



سنجش اثر کاربرد پلی استایرن در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد*

مهدی شعبانیان^۱، محمدهادی کابلی^{۲**}، علی دهقان بنادکی^۳، لیلا زارع^۴

۱۳۹۸/۱۲/۰۵

تاریخ دریافت مقاله :

۱۳۹۹/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله :

چکیده

بیان مساله: مصرف بالای انرژی در سکونتگاه‌های بشری باعث افزایش آلودگی‌های محیط شده است. بیش از ۴۰ درصد انرژی کشور در ساختمان‌ها مصرف می‌شود که بخش عمده آن صرف گرمایش، سرمایش و روشنایی فضاهای داخلی می‌شود. با اتخاذ تدابیری نظیر بهینه‌سازی عایقکاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان می‌توان این روند را کاهش داد. در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد که از بیشترین نوسان دما برخوردار بوده، اهمیت این موضوع بیشتر به چشم می‌آید.

سوال تحقیق: استفاده از پلی استایرن در پوسته چه تاثیری بر کاهش مصرف انرژی در بخش‌های سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد دارد؟

اهداف تحقیق: هدف تحقیق، تعیین مقدار اثر استفاده از پلی استایرن در پوسته خارجی بر کاهش بار حرارتی ساختمان‌های مسکونی واقع در اقلیم سرد می‌باشد.

روش تحقیق: یازده واحد مسکونی در شهر همدان به عنوان نمونه انتخاب گردیده و اطلاعات عایقکاری حرارتی پوسته خارجی آنها که بر مبنای استفاده از لایه‌های پلی استایرن بود، ثبت گردید. نمونه‌ها به مدت یک سال در دوره بهره‌برداری مورد مشاهده به لحاظ میزان واقعی مصرف انرژی قرار گرفت. سپس به ساخت مدل هریک از نمونه‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و تحلیل مصرف انرژی هریک اقدام و نتایج به دست آمده از خروجی‌های نرم‌افزار با مصرف واقعی انرژی نمونه‌ها مقایسه و میزان انحراف گزارشات نرم‌افزاری با حالت واقعی تعیین گردید. سپس در مدل‌های نرم‌افزاری تغییراتی در پوسته کالبدی ایجاد شده و با حذف پلی استایرن، مصالح متداول فاقد عایق حرارتی جایگزین شده و مجدداً مصرف انرژی نمونه‌ها در حالت اخیر مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. پس از اعمال انحراف ناشی از خطای مصرف واقعی و شبیه‌سازی به روی خروجی‌های مدل جدید، میزان مصرف انرژی هریک از نمونه‌ها در حالت فاقد عایق حرارتی، نرمال‌سازی شده و با میزان مصرف در حالت دارای عایق حرارتی مورد مقایسه قرار گرفت.

مهم‌ترین یافته‌ها و نتیجه‌گیری تحقیق: نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از پلی استایرن در پوسته خارجی ساختمان تا ۴۳ درصد افزایش بار سرمایشی و ۲۷ درصد کاهش بار گرمایشی براساس شرایط هریک از نمونه‌ها در طی ماه‌های مختلف سال را به دنبال دارد. اثر ترکیبی بارهای سرمایش و گرمایش در مجموع نشان از کاهش بار حرارتی ساختمان به طور کلی در طول یک سال دارد. این کاهش برای واحدهای نمونه اول ۲۵/۹ درصد معادل ۳۴۸۰۲/۹ کیلو وات ساعت و برای واحدهای نمونه دوم ۳۲/۶ درصد معادل ۳۰۶۴۸/۳ کیلو وات ساعت در طی یک سال می‌باشد.

کلمات کلیدی: ساختمان، انرژی، اقلیم سرد، عایقکاری حرارتی، پلی استایرن، مسکونی

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری تخصصی معماری نگارنده اول با راهنمایی نگارندگان دوم و سوم و مشاوره نگارنده چهارم می‌باشد که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب انجام گرفته است.

^۱ دانشجوی دکتری گروه معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، ایمیل: ShaabaniMahdi@yahoo.com

^{**۲} استادیار گروه معماری، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران (نویسنده مسئول)، ایمیل: Mohamadhadikaboli@gmail.com

^۳ استادیار گروه سازه، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران، ایمیل: A.dehghan1916@yahoo.com

^۴ استادیار گروه معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، ایمیل: Zare@wtiau.ac.ir

۱- مقدمه

آلودگی محیط‌زیست و سکونتگاه‌های انسانی یکی از دغدغه‌های اصلی اکثر جوامع و شهرهای امروز است. این امر موجب شده تا ذهن سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری به دنبال یافتن راه‌حلهایی جهت کاهش این پدیده و یا ارائه راهکارهایی به منظور مقابله با پیامدهای ناگوار ناشی از آن باشد. میزان مصرف انرژی‌های فسیلی در جهان طی دهه‌های اخیر از روندی روبه افزایش برخوردار بوده و پیامدهای منفی آن بر زندگی انسان تأثیرات زیادی داشته است. گرم شدن کره زمین ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای متان و دی‌اکسیدکربن و اثرات آن به روی کاهش کمیت و افت کیفیت محصولات کشاورزی و تغییرات آب‌وهوایی و بارش باران‌های اسیدی ناشی از اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای سولفور حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی موجب صدمه رسیدن به جنگل‌ها، دریاچه‌ها و مرداب‌ها می‌شوند (بریمانی و کعبی‌نژادیان، ۱۳۹۳: ۲۲). فراوانی بیماری‌های قلبی، تنفسی، کاهش دید شهری، و افزایش آلودگی‌های محیطی، پیامدهای نامطلوب روند روبه افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در میان فعالیت‌های گوناگون بشر، بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به بخش انرژی بوده است و از میان گازهای گلخانه‌ای بیشترین انتشار به ترتیب به CO₂ با ۸۲ درصد، CH₄ با ۱۱ درصد و NO₂ با ۵ درصد مربوط می‌شود (بزازان و خسروانی، ۱۳۹۵: ۵). ساختمان‌ها به عنوان یکی از بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در شهر، به طور تقریبی چهل درصد مصرف سالانه انرژی در دنیا را به خود اختصاص می‌دهند که در کشورهای مختلف به دلیل ویژگی‌های مختلف آنها، این بخش سهم متفاوتی را در مصرف انرژی به خود اختصاص داده است (رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۸). در حال حاضر حدود چهل درصد از کل انرژی کشور صرف گرمایش، سرمایش و روشنایی ساختمان‌ها می‌گردد. متأسفانه با این وجود، اقدامات انجام شده در سال‌های اخیر، اثربخشی مورد انتظار را در کاهش مصرف انرژی بخش ساختمان نداشته است و رشد مصرف، همچنان روند افزایشی نگران‌کننده‌ای دارد. بدیهی است که تداوم این وضعیت،

تبعات اقتصادی و زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری برای کشور به دنبال خواهد داشت (مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹: خ). حفظ زنجیره حیات، تأمین سلامت و لزوم تأمین منابع سالم غذایی و همچنین نیاز به منبعی از مواد اولیه برای تأمین نیازهای انسان، از جمله دلایلی می‌باشد که ضرورت کاهش استفاده از انرژی‌های فسیلی در ساختمان‌ها به عنوان یکی از مصرف‌کنندگان عمده انرژی در کشور را ایجاد کرده است. لذا کاهش میزان مصرف بالای انرژی در ساختمان‌ها یکی از محورهای اساسی محدود ساختن این روند می‌باشد.

۲- پرسش‌های تحقیق

سوال‌های اصلی پژوهش حاضر این است که استفاده از پلی‌استایرن در پوسته خارجی ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد تا چه میزان می‌تواند بار حرارتی مورد نیاز برای سرمایش سالانه ساختمان را کاهش بخشد؟ استفاده از پلی‌استایرن در پوسته خارجی ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد تا چه میزان می‌تواند بار حرارتی مورد نیاز برای گرمایش سالانه ساختمان را کاهش بخشد؟

۳- فرضیه تحقیق

این تحقیق با ارائه و مطرح نمودن این فرضیه که کاربرد پلی‌استایرن در شکل‌دهی به پوسته خارجی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم سرد، تأثیر چشمگیری در کاهش مصرف انرژی جهت تأمین شرایط آسایش حرارتی فضاهای داخلی ساختمان در طی فصول مختلف سال داشته، در پی سنجیدن این تأثیر در ساختمان‌های دارای کاربری مسکونی در شهر همدان به عنوان بخشی از اقلیم سرد کشور بر کاهش مصرف انرژی استفاده شده به منظور سرمایش و گرمایش فضاهای داخلی جهت تأمین و تنظیم شرایط آسایش حرارتی و نیز مشخص کردن میزان و دامنه این کاهش مصرف، در مقایسه با ساختمان‌های مشابه فاقد این نوع مصالح عایق می‌باشد.

۴- پیشینه تحقیق

الحازمی (۲۰۰۶) به سنجش میزان انتقال حرارت از طریق بلوک‌های دیواری توخالی به منظور تعیین مناسب‌ترین حالت عایقکاری حرارتی در ساختمان طی سه حالت مختلف پیکربندی جهت بلوک پرداخته و بلوک



معمولی با سه حفره توخالی یکسان هوا، بلوکی که حفره‌های آن با پلی‌استایرن به طور کامل پر شده و در حالت سوم حفره‌ها با پلی‌استایرن توخالی را با یکدیگر مقایسه نموده است. نتایج مبتنی بر شبیه‌سازی در نرم‌افزار فلونت نشان می‌دهد جاگذاری کامل پلی‌استایرن در بخش‌های توخالی بلوک می‌تواند تا ۳۶ درصد میزان انتقال حرارت از طریق بلوک را کاهش دهد. جاگذاری پلی‌استایرن به همراه هوای در گردش در حفره‌های توخالی فقط ۶ درصد انتقال حرارت را کم می‌کند. همچنین این پژوهش نشان می‌دهد با جاگذاری پلی‌استایرن درون حفره‌های توخالی بلوک می‌توان ۲۵ درصد انتقال حرارت را در کل ساختمان کاهش داد. وو و همکاران (۲۰۱۱) نیز در تحقیق خود رسانایی حرارتی فوم پلی‌استایرن اکستروود شده را با دمیدن دی‌اکسیدکربن در آن طی زمان تولید بهینه نموده و انتقال حرارت آن از طریق تشعشع را کاهش داده و نتیجه گرفته‌اند، کربن سیاه و گرافیت، براساس درصد افزودنی به پلی‌استایرن اکستروود شده می‌توانند بین ۱ الی 0.001 W/m.K رسانایی حرارتی این عایق را کاهش دهند. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ویژگی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت پلی‌استایرن اکستروود که در طی فرآیند تولید، در آن دی‌اکسیدکربن دمیده شده می‌تواند نیازهای یک ساختمان کم‌انرژی را برآورده سازد. دمیربوگا و کان (۲۰۱۲) با استفاده از ضایعات پلی‌استایرن منبسط‌شده در فوم بتن به جای مصالح طبیعی، خصوصیات این محصول از جمله هدایت حرارتی آن را در پژوهش خود تغییر داده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش درصد استفاده از ضایعات پلی‌استایرن در ساخت فوم بتن، مقدار هدایت حرارتی نیز کاهش و به تبع آن مقاومت حرارتی افزایش می‌یابد. سیکولاراک و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تاثیر استفاده از مصالح دارای پایه چوبی بکار رفته در نما بر کاهش میزان مصرف انرژی در بازسازی ساختمان‌های موجود پرداخته و مشخص نموده‌اند که افزایش ضخامت لایه پلی‌استایرن به ۱۶ سانتیمتر موجب می‌شود تا میزان انرژی مورد نیاز به منظور گرمایش فضای ساختمان‌های مورد بررسی، به میزان ۷۷٫۶۸ درصد کاهش یابد. صیادی و همکاران (۲۰۱۶) با افزودن ذرات پلی‌استایرن

به فوم بتن موجب تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی آن از قبیل رسانایی حرارتی، مقاومت در برابر حریق و مقاومت فشاری شده‌اند. در این پژوهش پلی‌استایرن با نسبت‌های مختلف به فوم بتن افزوده شده و ویژگی‌های فیزیکی هر نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در صورت اعمال ۸۲ درصد پلی‌استایرن در یک نمونه فوم بتن می‌توان هدایت حرارتی آن را به کمتر از 0.0848 W/m.K رساند. همچنین مقدار هدایت حرارتی فوم بتن با ۲۸ درصد پلی‌استایرن در حدود ۲٫۵ برابر عدد مذکور می‌باشد. لی و همکاران (۲۰۱۸) روش متداول ارتقا عایقکاری حرارتی دیوارها در حال حاضر را افزودن لایه عایق حرارتی به مراحل احداث دیوار دانسته و پیشنهاد نموده که ماده عایق حرارتی در درون حفره‌های بلوک مصنوعی درون دیوارها قرار گیرد. نتایج پژوهش ایشان که به صورت عملی در یک نمونه تجربی در چنگدو چین انجام شد، نشان می‌دهد که دیوارهای پر شده با پلی‌استایرن دارای کمترین مقدار جریان حرارت و طولانی‌ترین اختلاف زمان جهت انتقال حرارت می‌باشد و در صورتی که حفره‌های سمت خارج بلوک به جای حفره‌های سمت داخل بلوک با پلی‌استایرن پر شود، رفتار حرارتی دیوار به میزان ۵٫۳ تا ۱۰٫۹ درصد ارتقا می‌یابد. دوگان و تان (۲۰۱۹) با سنجش رابطه میزان مقاومت حرارتی پلی‌استایرن و دمای محیط با استفاده از نمونه‌هایی از بلوک مربع‌شکل پلی‌استایرن به طول ۳۰ سانتیمتر و ضخامت ۲۰ میلی‌متر و چگالی‌های متفاوت ۱۶، ۲۱ و ۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب در دمای محیط به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتیگراد پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که میزان هدایت حرارتی پلی‌استایرن با ابعاد و چگالی معین براساس تغییرات دمای محیط دچار نوسان می‌شود. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) طی پژوهشی یک ساختمان دانشگاهی در شهر چنگدو چین را به منظور سنجش عایقکاری حرارتی دیوارهای خارجی و نیز بررسی ضخامت لایه‌های عایق حرارتی انتخاب نمودند. نتایج نشان می‌دهد که افزودن لایه عایق حرارتی به پوسته خارجی ساختمان، برخلاف بار سرمایشی سالانه تاثیر بالاتری بر بار گرمایشی سالانه ساختمان دارد. همچنین مشاهده می‌گردد که در چنین حالتی در مقایسه با حالتی که ساختمان فاقد عایقکاری



حرارتی می‌باشد، به میزان ۲۱/۵۲ درصد در بار حرارتی سالانه، ۳/۷۸ درصد کل بار حرارتی و ۲۵/۳۴ درصد هزینه سالانه انرژی به ازای هر مترمربع زیربنا کاهش می‌یابد.

رمضانیان و بحرکاظمی (۱۳۹۰) چهار نوع دیوار بیرونی ساختمان که دارای مصالح عایق حرارتی از قبیل پشم معدنی و پلی‌استایرن بوده را انتخاب و پس از بررسی در قالب روش AHP نشان داده‌اند که دیوارهای خارجی دارای پلی‌استایرن به عنوان عایق حرارتی از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی رفتار بهتری در مقایسه با دیوارهای حاوی پشم معدنی داشته و در رتبه بالاتری قرار می‌گیرند. غفاری جباری و همکاران (۱۳۹۲) بیست و پنج نوع مختلف ساختمان را طراحی و توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی دیزاین بیلدر، مدل‌سازی کرده‌اند. نتایج نشان دهنده آن است که تأثیر عایق‌کاری نما بر مصرف انرژی بسیار زیاد است و بیشترین اتلاف از طریق عناصر نما اتفاق می‌افتد. با عایق‌کاری نما و ایزوله کردن سقف دیوار دوجداره عایق‌کاری شده، پنجره لوو-ای دوجداره و سقف عایق‌کاری شده به صورت همزمان تا ۴۱ درصد مصرف انرژی کل را کاهش داده است. جان‌زاده و زندیه (۱۳۹۵) نشان داده‌اند که با بهره‌گیری از عایق‌های حرارتی و ظرفیت حرارتی مصالح، سایه‌بان مناسب و تهویه طبیعی می‌توان به ترتیب به میزان ۲۳٪، ۲۱٪ و ۱۲٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. عایق حرارتی به‌کار گرفته شده در این پژوهش، صفحات پلی‌استایرن می‌باشد که از لایه‌های با ضخامت پنج سانتیمتر درون دیوارها و لایه‌های با ضخامت شش سانتیمتر به روی سقف‌ها جهت عایق‌کاری حرارتی استفاده گردیده است. رامین و همکاران (۱۳۹۵) نیز ضخامت بهینه اقتصادی و حرارتی و محیط‌زیستی عایق دیوار ساختمان‌ها را با استفاده از مدل حل‌گذرا (روش دقیق) به جای مدل‌های تخمینی روز درجه‌گرمایش و سرمایه‌ش مورد بررسی قرار داده‌اند. در پژوهش ایشان، بار سرمایه‌ش و گرمایشی هر دو به صورت همزمان در بهینه‌سازی استفاده شده است. آنالیزها نشان می‌دهد که مصرف سوخت با به‌کار بردن عایق در ضخامت بهینه به صورت قابل ملاحظه‌ای

کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در این حالت مقدار آن به کمتر از ۲۵٪ دیوار بدون عایق می‌رسد.

۵- روش تحقیق

به منظور اجرای این پژوهش ابتدا یازده واحد مسکونی در قالب دو مجتمع در شهر همدان به عنوان نمونه انتخاب گردیده و از آغاز اولین مراحل اجرای بنا، اطلاعات و آمار فنی مرتبط با عایق‌کاری پوسته خارجی آنها که بر مبنای استفاده از لایه‌های پلی‌استایرن بود، به صورت میدانی جمع‌آوری و در قالب نقشه، عکس و گزارشات فنی ثبت گردید. پس از اتمام مراحل ساخت و آغاز بهره‌برداری، نمونه‌ها به مدت یک سال مورد مشاهده و برداشت‌های میدانی به لحاظ میزان واقعی مصرف انرژی بر مبنای قبوض صادره ادارات خدمات‌رسان گاز و برق قرار گرفته و اطلاعات مصرف انرژی این بخش نیز ثبت گردید. در مرحله بعد، بر مبنای اطلاعات، نقشه‌ها و مدارک فنی جمع‌آوری شده در مراحل قبل، نسبت به ساخت مدل هریک از نمونه‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و تحلیل مصرف انرژی هریک اقدام و نتایج به دست آمده از خروجی‌های نرم‌افزار با مصرف واقعی انرژی توسط نمونه‌ها مقایسه و میزان انحراف گزارشات نرم‌افزاری با حالت واقعی تعیین گردید. سپس در مدل‌های نرم‌افزاری تولید شده از هریک از نمونه‌ها، تغییراتی در پوسته کالبدی ایجاد شده و با حذف پلی‌استایرن، مصالح متداول فاقد عایق حرارتی جایگزین شده و مجدداً مصرف انرژی نمونه‌ها در حالت فاقد عایق در نرم‌افزار مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. پس از اعمال انحراف معیار ناشی از خطای مصرف واقعی و شبیه‌سازی به روی خروجی‌های مدل جدید، میزان مصرف انرژی هریک از نمونه‌ها در حالت فاقد عایق حرارتی، نرمال‌سازی شده و با میزان مصرف در حالت دارای عایق حرارتی مورد مقایسه قرار گرفت.

در پژوهش حاضر، از آنجا که تغییرات در مصرف انرژی ساختمان‌های نمونه در حالت عایق‌کاری حرارتی، با مصرف انرژی همان ساختمان بدون عایق‌کاری حرارتی مورد مقایسه قرار می‌گیرد، می‌توان جنبه‌های تجربی را در روش تحقیق با وضوح بیشتری ملاحظه نمود. البته باید به این نکته نیز اشاره نمود که هنگامی که امکان انتخاب ساختمان مورد استفاده به عنوان نمونه تحت



تجربه بصورت تصادفی ممکن نباشد و یا نتوان متغیرهای مستقل را به طور کامل مورد مداخله قرار داد، این روش تحقیق حالت نیمه‌تجربی یا شبه‌تجربی به خود می‌گیرد. در بخش‌های دیگری از این پژوهش که برمبنای سنجش روابط بین متغیرها و میزان اثرگذاری هریک بر دیگری می‌باشد، روش تحقیق به سمت الگوی همبستگی هدایت شده و در نهایت در مراحل از پژوهش که براساس نرم‌افزار شبیه‌ساز مصرف انرژی، به مدلسازی ساختمان نمونه و تحلیل رفتار حرارتی آن پرداخته می‌شود، از روش تحقیق شبیه‌سازی استفاده شده است.

۶- مبانی نظری:

پوسته خارجی ساختمان که شامل درها، جداره‌های نورگذر شفاف (پنجره‌ها و نورگیرهای سقفی) و جداره‌های صلب (دیوارها، سقف پیلوت و پشت‌بام) است، مهمترین عوامل هدررفت انرژی ناشی از فقدان یا عدم کفایت عایق حرارتی پوسته خارجی ساختمان و وجود پل‌های حرارتی در آن است.

۶-۱- روش‌های کاربرد پلی‌استایرن در عایقکاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان

یکی از روش‌های متداول به منظور عایقکاری حرارتی دیوارهای خارجی ساختمان، استفاده از مصالح عایق حرارتی در جزئیات اجرایی این دیوارها است. پلی‌استایرن به عنوان ماده‌ای که دارای ضریب هدایت حرارتی کم و به تبع آن مقاومت حرارتی بالا می‌باشد، دارای کاربرد وسیعی در عایقکاری حرارتی دیوارهای خارجی ساختمان می‌باشد. چنانچه از پلی‌استایرن منبسط شده یا به اصطلاح، پلاستوفوم در عایقکاری حرارتی ساختمان استفاده شود، با توجه به وزن مخصوص خشک آن که در محدوده ۷ الی ۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب قرار دارد، ضریب هدایت حرارت موثر آن، بین ۰,۰۵۶ تا ۰,۰۳۸ W/m.K و در صورت استفاده از پلی‌استایرن اکسترود شده که وزن مخصوص خشک آن مابین ۲۸ الی ۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد، مقدار ضریب هدایت حرارتی موثر در محدوده ۰,۰۴۱ الی ۰,۰۳۱ W/m.K خواهد بود (مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۰: ۹۴). همچنین مقاومت حرارتی لایه هوای مجاور سطوح داخلی انواع جداره‌های در تماس با

فضای خارجی براساس زاویه جدار نسبت به سطح افقی و نیز جهت جریان حرارت، از ۰,۰۹ الی ۰,۱۷ m².k/w و برای لایه هوای مجاور سطوح خارجی، این مقاومت در محدوده ۰,۱۴ الی ۰,۲۲ m².k/w می‌باشد (مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۰: ۹).

روش استفاده از این ماده در جزئیات اجرایی دیوارهای خارجی به چهار صورت می‌تواند باشد. در حالت نخست که عایق حرارتی خارجی نامیده می‌شود، یک لایه سراسری و یکپارچه پلی‌استایرن در سطح خارجی دیوار بیرونی ساختمان قرار می‌گیرد. در این شیوه با توجه به پیوستگی لایه عایق و عدم وجود پل‌های حرارتی در دیوار، بهترین عملکرد را به لحاظ رفتار حرارتی می‌توان مشاهده نمود. در شیوه دوم یا عایق حرارتی داخلی، لایه پلی‌استایرن در سطح داخلی دیوار خارجی نصب می‌شود. در این شیوه با توجه به عدم عایقکاری حرارتی سقف‌های هر طبقه، سقف‌های مذکور به عنوان پل حرارتی عمل نموده و منجر به افت مقاومت حرارتی کلی دیوار در مقایسه با حالت قبل می‌شود، برای همین لازم است با افزایش میزان مقاومت حرارتی سایر قسمت‌های دیوار، ضعف مقاومت حرارتی را در محل این پل‌ها جبران نمود. در حالت سوم یا عایق حرارتی میانی، لایه پلی‌استایرن در درون ضخامت دیوار واقع می‌شود. دیوارهای دوجداره و نیز انواع بلوک‌های دیواری اعم از سفالی یا سیمانی که دارای هسته میانی پلی‌استایرن می‌باشند را در قالب این روش می‌توان طبقه‌بندی نمود. با توجه به اینکه در این روش نیز سقف‌ها همانند روش دوم، به عنوان پل حرارتی عمل می‌نمایند، لذا کارایی حرارتی این روش نیز در حد روش دوم ارزیابی می‌شود. در روش چهارم یا عایق حرارتی همگن، مصالح اصلی تشکیل دهنده بدنه دیوار، خود به عنوان عایق حرارتی عمل می‌نمایند. دیوارهای یه اصطلاح D₃ پانل در این گروه قرار می‌گیرند. برای هریک از روش‌های چهارگانه نصب پلی‌استایرن در جداره خارجی ساختمان با توجه به گروه‌بندی اقلیمی، لازم است حداقل مقاومت حرارتی قابل قبول تامین شود. از آنجا که این پژوهش در شهر همدان انجام یافته و شهر مذکور از این لحاظ براساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان در گروه یک واقع



جدول ۱- جدول مخلوط شرایط آب‌وهوایی شهر همدان.
(ماخذ: سالنامه آماری استان همدان، ۱۳۹۴: ۱۷)

| | | | | | | | |
|----|------------------|--------------|---------------------|----------------------|-------------|------------|-----------------|
| ۱۲ | ۱۵ | ۲۲۶/۶ | ۲۰/۱ | -۶/۳ | ۷/۵ | ۵۲ | ۸/۲ |
| ۱۱ | ۱۶ | ۲۰۴/۳ | ۱۶/۶ | -۱۳ | ۱/۵ | ۶۷ | ۳۳/۷ |
| ۱۰ | ۱۹ | ۱۶۰/۴ | ۱۴/۵ | -۱۵/۶ | ۱ | ۷۱ | ۱۳/۶ |
| ۹ | ۱۵ | ۱۴۵/۱ | ۱۵/۸ | -۱۱ | ۰/۹ | ۷۸ | ۱۷/۸ |
| ۸ | ۱۲ | ۱۴۶/۶ | ۲۴/۷ | -۳ | ۸/۴ | ۷۴ | ۸۹/۴ |
| ۷ | ۹ | ۲۴۹/۹ | ۳۱/۳ | ۲ | ۱۶/۹ | ۴۰ | ۱/۴ |
| ۶ | ۱۵ | ۳۱۳ | ۳۵ | ۶/۲ | ۲۰/۸ | ۳۶ | ۱۵/۳ |
| ۵ | ۱۳ | ۳۵۸/۲ | ۳۸/۲ | ۱۱/۷ | ۲۵/۳ | ۲۰ | ۰ |
| ۴ | ۱۲ | ۲۹۳ | ۳۹/۸ | ۱۱/۴ | ۲۶/۴ | ۳۳ | ۴/۴ |
| ۳ | ۱۴ | ۳۴۷/۳ | ۳۵/۶ | ۷/۷ | ۲۱/۹ | ۲۶ | ۰/۲ |
| ۲ | ۲۴ | ۳۰۹/۶ | ۲۹/۷ | -۱/۹ | ۱۵/۸ | ۳۳ | ۴/۸ |
| ۱ | ۲۴ | ۲۵۵/۴ | ۲۴/۷ | -۳/۶ | ۹/۸ | ۵۲ | ۴۸/۳ |
| | شمسی | | (C) بالاترین بیشینه | (C) پایین‌ترین کمینه | (C) میانگین | % | میلیمتر |
| | متر/ثانیه | ساعت در ماه | | | | | |
| | حد اکثر سرعت باد | ساعات آفتابی | | دما | | رطوبت نسبی | بارندگی ماهیانه |
| | ماه | | | | | | |

۷- مطالعات و بررسی‌ها

۷-۱- ضوابط عایقکاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان بخش‌های بیرونی ساختمان که در مجاورت هوای آزاد واقع شده و نیاز به عایقکاری حرارتی دارند، علاوه بر بازشوها که به درب‌ها، پنجره‌ها و سطوح نورگیر محدود می‌شود، دیوارها، بام و کف را نیز شامل می‌شود. به منظور عایقکاری این بخش‌ها و حداقل مقاومت حرارتی هر قسمت، ضوابطی در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ارائه شده است. طرحواره محل استقرار لایه عایق حرارتی در هریک از بخش‌های مذکور برای ساختمان‌های واقع در گروه یک از جمله ابنیه مسکونی شهر همدان که دارای استفاده مداوم در طول شبانه‌روز

می‌شود، لذا حداقل این مقاومت حرارتی برای دیوارهای خارجی در قالب روش تجویزی و مشروط به استفاده از پنجره‌های برتر در دیوارهای مذکور به ترتیب معادل ۱،۲، ۲،۳، ۲،۳ و ۲،۱ m².k/w می‌باشد(مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۰: ۳۷).

اطلاعات پایه اقلیمی شهر همدان براساس فصل اول سالنامه آماری استان همدان که به ارائه اطلاعات حوزه سرزمین و آب‌وهوا می‌پردازد، استخراج شد(سالنامه آماری استان همدان، ۱۳۹۴: ۱۷). براساس اعداد و ارقام مربوط به اطلاعات اقلیمی ماهیانه همدان، جدول مخلوط شرایط آب‌وهوایی این شهر تنظیم گردید.

عایق‌های پلی‌استایرن یکی از متداول‌ترین انواع عایق‌های حرارتی بوده که دارای رفتار حرارتی قابل قبولی به منظور عایقکاری کف، سقف و دیوار ساختمان‌ها می‌باشد. این محصول که در ضخامت و چگالی‌های مختلف تولید می‌شود، دارای کاربردهای متنوعی در داخل و خارج از ساختمان است. ویژگی‌هایی نظیر سبکی، سرعت و سهولت در اجرا، صرفه‌جویی در گچ‌و‌خاک، انعطاف‌پذیری بالا و عدم خرد شدن، حمل و نقل راحت، نسبت بالای استحکام به وزن و مهمتر از همه ضریب هدایت حرارتی پایین موجب گردیده که استفاده از این مصالح به عنوان عایق حرارتی در بخش‌های مختلف ساختمان روبه‌گسترش باشد. از دید اجرایی، این محصول را می‌توان در سمت داخل و یا خارج پوسته بیرونی ساختمان قرار داد که هریک ملاحظات اجرایی خاص خود را دارد. همچنین استفاده در لایه میانی دیوارهای خارجی، اعم از کاربرد به شکل دیوار دوجداره و نیز در بلوک‌های سفالی و سیمانی با هسته مرکزی پلی‌استایرن، از دیگر قابلیت‌های این مصالح می‌باشد.



جدول ۲- حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور خاک فضاهای کنترل شده (ماخذ: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۰: ۳۸)

| موقعیت کف ساختمان | |
|--------------------------------------|---|
| بیش از ۴۰ سانتیمتر بالاتر از محوطه | کمتر از ۴۰ سانتیمتر بالاتر از محوطه، یا همتراز با محوطه، یا پایین تر از محوطه |
| عایقکاری سراسری | عایقکاری سراسری |
| عایقکاری با پیرامونی با عرض حداقل ۷۰ | عایقکاری سراسری |
| ۰/۹ | ۰/۷ |
| ۱/۱ | ۰/۷ |

در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ براساس محل قرارگیری لایه پلی‌استایرن، مشاهده می‌شود که مقادیر حداقل مقاومت حرارتی مورد نیاز هم دچار تغییر می‌شود. این موضوع به ایجاد پل‌های حرارتی در هریک از جزئیات ارتباط پیدا می‌کند. در آن دسته از جزئیات که یکپارچگی لایه عایق حرارتی از بین رفته و منجر به انقطاع آن شده، جهت جبران این ضعف که ناشی از شکل‌گیری پل‌حرارتی می‌باشد، بر میزان حداقل مقاومت حرارتی یک مترمربع از سطح مذکور افزوده شده و بالعکس در آن دسته از جزئیات که انقطاعی در لایه عایق حرارتی به چشم نمی‌آید، مقدار حداقل مقاومت حرارتی مورد انتظار برای هر مترمربع از سطح یادشده، رقم کمتری را به خود اختصاص داده است.

موضوعاتی نظیر افزایش دقت اجرا، سرعت بالاتر، کاهش حجم و ضخامت مصالح نازک‌کاری موجب گردیده که استفاده از پلی‌استایرن، نسبت به دیگر روش‌های اجرایی عایقکاری حرارتی از عمومیت بیشتری برخوردار گردد. لذا می‌توان انتظار داشت با کاربرد صحیح و اصلاح ایرادات در مراحل تولید تا استفاده از این محصول، بتوان تاثیر به‌سزایی در کاهش بار حرارتی ساختمان‌ها به منظور گرمایش و سرمایش و درنهایت صرفه‌جویی مصرف انرژی به جای نهاد. تامین شرایط آسایش حرارتی فضاهای درونی ساختمان، تابعی از شرایط اقلیمی منطقه می‌باشد. ترکیب این شرایط معمولاً در قالب جدول زیست‌اقلیمی ساختمان قابل مشاهده می‌باشد. در این جدول محدوده‌ای که با استفاده از مصالح ساختمانی مناسب از نظر ظرفیت و مقاومت

می‌باشد، به انضمام حداقل مقاومت حرارتی لایه در شکل‌های زیر ارائه شده است.

| دیوار مجاور فضای کنترل شده | دیوار مجاور فضای خارج | | | |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| | عایق حرارتی خارجی | عایق حرارتی داخلی | عایق حرارتی داخلی | عایق حرارتی همگن |
| | | | | |
| ۱/۲ | ۲/۳ | ۲/۳ | ۲/۳ | ۲/۱ |

شکل ۱- محل استقرار عایق و حداقل مقاومت حرارتی دیوارها (ماخذ: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۰: ۳۷)

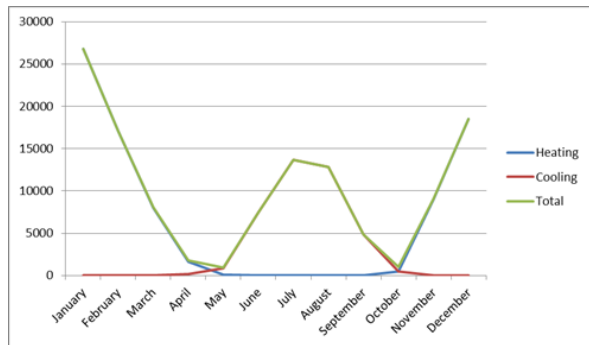
| بام یا سقف مجاور فضای کنترل شده | بام یا سقف مجاور فضای خارج | | | |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | عایق حرارتی خارجی بام یا سقف | عایق حرارتی داخلی بام یا سقف | عایق حرارتی داخلی بام یا سقف | عایق حرارتی خارجی بام یا سقف |
| | | | | |
| ۳/۰ | ۳/۰ | ۳/۰ | ۳/۰ | ۲/۱ |

شکل ۲- محل استقرار عایق و حداقل مقاومت حرارتی بام یا سقف (ماخذ: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۰: ۳۷)

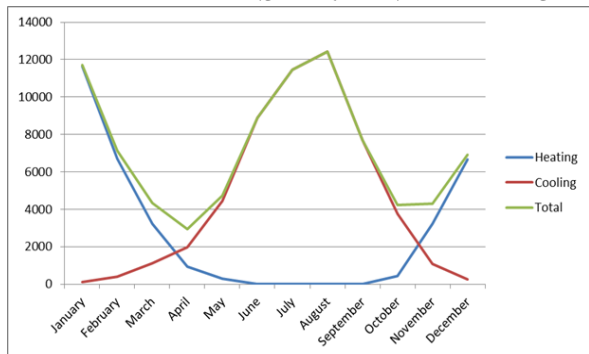
| کف مجاور فضای کنترل شده | کف مجاور فضای خارج | | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | عایق حرارتی خارجی بام کف | عایق حرارتی داخلی کف | عایق حرارتی داخلی کف | عایق حرارتی خارجی کف |
| | | | | |
| ۳/۲ | ۳/۲ | ۳/۲ | ۳/۲ | ۲/۱ |

شکل ۳- محل استقرار عایق و حداقل مقاومت حرارتی کف مجاور هوا (ماخذ: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۰: ۳۸)

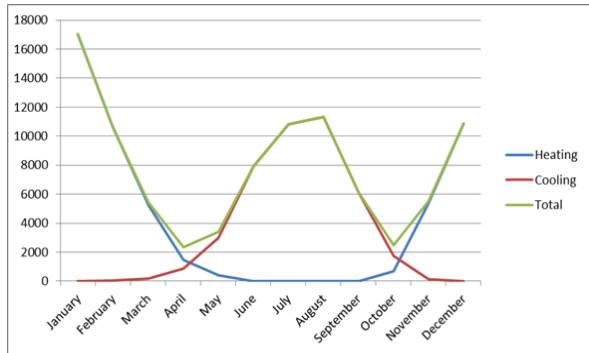




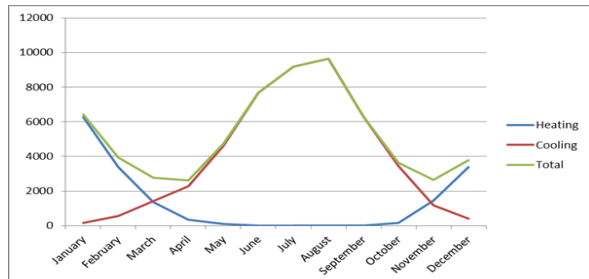
نمودار ۲- میزان مصرف انرژی نمونه اول در حالت بدون عایق حرارتی برحسب kWh (ماخذ: نویسندگان)



نمودار ۳- میزان مصرف انرژی نمونه اول در حالت دارای عایق حرارتی برحسب kWh (ماخذ: نویسندگان)

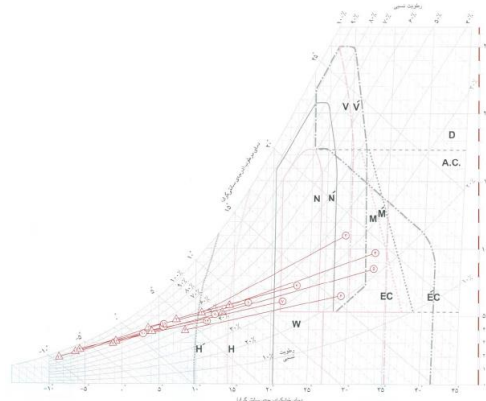


نمودار ۴- میزان مصرف انرژی نمونه دوم در حالت بدون عایق حرارتی برحسب kWh (ماخذ: نویسندگان)



نمودار ۵- میزان مصرف انرژی نمونه دوم در حالت دارای عایق حرارتی برحسب kWh (ماخذ: نویسندگان)

حرارتی، می‌توان شرایط فضای داخلی را در محدوده آسایش حرارتی قرار داد با M مشخص شده است.



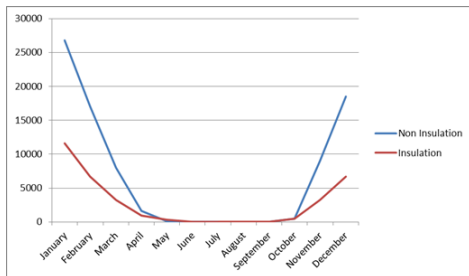
نمودار ۱- نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی همدان (ماخذ: اقلیم و معماری، ۱۳۸۴: ۳۹۳)

۸- یافته‌های تحقیق

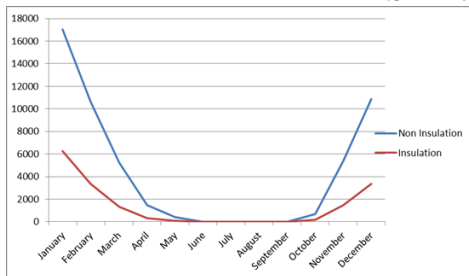
در گام نخست این پژوهش، بر مبنای داده‌های به دست آمده از مدلسازی نرم‌افزاری و نیز فایل‌های آب‌وهوایی استاندارد شهر همدان برای یازده واحد مسکونی نمونه، اطلاعات مصرف انرژی ساختمان‌ها در فصول سرد سال به منظور تامین گرمایش و در فصول گرم سال به منظور تامین سرمایش استخراج گردید. در مرحله شبیه‌سازی، سعی شد کلیه مشخصات مدل‌های نرم‌افزاری در انطباق با شرایط واقعی نمونه‌های یازده‌گانه تعریف شده تا حداکثر انطباق وضع موجود بین نمونه‌ها و نیز مدل‌ها صورت پذیرد. در این مرحله برای هر یک از نمونه‌ها، دو مدل نرم‌افزاری تهیه شد. در مدل اول، فرض کلی بر این استوار بود که کلیه بخش‌های پوسته کالبدی بنا توسط پلی‌استایرن تحت عایقکاری حرارتی واقع گردیده است. مدل دوم نیز در تمام قسمت‌ها مشابه مدل اول در نظر گرفته شد و تنها در پوسته کالبدی، پلی‌استایرن به عنوان مهم‌ترین مصالح تامین کننده مقاومت حرارتی ساختمان حذف و با مصالح متداول فاقد مقاومت حرارتی جایگزین شد. نتایج حاصل از مقایسه تطبیقی اعداد و ارقام مدل‌های عایق و فاقد عایق برای هر یازده نمونه نشان می‌دهد که مصرف انرژی در حالت مدل عایق به مراتب کمتر از مدل فاقد عایق به منظور تامین گرمایش و سرمایش می‌باشد. مقادیر این تفاوت مصرف برای نمونه‌ها در نمودارهای دو الی پنج قابل مشاهده است.



غیرفعال بوده) و نیز در کل سال با کاربرد پلی‌استایرن، شاهد کاهش مصرف گاز طبیعی به منظور تامین گرمایش فضاهای داخلی واحدها می‌باشند. مقادیر کاهش مصرف گاز به منظور گرمایش فضاهای داخلی واحدهای مستقر در نمونه اول در نمودار شماره شش و برای واحدهای مستقر نمونه دوم در نمودار شماره هفت مشاهده می‌شود.

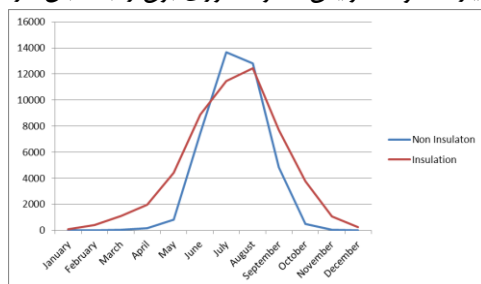


نمودار ۶- مقایسه مصرف گاز گرمایش نمونه اول در حالت عایق و بدون عایق حرارتی برحسب Kwh (ماخذ: نویسندگان)



نمودار ۷- مقایسه مصرف گاز گرمایش نمونه دوم در حالت عایق و بدون عایق حرارتی برحسب Kwh (ماخذ: نویسندگان)

در زمینه سرمایه‌های برخلاف گرمایش، روند کلی بیانگر آن بود که استفاده از پلی‌استایرن با مشخصات ارائه شده در این پژوهش، در بیشتر ماه‌ها و نیز کل سال برای هر یازده نمونه، افزایش مصرف انرژی برق را به دنبال دارد.



نمودار ۸- مقایسه مصرف برق سرمایه‌های نمونه اول در حالت عایق و بدون عایق حرارتی برحسب Kwh (ماخذ: نویسندگان)

بخش اعتبارسنجی داده‌های حاصل از تحلیل‌های نرم‌افزار، بر مبنای مقایسه داده‌های کسب شده از نرم‌افزار با میزان مصارف واقعی گاز طبیعی و برق در هریک از یازده نمونه در طی یک سال انجام پذیرفت. در طی این بخش، میزان مصرف واقعی گاز طبیعی و برق هریک از نمونه‌ها براساس قبوض مصرف انرژی صادر شده از سوی سازمان‌های خدمات‌رسان ذیربط مورد بررسی واقع شد. در این بخش براساس ضرایب استاندارد معتبر، درصدی از مصارف کل گاز طبیعی و برق که تنها صرف گرمایش و سرمایش فضاهای داخلی کنترل شده هر واحد می‌شود، استخراج و صرفاً همان مقادیر معیار سنجش اعتبار داده‌های کسب شده از مرحله شبیه‌سازی نرم‌افزاری واقع شد. از آنجا که هریک از یازده نمونه یادشده در حالت واقعی دارای پلی‌استایرن در پوسته خارجی خود به عنوان عایق حرارتی بوده، لذا مقادیر به دست آمده از مصرف واقعی انرژی که در قبوض گاز طبیعی و برق مندرج گردیده، صرفاً مبنایی برای مقایسه با داده‌های حاصل از مدل دارای عایق حرارتی قرار گرفت. علیرغم آنکه سعی بر آن بوده تا کلیه ویژگی‌ها و مشخصه‌های مدل‌های تعریف شده در نرم‌افزار با شرایط واقعی نمونه‌ها یکسان باشد، اما به دلیل اثر متغیرهای محیطی غیرقابل پیش‌بینی نظیر رفتار ساکنین، تفاوت‌های جزئی آب‌وهوایی در طی یک سال و مغایرت‌های اجرایی نمونه‌ها با اسناد و مدارک فنی، انحرافات در مقادیر مصرف انرژی هریک از نمونه‌ها در مدل نرم‌افزاری عایق شده با شرایط واقعی دیده شد. همچنین با اعمال میانمایی خطی و نیز تقسیم به نسبت روزانه، تاثیر انطباق ماه‌های میلادی در نرم‌افزار با ماه‌های شمسی مندرج در قبوض مصرف انرژی برطرف و نتایج حاصله، نرمال‌سازی گردید.

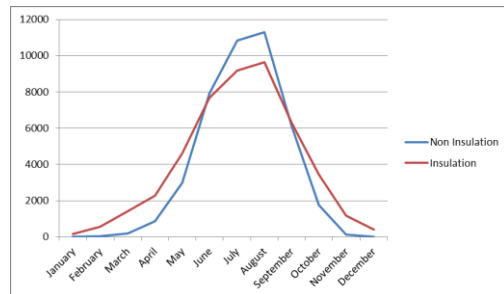
مقادیر انحراف مصرف واقعی انرژی در هریک از نمونه‌ها به تفکیک ماه و نیز سرجمع سالیانه به منظور تامین گرمایش و سرمایش با مقادیر متناظر حاصل از شبیه‌سازی مشخص شده و برای هر نمونه به شکل ضرایب اختصاصی گرمایشی و سرمایشی در بخش‌های قبلی اعمال شد. در این مرحله مشاهده گردید که نمونه‌های مذکور به طور ماهیانه (به غیر از ماه‌های گرم سال که سامانه‌های مکانیکی گرمایشی ساختمان



| | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| فوریه | ۱۷/۳۳ | -۵/۱۹ | ۱۸/۷۰ | -۵/۱۹ |
| مارس | ۱۸/۹۲ | -۳/۹۶ | ۲۰/۲۱ | -۳/۹۶ |
| آوریل | ۲۰/۷۸ | ۰/۸۷ | ۲۱/۵۴ | ۰/۸۷ |
| مه | ۲۳/۲۸ | ۳/۳۲ | ۲۳/۳۲ | ۳/۳۲ |
| ژوئن | ۲۵/۱۹ | ۵/۲۸ | ۲۴/۶۰ | ۵/۲۸ |
| جولای | ۲۶/۴۲ | ۶/۳۹ | ۲۵/۴۳ | ۶/۳۹ |
| آگوست | ۲۶/۱۶ | ۴/۴۱ | ۲۵/۲۴ | ۴/۴۱ |
| سپتامبر | ۲۴/۶۲ | ۱/۰۸ | ۲۴/۲۴ | ۱/۰۸ |
| اکتبر | ۲۲/۲۲ | ۰/۲۷ | ۲۲/۶۸ | ۰/۲۷ |
| نوامبر | ۱۸/۷۰ | -۰/۹۰ | ۲۰/۰۷ | -۰/۹۰ |
| دسامبر | ۱۶/۹۷ | -۴/۰۹ | ۱۸/۶۶ | -۴/۰۹ |

۹- نتیجه تحقیق

در حال حاضر حدود چهل درصد از کل انرژی کشور صرف گرمایش، سرمایش و روشنایی ساختمان‌ها می‌گردد. تداوم این وضعیت، تبعات اقتصادی و زیست‌محیطی جبران ناپذیری برای کشور به دنبال خواهد داشت. حفظ زنجیره حیات، تامین سلامت و لزوم تامین منابع سالم غذایی و همچنین نیاز به منبعی از مواد اولیه برای تامین نیازهای انسان، از جمله دلایلی می‌باشد که ضرورت کاهش استفاده از انرژی‌های فسیلی در ساختمان‌ها را ایجاب کرده است. لذا کاهش میزان مصرف بالای انرژی در ساختمان‌ها یکی از محورهای اساسی محدود ساختن این روند می‌باشد. در این پژوهش با تمرکز بر رفتار حرارتی پوسته خارجی ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد واقع در شهر همدان، به ارزیابی میزان مصرف انرژی در ساختمان‌هایی پرداخته که از پلی‌استایرن در اجرای پوسته خارجی آن استفاده گردیده است. لذا برپایه روش پژوهش شبیه‌سازی و سپس اعتبارسنجی نسبت به نمونه‌های واقعی، در قالب ۱۱ واحد مسکونی واقع در شهر همدان به سنجش این اثر پرداخته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و سنجش اعتبار آن با نمونه‌های واقعی در طول مدت پژوهش نشان داد که استفاده از پلی‌استایرن تا ۴۳ درصد افزایش بار سرمایشی و ۲۷ درصد کاهش بار گرمایشی براساس شرایط هریک از نمونه‌ها در طی ماه‌های مختلف سال را به دنبال دارد. اثر ترکیبی بارهای سرمایش و گرمایش در مجموع نشان از کاهش بار حرارتی ساختمان به‌طور کلی



نمودار ۹- مقایسه مصرف برق سرمایش نمونه دوم در حالت عایق و بدون عایق حرارتی برحسب Kwh (ماخذ: نویسندگان)

در مرحله بعدی پس از اعمال ضرایب به دست آمده از مرحله قبل به‌روی داده‌های شبیه‌سازی در حالت مدل‌های فاقد عایق حرارتی نمونه‌های یازده گانه، سعی بر آن شد تا مصرف انرژی هریک از یازده نمونه در حالت بدون عایق حرارتی را به تفکیک ماه و نیز کل سال از روی داده‌های حاصل از تحلیل نرم‌افزاری به مقادیر واقع نزدیک ساخت. نتایج این اعمال ضرایب انحراف، تخمین مصارف گاز طبیعی و برق در حالت واقعی هریک از یازده نمونه با فرض عدم استفاده از پلی‌استایرن به عنوان عایق حرارتی در پوسته کالبدی می‌باشد.

در آخرین مرحله مقادیر مصرف واقعی انرژی در حالت اعمال عایق حرارتی و فقدان عایق حرارتی برای هر یازده نمونه مشخص و میزان تمایز آنها برای هر نمونه به تفکیک ماه و نیز کل سال تعیین و ارائه گردید. مقایسه این دو خروجی نشان می‌دهد که کاربرد پلی‌استایرن در حوزه سرمایش، افزایش مصرف برق و در حوزه گرمایش کاهش مصرف گاز طبیعی را به دنبال دارد. سرجمع مصرف انرژی در هر دو حوزه سرمایش و گرمایش به دلیل غلبه افت مصرف گاز در مقایسه با افزایش مصرف برق، حاکی از کاهش کلی مصرف انرژی در طول یک سال برای تمام نمونه‌ها می‌باشد.

جدول ۳- تغییرات دمای فضاهای کنترل شده و کنترل نشده در ماه‌های سرد و گرم سال (ماخذ: نگارندگان)

| ماه (میلادی) | دمای هوا (C) | | | |
|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | نمونه (A) | | نمونه (B) | |
| | فضای کنترل شده | فضای کنترل نشده | فضای کنترل شده | فضای کنترل نشده |
| ژانویه | ۱۶/۶۱ | -۷/۷۰ | ۱۸/۰۳ | -۷/۷۰ |



نمونه موردی شهر جدید هشتگرد. آرمانشهر. ۶ : ۱۰۷-۱۱۶.

http://www.armanshahjournal.com/article_32676.html

• -رمضانیان، محمد رحیم، بحر کاظمی، مانی. ۱۳۹۰. انتخاب مناسب‌ترین دیوار خارجی ساختمان جهت صرفه‌جویی در انرژی با تکنیک AHP. انرژی ایران. دوره ۱۴. شماره ۳. ۱۷-۳۲.

<http://necjournals.ir/article-1-263-fa.html>

• -غفاری جباری، شهلا. غفاری جباری، شیوا. صالح، الهام. ۱۳۹۲. راهکارهای طراحی مسکن در بهینه‌سازی مصرف انرژی شهر تهران. پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی. سال اول، شماره ۱. ۱۱۵-۱۳۲.

http://eppjournal.ir/browse.php?code=A-10-2-1&slc_lang=fa&sid=1

• -کسمایی، مرتضی. ۱۳۸۴. اقلیم و معماری. احمدی نژاد، محمد. اصفهان: نشر خاک. ۲۹۳.

<https://www.arel.ir/fa/News-View-۸۲۶۸.html>

• -سالنامه آماری استان همدان. همدان: نشر سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان، ۱۳۹۴. ۶۹۷.

<https://www.amar.org.ir>

• -مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان صرفه‌جویی در مصرف انرژی. چاپ اول. تهران: نشر توسعه ایران، ۱۳۹۰. ۱۷۲.

• <https://www.bhrc.ac.ir/nbri>

• -Al-Hazmy, Majed M. (2006). Analysis of coupled natural convection-conduction effects on the heat transport through hollow building blocks. Energy and Buildings, Volume 38. 515- 5۲۱.

<https://www.sciencedirect.com/journal/energy-and-buildings/vol/38/issue/5>

• -Demirboga, Ramazan . Kan, Abdulkadir . Thermal conductivity

در طول یک سال دارد. این کاهش برای واحدهای نمونه اول ۲۵/۹ درصد معادل ۳۴۸۰۲/۹ کیلو وات ساعت و برای واحدهای نمونه دوم ۳۲/۶ درصد معادل ۳۰۶۴۸/۳ کیلو وات ساعت در طی یک سال می‌باشد.

۱۰- تشکر و قدردانی

موردی از طرف نویسنده ارائه نشده است.

۱۱- پی‌نوشت‌ها

موردی از طرف نویسنده ارائه نشده است.

۱۲- منابع فارسی و لاتین

• بریمانی، مهدی. کعبی نژادیان، عبدالرزاق. ۱۳۹۳.

انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه پایدار در ایران.

انرژی‌های تجدیدپذیر و نو. ۱: ۲۶-۲۱.

http://www.jrenew.ir/article_49019_cbac7b85adf6fcc98cb017fa594491b_4.pdf

• -بزازان، فاطمه. خسروانی، ندا. ۱۳۹۵. سنجش میزان

انتشار دی‌اکسیدکربن توسط بخش‌های مختلف

تولیدی و خانوارها ناشی از مصرف انرژی در ایران

(رویکرد داده‌ستانده زیست‌محیطی). اقتصاد

محیط‌زیست و منابع طبیعی. ۱: ۲۶-۱.

<https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/1184505/>

• -جان‌زاده، امیرحسین. زندیه، مهدی. ۱۳۹۵.

امکان‌سنجی طراحی یک واحد همسایگی

صرف‌انرژی در قزوین. پژوهش‌های سیاست‌گذاری و

برنامه‌ریزی انرژی. سال دوم، شماره ۳. ۱۳۲-۱۰۳.

<https://www.sid.ir/fa/journal/JournalListPaper.aspx?ID=65066>

• -رامین، هادی. حنفی‌زاده، پدram. اخوان‌بهبادی،

محمدعلی. ۱۳۹۵. ضخامت بهینه اقتصادی و

حرارتی و محیط‌زیستی عایق دیوار ساختمان‌ها.

مهندسی مکانیک مدرس. دوره ۱۶، شماره ۱۳.

۲۵۲-۲۵۵.

<https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=75941>

• -رفیعیان، مجتبی. فتح‌جلالی، آرمان. داداشپور،

هاشم. ۱۳۹۰. بررسی و امکان‌سنجی تاثیر فرم و

تراکم بلوک‌های مسکونی بر مصرف انرژی شهر،



(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816302756>)

- Sekularac, Jelena Ivanovic. Tovarovic, Jasna Cिकic. Sekularac, Nenad. (2016). Application of wood as an element of facade cladding in construction and reconstruction of architectural objects to improve their energy efficiency. Energy and Buildings, Volume 115. 85-93.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877881500256X>)

- Vo, Chau V. Bunge, Friedhelm. Duffy, John. Hood. (2011). Advances in Thermal Insulation of Extruded Polystyrene Foams. Cellular Polymers, Volume 30, No. 3. ۱۳۷- ۱۵۶.

(<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/026248931103000303?journalCode=crpa>)

- Zhang, Lili. Liu, Zu'an. Hou, Chaoping. Hou, Jiawen. Wei, Dong. Hou, Yuyao. (2019). Optimization analysis of thermal insulation layer attributes of building envelope exterior wall based on DeST and life cycle economic evaluation. Case Studies in Thermal Engineering, Volume 14. 1-9.

- (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X1830241Y>)

and shrinkage properties of modified waste polystyrene aggregate concretes. Construction and Building Materials. Volume ۳۵. ۷۳۰-۷۳۴.

(<https://www.sciencedirect.com/journal/construction-and-building-materials/vol/35/suppl/C>)

- Dogan, Battal. Tan, Husamettin. (2019). The Numerical and Experimental Investigation of the Change of the Thermal Conductivity of Expanded Polystyrene at Different Temperatures and Densities. International Journal of Polymer Science, 1-9 .

(<https://www.hindawi.com/journals/ijps/2019/6350326/>)

- Li, Jing. Meng, Xi. Gao, Yanna. Mao, Wei. Luo, Tao. Zhang, Lili. (2018). Effect of the insulation materials filling on the thermal performance of sintered hollow bricks. Case Studies in Thermal Engineering, Volume 11. 62-7۰ .

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X17302757>)

- Sayadi, Ali A. Tapia, Juan V. Neitzert, Thomas. Clifton, G. Charles. (2016). Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete. Construction and Building Materials, Volume 112. ۷۱۶- ۷۲۴.



۱۰- چکیده تصویری

