به نام پروردگار

ممیزی مصرف انرژی در ساختمان

(بررسی تاثیر مصالح عایق لیکا در پوسته خارجی)

دفتر فنی شرکت لیکا: شیدا عصاری- ماکان محمدی زیارانی

تابستان ۱۳۹۴

اهدائی شرکت لیکا

در راستای فعالیت های علمی- فرهنگی فن آوری های نوین در صنعت ساختمان

فهرست مطالب

مقدمه

۱- آسایش حرارتی

۲- مشخصات ساختمان مورد مطالعه

۲-۱ نوع کاربری فضا

۲-۲ بازشوها

۲-۳ سیستم روشنایی

۲-۴ سیستم تهویه مطبوع

۲-۵ ساختار مصالح مصرفی در ساختمان

۳- فرایند بهینه‌سازی جدارهای خارجی با رس منبسط لیکا

۴- بررسی اثر مخرب میعان رطوبت داخل روی جدار دیوار در فصول سرد

۵- تحلیل نتایج محاسبات و خروجی نرم‌افزار

۶- تحلیل و بررسی نتایج شبیه‌سازی ماهانه

۷- تحلیل و بررسی نتایج شبیه‌سازی سالانه

۸- مقایسه بلوک عرض ۱۵ و ۱۷,۵ سانتیمتری لیکا

۹- مقایسه مصالح سنتی و رس منبسط لیکا

۱۰- خلاصه

۱۱- منابع

مقدمه :

افزایش قیمت حامل‌های انرژی و کاهش منابع انرژی از یک‌سو و گرمای جهانی حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی و آلودگی محیط زیست از سوی دیگر از دغدغه‌های انکارناپذیر بشر فعلی محسوب می‌گردد. یکی از راهکارهای رویارویی با این مشکل کاهش مصرف انرژی به همراه تامین انرژی مناسب، حفاظت از محیط زیست و در نهایت آماده سازی جامعه برای تولید دی‌اکسیدکربن کم‌تر می‌باشد. بنابراین در عرصه رقابت جهانی کشورهایی موفق‌تر خواهند بود که با تحقیق و مطالعه موفق به یافتن و به‌کار بردن راه‌های جلوگیری از اتلاف انرژی شوند.

بخش ساختمان با مصرف ۶۰-۴۰ درصدی انرژی در اغلب کشورهای پیشرفته جهان نقش قابل توجهی در این زمینه بازی می‌کند و این در حالی است که این میزان در کشورهای درحال توسعه رو به افزایش است. اگرچه در حال حاضر بخش بزرگی از ساختمان‌های موجود به لحاظ انرژی ناکارآمد محسوب می‌شوند، اما توانایی دست‌یابی به صرفه‌جویی در مصرف انرژی تا ۸۰ درصد در بخش ساختمان‌های مسکونی و تجاری به اثبات رسیده است (Harvey, 2006).

هدف از کاهش مصرف انرژی در ساختمان عبارت است از:

۱- کاهش دست‌کم ۵۰ درصد مصرف سوخت و هزینه‌های مربوط.
۲- کمک به بهبود شرایط متابولیکی بدن ساکنین و افزایش کارایی آن‌ها در اثر زندگی در دمای بهینه.
۳- کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش آلودگی‌های ناشی از آن و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای.
۴- کاهش استهلاک سیستم گرمایش و سرمایش.
۵- کاهش ظرفیت اولیه سیستم گرمایش و سرمایش تا ۴۰ درصد.
۶- کمک به اقتصاد ملی.
۷- کمک به اقتصاد خانواده.
۸- افزایش رفاه نسبی در نتیجه مصرف صحیح انرژی.
۹- توزیع متعادل حرارت و امکان برقراری دماهای متفاوت در هر اتاق.
۱۰ تنظیم و تثبیت شرایط دمای آسایش.

از طرفی دیگر مصرف بی‌رویه انرژی در ساختمان‌ها نقش بزرگی در گرمایش کره‌زمین داردوگرمایش جهانی بر الگوی بارش سالیانه، تغییر آب و هوا، ایجاد طوفان‌های شدید و آزاد شدن هیدرات‌های گازی تاثیر می‌گذارد.به همین علت محاسبه میزان دی‌اکسیدکربن ساختمانها که ۵۰٪ کل دی اکسیدکربن منتشر شده را تشکیل می‌دهند، رویکرد ساخت و ساز را به سوی کاهش مصرف انرژی تغییر داده‌است.در عین حال قابلیت‌های زیادی در بخش ساختمان جهت جلوگیری از نشر کربن وجود دارد و نیازمند اهمیت و فوریت همکاری و عملکرد مهندسین ساختمان و معمار می‌باشد (Srivastava-Modi, 2011).به عنوان مثال در صورتی که یک کلان‌شهر مانند تهران با بیش از دو میلیون واحد مسکونی موجود از عایق‌کاری حرارتی مناسب برخوردار بود و مصرف سوخت آن بیش از ۴۰ درصد کاهش می‌یافت، این شهر دچار نابسامانی آلودگی هوا و نیز میکروکلیمای گلخانه ای ناشی از اثر سوخت در بخش سکونتی، رنج نمی‌برد و هوای آن نیز به این مقدار در زمستان گرم نمی‌شد.

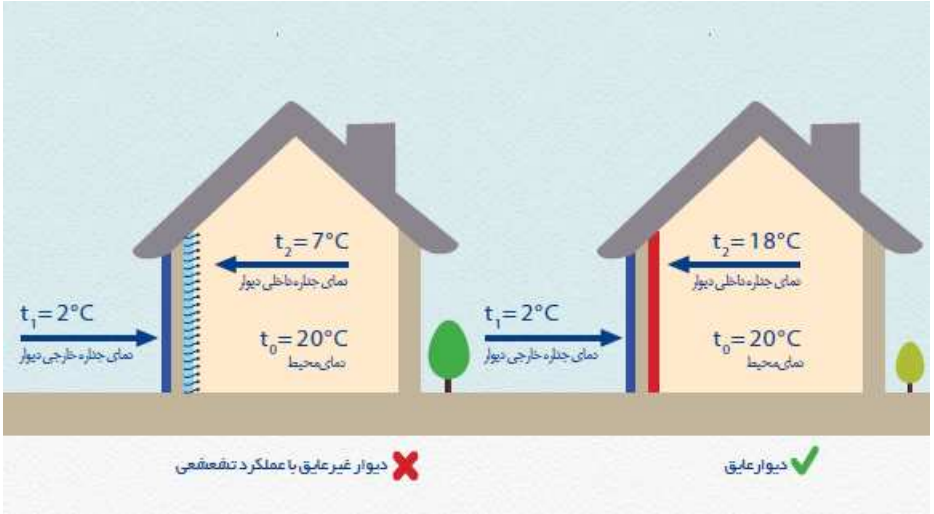
آسایش حرارتی

علاوه بر توجه به صرفه‌جویی در مصرف انرژی در بخش ساختمان، تامین آسایش حرارتی ساکنین یکی دیگر از نیازمندی‌هایی است که می بایست مورد توجه قرار بگیرد. به صورت کلی آسایش گرمایی، شرایط متابولیکی است که رضایت انسان از محیط حرارتی را بیان می‌کند. انتقال گرما میان بدن و محیط اطراف می‌تواند از طریق هریک از راه‌های شناخته‌شده انتقال گرما یعنی به صورت‌های جابجایی، تشعشع، تبخیر و به مقدارکمی هدایت انجام شود.

براساس مطالعات انجام‌شده توسط فانگر به کار نبردن عایق حرارتی مناسب در دیوارها برای منطقه اقلیمی، در مواقع حاد و بحرانی در دوفصل زمستان و تابستان، و در صورتی که اختلاف دمای محیط داخل ساختمان با دمای سطح داخلی دیوار بیشتر از ۳ درجه سانتیگراد($\Delta t \leq 3°C$) باشد، موجب می‌شود تا بدن انسان با تبادلات حرارتی تشعشعی، احساس ناراحتی و مورمورشدن ناشی از عدم تعادل نسبی متابولیسم بدن، آسایش و سلامت خود را از دست بدهد و از بازده او به شدت می‌کاهد و نیز تاثیراتی سوء بر روی رفتار و اعصاب او می‌گذارد. در کشورهای صنعتی، با ایجاد آسایش نسبی در داخل ساختمان در مناطق اقلیمی خیلی گرم در مقایسه با مناطق اقلیمی سرد نشان داده است که بازده افراد از کارایی و پویایی بیشتری برخوردار است. درصورتی که آسایش نسبی حرارتی برقرار نباشد، این روند معکوس خواهد شد.

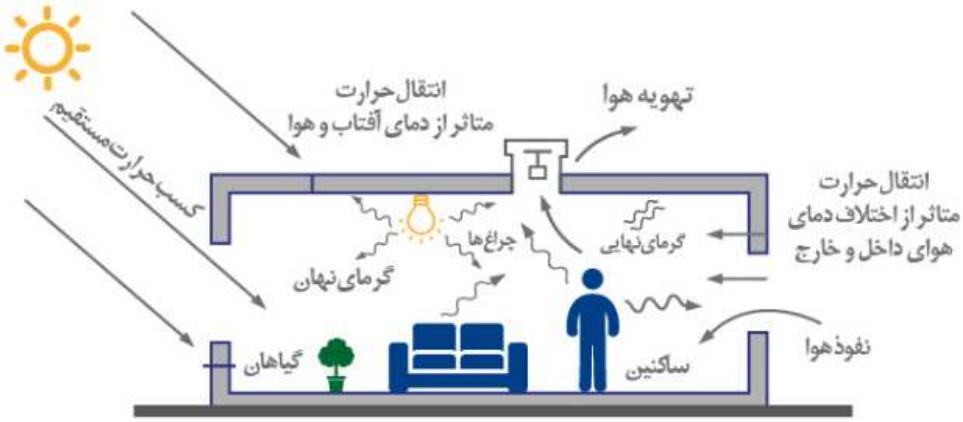
از این رو عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان به طور گسترده در جهان اعم از دیوارها، سقف، کف و در و پنجره‌ها نه تنها به منظور صرفه‌جویی سوخت و عدم اثر گلخانه‌ای برروی کره زمین مفید است، بلکه برای ایجاد محیطی آسوده در آسایش نسبی بدن انسان در داخل ساختمان، جهت افزایش بازده کاری فکری و جسمی و نیز بهداشت و تندرستی، الزامی و موجه به شمار می‌رود. با توجه به عامل عایق‌کاری حرارتی دوره جدیدی را در فناوری ساختمان ایجاد نمود که اصطلاحاً آن را INSULLATION BOOM نامیدند.(ویژگی‌های کارکردی دیوارهای خارجی ساختمان‌های متعارف، دکتر جمشید ریاضی).

شکل (۱)تبادل جریان رطوبت توسط دیوار



شکل(۲)مقایسه تبادل حرارتی دیوار عایق و غیرعایق

در کشور ما، در اکثر مناطق بخش قابل توجهی از سال شرایط دمایی در فضای خارج ساختمان به گونه‌ای است که گرم یا سرد کردن فضاهای کنترل شده داخل به منظور تامین شرایط آسایش حرارتی برای ساکنین و کاربران ضروری می باشد. این اقدام در اکثر موارد با مصرف انرژی ۲ برابر میانگین جهانی همراه است. هرچه میزان انتقال حرارت از پوسته خارجی ساختمان بیشتر باشد اثر انرژی مصرف شده برای تامین شرایط آسایش سریع‌تر از بین می‌رود و لازم است به صورت مداوم، برای جبران انرژی منتقل‌شده از پوسته خارجی ساختمان توانی برای گرمایش یا سرمایش مصرف شود. در صورتی که بتوانیم تمهیدات لازم را برای کاهش انتقال حرارت از پوسته خارجی ساختمان در نظر بگیریم، می‌توانیم میزان قابل توجهی صرفه‌جویی انرژی را محقق سازیم.(مرجع کاربردی مدیریت انرژی ص۱۴۸)



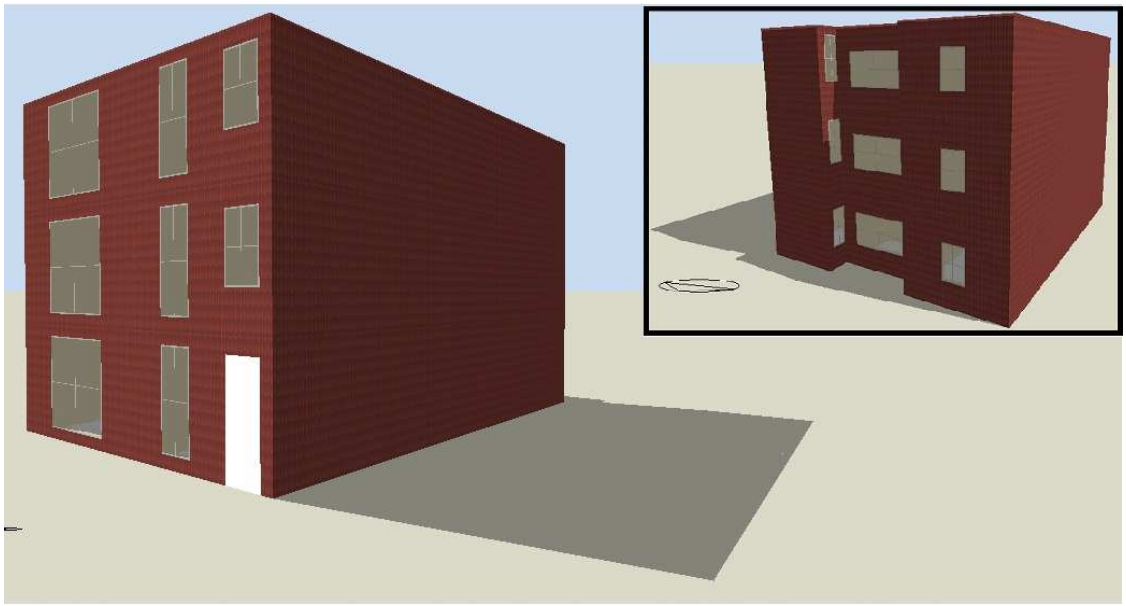
شکل(۳)طرح واره منابع کسب حرارت محسوس و نهان در ساختمان

پوسته ساختمان شامل انواع اجزای ساختمانی مانند دیوار، سقف، کف و پنجره است که فضاهای کنترل‌شده و کنترل‌نشده را دربرگرفته‌اند. به تعبیر دیگر پوسته ساختمان واسطه‌ای میان فضاهای داخلی و خارجی ساختمان است که تبادل حرارت میان ساختمان و محیط پیرامون از طریق آن صورت می‌گیرد.

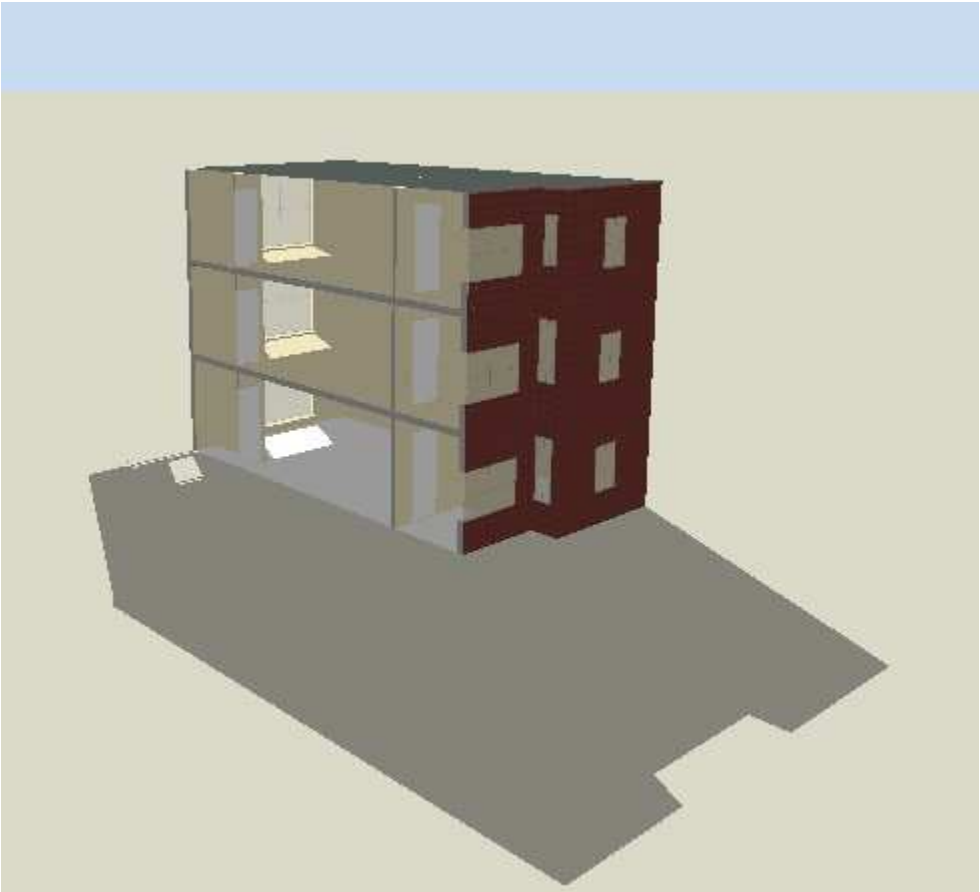
در این پژوهش به منظور بررسی تاثیر عایق سازی پوسته خارجی (دیوار و سقف) با استفاده از فرآورده‌های عایق رس منبسط شده لیکا، ساختمانی در شهر تهران توسط نرم افزار دیزاین بیلدر ممیزی انرژی شده است. در ادامه مشخصات ساختمان موردمطالعه و نتایج عایق‌سازی درصورت استفاده از محصولات لیکا توضیح داده شده است.

مشخصات ساختمان

بنای مورد مطالعه ساختمان سه طبقه آجری، دارای اسکلت فلزی با پوشش سقف از نوع طاق ضربی است. مساحت زیربنای این ساختمان ۴۹۵ متر مربع، شمالی، دو طرف مجاور دیوار همسایه و کاربری آن مسکونی می‌باشد. دارای سیستم گرمایشی رادیاتور، سیستم سرمایشی کولرآبی و در هر طبقه دارای ۷ زون با تعریف نوع فعالیت و بار متفاوت و همچنین سیستم HVACمستقل می باشد.



شکل (۴) نمای شمال و جنوب ساختمان مدلسازی شده



شکل (۵)

اطلاعات ورودی در نرم افزار دیزاین بیلدر (Design Builder) جهت انجام مدل‌سازی ساختمان مذکور به شرح زیر می باشد:

نوع کاربری فضا- Activity Tab

با توجه به نوع کاربری هر زون (فضا) اطلاعات معینی به نرم افزار داده می شودکه مبتنی بر مشخصات ساختمان واقعی است. یکی از طبقات این ساختمان که متشکل از ۷ زون می‌باشد، به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد و به علت مشابه بودن ویژگی‌های دیگر طبقات، از ذکر مجدد آنها خودداری می‌گردد.

زون اتاق خواب شماره ۱ (Bedroom 1):

نوع کاربری اتاق خواب مسکونی از کتابخانه نرم افزار انتخاب می شود. میزان اشغال افراد بر حسب نفر بـر متـر مربـع ۰/۰۷ بـوده و مبنای محاسبه این عدد تعداد نفرات مستقر در مساحت کل فضا است (قابل توضیح است که تعداد افراد مهمان نیز در نظر گرفته می شود).

میزان استفاده از آب گرم مصرفی (DHW) در این زون صفر می باشد. دمای آسایش در نظر گرفته شده در زمستان ۲۴°C و دمـای ترموستات (دَمایی که پس از رسیدن محیط تهویه شونده به آن دما، تجهیز تهویه مطبوع آغاز به فعالیت می کند)۲۰°C می‌باشد. بـار ناشی از استفاده از تجهیزات برقی در این زون بر مبنای برنامه زمان بندی تعریف شده در نرم افزار ۱۰ وات بر مترمربـع بـا احتسـاب استفاده از کامپیوتر و ضبط صوت طبق برنامه زمان بندی تعریف شده برای نرم افزار می باشد.

زون اتاق خواب شماره ۲ و ۳ (Bedroom 2&3):

تماما مانند زون اتاق خواب شماره ۱ بوده، با این تفاوت که بار متفرقه ناشی از مصرف تجهیزات الکتریکی در آنها وجود ندارد.

زون هال (Hall):

نوع کاربری هال و پذیرایی مسکونی بوده و میزان اشغال افراد در هر مترمربع ۰,۰۶ می‌باشد که بر اساس برنامـه زمـان بنـدی پـیش فرض نرم افزار تعریف شده است. میزان مصرف آب گرم بهداشتی (DHW) در ایـن زون صـفر بـوده و تنظیمـات شـرایط آسـایش محیطی (دمای سرمایش و گرمایش فضا) مانند زون اتاق می‌باشد. در این زون بار الکتریکـی ناشـی از مصـرف تجهیـزات صـوتی و تصویری ۵ وات در هر مترمربع محاسبه شده است.

زون آشپزخانه (Kitchen):

کاربری آشپزخانه مسکونی با میزان اشغال افراد در هر مترمربع برابر۰,۱۵ و مقدار مصرف آب گرم (DHW) ۵ لیتر بر مترمربع در هر روز می باشد. شرایط آسایش نیز مانند زون‌های تعریف شده قبلی بوده و بار الکتریکی ناشی از یخچال، فریزر، مایکروفر و کتری برقی معادل۶۰ وات بر مترمربع می باشد. لازم به ذکر است مقدار انرژی توزیع شده به واسطه احتراق سوخت بـه منظـور پخـت و پـز، بـه میزان قابل توجهی بر شرایط محیطی این زون تاثیرگذار است و این عددبرابر ۶۰ وات بر مترمربع با ضریب تابشی ۰,۲ می باشد.

$Q_s = (q_{input})*(F_U)(F_R)$

$F_U \times F_R = F_L$

(ASHRAE Guideline 90399 - Ch6 - Table 6.6)

(ASHRAE Fundamental Handbook 2009 - 18-12)

زون راه پله(Stair):

این زون فاقد سیستم تهویه مطبوع و تجهیزات اضافی می‌باشد و بنابراین در محاسبات نرم‌افزار به عنوان فضای تهویه نشده داخلی (فضای پارتیشن) در نظر گرفته شده است.

زون سرویس بهداشتی-حمام (Toilet-Bath):

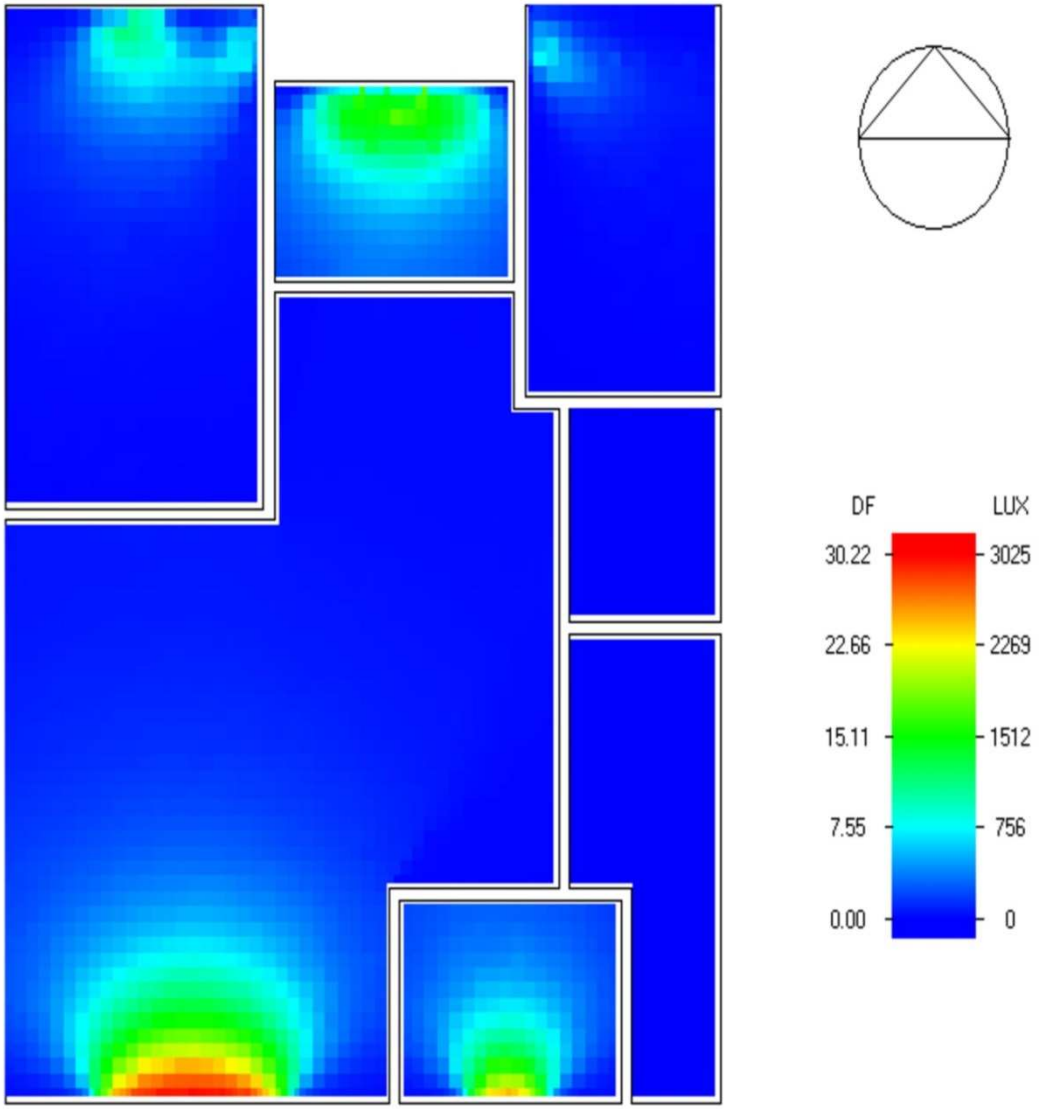
این فضا دارای سیستم رادیاتور (حوله خشک کن) جهت تامین گرمایش مورد نیاز می‌باشد و آب گرم مصرفی این زونمعادل$۱۵L/m^2.day$ برآورد شده است.

بازشوها- (Opening Tab):

ابعاد پنجره هر زون (طبق پلان) به همراه جنس آن (شیشه ساده ۳ میلیمتر و قاب آلومینیومی) به عنوان ورودی برای نرم افزار تعریف شده است.

سیستم روشنایی- (Lighting Tab) :

شبیه سازی توزیع روشنائی روز مشخص می‌نماید که علی‌رغم اینکه این ساختمان از گستره پنجره مناسبی بهره می‌برد ولی با این وجود در برخی نقاط ساختمان حتی در روز هم نیاز به استفاده از روشنائی لامپ الزامی می‌باشد. برای مدل‌سازی روشنائی ساختمان لامپ کم‌مصرف از نوع T8 از کتابخانه نرم افزار انتخاب گردید و اعداد آن طبق پیش فرض نرم افزار است. میزان مصرف آن متناسب با متراژ زون، زمان بهره‌برداری و نوع کاربری تعریف شده برای آن زون می‌باشد.



شکل (۶) شبیه سازی توزیع روشنایی

سیستم تهویه مطبوع – HVAC Tab

به طور کلی سیستم‌های تهویه مطبوع دو وظیفه عمده بر عهده دارند: یکی جبران بارهای حرارتی و برودتی و دیگری تعویض هـوا و کنترل آلاینده‌های هوای داخل ساختمان.

تهویه مطبوع در نظرگرفته شده برای زون‌های تهویه شونده شامل دو سیستم سرمایش و گرمایش مجزا می‌باشد. سیسـتم سـرمایش هر طبقه برای تامین برودت ساختمان، دستگاه کولرآبی به ظرفیت ۷۰۰۰مترمکعب بر ساعت بوده و به منظور مدل‌سازی کـولرآبی در نرم‌افزار از مدل سیستم سرمایش تبخیری (Evaporating Cooling) با مشخصات زیر استفاده شده است:

یک دستگاه هوا رسان حجم هوای ثابت (CAV) به ظرفیت ۷,۱۰ m^3/S که معادل ۳ دستگاه کولرآبی به ظرفیت ۷۵۰۰m^3/h می‌باشد. میزان مصرف الکتریسیته برای الکتروموتور این کولرها۵۶۰وات و مساحت مفید در نظر گرفته شده برای سطح خیس پوشال (Pad Area) معادل۱,۶ مترمربع در نظر گرفته شده است. همچنین مقدار ۵۰ وات توان مصرفی برای پمپ آب کولر در محاسبات منظور گردید.

جهت گرمایش ساختمان مذکور مبتنی بر تجهیزات نصب شده در ساختمان واقعی، سیستم گرمایش رادیاتور به صورت مدل گرمایش همرفتی- تابشی با مشخصات زیر شبیه‌سازی گردیده است.

بویلر چدنی آبگرم با بازده ۶۰٪ جهت تامین گرمایش موردنیاز تعریف شده که با استفاده از این بویلر آب گرم مصرفی کل ساختمان نیز تامین می‌گردد. یک عدد پمپ گردش آب گرم و یک عدد پمپ آبرسانی آب گرم مصرفی نیز در ساختمان موردمطالعه در نظر گرفته شده تا حداکثر شباهت را با ساختمان واقعی از نظر سیستم‌های تاسیساتی داشته باشد.

ساختار- مصالح مصرفی در ساختمان- Construction Tab

پوسته بیرونی ساختمان دیوار آجری و سطح سقف هر طبقه همانند پشت بام، سیستم طاق ضربی با پوکه معدنی می‌باشد. مشخصات فیزیکی و ضخامت لایه های جدار خارجی ساختمان به قرار زیر است.

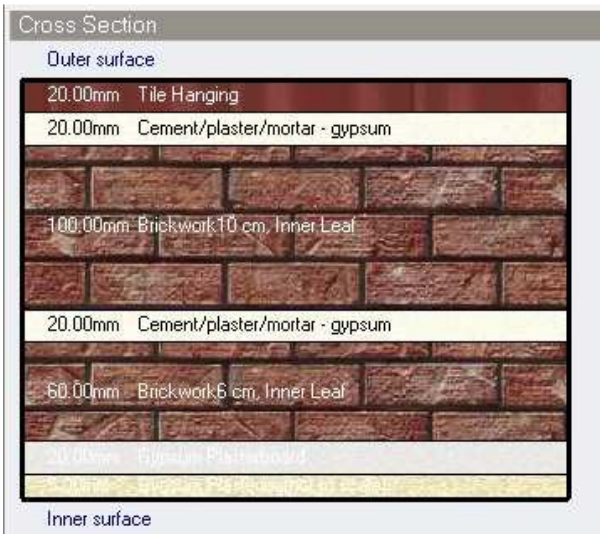
دیوار خارجی معمولی (External Wall):

ساختار دیوار بیرونی شامل ۲ سانتیمتر سنگ نما، ۲ سانتیمتر ملات سیمان، آجرفشاری با مقاومت حرارتی ۰,۱ و ضخامت ۱۰ سانتیمتر، ملات دوغاب۲سانتیمتر و آجر فشاری با مقاومت حرارتی ۰,۱ به ضخامت ۶ سانتیمتر، لایه گچ و خاک به عمق ۲ سانتی مترو لایه گچ و نقاشی به ضخامت ۰,۵سانتیمتر؛مدل‌سازی شده است. ضریب انتقال حرارت سطحی این دیوار (U-Value) با مشخصات مذکور، توسط نرم‌افزار برابر ۱,۸۴۷w/m^2k محاسبه می‌گردد.

Internal Heat Capacity (kj/m^2-k) = 38.12

R-Value=0.542m^2-k/w

U-Value=1.847



شکل (۷) دیوار خارجی شبیه‌سازی شده آجری

دیوار داخلی معمولی (Internal Wall):

دیوارهای داخلی (Partition) شامل دو لایه گچ و خاک به ضخامت ۲,۵ سانتیمتر، دو لایه گچ به ضخامت ۰,۵سانتیمتر و یک لایه دیوار آجری به ضخامت ۱۰سانتیمتر با مقاومت حرارتی ۰,۱ تشکیل شده است.

Internal Heat Capacity (kj/m^2-k) = 27.5

R-Value=0.495m^2-k/w

U-Value=2.02w/m^2.k

شکل (۸)دیوار داخلی شبیه‌سازی شده آجری

سقف و کف معمولی(Floors, Slab & Roof):

مشخصات پشت بام با سیستم طاق ضربی و پوکه معدنی به قرار زیر است:

موزاییک به ضخامت۲سانتیمتر، ملات به ضخامت ۲سانتیمتر، پوکه معدنی به ضخامت ۲سانتیمتر، آجر به ضخامت ۱۰ سانتیمتر، لایه گچ و خاک به ضخامت ۲,۵سانتیمترو لایه گچ به عمق ۱سانتیمترمی باشد. طبقه همکف در مجاورت با زمین شامل خـاک، مـلات و موزاییک با ضریب انتقال حرارت سطحی ۲,۱۳۲ است.

شکل (۹)سقف شبیه‌سازی شده طاق ضربی با پوکه معدنی

فرآیند بهینه‌سازی جدارهای خارجی با رس منبسط لیکا

در ساختمان تشریح شده با شرایط فوق، تغییراتی در جداره خارجی، پارتیشن‌ها و پشت بام اعمال گردید. این تغییرات به قرار زیر است:

دیوار خارجی عایق (External Wall):

به منظور بررسی تاثیر رس منبسط شده بر میزان مصرف انرژی ساختمان مورد مطالعه،تمامی دیوارهای پیرامونی با استفاده از بلوک سه جداره ۱۷,۵ لیکا با حذف ۲ لایه آجر و ملات میانی مدل‌سازی گردید. مشخصات دیوار جدید با سنگ نما(۲سانتیمتر)، ملات (۲سانتیمتر)، بلوک ۱۷,۵ با مقاومت حرارتی ۱ یک لایه گچ و خاک به ضخامت ۲ سانتیمتر و یک لایه گچ ۰,۵سانتیمتر به شرح زیر است.

Internal heat capacity (kj/m2-k) = 27.5

R-Value=1.354m^2-k/w

U-Value=0.739w/m^2.k

شکل (۱۰)دیوار خارجی شبیه‌سازی شده با بلوک رس منبسط

دیوار داخلی عایق (Internal Wall):

مشخصات دیوار داخلی (پارتیشن میانی) که در آن از رس منبسط شده استفاده گردیده و در اینجا محصول بلوک لیکا به ضخامت ۱۲ سانتی متر و مقاومت ۰,۹ می‌باشد، به شرح زیر است.

Internal heat capacity (kj/m^2-k) = 27.5

R-Value=1.295m^2-k/w

U-Value=0.772w/m^2.k

شکل (۱۱)دیوار داخلی شبیه سازی شده رس منبسط

سقف و کف عایق(Floors, Slab& Roof):

به منظور مشاهده تاثیر پوکه صنعتی بر مصرف انرژی ساختمان مدل شده، در سقف طاق ضربی از پوکه لیکا استفاده شده است که دارای ضریب انتقال حرارت سطحی ۰,۴۶۷w/m^2k می باشد.

شکل (۱۲)سقف شبیه‌سازی شده طاق ضربی با پوکه رس منبسط

جدول (۱) –مقایسه ضریب انتقال حرارت سطحی برای مصالح مورد بررسی در این پروژه

ضریب انتقال حرارت سطحیU-Value$(W/m^2.K)$

	دیوار بیرونی	پارتیشن	بام
بلوک لیکا	۰,۷۳۹	۰,۷۷۲	–
آجر	۱,۸۴۷	۲,۰۲	–
پوکه لیکا	–	–	۰,۴۶۷
پوکه معدنی	–	–	۲,۱۳۲

جدول (۲) – مقایسه مقاومت حرارتی سطحی برای مصالح مورد بررسی در این پروژه

مقاومت حرارتی سطحی R-Value (W/m^2.K)

	دیوار بیرونی	پارتیشن	بام
بلوک لیکا	۱,۳۵۴	۱,۲۹۵	–
آجر	۰,۵۴۲	۰,۴۹۵	–
پوکه لیکا	–	–	۲,۰۳۵
پوکه معدنی	–	–	۰,۶۹۴

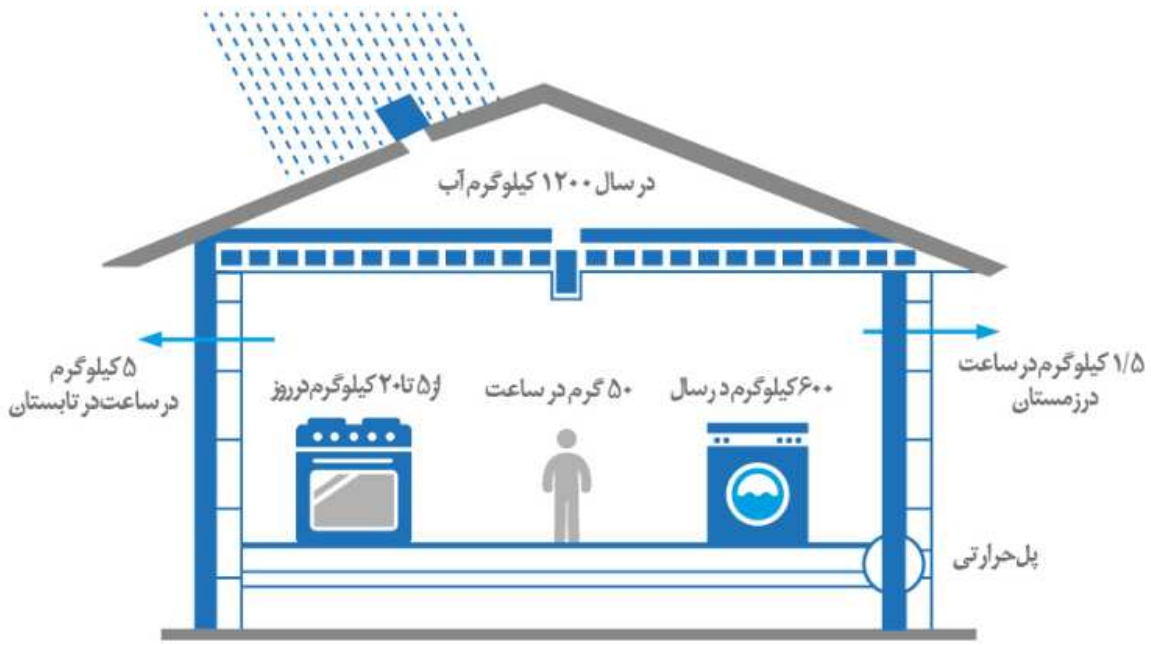
بررسی اثر مخرب میعان رطوبت داخل فضا روی جدار دیوار در فصول سرد سال:

بخارآب، پدیده میعان و بخاربندی:

یکی از عوامل مهم شرایط دو محیط داخل و خارج، ناشی از فشار جزیی هوا در محیط بسته است که تابع دما و رطوبت نسبی آن است. بدیهی است که هرچه درجه حرارت بیشتر باشد، فشار جزیی هوا نیز بیشتر است و هرچه درصد رطوبت یا رطوبت نسبی آن محیط نیز بیشتر باشد فشار جزیی هوا نیز دوچندان می‌شود. لذا بخار آب ناشی از این دو عامل، درجه حرارت و رطوبت نسبی هوا تحت فشار از طرف محفظه گرم‌تر به طرف محفظه سردتر نفوذ کرده و به شکل گاز یا مولکولی از لایه‌های یک جدار جداکننده عبور می‌کند و در مواقعی که درجه حرارت این مخلوط، در هر مقطع به درجه حرارت اشباع برسد، بخار آب رسوب کرده، متمرکز شده و نهایتا به نقطه میعان می‌رسد.

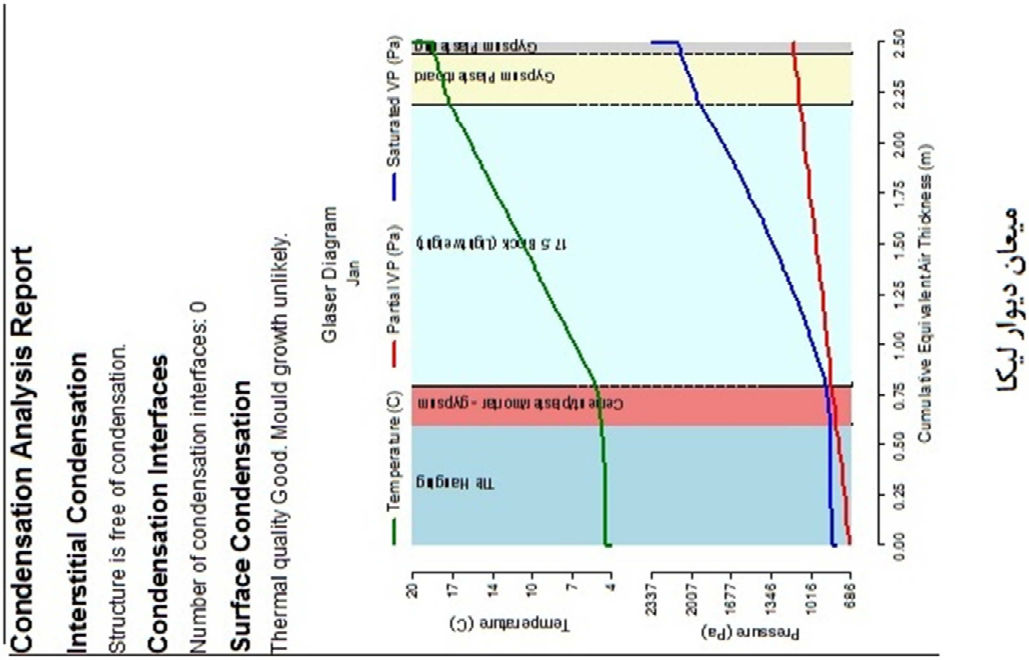
تمامی مصالح ساختمانی متخلخل دارای ضریب نفوذپذیری بخار آب مشخصی هستند. میزان این ضریب تابعی از دما و رطوبت است. میزان بخارآبی که از یک پوسته ساختمانی در واحد زمان عبور می‌کند با اختلاف فشار نسبی بخار آب در دوطرف پوسته متناسب است. لازم به ذکر است که با افزایش مقدار دما و یا رطوبت نسبی هوا، فشار نسبی بخارآب نیز افزایش می‌یابد. تغییرات فشار نسبی بخار آب در قسمت‌های مختلف پوسته به ضریب نفوذپذیریبخارآب هر لایه بستگی دارد. اگر در نقاطی از پوسته، فشار نسبی بخار آب مساوی با فشار نسبی بخار آب در حالت اشباع باشد، میعان در آن نقاط اتفاق خواهد افتاد. بطور کلی در قسمت‌هایی از پوسته که افت حرارتی قابل توجهی اتفاق می‌افتد، لازم است ترتیبی اتخاذ گردد که افت فشار نسبی بخار آب در همان قسمت و یا قبل از آن، تا حدی که از برزو میعان جلوگیری نماید؛صورت پذیرد. لازم به ذکر است که میعان سبب اختلال ساختار شیمیایی یا مشخصات فیزیکی مصالح و سیستم‌های بکار رفته در پوسته شده و منجر به ترک‌خوردگی، شوره، طبله و از بین رفتن خاصیت عایق حرارتی می‌شود.

اگرچه با در نظر گرفتن ساختار مصالح به کاررفته در این پروژه، بر روی هیچکدام از دیوارهای آجری و لیکا میعان صورت نمـی‌گیـرد؛ اما با توجه به نمودار شکل (۱۰) در دیوار لیکا به علت افت بیشتر انتقال حرارت، و اختلاف بیشتر فشار نسبی بخار آب با فشار نسـبی بخار آب در حالت اشباع، احتمال ایجاد میعان در پوسته داخلی کمتر از آجر فشرده بوده و در صورت اسـتفاده از لیکـادر اقلـیم سـرد و مرطوب، رنگ و گچ دیوار دچار تخریب نمی‌شود.

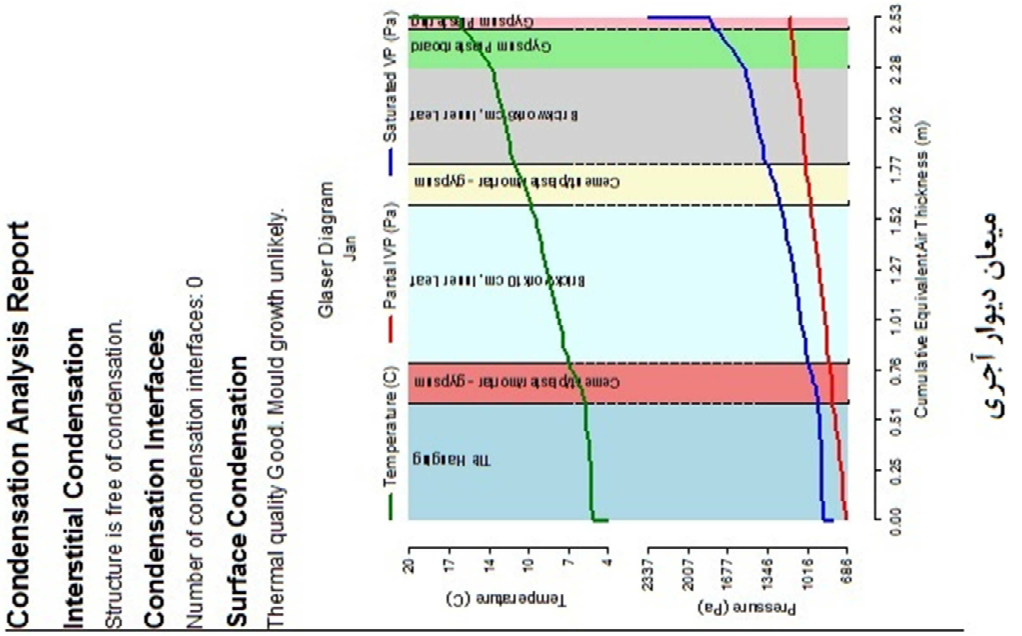


شکل(۱۳) تعرق و تنفس ناشی از فعالیت و تجمع ساکنان ساختمان،

جذب و دفع آن در مصالح اعم از بنایی تا مبلمان و نیز کج‌باران



میعان دیوار لیکا



میعان دیوار آجری

شکل(۱۴)مقایسه میعان دیوار آجری با دیوار رس منبسط

تحلیل نتایج محاسبات و خروجی‌های نرم‌افزار

پس از اعمال تغییرات مورد نظر روی پوسته خارجی ساختمان و انجام محاسبات بار حرارتی، بار برودتی و نیز راه‌اندازی شبیه ساز مصرف انرژی سالانه نرم‌افزار دیزاین بیلدر که مبتنی بر فایل پروفیل تغییرات آب و هوایی یکساله اقلیم تهران و موتور محاسباتی معتبر انرژی پلاس می‌باشد؛ هم‌اینک نوبت به ارائه نتایج استخراج شده از عمل شبیه سازی می‌باشد.

آنالیز محاسبات بار حرارتی – Heating Design

با توجه به افزایش مقاومت حرارتی پوسته خارجی در حالت دوم، افزایش دمای تابشی به میزان۱٫۸°C و افزایش دمای کاربردی مورد نیاز جهت رسیدن به دمای آسایش۰٫۹°C صورت میگیرد. به همین علت میزان گرمای مورد نیاز جهت رسیدن به دمای آسایش در ساختمان با رس منبسط ۳۲ ٪ نسبت به ساختمان آجری کاهش می‌یابد.

Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output

Air Temperature (°C)	22.57
Radiant Temperature (°C)	17.17
Operative Temperature (°C)	19.87
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-3.60
Glazing (kW)	-7.05
Walls (kW)	-22.34
Ceilings (int) (kW)	-0.87
Floors (int) (kW)	0.87
Ground Floors (kW)	-0.40
Partitions (int) (kW)	0.00
Roofs (kW)	-5.78
External Infiltration (kW)	-9.08
Zone Sensible Heating (kW)	44.63

جدول طراحی گرمایش و هدررفت ساختمان با پوسته آجری و پوکه معدنی

EnergyPlus Output

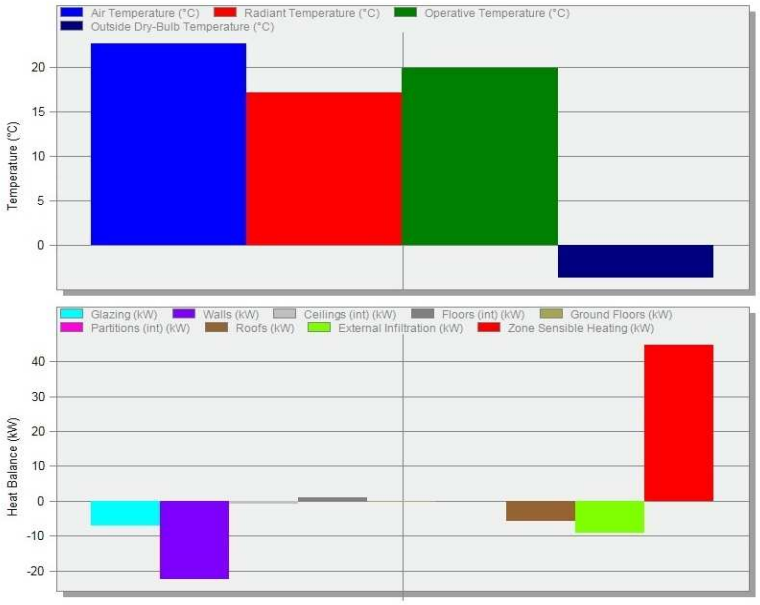
Temperature and Heat Loss

Air Temperature (°C)	22.57
Radiant Temperature (°C)	18.97
Operative Temperature (°C)	20.77
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-3.60
Glazing (kW)	-7.35
Walls (kW)	-10.98
Ceilings (int) (kW)	-0.14
Floors (int) (kW)	0.14
Ground Floors (kW)	-0.77
Roofs (kW)	-2.09
External Infiltration (kW)	-9.13
Zone Sensible Heating (kW)	30.30

جدول طراحی گرمایش و هدررفت ساختمان با پوسته خارجی رس منبسط شده

شکل (۱۵) مقایسه خروجی طراحی گرمایش و هدررفت

بنابراین باکاهش گرمای مورد نیاز و افزایش مقاومت حرارتی پوسته خارجی ساختمان، تقلیل اتلاف حرارت از دیوار به میـزان ۵۰٫۸ ٪ و کاهش هدررفت گرما از سقف به میزان ۶۳٫۸ ٪ صورت می‌پذیرد.



طراحی گرمایش و هدررفت ساختمان با پوسته خارجی آجر و پوکه معدنی

طراحی گرمایش و هدررفت ساختمان با پوسته خارجی رس منبسط شده

شکل (۱۶) مقایسه گرمایش مورد نیاز و هدررفت از پوسته خارجی لیکا و آجر در سردترین روز سال

Brick Result - Residential Building, Brickwork Building

EnergyPlus Output — 1 Jan - 31 Dec, Monthly — Unlicensed

Month												
Room Electricity (kWh)	706.76	638.36	706.76	683.96	706.76	683.96	706.76	706.76	683.96	706.76	683.96	706.76
Room Gas (kWh)	802.51	724.85	802.51	776.62	802.51	776.62	802.51	802.51	776.62	802.51	776.62	802.51
Lighting (kWh)	215.05	189.35	199.51	193.49	199.26	190.10	197.69	198.82	193.05	201.29	198.91	213.48
System Fans (kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	165.61	171.13	171.13	165.61	0.00	0.00	0.00
System Pumps (kWh)	40.53	33.21	31.94	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	29.13	38.85
Electricity (kWh)	966.47	864.10	940.12	877.57	906.14	1060.79	1097.41	1098.54	1063.73	908.17	913.70	962.71
Gas (kWh)	24511.56	19140.94	12423.46	1281.50	1293.46	1222.36	1241.95	1234.94	1202.90	1265.73	11075.76	21810.49
Heating (Electricity) (kWh)	4.12	3.17	1.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	3.62
Heating (Gas) (kWh)	23166.80	17919.17	11078.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9821.32	20486.03
Cooling (Electricity) (kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.00	21.70	21.70	21.00	0.00	0.00	0.00
DHW (Gas) (kWh)	542.25	496.93	542.66	504.88	490.95	445.74	439.44	432.43	426.28	463.22	477.82	521.95
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	3.89	4.98	10.66	16.30	21.74	28.25	29.87	30.07	25.90	17.79	11.42	5.59
Glazing (kWh)	-3054.10	-2680.64	-2327.10	-1600.91	-1336.32	289.31	408.95	358.35	38.57	-1588.04	-2197.93	-2773.66
Walls (kWh)	-8701.29	-6932.12	-4750.78	-2324.75	-559.70	5687.58	6050.26	6401.95	4439.71	-2123.47	-4618.34	-7791.09
Ceilings (int) (kWh)	8.84	67.19	247.04	417.17	685.79	496.22	342.74	353.14	303.88	671.91	384.85	73.33
Floors (int) (kWh)	-1.20	-114.63	-314.78	-467.08	-1096.62	-147.21	-346.78	-395.96	-149.17	-573.07	-386.44	-32.65
Ground Floors (kWh)	-1101.24	-1130.36	-1537.06	-1685.36	-2516.19	-2252.91	-2548.37	-2654.46	-2160.22	-2174.54	-1778.59	-1187.88
Partitions (int) (kWh)	0.17	-3.61	-6.32	0.25	-58.96	56.03	-5.55	-1.05	22.44	5.47	-7.61	0.67
Roofs (kWh)	-2386.62	-1706.97	-849.88	-189.43	464.10	2436.60	2427.15	2504.78	1703.50	-482.47	-1244.03	-2186.17
External Infiltration (kWh)	-4586.74	-3966.31	-3176.39	-1853.88	-1486.36	983.36	1136.29	1131.18	669.73	-1881.96	-3056.95	-4198.09
General Lighting (kWh)	215.05	189.35	199.51	193.49	199.26	190.10	197.69	198.82	193.05	201.29	198.91	213.48
Miscellaneous (kWh)	706.76	638.36	706.76	683.96	706.76	683.96	706.76	706.76	683.96	706.76	683.96	706.76
Catering Gains (kWh)	722.26	652.36	722.26	698.96	722.26	698.96	722.26	722.26	698.96	722.26	698.96	722.26
Occupancy (kWh)	365.30	326.91	345.90	330.30	249.23	304.61	292.62	293.70	334.15	320.48	329.00	361.98
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	4094.33	4126.54	4381.56	3738.89	3574.90	3346.13	3488.28	3876.27	4596.35	4956.55	5373.58	4015.49
Zone Sensible Heating (kWh)	10183.83	7833.63	4763.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4228.69	8961.47
Zone Sensible Cooling (kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-14704.21	-13993.06	-14479.96	-14199.55	0.00	0.00	0.00
Radiant + Convective Heating (kWh)	13236.37	10178.12	6161.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5458.69	11634.77
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ac/h)	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	10.41	10.49	10.52	10.42	0.72	0.73	0.74

شبیه سازی ماهانه ساختمان با پوسته خارجی آجری و پوکه معدنی

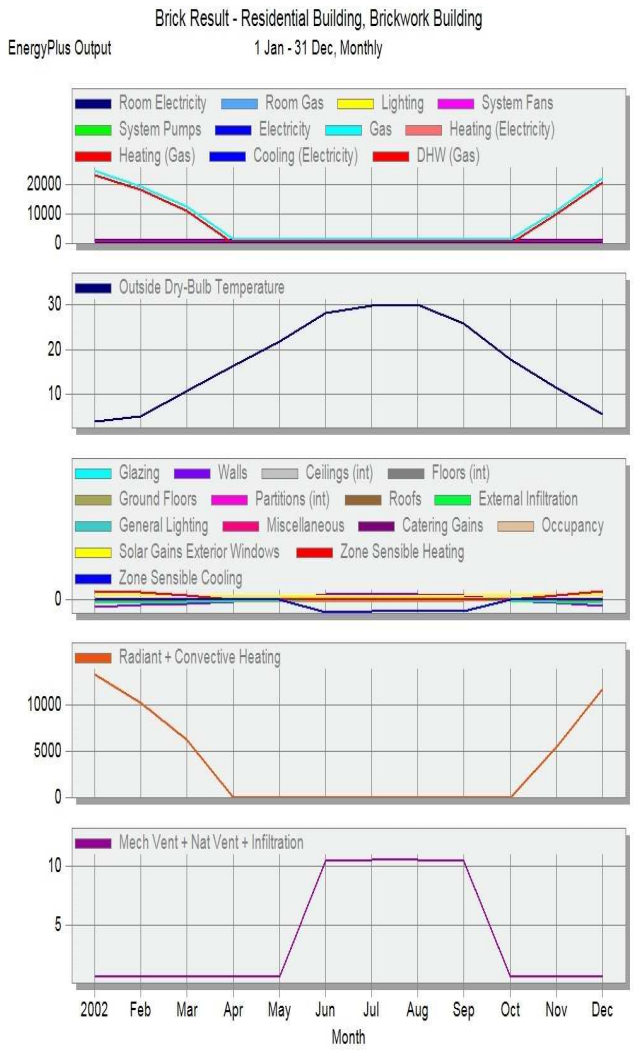
شکل(۱۷) خروجی آنالیز مصرف انرژی ماهانه ساختمان با پوسته خارجی آجری و پوکه معدنی

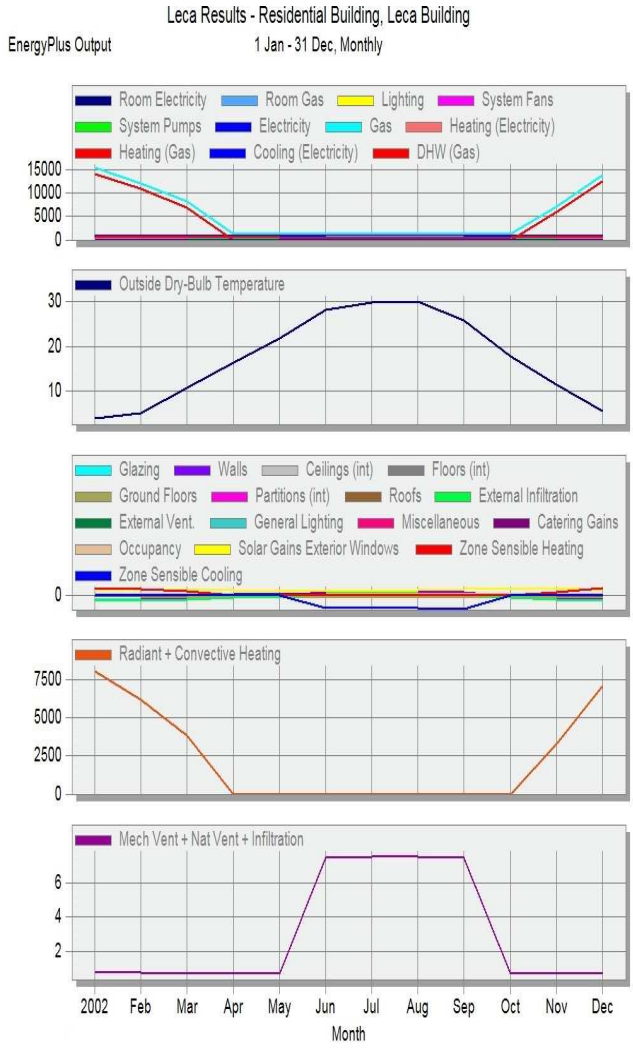
Leca Results - Residential Building, Leca Building

EnergyPlus Output — 1 Jan - 31 Dec, Monthly — Unlicensed

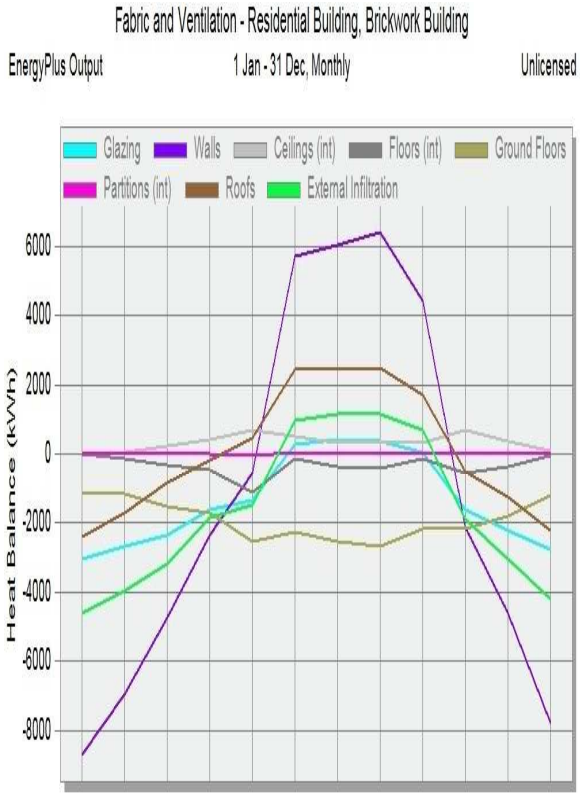
Month												
Room Electricity (kWh)	706.76	638.36	706.76	683.96	706.76	683.96	706.76	706.76	683.96	706.76	683.96	706.76
Room Gas (kWh)	802.51	724.85	802.51	776.62	802.51	776.62	802.51	802.51	776.62	802.51	776.62	802.51
Lighting (kWh)	215.04	189.34	199.51	193.49	199.26	190.10	197.69	198.82	193.05	201.29	198.90	213.47
System Fans (kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	115.58	119.43	119.43	115.58	0.00	0.00	0.00
System Pumps (kWh)	30.95	25.50	24.76	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	23.77	29.10
Electricity (kWh)	955.95	855.68	932.56	877.57	906.14	1010.76	1045.71	1046.84	1013.71	908.17	907.94	952.14
Gas (kWh)	15570.51	12250.24	8301.08	1281.45	1292.88	1222.50	1242.01	1234.41	1202.98	1265.34	7205.64	13906.73
Heating (Electricity) (kWh)	3.20	2.47	1.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31	2.82
Heating (Gas) (kWh)	14224.12	11026.76	6956.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5950.85	12579.05
Cooling (Electricity) (kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.00	21.70	21.70	21.00	0.00	0.00	0.00
DHW (Gas) (kWh)	543.88	498.63	541.70	504.83	490.37	445.88	439.50	431.90	426.36	462.83	478.17	525.17
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	3.89	4.98	10.66	16.30	21.74	28.25	29.87	30.07	25.90	17.79	11.42	5.59
Glazing (kWh)	-3273.35	-2871.39	-2515.81	-1818.27	-1468.67	454.71	584.34	527.05	123.82	-1874.00	-2447.18	-2976.56
Walls (kWh)	-4121.56	-3309.15	-2338.51	-1279.46	-435.25	2643.22	2807.46	2957.29	1985.01	-1278.93	-2359.84	-3738.73
Ceilings (int) (kWh)	54.17	69.92	138.09	232.59	353.30	118.61	83.17	95.40	71.32	323.89	201.59	71.30
Floors (int) (kWh)	-54.26	-77.24	-149.44	-233.36	-435.05	-34.52	-89.08	-99.54	-44.69	-320.46	-205.35	-67.20
Ground Floors (kWh)	-1305.52	-1289.19	-1629.29	-1652.06	-2230.26	-1938.15	-2184.36	-2277.34	-1950.18	-2095.83	-1850.37	-1372.18
Partitions (int) (kWh)	-0.06	-4.22	-7.50	-0.03	-57.23	63.95	-6.69	-0.86	21.52	-3.59	-4.76	1.47
Roofs (kWh)	-963.66	-702.98	-389.52	-164.69	77.94	948.87	942.59	972.32	653.11	-304.88	-559.76	-891.23
External Infiltration (kWh)	-4750.87	-4119.80	-3356.96	-2083.70	-1606.40	1104.13	1275.24	1271.00	718.98	-2173.90	-3303.58	-4366.67
External Vent. (kWh)	-15.80	-15.79	-17.62	-0.75	-1.38	-0.18	-0.13	-0.08	-0.15	-1.57	-15.33	-16.07
General Lighting (kWh)	215.04	189.34	199.51	193.49	199.26	190.10	197.69	198.82	193.05	201.29	198.90	213.47
Miscellaneous (kWh)	706.76	638.36	706.76	683.96	706.76	683.96	706.76	706.76	683.96	706.76	683.96	706.76
Catering Gains (kWh)	722.26	652.36	722.26	698.96	722.26	698.96	722.26	722.26	698.96	722.26	698.96	722.26
Occupancy (kWh)	355.34	315.88	328.37	299.64	226.61	320.46	312.57	313.77	341.29	280.97	305.43	350.86
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	4094.76	4127.02	4382.11	3739.40	3576.20	3348.08	3489.85	3876.98	4596.73	4957.09	5374.04	4015.88
Zone Sensible Heating (kWh)	6182.92	4778.48	2977.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2550.56	5448.22
Zone Sensible Cooling (kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-10665.49	-10121.24	-10443.35	-10817.06	0.00	0.00	0.00
Radiant + Convective Heating (kWh)	8024.94	6193.99	3845.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3283.37	7061.38
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ac/h)	0.75	0.75	0.74	0.72	0.72	7.43	7.49	7.51	7.45	0.72	0.74	0.75

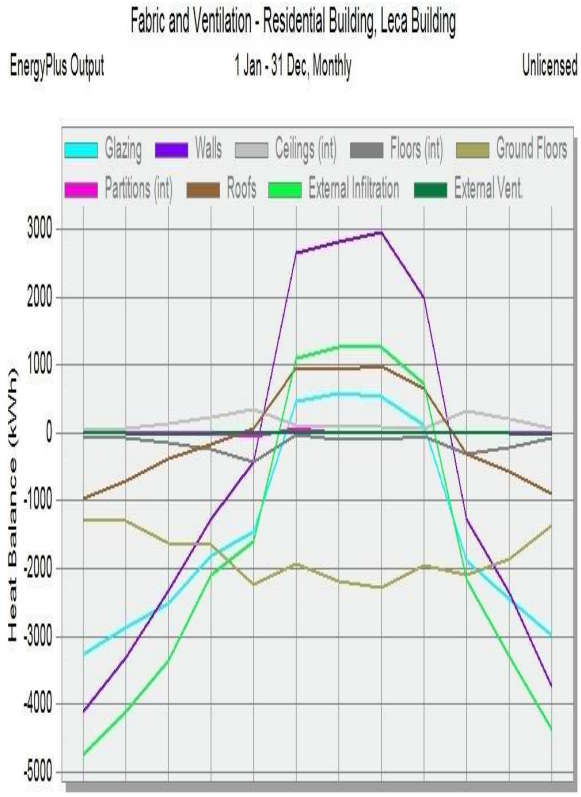
شکل(۱۸) خروجی آنالیز مصرف انرژی ماهانه ساختمان با پوسته خارجی رس منبسط





شکل(۱۹)مقایسه نمودارهای تفکیکی نتایج شبیه‌سازی ماهانه





شکل(۲۰)مقایسه هدررفت پوسته خارجی آجر و رس منبسط

تحلیل و بررسی نتایج شبیه سازی ماهانه

با استناد به داده‌های خروجی نرم‌افزار، بار گرمایش جهت رسیدن به دمای آسایش تعریف شده در زمستان، در ماه ژانویه (۱۱دی الی ۱۱ بهمن) به بیشترین مقدار خود می‌رسد. با تعویض نوع پوسته خارجی به میزان ۴۰۰۰ کیلووات ساعت یا به عبارت دیگر با استفاده از رس منبسط شده، تا ۳۹٪ از بار محاسبه شده گرمایش کاسته می‌شود. بنابراین کاهش هدر رفت انرژی تامین شده توسط سیستم تهویه مطبوع در فصول سرد و گرم در دیوار رس منبسط، نسبت به دیوار آجری قابل ملاحظه است. به عنوان مثال در ماه ژانویه (۱۱ دی الی ۱۱ بهمن) هدررفت انرژی به میزان ۵۲٪ کاسته شده و پیرو این موضوع میزان کاهش مصرف گاز سیستم گرمایش در این ماه معادل ۸۹۴۱KWh می‌باشد و یا به عبارت دیگر موجب ۳۶٪ صرفه جویی در سردترین ماه سال خواهد شد.

همچنین با استفاده از پوسته خارجی بهینه شده، بار سرمایشی مورد نیاز جهت رسیدن به دمای آسایشی تابستاندر ماه آگوستبا ۲۷٪ کاهش به عدد ۴۰۳۸,۷ کیلووات می‌رسد.بیشترین هدررفت انرژی از سقف طاق ضربی با پوکه معدنی در ماه آگوست (۱۰ مرداد الی ۱۰ شهریور) به میزان ۲۵۰۴,۷۸کیلووات ساعت صورت می‌گیرد که با بهره‌گیری از رس منبسط با ضخامت مشابه این عدد به ۹۷۲,۳۲ کیلووات ساعت تغییر می‌یابد. به عبارت دیگر با تغییر تنها یک لایه از پشت بام ۶۱٪ کاهش جذب گرمای نامطلوب ساختمان صورت می‌پذیرد.

Brick Result - Residential Building, Brickwork Building

EnergyPlus Output | 1 Jan - 31 Dec, Annual | Unlicensed

	Year
Room Electricity (kWh)	8321.51
Room Gas (kWh)	9448.91
Lighting (kWh)	2390.00
System Fans (kWh)	673.47
System Pumps (kWh)	174.52
Electricity (kWh)	11659.45
Gas (kWh)	97705.06
Heating (Electricity) (kWh)	14.53
Heating (Gas) (kWh)	82471.61
Cooling (Electricity) (kWh)	85.40
DHW (Gas) (kWh)	5784.54
Glazing (kWh)	-16463.51
Walls (kWh)	-15222.03
Ceilings (int) (kWh)	4052.12
Floors (int) (kWh)	-4025.57
Ground Floors (kWh)	-22727.19
Partitions (int) (kWh)	1.94
Roofs (kWh)	490.56
General Lighting (kWh)	2390.00
Miscellaneous (kWh)	8321.51
Catering Gains (kWh)	8504.02
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	49568.89
Zone Sensible Heating (kWh)	35971.45
Zone Sensible Cooling (kWh)	-57376.77
Radiant + Convective Heating (kWh)	46669.48

شکل(۲۱)خروجی جداول آنالیز مصرف انرژی سالانه ساختمان آجری با پوکه معدنی

Leca Results - Residential Building, Leca Building

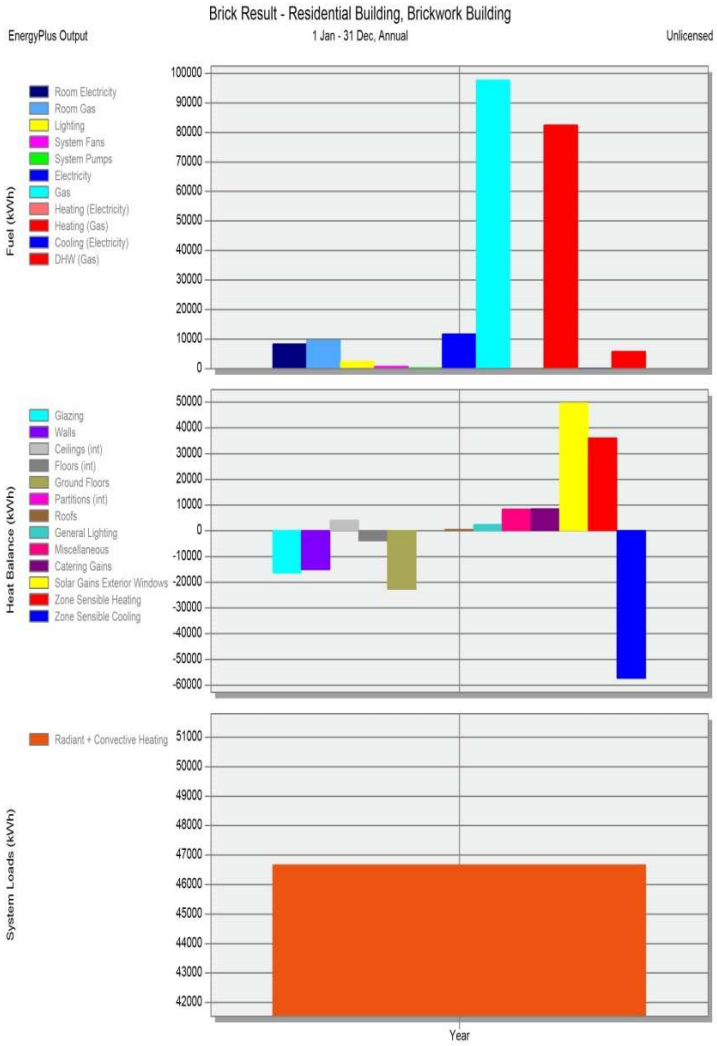
EnergyPlus Output | 1 Jan - 31 Dec, Annual | Unlicensed

	Year
Room Electricity (kWh)	8321.51
Room Gas (kWh)	9448.91
Lighting (kWh)	2389.97
System Fans (kWh)	470.03
System Pumps (kWh)	134.94
Electricity (kWh)	11413.18
Gas (kWh)	65975.78
Heating (Electricity) (kWh)	11.33
Heating (Gas) (kWh)	50737.64
Cooling (Electricity) (kWh)	85.40
DHW (Gas) (kWh)	5789.23
Glazing (kWh)	-17555.31
Walls (kWh)	-8468.43
Ceilings (int) (kWh)	1813.37
Floors (int) (kWh)	-1810.17
Ground Floors (kWh)	-21774.71
Partitions (int) (kWh)	2.01
Roofs (kWh)	-381.91
External Vent. (kWh)	-84.86
General Lighting (kWh)	2389.97
Miscellaneous (kWh)	8321.51
Catering Gains (kWh)	8504.02
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	49578.15
Zone Sensible Heating (kWh)	21937.51
Zone Sensible Cooling (kWh)	-42047.14
Radiant + Convective Heating (kWh)	28408.79

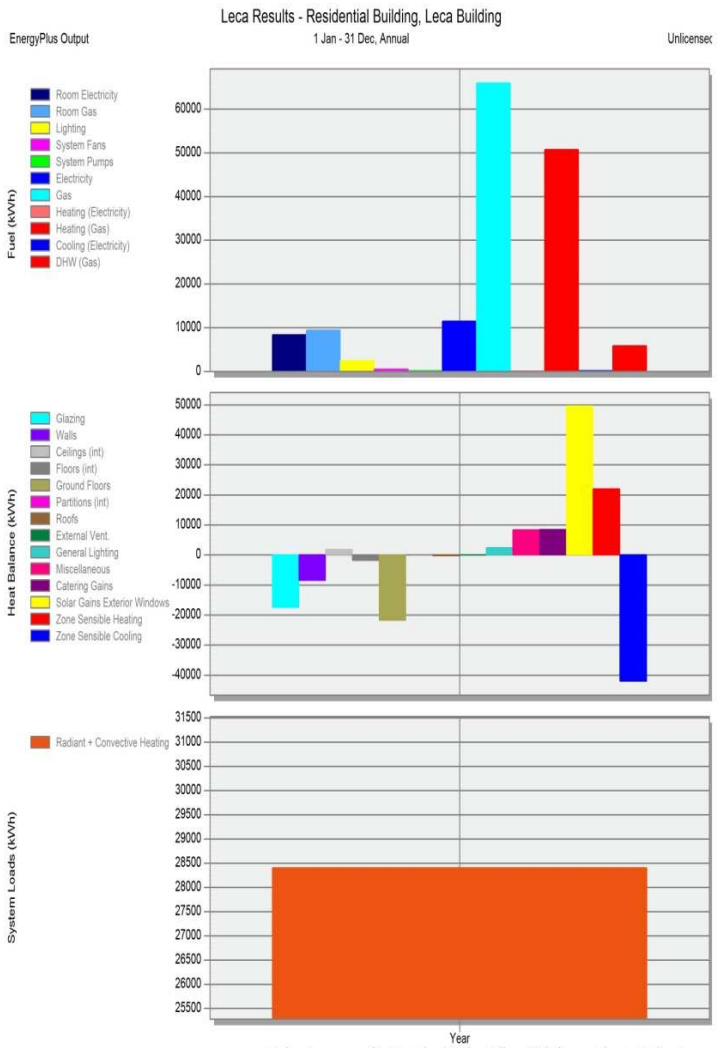
شکل(۲۲)خروجی جداول آنالیز مصرف انرژی سالانه ساختمان باپوسته رس منبسط

جدول(۳) مقایسه کاهش هدررفت و مصرف انرژی در قسمت‌های مختلف ساختمان آجری و رس منبسط

(kWh)	BRICKWORKK	LECA	Reduction (%)
SYSTEM FANS	673.47	470.03	-30.2%
SYSTEMPUMPS PUMPS	174.52	134.94	-22.67
ELECTRICITY	11659.45	11413.18	-2.11
GAS	97705	65975.78	-32.47
HEATIN ELEC	14.53	11.33	-22
HEATING GAS	82471.61	50737.64	-38.47
COOLINGELEC	85.40	85.40	-
WALLS	-15222.03	-8468.43	-44.36
CEILINGS	4052.57	1813.37	-55.25
FLOOR	-4052.57	-1813.37	-55.25
PARTITION	1.94	-21774.71	-
ROOFS	-490.56	-381.91	-22.14
ZONESENSIBLE HEATING	35971.45	21937.51	-39
ZONESENSIBLE COOLING	-57376.77	42047.14	-26.7
RADIANT+CONVECTIVE HEATING	46669.48	28408.79	-39.12



نمودار شبیه سازی مصرف انرژی سالانه ساختمان با پوسته خارجی آجر و پوکه معدنی



نمودار شبیه سازی مصرف انرژی سالانه ساختمان با پوسته خارجی رس منبسط شده

شکل(۲۳)مقایسه خروجی نمودار شبیه‌سازی سالانه انرژی به تفکیک

تحلیل و بررسی نتایج شبیه سازی سالانه

طبق نتایج مندرج در جدول ذیل میزان کاهش هدر رفت انرژی سالانه از دیوار رس منبسط شده نسبت به دیـوار آجـری، ۴۴,۳۶ ٪ و کاهش اتلاف انرژی از کف طبقات و پشت بام در بازه یکساله به ترتیب معادل ۵۵ ٪ و ۲۲,۱۴ ٪ خواهد بود.

با استناد به جدول (۴)، این نتیجه حاصل می‌گردد که کاهش انرژی موردنیاز برای غلبه بر بار سرمایش ساختمان در فصول گرم سال (Zone Sensible Cooling) معادل ۲۶٫۷ ٪ می‌باشد و همین مساله موجب کاهش ۳۰٫۲ ٪ انرژی مصرف شده توسط الکتروموتور بلوور فن دستگاه کولر آبی مدل شده برای ساختمان گردیده است. از سوی دیگر با توجه به اعداد مندرج در جدول ذیل که مربوط به طراحی نرخ حجم هوا دهی کولر آبی، برای تامین برودت مورد نیاز ساختمان می‌باشد می‌توان تا ۳۰ ٪ ظرفیت سیستم برودتی را کاهش داد.

جدول۴

System Design Air Flow Rates Comparison:

Brick Building	Calculated cooling [m^3/s]	User cooling [m^3/s]
EVAPORATIVE COOLING	7.10	7.10

Leca Building	Calculated cooling [m^3/s]	User cooling [m^3/s]
EVAPORATIVE COOLING	4.95	4.95

همچنین با عنایت به جدول (۴) کاهش انرژی موردنیاز برای غلبه بر بار گرمایش ساختمان در فصول سرد سال (Zone Sensible Heating) معادل ۳۹ ٪ می‌باشد و این بدان معنی است که می‌توان مقدار گرمای ناشی از تابش و همرفت مربوط به تجهیزات گرمایشی داخل ساختمان (رادیاتور) را ۳۹ ٪ کاهش داد. حال آنکه با توجه به اعداد بدست آمده از جدول (۴) در مقدار انرژی مصرف شده توسط سیستم پمپاژ مدار چرخش آب گرم سیستم تهویه مطبوع؛ ۲۲٫۶۷ ٪ صرفه جویی می‌گردد.

یکی از مهمترین نکات حائز اهمیت در بهینه سازی پوسته خارجی ساختمان، کاهش انرژی ناشی از صرفه جویی حاصل شده در مصرف سوخت مشعل دیگ آبگرم می‌باشد که نتیجه این اصل با مشاهده تغییر ۳۸٫۴۷ درصدی در آیتم (Heating Gas) جدول مذکور قابل مشاهده است.

استخراج این داده‌ها از جداول شبیه‌سازی مصرف انرژی سالانه مهر تائیدی بر صحت نتایج اخذ شده در رابطه با تاثیر پوسته خارجی ساختمان روی میزان اتلاف انرژی دارد که در ابتدای این بخش بدان اشاره گردید.

مقایسه بلوک عرض ۱۵ و ۱۷,۵ سانتیمتری لیکا

جهت مقایسه تاثیر ضخامت جداره بیرونی، بلوک ۱۷,۵ سانتیمتری لیکا با بلوک ۱۵ سانتیمتری جایگزین می‌گردد.

جدول (۵) مقایسه بلوک ۱۷,۵ و ۱۵ سانتیمتری لیکا

	U-Value (W/m^2K)	مصرف گاز سالیانه (m^3)	مصرف برق سالیانه (Kwh)	انتشار CO_2 (کیلوگرم)
دیوار لیکا (۱۷,۵)	۱,۸۴۷	۹۷۷۰	۱۱۶۵۹	۲۷۰۳۹
دیوار لیکا (۱۵)	۲,۱۵۶	۱۰۷۹۰	۱۱۹۳۰	۲۹۲۱۷
	+14%	**+9.5%**	**+2.2%**	**+7.5%**

تغییر ضخامت ۲,۵ سانتیمتری دیوار پیرامونی منجر به افزایش ضریب انتقال حرارت سطحی به میزان ۱۴ درصد می‌گردد. افزایش مصرف ۹,۵ درصدی گاز، ۲,۲ درصدی برق و انتشار ۷,۵ درصدی دی اکسید کربن سالانه به علت همین امر می‌باشد.ساختمان فوق الذکر با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر جهت مقایسه مصالح سنتی و مصالح عایق مانند رس منبسط ، مجددا مدل‌سازی گردید.

دیوارهای مورد مقایسه با ضخامت ۱۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده و مقاومت حرارتی دیوارهای مصالح سنتی با این ضخامت، از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان طبق جدول ذیل استخراج گردید.

مقایسه تاثیر مصالح سنتی و رس منبسط لیکا در عایقسازی ساختمان

جدول(۶)مقایسه مقاومت حرارتی مصالح سنتی و رس منبسط

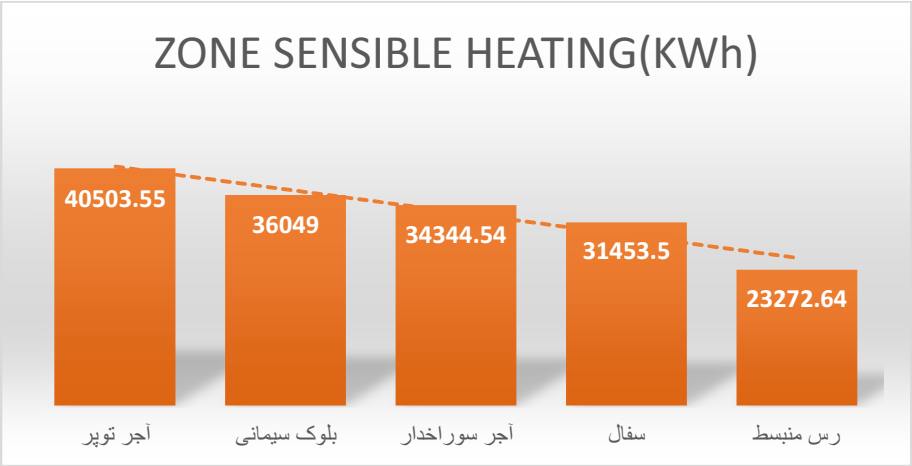
	آجر توپر	بلوک سیمانی	آجر سوراخدار	سفال	رس منبسط
مقاومت حرارتی (R)	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۱۹	۰,۳	۱,۰۵

پس از تغییر دیوارهای بیرونی و مدل‌سازی ضریب انتقال حرارت سطحی دیوارهای مقایسه شده به شرح زیر است.

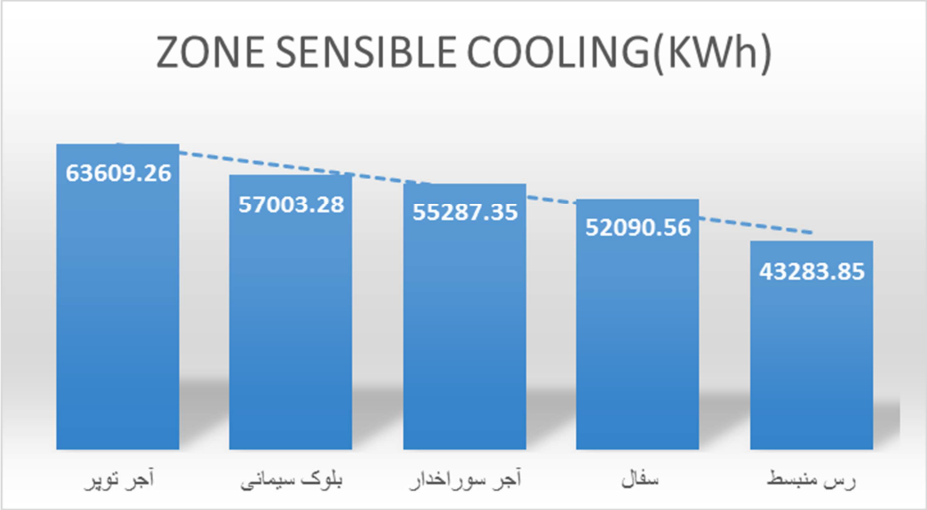
جدول(۷)مقایسه ضریب انتقال حرارت سطحی مصالح سنتی و رس منبسط

	آجر توپر	بلوک سیمانی	آجر سوراخدار	سفال	رس منبسط
ضریب انتقال حرارت سطحی (U-VALUE) (W/m^2-K)	۲,۱۵۶	۲,۰۲۵	۱,۸۳۸	۱,۵۲۹	۰,۷۱۲

با افزایش مقاومت حرارتی پوسته خارجی، میزان ورود و خروج حرارت از آن کاهش می‌یابد. به همین علت میزان انرژی مورد نیاز برای غلبه بر بار سرمایش ساختمان در فصول گرم و انرژی مورد نیاز برای غلبه بر بار گرمایش ساختمان در فصول سرد نیز مطابق شکل و تقلیل می‌یابد. طبق اشکال مذکور بلوک رس منبسط به عنوان عایق، قابلیت کاهش بار گرمایش تا ۴۲,۵ درصد و بار سرمایش تا ۳۲ درصد را نسبت به مصالح سنتی دارا می‌باشد.

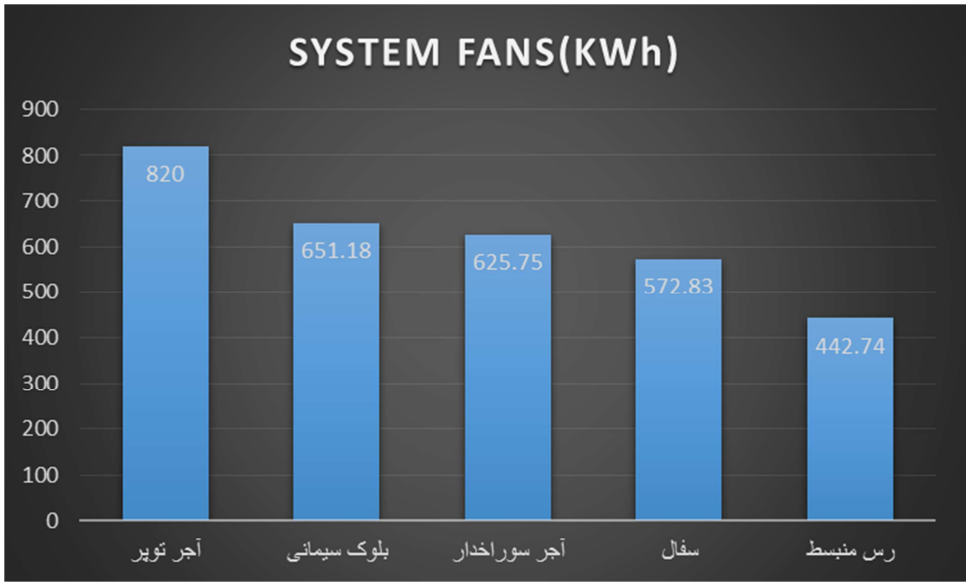


شکل(۲۴)مقایسه تاثیرات گرمایش مورد نیازپوسته های سنتی مختلف و پوسته رس منبسط بر سیستم تهویه مطبوع

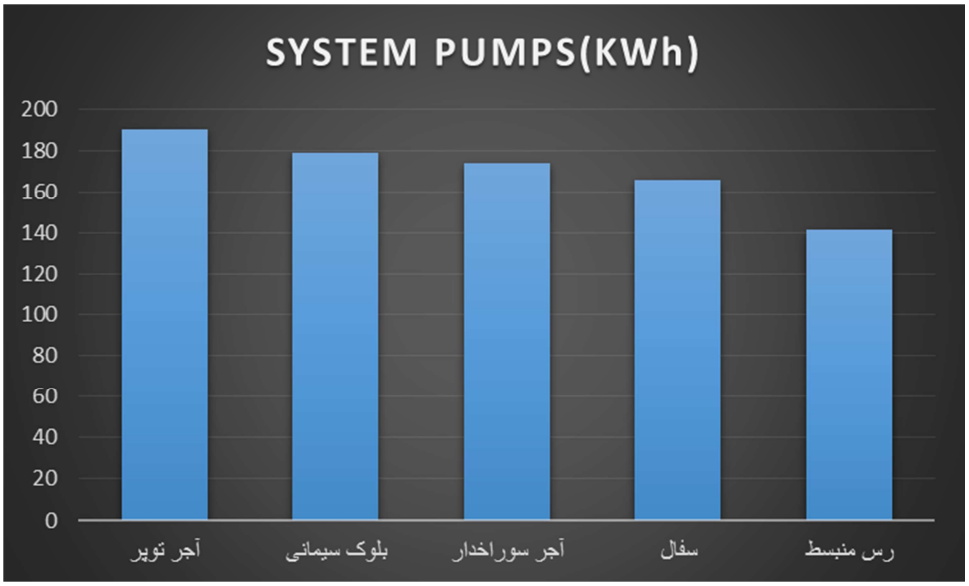


شکل(۲۵)مقایسه تاثیرات سرمایش مورد نیازپوسته‌های سنتی مختلف و پوسته رس منبسط بر سیستم تهویه مطبوع

واضح است که به دلیل کاهش بارهای گرمایش و سرمایش، انرژی مورد نیاز فن‌ها و پمپ‌های تامین‌کننده برودت و گرما نیز کاسته می‌گردد. شکل بیانگر مقایسه کاهش انرژی فن‌ها و پمپ ها در پوسته‌های خارجی مختلف در بازه یکساله می‌باشد.

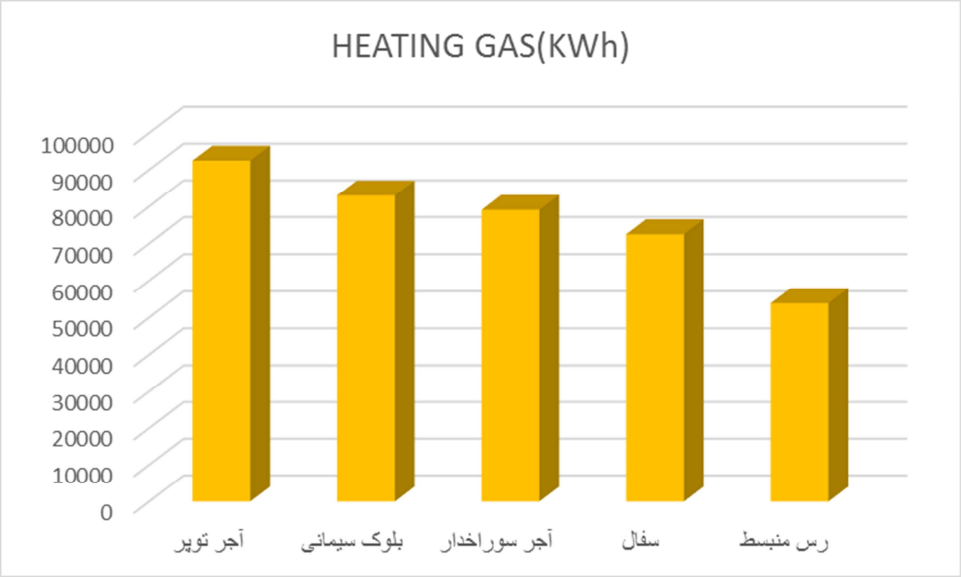


شکل(۲۶)مقایسه انرژی مورد نیاز فن‌های سیستم تهویه مطبوع پوسته‌های سنتی مختلف و پوسته رس منبسط



شکل(۲۷)مقایسه انرژی مورد نیاز پمپ‌های سیستم تهویه مطبوع پوسته‌های سنتی مختلف و پوسته رس منبسط

با کاهش انرژی مورد نیاز جهت غلبه بر بار سرمایش در فصول سرد و پمپ‌های تامین‌کننده، با افزایش مقاومت حرارتی دیوار و استفاده از مصالح عایق نیز درگاز مصرفی جهت گرمایش، صرفه‌جویی می‌گردد. شکل مقایسه کاهش مصرف گاز گرمایشی سالانه در ساختمان با پوسته‌های مختلف نشان می‌دهد.

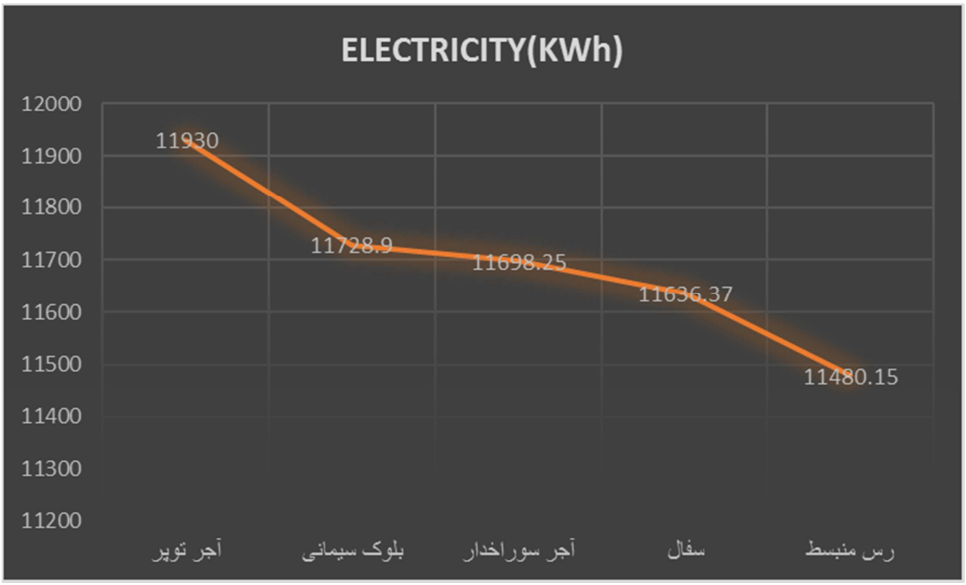


شکل(۲۸)مقایسه گاز مورد نیاز جهت تامین گرمایش سالانه پوسته‌هایسنتی و پوسته رس منبسط

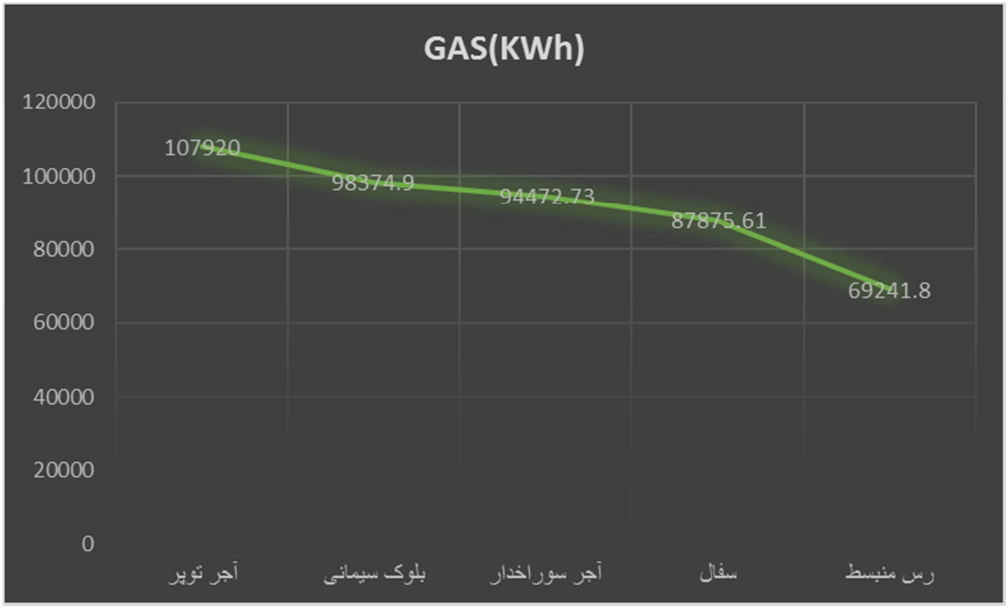
با عایق‌بندی دیوارهای خارجی ساختمان، میزان هدررفت سالانه انرژی از دیوار بـه میـزان قابـل تـوجهی کـاهش مـی‌یابـد. کـاهش هدررفت از دیوار خارجی در نمودار ۶ مقایسه شده است.

شکل(۲۹)مقایسه هدررفت انرژی پوسته‌هایسنتی و پوسته رس منبسط

نهایتا با افزایش مقاومت حرارتی دیوار خارجی و عایق نمودن آن میزان کـاهش مصـرف بـرق و گـاز در یـک دوره یکسـاله مطـابق نمودارهای ۷ و ۸ می باشد.



شکل(۳۰)مقایسه مصرف انرژی الکتریکی سالانه پوسته‌های مختلف



شکل(۳۱)مقایسه مصرف گاز سالانه پوسته‌های مختلف

مسلماً کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان که منجر به کاهش مصرف انرژی سالیانه می‌گردد، سبب کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در ساختمان با پوسته‌های گوناگون می‌گردد.

جدول(۸)خلاصه مقایسه کاهش مصرف انرژی یکساله ساختمان پوسته‌های سنتی با پوسته خارجی رس منبسط

	آجر توپر	بلوک سیمانی	آجر سوراخدار	سفال
Zone sensible heating	%42.5	%35.44	%32.2	%26
Zone sensible cooling	%31.9	%24	%21.7	%16.9
System pumps	%25.5	%21	%18.7	%14.6
System fans	%46	%32	%29.2	%22.7
Heatin gas	%41.8	%35	%32	%25.7
Walls	%54.3	%50.48	%47.25	%40.7
Electricity	%3.77	%2.12	%1.86	%1.34
Gas	%35.8	%29.6	%26.7	%21.2
CO_2	%26.87	%21.5	%19.17	%14.9

به منظور محاسبه میزان صرفه جویی در مصرف گاز و انتشار دی اکسید کربن به ازای تولید هر مترمکعب رس منبسط از سال ۱۳۶۱ تا سال ۱۳۹۲ مقایسه ای به شرح زیر صورت گرفت.

با توجه به متراژ رس منبسط مورد استفاده در ساختمان ممیزی شده (۷۵ متر مکعب) و با محاسبه میزان صرفه‌جویی مصرف گاز نسبت به آجر (۳۱۷۲۹,۲۸ کیلووات ساعت) و با تقسیم با برآورد تولید میزان رس منبسط از سال ۱۳۶۱ تا انتهای سال ۱۳۹۲ به تفکیک هر سال

هر مترمکعب رس منبسط ۱۱ متر مربع سطح بلوک را تشکیل میدهد. متراژ کل دیوارها ۵۶۷ مترمربع بوده و از طرف دیگر ۲۳ مترمکعب پوکه رس منبسط در سقف به کار برده شده است←(567/11) + 23 =75

متراژ رس منبسط در ساختمان ممیزی شده= ۷۵ مترمکعب

مصرف گاز سالیانه ساختمان آجری=97705.06 kwh

مصرف گاز سالیانه ساختمان با رس منبسط=65975.78 kwh

97705.06 - 65975.78= 31729.28 kwh

31729.28/75= 423 kwh

به عبارت دیگر به ازای هر مترمکعب رس منبسط (نسبت به آجر)423kwh (معادل 42.3m3) گاز صرفه‌جویی می‌گردد.

میزان تولید از سال ۱۳۶۱ تا انتهای سال ۱۳۹۲ به تفکیک هرسال برآورد شد. سپس میزان کاهش مصرف هرسال با ضرب عدد ۴۲۳ در میزان تولید آن سال به دست آمد. به عنوان مثال میزان تولید در سال ۱۳۶۱، ۷۰۰۰۰ مترمکعب بوده که با ضرب آن در ۴۲۳ عدد 29610000kwh به عنوان عدد صرفه جویی گاز در سال ۱۳۶۱ به دست می‌آید. با ضرب این عدد در ۳۱ سال و جمع آن با میزان صرفه جویی سال‌های بعد میزان صرفه‌جویی گاز طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۶۱ به دست می‌آید. حاصل انجام مجدد این پروسه با ضرب در ۳۲ سال و جمع سال‌های بعدی، عدد صرفه‌جویی در بازه ۱۳۹۲-۱۳۶۱ می‌باشد.

صرفه جویی مصرف گاز (۱۳۹۲-۱۳۶۱) به ازای هرمترمکعب (kwh)=۲۲،۰۸۴،۷۵۸،۰۹۰

صرفه جویی مصرف گاز (۱۳۹۱-۱۳۶۱) به ازای هرمترمکعب(kwh)=۲۰،۰۴۴،۱۱۶،۸۳۷

صرفه جویی مصرف گاز در سال ۱۳۹۲ به ازای هر مترمکعب (kwh)=۲،۰۴۰،۶۴۱،۲۵۳

با استفاده از این عدد مطابق جدول ذیل میزان صرفه جویی در ماه، روز، ساعت، دقیقه و ثانیه و همچنین برحسب مترمکعب گـاز بـه دست می‌آید.

مراحل فوق پس از ممیزی ساختمان با سفال و مقایسه با رس منبسط مجددا تکرار شد که نتایج آن در جدول ذیل قابل مقایسه است.

جدول(۹)مقایسه میزان صرفه جویی مصرف گاز به ازای هر متر مکعب دانه رس منبسط

	دیوارآجر+شیب بندی پوکه معدنی	دیوار سفال+شیب بندی پوکه معدنی
صرفه جویی مصرف گاز در یک سال(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۲۰۴۰۶۴۱۲۵۳	۱۸۵۰۱۰۱۶۲۵
صرفه جویی مصرف گاز در هر ماه(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۱۷۰۰۵۳۴۳۷,۸	۱۵۴۱۷۵۱۳۵,۴
صرفه جویی مصرف گاز در هر روز(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۵۶۶۸۴۴۷,۹۲۵	۵۱۳۹۱۷۱,۱۸۱
صرفه جویی مصرف گاز در هر ساعت(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۲۳۶۱۸۵,۳۳۰۲	۲۱۴۱۳۲,۱۳۲۵
صرفه جویی مصرف گاز در هر دقیقه(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۳۹۳۶,۴۲۲۱۷	۳۵۶۸,۸۶
صرفه جویی مصرف گاز در هرثانیه(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۶۵,۶	۵۹,۴۸
صرفه جویی مصرف گاز در هرثانیه برحسب مترمکعب به ازای هر مترمکعب پوکه لیکا	۶,۵	۵,۹۴

به ازای سوختن هر مترمکعب گاز ۱٫۸ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن منتشر می‌شود.

204,064,125m3 * 1.8=367,315,425kg Co2

5lit = مصرف متوسط بنزین یک خودرو در ایران

1825lit =مصرف سالیانه یک خودرو در ایران

ارزش حرارتی ۱٫۰۶۴ لیتر بنزین=ارزش حرارتی ۱ مترمکعب گاز

(1825/1.064)*1.8=3087 kg Co2=میزان دی اکسیدکربن منتشر شده از یک خودرودر سال

367,315,425 / 3087= 118,988 تعداد ماشین معادل هر مترمکعب رس منبسط درکاهش انتشار دی‌اکسیدکربن

جدول(۱۰)مقایسه میزان صرفه جویی مصرف برق به ازای هر متر مکعب دانه رس منبسط

	دیوارآجر+شیب بندی پوکه معدنی	دیوارآجر+شیب بندی پوکه معدنی
صرفه جویی مصرف برق در یک سال(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۱۵۸۲۳۴۱۲,۰۸	۹۶۴۸۴۲۲
صرفه جویی مصرف برق در هر ماه(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۱۳۱۸۶۱۷,۶۷۳	۸۰۴۰۳۵,۱۶
صرفه جویی مصرف برق در هر روز(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۴۳۹۵۳,۹۲	۲۲۰۲,۸
صرفه جویی مصرف برق در هر ساعت(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۱۸۳۱,۴۱	۹۱,۷۸
صرفه جویی مصرف برق در هر دقیقه(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۳۰,۵۲	۱,۵
صرفه جویی مصرف برق در هرثانیه(KWh) پوکه لیکا در مقایسه با...	۰,۵	۰,۰۲۵

جدول(۱۱)مقایسه کاهش میزان انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف گاز به ازای هر متر مکعب دانه رس منبسط

	آجر	سفال
کاهش انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف گاز به ازای هر مترمکعب لیکا در یک سال (کیلوگرم)	۳۶۷،۳۱۵،۴۲۵	۳۳۳،۰۱۸،۲۹۲
کاهش انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف گاز به ازای هر مترمکعب لیکا در هرماه (کیلوگرم)	۳۰،۶۰۹،۶۱۸	۲۷،۷۵۱،۵۲۴
کاهش انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف گاز به ازای هر مترمکعب لیکا در هرروز (کیلوگرم)	۱۰،۲۰،۳۲۰	۹۲۵،۰۵۰
کاهش انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف گاز به ازای هر مترمکعب لیکا در ساعت (کیلوگرم)	۴۲،۵۱۳	۳۸،۵۴۳
کاهش انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف گاز به ازای هر مترمکعب لیکا در دقیقه (کیلوگرم)	۷۰۸	۶۴۲
کاهش انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف گاز به ازای هر مترمکعب لیکادر ثانیه (کیلوگرم)	۱۱,۷	۱۰,۷

خلاصه

آلودگی محیط زیست و گرمای جهانی ناشی از سوخت‌های فسیلی یکی از مشکلات دنیای حاضر می‌باشد. ۵۰٪ کل دی‌اکسیدکربن منتشرشده از ساختمان‌ها و ۶۰-۴۰٪ انرژی توسط این بخش به مصرف می‌رسد. از طرفی توانایی دستیابی به کاهش ۸۰ درصدی مصرف انرژی در ساختمان‌ها وجود دارد که به وسیله آن به اهدافی مانند کاهش مصرف سوخت و گازهای گلخانه‌ای، کمک به اقتصاد ملی و خانواده و ... می‌توان دست یافت. علاوه بر لزوم توجه به میزان مصرف انرژی و انتشار آلاینده، تامین آسایش حرارتی ساکنین یکی دیگر از نیازهای ساخت می‌باشد. آسایش حرارتی به معنای شرایط متابولیکی است که رضایت از محیط حرارتی را بیان می‌کند. ساختمان موردمطالعه در این پژوهش با دیوار آجری ، پوکه معدنی در پشت بام ، دارای سه طبقه و سیستم گرمایش رادیاتور و سرمایش کولرآبی می‌باشد. با تقسیم‌بندی ساختمان به زون‌های با فعالیت متفاوت، نوع فعالیت، ابعاد و جنس بازشوها، مشخصات سیستم روشنایی و تهویه مطبوع برای هر زون در نرم‌افزار تعریف شد. در نهایت دیوارهای داخلی و خارجی و سقف بر اساس مستندات موجود در دیوار آجری و پوکه معدنی در پشت بام مدل‌سازی شد. در مرحله عایق‌سازی با پوکه رس منبسط لیکا و بلوک ۳ جداره ۱۷,۵ لیکا، مقاومت حرارتی پوسته خارجی به شکل زیر تغییر می‌کند.

جدول(۱۲) مقایسه مقاومت حرارتی دیوار و بام آجری و پوکه معدنی با بلوم و پوکه رس منبسط لیکا

	دیوار بیرونی	بام
افزایش مقاومت حرارتی در صورت عایق سازی بلوک ۱۷,۵ لیکا نسبت به آجر	۲,۵ برابر	–
افزایش مقاومت حرارتی در صورت عایق-سازی پوکه رس منبسط لیکا نسبط به پوکه معدنی	–	۲,۹ برابر

پس از تحلیل داده‌های ساختمان توسط نرم‌افزار با توجه به افزایش مقاومت حرارتی پوسته خارجی با عـایق‌بنـدی رس منبسـط لیکـا، آنالیز محاسبات بار حرارتی در سردترین روز سال جهت رسیدن به دمای آسایش مطابق جدول زیر تغییر می‌کند.

جدول(۱۳)مقایسه آنالیز حرارتی در سردترین روز سال

	پوسته خارجی رس منبسط لیکا (بلوک ۱۷,۵)	پوسته خارجی آجر و پوکه معدنی
هدررفت دیوارها(KW)	-10.89	-22.34
هدررفت پشت بام(KW)	-2.09	-5.78
گرمایش مورد نیاز در سردترین روز سال(KW)	30.30	44.63

در نتیجه شبیه‌سازی سالانه ساختمان هدر رفت انرژی از قسمت‌های مختلف و کاهش مصرف انرژی سیستم تهویـه مطبـوع مطـابق جدول صفحه بعد می باشد.

جدول(۱۴) مقایسه شبیه‌سازی سالانه مصرف و هدررفت انرژی پوسته خارجی آجر و پوکه معدنی با بلوک و پوکه رس منبسط لیکا

(KWh)	کاهش(٪)
SYSTEM FANS	-30.2%
SYSTEMPUMPS PUMPS	-22.67%
ELECTRICITY	-2.11%
GAS	-32.47%
HEATIN ELEC	-22%
HEATING GAS	-38.47%
WALLS	-44.36%
CEILINGS	-55.25%
FLOOR	-55.25%
ROOFS	-22.14%
ZONESENSIBLE HEATING	-39%
ZONESENSIBLE COOLING	-26.7%
RADIANT+CONVECTIVE HEATING	-39.12%

در نهایت با تغییر بلوک ۱۷,۵ سه جداره به بلوک ۱۵ لیکا و مقایسه با آجر، آجر سوراخدار، بلوک سیمانی و سفال در ضخامت برابر، نتایج مقایسه شد.

با توجه به این که تمامی مراحل ممیزی در جهت کاهش مصرف برق و گاز و انتشار دی‌اکسیدکربن می‌باشد، خلاصه نتایج کاهش مصرف سوخت لیکا نسبت به سفال به شرح جدول ذیل است.

جدول(۱۵) مقایسه مصرف بلوک لیکا نسبت به سفال در یک سال

	مقایسه کاهش مصرف و هدررفت بلوک رس منبسط لیکا نسبت به سفال
کاهش هدررفت دیوار	٪۴۰,۷
کاهش مصرف برق ساختمان	٪۱,۳۴
کاهش مصرف گاز ساختمان	٪۲۱,۲

به عبارت دیگر به ازای هر مترمکعب پوکه لیکا به جای استفاده از سفال در هر ثانیه ۵,۹۴ مترمکعب گاز، ۰,۰۲۵ کیلووات ساعت برق و ۱۰,۷ کیلوگرم دی اکسید کربن کاهش می‌یابد. که این میزان برابر میزان آلودگی ۱۰۷،۸۷۷ ماشین در سال است. در صورت مقایسه با آجر این عدد معادل ۱۱۸،۹۸۸ ماشین می‌باشد.

منابع

۱–راهنمای فنی مدیریت انرژی، ۱۳۹۲. ممیزی انرژی برای ساختمان‌ها. دفتر بهینه‌سازی مصرف انرژی.

۲– غضبان، ف، ۱۳۹۰، زمین شناسی زیست محیطی، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.

۳– مرکز داده‌های اینترنتی بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، ۱۳۹۲. www.enef.co

۴– مقررات ملی ساختمان مبحث نوزدهم ، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ۱۳۸۱. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.

۵– معاونت امور انرژی وزارت نیرو، ۱۳۹۲. آموزش مدیریت انرژی. دفتر بهینه‌سازی مصرف انرژی.

۶– ریاضی، ج، ۱۳۸۹، ویژگی‌های کارکردی دیوارهای خارجی ساختمان‌های متعارف، چاپ دوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۷–کاری، ب، ۱۳۹۱، آیین‌کار ممیزی انرژی ساختمان‌ها، چاپ اول،مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۸– حیدری‌نژاد، ق، ۱۳۸۸، آسایش حرارتی، چاپ اول، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.