مدیریت مصرف انرژی در ساختمان با استفاده ازمصالح تجدیدپذیر و مصالح نوین در شرایط اقلیمی گرم و خشک

سید اسماعیل ساداتی[۱]*، سعید مقیمی[۲]، مهدی ایزدی[۳]

۱. مدرس دانشگاه، دانشگاه سمنان
۲.گروه معماری و شهرسازی، دانشکده هنر، دانشگاه سمنان
۳.کارشناس مسئول دفتر برنامه ریزی ، دانشگاه سمنان

* نویسنده مسول: sadati@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

چکیده

صرفه‌جویی در مصرف انرژی یکی از چالش‌های مهم جهان امروز می‌باشد. در سال‌های اخیر افزایش نگرانی‌ها در خصوص تبعات زیست‌محیطی مصرف انرژی و گرم شدن کره زمین اهمیت این موضوع را دوچندان کرده است. از سوی دیگر سهم بخش ساختمان در مصرف انرژی کشورها قابل‌توجه است و به‌همین دلیل، در چند دهه اخیر، در اکثر کشورهای صنعتی، اقدامات اساسی درزمینه اصلاح الگوی مصرف، با استفاده از ابزارهای مختلف ازجمله تدوین مقررات و ضوابط، صورت گرفته است. یکی از مهم‌ترین انرژی‌های مصرفی، انرژی الکتریکی می‌باشد که از اساسی‌ترین منابع انرژی ساختمان‌ها بوده و نقش مهمی را ایفا می‌کند. مشکلات و فرایندهای پیچیده تولید و انتقال انرژی الکتریکی، آلودگی‌های حاصل از تولید آن که از سوختن سوخت‌های فسیلی حاصل می‌گردد و موارد دیگر محققان را بر آن داشته تا به‌دنبال راه چاره به‌منظور کاهش مصرف انرژی یا به عبارتی بهینه‌سازی مصرف انرژی باشند. در این تحقیق برخی از راهکارهای عملی برای حرکت به‌سمت صرفه‌جویی انرژی بررسی گردیده و تأثیر استفاده از مصالح با ضریب انتقال حرارت مختلف در دیوارهای خارجی با توجه به شرایط آب و هوایی سمنان بر روی ساختمان مدل‌سازی شده بررسی و به تحلیل بار سرمایش و گرمایش ساختمان در مقایسه با مصالح تجدید پذیر پرداخته گردید. درنهایت دیوار خارجی با استفاده از بلوک کاهگلی ۲۰ سانتیمتری، منجر به کاهش مصرف انرژی سالیانه نسبت به سفال سوراخ دار، بتن اتوکلاو شده و مبحث ۱۹ مقررات ملی به‌ترتیب به میزان ۳٪، ۰.۶٪، ۲.۷۶٪ شده است.

واژه‌های کلیدی: مصالح تجدیدپذیر، بهینه سازی مصرف انرژی، دیزاین بیلدر، شرایط اقلیمی.

مقدمه

مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها حدود ۴۰٪ از کل مصرف انرژی اکثر کشورهای جهان و اتحادیه اروپا را به خود اختصاص داده است[۳-۱]. ازاین‌رو بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش حائز اهمیت است. علاوه بر این، بهینه‌سازی در مصرف انرژی به معنی کاهش سوخت‌های فسیلی، باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌گردد[۴] و بیشترین سهم تولید انتشار گاز کربن دی اکسید در اتحادیه اروپا توسط ساختمان ها می‌باشد[۳]. تا به امروز تحقیقات فراوانی درزمینه‌ی کاهش مصرف انرژی صورت گرفته است. مطالعاتی توسط هایچم و همکاران[۵] در مورد مقایسه بین آجر سوراخ‌دار مربع شکل و استفاده از آجر حاوی مواد تغییر فاز دهنده در دیوارهای خارجی ساختمان‌های مسکونی الجزایر با توجه به شرایط اقلیمی آن منطقه نشان داد که استفاده از آجرهای حاوی مواد تغییر فاز دهنده منجر به کاهش شار گرما به میزان ۸۲.۱٪ از محیط خارج به محیط داخلی گردیده است. دابایه[۶] در یک تحقیق بر روی یک ساختمان نمونه مسکونی در قاهره که دارای آب و هوای گرم و خشک میباشد نشان داد که استفاده از سقف‌های طاق دار با پوشش بازتاب بالا منجربه صرفه جویی مصرف انرژی به میزان ۸۲۶ کیلووات ساعت و کاهش ۵۳ درصدی ساعات ناراحتی در طول فصل تابستان نسبت به استفاده ازسقف‌های مسطح بدون عایق می‌شود. تجزیه و تحلیل اقتصادی توسط رادهی نشان داده شد که استفاده از بلوک‌های بتن اتو کلاو شده در مقایسه با بلوک‌های معمولی منجربه کاهش مصرف انرژی به میزان ۷٪ می‌گردد. همچنین بازگشت سرمایه اولیه هزینه آن

نسبت به بلوک‌های معمولی کمتر از ۹ سال میباشد و استفاده از هر مترمربع از بلوک‌های بتن اتوکلاو شده[1] در دیوارها منجربه کاهش ۳۵۰ کیلو گرم گاز دی اکسید کربن می‌گردد[۷]. تحقیقات مختلفی در مورد عملکرد مواد عایق برای یک ساختمان مسکونی مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات مورد بررسی نشان می‌دهد که استفاده از عایق پلی استایرن از نظر دیدگاه اقتصادی مناسب می‌باشد[۸]. نتایج تجزیه و تحلیل بهینه سازی نشان می‌دهد، افزایش سطح عایق حرارتی سقف و دیوار و بهبود کارایی سیستم آب گرم، راه حلی مهم جهت دست‌یابی به حداقل هزینه، که باعث تقریبا ۵۲٪ صرفه جویی در انرژی سالانه برای خانه‌های جدید می‌شود[۹]. استفاده از مصالح با ضریب هدایت حرارتی دقیق، در ساخت و ساز با توجه به طراحی اقلیمی تاثیر زیادی بر مصرف انرژی ساختمان دارد. انتخاب مصالح از منظر ضریب انتقال حرارت و مقاومت حرارتی بر طراحی ساختمان‌های انرژی کارامد موثر است. علاوه براین چرخه حیات مصالح، انرژی نهفته و کربن نهفته نیز کارایی آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد[۱۰]. هدف اصلی این تحقیق مقایسه و مدیریت مصرف انرژی با استفاده از مصالح مختلف بکار رفته شده در اکثر جداره‌های خارجی ساختمان‌های شهر سمنان در مقایسه با مصالح سنتی (بلوک‌های کاهگلی) می‌باشد. روش پژوهش در این مقاله بر مبنای مدل‌سازی می‌باشد.

تئوری حاکم

اقلیم شهر سمنان

استان سمنان دارای مساحت ۹۵۸۱۵ مترمربع می‌باشد که از شمال به استان مازندران و گلستان، از جنوب به استان اصفهان، از شرق به استان خراسان و از غرب به استان تهران و قم محدود شده است. شهر سمنان در ۳۵/۳۳ درجه عرض شمالی و ۵۳/۲۳ درجه طول شرقی و در ناحیه مرکزی ایران قرار گرفته است و مرکز استان سمنان می‌باشد. شهر سمنان دارای شرایط اقلیمی گرم و خشک می‌باشد[۱۱].

مشخصات ساختمان مدل‌سازی شده

ساختمان مدل‌سازی شده، همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، دارای مساحت تقریباً ۱۱۵۸ مترمربع، ۴ طبقه، فاقد زیرزمین و از چهار جهت دارای نسبت پنجره به دیوار ۳۰٪ می‌باشد.

شکل (۱): نمای ساختمان مدل سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر

مشخصات حرارتی اجزای ساختمان

با توجه به اینکه بخش قابل‌توجهی از تبادل حرارت ساختمان از طریق پوسته خارجی آن صورت می‌گیرد، لذا استفاده از مصالح مورد استفاده با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. ساختمان مدل‌سازی شده از لحاظ میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی جز گروه دو می‌باشد. مقدار ضریب انتقال حرارت مرجع عناصر ساختمانی پوسته خارجی،

[1] Advanced Audio Codings

$(w/m^2 k)$ ۰.۸۸ با توجه به شرایط اقلیمی شهر سمنان در نظر گرفته است. مشخصات حرارتی اجزای ساختمان که شامل جداره‌های ساختمان می‌باشد، و در اکثر ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد در جدول (۱) تا (۴) [۱۲و ۱۳] آورده شده است.

جدول (۱): مصالح استفاده شده در دیوار شماره ۱ [۱۲]

مصالح پیشنهادی	مصالح	وزن مخصوص $\frac{kg}{m^3}$	ضریب هدایت حرارت $\frac{w}{mk}$	ضخامت m	مقاومت حرارتی $\frac{m^2.k}{w}$
پوسته خارجی	سفال سوراخ دار	۱۳۰۰	۰/۴۶	۰/۲۰	۰/۶۴
	گچ‌خاک	۱۶۰۰	۱/۱	۰/۰۲	
	گچ	۱۳۰۰	۰/۵۷	۰/۰۱	

جدول (۲): مصالح استفاده شده در دیوار شماره ۲ [۱۲]

مصالح پیشنهادی	مصالح	وزن مخصوص $\frac{kg}{m^3}$	ضریب هدایت حرارت $\frac{w}{mk}$	ضخامت m	مقاومت حرارتی $\frac{m^2.k}{w}$
پوسته خارجی	بلوک AAC[1]	۷۰۰	۰/۱۷	۰/۲۰	۱/۳۸
	گچ‌خاک	۱۶۰۰	۱/۱	۰/۰۲	
	گچ	۱۳۰۰	۰/۵۷	۰/۰۱	

جدول (۳): مصالح استفاده شده در دیوار شماره ۳ [۱۳]

مصالح پیشنهادی	مصالح	وزن مخصوص $\frac{kg}{m^3}$	ضریب هدایت حرارت $\frac{w}{mk}$	ضخامت m	مقاومت حرارتی $\frac{m^2.k}{w}$
پوسته خارجی	بلوک کاهگلی	۱۱۹۵	۰/۱۵۵	۰/۲۰	۱/۴۹
	گچ‌خاک	۱۶۰۰	۱/۱	۰/۰۲	
	گچ	۱۳۰۰	۰/۵۷	۰/۰۱	

جدول (۴): مصالح استفاده‌شده در ساختمان مدل‌سازی شده، در حالت مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان [۱۲]

مصالح پیشنهادی	مصالح	وزن مخصوص $\frac{kg}{m^3}$	ضریب هدایت حرارت $\frac{w}{mk}$	ضخامت m	مقاومت حرارتی $\frac{m^2.k}{w}$
پوسته خارجی	سفال سوراخ دار	۱۳۰۰	۰/۴۶	۰/۴۲	۱/۱۳
	گچ‌خاک	۱۶۰۰	۱/۱	۰/۰۲	
	گچ	۱۳۰۰	۰/۵۷	۰/۰۱	

[1] Autoclaved aerated concrete

فرضیات و برخی از مشخصات ساختمان مدلسازی شده

فرضیات در نظر گرفته‌شده در مورد ساختمان مدل‌سازی شده به شرح زیر می‌باشد:

- کاربری ساختمان مسکونی می‌باشد.
- با توجه به تغییرات چشم‌گیر آب و هوایی که در چند سال اخیر در تمام دنیا به وجود آمده است، داده‌های آب‌وهوایی در دسترس برای ۱۰ سال اخیر سمنان می‌باشد.
- تمامی جهات ساختمان فاقد همسایه می‌باشد.
- ساختمان موردنظر در تمامی جهات دارای درصد پنجره به دیوار ۳۰ می‌باشد.
- نوع تمامی پنجره‌های آن دوجداره و ضخامت شیشه‌های آن ۳ میلیمتر و ضخامت گاز بین دوشیشه از ۱۳ میلیمتر گاز هوا می‌باشد.
- میزان روشنایی بر اساس پیشنهادهای ارائه‌شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، برای یک ساختمان مسکونی، به ازای هر مترمربع، ۱۲ وات در نظر گرفته‌شده است که مجموع برق مصرفی برای روشنایی و تجهیزات، سالیانه به میزان ۳۶۵۰ کیلووات ساعت می‌باشد.
- نفوذ طبیعی هوا به داخل ساختمان به میزان ۲ تعویض در ساعت می‌باشد.
- دمای آسایش در تابستان ۲۴ درجه سانتی‌گراد و در زمستان ۲۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته‌شده است.
- ضریب عملکرد[1] سیستم سرمایش و گرمایش به ترتیب ۵ و ۰/۸۵ در نظر گرفته‌شده است.
- مقدار ضریب انتقال حرارت عناصر ساختمانی سقف، $(w/m^2 k)$ ۰.۲۵ در نظر گرفته است.
- در ساختمان مدلسازی شده سیستم سرمایشی اسپیلت سیستم گرمایشی پکیج در نظر گرفته شده است.

نرم‌افزار دیزاین بیلدر

ساختمان، یک محیط پیچیده است، جایی که پوسته و سیستم جداره‌های بیرونی آن، سیستم‌ها و تجهیزات تأسیساتی نورپردازی و روشنایی مهم‌ترین مؤلفه‌های مصرف انرژی را شکل می‌دهند و به‌صورت سیستمی یکپارچه، رفتار انرژی را مشخص می‌نمایند. لذا نرم افزارهای شبیه‌ساز انرژی ساختمان با ایجاد محیط مجازی ساختمان، این امکان را فراهم می‌نماید تا پیش‌بینی عملکردی ساختمان تا حد ممکن نزدیک به واقعیت باشد. یکی از نرم‌افزارهای موجود در دنیا، نرم افزار دیزاین بیلدر[2] می‌باشد. نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای مدل‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف مانند فیزیک ساختمان (مصالح ساختمانی)، معماری ساختمان، دستگاه‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی، محاسبه میزان نفوذ هوا، نوع پنجره، دهانه و روشنایی و غیره کاربرد داشته و قابلیت مدل‌سازی انرژی ساختمان را دارد[۱۴]. این نرم‌افزار طراحان ساختمان را قادر می‌سازد تا با مطالعات پارامتریک به تجزیه‌وتحلیل انرژی یک ساختمان برای به دست آوردن مصرف انرژی کارآمد بپردازند[۱۵]. موتور شبیه‌سازی نرم‌افزار موردنظر، نرم‌افزار انرژی پلاس۳ بوده که توسط دپارتمان انرژی آمریکا توسعه‌یافته و از دقیق‌ترین نرم‌افزارهای موجود دنیا می‌باشد[۱۶].

بررسی و تحلیل نتایج

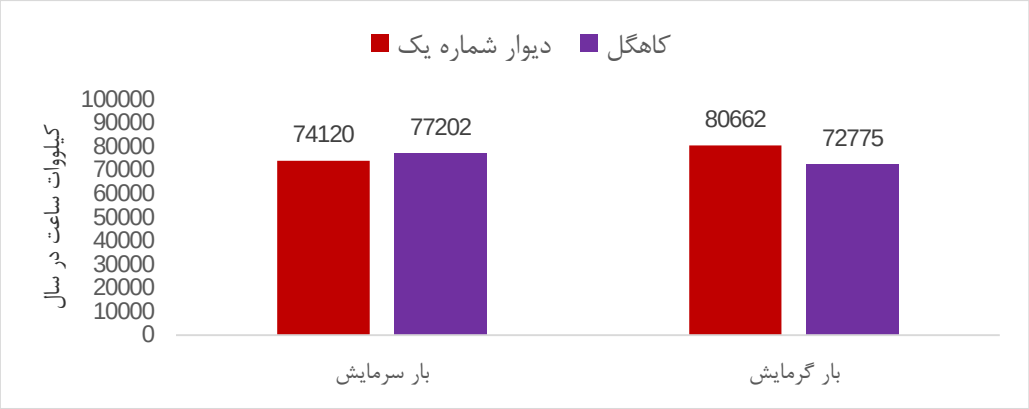
استفاده از مصالح با ضریب مقاومت حرارتی مناسب با توجه به شرایط اقلیمی برای جداره‌ها در ابتدا منجر به افزایش هزینه اولیه ساختمان شده، ولی درنهایت منجربه بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و صرفه‌جویی اقتصادی به‌طور عمده‌ای خواهد گردید و بازگشت سرمایه اولیه را طی مدت کوتاهی به همراه خواهد داشت. در این بخش با

1 Coefficient of performance
2 Design builder sowftware
3 Energy plus software

بکارگیری انواع مصالح ارائه شده در جداول قبل در ساختمان مدل‌سازی شده، به تحلیل بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پرداخته خواهد شد.

مقایسه استفاده از مصالح دیوار شماره ۱ و مصالح تجدیدپذیر (بلوک کاهگلی)

میزان بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان مدل‌سازی شده در حالت استفاده از ضرایب انتقال حرارت مصالح دیوار شماره ۱ و مصالح تجدید پذیر، به‌صورت سالیانه در شکل (۴) نشان داده‌شده است.

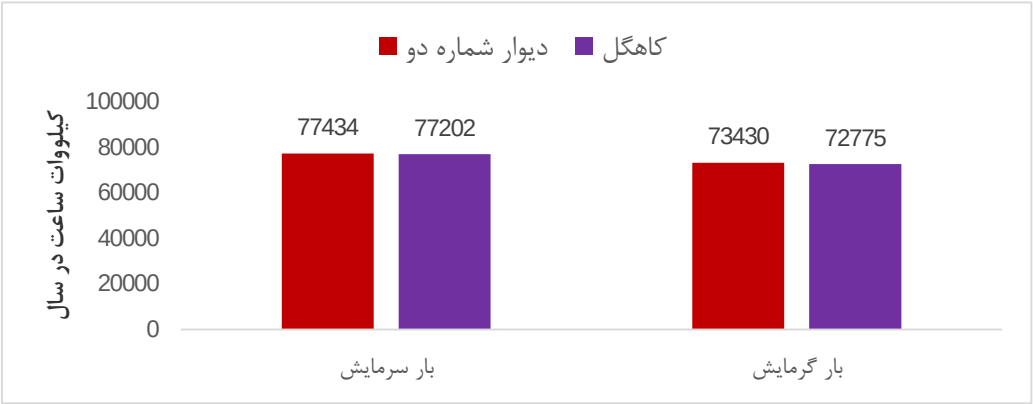


شکل (۲) : بار سرمایش و گرمایش سالیانه در حالت دیوار شماره ۱ و مصالح تجدیدپذیر

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، استفاده از مصالح تجدیدپذیر منجر به کاهش مجموع بار کل سرمایش و گرمایش به میزان ۳ درصد در سال، نسبت به استفاده از مصالح دیوار شماره ۱ شده است.

مقایسه استفاده از مصالح دیوار شماره ۲ و مصالح تجدیدپذیر (بلوک کاهگلی)

میزان بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان مدل‌سازی شده در حالت استفاده از ضرایب انتقال حرارت مصالح دیوار شماره ۲ و مصالح تجدید پذیر، به‌صورت سالیانه در شکل (۳) نشان داده‌شده است.

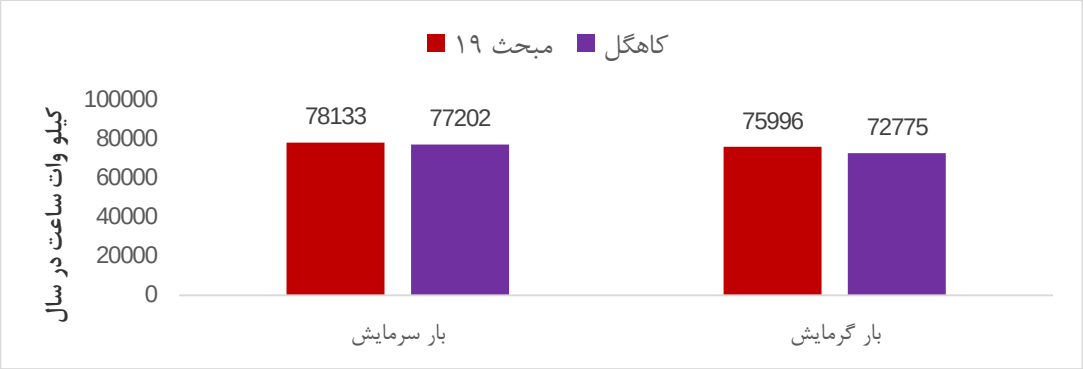


شکل (۳) : بار سرمایش و گرمایش سالیانه در حالت دیوار شماره ۲ و مصالح تجدیدپذیر

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، استفاده از مصالح تجدیدپذیر منجر به کاهش مجموع بار کل سرمایش و گرمایش به میزان ۰.۶ درصد در سال، نسبت به استفاده از مصالح دیوار شماره ۲ شده است.

مقایسه استفاده از مصالح دیوار طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی و مصالح تجدیدپذیر (بلوک کاهگلی)

میزان بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان مدل‌سازی شده در حالت استفاده از ضرایب انتقال حرارت مصالح دیوار طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی و مصالح تجدید پذیر، به‌صورت سالیانه در شکل (۴) نشان داده‌شده است.



شکل (۴) : بار سرمایش و گرمایش سالیانه در حالت دیوار طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی و مصالح تجدیدپذیر

همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، استفاده از مصالح تجدیدپذیر منجر به کاهش مجموع بار کل سرمایش و گرمایش به میزان ۲.۷۶ درصد در سال، نسبت به استفاده از مصالح دیوار طبق مقررات ملی مبحث ۱۹ شده است.

نتیجه گیری

استفاده از مصالح تجدیدپذیر در جداره‌های خارجی ساختمان‌ها، با توجه به شرایط اقلیمی منجر به بهینه‌سازی مصرف انرژی خواهد گردید و بازگشت سرمایه اولیه را طی مدت کوتاهی به همراه خواهد داشت. در این تحقیق هر یک از مصالح استفاده شده و کاربردی که درساختمان‌های شهر سمنان مورد استفاده قرار می‌گیرد، بر روی ساختمان مدل‌سازی شده در مقایسه با بلوک کاهگلی مورد ارزیابی قرار گرفت و تأثیر هریک از این مصالح بر روی میزان مصرف انرژی سالیانه ساختمان مدل‌سازی شده نشان داده شد و در آخر بهینه‌ترین حالت ساختمان، از لحاظ میزان مصرف انرژی ارائه گردید. با توجه به ساختمان مدل‌سازی شده در این مقاله، گزیده‌ای از نتایج به‌دست‌آمده در زیر ارائه‌شده است:

- بهینه‌سازی مصرف انرژی سالیانه به میزان ۳ درصد، توسط استفاده از ۲۰ سانتی متر بلوک کاهگلی، در مقایسه با ضرایب انتقال حرارت برای دیوارخارجی با استفاده از ۲۰ سانتی متر سفال سوراخ دار.
- بهینه‌سازی مصرف انرژی سالیانه به میزان ۲.۷۶ درصد، توسط استفاده از ۲۰ سانتی متر بلوک کاهگلی، در مقایسه با ضرایب انتقال حرارت طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان.
- بهینه‌سازی مصرف انرژی سالیانه به میزان ۰.۶ درصد، توسط استفاده از ۲۰ سانتی متر بلوک کاهگلی، در مقایسه با ضرایب انتقال حرارت برای دیوارخارجی با استفاده از ۲۰ سانتی متر بتن اتوکلاو شده.

مراجع

1] Heydari, A., Sadati, s., Gharib, m., (2021), Effects of different window configurations on energy consumption in building: Optimization and economic analysis, Journal of Building Engineering, 35:102099.

[2] Stephan, A., Robert, Crawford., Kristel, M., (2011), Towards a more holistic approach to reducing the energy demand of dwellings, Procedia Engineering, 21, pp 1033-41.

[3] Capros, P., Mantzos, L., Papandreou, V., Tasios, N., (2008), European energy transport trends to 2030 – update 2007, in: Directorate-General for Energy and Transport, European Commission Brussels, April, pp 156-178.
[4] Andarini, A., Rahmi, R., (2014), The Role of Building Thermal Simulation for Energy Efficient Building Design, Energy Procedia, 47, pp 217-26.
[5] Hichem, N., Settou, N., Saifi, N., Damene, D., (2013), Experimental and Numerical Study of a Usual Brick Filled with PCM to Improve the Thermal Inertia of Buildings, Energy Procedia, 36, pp 66-75.
[6] Dabaieh, M., Omar, W., Hegazy, H., Erik, Johansson., (2015), Reducing cooling demands in a hot dry climate: A simulation study for non-insulated passive cool roof thermal performance in residential buildings, *Energy and Buildings*, 89, pp 142-152.
[7] Radhi, H., (2011), Viability of autoclaved aerated concrete walls for the residential sector in the United Arab Emirates, *Energy and Buildings*, 43, pp 86-92.
[8] Anastaselos, D., Oxizidis, S., Papadopoulos, A., (2011), Energy, environmental, and economic optimization of thermal insulation solutions by means of an integrated decision support system, Energy and Buildings, 43,pp 686–694.
[9] Griego, D., Krarti, M., Hernández, A., (2012), Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca Mexico, Energy and Building, 54, pp 540–549.
[10] سید اسماعیل ساداتی و همکاران، (۱۴۰۰)، تاثیر مقدار ضرایب هدایت حرارتی مصالح ساختمانی طبق مراجع مختلف در بار حرارتی و انتشار گاز دی اکسید کربن ساختمان، مجله مهندسی مکانیک و ارتعاشات
[11] سید اسماعیل ساداتی و نادر رهبر،(۱۳۹۶)، بررسی تاثیر استفاده از مصالح مختلف ساختمانی بر میزان مصرف انرژی یک ساختمان نمونه با نرم افزار دیزاین بیلدردر شرایط اقلیم سمنان،سومین کنفرانس انتقال حرارت و جرم ایران
[12] مبحث نوزدهم مقررات ملّی ساختمان، (۱۳۸۹)، صرفه جویی درمصرف انرژی، دفتر امور مقررات ملّی ساختمان
[13] Giroudon, M., Laborel, A., Jean-Emmanuel, A., Magniont, C., (2019), Comparison of barley and lavender straws as bioaggregates in earth bricks, Journal of Construction and Building Materials, 202, pp 254–265.
[14] Software, Design Builder, Document help, In The US Department of Energy.
[15] Software, Energyplus, (2011), Energyplus Engineering Document help, In: The US Department of Energy.
[16] Stephan, A., Robert, H., Kristel, Myttenaere., (2011), Towards a more holistic approach to reducing the energy demand of dwellings, Procedia Engineering, 21, pp 33-41.