

# مقایسه تاثیر مصالح جداره ها بر آسایش حرارتی ساکنین و انتخاب مصالح بهینه در اقلیم سرد کوهستانی (مطالعه موردی شهر تبریز)

صابر جوانی

دانشجو کارشناسی ارشد، انرژی و معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز  
(sabercr۷۲@gmail.com)

فرهاد احمدنژاد

استادیار، گروه معماری و شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.  
f.ahmadnejad@tabriziau.ac.ir

تاریخ دریافت:	۱۴۰۴/۰۹/۱۳
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۴/۱۱/۲۹
کلمات کلیدی:	آسایش حرارتی ، مصرف انرژی ساختمان، مصالح جداره ها اقلیم سرد کوهستانی شبیه سازی انرژی
بیان مساله: بیان مساله مصرف بالای انرژی در سکونتگاههای بشری باعث افزایش آلودگیهای محیط شده است بیش از ۴۰ درصد انرژی کشور در ساختمانها مصرف می شود که بخش عمده آن صرف گرمایش، سرمایش و روشنایی فضاهای داخلی می شود. با اتخاذ تدابیری نظیر بهینه سازی 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 می آید.	
سوال تحقیق: استفاده از مصالح ( بلوک هبلکس AAC، بلوک لیکا، سفال، آجر ) در جداره های داخلی و خارجی چه تاثیری بر کاهش مصرف انرژی در بخش های سرمایشی، گرمایشی و آسایش حرارتی ساکنان در ساختمان های مسکونی دارد.	
اهداف تحقیق: تعیین مقدار اثر استفاده از ( بلوک هبلکس، بلوک لیکا، سفال ، آجر ) در جداره های داخلی و خارجی بر کاهش میزان مصرف انرژی (بار سرمایش و بار گرمایش ) و پیدا کردن متریکال بهینه باتوجه به آسایش حرارتی ساکنین در ساختمان های مسکونی اقلیم سرد کوهستانی است.	
روش تحقیق: در این تحقیق، با استفاده از نرم افزار مدل سازی (Openstudio) تحلیل مصرف انرژی در ( Energy Plus یک ساختمان چهارطبقه مسکونی با جهت گیری جنوبی (مطابق با گروه ج در مقررات ملی ساختمان) رفتار حرارتی چهار نوع جداره متشکل از مصالح مذکور شبیه سازی شده و میزان مصرف انرژی هر یک از نمونه ها مورد مقایسه قرار گرفت. مهم ترین یافته ها و نتیجه گیری تحقیق: باتوجه به شرایط آسایش نشان داده شده در شاخص pmv و نظر به نیاز غالب گرمایش اقلیم سرد کوهستانی تبریز می توان نتیجه گرفت که دیوارهای بلوک هبلکس که با میزان مصرف انرژی (KWh) ۲۴۲۵۰٫۰۴ (گرمایش و سرمایش) در مدت یک سال دارای عملکردبهتری است. و دیوار ها با بلوک لیکا (KWh) ۲۷۲۵۳٫۸۷ در درجه دوم و سفال (KWh) ۳۴۶۳۸٫۴۸ و آجر فشاری (KWh) ۴۶۰۳۷٫۷۴ به ترتیب سوم و چهارم در جهت دستیابی به آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی قرار دارند.	

## ۱- مقدمه

امروزه مسئله صرفه‌جویی در مصرف انرژی به‌ویژه در بخش ساختمان‌سازی، به یکی از دغدغه‌های اساسی در حوزه پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی بدل شده است. به همین دلیل، بسیاری از کشورها اقدام به تدوین آیین‌نامه‌ها و مقرراتی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها کرده‌اند. یکی از عوامل اصلی افزایش بار گرمایشی و سرمایشی در ساختمان‌ها، عدم انطباق معماری با شرایط اقلیمی است که منجر به افزایش قابل توجهی در مصرف انرژی می‌شود. بر اساس آمار وزارت نیرو، بیش از ۴۴ درصد از انرژی اولیه مصرفی کشور صرف گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها می‌گردد که بخش قابل توجهی از آن به دلیل ناکارآمدی اجزای پوسته ساختمان، به ویژه جداره‌ها و پنجره‌ها، به هدر می‌رود.

در اقلیم‌های سرد و کوهستانی نظیر تبریز، گرمایش داخلی سهم عمده‌ای از مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد. اختلاف دمای زیاد بین فضای بیرونی و درونی، بار حرارتی ساختمان را افزایش می‌دهد و در نتیجه، تأمین آسایش حرارتی در این اقلیم‌ها به مصرف بالای انرژی منجر می‌شود. از این رو، یافتن راهکارهایی مؤثر جهت کاهش این مصرف انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است.

یکی از راهکارهای مؤثر و پایدار، طراحی غیرفعال ساختمان است؛ رویکردی که با بهره‌گیری از ویژگی‌های اقلیمی و مصالح ساختمانی مناسب، شرایط آسایش حرارتی را بدون وابستگی به سیستم‌های مکانیکی فراهم می‌آورد (Koch-Nielsen, ۲۰۱۳). در این میان، پوسته حرارتی ساختمان که شامل دیوارها، سقف و کف است، به‌عنوان مرز انتقال انرژی با محیط بیرونی، نقش کلیدی در کاهش یا افزایش مصرف انرژی ایفا می‌کند (Heydari, ۲۰۱۴). استفاده از مصالحی با خواص حرارتی مناسب می‌تواند به‌طور مؤثری از انتقال حرارت ناخواسته جلوگیری کرده و نوسانات دمایی را کاهش دهد.

(Mohammad, ۲۰۱۳) در معماری سنتی تبریز و سایر نواحی سرد کوهستانی، استفاده از دیوارهای ضخیم خشتی با جرم حرارتی بالا نمونه‌ای موفق از طراحی همساز با اقلیم است. اما در معماری معاصر، مصالحی چون بلوک هبلکس (AAC) بلوک لیک (LECA) آجر سفالی و آجر فشاری به‌عنوان جایگزین دیوارهای سنتی مطرح شده‌اند. هر یک از این مصالح دارای ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی منحصر به فردی هستند که می‌توانند عملکرد حرارتی متفاوتی در ساختمان ایجاد کنند.

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر نوع مصالح مورد استفاده در جداره‌های خارجی بر مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی و آسایش حرارتی ساکنین در اقلیم سرد کوهستانی (نمونه موردی: شهر تبریز) انجام شده است. در این راستا، با استفاده از مدل‌سازی یک ساختمان چهارطبقه مسکونی با جهت‌گیری جنوبی در نرم‌افزارهای (OpenStudio) و (EnergyPlus) عملکرد حرارتی دیوارها با چهارنوع مصالح شامل آجر فشاری، بلوک سفالی، بلوک هبلکس و بلوک لیکا شبیه‌سازی و تحلیل شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند راهنمای مناسبی برای انتخاب مصالح بهینه و ارتقای بهره‌وری انرژی در طراحی ساختمان‌های مناطق سردسیر کشور باشد.

## ۲- پرسش‌های تحقیق

پرسش اصلی پژوهش حاضر این است که از میان مصالح متداول مصرفی در دیوارهای ساختمان‌های شهر تبریز در شرایط عدم استفاده از تهویه مطبوع و طبیعی همچون در نظر گرفتن دمای داخلی فضا و نظریه فانگر با کاربری مسکونی کدام یک عملکرد بهینه تری در راستای دستیابی به آسایش حرارتی دارد؟

در میان مصالح متداول مورد استفاده در پوسته خارجی و داخلی ساختمان‌ها، کدام یک بیشترین تأثیر را در کاهش نیاز به گرمایش مکانیکی در اقلیم سرد دارند؟

### ۳- فرضیه تحقیق

فرضیه اصلی:

در شرایط اقلیم سرد کوهستانی تبریز، در صورت عدم استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع، نوع مصالح جداره‌های خارجی ساختمان تأثیر ویژه بر میزان دستیابی به آسایش حرارتی بر اساس شاخص‌های استاندارد مانند نظریه فانگر دارد.

فرضیه فرعی ۱:

در بین مصالح متداول مورد استفاده در جداره‌های خارجی ساختمان‌های مسکونی تبریز (آجر سفالی، لیکا، هبلکس، آجر فشاری) مصالحی با ظرفیت حرارتی پایین‌تر و ضریب هدایت حرارتی مناسب‌تر (مانند هبلکس و لیکا) عملکرد بهتری در کاهش نیاز به گرمایش مکانیکی دارند.

فرضیه فرعی ۲:

در صورت استفاده از مصالح بهینه در پوسته خارجی ساختمان، می‌توان بدون استفاده از سیستم‌های مکانیکی، شرایط آسایش حرارتی قابل قبولی را در بخش زیادی از ساعات سال در اقلیم سرد تبریز تأمین کرد.

### ۴- پیشینه تحقیق

در خصوص رفتار و عملکرد حرارتی دیوارهای خارجی ساختمان پژوهش‌های متعددی انجام پذیرفته که از جمله می‌توان به این موارد اشاره نمود سعادت و همکاران (۱۴۰۲) در مقاله ای با عنوان ارزیابی انرژی، تحلیل اقتصادی و مطالعه محیطی یک ساختمان ایرانی تأثیر مصالح دیوار و شرایط اقلیمی " به بررسی انتخاب مصالح دیوار خارجی در سه اقلیم گرم سرد و نیمه خشک و مدیترانه ای بر پایه ظرفیت حرارتی پرداخته اند. مصالح مورد مطالعه بلوک AAC، بلوک LECA و پلی استایرن اکستروژده شده است. در روند پژوهش بر اساس شرایط آب و هوایی، انتخاب مناسب مصالح باعث کاهش بار سرمایش و گرمایش سالانه و همچنین دی اکسید کربن به ترتیب تا ۲۳/۲، ۲۶/۴ و ۱۸/۵ درصد خواهد بود.

الحامی (۲۰۰۶) به سنجش میزان انتقال حرارت از طریق بلوکهای دیواری تو خالی به منظور تعیین مناسب ترین حالت عایقکاری حرارتی در ساختمان طی سه حالت مختلف پیکربندی جهت بلوک پرداخته و بلوک معمولی با سه حفره توخالی یکسان، هوا بلوکی که حفره های آن با پلی استایرن به طور کامل پر شده و در حالت سوم حفره ها با پلی استایرن توخالی را با یکدیگر مقایسه نموده است. نتایج مبتنی بر شبیه سازی در نرم افزار فلونت نشان میدهد جاگذاری کامل پلی استایرن در بخشهای توخالی بلوک میتواند تا ۳۶ درصد میزان انتقال حرارت از طریق بلوک را کاهش دهد. جاگذاری پلی استایرن به همراه هوای در گردش در حفره های توخالی فقط ۶ درصد انتقال حرارت را کم می کند. همچنین این پژوهش نشان میدهد با جاگذاری پلی استایرن درون حفره های توخالی بلوک میتوان ۲۵ درصد انتقال حرارت را در کل ساختمان کاهش داد. سیموئر و همکاران (۱۳۹۱) در مقاله با عنوان شبیه سازی تأخیر حرارتی سیستمهای چندلایه با استفاده از روشهای تحلیلی نتایج تحلیلی را با استفاده از محاسبات تحلیلی انتقال حرارت از طریق رسانش و بررسی دو سیستم چهار لایه از مواد عایق حرارتی (چوب پنبه طبیعی (NC) پانلهای پلی استایرن منبسط شده (EPS) تخته فیبر با چگالی متوسط (MDF) به دست آورده اند. برای دستیابی به نتایج تجربی، آزمایش ها در محیط کنترل شده آزمایشگاه در دما (۲۳ درجه) و رطوبت (۵۰ درصد) مطبوع انجام شد. بعد از مقایسه نتایج شباهت بسیاری میان دستاوردهای تجربی و تحلیلی مشاهده شد. نتایج نهایی دستیابی به فرمولی برای مطالعه انتشار شرایط مرزی ناپایدار با دیدگاه محاسبات تأخیری حرارتی ساختمان و (MDF) به عنوان عایقی با کمترین میزان انتشار حرارت را در اختیار قرار میدهد.

پکدوگان و باساران (۱۳۹۶) در مقاله خود با عنوان: عملکرد حرارتی سازه های مختلف دیوار خارجی بر اساس جهت گیری دیوار نمونه های دیوار صلب را در جهت های مختلف جغرافیایی و عایق حرارتی را در شرایط قرارگیری در بیرون داخل میانه دیوار و ساندویچ پنل از جنس عایق پلی استایرن اکستروژده شده (XPS) در فصلهای زمستان و تابستان در ۴ شهر ترکیه با ۴ اقلیم متفاوت مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان میدهد که در تابستان از میر با هوای گرم در همه جهات کمترین میزان نیاز به عایق حرارتی لازم است.

رمضانیان و بحر کاظمی (۱۳۹۰) چهار نوع دیوار بیرونی ساختمان که دارای مصالح عایق حرارتی از قبیل پشم معدنی و پلی استایرن بوده را انتخاب و پس از بررسی در قالب روش (AHP) نشان داده اند که دیوارهایی خارجی دارای پلی استایرن به عنوان عایق حرارتی از نظر صرفه جویی در مصرف انرژی رفتار بهتری در مقایسه با دیوارهای حاوی پشم معدنی داشته و در رتبه بالاتری قرار می گیرند. غفاری جباری و همکاران (۱۳۹۲) بیست و پنج نوع مختلف ساختمان را طراحی و توسط نرم افزار شبیه سازی انرژی دیزاین، بیلدر مدلسازی کرده اند نتایج

نشان دهنده آن است که تأثیر عایقکاری نما بر مصرف انرژی بسیار زیاد است و بیشترین اتلاف از طریق عناصر نما اتفاق می افتد. با عایقکاری نما و ایزوله کردن سقف میتوان میزان نیاز به انرژی کل را کاهش داد استفاده از دیوار دو جداره عایقکاری شده پنجره لووای دوجداره و سقف عایقکاری شده به صورت همزمان تا ۴۱ درصد مصرف انرژی کل را کاهش داده است. رودریگوس و همکاران (۱۳۹۸) او در مقاله خود تحت عنوان تأثیر انتقال حرارت بر مصرف انرژی ساختمان های مدیرانه ای با جرم حرارتی متفاوت با در نظر گرفتن این موضوع که جرم حرارتی بالا یک استراتژی سرمایه غیر فعال در فصل تابستان است به بررسی آن در خانه های مسکونی کوچک منطقه مدیرانه پرداخته است. نتایج عنوان میکند مقدار جرم حرارتی و نوع اقلیم در کنار هم میتواند نتایج متفاوتی از نظر انتقال حرارتی به دست دهد. دانوسکا و همکاران (۱۴۰۱) در مقاله با عنوان "عدم قطعیت شبیه سازی انتقال حرارت اجزای ساختمانهای چوبی در اقلیم ایتالیا نقش ضریب هدایت حرارتی" به نقش انتقال حرارت در شرایط پایدار و ناپایدار محیطی برای ساختمانهای چوبی پرداخته است. نتیجه حاصل اینکه انتقال حرارت در شرایط ناپایدار ظرفیت حرارتی نسبت به پایدار ضریب هدایت حرارتی تا ۹ درصد افزایش دارد.

ریلی و کینان (۱۳۹۶) در مقاله خود با عنوان تأثیر جرم حرارتی بر مصرف انرژی ساختمان "به تأثیر جرم حرارتی در اقلیمهای گرم با خنک کننده فعال و اقلیمهای سرد با گرمایش فعال پرداخته است. نتیجه حاصل از این بررسی نشان میدهد که جرم حرارتی بالا در اقلیم گرم باعث کاهش مصرف انرژی و در اقلیم سرد باعث افزایش مصرف انرژی میشود. برن و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله خود تحت عنوان "رفتار حرارتی جدار ساختمان مقاوم سازی شده با عایق حرارتی در دیوار و سقف در شرایط پایدار و ناپایدار تمرکز خود را روی مقاوم سازی دیوار و سقف یک ساختمان جهت دستیابی به بازده انرژی در ایرلند با اقلیم اقیانوسی قرار داده اند در این پژوهش با بررسی مقاومت و تلفات انرژی در سقف و دیوار در شرایط پایدار و ناپایدار این نتیجه حاصل شد که محاسبات پایدار به دلیل عدم وجود مزیت جرم حرارتی در شرایط واقعی قابل قبول نیست. رامین و همکاران (۱۳۹۵) نیز ضخامت بهینه اقتصادی و حرارتی و محیط زیستی عایق دیوار ساختمانها را با استفاده از مدل حل گذرا روش دقیق به جای مدلهای تخمینی روز درجه گرمایش و سرمایش مورد بررسی قرار داده اند در پژوهش، ایشان بار سرمایشی و گرمایشی هر دو به صورت همزمان در بهینه سازی استفاده شده است. آنالیزها نشان میدهد که مصرف سوخت با به کار بردن عایق در ضخامت بهینه به صورت قابل ملاحظه ای کاهش مییابد به گونه ای که در این حالت مقدار آن به کمتر از ۰.۲۵٪ دیوار بدون عایق میرسد.

## ۵- روش تحقیق

هدف از مدل سازی و شبیه سازی ساختمان ، طراحی یک روند مناسب برای محاسبه تاثیر مصالح جدارها بر کاهش انرژی مصرفی ساختمان است. برای این منظور دو پارامتر حرارتی و برودتی بنا که بر میزان مصرف برق یا گاز در گرمایش و سرمایش ساختمان نقش دارد . و در نتیجه تاثیر ساختار مصالح بر انرژی کل مصرف ساختمان بررسی شده است . بدیهی است که پارامترهای دیگر از جمله نحوه همسایگی، پنجره ها ، و تهویه وغیره نیز بر این میزان مصرف تاثیر خواهد داشت به همین دلیل مدل انتخابی به صورت پارامتریک ایجاد شده تا در آینده در طی تحقیقات دیگر بتوان تاثیر سایر عوامل را نیز بررسی کرد.

فرایند مدل سازی مصرف انرژی از نظر حرارتی شامل سه بخش اصلی پارامترهای ورودی ، محاسبات ، تحلیلی و نتایج خروجی می باشد. این مدل ترکیب چهار بخش اصلی تعریف فیزیکی و ساختمان مورد بررسی و شرایط آن محاسبات حرارتی و تعریف پارامترهای ورودی آن و فرایند بهینه سازی و تعریف الگوریتم آن می باشد هدف نهایی این پژوهش یافتن راهی برای کاهش هرچه بیشتر مصرف انرژی در بخشهای، گرمایش سرمایش در ساختمان است. به این منظور تابع هدف به صورتی تنظیم شده است که در نهایت مصرف انرژی در هر دو بخش به کمینه برسد مقدار عددی A در کمترین حالت قرار بگیرد.

$$A = \sum E_c + \sum E_h$$

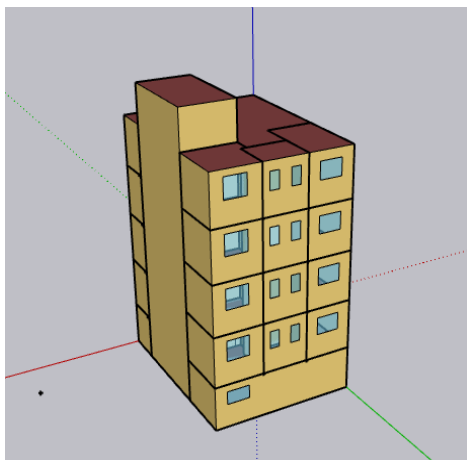
A=مقدار مصرف انرژی سالیانه (kwh)

E<sub>c</sub>=مقدار مصرف انرژی سالیانه برای سرمایش (kwh)

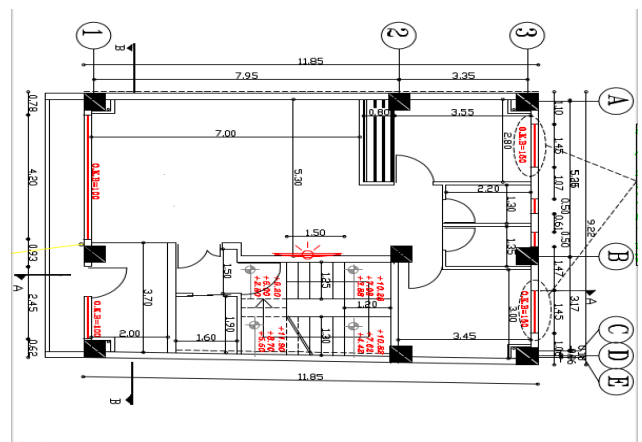
E<sub>h</sub>=مقدار مصرف انرژی سالیانه برای گرمایش (kwh)

### ۱-۵ مدل شبیه سازی

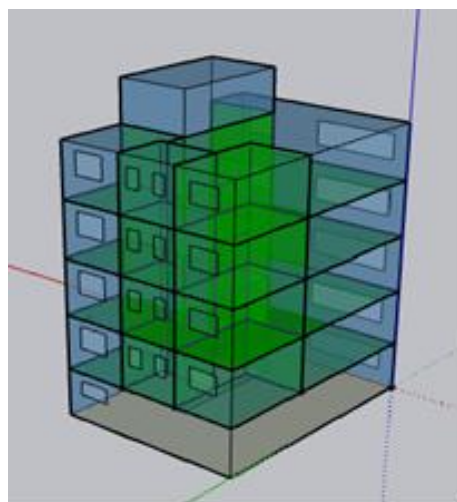
یک ساختمان چهارطبقه مسکونی با جهت گیری جنوبی (مطابق با گروه ج در مقررات ملی ساختمان) که به دلایل فنی، اقتصادی، و مقرراتی، بیشترین ساخت را در کشور دارد در نظر گرفته شده است که مشخصات هر طبقه (هر طبقه ۱۱۰ متر مربع دوخوابه هر کدام ۱۲، پذیرایی ۳۷ و آشپزخانه ۷,۵ مترمربع) می باشد در نرم افزار (Openstudio) مدل شده رفتار تحلیل حرارتی آن (EnergyPlus) صورت گرفته است. در این پژوهش چهار نوع مصالح جداره مطابق با مشخصات جدول ۱ شبیه سازی و بررسی شده است.



مدل شبیه سازی شده در (Openstudio)



پلان تیب طبقات



مدل شبیه سازی شده در (Openstudio)

شکل ۱- مدل شبیه سازی شده

## ۲-۵ مصالح عناصر ساختمانی

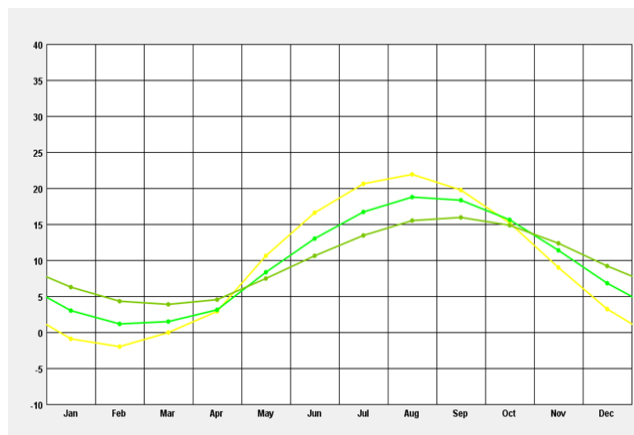
پوسته‌های حرارتی مؤثر، با کنترل انتقال حرارت از طریق دیوارها، سقف و کف، می‌توانند آسایش حرارتی را بدون نیاز به مصرف انرژی مکانیکی تأمین کنند (Mohammad, ۲۰۱۳). در معماری سنتی اقلیم سرد کوهستانی، به‌ویژه در مناطقی مانند تبریز، استفاده از دیوارهای ضخیم خشتی با جرم حرارتی بالا، نمونه‌ای بارز از این نوع طراحی است. این دیوارها به دلیل ظرفیت حرارتی زیاد خود، نقش عایق‌های حرارتی طبیعی را ایفا کرده و نوسانات دمایی محیط را کاهش می‌دهند. با این حال، در معماری معاصر، مصالحی نظیر آجر فشاری، بلوک سفالی، بلوک هبلکس (AAC) و بلوک لیکا (LECA) جایگزین دیوارهای خشتی سنتی شده‌اند. هر یک از این مصالح دارای ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی خاصی هستند که می‌تواند بر عملکرد حرارتی ساختمان تأثیرگذار باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی و ارزیابی تأثیر نوع مصالح جداره خارجی ساختمان بر انتقال حرارت و آسایش حرارتی ساکنین در اقلیم سرد کوهستانی انجام شده است.

جدول ۱- مشخصات مصالح

مصالح	Cp J/Kgk	$\lambda$ w/mk	p Kg/m <sup>۳</sup>	m
آجر	۸۴۰	۰٫۹	۱۷۰۰	۰٫۰۲
سفالی	۸۴۰	۰٫۳۳	۱۳۰۰	۰٫۰۲
لیکا	۱۰۰۰	۰٫۱۷	۹۵۰	۰٫۰۲
هبلکس AAC	۱۰۰۰	۰٫۱۲	۵۵۰	۰٫۰۲

## ۳-۵ تعیین برنامه زمان بندی

از جمله پارامترهای مؤثر در میزان مصرف انرژی حرارتی هر زون حرارتی می‌توان به برنامه سیستم تاسیساتی سرمایش و گرمایش اشاره کرد. که این برنامه را با استفاده از محدود آسایش تطبیقی حیدری در کتاب سازگاری حرارتی در معماری با در نظر گرفتن میانگین دمایی خارجی و میزان رطوبت، نسبی روابطی را برای محاسبه دمایی آسایش ارائه کرده است. دمایی آسایش ساکنین شهر تبریز توجه به نمودار دما و نمودار رطوبت  $T_{Out} = ۰٫۳۱ T_{Comfort} - ۱۷٫۹$  mean بدست آمده است. با در نظر گرفتن شرایط آسایش اقلیمی، فرهنگی و سازگاری شهر تبریز حدود آسایش سالانه را با استفاده از مطالعات، حیدری در فصل گرم ۱۸ درجه سانتیگراد و در فصل سرد ۲۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- دمایی آسایش ساکنین شهر تبریز در ماه‌های مختلف

#### ۴-۵ اعتبار سنجی اطلاعات آب و هوایی

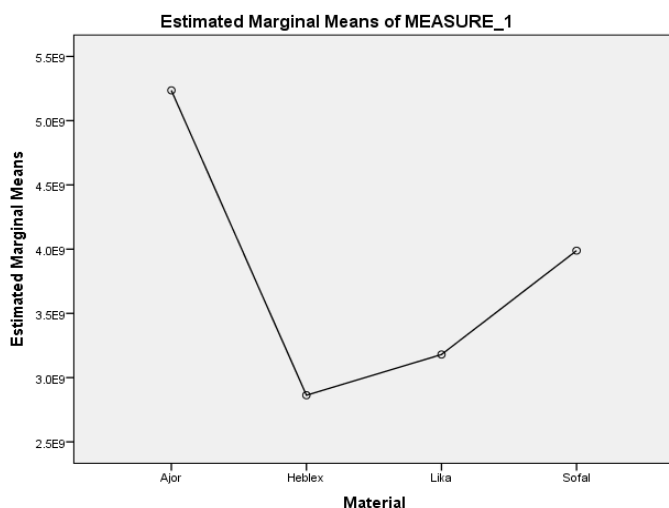
برای شبیه سازی های انرژی نیاز به اطلاعات کامل آب و هوایی شهر مورد نظر می باشد که این اطلاعات شامل پارامترهای دمای، خشک دمای، تر جهت و سرعت باد، میزان رطوبت نسبی، تعداد روزهای یخبندان، ساعات آفتابی، درصد پوشش ابر آسمان، جهت و شدت تابش آفتاب و غیره است. این اطلاعات با استفاده از نرم افزار شبیه سازی (ClimateConsultant) اطلاعات هواشناسی مانند epw به دست آمده است و با استفاده از آمار ۳۰ ساله اداره کل هواشناسی شهر تبریز اعتبار سنجی شده است.

#### ۴-۶ یافته های تحقیق

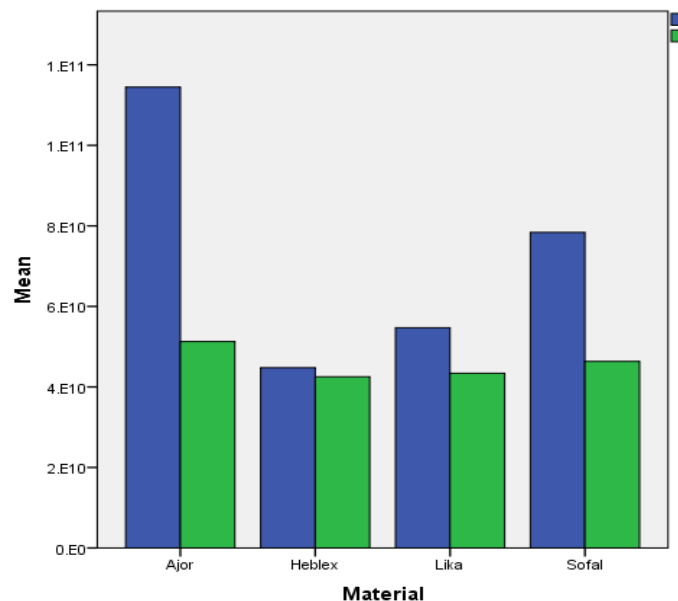
در گام نخست این پژوهش، بر مبنای داده های به دست آمده از مدلسازی نرم افزار و نیز فایل های آب و هوای epw شهر تبریز برای ساختمان مسکونی چهار طبقه، اطلاعات مصرف انرژی ساختمان در فصول سرد سال به منظور تامین گرمایش و در فصول گرم سال به منظور تامین سرمایش استخراج گردید. در مرحله شبیه سازی سعی شده کلیه مشخصات مدل های نرم افزاری در انطباق با شرایط واقعی نمونه و منطبق با نقشه های ساخت تعریف شده تا حداکثر انطباق وضع موجود بین نمونه و نیز مدل ها صورت پذیرد. در این مرحله برای هر یک از نمونه ها یک مدل نرم افزاری تهیه شد. در مدل اول کلیه جدارهای داخلی و خارجی بلوک هیلکس، در مدل دوم بلوک لیکا، مدل سوم سفال و مدل چهارم آجر فشاری در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از مقایسه تطبیقی اعداد و ارقام مدل ساختمان مسکونی با مصالح جدارهای مختلف نشان میدهد که میزان مصرف انرژی سرمایش و گرمایشی سالانه کل ساختمان بجز فضاهای مشاعات طبق جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- بار سرمایش و گرمایش سالانه کل ساختمان

بار سرمایش، گرمایش سالانه کل ساختمان به غیر از فضای مشاعات بر حسب (ژول)		
Material	Majmue_Kol_ Garmayesh	Majmu_Kol_ Sarmayesh
Lika	۵۴۷۰۸۰۸۴۷۲۹	۴۳۴۰۵۸۶۶۲۴۷
Sofal	۷۸۳۷۶۷۰۳۵۷۷	۴۶۳۲۲۸۲۸۵۷۱
Heblex	۴۴۷۸۳۱۳۹۲۶۲	۴۲۵۱۷۰۳۸۶۷۷
Ajor	۱,۱۴۴۸۲E+۱۱	۵۱۲۵۳۶۰۱۱۷۷



شکل ۴- میزان مصرف سالانه انرژی مصالح (اجر هبلکس، لیکا، سفال)



شکل ۳- بار سرمایش، گرمایش سالیانه کل ساختمان با مصالح (اجر، هبلکس، لیکا، سفال)

## ۷- نتیجه تحقیق

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مصالح متداول در دیوارهای خارجی ساختمان‌های مسکونی شهر تبریز بر آسایش حرارتی ساکنین و میزان نیاز به انرژی گرمایشی و سرمایشی، در اقلیم سرد و کوهستانی انجام شد. تحلیل‌های انجام شده با بهره‌گیری از شبیه‌سازی‌های حرارتی در نرم‌افزارهای EnergyPlus و OpenStudio

هبلکس (AAC)، بلوک لیکا، بلوک سفالی و اجر فشاری صورت گرفت.

یافته‌ها حاکی از آن است که انتخاب نوع مصالح به کاررفته در جداره خارجی ساختمان تأثیر مستقیمی بر کارایی حرارتی ساختمان و به تبع آن بر کاهش مصرف انرژی دارد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، بلوک هبلکس با کمترین میزان انرژی مصرفی برای گرمایش (۴۴۷۸۳۱۳۹۲۶۲ ژول) و سرمایش (۴۲۵۱۷۰۳۸۶۷۷ ژول)، عملکرد بهینه‌تری نسبت به سایر مصالح از خود نشان داد. پس از آن، مصالح لیکا، سفال و در نهایت اجر فشاری به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. مصالح اجر فشاری با بیشترین میزان انرژی گرمایشی (۱,۱۴۴۸۲E+۱۱ ژول) دارای ضعیف‌ترین عملکرد حرارتی بود.

تحلیل نتایج نشان داد که اختلاف مصرف انرژی میان مصالح تا بیش از دو برابر می‌رسد، که این امر اهمیت انتخاب دقیق مصالح را در مراحل اولیه طراحی ساختمان دوچندان می‌سازد. مصالحی چون هبلکس و لیکا با داشتن ضریب هدایت حرارتی پایین، تخلخل بالا، وزن سبک و عملکرد عایق حرارتی مناسب، قادر به تأمین آسایش حرارتی با حداقل اتکا به سیستم‌های مکانیکی هستند. از لحاظ اجرایی دارای سرعت بالا، عایق صوتی و اقتصادی هستند این ویژگی‌ها، علاوه بر کاهش مصرف انرژی، منجر به ارتقای کیفیت زندگی ساکنین و کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی می‌شود.

## ۸- منابع فارسی و لاتین

- [۱] نظری، امیر و کناری، محمد. (۱۳۸۹). تحلیل انرژی حرارتی در ساختمان با تأکید بر اقلیم‌های سرد. فصلنامه علمی-پژوهشی هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، شماره ۴۲.
- [۲] رنجبر، علی‌اکبر. (۱۳۹۲). تحلیل عملکرد مصالح نوین در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان در اقلیم سرد. فصلنامه تحقیقات انرژی ایران.
- [۳] نگین صادقی - مریم رفیعی - شفیع دستجردی (۱۳۹۹) بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان از طریق بهینه‌یابی سطح شفاف پوسته خارج درمقیاس بلوک شهری: نمونه موردی بافت فرسوده همت آباد در اصفهان
- [۴] ابراهیمی، مریم؛ داوری، حسن. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر نوع دیوار خارجی بر مصرف انرژی در اقلیم سرد. نشریه علمی پژوهش‌های معماری اقلیمی.
- [۵] علیزاده، مهدی. (۱۳۹۴). ارزیابی مصالح ساختمانی از منظر مصرف انرژی در اقلیم سرد. فصلنامه معماری پایدار، شماره ۵.
- [۶] سازمان نظام مهندسی ساختمان. (۱۳۹۶). مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان: صرفه‌جویی در مصرف انرژی. وزارت راه و شهرسازی.
- [۷] سازمان نظام مهندسی ساختمان. (۱۳۹۶). مبحث پنجم مقررات ملی ساختمان: مصالح و فرآورده‌های ساختمانی
- [۸] شیروانی، سارا؛ علی‌اکبری، محمدحسین. (۱۳۹۵). بررسی شاخص‌های آسایش حرارتی در اقلیم سرد ایران. فصلنامه اقلیم و انرژی. محسنی، مریم. (۱۳۹۷). طراحی غیرفعال در معماری بومی اقلیم سرد ایران. نشریه علمی پژوهشی هنر و محیط زیست.
- [۹] بهنام قاسم پور اهنگر - کورش صدیقی - امید جهانیان - مرتضی عباسی (۱۳۹۷) شبیه‌سازی اتالف انرژی در ساختمان به منظور بهینه‌سازی گرمایش و کاهش مصرف گاز در اقلیم‌های مختلف استان مازندران

- [۱۰] Koch-Nielsen, H. (۲۰۱۳). Stay Cool: A Design Guide for the Built Environment in Hot Climates. Earthscan.
- [۱۱] Mohammad, A. (۲۰۱۳). Thermal Performance of Building Envelope in Different Climates. Renewable and Sustainable Energy Reviews, ۱۹, ۲۹۳-۳۰۵.
- [۱۲] Heydari, A. (۲۰۱۴). Building Envelope Design for Cold Climates: Thermal Mass vs. Insulation. Journal of Building Physics, ۳۸(۲), ۱۳۹-۱۶۰.
- [۱۳] ASHRAE. (۲۰۱۷). ASHRAE Handbook - Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [۱۴] U.S. Department of Energy. (۲۰۲۰). EnergyPlus Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations. Version ۹.۴.
- [۱۵] Attia, S., Beltrán, L., De Herde, A., & Hensen, J. (۲۰۱۲). Architect Friendly: A Comparison of Ten Different Building Performance Simulation Tools. Building and Environment, ۴۶(۱۲), ۲۴۸۰-۲۴۹۰.
- [۱۶] Fanger, P.O. (۱۹۷۰). Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. McGraw-Hill.
- [۱۷] Alwetaishi, M. (۲۰۱۹). Energy Performance Assessment of
- [۱۸] Different Wall Systems in Cold Climate Using Simulation Tools. Journal of Building Engineering, ۲۶, ۱۰۰۸۸۹.