

# ارائه راهکار بهینه ممیزی انرژی ساختمان جهت کاهش بار سرمایشی و

## گرمایشی (مطالعه موردی: پروژه مسکن مهر ابریشم، استان البرز)

جمال خداکرمی\*، استادیار دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

الهام شکری، کارشناس ارشد و پژوهشگر دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

طاهره کولیوند، کارشناس ارشد و پژوهشگر دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

E-mail\*: j.khodakarami@ilam.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۰۲ - پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۹

### چکیده

بالا بودن سهم قابل توجه از مصرف انرژی ساختمان در ایران و اهمیت موضوع بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش بی‌تردید نیازمند اتخاذ تصمیمات اساسی برای کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان می‌باشد. از آنجاکه در معماری عصر حاضر سعی بر این است که ساختمان بتواند با توجه به الگوهای طراحی که در پیش می‌گیرد، نیازهای حرارتی ساکنین را تا حد امکان تامین نماید، اجرای راه‌کارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ممیزی انرژی ساختمان‌های مسکونی که بخش عظیمی از ساختمان‌های جهان را به خود اختصاص داده است، می‌تواند بسیار راه‌گشا باشد. این مقاله در راستای رسیدن به این هدف یک نمونه بلوک مسکونی مسکن مهر در را به عنوان نمونه مطالعاتی مورد پژوهش قرار داده است. در روند کار از مطالعات کتابخانه‌ای و شبیه‌سازی رایانه‌ای نرم‌افزار دیزاین بیلدر (Design Builder) به عنوان یک روش مطالعاتی معتبر، به منظور تأیید یافته‌ها و نتایج استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که اجرای دو لایه ۴ سانتی‌متری عایق XPS در مرزهای بیرونی و داخلی دیوارهای خارجی همچنین استفاده از سایبان‌های افقی گالوانیزه ۸۰ سانتی‌متری در پنجره‌های جبهه جنوبی بنا می‌تواند تا ۱۸/۷ درصد در میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی ساختمان کاهش ایجاد نماید. مدت زمان بازگشت سرمایه این اقدام بهینه‌سازی نیز در حدود ۳ سال به‌دست آمده است. همچنین اجرای این اقدام توانسته است به میزان ۷۵۱۷۴۷۲۶ ریال در کاهش هزینه سالانه حامل‌های انرژی ساختمان نقش داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی مصرف انرژی، ممیزی انرژی ساختمان، نرم افزار دیزاین بیلدر (Design Builder)، بلوک‌های مسکونی، مسکن مهر ایران.

### ۱- مقدمه

کارا، به‌طور مستقیم بر کل مصرف انرژی اثر خواهد گذاشت (IEA, 1998). از طرفی در سال‌های نه چندان دور، گرمایش ساختمان‌ها با استفاده از گرم‌کننده‌های نفتی و گازی انجام می‌شد که به تدریج این دستگاه‌ها در حال

از آنجاکه بخش اعظمی از مصرف انرژی ساختمان در فضای فیزیکی آن صورت می‌گیرد، به‌کارگیری روش‌های گوناگون صرفه‌جویی انرژی در مراحل طراحی ساختمان و یا جایگزینی سیستم‌های موجود با تجهیزات انرژی

اسکین، ۲۰۰۸ و ژوو، ۲۰۰۶ ایکبال، ۲۰۰۷ و اسکریوا، ۲۰۱۰ و کلاریچ، ۱۹۹۱). همچنین استاندارد ساختمان‌ها شامل قوانین اجباری طراحی، ساخت‌وساز ساختمان‌ها به منظور ایجاد امنیت، سلامت کاربران و بهره‌وری مناسب انرژی می‌باشد (لوسترن، ۲۰۰۸). با توجه به اهمیت بهره‌وری مصرف انرژی در ساختمان‌ها قوانین موازی با قوانین اولیه ساخت‌وساز نیز در ساختمان‌ها ایجاد شده است، به تعبیری دیگر، کدهایی برای مصرف انرژی در ساختمان‌ها به‌کاررفته است که به این کدها به اختصار [BEEC] گفته می‌شود و در بسیاری از کشورها به کار گرفته شده است (لیو و همکاران). در آمریکای شمالی و اروپا از سال ۱۹۷۰ به این مسائل پرداخته شد و در دهه ۱۹۹۰ در کشورهای دیگر زمزمه‌هایی در این رابطه به گوش می‌رسید (فریس و همکاران، ۲۰۱۲). در ایران نیز در دهه اخیر بحث استاندارد مصرف انرژی در ساختمان‌ها مورد توجه قرار گرفت و در فروردین ۱۳۹۴ استاندارد انرژی ساختمان در مجلس به تصویب رسید. بنابراین می‌توان دریافت که انجام چنین پژوهشی در راستای بهینه‌سازی و ممیزی انرژی سرمایه‌شناسی و گرمایشی ساختمان‌های مسکونی در کشور همچون ایران لازم و کاربردی می‌باشد. از نظر پیشینه تحقیق و مطالعاتی که تا به حال در این راستا انجام گرفته است می‌توان به مواردی چند اشاره نمود: در سال ۲۰۱۲ در مقاله‌ای به بررسی تأثیر پنل‌های حرارتی بر مصرف انرژی ساختمان با استفاده از مدل‌سازی سیستم‌های کارایی انرژی و استراتژی عایق‌کاری ساختمان در مرحله طراحی اولیه و بهینه‌سازی ساختمان پرداخته شده است. نتایج شبیه‌سازی، کاهش ۳۰ درصدی در مصرف انرژی را نشان داد. در تحقیق دیگری یک نمونه ساختمان آموزشی ۲ طبقه با زیربنای ۷۰۲۰ مترمربع در شهر کویت مورد بررسی قرار داده شده است که نتایج آن یک کاهش ۵۲ درصدی با دوره بازگشت سرمایه ۶ ماهه را در بخش انرژی

تغییر، پیشرفت و توسعه بوده‌اند، به گونه‌ای که امروزه نسبت به مدل‌های قدیمی کوچک‌تر، ارزان‌تر و کارآمدتر شده‌اند و نوع جدیدتر آن‌ها به صورت اتوماتیک درآمده است. از مزایای این سیستم‌های جدید، کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری، سهولت در نصب، پایین بودن هزینه‌های جاری و راندمان بالای آن‌ها می‌باشد (سقطی، ۱۳۸۱). با توجه به تحقیقات انجام شده، بین ۲۰-۱۵٪ از کل انرژی جهان در بخش مسکونی استفاده می‌شود که هزینه بالایی در پی دارد و موجب افزایش آلودگی زیست‌محیطی می‌شود. نرخ رشد مصرف انرژی در بخش مسکونی در هر سال ۱/۱ درصد پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۳۵ نیز ادامه خواهد داشت (Energy Information Administration, 2012). مصرف انرژی در بخش مسکونی در درجه اول برای گرمایش، سرمایش و در نهایت برای نور صورت می‌گیرد (IEA, 2012). در ایران نیز بیش از ۴۰ درصد مصرف انرژی مربوط به ساختمان‌های مسکونی می‌باشد. به علاوه استفاده از سیستم‌های غیرفعال و راه‌کارهای همساز با اقلیم پاسخی مناسبی برای کاهش بار مصرفی ساختمان و حفظ انرژی‌های تجدیدناپذیر است (استرلینگ و همکاران، ۱۹۹۴). در این راستا ممیزی انرژی، فرآیندی جهت تعیین مشکلات آسایش و عملکرد انرژی در ساختمان، شناسایی فرصت‌های حفظ و صرفه‌جویی انرژی، بهبود آسایش ساکنین همراه با استفاده بهینه از انرژی در ساختمان‌های موجود می‌باشد. مهندسین سردخانه، تهویه مطبوع و گرمایش جامعه آمریکا (اشری<sup>۱</sup>)، استاندارد توصیف‌کننده فرآیند ممیزی انرژی در ساختمان، باهدف کاهش مصرف انرژی را ارائه نموده‌اند (استرلینگ و همکاران، ۱۹۹۴). نتایج چشم‌گیری بر این اساس صورت گرفته است که موجب شد، تا تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت گیرد و طی آن عملکرد حرارتی و مصرف انرژی ساختمان، تغییرات چشم‌گیری داشته باشد (لی، ۲۰۰۸ و

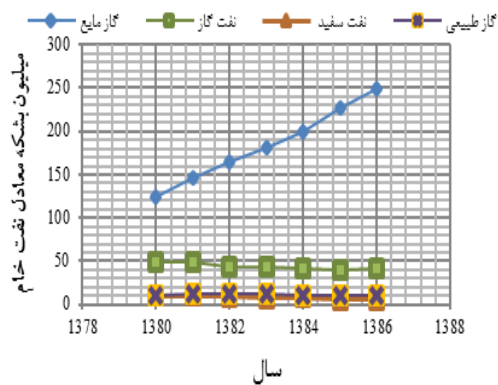
بیان‌گر این امر می‌باشند که بررسی و مطالعه در زمینه ممیزی و بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها به ویژه در بخش مسکونی (ایران) هنوز جای کار دارد. این مقاله نیز در همین راستا و باهدف کاهش میزان مصرف انرژی در بلوک‌های مسکونی مسکن مهر ایران شکل گرفته است.

## ۲-۱- بررسی وضعیت انرژی در ایران و جهان

بین رشد، توسعه اقتصادی و مصرف انرژی رابطه تنگاتنگی وجود دارد. یکی از پارامترهای مؤثر در میزان تقاضا و مصرف انرژی، قیمت آن است، بنابراین بررسی روند قیمت انواع مختلف حامل‌های انرژی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. در سال ۱۳۸۹ با اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها، قیمت حامل‌های انرژی افزایش چشم‌گیری یافت. به طوری که قیمت بنزین ۴ الی ۷ برابر، نفت سفید ۶/۱ برابر، نفت گاز بین ۱/۳-۵/۳ برابر گردید و قیمت برق نیز ۲۶/۵ درصد افزایش یافت. در سال ۱۳۹۰ قیمت فروش فرآورده‌های نفتی به استثنای نفت سفید که نسبت به دوره زمانی اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها در سال ۱۳۸۹ دو برابر گردید، قیمت سایر فرآورده‌های عمده نفتی ثابت باقی ماند. در این سال قیمت اسمی فروش برق نیز نسبت به سال گذشته حدود ۲ برابر گردید. در سال ۱۳۹۱ به استثنای قیمت گاز مایع که افزایش ۲/۶ برابری داشته است، قیمت فروش سایر فرآورده‌ها ثابت بوده است. قیمت فروش گاز طبیعی نیز نسبت به سال قبل ثابت بوده و به‌طور متوسط در هر مترمکعب ۷۴۲ ریال بوده است. متوسط قیمت فروش برق نیز در این سال، با اندکی کاهش نسبت به سال قبل به ۴۰۷ ریال به ازای هر کیلووات ساعت رسیده است. لازم به ذکر است که در این محاسبات قیمت برق به‌طور متوسط ذکر شده است و قیمت این حامل در بخش‌ها و مناطق مختلف، در پله‌های مختلف مصرف خانگی

ساختمان نشان داده است. محمد رحمان و همکاران، معیارهای مختلف حفظ انرژی در ساختمان یک انستیتو در استرالیا را مورد بررسی قرار داده‌اند و توانستند حدود ۴۲ درصد مصرف انرژی این ساختمان را با استفاده از راه‌کارهای ممیزی انرژی کاهش دهند (ام رحمان، ۲۰۱۰). چودھاری (۲۰۱۵) به انجام ممیزی انرژی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر پرداخته شد که موجب کاهش مصرف انرژی سالانه از ۷۲/۷۳۶ به ۵۲/۷۱۰ مگاوات ساعت شده است. چینگوا و همکاران با استفاده از نرم‌افزار EQUEST به تجزیه و تحلیل اثرات راهکارهای کاهش مصرف انرژی در اتاق‌هایی با جهت‌های مختلف در چین پرداخته‌اند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که سایبان و عایق‌بندی دیوارهای خارجی با کاهش ۱۱/۳۱ و ۱۱/۵۱ درصدی بهترین راهکار برای کاهش مصرف انرژی می‌باشد. با بهینه‌سازی راه کارهای مختلف می‌توان مصرف سالانه برق را تا ۲۵/۹۲ درصد و مصرف انرژی برای سرمایش و گرمایش را نیز به ترتیب تا ۲۱/۰۸ و ۳۴/۷۷ درصد کاهش داد (چینگوا و همکاران، ۲۰۰۸). جابر و عجیب نیز ارزیابی بهترین جهت‌گیری ساختمان، اندازه پنجره و ضخامت عایق‌کاری حرارتی برای یک ساختمان مسکونی در منطقه مدیترانه را بررسی کرده‌اند. نتایج بیان‌گر این مطلب می‌باشند که می‌توان با انتخاب بهترین جهت، اندازه بهینه پنجره‌ها، سایبان و ضخامت مطلوب عایق، حدود ۷/۵۹ درصد موجب کاهش مصرف سالانه انرژی شد (جابر و همکاران، ۲۰۱۱). در ایران نیز (باجگیران و کهرم، ۱۳۹۳) به طراحی الگوریتم دستورالعمل نرم‌افزار ممیزی انرژی در مجتمع‌های مسکونی پرداختند. در کار دیگری نیز توسط (خداکرمی و همکاران، ۲۰۰۹) دو ساختمان با عملکرد بیمارستان با استفاده از نرم‌افزار اچ تی بی تو مورد بهینه‌سازی قرار گرفته است که باعث کاهش قابل‌توجهی در مصرف انرژی شد. در نهایت تمامی مطالعات صورت گرفته

## خداکرمی، شکری و کولیوند

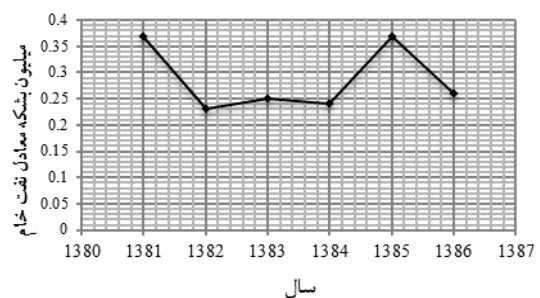


نمودار ۲. متوسط انرژی مصرفی در بخش ساختمان (خانگی و تجاری)

### ۲- روش‌ها

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای به دریافت اطلاعات لازم در زمینه انجام ممیزی و راه‌کارهای بهینه‌سازی انرژی در بخش ساختمان پرداخته شده است. پس از انتخاب نمونه مطالعاتی موردنظر، بررسی وضعیت مصرف انرژی آن و ارائه راه‌کارهای کاهش میزان مصرف انرژی در بخش سرمایه‌گذاری و گرمایش ساختمان مذکور، به مدل‌سازی آن در نرم‌افزار دیزاین بیلدر<sup>۱</sup> پرداخته شده است. مدل شبیه‌سازی انرژی می‌تواند به مقایسه متغیرهای گوناگون در ساختمان موردنظر کمک نماید و از طرفی یکی از ابزارهای ضروری برای مطالعه مصرف انرژی در ساختمان‌ها برنامه‌های کاربردی هستند که تحت عنوان نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی ساختمان استفاده می‌شوند (سقطی، ۱۳۸۱). از همین رو از روش شبیه‌سازی رایانه‌ای به عنوان روش اصلی در این کار بهره گرفته شده است. موتور مدل‌سازی این نرم‌افزار، انرژی پلاس<sup>۲</sup> است که توسط دپارتمان انرژی آمریکا ساخته شده و از دقیق‌ترین نرم‌افزارهای موجود برای تحلیل‌های انرژی می‌باشد. نرم‌افزار دیزاین بیلدر<sup>۳</sup> برای مدل‌سازی جنبه‌های مختلف ساختمان از قبیل؛ معماری، فیزیک ساختمان (مصالح ساختمانی)، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم

متفاوت است. چنان‌چه اثر افزایش سطح عمومی قیمت‌ها، از قیمت‌های اسمی حذف شود، ملاحظه می‌شود که قیمت واقعی کلیه حامل‌ها به استثنای گاز مایع کاهش خواهد داشت. شدت انرژی ایران نیز بر مبنای عرضه انرژی اولیه و مصرف نهایی انرژی نیز بر اساس اطلاعات داخلی مندرج در ترازنامه انرژی؛ نشان می‌دهد که این شاخص‌ها در طول یک دهه گذشته با نوساناتی همراه بوده است. در واقع این شاخص‌ها طی ده سال اخیر، در سال ۱۳۸۲ به حداقل میزان خود رسیده‌اند. همچنین روند افزایش این شاخص‌ها تا سال ۱۳۸۸ ادامه داشته است؛ اما از سال ۱۳۸۹ این شاخص روند نزولی یافته است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۱). از طرفی رشد متوسط سالانه مصرف انرژی کشور در ۱۰ سال گذشته ۵/۶ درصد بوده است که ادامه این روند تا سال ۱۴۰۴ هجری شمسی مصرف انرژی کشور را به ۳۷۵۲ میلیون معادل بشکه نفت خام می‌رساند. در این صورت با توجه به وضعیت کنونی؛ تولید و صادرات نفت خام کشور به صفر خواهد رسید. در این راستا نمودار ۱ متوسط مصرف انرژی را در بخش ساختمان بیان می‌دارد. نمودار ۲ نیز مصرف سوخت و انرژی هیدروکربوری را بر حسب میلیون بشکه معادل نفت خام در بشکه بر مترمربع در سال برای بخش خانگی نشان می‌دهد (ترازنامه هیدروکربوری کشور، ۱۳۸۶).

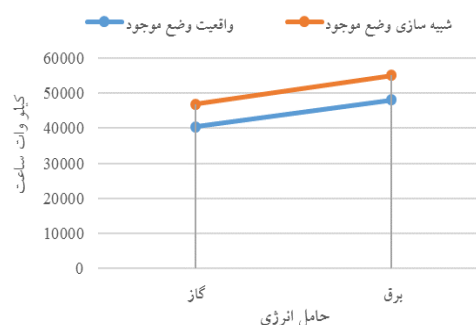


نمودار ۱. مصرف سوخت و انرژی هیدروکربوری در بخش خانگی

## ۲-۱- بررسی وضعیت موجود ساختمان

نمونه مطالعاتی مورد بررسی یکی از ۲۶ بلوک ساخته‌شده مسکن مهر ابریشم در کیان مهر می‌باشد. بلوک مسکونی شامل چهار طبقه ساختمان مسکونی بدون پارکینگ است. در هر طبقه چهار واحد ۶۶ و ۷۵ متری طراحی شده است. نمای ساختمان سنگی، مصالح جداره‌ها بتنی و پنجره‌ها رو به سمت شمال و جنوب قرار گرفته‌اند. کشیدگی ساختمان شرقی - غربی بوده است. پنجره‌ها بدون سایبان از جنس شیشه دو جداره می‌باشند. ارتباط طبقات نیز از طریق راه‌پله و آسانسور تامین شده است. سیستم گرمایشی ساختمان رادیاتور (شوفاژ) و سیستم سرمایشی آن کولر آبی است. به‌طور کلی گرمایش و آبگرم مصرفی توسط گاز طبیعی و سرمایش توسط برق صورت می‌گیرد؛ به عبارت دیگر حامل‌های انرژی مورد استفاده در این ساختمان، گاز طبیعی و برق هستند. گرمایش، پخت و پز و آب گرم مصرفی نیز توسط گاز طبیعی و سرمایش، روشنایی و وسایل برقی توسط برق تامین می‌شود. لامپ‌های مورد استفاده در این ساختمان از نوع کم مصرف هستند. در واحدهای ۶۶ متری، حدود ۷ و در واحدهای ۷۵ متری حدود ۱۰ لامپ کم مصرف با توان ۶۰ وات استفاده می‌شود. لامپ‌ها به‌طور متوسط حدود ۶ ساعت در طول شبانه‌روز روشن می‌باشند. با توجه به شکل‌های ۴ تا ۷ می‌توان دریافت که حجم ساختمان و بدنه خارجی آن با محیط بیرون ارتباط زیادی دارد و می‌توان گفت بخش زیادی از انرژی ساختمان از طریق بدنه‌های بیرونی آن هدر می‌رود. همچنین وجود پنجره‌ها در دو نمای شمالی و جنوبی بر دریافت و هدر رفت انرژی در واحدهای مسکونی تأثیر زیادی داشته است. با این وجود توجه به بدنه‌های جارچی و بازشوها در بلوک مسکونی می‌تواند یکی از راهکارهای مهم و مورد توجه در جهت ممیزی و بهینه‌سازی انرژی ساختمان مورد نظر باشد که در ادامه به آن پرداخته شده است. در جدول ۱

روشنایی و مدل‌سازی CFD کاربرد دارد. همچنین مصارف مختلف انرژی در بخش گرمایش، سرمایش، روشنایی، لوازم‌خانگی و آب گرم مصرفی را به صورت دینامیک مدل‌سازی می‌نماید. این نرم‌افزار با استفاده از فایل اقلیمی (epw) شهرهای مختلف، محاسبات دریافت، اتلاف و مصرف انرژی را دقیقاً بر اساس شرایط اقلیمی محل قرارگیری ساختمان انجام می‌دهد. نقش مؤثر این نرم‌افزار زمانی روشن‌تر می‌گردد که در طی مراحل طراحی و مدل‌سازی ساختمان، با اعمال تغییرات کوچک و بزرگ در طراحی، تأثیرات این تغییرات در میزان مصرف یا صرفه‌جویی انرژی ساختمان و هریک از فضاها مشخص می‌شود. به منظور اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار با شرایط واقعی در نمونه مورد نظر نیز میزان نتایج مصرف انرژی در بخش برق و گاز مصرفی بر حسب کیلو وات ساعت در وضعیت موجود ساختمان و شبیه‌سازی، در شکل ۳ مقایسه شده‌اند. نتایج بررسی‌ها، اختلاف ناچیزی را در این بین نشان می‌دهد. این امر می‌تواند تأییدی بر این واقعیت باشد که نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌ها تا حدود زیادی به واقعیت نزدیک بوده است. میزان ضرایب اختلاف نیز در بخش گرمایش؛ گاز مصرفی ۰/۸۶ و در بخش سرمایش؛ برق مصرفی ۰/۸۷ کیلو وات ساعت می‌باشد. در نهایت برای نزدیک‌تر بودن نتایج به واقعیت این ضرایب باید در مقادیر به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها اعمال شوند.



نمودار ۳. مقایسه مصرف انرژی در حالت موجود و

شبیه‌سازی شده

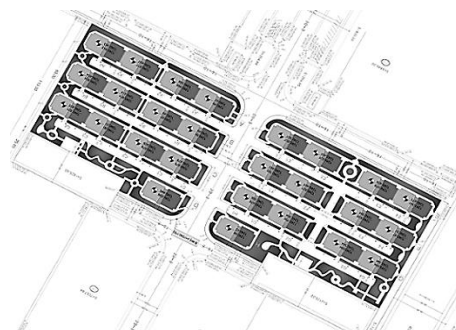
## خداکرمی، شکری و کولیوند

جدول ۱. جزییات مصالح مورد استفاده در جداره‌های خارجی و

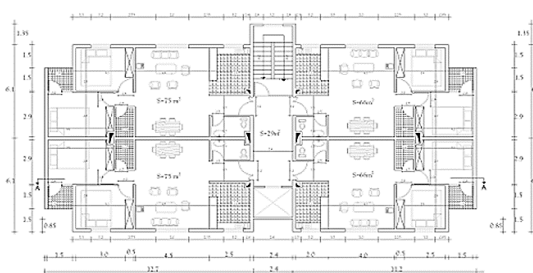
داخلی ساختمان

مصلح	ضخامت (cm)	گرمای ویژه (J/kg.K)	چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	ضریب هدایت حرارتی (w/m.K)
کف	۲	۲۳۰۰	۸۴۰	۱/۳
	۳	۱۴۵۰	۸۴۰	۰/۷
	۱۵	۱۰۰۰	۱۸۰۰	۱/۱۵
	۳	۱۴۵۰	۸۴۰	۰/۷
	۱۰	۸۸۰	۱۴۶۰	۱/۲۸
سقف نهایی	۲	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۴
	۳	۱۴۵۰	۸۴۰	۰/۷
	۱۵	۱۰۰۰	۱۸۰۰	۱/۱۵
	۳	۱۴۵۰	۸۴۰	۰/۷
کف طبقات	۲	۲۳۰۰	۸۴۰	۱/۳
	۲	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۴
	۳	۱۴۵۰	۸۴۰	۰/۷
	۱۵	۸۴۰	۲۲۰۰	۱/۷
	۲	۱۴۵۰	۸۴۰	۰/۷
دیوار داخلی	۳	۱۷۰۰	۲۱۰۰	۱/۱۵
	۲	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۴
	۶	۱۴۵۰	۸۴۰	۰/۷
دیوار خارجی	۲	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۴
	۲	۱۴۵۰	۸۴۰	۰/۷
	۱۳	۸۴۰	۲۲۰۰	۱/۷
	۲	۱۴۵۰	۸۴۰	۰/۷
	۲	۲۸۸۰	۸۴۰	۳/۴۹

جزئیات مصالح جداره‌های ساختمانی به کاررفته در ساخت پروژه به عنوان داده‌های ساختاری ورودی به نرم‌افزار آورده شده است.



شکل ۴. سایت پلان پروژه



شکل ۵. پلان تپ طبقات



شکل ۶. نمای شمالی بلوک مسکونی



شکل ۷. نمای سه بعدی پروژه

### ۳- نتایج

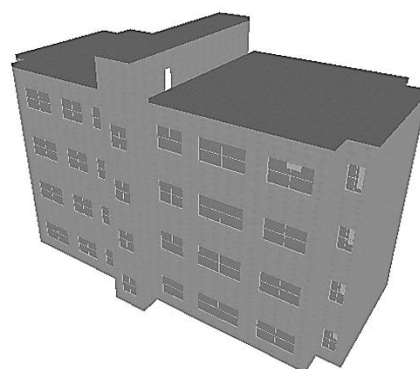
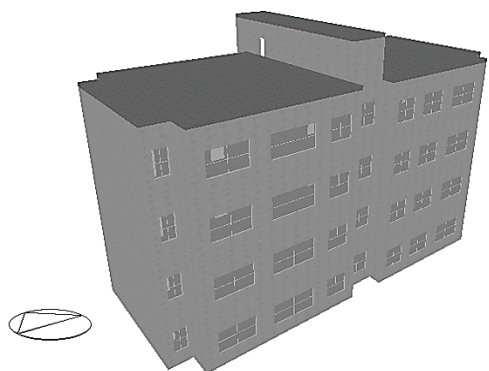
#### ۳-۱- شبیه‌سازی و آنالیز

در این مرحله از پژوهش به منظور بررسی و سنجش راه‌کارهای موردنظر در ممیزی ساختمان به شبیه‌سازی نمونه مطالعاتی (شکل ۸) پرداخته می‌شود. دماهای پایه<sup>۴</sup>

## ارائه راهکار بهینه ممیزی انرژی ساختمان جهت کاهش بار سرمایشی و گرمایشی

پس از شبیه‌سازی وضعیت موجود ساختمان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر به بررسی وضعیت مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی ساختمان (طبق جدول ۲) پرداخته شده است. همان‌طور که از جدول مشخص است میزان انرژی گرمایشی ۲۲ درصد و سرمایشی ۷۸ درصد از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر مصرف انرژی از طریق حامل انرژی برق بوده است. در جدول ۳ نیز میزان هزینه‌ها برای هر حامل انرژی آورده شده است.

گرمایش و سرمایش، با توجه به وضعیت اقلیمی، کاربری ساختمان و برنامه زمانی استفاده کاربران به ترتیب ۱۸ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. هدف از این کار، شبیه‌سازی مصرف انرژی و شرایط بهره‌وری ساختمان می‌باشد.



جدول ۲. مقادیر مصرف انرژی و تولید CO<sub>2</sub> در ساختمان

مصرف سوخت سیستم سرمایشی (kwh)	مصرف سوخت سیستم گرمایشی (kwh)	کل مصرف سوخت سالانه (kwh)
برق	گاز طبیعی	۱۷۵۹۰۰/۵۶
۱۳۷۷۶۰/۱	۳۸۱۴۰/۴۶	
٪۷۸ از کل مصرف انرژی	٪۲۲ از کل مصرف انرژی	

### ۲-۳- راه کارهای کاهش مصرف انرژی

با توجه به مشخصات ارائه‌شده و بررسی‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی وضعیت موجود نمونه مطالعاتی مذکور، مشخص است که ساختمان از طریق پوسته بیرونی خود

شکل ۸. نمای جنوبی شبیه‌سازی شده ساختمان و نمای شمالی

شبیه‌سازی شده ساختمان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر

جدول ۳. مقادیر مصرف انرژی در ساختمان به تفکیک حامل‌های انرژی

حامل‌های انرژی	مصرف سالانه حامل (kwh)	سهم حامل انرژی از مصرف انرژی سالانه (درصد)	هزینه سالانه انرژی حامل (ریال)	سهم هزینه حامل انرژی از هزینه سالانه انرژی ساختمان %
گاز	۳۸۱۴۰/۴۶	٪۲۲	۱۳۵۸۵۲۶۸ (در پله مزاد بر ۵۴۵ مترمکعب ۳۷۴۰ ریال)	٪۴
برق	۱۳۷۷۶۰/۱	٪۷۸	۴۰۴۰۵۰۳۷۳ (در پله مزاد بر ۶۰۰ هر کیلو وات ساعت ۲۹۳۳ ریال)	٪۹۶

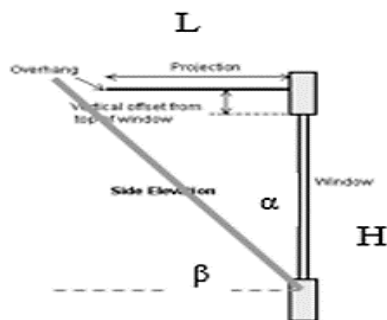
## خداکرمی، شکری و کولیوند

است. همچنین در شکل ۱۰ و جدول ۵ دیاگرام روند سناریوهای پیشنهادی در نظر گرفته شده در شبیه سازی ها و جزییات آن ها آمده است.

$$\tan \alpha = L/H \quad (\alpha = 90 - \beta) \quad \beta = 60^\circ (\text{Shading angle})$$

جدول ۴. مقایسه عایق های حرارتی ساختمانی

خواص	نوع محصول		
	فوم XPS	فوم EPS	فوم SPU
ضریب هدایت حرارتی	۰/۰۳	۰/۴۴	۰/۰۷۷
درصد جذب آب	٪۲	٪۸	٪۱۱۰ - ۱۳۰
مقاومت فشاری (کیلو پاسکال)	۲۵۰ - ۵۰۰	۱۷۰ - ۳۰	متفاوت
دانسیته (مترمکعب/کیلوگرم)	۶۰ - ۳۰	۲۰ - ۱۲	۲۲۰
قیمت تمام شده	کم	متوسط	زیاد



شکل ۹. مشخصات سایبان مورد استفاده در شبیه سازی

Outer surface
20.00mm Stone-basalt(not to scale)
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
200.00mm Cast Concrete (Lightweight)
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
80.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
10.00mm Plasterboard(not to scale)
Inner surface

سناریو ۱: (اضافه کردن ۸ سانتی متری عایق XPS در لایه داخلی

دیوارهای خارجی - ضخامت دیوار ۳۵ سانتی متر)

(جداره های خارجی) تا حد زیادی در میزان انرژی مصرفی در بخش سرمایشی و گرمایشی ساختمان نقش داشته است. از طرفی وجود پنجره ها در جبهه شمالی و جنوبی نیز خود موجب این افزایش مصرف انرژی نیز می شود.

بنابراین به منظور بررسی راه کارهای ممیزی انرژی در بلوک مسکونی مورد مطالعه باید در دو بخش: کاهش هدایت حرارتی جداره ها از طریق عایق کاری حرارتی ساختمان و ایجاد سایبان های مناسب برای پنجره های بنا به تحلیل و ممیزی انرژی مصرفی ساختمان پرداخت. در بررسی نتایج نهایی باید توجه شود که به خاطر بالاتر بودن هزینه برق و بار مصرفی آن به مقدار زیادی نسبت به گاز مصرفی، باید میزان سرمایش یعنی مصرف برق در سناریو منتخب به میزان بیشتری کاهش یافته باشد که در میزان بار مصرفی و هزینه های ساختمان تأثیر بسزایی داشته باشد.

### ۳-۳- عایق کاری حرارتی ساختمان

برای انتخاب عایق حرارتی مناسب از بین شماری از عایق های ساختمانی با توجه به جدول ۴ عایق XPS به عنوان عایق مناسب در ساختمان مورد نظر انتخاب و در شبیه سازی ها مورد استفاده قرار گرفته است. روند اجرای عایق در سناریو ها به این صورت می باشد که محل قرار گیری عایق با رعایت ضخامت کلی ۸ سانتی متری در حالت بهسازی وضع موجود و بازسازی مجدد ساختمان مورد بررسی قرار داده شده است.

### ۳-۴- سایبان خارجی

برای استفاده از سایبان مناسب برای پنجره های جبهه جنوبی بنا، با توجه به عرض جغرافیایی منطقه ای که نمونه مطالعاتی در آن قرار گرفته و مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، عمق مناسب سایبان طبق شکل ۹ به دست آمده

ارائه راهکار بهینه ممیزی انرژی ساختمان جهت کاهش بار سرمایشی و گرمایشی

Outer surface
20.00mm Stone - basalt(not to scale)
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
100.00mm Cast Concrete (Lightweight)
40.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
100.00mm Cast Concrete (Lightweight)
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
40.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
10.00mm Plasterboard(not to scale)

Inner surface

سناریو ۷: (اضافه کردن دو لایه عایق ۴ سانتی متری در داخل دیوار خارجی - ضخامت دیوار ۳۵ سانتی متر)

Outer surface
20.00mm Stone - basalt(not to scale)
80.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
200.00mm Cast Concrete (Lightweight)
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
40.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
10.00mm Plasterboard(not to scale)

Inner surface

سناریو ۲: (اضافه کردن یک لایه ۸ سانتی متری متر عایق XPS در لایه خارجی دیوارهای خارجی - ضخامت دیوار ۳۵ سانتی متر)

Outer surface
20.00mm Stone - basalt(not to scale)
40.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
100.00mm Cast Concrete (Lightweight)
40.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
100.00mm Cast Concrete (Lightweight)
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
10.00mm Plasterboard(not to scale)

Inner surface

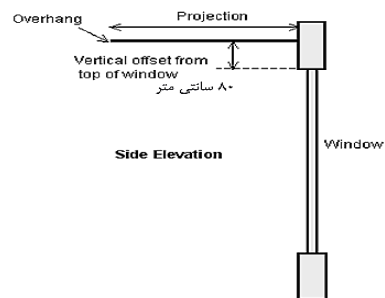
سناریو ۸: (اضافه کردن دو لایه عایق ۴ سانتی متری در خارج دیوار خارجی - ضخامت دیوار ۳۵ سانتی متر)

Outer surface
20.00mm Stone - basalt(not to scale)
40.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
200.00mm Cast Concrete (Lightweight)
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
40.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
10.00mm Plasterboard(not to scale)

Inner surface

سناریو ۳: (اضافه کردن دو لایه عایق ۴ سانتی متری عایق XPS در لایه داخلی و خارجی دیوارهای خارجی - ضخامت دیوار

۳۵ سانتی متر)



سناریو ۴: (استفاده از سایبان افقی ۸۰ سانتی متری برای پنجره‌های جبهه جنوبی)

Outer surface
20.00mm Stone - basalt(not to scale)
27.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
100.00mm Cast Concrete (Lightweight)
27.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
100.00mm Cast Concrete (Lightweight)
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
27.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
10.00mm Plasterboard(not to scale)

Inner surface

سناریو ۹: (اضافه کردن سه لایه عایق ۲ سانت و ۷ میلی متری در دیوار خارجی - ضخامت دیوار ۳۵ سانتی متر)

#### ۴- بحث

##### ۴-۱- تجزیه و تحلیل داده‌ها

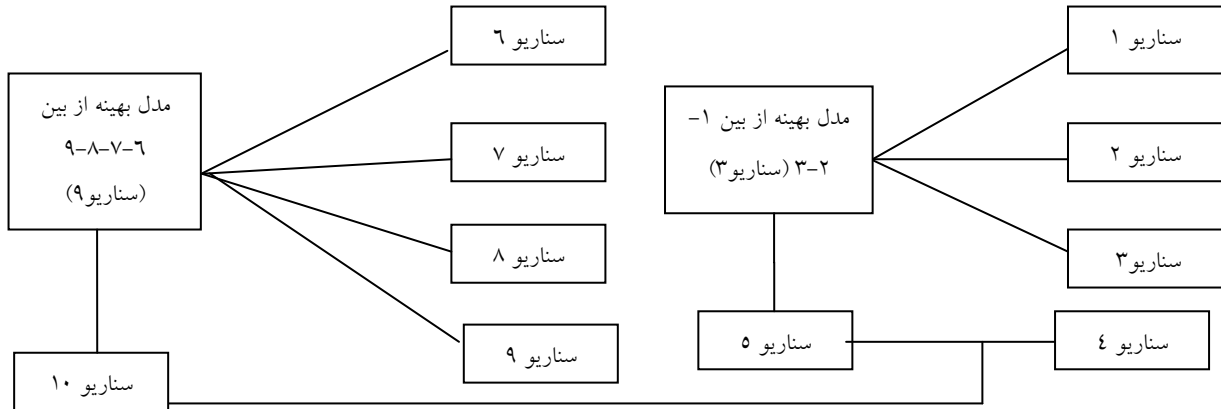
پس از اعمال سناریوهای در نظر گرفته شده و انجام شبیه سازی با نرم افزار مربوطه خروجی های نرم افزار شامل بار سرمایشی و گرمایشی برای هر سناریو به دست آمده

Outer surface
20.00mm Stone - basalt(not to scale)
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
100.00mm Cast Concrete (Lightweight)
80.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing
100.00mm Cast Concrete (Lightweight)
20.00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster(not to scale)
10.00mm Plasterboard(not to scale)

Inner surface

سناریو ۶: (اضافه کردن یک لایه عایق ۸ سانتی متری در وسط دیوار خارجی - ضخامت دیوار ۳۵ سانتی متر)

## خداکرمی، شکری و کولیوند



شکل ۱۰. دیاگرام روند سناریوها در بهسازی وضع موجود و بازسازی مجدد ساختمان در شبیه‌سازی‌ها

جدول ۶. نتایج میزان بار سرمایش و گرمایش در سناریوهای

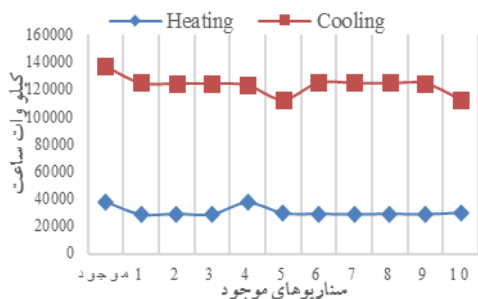
اعمال‌شده در شبیه‌سازی

میزان صرفه‌جویی در مصرف %	هزینه مصرف انرژی سالانه (ریال)	بار سرمایشی سالانه (برق) (kwh)	بار گرمایشی سالانه (گاز طبیعی) (kwh)	آلترناتیوها	وضع موجود
-	۴۱۷۶۳۵۶۴۱	۱۳۷۷۶۰/۱	۳۸۱۴۰/۱۴		
۱۲/۴%	۳۷۸۷۴۷۱۹	۱۲۵۳۴۶	۲۸۷۳۴/۳۵	۱	
۱۲/۳%	۳۷۷۱۷۹۴۵۹	۱۲۵۰۴۹	۲۹۲۲۸/۰۲	۲	
۱۲/۵%	۳۷۶۹۲۴۱۶۳	۱۲۵۰۱۰	۲۸۸۳۲/۴۲	۳	
۸/۵%	۳۷۵۹۷۳۹۴۲	۱۲۳۶۵۴/۸	۳۷۲۳۳/۵۲	۴	
۱۲/۷%	۳۴۲۴۶۰۹۱۵	۱۱۳۱۴۴/۸	۲۹۷۷۹/۶۴	۵	
۱۲/۱%	۳۷۸۲۷۱۲۲۴	۱۲۵۴۳۶/۳	۲۹۱۰۳/۹۷	۶	
۱۲/۴%	۳۷۷۹۳۸۴۸۲	۱۲۵۳۶۶/۲	۲۸۷۴۷/۰۳	۷	
۱۲/۳%	۳۷۷۳۹۷۰۰۰	۱۲۵۱۳۰/۳	۲۹۱۶۹/۳۱	۸	
۱۲/۵%	۳۷۶۹۲۶۷۴۴	۱۲۵۰۱۸/۹	۲۸۷۶۶/۳۸	۹	
۱۸/۵%	۳۴۲۶۰۰۷۱۴	۱۱۳۱۵۹/۵	۳۰۰۵۱/۰۶	۱۰	

است و متعاقباً هزینه میزان سوخت نیز برای هر یک از آن‌ها (مطابق جدول ۶) محاسبه شده است. همان‌طور که مشخص است سناریو ۵ نسبت به دیگر سناریوها تأثیر بیشتری در کاهش بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان داشته است.

به منظور درک بهتر، نتایج به‌دست‌آمده، از نظر میزان تأثیرگذاری در مصرف انرژی، برای همه سناریوها در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۲ میزان بار مصرفی در بخش سرمایش و گرمایش ساختمان در دو حالت؛ وضعیت موجود و بهینه‌سازی ساختمان (سناریو ۵) نشان داده شده است.

بنابراین استفاده از عایق در بدنه خارجی ساختمان و سایبان در حالت بهسازی وضع موجود ساختمان هم از نظر کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های سالانه به میزان بیشتری تأثیر گذار می‌باشد. در صورتی‌که اجرای سایبان به تنهایی اصلاً گزینه مناسبی نخواهد بود. همچنین در سناریو ۱۰ نیز میزان کاهش مصرف انرژی نسبت به سناریو ۵ کمتر بوده است، به علاوه هزینه‌های سالانه نیز در این سناریو نسبت به سناریو ۵ به میزان بیشتری بوده است.



شکل ۱۱. میزان بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان برای سناریوها

(Kwh)

## ارائه راهکار بهینه ممیزی انرژی ساختمان جهت کاهش بار سرمایشی و گرمایشی

حجم مورد نیاز در اینجا:  $2/74336$  متر مکعب؛

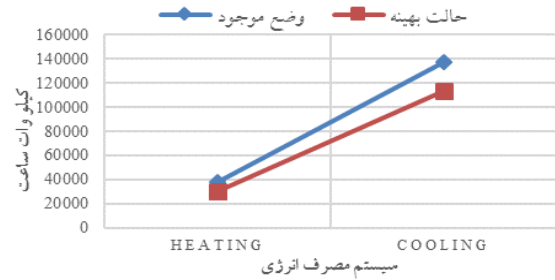
چگالی:  $8$  متر مکعب بر کیلوگرم؛

بنابراین وزن ورق برابر است با  $22$  کیلوگرم.

از آنجا که قیمت هر کیلوگرم ورق گالوانیزه به کار رفته در

سایبان  $21900$  ریال می باشد؛ بنابراین هزینه این اقدام

$481800$  ریال است.



شکل ۱۲. مقایسه بار مصرفی ساختمان در حالت موجود (۰) و

حالت بهینه (۵)

جدول ۷. هزینه و مدت بازگشت سرمایه اجرای اقدام بهینه سازی

### در ساختمان

مدت زمان بازگشت سرمایه (سال)	هزینه اجرای اقدام (ریال)	مقدار کاهش هزینه (سالانه) (ریال)	مصرف انرژی در صرفه جویی در میزان سالانه صرفه جویی در مصرف انرژی	اقدام صورت گرفته
۲ سال و ۸ ماه	۲۱۹۰۰ هزار ریال برابر است با: ۲۱۲۲۳۸۰۰ ریال	۷۵۱۷۴۷۲۶	۱۸٪	عایق xps در لایه خارج و داخل دیوارهای خارجی و سایبان های ۸۰ سانتی متری افقی در نمای جنوبی

### ۴-۲- محاسبه دوره بازگشت سرمایه

محاسبه مدت زمان بازگشت سرمایه برای راهکار پیشنهادی ممیزی انرژی ساختمان با توجه به اقدامات صورت گرفته، طبق فرمول (۱) می باشد. نتایج بررسی ها نیز در جدول ۷ آمده است.

دوره بازگشت سرمایه بر حسب سال = مقدار کاهش هزینه سالیانه (به ریال) / هزینه اولیه استفاده از تجهیزات عایق کاری و سایبان

$$\text{دوره بازگشت} = \frac{211792000 + 481800}{75174726} = 211792000$$

(۲ سال و ۸ ماه) ۳ سال سرمایه

### ۴-۳- محاسبه هزینه اولیه استفاده از تجهیزات

#### عایق کاری و سایبان

با توجه به اینکه عایق مورد استفاده در سطوح بیرونی و داخلی دیوارهای خارجی قرار گرفته است؛ بنابراین مقدار مساحت مورد نیاز برای دو لایه عایق کاری به ضخامت  $0/04$  متر برابر است با  $2117/92$  متر مربع است. همچنین از آنجا که قیمت هر متر مربع عایق XPS به ضخامت  $0/04$  متر  $100$  هزار ریال می باشد پس هزینه لازم برای اجرای عایق کاری  $211792000$  ریال است. هزینه اجرای سایبان گالوانیزه نیز با توجه به ابعاد سایبان و ضخامت  $5$  سانتی متری آن، با استفاده از فرمول زیر به دست می آید:

$$\text{وزن (Kg)} = \text{حجم (m}^3\text{)} \times \text{چگالی (متر مکعب بر کیلوگرم)}$$

### ۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله وضعیت موجود یک بلوک مسکونی در شهرک ابریشم استان البرز (تهران)، مورد بررسی قرار داده شده است. سپس انجام مدل سازی با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر، تجزیه و تحلیل نتایج، بررسی گزینه های مختلف و مقایسه و تحلیل داده های این نتایج صورت گرفته است. در نهایت بررسی نتایج نشان داد که در بین ۱۰ سناریو پیشنهادی؛ مصرف انرژی سالانه در بخش سرمایش و گرمایش ساختمان، با به کار بردن عایق XPS  $4$  سانتی متری در لایه خارجی و داخلی دیوارهای

Authority of Applied Education and Training, P.O. Box 3831, Mishref 40189, Kuwait, Energy and Buildings 47. 122-130

- D, Claridge, et al. (1991) "Improving energy conservation retrofits with measured savings", ASHRAE Journal 33 (10) 14-22.

- E, Sterling, C, Collett, S, Turner, C, Downing. (1994) "Commissioning to avoid indoor air quality problems, in: Proceedings of the ASHRAE Transactions: Symposia", p. 867.

- G, Escrivá, Escrivá, C, Álvarez-Bel, I, Valencia-Salazar. (2013) "Method for modelling space conditioning aggregated daily load curves: application to a university building", Energy and Buildings 42. 1275-1282.

- IEA, (2001) "Energy Conservation in Buildings and Community System Programme", 9998. Eobcs strategy Plan.

- I, Iqbal, M, Al-Homoud., (2007) "Parametric analysis of alternative energy conservation measures in an office building in hot and humid climate", Energy and Environment 42 2166-2177.

- S. Jaber, S. Ajib., (2013) "Optimum, technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region", Energy and Buildings, N.43 (8), pp. 1829-1834.

- Yu, Jinghua, C, Yanga, L. Tiana., (2008) "Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China", Energy and Buildings, N.40 (8), pp. 1536-1546.

- J.S, Li., (2008) "Study of energy performance and efficiency improvement procedures of Government Offices in Hong Kong Special Administrative Region", Energy and Buildings, 40 1872-1875.

- J, Khodakarami, I, Knight, N, Nasrollahi (2009) "Reducing the demands of heating and cooling in Iranian hospitals", Renewable Energy, 34: 3128-3133.

- F, Liu, AS, Meyer, J, Hogan. "Main streaming building energy efficiency codes in developing countries: global experience and lessons from early adapters".

- J, Loustsen. (2008) "Energy efficiency requirements in building codes", Energy efficiency

خارجی و همچنین سایبان‌های افقی گالوانیزه در نمای جنوبی ساختمان (سناریو ۵) تا ۱۸/۷ درصد کاهش یافته است. استفاده از این راهکار ممیزی انرژی در ساختمان موجود از نظر هزینه‌های صورت گرفته در بخش حامل‌های انرژی، ۷۵۱۷۴۷۲۶ ریال کاهش داشته است. همچنین هزینه‌های مصرفی برای این اقدامات، در مدت حدود ۳ سال جبران خواهد شد.

## ۶- سپاسگزاری

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر جمال خداکرمی و سایر کسانی که در گردآوری این مطلب علمی همکاری نموده‌اند کمال تشکر را می‌نمایم.

## ۷- پی‌نوشت‌ها

1. ASHREA
2. Design Builder
3. EnergyPlus
4. Set point

## ۸- منابع

- "ترازنامه انرژی" (۱۳۹۱).
- "ترازنامه هیدروکربوری کشور" (۱۳۸۶)، موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، وزارت نفت.
- رضاییان باجگیران، مجتبی- کهرم، محسن "طراحی الگوریتم دستوالعمل نرم‌افزاری ممیزی انرژی در مجتمع‌ها".
- سقطی، اصغر، (۱۳۸۱) "بهبود سازی مصرف انرژی در ساختمان مسکونی"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، تابستان ۹۳، دوره شانزدهم، شماره دو.
- A, Alajmi, (2014) "Energy audit of an educational building in a hot summer climate", Public

and February.

- U.S., (2014) "Energy Information Administration", Office of Energy Statistics, U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585, Annual Energy Review.

- U.S. EIA. (2012) "Residential Energy Consumption Survey", U. S. E. I. Administration.

- W, Alexander Friess, K, Rakhshan, T, A. H, Sahand Tajerzadeh., (2014) "Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency", Energy and Buildings, 44 (2014) 26–32.

- Y, Zhu. (2006) "Applying computer-based simulation to energy auditing: a case study", Energy and Buildings, 38 421–428.

policies for new buildings, IEA Information Paper, International Energy Agency.

- M.M, Rahman, M.G, Rasul, M.M.K. Khan. (2013) "Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia", Applied Energy 872994–3004.

- N. Eskin, H. Tu'rkmen. (2008) "Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey", Energy and Buildings 40 763–773.

- S, Choudhary Reader, S, Keshvanand (2015) "Institute of Technology", Management and Gramothan, Jaipur, ANALYSIS OF ENERGY CONSERVATION OF AN INSTITUTIONAL BUILDING USING DESIGN BUILDER SOFTWARE, International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering (IJMECH) Vol.4, No.1,