



## ارزیابی نقش مصالح ساختمانی در میزان مصرف انرژی یک فضای آموزشی در شهر تهران

صدیقه مرادی<sup>1\*</sup>، حمیدرضا عامری سیاهویی<sup>2</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی معماری، دانشگاه پیام نور واحد عسلویه، بوشهر، ایران

2- عضو هیات علمی، معماری و شهرسازی، دانشگاه پیام نور واحد بندرعباس، هرمزگان، ایران

\* s.moradi139999@gmail.com, 67819434666، بوشهر، #

### چکیده

در عصر حاضر توجه کشورها به موضوع انرژی و تلاش برای کاهش مصرف آن افزایش یافته است. از آنجایی که بخش ساختمان یکی از بزرگترین مصرف کنندگان انرژی در جهان است لذا بهینه سازی و صرفه جویی مصرف انرژی در این بخش امری ضروری است. در این پژوهش با هدف انتخاب مصالح بهینه از نظر مصرف انرژی، به بررسی تاثیر این فاکتور بر مصرف انرژی یک ساختمان آموزشی در شهر تهران پرداخته شد. در جهت دست یابی به این مهم شش ساختمان با معماری یکسان، دو نوع مصالح ساختاری و سه نوع عایق متفاوت در دیوارهای خارجی با نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی شد. بنابر نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها، ساختمان هایی که مصالح دیوار خارجی آجری است در شرایط مشابه، مصرف انرژی کمتری نسبت به دیوار بلوک بتنی دارند. همچنین در سه نوع عایق بررسی شده در این پژوهش استفاده از عایق سیلیکون بیشترین مصرف انرژی را در پی داشته و عایق فایبرگلس بهینه ترین مصالح از نظر مصرف انرژی بوده است. عایق از مصالح تغییر فازدهنده در میانه قرار دارد. این عایق از نظر مصرف انرژی عملکرد بهتری نسبت به سیلیکون داشته؛ اما نسبت به عایق فایبرگلس مصرف انرژی بیشتری داشته است. با توجه به نتایج ذکر شده پیشنهاد می شود برای یک ساختمان آموزشی در اقلیم تهران از ساختمان با دیوار آجری و عایق فایبرگلس در جهت کاهش مصرف انرژی و بهینه سازی آن استفاده شود.

کلیدواژه‌گان: مصرف انرژی ساختمان، بهینه سازی مصرف انرژی، مصالح ساختمانی، ساختمان آموزشی، دیزاین بیلدر

## Evaluating the impact of building's material in the energy consumption of an educational space in Tehran

Sedighe Moradi<sup>1\*</sup>, Hamidreza Ameri Siahoyi<sup>2</sup>

Master Architectural Engineering Student, Department of Architecture and Urban Planning, Payame Noor University- Asalouyeh Branch, Bushehr, Iran

Faculty member, Department of Architecture and Urban Planning, Payame Noor University- Bandar Abbas branch, Hormozgan, Iran

\* P.O.B. 6781943466 Bushehr, Iran, s.moradi139999@gmail.com

Received: 2 March 2022 Accepted: 18 April 2023

### Abstract

Currently, countries are paying more attention to the issue of energy and trying to reduce its consumption. Since buildings are one of the largest consumers of energy in the world, so optimizing and saving energy consumption in this sector is essential. In this study, with the aim of selecting the optimal materials in energy consumption, the effect of materials on energy consumption in educational buildings in Tehran was investigated. In order to achieve this important goal, 6 buildings with the same architecture, 2 types of structural materials and 3 different types of insulation in external walls was simulated with Design Builder software. According to the simulation results, buildings made of exterior brick wall materials consume less energy than concrete block walls in similar conditions. Also, in the three types of insulation studied in this research, the use of silicone insulation has the highest energy consumption and fiberglass insulation has been the most optimal material in terms of energy consumption. Insulation of phase change materials is in the middle. This insulation has a better performance in terms of energy consumption than silicon, but it has a higher energy consumption than fiberglass insulation. According to the mentioned results, it is suggested to use a building with a brick wall and

fiberglass insulation for an educational building in the climate of Tehran in order to reduce energy consumption and optimize it.

**Keywords:** Building Energy Consumption, Energy Consumption Optimization, Building Materials, Educational Building, Design Builder

تاکنون مطالعات فراوانی در زمینه مصرف انرژی ساختمان‌ها و کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی ناشی از آن در ایران و جهان انجام گرفته است [10-13]. در تحقیقی که در سال 2001 در استرالیا انجام گرفت، ثابت شد با گسترش شهرها شاهد تغییرات دمایی در مناطق شهری هستیم. در مناطق متروپل سیدنی، جزیره‌ی حرارتی شهری باعث افزایش دما تا شش درجه سانتی‌گراد می‌شود. این پدیده منجر به افزایش نیاز سرمایشی ساختمان به اندازه سه برابر می‌شود. همچنین در شهر آتن، متوسط افزایش دما در اثر جزیره حرارتی تا 10 درجه سانتی‌گراد بوده است که منجر به افزایش بار سرمایشی تا دو برابر می‌شود و مصرف برق را تا سه برابر افزایش داده است [14]. مطالعه‌ای که در ایران و شهر ایلام انجام شد بیان داشت پارامترهای موثر بر مصرف انرژی در ساختمان‌های تجاری عواملی مانند کوران هوا، روشنایی، سرمایش و گرمایش، مساحت، سطح بازشو، فاصله از ورودی، تعداد بر واحد و همجواری هستند [15].

در سال 1397، الیاسی و همکارانش به بررسی نقش انرژی‌های نو در معماری با رویکرد کاهش مصرف انرژی پرداختند. آنان در طی این پژوهش دریافتند تلاش در جهت ترویج بکارگیری این سیستم‌ها، می‌تواند راهکاری برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی در ساختمان بوده و تاثیر به سزایی در تقلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد [16]. در سال 1395، خداکرمی و همکارانش به بررسی بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری با سیستم کنترل هوشمند پرداختند. آنان دریافتند با انجام برنامه‌ریزی مناسب در زمینه مدیریت و مصرف انرژی در ساختمان اداری هوشمند امکان کاهش مصرف انرژی 35 تا 40 درصد در سال وجود دارد و بیشترین صرفه‌جویی در مصرف انرژی در بخش سرمایش و روشنایی است [1]. رحیمی به بررسی شبیه‌سازی میزان تاثیر ابعاد پنجره‌های خارجی ساختمان بر بار گرمایش و سرمایش سالیانه در منازل مسکونی اقلیم ایران پرداخته است و آن را عاملی موثر بر مصرف انرژی ساختمان معرفی کرده است [17]. نصرالهی و همکاران بهره‌وری انرژی کارآمد در شهرهای جوان را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آنان دریافتند بافت شهری بر مصرف انرژی ساختمان‌ها تاثیرگذار است [18]. المان‌های فرم شهری موثر بر روی مصرف انرژی ساختمان عبارت‌اند از نوع و ابعاد و اندازه‌ی ساختمان، تراکم (شامل فشردگی فیزیکی واحدهای ساختمانی و جمعیت)، میزان نفوذپذیری سطح، چیدمان ساختمان‌ها (شامل جهت خیابان و پیکربندی ساختمان‌ها)، بحث فضای سبز و عوامل دیگری که بر راندمان سامانه حرارتی و برودتی ساختمان تاثیرگذار است [19]. بنا بر مطالعات فضای داخل که هدف آن بهینه کردن مصرف انرژی بوده است، نشان می‌دهد که پارامترهایی مانند فرم و حجم، ارتفاع و جهت ساختمان، جرم حرارتی دیوار خارجی، سایه‌بان در سمت جنوب، شرق و غرب و مساحت موثر پنجره‌ها در این راستا موثر است [20]. البته هر مکان بسته به موقعیت اقلیمی و کاربری خود سیاست طراحی خاص خود را می‌طلبد [21]. در یک جمع‌بندی کلی، بر طبق پژوهش‌های صورت‌گرفته، مهم‌ترین عوامل موثر بر مصرف انرژی ساختمان‌ها در جدول 1 آورده شده است. همچنین یافته‌ها حاکی از این است که نرم‌افزار دیزاین بیلدر با موتور محاسبه انرژی پلاس مناسب‌ترین شبیه‌ساز

## 1- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مباحثی که در چند دهه اخیر مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است، موضوع جلوگیری از اتلاف انرژی و صرفه‌جویی در مصرف آن است [1، 2]. آمار جهانی بیانگر این است که مصرف انرژی در جهان در هر 10 سال، دو برابر افزایش یافته است. این در حالی است که بیشترین میزان مصرف انرژی به کشورهای در حال توسعه و توسعه‌نیافته از جمله ایران اختصاص دارد که متوسط مصرف سالانه انرژی در آن رشد 10 درصدی دارد [3]. مصرف انرژی کل ایران 3/5 برابر بیشتر از ترکیه، 14/5 برابر بزرگ‌تر از ژاپن و 5 برابر بالاتر از میانگین انرژی سالانه جهانی است، به‌گونه‌ای که متوسط مصرف انرژی به ازای هر مترمربع در ایران 2/6 برابر متوسط مصرف در کشورهای صنعتی است که در بعضی از شهرهای کشور این رقم به حدود چهار برابر می‌رسد [4]. تقاضای انرژی برای برق، گرمایش، روشنایی و تهویه به دلیل رشد و افزایش نیازها در جمعیت و ساخت‌وساز افزایش یافته است. در طول دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۶، تقاضای انرژی در بخش ساختمان 11٪ افزایش داشته است [5]. در مقابل این تغییر فزاینده، انسان مستلزم استفاده از مصرف حداقل انرژی است و با توجه به این افزایش تقاضا، ارائه راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی امری ضروری است [6]. مصرف انرژی در ایران در بخش ساختمان بیشترین سهم را در بین همه‌ی بخش‌های مصرف‌کننده به خود اختصاص داده است [1]. با توجه به آمار منتشرشده از سوی سازمان بهره‌وری انرژی ایران و ترازنامه انرژی کشور در سال 1391، سالانه بیش از 42.7 درصد مصرف انرژی صرف تامین نیازهای این بخش می‌شود [7]. از جمله این ساختمان‌ها، فضاهای آموزشی هستند که از تاثیرگذارترین ساختمان‌ها در محیط شهری و مسایل انرژی هستند [8]. چنین ساختمان‌هایی به دلیل تعداد زیاد کاربر مانند معلمان، پژوهشگران و دانش‌آموزان که با اهداف مختلف از این فضا استفاده می‌کنند به توجه بیشتری نیاز دارند. همچنین مطالعات صورت‌گرفته در زمینه بررسی مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی نسبت به ساختمان‌های مسکونی، اداری و بیمارستان تعداد کمی را به خود اختصاص داده‌اند. زمردیان و همکاران نشان دادند که تنها 48 مقاله در حیطه بررسی فاکتورهای مختلف ساختمان‌های مدارس از ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۵ منتشر شده است [9]. لازم به ذکر است در مطالعات صورت‌گرفته، هندسه ساختمان‌ها، جهت‌گیری آن‌ها و تاثیر بافت شهری بر مصرف انرژی بیشتر مورد پژوهش قرار گرفته‌اند و مصالح ساختمانی موضوعی است که کم‌تر به آن پرداخته شده است؛ لذا با توجه به این خلا مطالعاتی، در این پژوهش تلاش بر آن است به سوال «مصلح بهینه در زمینه مصرف انرژی در ساختمان آموزشی (مدرسه شش کلاسه) در شهر تهران چه نوع مصالحی است؟» پاسخ داده شود. برای این منظور شش ساختمان با معماری یکسان و مصالح متفاوت در نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی شد و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه گردید.

## 1-1- عوامل موثر بر مصرف انرژی در ساختمان

برای مصرف انرژی ساختمان‌ها است [22]. از این رو در این پژوهش از این نرم‌افزار جهت شبیه‌سازی انرژی ساختمان استفاده می‌شود.

**جدول 1** دسته‌بندی عوامل موثر بر مصرف انرژی ساختمان (مآخذ: نگارنده)

**عوامل موثر بر مصرف انرژی ساختمان**

- [23] اقلیم
- [24] همجواری‌ها
- [25] مصالح
- [26] ارتفاع
- [27] فرم ساختمان
- [28] سیستم گرمایش و سرمایش
- [29] کاربری
- [30] عایق‌بندی
- [31] نوع و درصد بازشوها
- [31] جهت‌گیری ساختمان
- [32] سیستم روشنایی و سایبان

تاکنون مطالعات صورت‌گرفته در زمینه بهینه‌سازی انرژی در حوزه ساختمان به تاثیر مصالح در مصرف انرژی آن به صورت چشم‌گیر نپرداخته‌اند. بررسی این موضوع در ساختمان‌های آموزشی به‌عنوان یک خلا مطالعاتی مطرح می‌گردد؛ لذا در مطالعه روبه‌رو مصرف انرژی یک ساختمان آموزشی شهر تهران تحت تاثیر مصالح متفاوت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و راهکارهایی جهت بهینه‌سازی مصرف این ساختمان ارائه خواهد شد.

**1-2- نقش مصالح در مصرف و بهینه‌سازی انرژی ساختمان**

برای ساخت‌وساز مناسب و حفظ محیط‌زیست، مصالح به‌کار رفته در ساختمان‌ها نقش بسزایی دارد. انتخاب مصالح ساختمانی سازگار با محیط باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود و سلامتی بیشتر محیط‌زیست را تامین می‌کند، به دلیل که این مصالح باعث کاهش مصرف سوخت در جهت گرمایش ساختمان‌ها می‌شود و این امر باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. همچنین استفاده از انرژی فسیلی کاهش می‌یابد و جامعه به سوی معیارهای پایداری پیش می‌رود. در پژوهشی که با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر در شهر تهران انجام گرفته است، دریافتند برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های عایق‌نشده، اولین اقدام در ساختمان‌های کوتاه مرتبه عایق‌کاری دیوارها و بام نهایی است که در این ساختمان به دلیل استفاده از بلوک‌های پلی‌استایرنی در سازه‌ی سقف، عایق‌کاری سقف نهایی تاثیر چندانی نداشته و همچنین هزینه زیاد اجرای بام وارونه و یا سقف سبز مقرون به‌صرفه نبوده و دارای زمان بازگشت بالای 20 سال است که منطقی به نظر نمی‌رسد؛ بنابراین مهم‌ترین بخش اتلاف انرژی از طریق دیوارهای خارجی یا دیوارهای مجاور فضای کنترل‌نشده است؛ لذا برای راحتی در اجرا و هزینه پایین، اجرای عایق از داخل می‌تواند بهترین راه‌حل برای کاهش مصرف انرژی باشد [33]. در پژوهشی ضمن مقایسه‌ی انرژی مورد نیاز در تولید مصالح مختلف با چوب، میزان مصرف انرژی هنگام بهره‌برداری در اجرای پروژه‌ی اسکان نوروژی مسافری در جزیره کیش در سال 1392 با یکدیگر مقایسه گشته است. نتایج نشان می‌دهد میزان مصرف انرژی در تولید و مدت بهره‌برداری مصالح در صورت استفاده از چوب به‌طور میانگین حدود 95 درصد کاهش داشته است [34].

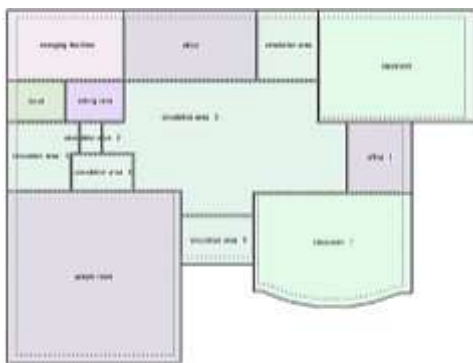
**جدول 2** دسته‌بندی مطالعات انجام‌شده در زمینه تاثیر مصالح بر مصرف انرژی ساختمان (مآخذ: نگارنده)

شماره رفرنس	سال انتشار	عنوان	نتایج
35	2014	تأثیر پوشش گیاهی بر ریزاقلیم محلی، عملکرد حرارتی و نفوذ هوا در چهار جهت نمای ساختمان	پیچک بسته به جهت‌گیری دیوار و زمان روز تا 0.7 دمای نمای خارجی ساختمان و 10٪ شار حرارتی از طریق دیوار را کاهش می‌دهد؛ در نتیجه به شکل عایق عمل کرده و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.
36	2004	نقش مصالح در سرمایش غیرفعال فضاهای شهری	دمای آسفالت تازه 35 درجه کلون گرم‌تر از دمای هوای اطرافش است؛ در حالی که مصالح با رنگ روشن 5 تا 7 درجه کلون از دمای هوای اطراف خود در شرایط مشابه هستند؛ بنابراین مصالح در دمای ساختمان و مصرف انرژی آن موثر هستند.
37	2019	کاهش جزیره گرمایی شهری در یک منطقه مسکونی در تهران: بررسی نقش پوشش گیاهی، مصالح و جهت‌گیری ساختمان‌ها	پوشش روشن سطوح با آلبدو 0.7 حدود 5.32 درجه سانتی-گراد خنک‌تر از بتن کثیف با آلبدو 0.4 است. با جایگزین کردن بتن به آلبدو 0.5 با آسفالت با آلبدو 0.2 در ساعت یک بعدازظهر 6.96 درجه سانتی‌گراد کاهش دمای سطوح قابل مشاهده است که این تغییرات دمایی بر مصرف انرژی ساختمان تاثیرگذار هستند.
38	2017	توسعه و شناسایی کاشی‌های رنگی بازتابنده برای پوسته‌های ساختمانی پیشرفته	کاشی‌های پوشیده با آلومینیوم بازتاب کمتری نسبت به کاشی-های پوشیده‌شده با تیتانات باریم دارند 2.6٪ برای کاشی خاکستری و 5.1٪ برای کاشی قهوه‌ای ضریب بازتاب مصالح بر مصرف انرژی ساختمان موثر است
39	2018	برنامه‌ریزی برای دره-های شهری: تحلیل مقایسه‌ای تأثیر ویژگی‌های بازتابی نما بر رفتار حرارتی دره شهری	کاشی‌های قدیمی با رنگ شفاف و مقاوم در برابر اشعه ماورابنفش برای کاربردهای خارجی استفاده می‌شدند؛ زیرا مصالح بازتابنده با بازتاب نور خورشید گرمای به دام افتاده در تنگه‌های شهری را کاهش می‌دهند و باعث کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها در تابستان می‌شوند.
40	2016	طراحی میکرو اقلیم برای فضاهای باز: رتبه‌بندی اثرات طراحی شهری بر	با افزایش پوشش گیاهی، بهترین شرایط آسایش حرارتی در شهر تهران اتفاق می‌افتد. درختان و رطوبت خاک باعث بهبود شرایط حرارتی و آسفالت باعث بدتر شدن

این متریاها در حال حاضر از عایق‌های پرکاربرد در صنعت ساختمان بوده و نوآوری و استفاده از مصالح نوین در ساخت مدارس را به دنبال دارد. بخش سوم، مطالعات شبیه‌سازی است که مدل‌سازی آن توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر صورت می‌گیرد. دیزاین بیلدر یک نرم‌افزار شبیه‌ساز مصرف انرژی در ساختمان است که می‌تواند میزان مصرف انرژی را پیش‌بینی کند. در این نرم‌افزار همچنین می‌توان انواع مصالح متفاوت ساختمان‌ها را تست کرد و بهترین گزینه برای کاهش مصرف انرژی را انتخاب نمود [46].

### 3- نمونه مورد مطالعه

در این پژوهش یک ساختمان آموزشی (مدرسه مقطع ابتدایی شش کلاسه) در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. این بنا از نمونه‌های پیشنهادی سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور تحت نظر اداره آموزش و پرورش برای دسته اقلیم‌های مشابه شهر تهران انتخاب شده است. این بنا در دسته‌بندی کوشک‌ها بوده و در مرکز حیاط مدرسه قرار گرفته و از چهار طرف نور و تهویه طبیعی دارد. دلیل انتخاب این تیپ ساختمان نیز استفاده از نور و تهویه طبیعی در فضاهای اصلی می‌باشد [45]. این ساختمان که براساس اطلاعات موجود در دیزاین بیلدر مدل‌سازی شده است، مطابق شکل 1، دارای دو کلاس در طبقه همکف و چهار کلاس در طبقه اول است (شکل 2).



شکل 1 پلان طبقه همکف ساختمان آموزشی

ساختمان همچنین شامل نمازخانه، اتاق مدیریت، آبدارخانه، سرویس‌های بهداشتی، راه‌پله و راهروهای ارتباطی است.



شکل 2 پلان طبقه اول ساختمان آموزشی

آسایش حرارتی عابر پیاده	آن می‌شود. هرچه شرایط آسایش حرارتی فراهم باشد مصرف انرژی ساختمان کاهش می‌یابد.		
اثرات پوشش گیاهی، تراکم شهری، ارتفاع ساختمان و شرایط جوی بر دمای محلی و آسایش حرارتی	پوشش گیاهی روی سقف و زمین باعث کاهش دما در تابستان می‌شود. تقاضای بار خنک‌کننده در محیط داخلی، راحتی در فضای باز و مصرف انرژی را بهبود می‌بخشد.	41	2014
احساس حرارتی انسان در فضای باز اقلیم‌های متفاوت: بررسی جامع رویکردها	نماهای گیاهی دمای هوای آزاد را کاهش می‌دهند. به دلیل وجود پوشش گیاهی، نرخ نفوذ هوا به داخل ساختمان کاهش می‌یابد.	42	2018
سنگفرش خنک برای سازگاری با تغییرات آب و هوایی	این مطالعه به بررسی تاثیر مصالح نما و سطح خیابان بر انرژی خورشیدی در تنگه‌های شهری پرداخته است. در سه شهر اسلو، میلان و قاهره با سه عرض جغرافیایی مختلف و تنگه‌های با h/w متفاوت پژوهش صورت گرفته است. بر طبق نتایج، استفاده از مواد RR و AS-RR در نمای جنوبی اثربخشی بیشتری را بر روی دره شهری با تراکم بالا ( $H/W \geq 2$ ) دارد و تابش خورشیدی جذب شده را تا 8٪ کاهش داد.	43	2021
اثرات هندسه شهری بر محیط حرارتی در دره‌های خیابانی دو بعدی	ویژگی‌های سطوح شهری نقش حیاتی در شبیه‌سازی برای شرایط زیست اقلیم شهری ایفا می‌کند. سطوح با البدو بالا دمای سطوح و مصرف انرژی را افزایش می‌دهند.	44	2021

### 2- روش تحقیق

روش تحقیق مطالعه کمی می‌باشد. ابزار گردآوری داده‌ها در این پژوهش شامل سه بخش اصلی است: بخش اول، تحقیقات کتابخانه‌ای است که در این مرحله چهارچوب نظری تحقیق مشخص می‌شود. دیدگاه‌های اصلی مرتبط با موضوع و محققان صاحب‌نظر شناسایی می‌شوند. همچنین متغیرهای اصلی و روش تحقیق مناسب موضوع پژوهش انتخاب می‌گردد. بخش دوم، مطالعات میدانی است که این بخش شامل جمع‌آوری داده‌های مرتبط با معماری ساختمان و ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی مصالح منتخب است. در بخش مصالح ساختاری دو نمونه مصالح آجر و بلوک بتنی انتخاب شد؛ زیرا بر اساس شناسنامه فنی ارائه‌شده در سایت اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس تهران، در ساخت مدارس عمدتاً این دو نوع مصالح استفاده می‌شود [45]. در بخش عایق‌ها نیز سه نوع عایق فایبرگلس، سیلیکون و مواد تغییر فازدهنده<sup>1</sup> انتخاب شد؛ زیرا

<sup>1</sup> Phase Change Material (PCM)



شکل 5 شبیه‌سازی ساختمان با مصالح نوع 1

در ساختمان شماره 2 نیز مانند نمونه قبلی، دیوارهای پیرامونی شامل شش لایه است؛ با این تفاوت که مصالح ساختاری دیوار بلوک بتنی با ضخامت 20 سانتی‌متر؛ اما عایق مانند ساختمان 1 فایبرگلس با ضخامت 5 سانتی‌متر است (شکل 6).



شکل 6 شبیه‌سازی ساختمان با مصالح نوع 2

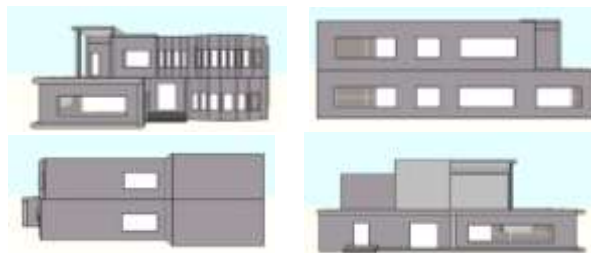
در ساختمان شماره 3 نیز مطابق شکل 7، دیوارهای پیرامونی شامل 6 لایه است. در این نمونه، مصالح ساختاری دیوار اجر با ضخامت 20 سانتی‌متر و عایق سیلیکون با ضخامت 5 سانتی‌متر است.



شکل 7 شبیه‌سازی ساختمان با مصالح نوع 3

در ساختمان شماره 4 نیز مانند ساختمان 3، دیوارهای پیرامونی 6 لایه است؛ اما مصالح ساختاری دیوار بلوک بتنی با ضخامت 20 سانتی‌متر و عایق مانند ساختمان 3 سیلیکون با ضخامت 5 سانتی‌متر است (شکل 8).

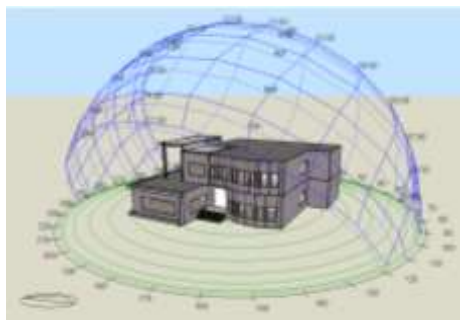
بر طبق اسناد ارائه‌شده در شکل 3، امکان بهره‌مندی از نور طبیعی در هر چهار نما وجود دارد و بازشوهایی در چهار وجه ساختمان تعبیه شده است.



شکل 3 نمای شمالی (بالا راست)، جنوبی (بالا چپ)، شرقی (پایین راست) و غربی (پایین چپ) ساختمان آموزشی

#### 4- شبیه‌سازی

شبیه‌سازی این پژوهش توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام شد است (شکل 4). نرم‌افزار دیزاین بیلدر، نرم‌افزار تخصصی شبیه‌سازی انرژی، از پرکاربردترین و دقیق‌ترین نرم‌افزارهای موجود در زمینه انرژی است. از خصوصیات مهم این نرم‌افزار استفاده از موتور مدل‌سازی انرژی پلاس است. در این شبیه‌سازی می‌توان ساختمان را از جنبه‌های مختلفی مثل معماری، مصالح، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی، تهویه طبیعی و مکانیکی و سایر جنبه‌ها مدل‌سازی کرد [34].



شکل 4 پرسپکتیو ساختمان شبیه‌سازی شده در دیزاین بیلدر

جهت ارزیابی تاثیر مصالح بر میزان مصرف انرژی، ساختمان با شش نوع مصالح متفاوت شبیه‌سازی و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. این تفاوت در ساختار مصالح اصلی دیوارهای پیرامونی و عایق مورد استفاده در آن ایجاد شده است و مصالح نما (سنگ گرانیت) و اولین لایه داخلی (گچ‌کاری) در جهت مقایسه مناسب‌تر مصالح دیوار و عایق تغییر نداشته است. در ادامه ساختار این شش گزینه تشریح خواهد شد.

در ساختمان شماره 1، دیوارهای پیرامونی شامل شش لایه است. همانطور که در تصویر 5 قابل مشاهده است، مصالح ساختاری دیوار اجر با ضخامت 20 سانتی‌متر و عایق فایبرگلس با ضخامت 5 سانتی‌متر است.



شکل 11 نمودار اطلاعات سایت

فشار اتمسفر بین مقدار 875 تا 880 میلی بار متغیر است. بیشترین فشار اتمسفر در دی ماه و کمترین آن در شهریور ماه است. بیشترین اختلاف تابش خورشیدی مستقیم و تابش افقی پراکنده در خرداد ماه است. همانطور که از شکل 12 پیداست، در ماههای مهر، آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند بیشترین اختلاف دما بین دمای هوا و دمای هوای خارج وجود دارد. این اختلاف دمای 15 درجه سانتیگراد به طور میانگین باعث تحمیل بار گرمایشی به ساختمان می شود. میانگین اختلاف دمای بیرون و داخل ساختمان در فصل گرم کم تر است؛ بنابراین در این اقلیم برای دست یافتن به آسایش حرارتی، بار گرمایشی بیشتر از سرمایشی است. با توجه به استاندارد اشاره،<sup>1</sup> محدوده آسایش حرارتی 18 تا 23 درجه سانتیگراد است. ساختمان مورد تحلیل در ماههای فروردین، اردیبهشت و مهر که هوای بیرون در بازه آسایش است نیاز به سرمایش یا گرمایش ندارد.



شکل 12 مقایسه پارامترهای آسایش حرارتی

#### 5-1- نتایج شبیه سازی ساختمان با مصالح نوع 1

در ساختمان شماره 1 در فصل سرد مصرف گاز با مجموع 14306/83 کیلووات ساعت در بخش گرمایش ساختمان است (شکل 13). بیشترین مصرف گاز در دی ماه 4950 کیلووات ساعت و کمترین مصرف آن در ماههای گرم خرداد تا شهریور صفر گیگاوات ساعت است. مصرف برق در فصل گرم به اوج



شکل 8 شبیه سازی ساختمان با مصالح نوع 4

همانند شکل 9، در ساختمان شماره 5 نیز ساختار شش لایه لحاظ شده و دیوار آجری با ضخامت 20 سانتی متر نشان داده شده است. عایق این نمونه از مصالح تغییر فاز دهنده است.



شکل 9 شبیه سازی ساختمان با مصالح نوع 5

نمونه ساختمان شماره 6 که ساختار آن در شکل 10 آورده شده است، بلوک بتنی با ضخامت 20 سانتی متر و عایق از مواد تغییر فاز دهنده است.

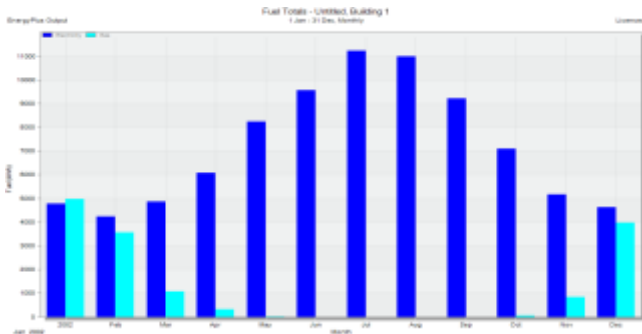


شکل 10 شبیه سازی ساختمان با مصالح نوع 6

#### 5- بحث و نتایج

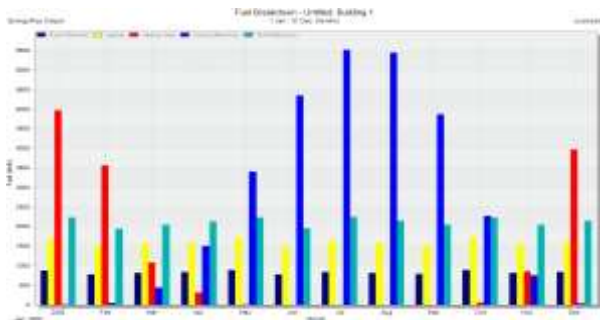
با توجه به نمودار مقایسه دمای خشک و دمای تر، در دوره تابستان رطوبت هوا در این اقلیم کم است؛ بنابراین بهتر است از سیستم های خنک کننده و رطوبت دهنده به محیط استفاده شود. همان طور که در شکل 11 نمایان است، بیشترین سرعت باد در تهران متعلق به ماههای فروردین، اردیبهشت، خرداد، مهر و آبان است. جهت باد عمدتاً بین 100 تا 200 درجه نسبت به شمال جغرافیایی است. ارتفاع خورشید در بازه حدودی 10- درجه تا 10+ درجه قرار دارد و زاویه آزیموت خورشیدی 180 درجه است.

<sup>1</sup> ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers)



شکل 15 مصرف انرژی ساختمان با مصالح نوع 2 به تفکیک برق و گاز

در ساختمان شماره 2 مصرف انرژی شامل بخش‌های سرمایش، گرمایش، آب گرم مصرفی، تجهیزات الکتریکی و سیستم روشنایی است. بیش‌ترین انرژی مصرفی در بخش سرمایش در تیرماه 6500 کیلووات‌ساعت و بیش‌ترین انرژی مصرف‌شده در بخش گرمایش در دی ماه با حدود 5000 کیلووات بر ساعت است. به دلیل ظرفیت حرارتی بیش‌تر آجر نسبت به بلوک سیمانی، در بخش سرمایش و گرمایش، ساختمان 2 (بلوک سیمانی) انرژی بیشتری نسبت به ساختمان 1 (ساختار اصلی دیوار آن آجری است) مصرف کرده است. روشنایی 1520 کیلووات بر ساعت به‌طور متوسط در کل سال و آب گرم مصرفی 2050 کیلووات‌ساعت دیگر موارد مصرف انرژی در ساختمان هستند.

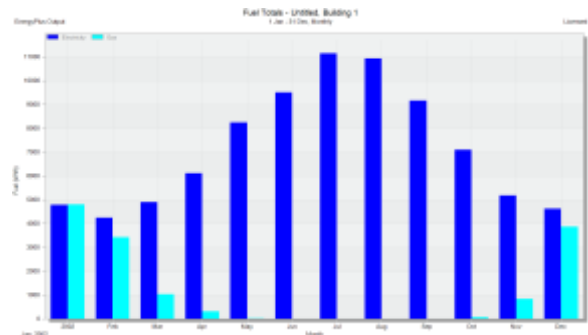


شکل 16 مصرف انرژی ساختمان در بخش‌های مختلف با مصالح نوع 2

### 3-5- نتایج شبیه‌سازی ساختمان با مصالح نوع 3

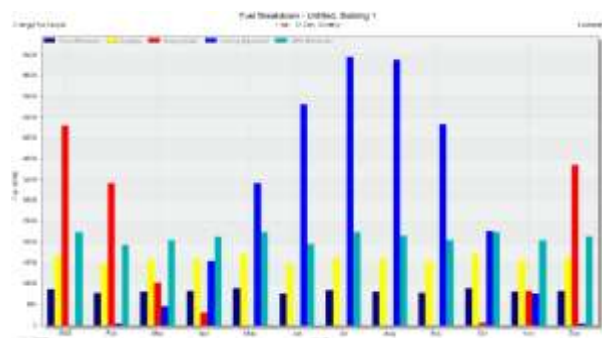
در ساختمان شماره 3 با دیوار آجری و عایق سیلیکون 86828/34 کیلووات‌ساعت برق و 19155/58 کیلووات‌ساعت گاز در سال مصرف می‌شود. مصرف گاز از ماه خرداد تا مهر صفر کیلووات است و بیش‌ترین مصرف آن 6160 کیلووات‌ساعت در دی ماه است. در گرم‌ترین ماه سال تا 11800 کیلووات‌ساعت انرژی برق مصرف می‌گردد. در آذر ماه کم‌ترین مصرف برق 4800 کیلووات‌ساعت است (شکل 17).

می‌رسد. در گرم‌ترین ماه سال تا 11100 کیلووات‌ساعت انرژی برق مصرف می‌گردد. در بهمن ماه کم‌ترین مصرف برق 4150 وات‌ساعت است.



شکل 13 مصرف انرژی ساختمان با مصالح نوع 1 به تفکیک برق و گاز

شکل 14 بیانگر قبض انرژی ساختمان 1 است. بیش‌ترین انرژی مصرفی مربوط به سرمایش در تیرماه 6450 کیلووات‌ساعت و بیش‌ترین انرژی مصرف‌شده در بخش گرمایش در دی ماه با حدود 4800 کیلووات بر ساعت است. سیستم گرمایشی در آذر، دی و بهمن ماه به اوج مصرف می‌رسد. روشنایی 1520 کیلووات بر ساعت به‌طور متوسط در کل سال و آب گرم مصرفی 2050 کیلووات‌ساعت دیگر موارد مصرف انرژی در ساختمان هستند.

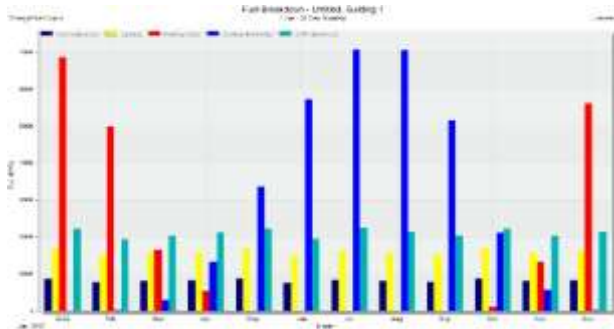


شکل 14 مصرف انرژی ساختمان در بخش‌های مختلف با مصالح نوع 1

### 2-5- نتایج شبیه‌سازی ساختمان با مصالح نوع 2

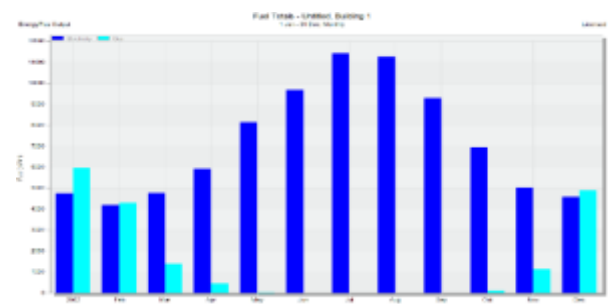
در ساختمان شماره 2 مصرف گاز با مجموع 14770 و 80 کیلووات‌ساعت در سال و مصرف برق 86062/45 کیلووات‌ساعت است (شکل 13). ساختمان شماره 2 انرژی بیش‌تری نسبت به نمونه 1 مصرف می‌کند. از آنجایی که عایق هر دو نمونه فایبرگلس است، به نظر می‌رسد این تفاوت در مصرف انرژی به دلیل تفاوت ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی آجر و بلوک سیمانی است. بیش‌ترین مصرف گاز در دی ماه 5000 کیلووات‌ساعت و در فصل گرم مصرف گاز صفر است؛ اما مصرف برق در فصل گرم در بیش‌ترین حالت خود قرار دارد. در مرداد ماه سال تا 11200 کیلووات‌ساعت انرژی برق مصرف می‌گردد.

در ساختمان شماره 4 نیز مصرف انرژی شامل بخش‌های سرمایش، گرمایش، آب گرم مصرفی، تجهیزات الکتریکی و سیستم روشنایی است. همان‌طور که از شکل 20 پیداست، بیش‌ترین انرژی مصرفی در بخش سرمایش در تیرماه 7100 کیلووات‌ساعت و بیش‌ترین انرژی مصرف‌شده در بخش گرمایش در دی ماه با حدود 6900 کیلووات بر ساعت است. به دلیل ویژگی‌های حرارتی متفاوت آجر نسبت به بلوک سیمانی در بخش سرمایش و گرمایش، ساختمان 4 (بلوک سیمانی) انرژی بیشتری نسبت به ساختمان 3 (ساختار اصلی دیوار آن آجری است) مصرف کرده است. لازم به ذکر است در این دو نمونه عایق مشابه (سیلیکون) در نظر گرفته شده است. روشنایی 1850 کیلووات بر ساعت به‌طور متوسط در کل سال و آب گرم مصرفی 2090 کیلووات‌ساعت دیگر موارد مصرف انرژی در ساختمان هستند.



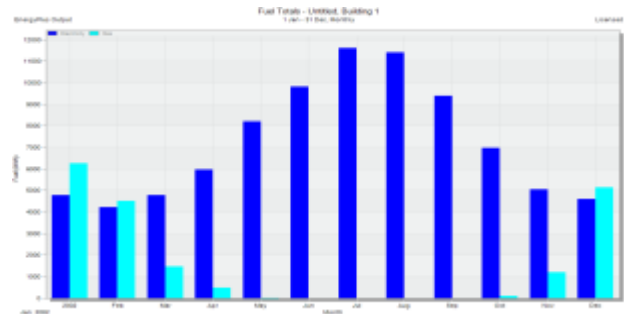
شکل 20 مصرف انرژی ساختمان در بخش‌های مختلف با مصالح نوع 4

5-5- نتایج شبیه‌سازی ساختمان با مصالح نوع 5 در ساختمان شماره 5 در فصل سرد مصرف گاز با مجموع 18156/49 کیلووات‌ساعت در بخش گرمایش ساختمان است (شکل 21). بیش‌ترین مصرف گاز در دی ماه 6000 کیلووات‌ساعت و کم‌ترین مصرف آن در ماه‌های گرم خرداد تا شهریور صفر گیگاوات‌ساعت است. مصرف برق در فصل گرم به اوج می‌رسد. در گرم‌ترین ماه سال تا 11300 کیلووات‌ساعت انرژی برق مصرف می‌گردد. در بهمن ماه کمترین مصرف برق 4050 کیلووات‌ساعت است.

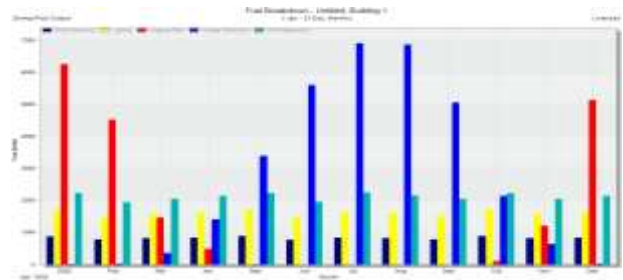


شکل 21 مصرف انرژی ساختمان با مصالح نوع 5 به تفکیک برق و گاز

شکل 22 بیانگر قبض انرژی ساختمان 5 با دیوار آجری و عایق مواد تغییر فزاینده است. بیش‌ترین انرژی مصرفی مربوط به سرمایش در تیرماه 6950 کیلووات‌ساعت و بیش‌ترین انرژی مصرف‌شده در بخش گرمایش در دی ماه با حدود 6800 کیلووات بر ساعت است. مصرف انرژی در بخش سرمایش و گرمایش نسبت به نمونه 1 و 2 افزایش داشته است. این امر نشان‌دهنده عملکرد بهتر عایق فایبرگلس در کاهش مصرف انرژی نسبت به عایق مواد تغییر

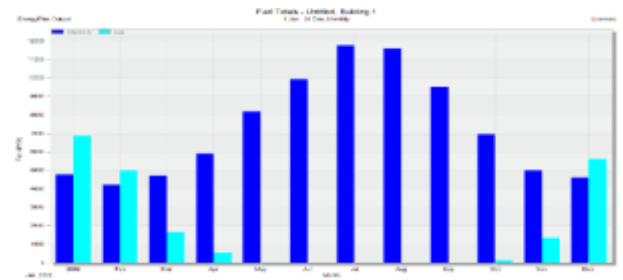


شکل 17 مصرف انرژی ساختمان با مصالح نوع 3 به تفکیک برق و گاز شکل 18 بیانگر قبض انرژی ساختمان 3 است. بیش‌ترین انرژی مصرفی مربوط به سرمایش در تیرماه 6950 کیلووات‌ساعت و بیش‌ترین انرژی مصرف‌شده در بخش گرمایش در دی ماه با حدود 6200 کیلووات بر ساعت است. مصرف انرژی در بخش سرمایش و گرمایش نسبت به نمونه 1 و 2 افزایش داشته است. این امر نشان‌دهنده عملکرد بهتر عایق فایبرگلس در کاهش مصرف انرژی نسبت به عایق سیلیکون است. روشنایی 1830 کیلووات بر ساعت به‌طور متوسط در کل سال و آب گرم مصرفی 2040 کیلووات‌ساعت دیگر موارد مصرف انرژی در ساختمان هستند.

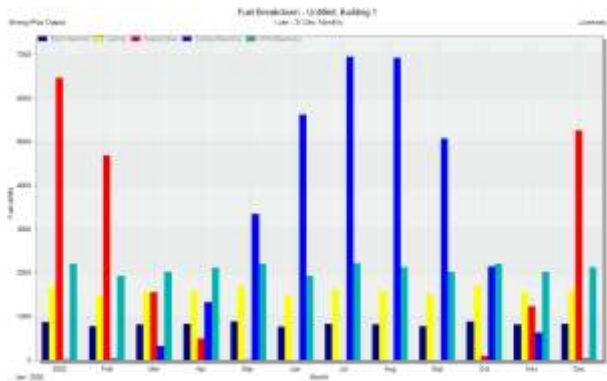


شکل 18 مصرف انرژی ساختمان در بخش‌های مختلف با مصالح نوع 3

4-5- نتایج شبیه‌سازی ساختمان با مصالح نوع 4 87209/99 کیلووات‌ساعت برق و 21155/77 کیلووات‌ساعت گاز مجموع مصرف انرژی ساختمان شماره 4 در طول سال است (شکل 19). این ساختمان که با بلوک سیمانی در نظر گرفته شده است نسبت به نمونه شماره 3 با عایق مشابه در هردو ساختمان 2377/84 کیلووات‌ساعت مصرف انرژی بیشتری داشته است؛ بنابراین دیوار آجری عملکرد بهتری در صرفه‌جویی مصرف انرژی دارد. بیش‌ترین مصرف برق در تیرماه و کمترین آن در بهمن ماه و بیش‌ترین مصرف گاز در دی ماه است.



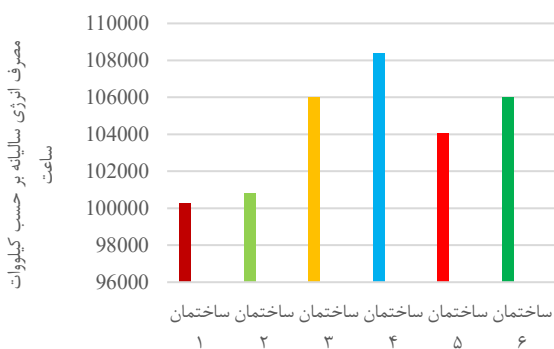
شکل 19 مصرف انرژی ساختمان با مصالح نوع 4 به تفکیک برق و گاز



شکل 24 مصرف انرژی ساختمان در بخش‌های مختلف با مصالح نوع 6

5-7- مقایسه مصرف انرژی 6 مدل ارائه شده

همان‌طور که از نمودار شکل 25 پیداست، ساختمان شماره 1 با دیوار آجری و عایق فایبرگلس با 100282/52 کیلووات‌ساعت کم‌ترین مصرف انرژی را دارد. ساختمان شماره 2 با دیوار بتنی و عایق مشابه ساختمان 1 با 100833/20 در رتبه دوم کم‌مصرف‌ترین نمونه‌ها قرار دارد. ساختمان شماره 5 سومین ساختمان کم‌مصرف است. این ساختمان آجری و با عایق مواد تغییر فازدهنده است. ساختمان شماره 6 با عایق مشابه نمونه 5 و دیوار بلوک بتنی 105982/81 کیلووات‌ساعت انرژی مصرف می‌کند که از رتبه چهارم کم‌مصرف‌ترین نمونه‌ها را به خود اختصاص داده است. رتبه پنجم و ششم به ترتیب به ساختمان‌های شماره 3 و 4 تعلق دارد. این ساختمان‌ها عایق سیلیکون دارند و مانند نمونه‌های ذکرشده، ساختمان دارای دیوار آجری انرژی کمتری نسبت به ساختمان بلوک بتنی مصرف کرده است. مصرف انرژی ساختمان 3، 105983/92 کیلووات‌ساعت و ساختمان 4، 108361/76 کیلووات‌ساعت است؛ بنابراین ساختمان 4 با مصالح دیوار بتنی و عایق سیلیکون بیش‌ترین مصرف انرژی را دارد.

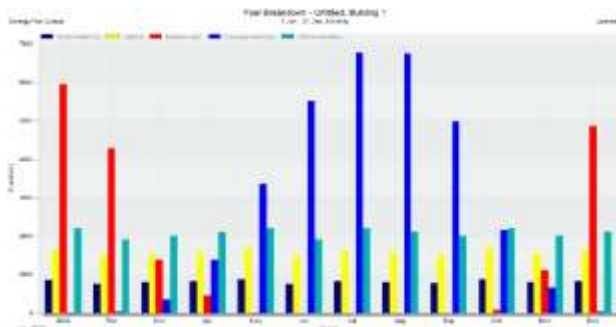


شکل 25 مقایسه مصرف انرژی 6 مدل ارائه شده

6- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش مصرف انرژی در سال‌های اخیر، لزوم توجه به شیوه‌ی صحیح مصرف انرژی و توسعه‌ی روش‌هایی که بتواند منجر به صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان شود به‌عنوان یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر نمایان گشته است. در این پژوهش با هدف انتخاب مصالح بهینه در مصرف

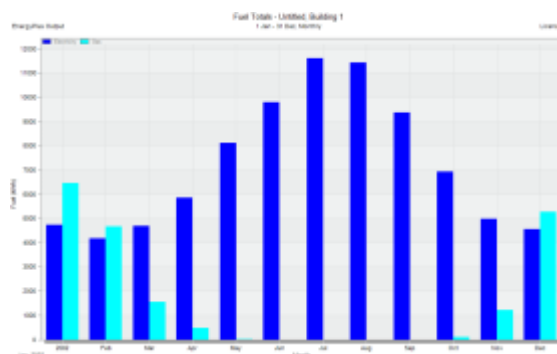
فازدهنده است؛ اما عملکرد عایق سیلیکونی ضعیف‌تر از مواد تغییر فازدهنده است. روشنایی 1820 کیلووات بر ساعت به‌طور متوسط در کل سال و آب گرم مصرفی 2060 کیلووات‌ساعت دیگر موارد مصرف انرژی در ساختمان هستند.



شکل 22 مصرف انرژی ساختمان در بخش‌های مختلف با مصالح نوع 5

5-6- نتایج شبیه‌سازی ساختمان با مصالح نوع 6

در ساختمان شماره 6 با دیوار بلوک سیمانی و عایق مواد تغییر فازدهنده 86217/5 کیلووات‌ساعت برق و 19765/31 کیلووات‌ساعت گاز در سال مصرف می‌شود. مصرف گاز از ماه خرداد تا مهر صفر کیلووات است و بیش‌ترین مصرف آن 6500 کیلووات‌ساعت در دی ماه است. در گرم‌ترین ماه سال تا 11810 کیلووات‌ساعت انرژی برق مصرف می‌گردد. در آذر ماه کم‌ترین مصرف برق 4100 کیلووات‌ساعت است (شکل 23).



شکل 23 مصرف انرژی ساختمان با مصالح نوع 6 به تفکیک برق و گاز

شکل 24 بیانگر موارد مصرف انرژی ساختمان 3 است. بیش‌ترین انرژی مصرفی مربوط به سرمایش در تیر ماه 6990 کیلووات‌ساعت و بیش‌ترین انرژی مصرف‌شده در بخش گرمایش در دی ماه با حدود 6500 کیلووات بر ساعت است. مصرف انرژی در بخش سرمایش و گرمایش نسبت به نمونه 1 و 2 افزایش داشته است. این امر نشان‌دهنده عملکرد بهتر عایق فایبرگلس در کاهش مصرف انرژی نسبت به عایق مواد تغییر فازدهنده است؛ اما نسبت به نمونه 3 و 4 مصرف انرژی کاهش داشته است؛ بنابراین بهتر از سیلیکون عمل کرده است. روشنایی 1850 کیلووات بر ساعت به‌طور متوسط در کل سال و آب گرم مصرفی 2040 کیلووات‌ساعت دیگر موارد مصرف انرژی در ساختمان هستند.

- [6] P. Martinez-Molina, I. Boarin, T. Ausina and J. L. Vivancos, Post-occupancy evaluation of a historic primary school in Spain: Comparing PMV, TSV and PD for teachers and pupils thermal comfort, *Building and Environment*, Vol. 117, pp. 248–259, May 2017.
- [7] Iran Energy Efficiency organization.
- [8] Y. Allab, M. Pellegrino, X. Guo, E. Nefzaoui and A. Kindinis, Energy and comfort assessment in educational building: Case study in a French university campus, *Energy Building*, Vol. 143, pp. 202–219, May 2017.
- [9] Z. S. Zomorodian, M. Tahsildoost and M. Hafezi, Thermal comfort educational buildings: A review article, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 59. Elsevier Ltd, pp. 895–906, 01-Jun-2016.
- [10] A. Bagheri, A.K. Nashani Zarei, A. Shirinbian, B. Shoemaker and A. Malekimehr, The effectiveness of climatic and natural factors affecting the architecture of rural areas of Iran. *National Conference on Architecture and Landscape*, Mashhad, 2014.
- [11] N. Hariri, Principles and Method of Qualitative Research, *Islamic Azad University Press*, 2011.
- [12] V.S.K.V. Harish and A. Kumar, A review on modeling and simulation of building energy systems renew, *Sustain Energy Rev.* 56 (Supplement C), pp. 1272-1292, 2016.
- [13] N. Eskin and H. Torkmen, Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey, *Energy Building*, Vol. 40, No. 5, pp. 763-773, 2008.
- [14] R. lower, Definind and metting the carbon constraints of the 21<sup>st</sup> century, *Building Research & Information*. Vol. 28, No. 3, pp. 159-175, 2000.
- [15] A.H. Ghanbaran, B. Salehi, M. Kavehnejad and S. Ferdowsian, Factors on energy consumption of commercial buildings in Ilam, Third National Conference on Civil Engineering, *Architecture, Urban Planning and Energy Management*, Ardestan, 2017. (in Persian)
- [16] E. Elyasi and S. A. AhmadMoradi, The role of new energy in the architecture of green buildings with the approach of reducing energy consumption, Fourth Year, Vol. 1, No. 3, 2018. (in Persian)
- [17] A. Rahimzadeh and B. Barjesteh, Simulation of the impact of dimensions of exterior windows of buildings on annual cooling and heating load in residential homes of iran climate, *2nd International Conference on New Approaches to Energy Conservation*, 2012.
- [18] M. Rashid, T. Malik and A.M. Ahmad, Effect of window wall ratio(wwr) on heat gain in commercial buildings in the climateof lahore, *Int'l Journal of Research in Chemical, Metallurgical and Civil Engineering*, Vol. 3, No. 1, pp. 122-125, 2016.
- [19] K. Nayara, J. Charbel, J. Chiappetta, "Barriers to green buildings at two Brazilian Engineering Schools. *International Journal of Sustainable Built Environment*, Vol. 3, No. 1, pp. 87-95, 2014.
- [20] K. Hajipour and N. Forouzan, Investigating the effect of city form on the amount of functional energy consumption in the residential sector, case study: Shiraz, *Journal of Fine Arts - Architecture and Urban Planning*, Vol. 19, No. 4, pp. 26 -17, 2014.
- [21] M. Taleghani, M. Tenpierika, A. Van den, R. Dobbelsteen and D. Dear, Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands, *Energy and Buildings*, Vol. 67, pp. 166–175, 2013.
- [22] N. Eskin and H. Torkmen, Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey, *Energy Building*, Vol. 40, No. 5, pp. 763-773, 2008.
- [23] H. Bao-Jie, D. Lan and P. Deo, Enhancing urban ventilation performance through the development of precinct ventilation zones: a case study based on the Greater Sydney, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 47, pp. 101472, 2019.
- [24] Sh. Jun Meia, J. Tao Hu, D. Liud, F. Yun Zhaoa, Y. Lie and H.Q. Wang, Thermal buoyancy driven canyon airflows inside the compact urban blocks saturated with very weak synoptic wind: Plume merging mechanism, *Building and Environment*, Vol. 131, pp. 32–43, 2018.
- [25] V.V. Balakina and V.F. Sidorenko, Wind transformation around residential buildings in street canyons, *Procedia Engineering*, Vol. 150, pp. 2049 – 2054, 2016.
- انرژی، به بررسی تاثیر مصالح بر مصرف انرژی در ساختمان آموزشی در شهر تهران پرداخته شد. در جهت دستیابی به این هدف، دو نوع مصالح ساختاری دیوارهای خارجی و سه نوع عایق بکاررفته در آن، در شش ساختمان مورد بررسی قرار گرفت. ساختمان‌های ذکرشده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی شد. بنابر نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها، ساختمان‌هایی که مصالح دیوار آجری است در شرایط مشابه، مصرف انرژی کمتری نسبت به دیوار بلوک بتنی دارند. به نظر می‌رسد دلیل این امر ظرفیت حرارتی بیشتر آجر باشد. همچنین سه نوع عایق بررسی شده در این پژوهش نشان داد که استفاده از عایق سلیکون بیشترین مصرف انرژی را در پی داشته و عایق فایبرگلس بهینه‌ترین مصالح از نظر مصرف انرژی بوده است. عایق از مصالح تغییر فزاینده در میانه قرار دارد. این عایق از نظر مصرف انرژی عملکرد بهتری نسبت به سلیکون داشته؛ اما نسبت به عایق فایبرگلس انرژی بیشتری مصرف کرده است. انتخاب مصالح شهری از طریق نقش آن‌ها در جذب، انتقال و ذخیره گرما و رطوبت به شدت بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد [47]. انتخاب مصالح مناسب می‌تواند مصرف انرژی ساختمان را تا 37٪ کاهش دهد [48]. در این پژوهش نیز مصالح آجر 551 کیلووات ساعت بر متر مربع مصرف انرژی کمتری نسبت به متریال بتن در شرایط یکسان داشته است که نشان‌دهنده هماهنگی نتایج این پژوهش با یافته‌های پژوهش ماسینتری<sup>1</sup> و همکاران می‌باشد. همچنین مصالح ساختمان‌ها بر میزان تابش دریافتی در یک دره شهری نیز نقش دارند [49]. بنابراین مصالح نقش پررنگی در مصرف انرژی ساختمان‌ها و محیط‌های شهری دارند. خداکرمی و همکاران نیز دریافته‌اند با مدیریت بخش‌های مختلف ساختمان می‌توان تا 40٪ مصرف انرژی را کاهش داد. در این پژوهش نیز ثابت شد با انتخاب مصالح مناسب می‌توان تا 7.4٪ مصرف انرژی را کاهش داد. این نتیجه هم‌راستایی دستاوردهای این مطالعه را با پژوهش ذکرشده نشان می‌دهد. با توجه به نتایج ذکرشده پیشنهاد می‌شود برای یک ساختمان آموزشی در اقلیم تهران از ساختمان با دیوار آجری و عایق فایبرگلس در جهت کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی آن استفاده شود. در پژوهش‌های آتی بررسی تاثیر مصالح سقف، دیوارهای داخلی و پنجره‌ها بر مصرف انرژی ساختمان‌های آموزشی می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین از دیگر مواردی که پتانسیل مطالعه در آینده را دارد، بررسی نقش سبزی‌نگی (نما و بام سبز) بر مصرف انرژی فضاهای آموزشی است.

## 7- مراجع

- [1] J. Khodakarami and P. Ghobadi, Optimizing energy consumption in an office building equipped with intelligent management system, *Journal of Engineering and Energy Management*, 2016. (in Persian)
- [2] R. Shahabadi and N. ZainulAbedin Plato, The importance of optimizing energy consumption in buildings, *4th International Congress on New Approaches to Energy Conservation*, 2011. (in Persian)
- [3] S. Kashani, Reducing energy consumption in buildings by storing energy in phase change materials, *The First International Conference On Heating, Cooling And Air Conditioning In Iran*, Tehran, June 2009. (in Persian)
- [4] M. Abbaspour and M. Rezaian Bajgiran, The place of software analysis in energy auditing in the construction sector, *Man and the Environment*, Vol. 8, No. 3 (14-consecutive 25), pp. 1–10, Sep. 2010. (in Persian)
- [5] *Pocketbook 2018 Mobility and Transport*, Accessed 26 December 2020; [https://ec.europa.eu/transport/factsfundings/statistics/pocketbook-2018\\_en](https://ec.europa.eu/transport/factsfundings/statistics/pocketbook-2018_en). [Accessed: 26-Dec-2020].

- street canyons: A scaled experimental study Guanwen, *Building and Environment*, Vol. 198, pp. 107916, 2021.
- [45] <http://www.dresteh.ir>
- [46] *Design Builder Software Ltd*, DesignBuilder Software, 2008, [www.DesignBuildersoftware.co.uk/](http://www.DesignBuildersoftware.co.uk/).
- [47] S. Freitas and M.C. Brito, Solar façades for future cities, *Renewable Energy Focus*, Vol. 31, 2019.
- [48] H.L. Macintyre and C. Heaviside, Potential benefits of cool roofs in reducing heat-related mortality during heatwaves in a European city, *Environment International*, Vol. 127, pp. 430–441, 2019.
- [49] M. Manni, M. Cardinali, G. Lobaccaro, F. Goia, A. Nicolini and F. Rossi, Effects of retro-reflective and angular-selective retro-reflective materials on solar energy in urban canyons, *Solar Energy*, Vol. 209, pp. 662–673, 2020.
- [26] M.M. Azizi and K. Javanmardi, The effects of urban block forms on the patterns of wind and natural ventilation, *Procedia Engineering*, Vol. 180, pp. 541 – 549, 2017.
- [27] H. Jian, L. Zhiwen, S. Mats and G. Jian, Natural ventilation assessment in typical open and semi-open urban environments under various wind directions, *Building and Environment*, Vol.70, pp. 318-333, 2013.
- [28] R. Ramponi, B. Blocken, B. Laura, C. deo, D. Wendy and C.F.D, Janssen, Simulation of outdoor ventilation of generic urban configurations with different urban densities and equal and unequal street widths, *Building and Environment*, Vol. 92, pp. 152-166, 2015.
- [29] I. Karakounos, A. Dimoudi and S. Zoras, The influence of bioclimatic urban redevelopment on outdoor thermal comfort, *Energy and Buildings*, Vol. 158, pp. 1266-1274, 2018.
- [30] N.F.M. Kasima, S.A. Zakia, M.S.M. Alia, N. Ikegayaba and A.A. Razak, Computational study on the influence of different opening position array on wind-induced natural ventilation in urban building of cubical, *Procedia Engineering*, Vol. 169, pp. 256 – 263, 2016.
- [31] K. Marco-Felipe, L. Hannah L. Gough, H. Christos, J. Barlow, A. Robertson, R. Hoxey, Catherine J. Noakes, Investigating the influence of neighboring structures on natural ventilation potential of a full-scale cubical building using time-dependent CFD, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, Vol. 169, pp. 265-279, 2017.
- [32] I. Ingy, A. El-Darwish, A. Ragheb, A. Sherif, Microclimate and human comfort considerations in planning a historic urban quarter, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2016.
- [33] S. Abbasi; S. Sadeghpour and N. Entezar Reyhani, The impact of new and intelligent materials on reducing energy consumption by sustainable architecture, *4th International Conference on New Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning*, 2016.
- [34] E. Rezaei E. Heidarzadeh and A.H. PariZanganeh, Optimizing energy consumption in the building by choosing the type of building materials: comparing wood with other types of building materials, *International Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Urban Development*, 2013.
- [35] I. Susorova and P. Azimi, Brent Stephens, The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building facade orientations, *Building and Environment*, Vol. 76, pp. 113e124, 2014.
- [36] L. Doulos, M. Santamouris and I. Livada, Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials, *Solar Energy*, Vol. 77, pp. 231-249, 2004.
- [37] H. Farhadi, M. Faizi, and H. Sanaieian, Mitigating the urban heat island in a residential area in Tehran: Investigating the role of vegetation, materials, and orientation of buildings, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 46, pp. 101448, 2019.
- [38] B. Castellani, E. Morini, E. Anderini, M. Filippini, F. Rossi, Development and characterization of retro-reflective colored tiles for advanced building skins, *Energy and Buildings*, Vol. 154, pp. 513–522, 2017.
- [39] E. Morini, B. Castellani, S. De Ciantis, E. Anderini and F. Rossi, Planning for cooler urban canyons: Comparative analysis of the influence of facade reflective properties on urban canyon thermal behavior, *Solar Energy*, Vol. 162, pp. 14-27, 2018.
- [40] A. Chatzidimitriou and S. Yannas, Microclimate design for open spaces: Ranking urban design effects on pedestrian thermal comfort in summer, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 26, pp. 27-47.
- [41] K. Perini and A. Magliocco, Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort, *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 13, No. 2, pp. 495-506, 2014.
- [42] O. Potchter, P. Cohen, T.P. Lin and Matzarakis, Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, *methods and quantification Science of The Total Environment*, Vol. 631, PP. 390-406, 2018.
- [43] C.A. Freire, J.S. Grau and J.L. Ayerra, Cool pavement for climate change adaptation, *Transportation Research Procedia*, Vol. 58, pp. 551-558.
- [44] G. Chen, C.K.C. Lam, K. Wang, B. Wang, J. Hang, Q. Wang, and X. Wang, Effects of urban geometry on thermal environment in 2D