

## تأثیر مصالح بر مصرف انرژی، کربن تولیدی و آسایش حرارتی در ساختمان اداری در اقلیم‌های گرم و مرطوب، گرم و خشک و سرد ایران

یکی از عوامل مهم موثر در تعیین بار سرمایش و گرمایش ساختمان، ویژگی‌های حرارتی مصالح است. پایداری محیطی ساختمان‌ها نیز متأثر از مصرف انرژی و انتشارات مضر زیست محیطی مصالح می‌باشد. لذا در انتخاب مصالح علاوه بر ویژگی‌های حرارتی، چرخه حیات مصالح، انرژی و کربن نهفته نیز باید مدنظر قرار گیرد. هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر مصالح مختلف بر عملکرد حرارتی و کارایی انرژی در ساختمان‌های اداری است. بدین منظور برای یک ساختمان نمونه، مصالح با ویژگی‌های حرارتی مختلف در ۱۸ حالت برای سقف، کف، دیوارهای بیرونی و داخلی ساختمان در نظر گرفته شده و شبیه سازی حرارتی در سه شهر بوشهر، شیراز و تبریز برای یک سال نمونه با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر انجام شده است. براساس نتایج بهترین و بدترین ترکیب‌های مصالح از منظر میزان انرژی مصرفی و کربن تولیدی، بدون وابستگی به اقلیم در هر سه شهر یکسان بوده اما با حالات عدم آسایش متناظر نیست. این مساله به دلیل تفاوت بار سرمایش و گرمایش در اقلیم‌های مختلف است. تفاوت بهترین و بدترین حالت‌ها در مصرف انرژی ۲۴ تا ۴۶ درصد، در کربن تولیدی ۲۵ تا ۴۳ درصد و در ساعات عدم آسایش، بسته به نوع اقلیم ۶ تا ۱۳۴ درصد است.

جلیل شاعری<sup>۱</sup>

دانشجوی دکترا

رزا وکیلی نژاد<sup>۲</sup>

استادیار

محمود یعقوبی<sup>۳</sup>

استاد

محمدعلی آبادی<sup>۴</sup>

استادیار

واژه‌های راهنما: مصالح، مصرف انرژی، کربن تولیدی، ساعات عدم آسایش، ساختمان اداری.

### ۱- مقدمه

امروزه انرژی زیادی صرف سرمایش و گرمایش محیط‌های داخلی ساختمان‌ها جهت ایجاد آسایش حرارتی می‌گردد. وجود دستگاه‌های سرمایش و گرمایش مدرن باعث شده توجه کمی به راهکارهای غیر فعال در معماری و ساختمان سازی مدرن شود. تولید گازهای گلخانه‌ای، گرمایش کره زمین در سال‌های اخیر و مصرف بالای انرژی در بخش ساختمان باعث گردیده که راهکارهای اقلیمی بیشتر مورد توجه طراحان و معماران قرار گیرد [۱].

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس jalil.shaeri@modares.ac.ir

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز arch.rv@gmail.com

<sup>۳</sup> استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز yaghoubi@shirazu.ac.ir

<sup>۴</sup> استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز arch.aliabadi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۲۹، تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۱۳

استفاده از مصالح بهینه در ساخت و ساز با توجه به اقلیم طراحی تاثیر زیادی بر مصرف انرژی ساختمان دارد. انتخاب مصالح از منظر ضریب انتقال حرارت و مقاومت حرارتی بر طراحی ساختمان‌های انرژی کارآمد موثر است. علاوه بر این چرخه حیات مصالح، انرژی نهفته و کربن نهفته نیز کارایی آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نتایج پژوهش‌ها در زمینه انتخاب مصالح، اهمیت توجه به مصرف انرژی را در همه مراحل شامل استخراج، تولید و تبدیل به مصالح ساختمانی، کاربرد، تخریب و بازیافت نشان می‌دهد [۲]. در ارزیابی پایداری محیطی ساختمان‌ها، اثرات مصالح مورد استفاده که در ارتباط مستقیم با مصرف انرژی و انتشارات مضر است باید مدنظر قرار گیرد.

### جدول ۱ - کارایی انرژی مصالح متداول

#### ارزیابی شاخص کارایی انرژی

	مصالح بومی <sup>۸</sup>	قابلیت بازیافت <sup>۷</sup>	منابع تجدید پذیر <sup>۶</sup>	فرایند صنعتی کم چگالی <sup>۵</sup>	استفاده از نیروی انسانی <sup>۴</sup>	استفاده از انرژی تجدید <sup>۳</sup>	مصرف انرژی کم در سایت <sup>۲</sup>	ضریب هدایت حرارتی پایین <sup>۱</sup>
مصالح	+	+	+	+	+	+	+	+
چوب	+	+	+	+	+	+	+	+
آجر با ملات گچ	+	+	+	+	+	+	+	+
پمیس <sup>۹</sup>	+	+	-	+	+	+	+	+
پرلایت <sup>۱۰</sup>	+	+	-	-	-	-	+	+
بتن متخلخل <sup>۱۱</sup>	+	+	-	-	-	+	+	+
مواد عایق سلولوزی <sup>۱۲</sup>	+	+	+	+	+	-	+	+
آرئوزل <sup>۱۳</sup>	-	-	-	-	-	-	+	+
مواد عایق سرامیکی <sup>۱۴</sup>	+	+	+	-	-	-	+	+

<sup>1</sup> Low thermal conductivity

<sup>2</sup> Consuming less energy at site

<sup>3</sup> Using renewable energy

<sup>4</sup> Using manpower

<sup>5</sup> Low density industrial process

<sup>6</sup> Renewable source

<sup>7</sup> Recycled content

<sup>8</sup> Local material

<sup>9</sup> Pumice

<sup>10</sup> Perlite

<sup>11</sup> Cellular concrete

<sup>12</sup> Cellulosic insulation material

<sup>13</sup> Aerogels

<sup>14</sup> Waste ceramic insulation material

این مسائل تاثیرات قابل توجه جهانی مانند گرمایش زمین و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. کارایی مصالح یکی از مظاهر مهم ساختمان پایدار است که توسط شاخص ADP در استاندارد [۳] EN 15804، EN 15978 [۴] و الزامات جدید کاربرد منابع در قوانین تولید محصولات ساختمانی مشخص شده است [۵]. انرژی مصرف شده جهت حمل و نقل مصالح ساختمانی نیز قسمت عمده ای از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد [۶]. جدول (۱) میزان کارایی انرژی برخی مصالح متداول را نشان می‌دهد [۲]. جهت مصالح چوبی علاوه بر قابلیت تجدید پذیری، در پروسه تولید معمولاً از نیروی انسانی استفاده می‌شود. کارایی آئروژل‌ها به عنوان عایق حرارتی که مراحل تولید صنعتی دشوار و مصرف انرژی بالا داشته و مواد اولیه آن نیز از مواد محلی تامین نمی‌شود مفید نیست. در نقطه مقابل مصالح عایق سلولزی را می‌توان از مصالح پسماند و به صورت محلی تولید نمود. این مصالح تجدیدپذیر بوده و انرژی مصرف شده جهت تولید آن کم است [۲]. با وجود این به دلیل اهمیت تاثیر کاربرد مصالح بر عملکرد حرارتی و مصرف انرژی ساختمان‌ها، بیشتر مطالعات پیشین به این مساله اختصاص دارد. در پژوهشی تاثیر نوع مصالح و ساختار تشکیل دهنده دیوار و بام بر مصرف انرژی سالانه ساختمان با استفاده از شبیه سازی visual DOE بررسی شده است. این پژوهش در سه شهر از جمله قاهره انجام شده و متغیرهای مورد سنجش نوع و ضخامت عایق و جهتگیری ساختمان یک طبقه بوده است. نتایج پژوهش مناسبترین مصالح و ضخامت بهینه عایق و جهت گیری ساختمان را نشان می‌دهد [۷]. جهت تعیین تاثیر نوع شیشه و مصالح سایبان و ترکیب سایبان‌ها در ساختمان‌های مسکونی، پژوهشی در مورد مصرف انرژی کل ساختمان با کاربرد نرم افزار انرژی پلاس در پنج منطقه اقلیمی آمریکا انجام شده است. در این پژوهش پنج نوع شیشه با سایبانهایی از پی وی سی، آلومینیوم و چوب به صورت سایبان افقی و شیبدار، عمودی و ترکیب آن‌ها سنجش شده است. بررسی نتایج کاهش ۷٪ تا ۱۱/۶٪ انرژی را در صورت استفاده از سایبان چوبی نشان می‌دهد. در اقلیم گرم، مشخصات سایبان و مصالح نقش اساسی در تعیین بار سرمایش داشته و کاهش مصرف انرژی در مناطق با اقلیم سرد کم‌ترین مقدار را دارد [۸]. در بررسی ویژگی‌های حرارتی دیوارهای ساختمان با توده حرارتی مشابه، ضخامت بهینه عایق در اقلیم ریاض تعیین شده است. بهترین عملکرد حرارتی در دیواری با سه لایه عایق در داخل، میانه و خارج هر یک به ضخامت ۲۶ میلی‌متر فراهم می‌شود. پس از آن دیوار با دو لایه عایق در میانه و خارج با ضخامت ذکر شده قرار دارد [۹]. در پژوهشی مشابه، تاثیر تراکم بتن و ضریب انتقال حرارتی آن بر مولفه‌های اینرسی حرارتی دیوار و محل عایق سنجش و تاثیر آن‌ها را بر ویژگی‌های حرارتی دینامیک مانند ضریب کاهش و زمان تاخیر بررسی شده است [۱۰].

عملکرد عایق‌های مورد استفاده در ساختمان معمولاً بر اساس مقاومت حرارتی و به صورت ایستا سنجیده می‌شود. اخیراً برخی مطالعات به ارزیابی دینامیکی عملکرد حرارتی دیوارهای چند لایه پرداخته‌اند. به عنوان مثال در پژوهشی گسترده ۳۳ دیوار مختلف بر اساس چهار ترکیب اولیه با حجم ثابت عایق و توده حرارتی ارزیابی شده و نحوه توزیع لایه‌ها تغییر کرده است. به این ترتیب گرچه مقاومت و ظرفیت حرارتی کل دیوار در همه حالات یکسان است اما عملکرد حرارتی دیوارها با توجه به توزیع لایه‌ها متفاوت است. بهترین عملکرد عایق در حالتی است که لایه‌های آن نزدیک به لایه‌های داخلی و خارجی دیوار بوده و یا هر دو لایه عایق و توده حرارتی به طور یکنواخت در دیوار توزیع شده باشند [۱۱].

طبق نتایج ضخامت بهینه لایه عایق مستقل از محل آن در دیوار است در حالی که حتی در دیوارهای با مقدار عایق یکسان، حداکثر بار حرارتی، زمان تاخیر و ضریب کاهش متفاوت است. از جمله این تفاوتها افزایش ۱۰۰٪ در زمان تاخیر از ۶ تا ۱۲ ساعت، کاهش ۲۰٪ در بار بیشینه سرمایش و گرمایش و کاهش ۱٪/۶ تا ۳٪/۲ در بار سالانه سرمایش و گرمایش است [۹]. در تقابل با نتایج مصالحه فوق، آکسپولس و همکاران [۱۲]، بیان می‌دارند که در دیوارهای خارجی با توجه به جهت گیری و سرعت و جهت باد، ضخامت بهینه عایق متفاوت است. در پژوهشی دقیق با استفاده از ترموگرام مادون قرمز، تاثیر شش نوع دیوار با و بدون عایق نشان داده شده است. بر اساس نتایج رفتار حرارتی پوسته خارجی دیوار بسیار تحت تاثیر ساختار دیوار، ویژگی‌های حرارتی مصالح، اقلیم، جهت گیری، باران و برف و مه است [۱۳]. انتخابی از ضخامت بهینه عایق نیازمند تحلیل دقیق حرارتی انرژی و اقتصادی است. نتایج پژوهشی در آتن ضخامت بهینه عایق را برای همه دیوارها و جهات بین ۷٫۱ تا ۱۰٫۱ سانتیمتر تعیین کرده است. این پژوهش بر سه نوع دیوار کامپوزیت با عایق حرارتی انجام شده و تحلیل اقتصادی بر پایه چرخه حیات را نیز شامل می‌شود [۱۲].

استازی و همکاران [۱۴]، روش پژوهشی چند جانبه با استفاده از چندین نرم افزار، تحلیل هزینه‌های محیطی و اقتصادی، آسایش PMV و تطبیقی و ارزیابی چرخه حیات را مورد استفاده قرار داده است. سه پوسته کارآمد انرژی با اینرسی‌های مختلف حرارتی (بنایی، چوب-سیمان، چوب) در اقلیم مدیترانه‌ای ایتالیا با تابستان گرم و خشک تحلیل شده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد در پوسته‌های انرژی کارآمد، توده حرارتی تاثیر کمی بر ذخیره انرژی دارد در حالیکه تاثیر آن بر سطوح آسایش و بارهای محیطی قابل توجه است. از این رو راه حل بهینه به مصرف تابستان و زمستان، شرایط آسایش در زمستان و تابستان و فصول میانه، تاثیرات محیطی و کارایی هزینه موارد زیر بستگی داشته و برای هر نمونه خاص و منطقه اقلیمی متفاوت خواهد بود. برخی پژوهش‌ها جهت تعیین ویژگی‌های ایده آل حرارتی دیوارهای ساختمان جهت ذخیره انرژی انجام می‌شوند [۱۵]. ژانگ و همکاران [۱۶]، رفتار ایده آل دیوار ساختمان را به معنی انتقال حرارت حداقل در روز زمستان و تابستان انتقال حرارت حداکثر در شب تابستان یا فصول انتقالی تعریف کرده است. این ویژگی متغیر در ساختمان به امکان تغییر لباس توسط افراد با توجه به فصل تشبیه شده است. در صورتی که ویژگیهای ترموفیزیکی دیوار خارجی با توجه به دمای خارج به صورت خود تنظیم تغییر داده شود، ضریب انتقال حرارت ایده آل دیوار خارجی با حجم خاص حرارتی ثابت تعیین می‌گردد. با اعمال این تغییر در اتاقک تست ایستا در چین، میزان ساعت-درجه عدم آسایش ۶۴/۳٪ در مقایسه با دیوار سنتی کاهش یافته است.

طراحی پوسته با عملکرد حرارتی بالا در ساختمان‌های صفر انرژی یک ضرورت است. دو ویژگی بسیار موثر بر عملکرد حرارتی بخش غیرشفاف پوسته، ضریب انتقال حرارتی و ظرفیت حجمی حرارتی است [۱۷]. برای دیوارهای خارجی هر دو مصالح با ذخیره حرارتی و مصالح عایق حرارتی مناسب هستند؛ اما اهمیت هر مصالح در شرایط مختلف متفاوت است. در صورت استفاده از مصالح با ضریب انتقال حرارتی بالا، ذخیره حرارتی نقش اساسی دارد. اما در مصالح با ضریب انتقال حرارتی پایین، تاثیر عایق حرارتی غالب است [۱۸]. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در همه اقلیم‌ها برای دیوار خارجی ضریب انتقال حرارتی پایین و ظرفیت حرارتی حجمی بالا مناسب است [۱۷]. دیوارهای داخلی اهمیت کمتری در عملکرد انرژی دارند اما بهتر است این دیوارها نیز از مصالح با ذخیره حرارتی و ضریب انتقال حرارتی بالا باشند [۱۸].

شبیه سازی دینامیک برای تعیین استراتژی بهینه عایق حرارتی میان سه نوع دیوار متداول در اقلیم معتدل انجام شده نشان می‌دهد که راه حل بهینه از منظر آسایش و ذخیره انرژی استفاده از ظرفیت (توده حرارتی بالا)، طبقه بندی لایه ها و فضای خالی، افزایش مقاومت (کاربرد عایق حرارتی) است. بر اساس نتایج کاربرد عایق حرارتی با ضخامت زیاد خاصه زمانی که با توده حرارتی بالا باشد، سبب بیش گرمایش ساختمان و عدم آسایش در تابستان می‌شود. این مساله می‌تواند با استفاده از عایق حرارتی ترکیبی مانند کاربرد عایق حرارتی در لایه خارجی با امکان تهویه پوسته برطرف شود [۱۹].

در بسیاری پژوهش ها تاثیر نوع مصالح عایق بر عملکرد حرارتی ساختمان و مصرف انرژی آزمایش شده است. از جمله عملکرد صفحات فیبر چوبی به عنوان عایق حرارتی در سطح داخلی ساختمان [۲۰]. الداوی و همکاران [۲۱]، تاثیر دو نوع مصالح عایق با ضخامت‌های مختلف بر عملکرد حرارتی ساختمان مسکونی در ۹ شهر استرالیا بررسی کرده است. دیوار با طراحی جدید در مقایسه با دیوار آجری و تخته ای ذخیره انرژی بیشتری فراهم می‌کند. استفاده از پلی اورتان در مقایسه با پلی استایرن بیش از ۴۰٪ کاهش مصرف انرژی داشته و با دو برابر کردن ضخامت عایق ۵ تا ۱۰ درصد کمتر میشود. بنابراین انتخاب میان این دو عایق حرارتی باید بر اساس تحلیل اقتصادی و ارزیابی چرخه حیات انجام شود.

در سنجش عملکرد مصالح عایق‌های حرارتی در ساختمانهای مدیترانه‌ای، سه نوع عایق متداول پلی اورتان، پلی استایرن و پشم معدنی با یکدیگر مقایسه شده است. در بهترین حالت با کاربرد پلی اورتان، کاهش مصرف انرژی در تابستان تا ۶۴٪ و زمستان تا ۳۷٪ و تفاوت بین عایق‌ها کمتر از ۲۵٪ است [۲۲]. معمولا مقایسه عایق‌ها بر اساس ضریب انتقال حرارتی آن‌ها و به صورت محاسبات تئوری انجام می‌شود اما در یک ارزیابی از ساختارهای مختلف دیوار خارجی که با استفاده از اطلاعات پنج ساله آب و هوایی انجام شده، مصرف انرژی و تغییرات دما ثبت شده است. در شش ساختمان آزمون در دیوارهای خارجی چهار جهت جغرافیایی با استفاده از ۵۲۰ دیتالاگر، متغیرهای دمای داخل و خارج، اختلاف دما، رطوبت نسبی داخلی و خارجی، انرژی گرمایش، سرعت و جهت باد، میزان نفوذ هوا و تابش خورشیدی بر سطوح افقی از موارد مورد بررسی بوده است. نتایج این بررسی انجام محاسبات غیر ایستا را ضروری دانسته و نشان می‌دهد بسته به شدت تابش خورشیدی و ویژگیهای مصالح دیوار، کاهش دمای سطوح داخلی دیوارهای خارجی در مقایسه با سطوح خارجی کمتر است [۲۳]. با استفاده از نرم افزار ABAQUS قابلیت فایبرگلاس برای دیوارهای متداول و با ضخامت‌های مختلف سنجیده شده است. فایبرگلاس عایق حرارت و صوت بوده و قابل اشتعال است. علاوه بر تعیین ضخامت بهینه عایق به میزان ۱۱۰ میلیمتر، تحلیل هزینه چرخه حیات نیز انجام شده است. با اجرای این عایق و کاهش دما، حرارت آزاد شده در سطح داخلی کمتر از دیوار بدون عایق بوده و عایق تاثیر ۱۳/۷٪ در کاهش حرارت دارد. افزایش ضخامت عایق سبب کاهش بیشتر حرارت انتقالی و کاهش بار سرمایش میشود. بعد از اجرای عایق هزینه انرژی سالانه هر واحد سطح دیوار ۵۰٪ کاسته شده است [۲۴]. تحلیل محاسباتی عایق‌های حرارتی خارجی برای ساختمان‌های با جداره بتن اتوکلاو نشان می‌دهد پشم معدنی آبدوست (هیدروفیلیک) بهترین عایق حرارتی در پوسته این نوع ساختمان‌ها است [۲۵]. تاثیر کاربرد رنگهای انعکاسی IR، سبب ایجاد دماهای بالاتر روی نما می‌شود. دو نوع نمای ساختمان اداری در شهر فرایبورگ آلمان با عایق مناسب و عایق ضعیف، با استفاده از شبیه سازی ESP-r مورد آزمون قرار گرفته‌اند.

کاهش بار گرمایشی بین ۵٪ تا ۱۵٪ و افزایش سرمایشی بین ۱۰٪ تا ۵۰٪ بسته به نوع عایق و رنگ دیوار متغیر است. میزان کاهش بار گرمایشی در ساختمان با عایق ضعیف بیشتر از ساختمان با عایق مناسب است اما افزایش بار سرمایشی برای هر دو دیوار مشابه می باشد. ضمن آنکه احتمال تعریق در هر دو دیوار کمتر شده است [۲۶]. در ایران نیز مطالعات پراکنده‌ای در زمینه تاثیر مصالح بر عملکرد حرارتی ساختمان و میزان مصرف انرژی انجام شده است. محمد [۲۷] در پژوهشی با استفاده از شبیه سازی IES-VE تاثیر مصالح متداول مورد استفاده در ساختمان‌های مسکونی ایران را بررسی کرده است.

مصالح مورد بررسی شامل بلوک‌های سفالی، لیکا، هبلکس و عایق حرارتی است که مناسب‌ترین آن‌ها در تهران دو لایه لیکای ۱۰ سانتی با ۵ سانتی متر عایق میانی تعیین شده است. نتایج این پژوهش علاوه بر اهمیت بررسی جداگانه عایق حرارتی و جرم حرارتی در رفتار حرارتی پوسته ساختمان، لزوم استفاده از محاسبات شرایط ناپایدار را به جای روش مرسوم محاسبات پایدار نشان می‌دهد. بدین معنا که دیوار با کمترین ضریب حرارتی الزاماً دارای بهترین عملکرد از نظر تعدیل شرایط آب و هوایی و تامین آسایش نیست. ذوالفقاری و همکاران [۲۸]، میزان تاثیر مصالح نمای خارجی بر مصرف انرژی سالانه را در اقلیم‌های مختلف ایران با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس بررسی کرده است. نتایج این بررسی نشان داد که برای شهر تهران استفاده از آجرنما با ۹٪ کاهش مصرف بهترین عملکرد را دارد. در بندرعباس نمای آجر نسوز با حدود ۲۳٪ کاهش و در تبریز نمای بتن رنگی با ۱٪/۷ کاهش پیشنهاد می‌شوند.

هدف از این پژوهش بررسی تاثیر مصالح ساختمان بر مصرف انرژی، کربن دی اکسید تولیدی و آسایش حرارتی ساختمان می‌باشد تا بهینه‌ترین مصالح در ساختمان‌های اداری در سه شهر بوشهر با اقلیم گرم و مرطوب، شیراز با اقلیم گرم و خشک و تبریز با اقلیم سرد مشخص گردد.

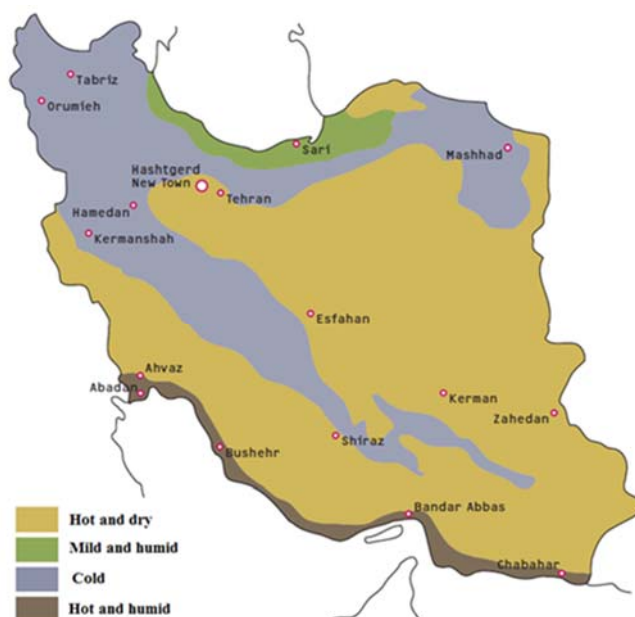
## ۲- اقلیم ایران و شهرهای مورد بررسی

اولین گام برای طراحی معماری متناسب با محیط پیرامون، مطالعه عوامل اقلیمی مکان مورد نظر است. با توجه به تقسیم بندی اقلیمی کوپن، ایران دارای چهار اقلیم گرم و مرطوب، گرم و خشک، سرد و معتدل و مرطوب است که در شکل (۱) نشان داده شده است. در این پژوهش، شهرهای شیراز با اقلیم گرم و خشک، تبریز با اقلیم سرد و بوشهر با اقلیم گرم و مرطوب، برای مطالعه انتخاب شده‌اند (شکل ۱).

باد غالب در بوشهر شمال و شمال غرب است و متوسط سرعت باد در سال  $2/5 \text{ m/s}$  است و متوسط دمای بوشهر در سال  $25^\circ\text{C}$  است. همچنین متوسط تابش خورشیدی افقی پخش شده<sup>۱</sup> در سال برای بوشهر،  $73/3 \text{ kWh/m}^2$  و متوسط تابش خورشید معمولی مستقیم<sup>۲</sup> در سال برای بوشهر،  $95/8 \text{ kWh/m}^2$  است. باد غالب در تبریز غرب است و متوسط سرعت باد در سال  $3 \text{ m/s}$  است و متوسط دمای سالانه نیز،  $11/9^\circ\text{C}$  است که مشخص می‌کند، گرمایش ساختمان امری مهم است؛ همچنین متوسط تابش خورشیدی افقی پخش شده در سال برای تبریز،  $76/2 \text{ kWh/m}^2$  و متوسط تابش خورشید معمولی مستقیم در سال برای بوشهر،  $72/7 \text{ kWh/m}^2$  است.

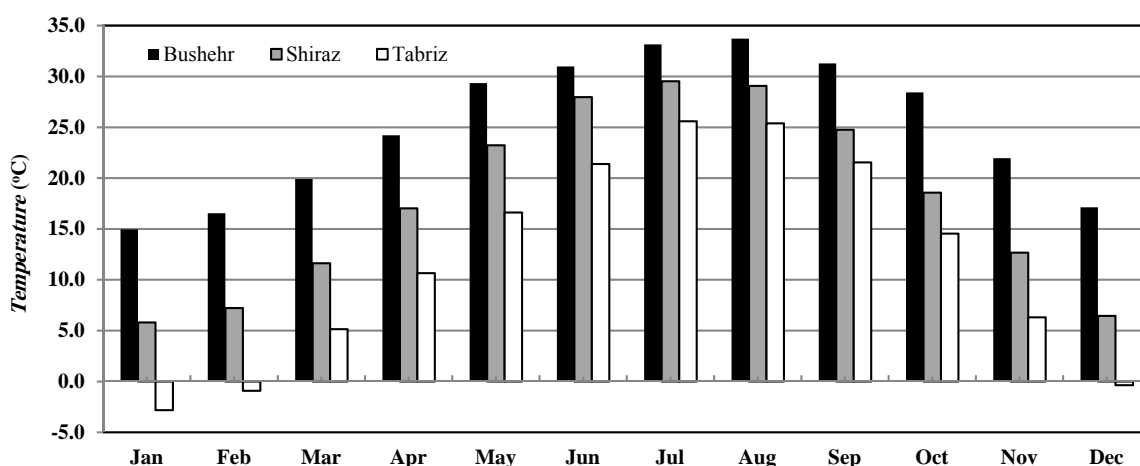
<sup>1</sup> Diffuse horizontal solar radiation

<sup>2</sup> Direct normal solar radiation



شکل ۱- تقسیمات اقلیمی ایران [۲۹]

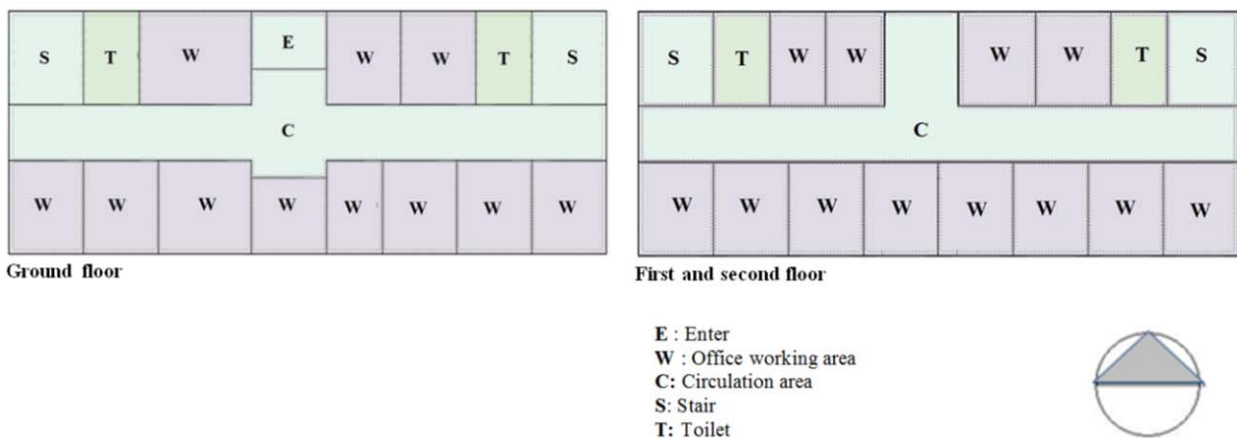
شیراز که در منطقه گرم و خشک قرار گرفته، دارای متوسط دمای سالانه  $17/8^{\circ}\text{C}$  است و باد غالب در این شهر، شمال و شمال غرب است و متوسط سرعت باد سالانه  $2/2\text{m/s}$  است. متوسط تابش خورشیدی افقی پخش شده در سال برای شیراز  $110/2\text{kWh/m}^2$  و متوسط تابش خورشید معمولی مستقیم در سال،  $96/7\text{kWh/m}^2$  است. در شکل (۲)، متوسط دمای ماهانه شهرهای تبریز، بوشهر و شیراز در ماه‌های سال نشان داده شده است. تبریز در اکثر ماه‌های سال، دارای آب و هوایی سرد است و متوسط دمای بوشهر در اکثر ماه‌ها بالا است و بین  $15^{\circ}\text{C}$  تا  $33^{\circ}\text{C}$  قرار دارد و شیراز دارای حداقل دمای  $5/8^{\circ}\text{C}$  در دسامبر و بیشترین دما  $28/1^{\circ}\text{C}$  در جولای است.



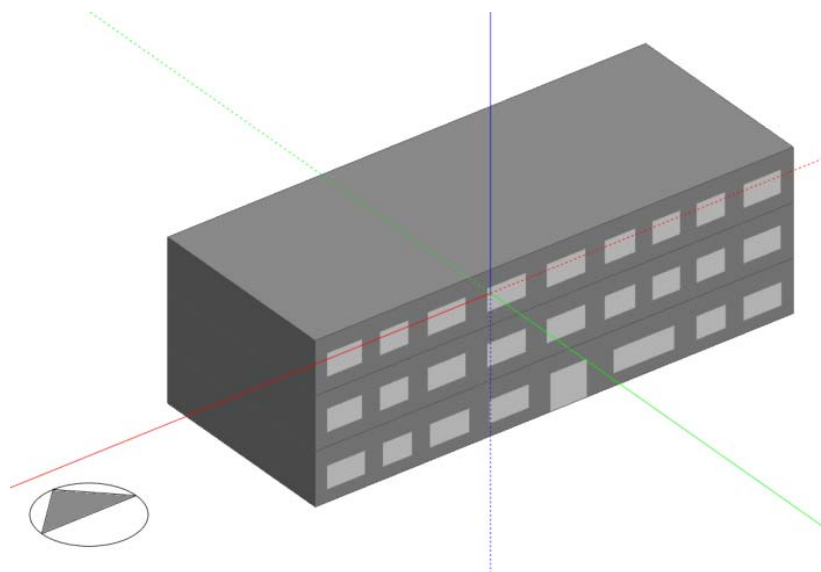
شکل ۲- متوسط دمای ماهانه شهرهای شیراز، تبریز و بوشهر طی سال (متوسط دما از سال ۱۳۸۵-۱۳۹۵ برگرفته شده از سازمان هواشناسی کشور)

### ۳- روش تحقیق

در این پژوهش به منظور بررسی تاثیر مصالح ساختمان اداری بر انرژی مصرفی، کربن تولیدی و آسایش حرارتی ابتدا ساختمانی سه طبقه به عنوان نمونه در نظر گرفته شد که پلان آن در شکل (۳) نشان داده شده است. این ساختمان دارای کشیدگی شرقی - غربی است. ساختمان شبیه سازی شده ساختمانی سه طبقه می باشد که از ساختمان های متداول اداری می باشد. از ساختمان نمونه موردی در مقالات شاعری و همکاران [۳۰] و می و همکاران [۳۱] استفاده گردیده است که در مقالات نام برده ساختمان مورد نظر را نماینده بسیاری از ساختمان های اداری رایج دانسته شده است.



شکل ۳- پلان های طبقات ساختمان برای شبیه سازی



شکل ۴- ساختمان شبیه سازی شده در دیزاین بیلدر



## جدول ۲- مشخصات ساختمان مورد مطالعه

مشخصات	عنوان
ساختمان اداری چند طبقه	نوع کاربری
بوشهر، شیراز، تبریز، ایران	موقعیت
$416m^2$ هر طبقه	مساحت زیربنا
۳	تعداد طبقات
۳/۵ m	ارتفاع هر طبقه
(استاندارد ASHRAE) ۷	ظرفیت اشغال (نفر/ $m^2$ )
۸ AM تا ۴ PM	ساعت کاری اداری
٪۳۰	نسبت پنجره به دیوار بیرونی
شمال - جنوبی	جهت گیری
۴۰۰ لوکس	روشنایی

در این پژوهش جهت شبیه سازی ساختمان از نرم افزار دیزاین بیلدر<sup>۱</sup> استفاده شده است. این نرم افزار دارای موتور تحلیل انرژی پلاس<sup>۲</sup> می باشد. این نرم افزار قادر به شبیه سازی انرژی مصرفی، کربن تولیدی و آسایش حرارتی محیط داخلی می باشد. در شکل (۲) ساختمان شبیه سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر نشان داده شده است. ساختمان اداری مورد مطالعه ساختمانی به ابعاد  $13m$  در  $32m$  در نظر گرفته شد که مساحت زیربنا هر طبقه  $416m^2$  است و مقدار روشنایی طبق استاندارد اشری<sup>۳</sup>  $400$  لوکس<sup>۴</sup> در نظر گرفته شده است. مشخصات ساختمان از لحاظ جهت گیری، میزان ظرفیت اشغال و غیره در جدول (۲) آورده شده است. در موارد شبیه سازی طبق استاندارد اشری نقطه گرمایش  $22^\circ$  درجه سلسیوس و نقطه سرمایش<sup>۶</sup>  $24^\circ$  درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. در ساختمان مورد نظر شیشه ها را شیشه دو جداره در نظر گرفته شد که ضخامت هر شیشه  $3mm$  و ضخامت لایه ی هوای بین آن  $10mm$  می باشد. ضریب انتقال حرارتی شیشه در نظر گرفته شده  $2/976W/m^2K$  می باشد.

## ۳-۱- حالت های شبیه سازی

به منظور بررسی تاثیر مصالح بر مصرف انرژی و تعیین بهینه ترین مصالح در سه شهر بوشهر با اقلیم گرم و مرطوب، شیراز با اقلیم گرم و خشک و تبریز با اقلیم سرد؛ ۱۸ حالت مختلف برای سازه ساختمان در نظر گرفته شد. در جدول های (۳) تا (۲۰) حالت های مختلف نشان داده شده است. در تمامی حالت های #۱ تا #۱۹ تمامی موارد مربوط به نقطه سرمایش و گرمایش، جنس شیشه و درصد پنجره و غیره یکسان در نظر گرفته شد. در حالت های در نظر گرفته شده مصالح دیوار بیرونی، داوارهای داخلی، سقف بین طبقات و بام تغییر کرده است.

<sup>1</sup> DesignBuilder

<sup>2</sup> Energyplus

<sup>3</sup> ASHRAE

<sup>4</sup> Lux

<sup>5</sup> Heating setpoint

<sup>6</sup> Cooling setpoint

جدول ۳- مصالح ساختمان اداری در حالت #۱

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W <sup>۱</sup>	U-value <sup>۲</sup> W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۱
۲/۸۴۷	۰/۳۵۱	۰/۱	Brickwork Outer	دیوار بیرونی
		۰/۰۷۹	XPS Extruded Polystyrene-CO2 Blowing	
		۰/۱	Concrete Block (Medium)	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۰/۶۱۰	۱/۶۳۹	۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۱	Air gap	
		۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	
۳/۹۷۲	۰/۲۵۲	۰/۰۱۹	Asphalt	پشت بام
		۰/۰۱۳	Fibreboard	
		۰/۱۲۲	XPS Extruded Polystyrene – CO2 Blowing	
۰/۳۴۱	۲/۹۲۹	۰/۱	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات

جدول ۴- مصالح ساختمان اداری در حالت #۲

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۲
۲/۸۴۶	۰/۳۵۱	۰/۱	Brickwork Outer	دیوار بیرونی
		۰/۰۷۹	XPS Extruded Polystyrene-CO2 Blowing	
		۰/۱	Concrete Block (Medium)	
		۰/۰۱۵	Gypsum Plastering	
۰/۶۱۰	۱/۶۳۹	۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۱	Air gap	
		۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	
۰/۳۵۰	۲/۸۵۷	۰/۰۱۹	Asphalt	پشت بام
		۰/۰۷۵	Floor/Roof Screed	
۰/۴۸۴	۲/۰۶۵	۰/۳	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات

<sup>۱</sup> مقاومت حرارتی<sup>۲</sup> ضریب انتقال حرارت سطحی

جدول ۵- مصالح ساختمان اداری در حالت #۳

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۳
۲/۸۴۶	۰/۳۵۱	۰/۱	Brickwork Outer	دیوار تیرونی
		۰/۰۷۹	XPS Extruded Polystyrene-CO2 Blowing	
		۰/۱	Concrete Block (Medium)	
		۰/۰۱۵	Gypsum Plastering	
۰/۶۱۰	۱/۶۳۹	۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۱	Air gap	
		۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	
۳/۹۷۲	۰/۲۵۲	۰/۰۱۹	Asphalt	پشت بام
		۰/۰۱۳	Fiberboard	
		۰/۱۲۲	XPS Extruded Polystyrene-CO2 Blowing	
۰/۳۴۱	۲/۹۲۹	۰/۱	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات

جدول ۶- مصالح ساختمان اداری در حالت #۴

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۴
۰/۳۹۳	۲/۵۴۷	۰/۰۰۶	Lightweight Metallic Cladding	دیوار بیرونی
		۰/۰۵	Air gap	
۰/۶۱۰	۱/۶۳۹	۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۱	Air gap	
		۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	
۰/۳۹۹	۲/۵۰۵	۰/۰۱۹	Asphalt	پشت بام
		۰/۱	Air gap	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۰/۳۴۱	۲/۹۲۹	۰/۱	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات

## جدول ۷- مصالح ساختمان اداری در حالت #۵

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۵
۲/۸۸۱	۰/۳۴۷	۰/۰۰۶	Lightweight Metallic Cladding	دیوار بیرونی
		۰/۰۸۹۷	XPS Extruded Polystyrene-CO2 Blowing	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plasterboard	
۰/۶۱۰	۱/۶۳۹	۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۱	Air gap	
		۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	
۲/۸۸۶	۰/۳۴۶	۰/۰۱	Asphalt	پشت بام
		۰/۱	MW Glass Wool (rolls)	
		۰/۲	Air gap	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۰/۳۴۱	۲/۹۲۹	۰/۱	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات

## جدول ۸- مصالح ساختمان اداری در حالت #۶

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۶
۲/۸۲۲	۰/۳۵۴	۰/۰۰۶	Lightweight Metallic Cladding	دیوار بیرونی
		۰/۰۸۷۷	XPS Extruded Polystyrene-CO2 Blowing	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plasterboard	
۰/۶۱۰	۱/۶۳۹	۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۱۵	Air gap	
		۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	
۲/۸۸۶	۰/۳۴۶	۰/۰۱	Asphalt	پشت بام
		۰/۱۳	MW Glass Wool (rolls)	
		۰/۲۵	Air gap	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۰/۳۴۱	۲/۹۲۹	۰/۱	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات

جدول ۹- مصالح ساختمان اداری در حالت #۷

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۷
۳/۸۰۸	۰/۲۶۳	۰/۰۰۶	Lightweight Metallic Cladding	دیوار بیرونی
		۰/۱۲۱۹	XPS Extruded Polystyrene-CO <sub>2</sub> Blowing	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plasterboard	
۰/۵۳۰	۱/۸۸۷	۰/۰۱۵	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۱۵	Air gap	
		۰/۰۱۵	Gypsum Plasterboard	
۴/۱۳۶	۰/۲۴۲	۰/۰۱	Asphalt	پشت بام
		۰/۱۵	MW Glass Wool (rolls)	
		۰/۳	Air gap	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۰/۳۴۱	۲/۹۲۹	۰/۱	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طابقات

جدول ۱۰- مصالح ساختمان اداری در حالت #۸

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۸
۰/۴۸۳	۲/۰۷۱	۰/۱	Brickwork Outer	دیوار بیرونی
		۰/۱	Brickwork, Inner Leaf	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۰/۶۱۰	۱/۶۳۹	۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۱	Air gap	
		۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	
۰/۶۴۹	۱/۵۴۰	۰/۰۱	Asphalt	پشت بام
		۰/۱	Cast Concrete (Lightweight)	
		۰/۲	Air gap	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۰/۳۴۱	۲/۹۲۹	۰/۱	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طابقات

جدول ۱۱- مصالح ساختمان اداری در حالت #۹

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۹
۲/۸۴۷	۰/۳۵۱	۰/۱	Brickwork Outer	دیوار بیرونی
		۰/۰۷۹۲	XPS Extruded Polystyrene-CO2 Blowing	
		۰/۱	Concrete Block (Medium)	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۰/۶۱۰	۱/۶۳۹	۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۱	Air gap	
		۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	
۲/۸۸۶	۰/۳۴۶	۰/۰۱	Asphalt	پشت بام
		۰/۱	MW Glass (rolls)	
		۰/۲	Air gap	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۰/۳۴۱	۲/۹۲۹	۰/۱	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات

جدول ۱۲- مصالح ساختمان اداری در حالت #۱۰

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۱۰
۳/۹۷۹	۰/۲۵۱	۰/۱۰۵	Brickwork Outer	دیوار بیرونی
		۰/۱۱۷۵	XPS Extruded Polystyrene-CO2 Blowing	
		۰/۱	Concrete Block (Medium)	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۱/۱۷۲	۰/۸۵۳	۰/۰۱۳	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۰۲۵	MW Stone Wool (standard board)	
		۰/۰۷۵	Air gap	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plasterboard	
۲/۰۵۹	۰/۴۸۶	۰/۰۱۹	Asphalt	پشت بام
		۰/۰۱۳	Fiberboard	
		۰/۰۴۸	XPS Extruded Polystyrene- CO2 Blowing	
		۰/۱	Cast Concrete (Lightweight)	
۰/۳۴۱	۲/۹۲۹	۰/۱	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات

جدول ۱۳- مصالح ساختمان اداری در حالت #۱۱

$R_c$ -value ( $m^2K$ )/ $W^1$	U-value $W/(m^2K)^2$	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۱۱
۳/۹۷۹	۰/۲۵۱	۰/۱۰۵	Brickwork Outer	دیوار بیرونی
		۰/۱۱۷۵	XPS Extruded Polystyrene-CO2 Blowing	
		۰/۱	Concrete Block (Medium)	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۰/۶۱۰	۱/۶۳۹	۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	دیوار داخلی
		۰/۱	Air gap	
		۰/۰۲۵	Gypsum Plasterboard	
۲/۸۸۶	۰/۳۴۶	۰/۰۱	Asphalt	پشت بام
		۰/۱	MW Glass Wool (rolls)	
		۰/۲	Air gap	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۱/۲۴۱	۰/۸۰۶	۰/۰۳	XPS Extruded Polystyrene-CO2 Blowing	سقف داخلی طبقات
		۰/۱	Cast Concrete (Dense)	

جدول ۱۴- مصالح ساختمان اداری در حالت #۱۲

$R_c$ -value ( $m^2K$ )/ $W^1$	U-value $W/(m^2K)^2$	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۱۲
۰/۶۶۸	۱/۴۹۸	۰/۱	Brickwork Outer	دیوار بیرونی
		۰/۰۵	Air gap	
		۰/۱	Concrete Block (Medium)	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۰/۵۱۰	۱/۹۵۹	۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	دیوار داخلی
		۰/۱۱۵۰	Brickwork, Inner Leaf	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۰/۴۶۹	۲/۱۳	۰/۰۱	Asphalt	پشت بام
		۰/۱	Cast Concrete (Lightweight)	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۰/۴۸۴	۲/۰۶۵	۰/۳	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات

۱ مقاومت حرارتی

۲ ضریب انتقال حرارت سطحی

۳ مقاومت حرارتی

۴ ضریب انتقال حرارت سطحی

جدول ۱۵- مصالح ساختمان اداری در حالت #۱۳

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۱۳
۲/۲۲۲	۰/۴۵۰	۰/۲۰۳۲	Concrete at R-0.0625/in	دیوار بیرونی
		۰/۰۶۴۷	Board insulation (Glass fiber board)	
		۰/۰۱۲۷	Gypsum board	
۰/۵۱۰	۱/۹۵۹	۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	دیوار داخلی
		۰/۱۱۵۰	Brickwork, Inner Leaf	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۲/۸۸۶	۰/۳۴۶	۰/۰۱	Asphalt	پشت بام
		۰/۱	MW Glass Wool (rolls)	
		۰/۲	Air gap	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۰/۴۸۴	۲/۰۶۵	۰/۳	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات

جدول ۱۶- مصالح ساختمان اداری در حالت #۱۴

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۱۴
۱/۶۷۸	۰/۵۹۶	۰/۱۰۵۰	Brickwork Outer	دیوار بیرونی
		۰/۰۲۵	Air gap	
		۰/۰۲۵	Phenolic Foam	
		۰/۱	Concrete Block (Lightweight)	
		۰/۰۱۳	Plaster (Lightweight)	
۰/۸۵۱	۱/۱۷۵	۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	دیوار داخلی
		۰/۱	Concrete Block	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۰/۶۴۹	۱/۵۴۰	۰/۰۱	Asphalt	پشت بام
		۰/۱	Cast Concrete (Lightweight)	
		۰/۲	Air gap	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۰/۴۸۴	۲/۰۶۵	۰/۳	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی طبقات



جدول ۱۷- مصالح ساختمان اداری در حالت #۱۵

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۱۵
۳/۳۲۱	۰/۳۰۱	۰/۱۰۵	Brickwork Outer	دیوار بیرونی
		۰/۱۱۷۵	Spray-on R-24 Insulation Polyurethane foam	
		۰/۱	Concrete Block (Medium)	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۰/۵۱۰	۱/۹۵۹	۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	دیوار داخلی
		۰/۱۱۵۰	Brickwork, Inner Leaf	
		۰/۰۱۳	Gypsum Plastering	
۰/۷۸۶	۱/۲۷۲	۰/۰۱	Asphalt	پشت بام
		۰/۱	Foam Slag	
		۰/۲	Air gap	
		۰/۰۱۳	Plasterboard	
۰/۴۸۴	۲/۰۶۵	۰/۳	Cast Concrete (Dense)	سقف داخلی

جدول ۱۸- مصالح ساختمان اداری در حالت #۱۶

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۱۶
۳/۵۸۵	۰/۲۵۹	۰/۰۰۳	NCM Rainscreen/Cladding	دیوار بیرونی
		۰/۰۵	NCM Cavity ventilated	
		۰/۱۲	NCM Insulation (bridged) lambda 0.025	
		۰/۰۱۲	NCM Cement Bonded particle board	
		۰/۰۵	NCM Cavity unventilated	
		۰/۰۱۲۵	NCM Plasterboard	
۰/۵۵۹	۱/۷۸۹	۰/۰۱۲۵	NCM Plasterboard (wallboard)	دیوار داخلی
		۰/۰۵	NCM Cavity unventilated	
		۰/۰۱۲۵	NCM Plasterboard (wallboard)	
۵/۶۶۲	۰/۱۷۷	۰/۲۴	NCM Insulation (bridged) lambda 0.030	پشت بام
		۰/۰۰۱	NCM membrane	
		۰/۱	NCM Concrete deck	
		۰/۰۵	NCM Air layer unventilated-roof	
		۰/۰۱۲۵	NCM Plasterboard	
۱/۵۱۰	۰/۶۶۲	۰/۰۱۲۵	NCM Plasterboard	سقف داخلی
		۰/۰۵	NCM Air layer unventilated-floor	
		۰/۱	NCM Reinforced Concrete	
		۰/۰۵	NCM Screed	
		۰/۰۵	NCM Air layer unventilated-floor	
		۰/۰۲	NCM Chipboard	

جدول ۱۹- مصالح ساختمان اداری در حالت #۱۷

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۱۷
۳/۸۴۶	۰/۲۶۰	۰/۰۰۰۷	NCM Rainscreen/Cladding	دیوار بیرونی
		۰/۱۵	NCM Insulation for metal cladding lambda	
		۰/۰۰۰۴	NCM Rainscreen/Cladding	
۰/۵۵۹	۱/۷۸۹	۰/۰۱۲۵	NCM Plasterboard (wallboard)	دیوار داخلی
		۰/۰۵	NCM Cavity unventilated	
		۰/۰۱۲۵	NCM Plasterboard (wallboard)	
۵/۵۸۰	۰/۱۷۹	۰/۰۰۰۷	NCM Rainscreen/Cladding	پشت بام
		۰/۲۳۵۰	NCM Insulation for metal cladding lambda 0.0432	
		۰/۰۰۰۴	NCM Rainscreen/Cladding	
۱/۵۱۰	۰/۶۶۲	۰/۰۱۲۵	NCM Plasterboard	سقف داخلی طبقات
		۰/۰۵	NCM Air layer unventilated-floor	
		۰/۱	NCM Reinforced Concrete	
		۰/۰۵	NCM Screed	
		۰/۰۵	NCM Air layer unventilated-floor	
۰/۰۲	NCM Chipboard			

جدول ۲۰- مصالح ساختمان اداری در حالت #۱۸

R <sub>c</sub> -value (m <sup>2</sup> K)/W	U-value W/(m <sup>2</sup> K)	ضخامت لایه (cm)	لایه تشکیل دهنده	#۱۸
۲/۸۵۷	۰/۳۵۰	۰/۱۰۴۸	EPS Expanded Polystyrene	دیوار بیرونی
		۰/۰۱۴۰	NCM Plasterboard (wallboard)	
۰/۴۹۹	۲/۰۰۲	۰/۰۱۲۵	NCM Plasterboard (wallboard)	دیوار داخلی
		۰/۰۰۳۱	Min wool quit 50mm	
		۰/۰۱۲۵	NCM Plasterboard (wallboard)	
۴/۰۰۱	۰/۲۵۰	۰/۱۵۱۴	Min wool quit 100mm	پشت بام
		۰/۰۱۶۰	NCM Plasterboard (wallboard)	
۰/۸۱۲	۱/۲۳۲	۰/۰۱۱۵	Plywood 30mm	سقف داخلی طبقات
		۰/۱	Air gap	
		۰/۰۰۸۲	Min wool quit 50mm	
		۰/۰۱۱۵	Plywood 30mm	

## ۴- یافته‌ها و تحلیل

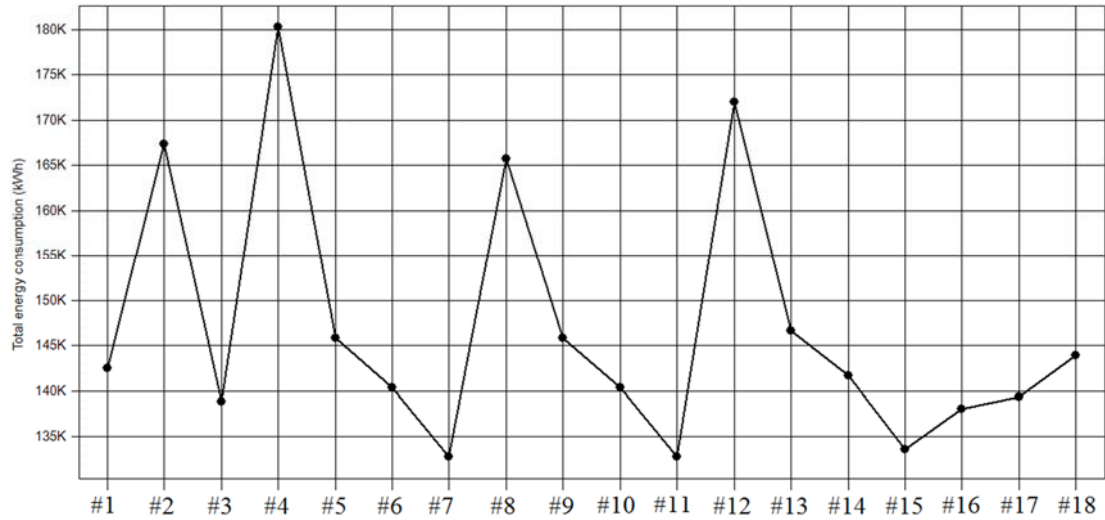
بعد از شبیه سازی حالت‌های مختلف میزان انرژی مصرفی سالانه، دی اکسید کربن تولیدی سالانه و تعداد ساعات عدم آسایش برای هر حالت به دست آمد.

### ۴-۱- انرژی مصرفی سالانه

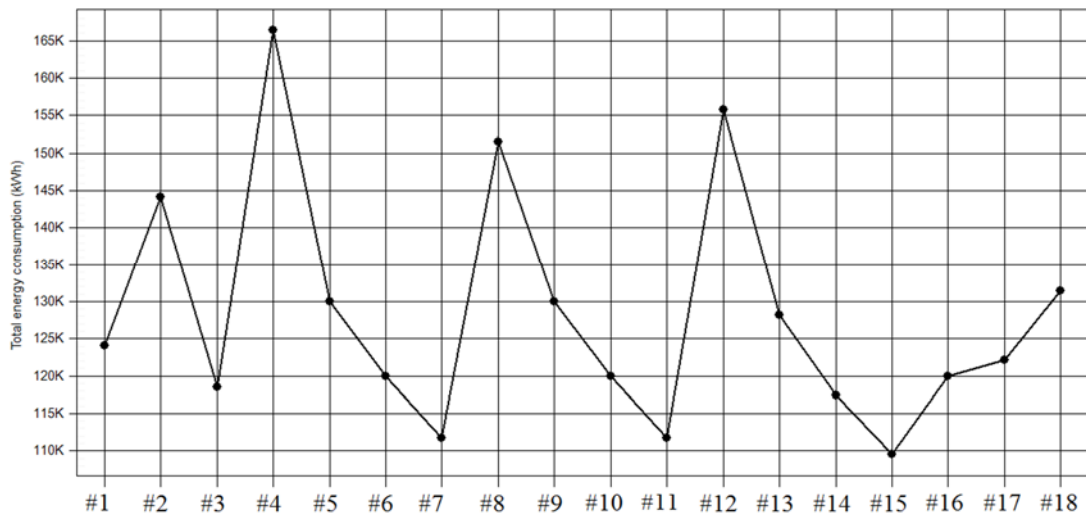
در شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) انرژی مصرفی سالانه ساختمان برای حالت‌های مختلف مصالح برای شهرهای بوشهر، شیراز و تبریز نشان داده شده است. طبق شکل (۵) در بوشهر حالت‌های #۷، #۱۱ و #۱۵ با مصرف  $113/2 \text{ kWh/m}^2$  کم‌ترین میزان انرژی مصرفی را دارند که به علت وجود عایق‌های مناسبی مانند XPS و Phenolic Foam در ساختمان سازی می‌باشد. همچنین طبق شکل (۵) حالت‌های #۴، #۱۲، #۲ و #۸ به ترتیب با مصرف انرژی سالانه  $153/2 \text{ kWh/m}^2$ ،  $147/3 \text{ kWh/m}^2$ ،  $143 \text{ kWh/m}^2$  و  $140/4 \text{ kWh/m}^2$  بیشترین مصرف انرژی را دارا هستند. طبق شکل (۵) حالت‌های #۵، #۹، #۱۳ و #۱۸ به طور متوسط با مصرف  $124/3 \text{ kWh/m}^2$  و حالت‌های #۳، #۶، #۱۰ و #۱۴ با مصرف متوسط  $119 \text{ kWh/m}^2$  عملکرد تقریباً یکسان دارند.

در شیراز نیز حالت‌های #۷، #۱۱ با مصرف سالانه انرژی  $102/2 \text{ kWh/m}^2$  و حالت #۱۵ با مصرف  $93/2 \text{ kWh/m}^2$  کم‌ترین میزان انرژی مصرفی سالانه دارد (شکل ۴). همچنین طبق شکل (۴) حالت‌های #۴، #۱۲، #۸ و #۲ به ترتیب با مصرف انرژی سالانه  $142/2 \text{ kWh/m}^2$ ،  $132/8 \text{ kWh/m}^2$ ،  $129/4 \text{ kWh/m}^2$  و  $123/4 \text{ kWh/m}^2$  بیشترین مصرف انرژی را دارا هستند. در شیراز حالت‌های #۵، #۹، #۱۳ و #۱۸ به طور متوسط با مصرف  $110/6 \text{ kWh/m}^2$  و حالت‌های #۳، #۶، #۱۰ و #۱۴ با مصرف متوسط  $102 \text{ kWh/m}^2$  عملکرد یکسان و مشابه داشته‌اند (شکل ۶).

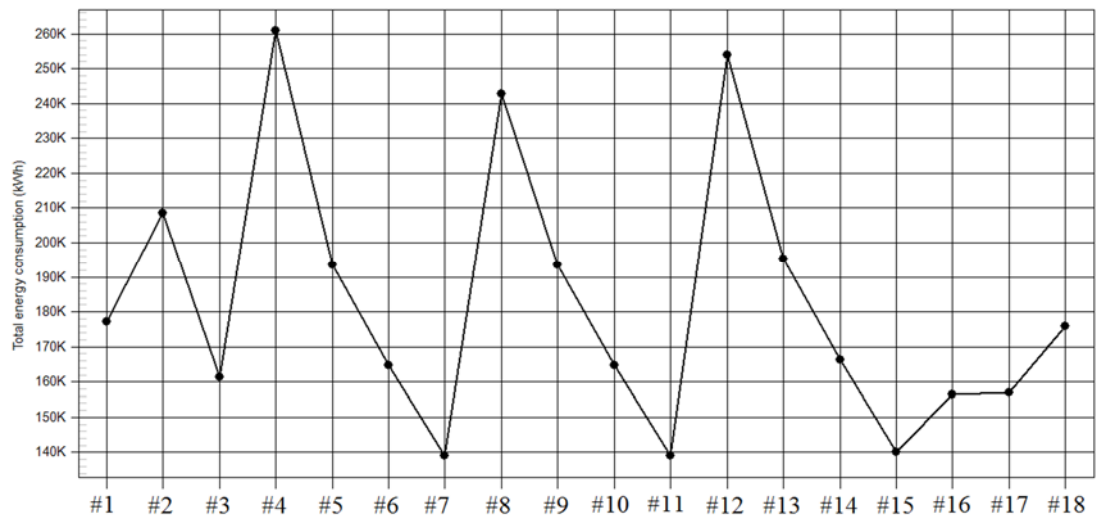
طبق شکل (۷) حالت‌های #۷، #۱۱ و #۱۵ با مصرف  $119/2 \text{ kWh/m}^2$  در تبریز کم‌ترین میزان انرژی مصرفی را دارند. طبق شکل (۷) حالت‌های #۴، #۱۲، #۸ و #۲ به ترتیب با مصرف انرژی سالانه  $217 \text{ kWh/m}^2$ ،  $221/3 \text{ kWh/m}^2$ ،  $207/7 \text{ kWh/m}^2$  و  $178/7 \text{ kWh/m}^2$  بیشترین مصرف انرژی را دارا هستند. در تبریز حالت‌های #۵، #۹ و #۱۳ به طور متوسط با مصرف  $165/1 \text{ kWh/m}^2$  عملکرد تقریباً مشابه و یکسان داشته است. همچنین حالت‌های #۳، #۶، #۱۰ و #۱۴ با مصرف متوسط  $140/1 \text{ kWh/m}^2$  عملکرد یکسان و مشابه داشته‌اند (شکل ۷).



شکل ۵- میزان انرژی مصرفی ساختمان با مصالح مختلف برای بوشهر



شکل ۶- میزان انرژی مصرفی ساختمان با مصالح مختلف برای شیراز

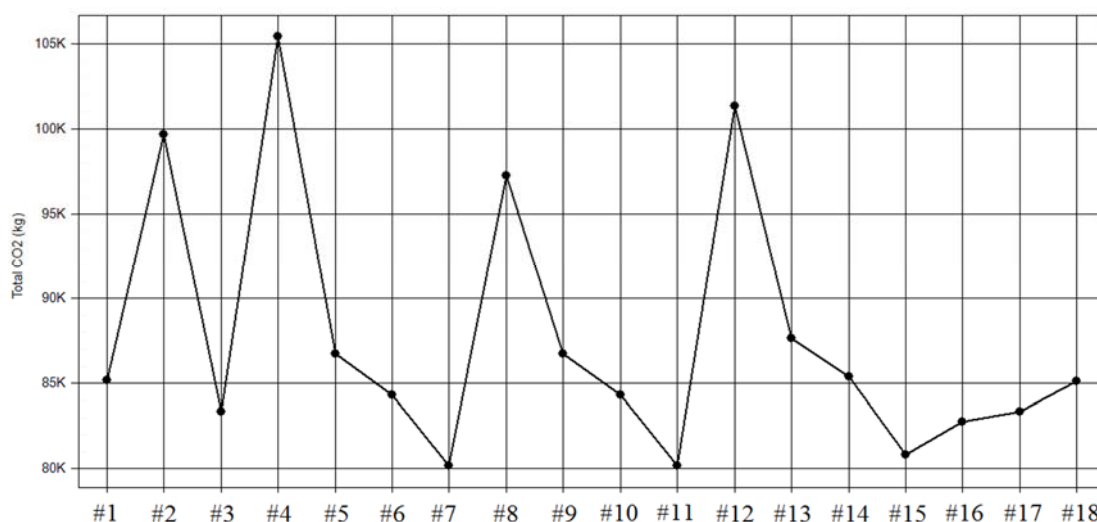


شکل ۷- میزان انرژی مصرفی ساختمان با مصالح مختلف برای تبریز

#### ۴-۲-کربن دی اکسید

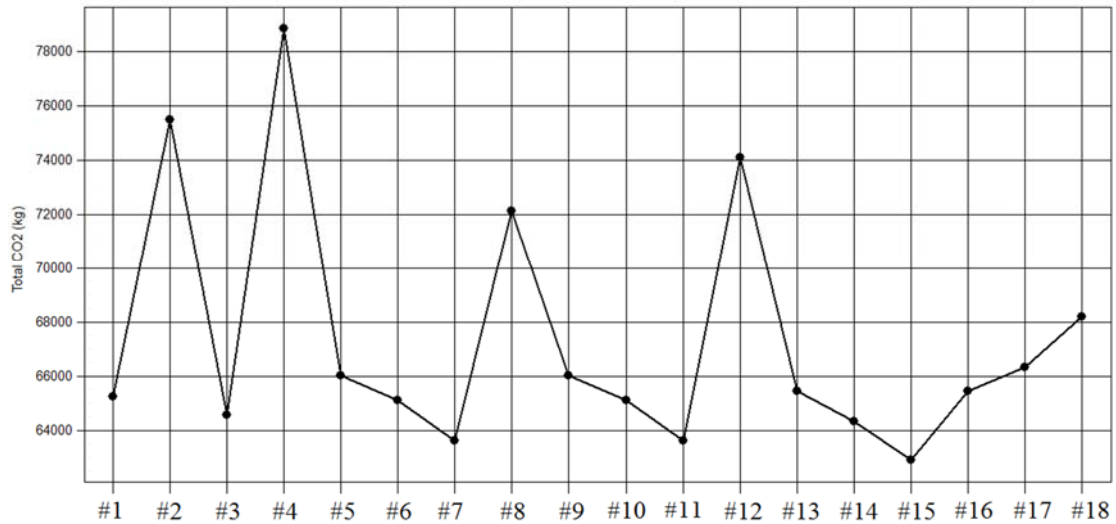
مقدار کربن دی اکسید شامل میزان کربن تولیدی توسط دستگاه سرمایش و گرمایش با کربن نهفته مصالح<sup>۱</sup> می‌باشد. کربن نهفته مصالح شامل میزان کربن تولید شده در چرخه تولید، حمل و نقل و کاربرد مصالح در ساختمان می‌باشد [۳۲]. در شکل‌های (۸)، (۹) و (۱۰) میزان کربن دی اکسید تولیدی سالانه ساختمان برای مصالح مختلف در شهرهای بوشهر، شیراز و تبریز نشان داده شده است. طبق شکل (۸) حالت‌های #۷، #۱۱ و #۱۵ در بوشهر با اقلیم گرم و مرطوب کم‌ترین میزان کربن تولیدی در بین حالت‌های دیگر دارند. میزان کربن تولیدی ساختمان برای حالت‌های #۷ و #۱۱ به میزان  $68/1 \text{ kg/m}^2$  و برای حالت #۱۵ به مقدار  $69/8 \text{ kg/m}^2$  می‌باشد که به علت انرژی مصرفی تولیدی کم در مقایسه با بقیه حالت‌ها می‌باشد (شکل ۵). طبق شکل (۸) حالت‌های #۴، #۱۲، #۲ و #۸ به ترتیب با مصرف انرژی سالانه  $90/2 \text{ kg/m}^2$ ،  $86/8 \text{ kg/m}^2$ ،  $85/1 \text{ kg/m}^2$  و  $82/5 \text{ kg/m}^2$  بیشترین کربن تولیدی را دارا هستند که به علت مصرف بالای انرژی مصرفی سالانه می‌باشد (شکل ۵).

طبق شکل (۹) در شیراز حالت #۱۵ با تولید  $53/6 \text{ kg/m}^2$  و حالت‌های #۷، #۱۱ با تولید  $54/3 \text{ kg/m}^2$  کم‌ترین میزان کربن تولیدی در میان حالت‌های مورد مطالعه داشته‌اند. همچنین حالت‌های #۴، #۲، #۱۲ و #۸ به ترتیب با تولید کربن سالانه  $67/2 \text{ kg/m}^2$ ،  $64/2 \text{ kg/m}^2$ ،  $63 \text{ kg/m}^2$  و  $61/3 \text{ kg/m}^2$  بیشترین کربن تولیدی در بین حالت‌های مورد مطالعه دارا هستند. در تبریز حالت‌های #۷، #۱۱ و #۱۵ با تولید  $47/6 \text{ kg/m}^2$  کم‌ترین میزان کربن تولیدی و حالت‌های #۴، #۱۲، #۸ و #۲ به ترتیب با تولید کربن سالانه  $68/1 \text{ kg/m}^2$ ،  $65/5 \text{ kg/m}^2$ ،  $63/8 \text{ kg/m}^2$  و  $60/4 \text{ kg/m}^2$  بیشترین کربن تولیدی در بین حالت‌های مورد مطالعه دارا هستند (شکل ۱۰).

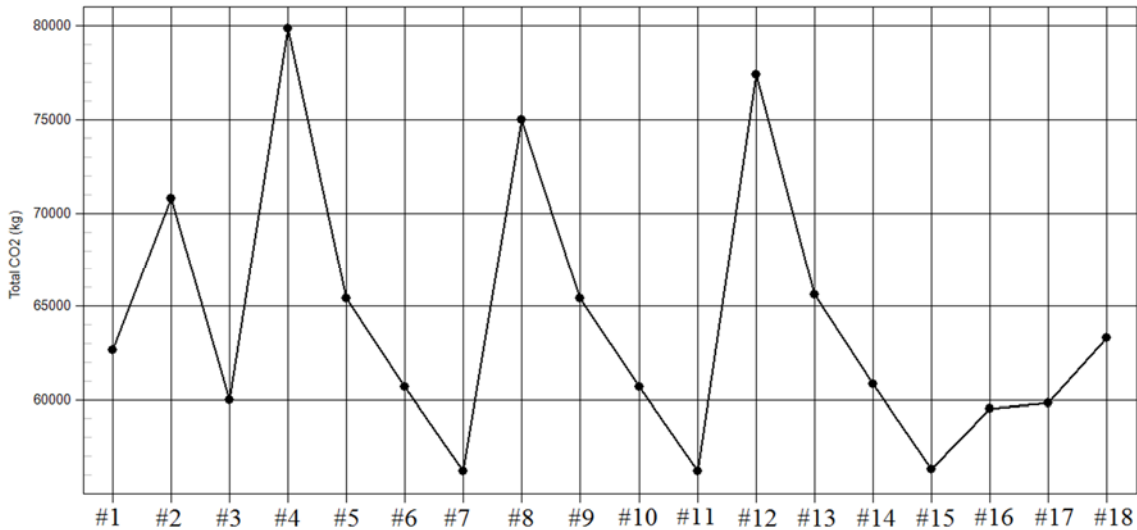


شکل ۸- میزان کربن دی اکسید تولیدی ساختمان با مصالح مختلف برای بوشهر

<sup>1</sup> Embodied Carbon



شکل ۹- میزان کربن دی اکسید تولیدی ساختمان با مصالح مختلف برای شیراز



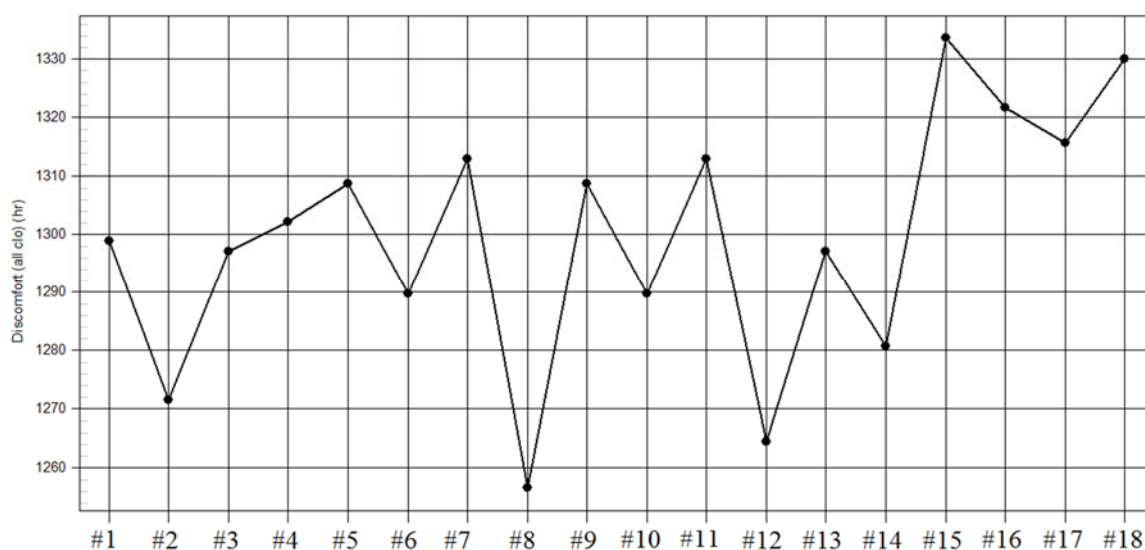
شکل ۱۰- میزان کربن دی اکسید تولیدی ساختمان با مصالح مختلف برای تبریز

#### ۴-۳- آسایش حرارتی

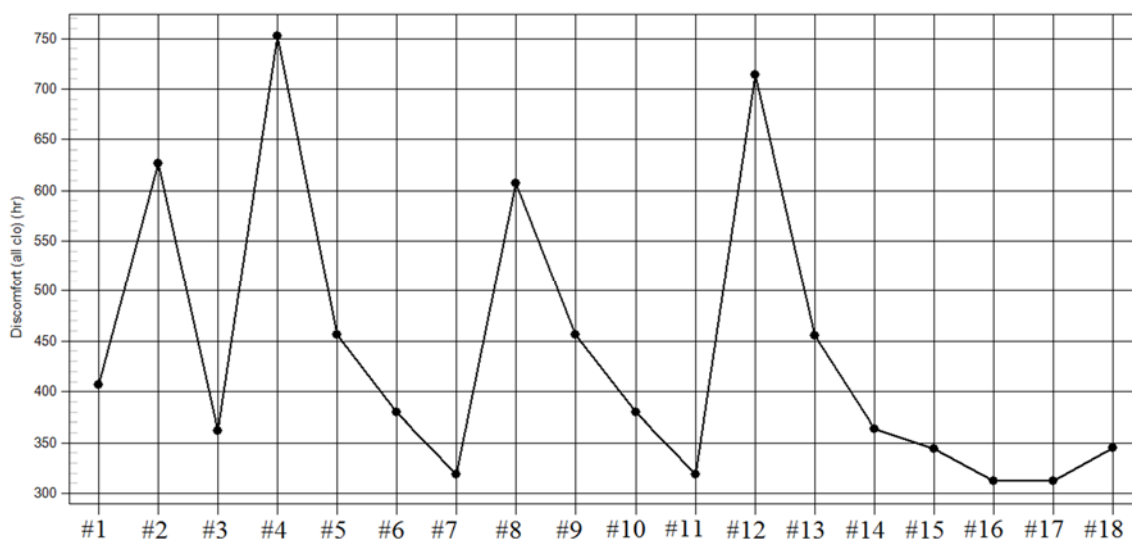
در شکل‌های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) میزان تعداد ساعات عدم آسایش سالانه ساختمان اداری برای حالات مختلف مصالح برای شهرهای بوشهر، شیراز و تبریز آورده شده است. طبق شکل (۱۱) حالت #۸ با تعداد ۱۲۵۵ ساعت کم‌ترین تعداد عدم آسایش را در سال دارد. همچنین حالت‌های #۱۲، #۲ و #۱۴ به ترتیب با تعداد ساعات ۱۲۶۵، ۱۲۷۲ و ۱۲۸۰ بعد از حالت #۸ کم‌ترین میزان ساعات عدم آسایش دارند. طبق شکل (۹) حالت‌های #۱۵، #۱۶، #۱۷ و #۱۸ به ترتیب با تعداد ساعات ۱۳۳۵، ۱۳۲۲، ۱۳۱۵ و ۱۳۳۰ بیشترین تعداد ساعات عدم آسایش در بوشهر دارا هستند.

طبق شکل (۱۲) در شیراز حالت‌های #۱۶ و #۱۷ با ۳۲۰ ساعت عدم آسایش و حالت‌های #۷ و #۱۱ با ۳۳۰ ساعت عدم آسایش کم‌ترین مقدار ساعات عدم آسایش در بین حالت‌های مورد مطالعه دارا هستند.

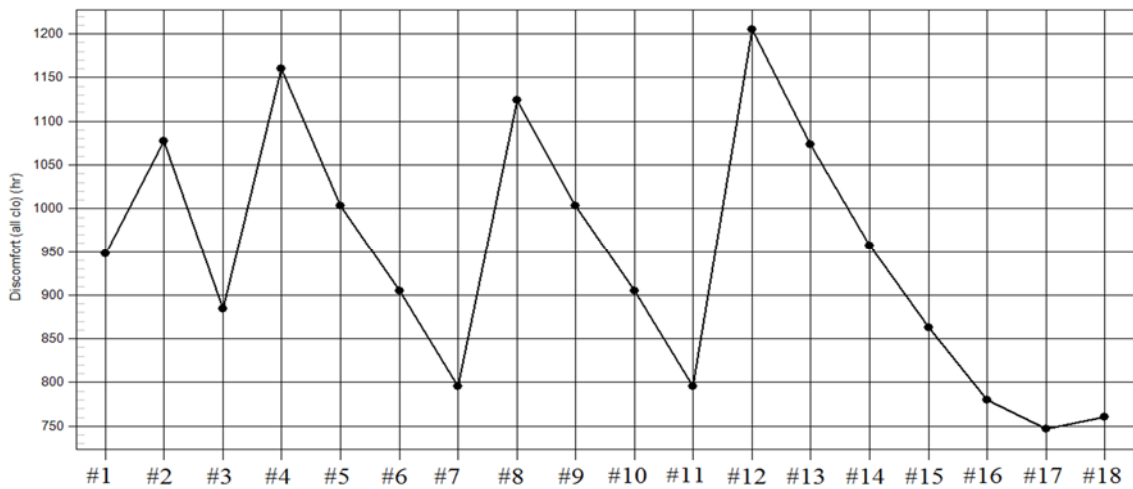
همچنین حالت‌های #۱۵ و #۱۸ با ۳۵۰ ساعت عدم آسایش عملکرد مناسبی داشته‌اند. در شیراز حالت‌های #۴، #۱۲، #۲ و #۸ به ترتیب با تعداد ساعات ۷۵۰، ۷۲۰، ۶۳۰ و ۶۱۰ بیشترین تعداد ساعات عدم آسایش دارند (شکل ۱۲). در تبریز حالت‌های #۱۶، #۱۷ و #۱۸ به ترتیب با تعداد ساعات ۷۸۰، ۷۵۰ و ۷۲۰ کم‌ترین تعداد ساعات عدم آسایش در بین حالت‌های مورد مطالعه دارا هستند (شکل ۱۳). طبق شکل (۱۳) حالات #۷ و #۱۱ با ۷۹۵ ساعت عدم آسایش عملکرد مناسبی از لحاظ آسایش حرارتی دارند. در تبریز حالت‌های #۱۲، #۴، #۸ و #۲ به ترتیب با تعداد ساعات ۱۲۰۰، ۱۱۶۰، ۱۱۳۰ و ۱۰۸۰ بیشترین تعداد ساعات عدم آسایش در بین حالات مورد مطالعه دارند (شکل ۱۳).



شکل ۱۱- میزان تعداد ساعات عدم آسایش ساختمان با مصالح مختلف برای بوشهر



شکل ۱۲- میزان تعداد ساعات عدم آسایش ساختمان با مصالح مختلف برای شیراز



شکل ۱۳- میزان تعداد ساعت عدم آسایش ساختمان با مصالح مختلف برای تبریز

## ۵- نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی تاثیر مصالح مختلف بر مصرف انرژی، کربن دی اکسید تولیدی و آسایش حرارتی در ساختمان اداری پرداخته شد تا بهینه‌ترین مصالح انتخاب گردد. شبیه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر<sup>۱</sup> انجام شد و ۱۸ حالت مختلف مصالح برای سقف، کف، دیوارهای بیرونی و داخلی در شهرهای بوشهر با اقلیم گرم و مرطوب، شیراز با اقلیم گرم و خشک و تبریز با اقلیم سرد مقایسه شد. خلاصه نتایج به شرح زیر است:

۱. در بوشهر حالت‌های #۷، #۱۱ و #۱۵ با مصرف  $113/2 \text{ kWh/m}^2$  کم‌ترین میزان انرژی مصرفی را دارند و حالت‌های #۴، #۱۲، #۲ و #۸ به ترتیب با مصرف انرژی سالانه  $153/2 \text{ kWh/m}^2$ ،  $147/3 \text{ kWh/m}^2$ ،  $143 \text{ kWh/m}^2$  و  $140/4 \text{ kWh/m}^2$  بیشترین مصرف انرژی را دارا هستند. در شیراز نیز حالت‌های #۷، #۱۱ با مصرف سالانه انرژی  $102/2 \text{ kWh/m}^2$  و حالت #۱۵ با مصرف  $93/2 \text{ kWh/m}^2$  کم‌ترین میزان انرژی مصرفی سالانه دارد و حالت‌های #۴، #۱۲، #۸ و #۲ به ترتیب با مصرف انرژی سالانه  $142/2 \text{ kWh/m}^2$ ،  $132/8 \text{ kWh/m}^2$ ،  $129/4 \text{ kWh/m}^2$  و  $123/4 \text{ kWh/m}^2$  بیشترین مصرف انرژی را دارا هستند. همچنین حالت‌های #۷، #۱۱ و #۱۵ با مصرف  $119/2 \text{ kWh/m}^2$  در تبریز کم‌ترین میزان انرژی مصرفی را دارند و حالت‌های #۴، #۱۲، #۸ و #۲ به ترتیب با مصرف انرژی سالانه  $221/3 \text{ kWh/m}^2$ ،  $217 \text{ kWh/m}^2$ ،  $207/7 \text{ kWh/m}^2$  و  $178/7 \text{ kWh/m}^2$  بیشترین مصرف انرژی دارا هستند.

۲. در بوشهر حالت‌های #۷ و #۱۱ به میزان  $68/1 \text{ kg/m}^2$  و حالت #۱۵ به مقدار  $69/8 \text{ kg/m}^2$  کم‌ترین میزان کربن تولیدی در بین حالت‌های دیگر دارند. و حالت‌های #۴، #۱۲، #۲ و #۸ به ترتیب با مصرف انرژی سالانه  $90/2 \text{ kg/m}^2$ ،  $86/8 \text{ kg/m}^2$ ،  $85/1 \text{ kg/m}^2$  و  $82/5 \text{ kg/m}^2$  بیشترین کربن تولیدی را دارا هستند. در شیراز حالت #۱۵ با تولید  $53/6 \text{ kg/m}^2$  و حالت‌های #۷، #۱۱ با تولید  $54/3 \text{ kg/m}^2$  کم‌ترین میزان کربن تولیدی در میان حالت‌ها را داشته و حالت‌های #۴، #۲، #۱۲ و #۸ به ترتیب با تولید کربن سالانه  $67/2 \text{ kg/m}^2$ ،  $64/2 \text{ kg/m}^2$ ،  $63 \text{ kg/m}^2$  و  $61/3 \text{ kg/m}^2$  بیشترین کربن تولیدی

<sup>1</sup> DesignBuilder



داشته‌اند. همچنین در تبریز حالت‌های #۷، #۱۱ و #۱۵ با تولید  $47/6 \text{ kg/m}^2$  کم‌ترین میزان کربن تولیدی و حالت‌های #۴، #۱۲، #۸ و #۲ به ترتیب با تولید کربن سالانه  $68/1 \text{ kg/m}^2$ ،  $65/5 \text{ kg/m}^2$  و  $63/8 \text{ kg/m}^2$  و  $60/4 \text{ kg/m}^2$  بیشترین کربن تولیدی در بین حالت‌های مورد مطالعه دارا هستند.

۳. در بوشهر حالت #۸ با تعداد ۱۲۵۵ ساعت و حالت‌های #۱۲، #۲ و #۱۴ به ترتیب با تعداد ساعات ۱۲۶۵، ۱۲۷۲ و ۱۲۸۰ بعد از حالت #۸ کم‌ترین میزان ساعت عدم آسایش دارند. همچنین حالت‌های #۱۵، #۱۶، #۱۷ و #۱۸ به ترتیب با تعداد ساعات ۱۳۳۵، ۱۳۲۲، ۱۳۱۵ و ۱۳۳۰ بیشترین تعداد ساعات عدم آسایش در بوشهر دارا هستند. در شیراز حالت‌های #۱۶ و #۱۷ با ۳۲۰ ساعت عدم آسایش و حالت‌های #۷ و #۱۱ با ۳۳۰ ساعت عدم آسایش کم‌ترین مقدار ساعت عدم آسایش در بین حالت‌های مورد مطالعه دارا هستند و حالت‌های #۴، #۱۲، #۲ و #۸ به ترتیب با تعداد ساعات ۷۵۰، ۷۲۰، ۶۳۰ و ۶۱۰ بیشترین تعداد ساعات عدم آسایش دارند. در تبریز حالت‌های #۱۶، #۱۷ و #۱۸ به ترتیب با تعداد ساعات ۷۸۰، ۷۵۰ و ۷۲۰ کم‌ترین تعداد ساعات عدم آسایش و حالت‌های #۱۲، #۴ و #۸ و #۲ به ترتیب با تعداد ساعات ۱۲۰۰، ۱۱۶۰، ۱۱۳۰ و ۱۰۸۰ بیشترین تعداد ساعات عدم آسایش در بین حالات مورد مطالعه دارند.

## مراجع

- [1] "LEED U.S. Green Building Council", [Online]. Available: <http://www.usgbc.org/leed>. (2016).
- [2] Yüksek, İ., "The Evaluation of Building Materials in Terms of Energy Efficiency", *Period. Polytech. Civ. Eng.*, Vol. 59, No. 1, pp. 45–58, (2015).
- [3] EN, B. S., "15804: 2012: Sustainability of Construction Works. Environmental Product Declarations. Core Rules for the Product Category of Construction Products", Brussels CEN, (2012).
- [4] EN, B. S., "15978: 2011," *Sustain. Constr. Work. Environ. Perform. Build. Method*, (2011).
- [5] Cansino, J. M., Pablo-Romero, M. del P., Román, R., and Yñiguez, R., "Promoting Renewable Energy Sources for Heating and Cooling in EU-27 Countries", *Energy Policy*, Vol. 39, No. 6, pp. 3803–3812, (2011).
- [6] Miller, A. J., "Energy Implications of the Transportation of Building Materials", *Proc. Mater. Technol. Sustain. Constr. Gävle, Sweden*, pp. 803–810, (1998).
- [7] Hassan, M. A., Guirguis, N. M., Ibrahim, A., and Fahim, A. A., "Effect of Building Material and Wall Construction on the Energy Consumption", Cairo: Housing and Building National Research Center, Industrial Education Faculty, pp. 1–7, (2011).
- [8] Paper, C., and Texas, N. H., "The Effect of Shading Design and Materials on Building Energy Demand", in *5th International/11th Construction Specialty Conference, Vancouver, British Columbia*, (2015).

- [9] Al-sanea, S. A., and Zedan, M. F., “Improving Thermal Performance of Building Walls by Optimizing Insulation Layer Distribution and Thickness for Same Thermal Mass”, *Appl. Energy*, Vol. 88, No. 9, pp. 3113–3124, (2011).
- [10] Kontoleon, K. J., Theodosiou, T. G., and Tsikaloudaki, K. G., “The Influence of Concrete Density and Conductivity on Walls Thermal Inertia Parameters under a Variety of Masonry and Insulation Placements”, *Appl. Energy*, Vol. 112, pp. 325–337, (2013).
- [11] Bond, D. E. M., Clark, W. W., and Kimber, M., “Configuring Wall Layers for Improved Insulation Performance”, *Appl. Energy*, Vol. 112, pp. 235–245, (2013).
- [12] Axaopoulos, I., Axaopoulos, P., and Gelegenis, J., “Optimum Insulation Thickness for External Walls on Different Orientations Considering the Speed and Direction of the Wind”, *Appl. Energy*, Vol. 117, pp. 167–175, (2014).
- [13] Lehmann, B., Wakili, K. G., Frank, T., Collado, B. V., and Tanner, C., “Effects of Individual Climatic Parameters on the Infrared Thermography of Buildings”, *Appl. Energy*, Vol. 110, pp. 29–43, (2013).
- [14] Stazi, F., Tomassoni, E., Bonfigli, C., and Di, C., “Energy, Comfort and Environmental Assessment of Different Building Envelope Techniques in a Mediterranean Climate with A Hot Dry Summer”, *Appl. Energy*, Vol. 134, pp. 176–196, (2014).
- [15] Zhang, Y., Chen, Q., Zhang, Y., and Wang, X., “Exploring Buildings Secrets : The Ideal Thermophysical Properties of a Building’s Wall for Energy Conservation Adiabatic Surface”, *Int. J. Heat Mass Transf.* Vol. 65, pp. 265–273, (2013).
- [16] Zhang, Y., Zhang, Y., Wang, X., and Chen, Q., “Ideal Thermal Conductivity of a Passive Building Wall : Determination Method and Understanding”, *Appl. Energy*, Vol. 112, pp. 967–974, (2013).
- [17] Long, L., and Ye, H., “Effects of Thermophysical Properties of Wall Materials on Energy Performance in an Active Building”, *Energy Procedia*, Vol. 75, pp. 1850–1855, (2015).
- [18] Long, L., and Ye, H., “The Roles of Thermal Insulation and Heat Storage in the Energy Performance of the Wall Materials : A Simulation Study”, *Nat. Publ. Gr.*, No. October 2015, pp. 1–9, (2016).
- [19] Stazi, F., Vegliò, A., Di, C., and Munafò, P., “Experimental Comparison Between 3 Different Traditional Wall Constructions and Dynamic Simulations to Identify Optimal Thermal Insulation Strategies”, *Energy Build.*, Vol. 60, pp. 429–441, (2013).
- [20] Wegerer, P., Nathanael, J., and Bednar, T., “Measuring the Hygrothermal Performance of an Interior Insulation Made of Woodfibre Boards”, *Energy Procedia*, Vol. 78, pp. 1478–1483, (2015).
- [21] Aldawi, F., Alam, F., Khan, I., and Alghamdi, M., “Effect of Climates and Building Materials on House Wall Thermal Performance”, *Procedia Eng.*, Vol. 56, pp. 661–666, (2013).

- [22] Ferna, I., Cabeza, L. F., Castell, A., Medrano, M., Martorell, I., Pérez, G., and Fernández, I., "Experimental Study on the Performance of Insulation Materials in Mediterranean Construction", *Energy Build.*, Vol. 42, No. 5, pp. 630–636, (2010).
- [23] Lindberg, R., Binamu, A., and Teikari, M., "Five-year Data of Measured Weather, Energy Consumption, and Time-dependent Temperature Variations Within Different Exterior Wall Structures", *Energy Build.*, Vol. 36, pp. 495–501, (2004).
- [24] Fadzil, M. A., Norliyati, M. A., Hilmi, M. A., Ridzuan, A. R., Ibrahim, M. H. W., and Assrul, R. Z., "Energy Consumption of Insulated Material using Thermal Effect Analysis", in *MATEC Web of Conferences*, Vol. 103, pp. 8017, (2017).
- [25] Cern, R., "Exterior Thermal Insulation Systems for AAC Building Envelopes: Computational Analysis Aimed at Increasing Service Life", *Energy Build*, Vol. 47, pp. 84–90, (2012).
- [26] Heck, M., Herkel, S., Prager, C., and Ko, M., "The Influence of the IR Reflection of Painted Facades on the Energy Balance of a Building", *Energy Build*, Vol. 38, pp. 1369–1379, (2006).
- [۲۷] محمد، ش.، "مطالعه رفتار حرارتی مصالح رایج در ساخت دیوار مطالعه موردی: ساختمان های مسکونی شهر تهران"، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۱۸، ص ۶۹-۷۸، (۱۳۹۲).
- [۲۸] ذوالفقاری، ع.، سعادت‌ی نسب، م.، و نوروزی جاجرم، ا.، "ارزیابی میزان تاثیر نمای خارجی ساختمان بر مصرف انرژی سالانه در اقلیم های مختلف ایران"، نشریه انرژی ایران، شماره ۴، ص ۶۹-۸۰ (۱۳۹۳).
- [29] Nasrollahi, F., "Office Buildings Energy Efficient: Energy Efficiency with the Architectural Design, Berlin University, (2015).
- [30] Shaeri, J., Yaghoubi, M., Aliabadi, M., and Vakilinazhad, R., "Analysis of using Nano Aerogel Glazing on Solar Heat Gain and Cooling Load in an Office at Hot and Dry, Hot and Humid and Cold Climates of Iran", *J. Solid Fluid Mech.*, Vol. 7, No. 4, pp. 209–221, (2017).
- [31] Mi, X., Liu, R., Cui, H., Memon, S. A., Xing, F., and Lo, Y., "Energy and Economic Analysis of Building Integrated with PCM in Different Cities of China", *Appl. Energy*, Vol. 175, pp. 324–336, (2016).
- [32] Lamnatou, C., Notton, G., Chemisana, D., and Cristofari, C., "Life Cycle Analysis of a Building-integrated Solar Thermal Collector, Based on Embodied Energy and Embodied Carbon Methodologies", *Energy Build*, Vol. 84, pp. 378–387, (2014).

**Abstract**

Thermal properties of materials are one of the important factors determining cooling and heating load of the building. Buildings environmental sustainability is affected by energy consumption and harmful emissions of materials. Therefore, in addition to thermal properties, material life cycle and embodied energy and carbon should also be considered. The purpose of this study is to investigate the effect of different materials on thermal performance and energy efficiency in office buildings. For this purpose, materials with different thermal properties in 18 states are considered in a typical building for ceilings, floors, exterior and interior walls. Thermal simulations have been done using Designbuilder Software for Bushehr, Shiraz and Tabriz for a typical year. Based on the results, the best and worst modes in terms of energy consumption and produced carbon are the same in three cities but not similar to discomfort hours. This is due to the difference in amount of cooling and heating loads in various climates. The difference between the best and worst modes is 24 to 46 percent in energy consumption, 25 to 43 percent in carbon dioxide and depending on the climate 6 to 134 percent in discomfort hours.