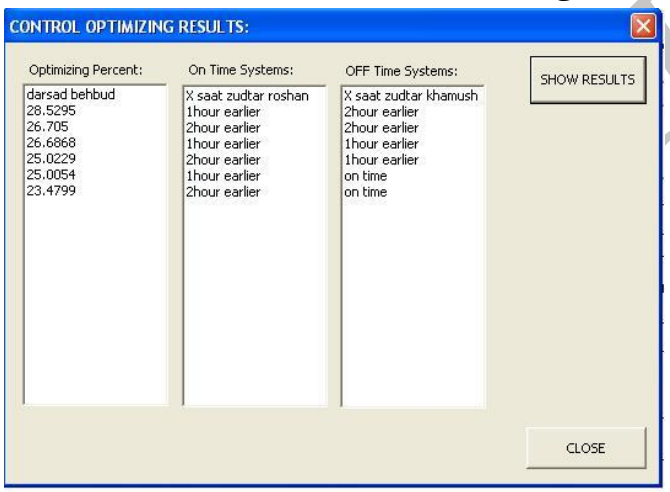
www.SID.ir

مختلف زمان روشن بودن سیستم تهویه کرده و اقدام به مقایسه با حالت روشن بودن ۲۴ ساعته می نماید. البته در صورتی که ساختمان از نظر استفاده به صورت مداوم باشد، بهینه سازی این مرحله انجام نمی گیرد. حالت های بهینه شده روشن و خاموش بودن سیستم تهویه در صورت منقطع بودن استفاده از ساختمان به شرح زیر است:

۱- زمان روشن شدن سیستم: یک ساعت زودتر از استفاده ساختمان یا دو ساعت زودتر از استفاده ساختمان

۲- زمان خاموش شدن سیستم: در همان ساعت پایان استفاده از ساختمان، یک ساعت زودتر از پایان استفاده از ساختمان و یا دو ساعت زودتر از پایان استفاده از ساختمان

نتایج بهینه سازی زمان کارکرد سیستم تهویه با فشردن دکمه (System(on/off) Optimizing Results) مشاهده می‌گردد.(شکل ۹) در این پنجره ستون اول درصد بهینه سازی، ستون دوم زمان روشن شدن سیستم و ستون سوم زمان خاموش شدن سیستم تهویه را نشان می دهد.



شکل ۹- نتایج بهینه سازی زمان کارکرد سیستم تهویه

اعتبار سنجی

در این بخش نتایج نرم افزار بهینه‌ساز تهیه شده با سه تحقیق انجام شده پیشین مقایسه شده است.

در تحقیق اول ابراهیم پور و همکارانش در مقاله‌ای مقایسه ای اقدام به بررسی و بهینه سازی ساختمان دانشگاهی تبریز نمودند، در بخشی از این تحقیق اقدام به مشخص کردن بهترین حالت شیشه های پنجره دو جداره که جدار داخلی آن ثابت بوده و شیشه ساده می‌باشد نمودند. نتیجه بررسی پنجره دو جداره با جدار خارجی کم گسیل با درصد بهبود مصرف انرژی ۵,۱۴٪ بدست آمده است[۱۳]. در این تحقیق نیز بهترین حالت بدست آمده از نرم افزار بهینه ساز برای شیشه دو جداره در دیوار شمالی طبقه آخر (ساختمان ۴ طبقه در نظر گرفته شده) شیشه کم گسیل با درصد بهبود مصرف انرژی ۵,۶۶٪ می باشد. با توجه به اختلاف نا چیز میان دو عدد بدست آمده و نوع شیشه یکسان، صحت عملکرد نرم افزار ساخته شده با تقریب خوبی قابل اطمینان است.

با توجه به تحقیق دوم ابراهیم پور و همکاران بهینه سازی عایق های حرارتی را در ساختمان های با استفاده مداوم در نرم افزار اوپک بررسی نمودند. نتایج در شرایط استفاده از عایق یک تکه، برای شهر تهران عایق به ضخامت ۵ تا ۷,۵ سانتی متر در میانه جدار و برای شهر تبریز عایق به ضخامت ۵ تا ۷,۵ سانتی متر در سمت داخلی جدار مناسب ترین حالت بدست آمده است. جزئیات جدارها در جدول۲ نشان داده شده است.[۶] در این تحقیق نیز جدارها مطابق مقاله فوق در نرم افزار بهینه‌ساز استفاده شده، مشخصات عایق در داخل نرم افزار وارد گردیده و سپس در جهت شمال (طبق روند بررسی مقاله) شبیه سازی انجام گرفت، که نتایج حاکی از نزدیکی درصد های بهبود یافته و یکسان بودن بهترین محل قرار گیری عایق ها دارد. (جدول۳)

www.SID.ir

جدول ۲- مشخصات لایه های ساختمانی و عایق حرارتی مورد استفاده

نام مواد	پلی استایرن	اندود گچ	پوشش خارجی	لایه بتنی
ضخامت(Cm)	۷,۵	۱,۵۹	۱,۲۷	۱۰
چگالی(Kg/m^3)	۵۲	۱۲۰۰	۱۹۲۰	۲۳۰۰
مقاومت حرارتی ($m^2.K/W$)	۵	۰,۲۵	۰,۲	۰,۱۹
گرمای ویژه (J/Kg.K)	۶۵۷	۱۰۸۰	۶۷۰	۶۵۳

در تحقیق دوم داده های آب و هوایی مورد استفاده، دماهای بیشینه و کمینه ماهیانه برای یک دوره ۵ ساله می باشد. اما در نرم افزار بهینه ساز از داده های آب و هوایی تی-ام-وای که دارای پارامترهای دما، رطوبت نسبی ، جهت و وزش باد و داده های تابش خورشیدی به صورت ساعتی استفاده شده است. با بررسی داده های بدست آمده و مقایسه آنها، نتایج مشابهی به صورت زیر اخذ گردیده است: الف) در هر دو بررسی به محل و ضخامت عایق یکسان اشاره شده است. ب) در هر دو حالت با افزایش ضخامت درصد بهبود افزایش می یابد ولی در ضخامت های بیش از ۵۰ میلی متر افزایش درصد بهبود به کندی اتفاق می افتد و این نتیجه حاصل می گردد که در هر دو حالت ضخامت بهینه عایق مابین ۵۰ تا ۷۵ میلی متر می باشد. ج) اختلاف در نتایج بدست آمده، با توجه به استفاده از فایل داده های آب و هوایی تی-ام-وای در نرم افزار بهینه ساز و استفاده از میانگین دماهای بیشینه و کمینه ماهیانه در مقاله مورد بررسی محتمل بوده و قابل اغماض می باشد.

جدول ۳- مقایسه نتایج نرم‌افزار بهینه‌ساز با تحقیق دوم

در صد بهبود دیوار شمالی و بام								
ضخامت	(%)نتایج بهینه سازی دیوار				(%) نتایج بهینه سازی سقف			
	تهران		تبریز		تهران		تبریز	
	نرم افزار	مقاله	نرم افزار	مقاله	نرم افزار	مقاله	نرم افزار	مقاله
۲۵mm	۵۹,۳	۴۴,۶۷	۵۹,۷۷	۴۷,۶۶	۵۹,۰۶	۴۸,۶۵	۵۹,۱۶	۴۸,۰۲
۵۰mm	۷۴,۲۳	۶۷,۰۷	۷۴,۵۷	۶۹,۰۷	۷۴	۶۹,۵۳	۷۳,۹۸	۶۸,۸۱
۷۵mm	۸۱,۲۲	۷۶,۱۳	۸۱,۳۷	۷۷,۳۵	۸۶.۸۰	۷۷,۳۹	۸۰,۷۸	۷۶,۸۷
بهترین حالت مورد اشاره در مقاله ۲ برای عایق یک تکه				بهترین حالت مورد اشاره در نرم افزار بهینه ساز				
تهران		تبریز		تهران		تبریز		
لایه داخلی-mm۷۵		لایه داخلی-mm۷۵		لایه میانه-mm۷۵		لایه داخلی-mm۷۵		

در تحقیق سوم تاثیر عایق حرارتی در دیوارهای خارجی ساختمانها بر روی مصرف انرژی سالیانه ساختمان‌های مسکونی بلند مرتبه بررسی شده است.[۱۴] تحقیق در اقلیم هنک کنگ و برای یک ساختمان ۱۵ طبقه اجرا شده است. نتایج این تحقیق و نتایج نرم‌افزار بهینه‌ساز برای ضخامت بهینه و محل مناسب قرارگیری عایق در جدار مقایسه شده است. نتایج نرم افزار بهینه‌ساز و این مقاله نشان می دهند که در اقلیم هنگ کنگ هر دو به نتیجه استفاده از عایق ضخیم تر و در قسمت داخلی دیوار تاکید می کنند و از این حیث دارای همگرایی می باشند.

نتیجه‌گیری

همچنان که گفته شد، استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان ساده نبوده و احتیاج به تخصص کافی دارد. هیچکدام از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی امکان بهینه‌سازی خودکار را ندارند و کاربر باید چندین حالت را مدل‌سازی کرده و سپس حالت بهینه را با ارزیابی نتایج بدست آورد. در این تحقیق یک نرم افزار ساده و بهینه ساز ارائه شده است که با استفاده از نتایج این نرم افزار، راههای کاهش مصرف انرژی در ساختمان و پارامترهای موثر در مصرف انرژی ساختمان از قبیل شرایط اقلیمی، جنس، محل و ضخامت عایق بکار رفته در دیوارها و بام ساختمان، نوع پنجره ها(تعداد لایه پنجره)، نوع شیشه های

Archive of SID
www.SID.ir

پنجره ها و زمان کارکرد سیستم تهویه را بطور همزمان و به سادگی بررسی کرده و بهترین حالت هر پارامتر را مشخص نمود. یک مهندس طراح با استفاده از این نرم‌افزار به سادگی می‌تواند قبل و یا بعد از ساخت ساختمان حالتها و پارامترهای مختلف را بررسی و مقایسه کند بدون آنکه نیازی به تخصص کافی در زمینه شبیه‌سازی و استفاده از برنامه‌های تخصصی شبیه‌سازی داشته باشد. در حقیقت این نرم‌افزار خود ساختمان را بهینه کرده و پارامترهای مناسب جهت کاهش مصرف انرژی را بررسی کرده و نتیجه را به صورت درصدی ارائه می‌کند و این خصوصیت باعث برتری آن بر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دیگر می‌باشد.

مراجع

[۱] نجفی .ا، **"خانه‌های اقتصادی برای نقاط معتدل"**، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،۱۳۶۰ ،صفحه ۶۷-۶

[2] C. Rode, "Computer programs for building energy simulation", Lecture Note,U-074; Danmarks Tekniske Universitet,2001.

[3] A. Shariah,B. Tashtoush, A. Rousan, "Cooling and Heating Loads in residential buildings in Jordan", Energy And Buildings; 1997, Vol. 26, pp. 137-143.

[4] M. Bojic, A. Parvedy, H. Boyer, "Optimization of thermal comfort in building through envelope design", International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems; ECOS, 2012.

[5] S. Djordjevic, M. Bojic, D. Cvetkovic, J. Malesevic, M. Miletic, " influence of house shadowing to the consumption of primary energy for heating, cooling and lighting", 7th International Quality Conference, Center for Quality, Faculty of Engineering; University of Kragujevac, 2013.

[۶] ابراهیم پور.ع، معرفت.م، محمد کاری.ب، "بهینه سازی عایق کاری در ساختمان های با استفاده مداوم در شرایط اقلیمی ایران از لحاظ بارهای حرارتی سالیانه"، نشریه فنی و مهندسی مدرس، پاییز ۱۳۸۳

[7] S. Chaiyapinunt, B. Phueakphongsuriya, K. Mongkornsaksit, N. Khomporn, "Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission", Energy and Buildings; 2005, Vol. 37, pp. 725–738.

[۸] ابراهیم پور.ع، معرفت.م، **"اصلاح روشی جهت تولید داده های اقلیمی تی ام وای برای شهر تهران"**، مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، تابستان ۱۳۹۰، دوره ۱۱ شماره ۲، صفحات ۷۷-۹۱

[9] L.O. Degelman, "Examination of the concept of using typical week weather data for simulation of annualized energy use in buildings", Department of Architecture Texas A&M University College Station, TX 77843-3137.

[10] Meteonorm software: www.meteonorm.com (آخرین مراجعه ۱۳۹۲/۸/۲)

[11] Energy plus program: www.eere.energy.gov (آخرین مراجعه ۱۳۹۲/۸/۲)

[۱۲] http://www.irima.ir/ دانشنامه عایق ایران- عایق های حرارتی (آخرین مراجعه ۱۳۹۲/۵/۲۰)

[۱۳] ابراهیم پور.ع،کریمی واحد.ی،"روش های مناسب بهینه سازی در یک ساختمان دانشگاهی در تبریز"،مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹۱،دوره ۱۲ شماره ۴، صفحات ۹۱تا۱۰۴

[14] M.Bojic, F.Yik, P.Sat, "Influence of thermal insulation position in building envelope on the space cooling of high-rise residential buildings in Hong Kong", Energy And Buildings; 2001, Vol. 33, pp. 569-581.

Archive of SID

www.SID.ir