

## طراحی مبتنی بر شبیه سازی در تحقیقات تجربی عملکرد ساختمان، مورد مطالعاتی: یک ساختمان اداری در تبریز\*

شیرین نوری وند<sup>۱</sup> - لیدا بلیلان اصل<sup>۲\*</sup> - داریوش ستارزاده<sup>۳</sup> - مازیار آصفی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
۲. دانشیار گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران (نویسنده مسئول).
۳. دانشیار گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
۴. استاد گروه معماری، دانشکده معماری وهنر، دانشگاه هنر اسلامی، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵ تاریخ اصلاحات: ۱۳۹۹/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۱/۱۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

### چکیده

شبیه سازی ابزار بسیار مهمی است که سال های متعددی در زمینه های مختلف توسط رایانه و بدون آن بکار گرفته شده است. این پارادایم «طراحی مبتنی بر شبیه سازی» نامیده می شود. این پارادایم شامل فرایندی است که در آن شبیه سازی، ابزار اصلی ارزیابی و بررسی است. هدف از این مطالعه کاهش مصرف انرژی یک ساختمان اداری در اقلیم سرد تبریز با استفاده از ابزار شبیه سازی و بهینه سازی عملکرد انرژی ساختمان در سه مرحله اصلی تکاملی عملکرد انرژی ساختمان (یعنی: ۱) مرحله طراحی، ۲) مرحله ساخت و ساز و ۳) مرحله بهره برداری است. دلیل انتخاب این روش افزایش اهمیت مراحل بیان شده بدلیل تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش زمین است. بدین منظور، ابتدا منابع کتابخانه ای و متون مرتبط بررسی و سپس مدل پایه شبیه سازی شد. پس از شبیه سازی مدل پایه، مصرف انرژی کل آن تحلیل شد و ۹ آلترناتیو از سه گونه نمای دو پوسته (چند طبقه ای، دالانی و پنجره جعبه ای) با سه عمق حفره مختلف (۰.۶ متر، ۰.۷ متر و ۰.۸ متر) به عنوان راه حل بهینه سازی طراحی به نمای جنوبی افزوده شد. برای دستیابی به بار گرمایش کمتر، میزان انتقال حرارتی دیوارها و سقفها با استفاده از مصالح عایق کاهش یافت. در نهایت، روشنایی، پنجره ها، دمای تنظیم داخلی، تهویه طبیعی و سایبان به عنوان عوامل مرتبط با بهره برداری به طور خودکار تنظیم شدند. بر این اساس، نتایج بهینه سازی با مدل پایه برای انتخاب مدل بهینه مقایسه شدند. این مطالعه نشان داد که بهینه سازی در سه مرحله با افزودن نمای دو پوسته چند طبقه ای با عمق حفره ۰.۸ متر و دریچه هایی به ابعاد ۰.۴\*۰.۲۳\*۰.۴ متر موجب کاهش ۵۵ درصدی مصرف انرژی نسبت به مدل پایه می شود. همچنین با کاهش رسانایی حرارتی به عنوان عامل مرتبط با ساخت، بار گرمایش در دیوارها تا ۳۸ درصد و در سقف ها تا ۷۷ درصد کاهش می یابد. نتیجه می شود که آلترناتیوهای بهینه شده نمای دو پوسته گونه چند طبقه ای به دلیل بار گرمایش و مصرف گاز کمتر، بهترین کارایی را در اقلیم سرد دارند.

واژگان کلیدی: عملکرد ساختمان، شبیه سازی، بهینه سازی، نمای دو پوسته، تغییر اقلیم.

\* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «ارائه الگوی بهینه نماهای دوجداره در معماری ساختمان های اداری اقلیم سرد ایران» با راهنمایی نویسنده دوم و سوم و مشاوره نویسنده چهارم می باشد که در سال ۱۳۹۹ و در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز دفاع شده است.

\*\*E-mail: LidaBalilan@hotmail.com

۱. مقدمه

ساختمان تا سال ۲۰۳۵ بین ۳۵ تا ۴۰ درصد افزایش خواهد یافت (X.W. Zou & Alam, 2020). شبیه‌سازی انرژی ساختمان‌ها برای مطالعه کارایی انرژی در ساختمان‌ها حائز اهمیت است. برنامه‌های شبیه‌سازی کامپیوتری، ابزارهای تحلیلی موثری برای تحقیقات انرژی ساختمان و ارزیابی طراحی معماری هستند (M. Samaan, Farag, & Khalil, 2018).

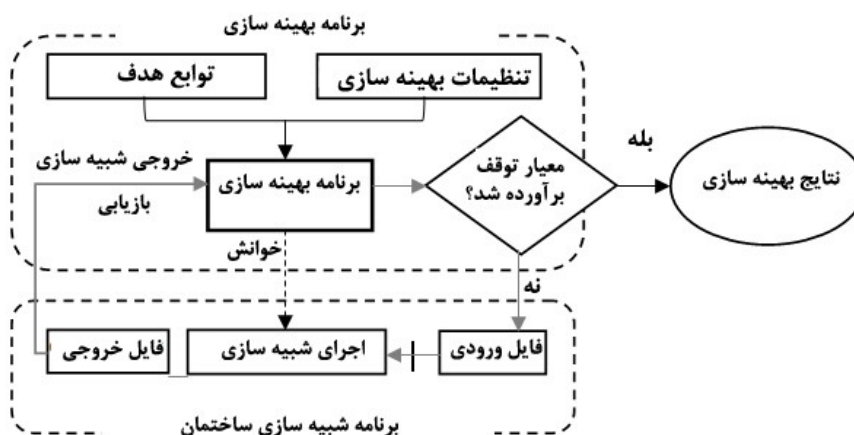
طبق این روش، مقدار ورودی هر متغیر برای مشاهده تأثیر آن بر اهداف طراحی تغییر می‌کند در حالی که سایر متغیرها بدون تغییر می‌مانند. این رویه را می‌توان به طور مکرر با متغیرهای دیگر تکرار کرد. این روش اغلب زمان بر است در حالی که به دلیل تعاملات پیچیده و غیرخطی متغیرهای ورودی بر روی نتایج شبیه‌سازی شده، تنها بهبودی جزئی را نتیجه می‌دهد (H. Hart, 2011). برای دستیابی به راه‌حلی بهینه (یا راه‌حلی نزدیک به بهینه) برای یک مسئله با صرف زمان و کار کمتر، مدل رایانه‌ای ساختمان معمولاً با روش‌های تکراری حل می‌شود. این روش‌ها از تقریب‌های مناسب‌تر یک راه‌حل، به عنوان مثال، نقطه‌ای در فضای جستجو که یک شرط بهینه را برآورده می‌کند، توالی‌های نامتناهی می‌سازند (Wetter, 2009).

در سال‌های اخیر، رویکرد شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان<sup>۱</sup> به عنوان تکنیکی جدید برای کمک به معماران و سایر متخصصان مرتبط در طراحی ایجاد شده است. معمولی‌ترین راهبرد این رویکرد در (شکل ۱) ارائه شده است (Nguyen, Reiter, & Rigo, 2014; Tian, Zhang, Jin, Zhou, Si, & Shi, 2018). در یک مطالعه پیرامون بهینه‌سازی ساختمان‌های معمولی، این فرآیند معمولاً با برقراری اتصال بین یک برنامه شبیه‌سازی ساختمان و یک «موتور» بهینه‌سازی که ممکن است از یک یا چند الگوریتم یا راهبرد بهینه‌سازی تشکیل شده باشد، بصورت خودکار انجام می‌شود (شکل ۲). روند افزایشی مطالعات صورت گرفته پیرامون موضوع بهینه‌سازی در دنیا را براساس سایت ساینس‌دایرکت<sup>۲</sup> برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تعداد مقالات پیرامون موضوع بهینه‌سازی از سال ۲۰۱۶ به شدت افزایش یافته است.

امروزه شبیه‌سازی رایانه‌ای کاملاً در متدولوژی علم گنجینه شده است، این مسئله تا جایی پیشرفته است که شبیه‌سازی به همراه آزمایش و نظریه‌پردازی به عنوان ستون سوم تحقیقات شناخته می‌شود (Lusk, 2016). محبوبیت شبیه‌سازی رایانه‌ای به عنوان یک رویکرد روش شناختی برای محققان سازمانی در حال افزایش است. اگر روش‌های دیگر به سؤالاتی شامل «چه اتفاقی افتاد، و چگونه، و چرا؟» پاسخ می‌دهند، شبیه‌سازی به دنبال پاسخ به سؤال «چه می‌شود؟» است. شبیه‌سازی مطالعات سیستم‌های پیچیده‌تر را ممکن می‌سازد زیرا با «حرکت به جلو»، مشاهدات آینده‌نگرانه را ایجاد می‌کند، در حالی که سایر روش‌های تحقیقاتی سعی به گذشته در تاریخ نگاه کنند تا آنچه اتفاق افتاده و چگونگی آن را شرح دهند. از آنجا که ماهیت سیستم‌های زنده افزایش آنتروپی (بی‌نظمی) و یا پیچیدگی (نظم) است، نگاه به عقب ذاتاً دشوارتر از حرکت به جلو است (Dooley, 2002).

امروزه کاهش سریع منابع انرژی فسیلی مسئله‌ای جدی تلقی می‌شود در حالی که جامعه مصرف کننده نیاز به افزایش انرژی دارد. بخش قابل توجهی از انرژی در ساختمان‌ها مصرف می‌شود بنابراین کاهش مصرف انرژی در این بخش بسیار حائز اهمیت است (Bánóczy, 2014). به دلیل افزایش تقاضای انرژی و بدنبال آن افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تأثیرات فرایندهای تغییرات اقلیمی، تمایل قابل توجه و مستمری برای افزایش بهره‌وری انرژی و کربن‌زدایی در بخش ساختمان وجود دارد. توافقنامه پاریس در سال ۲۰۱۵ تأیید کرد که انتشار خالص جهانی گازهای گلخانه‌ای باید قبل از پایان رسیدن قرن به نزدیک به صفر کاهش یابد تا افزایش دمای جهانی به کمتر از ۲ درجه سانتیگراد محدود شود. طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، حدود یک سوم کل مصرف انرژی جهانی در ساختمان‌ها صورت می‌دهد و پیش‌بینی می‌شود که این مصرف تا سال ۲۰۳۵ با نرخ متوسط ۱ درصد در سال رشد می‌کند. این بدان معناست که اگر اقدامی صورت نگیرد، مصرف انرژی

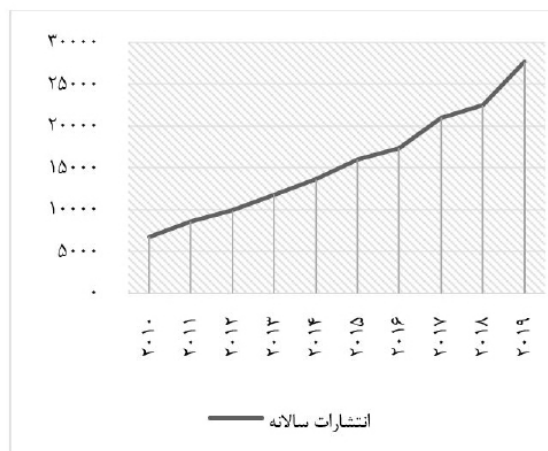
شکل ۱: حلقه اتصال بکارگرفته شده در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان



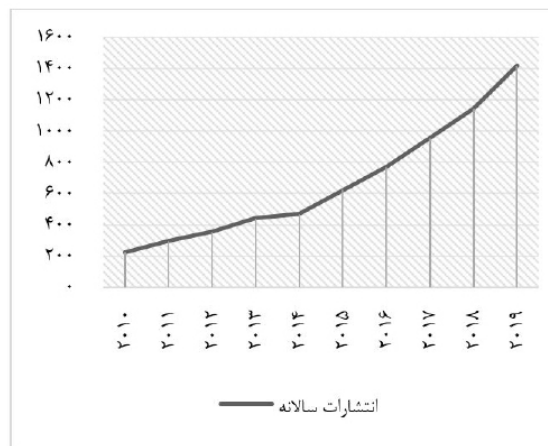
و بهره‌وری انرژی تمرکز کنیم. مقایسه تعداد مطالعات عملکرد ساختمان در ایران و سایر کشورها نشان دهنده مشارکت کم ایران است (شکل ۴). مقاله حاضر ضرورت استفاده از شبیه‌سازی به عنوان یک روش تحقیق در طراحی معماری و روش‌های طراحی مبتنی بر شبیه‌سازی را ارائه کرده، یافته‌های کلیدی را بطور خلاصه شرح داده و بر الزامات اصلی برای دستیابی به نتایج دقیق استفاده از ابزار شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان، اساساً از منظر معماری تأکید می‌کند.

همچنین (شکل ۳) تعداد مطالعات صورت گرفته پیرامون موضوع بهینه‌سازی در ایران را بر اساس سایت ساینس دایرکت برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد. این امر نشان دهنده کاستی مطالعات عملکرد ساختمان در ایران با وجود مصرف بالای انرژی در بخش ساختمان و تجارت است. به عنوان مثال، طبق بررسی که توسط شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت ایران انجام شده است، مصرف انرژی کل کشور ۳۰ مترمکعب گاز در سال برای هر مترمربع ساختمان است (Farhanieh & Sattari, 2006). بنابراین، باید بر شناسایی و ترویج برنامه‌های بهینه‌سازی

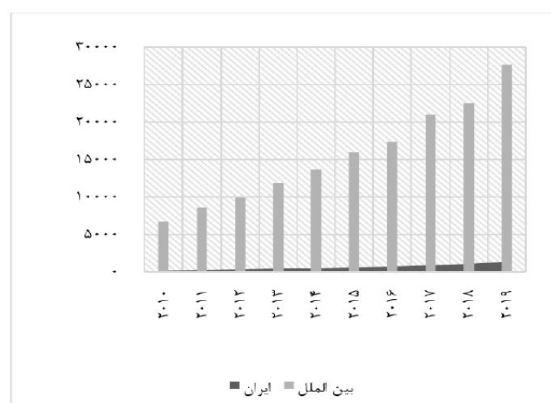
شکل ۲: روند افزایشی مطالعات پیرامون بهینه‌سازی در دنیا



شکل ۳: روند افزایشی مطالعات پیرامون بهینه‌سازی در ایران



شکل ۴: مقایسه تعداد مطالعات صورت گرفته بر عملکرد ساختمان در جهان و ایران

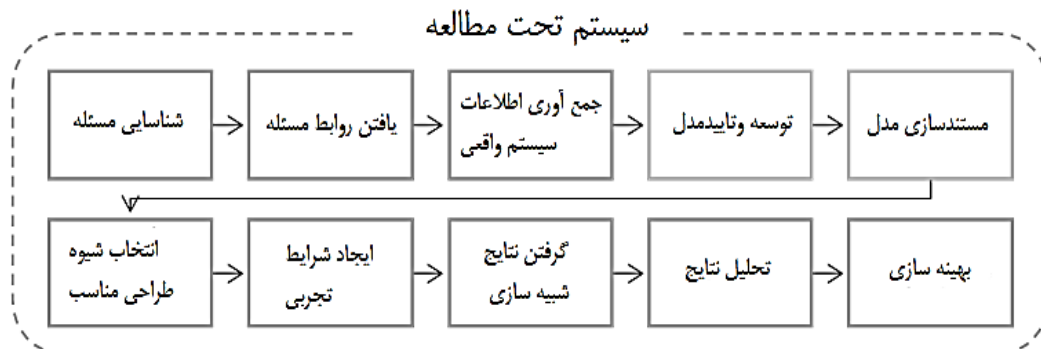


شبیه‌سازی عملکرد ساختمان در تحقیقات عملکرد ساختمان بررسی شده و تفسیر نتایج شرح داده می‌شوند. علاوه، این مقاله علل ریشه‌ای تحقیقات عملکرد انرژی ساختمان را معرفی می‌کند. در این تحقیق، نرم افزار دیزاین بیلدر نسخه ۶،۱،۷ برای شبیه‌سازی استفاده شد. نتایج به صورت عددی و گرافیکی نشان داده شده‌اند. بمنظور داشتن یک روش شبیه‌سازی، ابتدا مدل پایه شبیه‌سازی شد. داده‌های هواشناسی ساعتی شبیه‌سازی متعلق به شهر تبریز در ایران هستند. پس از شبیه‌سازی مدل پایه، مصرف انرژی کل آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و ۹ آلترناتیو از سه گونه‌ی نمای دوجداره (چند طبقه‌ای، دالانی و پنجره‌جعبه‌ای) با سه عمق حفره مختلف (۰،۶ متر، ۰،۷ متر و ۰،۸ متر) به عنوان راه حل بهینه‌سازی طراحی به نمای جنوبی افزوده شدند. برای دستیابی به بارگرمایش کمتر، میزان انتقال حرارتی دیوارها و سقف‌ها با استفاده از مصالح عایق کاهش یافت. در نهایت، روشنایی، پنجره‌ها، دمای تنظیم داخلی، تهویه طبیعی و سایبان به عنوان عوامل مرتبط با بهره‌برداری به طور خودکار تنظیم شدند. بر این اساس، نتایج بهینه‌سازی و مدل پایه برای انتخاب مدل بهینه مقایسه شدند. گفتنی است درحالی‌که دامنه وسیعی از راه حل‌های کارآمد برای کاهش تقاضای انرژی ساختمان وجود دارند، تحقیقات کمتری در این مورد انجام شده‌اند. مقاله حاضر ابتدا به بررسی نماهای دوپوسته و کاهش ائتلاف انرژی می‌پردازد و نتایج شبیه‌سازی را با تأکید بر میزان انتقال حرارت از دیوارها، سقف‌ها و کنترل خودکار بهره‌برداری گزارش می‌کند.

### ۳. مرور ادبیات

از دیدگاه هستی‌شناختی، تحقیقات شبیه‌سازی سعی در کسب محتوای معنایی از مدل‌هایی دارند که سیستم‌های واقعی را نشان می‌دهند (Panas & Pantouvakis, 2010). (شکل ۵) مراحل مربوط به توسعه یک مدل شبیه‌سازی، طراحی یک آزمایش شبیه‌سازی و انجام تحلیل شبیه‌سازی را نشان می‌دهد (Anu, 1997).

شکل ۵: مراحل توسعه یک مدل شبیه‌سازی



هدف پژوهش حاضر کاهش مصرف انرژی یک ساختمان اداری در اقلیم سرد تبریز با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر<sup>۲</sup> در سه مرحله اصلی تکامل عملکرد انرژی ساختمان یعنی: (۱) مرحله طراحی، (۲) مرحله ساخت و (۳) مرحله بهره‌برداری است. در این مقاله، مدل پایه شبیه‌سازی شده و سپس سه گونه‌ی نمای دو پوسته (چند طبقه‌ای، دالانی و پنجره‌جعبه‌ای) به عنوان راه حل طراحی به نمای جنوبی افزوده شد و مدل پایه با کاهش ضریب انتقال حرارتی دیوارها و سقف‌ها به عنوان راه حل مرحله ساخت و ساز بهینه‌سازی شد. در نهایت، کنترل خودکار روشنایی، پنجره، دمای تنظیم داخلی، تهویه طبیعی و سایبان به عنوان فاکتورهای بهره‌برداری تنظیم شد.

سوالات پژوهش شامل موارد زیر است:

۱. کدام گونه‌ی نمای دوپوسته برای استفاده در اقلیم سرد بهینه است؟
۲. مشخصات مدل بهینه چیست؟
۳. با افزودن انواع نمای دوپوسته چند درصد از مصرف انرژی کاهش می‌یابد؟
۴. کاهش ضریب انتقال حرارتی دیوارها و سقف‌ها چه تأثیری بر بارگرمایشی دارد؟

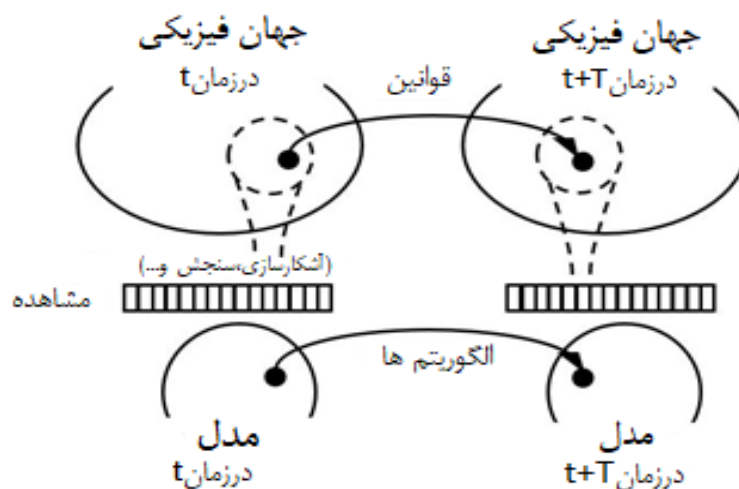
### ۲. روش تحقیق

این مقاله روش شبیه‌سازی رایانه‌ای را به عنوان جایگزینی برای تحقیقات میدانی اتخاذ کرده است. شبیه‌سازی رایانه‌ای محیطی مجازی برای بررسی رفتار حرارتی عناصر ساختمان فراهم می‌کند. این مقاله برای کمک به درک بهتر تحقیقات در زمینه بهینه‌سازی عملکرد ساختمان و همچنین ابزارها و روش‌هایی است که معمولاً توسط محققان و طراحان استفاده می‌شوند. این تحقیق با مروری بر ادبیات شبیه‌سازی و شبیه‌سازی رایانه‌ای به عنوان مشاور فنی در طراحی مبتنی بر شبیه‌سازی آغاز می‌شود و فرآیند انتقال مدل واقعی (فیزیکی) به مدل پویا را برای استفاده در ابزار شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان ارائه می‌دهد. همچنین چالش‌های نرم‌افزار

پویا، ویژگی‌ها و جزئیات درگیر در حالات مدل، سطح جزئیات را تعیین می‌کنند. وقتی حالات مدل را تعریف می‌کنیم، هدف تعیین قوانین تغییری است که در این سطح عمل می‌کند. قوانین تغییر بطور دقیق با کمک یک تابع انتقال بیان می‌شوند. توابع انتقال مدل غالباً از طریق معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی یا الگوریتم‌های رایانه‌ای مشخص می‌شوند و مفهوم علیت را دربرمی‌گیرند شکل ۶ (Holland, 2000).

شبیه‌سازی رایانه‌ای با الگویی از رفتار سیستمی که محقق قصد بررسی آن را دارد، آغاز می‌شود. با حرکت از مدل‌هایی که اشکال ایستا دارند مثل مدل‌های مقیاس، به مدل‌هایی که پیکربندی متغیر دارند و معمولاً "مدل‌های پویا" نامیده می‌شوند، هدف از ایجاد یک مدل پویا، یافتن قوانین تغییرناپذیری است که پیکربندی‌های متغیر را ایجاد می‌کنند و به گفته جان هلند<sup>۴</sup> یکی از پیشگامان و بزرگان علوم رایانه‌ای: "هنر ساخت مدل، گزینش سطحی از جزئیات را به جریان می‌اندازد. بطور کلی برای مدل‌های

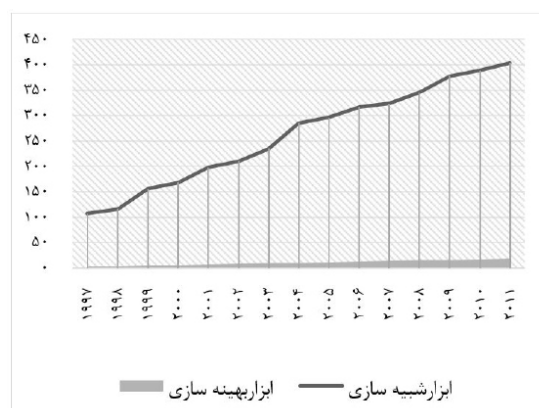
شکل ۶: توابع انتقال: ارتباط پیکربندی جهان و مشاهدات با حالات و عملکرد انتقال مدل



پشتیبانی از تصمیمات طراحی برای ساختمان‌هایی با انرژی کارآمد تبدیل شده است (Attia, Hensen, Bel-tranc & Herde, 2011). از ۴۰۶ ابزار شبیه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان فهرست شده در وب سایت وزارت انرژی ایالات متحده<sup>۵</sup> در سال ۲۰۱۲، کمتر از ۱۹ ابزار امکان بهینه‌سازی را فراهم می‌کنند. در سال ۲۰۱۲، تعداد ابزارهای فهرست شده در این وب سایت به بیش از ۴۰۴ عدد رسید و ما بین سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۱۲ تعداد ابزارها حدود چهار برابر شده است (شکل ۷).

راه‌حل‌ها مقادیری را برای متغیرهایی که در مدل شبیه‌سازی پدیدار می‌شوند، ارائه می‌کنند. این مقادیر اغلب بیانگر کمیت‌های فیزیکی در سیستم هدف هستند. این مقادیر داده‌های تولید شده توسط شبیه‌سازی را تشکیل می‌دهند (Lusk, 2016). در ۵۰ سال گذشته، صدها ابزار شبیه‌سازی انرژی ساختمان برای کمک به معماران، مشاوران ساختمان‌های سبز و سایر متخصصان جهت ارزیابی مصرف انرژی ساختمان‌ها ساخته شده‌اند. استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان توسط متخصصان طراحی به یک روش اساسی جهت

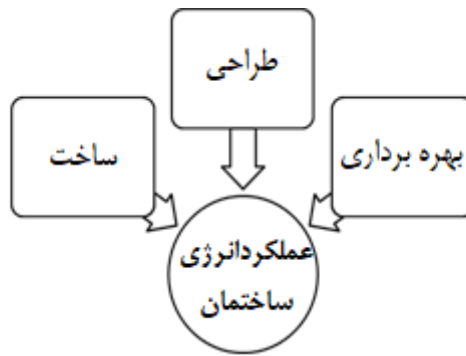
شکل ۷: تکامل ابزارهای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد ساختمان



عملکرد ساختمان می‌توانند انتخاب کنند ارائه می‌دهد. علل ریشه‌ای عملکرد انرژی ساختمان را می‌توان به سه دسته اصلی دسته‌بندی کرد، علل ناشی از مرحله طراحی، عللی که ریشه در مرحله ساخت دارند و علل مربوط به مرحله بهره‌برداری (شکل ۸) (Wilde, 2011).

با توجه به گستردگی انتخاب ابزار شبیه سازی عملکرد انرژی ساختمان، معماران و مهندسان با چالش فرآیند انتخاب این ابزارها در طراحی ساختمان‌ها مواجه هستند. جدول (۱) نمایی کلی از نرم افزارهایی که معماران و مهندسان برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی در تحقیقات

شکل ۸: عوامل ریشه‌ای عملکرد انرژی ساختمان



خوبی اذعان شده است که ساکنان تأثیر زیادی بر عملکرد انرژی ساختمان دارند چرا که تهویه، روشنایی، دمای داخلی و لوازم برقی را کنترل می‌کنند (Demanuele, Tweddell & Davies, 2010). بنابراین، رفتارهای ساکنان به عنوان عامل اصلی عملکرد انرژی ساختمان دیده می‌شود (Gaetani, Hoes & Hensen, 2016).

#### ۴-۳-۱- شبیه سازی و بهینه سازی عملکرد انرژی ساختمان

بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان همراه با شبیه‌سازی عملکرد ساختمان راه‌حلی امیدوارکننده برای ارزیابی بسیاری از آلترناتیوهای مختلف طراحی و دستیابی به راه‌حل بهینه یا نزدیک به بهینه برای یک هدف یا ترکیبی از اهداف مشخص است (Athienitis & Obrein, 2015).

#### ۴-۳-۲- تضمین کیفیت شبیه سازی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان

مطابق گفته‌های کووو پراساد (Kuo et al., 2000) برای طراحی یک سیستم کاملاً قابل اعتماد، عمدتاً دو روش وجود دارد، یکی افزودن جزئیات اضافی و دیگری افزایش پایایی جزئیات است. هر دو روش معمولاً باعث افزایش منابع اطلاعاتی می‌شوند. بنابراین، در مرحله طراحی یک سیستم قابل اعتماد، یک مسئله مهم می‌تواند نحوه دستیابی به تعادل بین قابلیت اطمینان و دیگر منابع باشد. علاوه بر این دو راه، ترکیب این دو رویکرد و تخصیص مجدد عناصر قابل تبادل، روشی دیگر برای افزایش پایایی سیستم هستند. این مسئله افزایش پایایی سیستم از طریق انتخاب افزونگی و پایایی مولفه، مسئله تخصیص

#### ۳-۱-۱- مرحله طراحی

مراحل اولیه طراحی ساختمان نسبت به مراحل بعدی طراحی تأثیر قابل توجه‌تری بر عملکرد انرژی دارند (Suh, Park & Kim, 2011). معماران در مرحله طراحی کانسپت با چالش‌هایی روبرو هستند زیرا تصمیمات طراحی اتخاذ شده در این مرحله تأثیر بسزایی بر عملکرد انرژی ساختمان‌ها دارند. طراحی ساختمان وحدتی ترکیبی از شکل، عملکرد، فرم و تکنیک است. ساختمان‌ها نه تنها باید دارای عملکرد بوده و اصول زیبایی‌شناسی را حفظ کنند، بلکه از نظر فنی نیز باید قابل اجرا باشند (Tian, Chen, Tang, Wang, & Shi, 2015).

#### ۳-۲-۲- علل مرتبط با مرحله ساخت و ساز

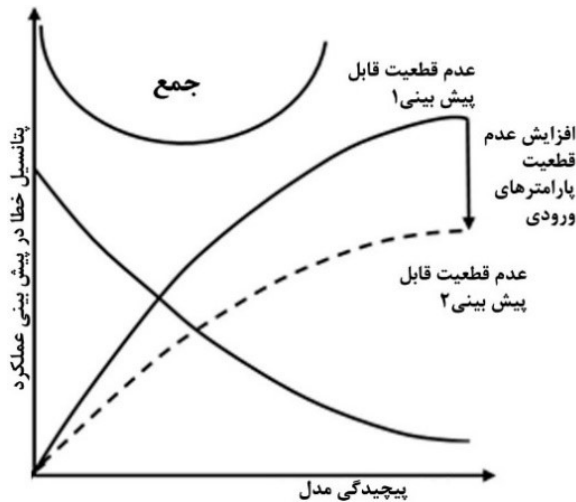
مرحله مربوط به ساخت و ساز شامل عواملی است که به سازه ساختمان مربوط می‌شوند مانند لایه‌های دیوار، بام، کف، تیغه، سقف و غیره. ابزار عملکرد انرژی ساختمان از اجزای ساختمانی برای مدل سازی انتقال گرما از طریق دیوارها، سقف‌ها، زمین و سایر قسمت‌ها استفاده می‌کنند. چنین داده‌هایی از ساختمان به محققان کمک می‌کنند تا مشکلات را یافته و بهینه کنند.

#### ۳-۳-۳- علل مرتبط با مرحله بهره برداری

مرحله بهره‌برداری بطور گسترده به عنوان عامل اصلی عملکرد انرژی ساختمان در نظر گرفته می‌شود و ساکنان ساختمان از سوی بسیاری از محققان به عنوان مسئول عملکرد انرژی ساختمان شناخته شده‌اند (Niu, Pan & Zhao, 2016; Wilde, 2014; Yan, 2015; Yoshino, et al., 2017; 2015; Liang, Hong & Shen, 2016).

پایایی-افزونی نامیده می شود (Garg et al., 2013).

شکل ۹. خطای احتمالی در پیش بینی عملکرد در مقابل پیچیدگی مدل / سطح جزئیات



حاوی اطلاعاتی در مورد بیش از ۴۰۰ ابزار نرم افزاری است. بررسی تمام نرم افزارها در این مقاله به وضوح عملی نیست، اما در عوض، ویژگی های نرم افزار دیزاین بیلدر به عنوان یک نرم افزار معمارپسند شرح داده شده است.

#### ۴-۳- نرم افزار دیزاین بیلدر

نرم افزار دیزاین بیلدر دسترسی به معمول ترین قابلیت های شبیه سازی مورد نیاز در ساختمان شامل بافت ساختمان، جرم حرارتی، نصب پنجره، سایه اندازی، انرژی های تجدیدپذیر، تهویه مطبوع و تجزیه و تحلیل مالی را فراهم می کند و از موتور شبیه سازی انرژی پلاس استفاده می کند. داده های به دست آمده را می توان به دلخواه فیلتر و در نمودارها ارائه کرد. ویژگی های کلیدی شبیه سازی این ابزار عبارتند از:

- ارائه داده های عملکرد محیطی مانند مصرف انرژی، انتشار کربن، دمای آسایش در فواصل سالانه، ماهانه، روزانه، ساعتی و زیر ساعتی؛
- گزارش دریافت نور خورشیدی در سطوح، دمای سطح و تبدلات تابشی؛
- دسترسی به طیف گسترده ای از نتایج برای ساختمان ها و سیستم ها.

#### ۴-۲- ایجاد یک مدل پویای شبیه سازی عملکرد انرژی ساختمان

در اکثر نرم افزارهای شبیه سازی و بهینه سازی عملکرد انرژی ساختمان، ابتدا باید هندسه ساختمان را در سه بعد تعریف کرد. دوم اینکه، مکان سایت باید همراه با فایل داده آب و هوایی اقلیم مرتبط مشخص شود. سوم، سازه ساختمان ها باید تعریف شود. کلیه اجزای ساختمان مانند دیوارها، کفها، سقفها، پنجره ها و درها، و این قبیل موارد باید به هندسه ساختمان مربوطه اختصاص یابند. چهارم، باید الگوهای استفاده از ساختمان، از جمله شرایط اتاق، بارهای داخلی کسب شده و نفوذ هوا و انواع تهویه هوا، تعریف شوند. پنجم و در آخر اینکه سیستم های گرمایشی و سرمایشی باید با قسمت های مربوطه ساختمان تعریف و مرتبط شوند. در طی این پنج وظیفه، بسته به نیازهای خاص مربوط به هر ساختمان، وظایف فرعی دیگری نیز باید انجام شوند (Jankovic, 2017). همانطور که در شکل ۹) نشان داده شده است، در واقعیت، انحراف از حالت بهینه به پیچیدگی کمتر یا بیشتر، خطای بالقوه در نتایج شبیه سازی را افزایش می دهد (Hensen et al., 2011). دایرکتوری ابزارهای نرم افزار انرژی ساختمان

جدول ۱: ابزار شبیه سازی و مدلسازی

تصویر	نرم افزار	هدف	قابلیت اصلی
	Ecotect	تجزیه و تحلیل عملکرد ساختمان	مدل سازی سریع، امکان ارتباط با سیستم (رابط باز)، امکان اسکریپت نویسی، تجسم فوق العاده شبیه سازی ها و تحلیل ها، تعامل با انواع ابزارهای مرتبط
	DesignBuilder	تجزیه و تحلیل عملکرد ساختمان	رابط کاربر پسند، مدل سازی آسان، امکان اسکریپت نویسی، تجسم فوق العاده شبیه سازی ها و تحلیل ها، تعامل با انواع ابزارهای مرتبط

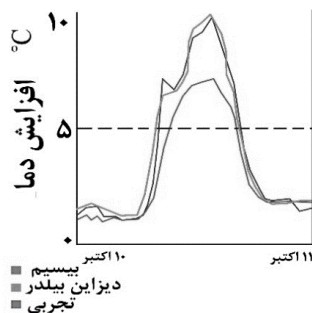
تصویر	نرم افزار	هدف	قابلیت اصلی
	IESVE	تحلیل پایدار	ارائه طرح های دست یافتنیتر، با عملکرد بهتر و منابع کارآمد (کم مصرف)
	Autodesk Vasari	تجزیه و تحلیل عملکرد ساختمان	تابش خورشیدی تونل باد تحلیل مفهومی انرژی
	DL-Light	ارزیابی میزان دریافت و توزیع نور طبیعی	شبیه سازی روشنایی
	DIAL+ Lighting	بهینه سازی بارهای انرژی در مقیاس اتاق.	بهینه سازی، شبیه سازی روشنایی و تحلیل اقلیمی
	Pleiades+ COMFIE	طراحی زیست محیطی ساختمان	انرژی کل ساختمان، شبیه سازی و بهینه سازی پارامتریک
	OpenStudio	شبیه سازی انرژی ساختمان	شبیه سازی انرژی کل ساختمان اقدامات صرفه جویی در انرژی، شبیه سازی روشنایی
	Radiance	شبیه سازی روشنایی	استفاده از روش ردیابی اشعه مونت کارلو

## ۵. اعتبارسنجی

۶\*۶\*۶ متر مکعب در بولنیسی گرجستان ساخت. سپس نتایج تجربی را با نتایج شبیه سازی ساختمان در نرم افزار بیسیم<sup>۸</sup> مقایسه کرد. شکل ۱۰ نشان می دهد که نتایج شبیه سازی در این مقاله به طور تقریبی با نتایج لوند جنسن مطابقت دارند. این مقایسه اعتبار روش شبیه سازی در این مقاله را نشان می دهد.

قبل از شبیه سازی و بهینه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر باید از دقت و اعتبار نرم افزار اطمینان حاصل کرد. بنابراین، نتایج حاصل از این نرم افزار با تحقیقات تجربی لوند جنسن<sup>۷</sup> مقایسه شدند. لوند جنسن اتاقی با نمای دوپوسته و ابعاد

شکل ۱۰: افزایش دما اندازه گیری و شبیه سازی شده در حفره نمای دوپوسته در مقایسه با دمای هوای بیرون



به عنوان مدل پایه در نظر گرفته شد. نتایج شبیه سازیها برای نشان دادن ویژگی های کلیدی شبیه سازی در مراحل مختلف شبیه سازی در تحقیقات ساختمانی با توجه به مصرف انرژی ارائه شدند و مورد بحث قرار گرفتند. پس

## ۶. نمونه موردی (ساختمان اداری در تبریز)

پس از شرح نقش شبیه سازی در مطالعه عملکرد ساختمان، یک ساختمان اداری در اقلیم سرد تبریز



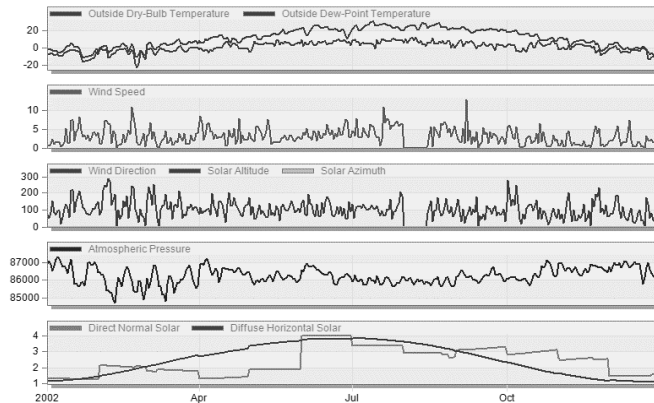
از به دست آوردن اطلاعات اولیه ساختمان و داده‌های اقلیمی، شبیه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان انجام شد.

۱-۶- شرح مدل پایه

مدل پایه دارای مساحتی معادل ۱۲۳۹,۲ متر مربع و ۳ طبقه و زیرزمین است و در تبریز واقع شده است. شکل

۱۱ داده‌های اقلیمی تبریز را نشان می‌دهد. پلان مدل با توجه به هندسه، مجاورت و کاربری به چند زون تقسیم شد. سپس به هر زون الگوی فعالیت اختصاص داده شد (که با رنگ در تصاویر نشان داده شده است) و آن منطقه با نمایه‌ها و برنامه‌های انرژی مختلف مرتبط شد. مشخصات فیزیکی ساختمان اداری نیز مطابق با جدول ۲ افزوده شد.

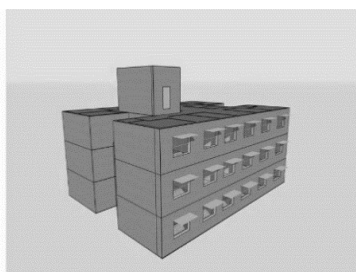
شکل ۱: داده‌های آب و هوای روزانه تبریز



جدول ۲: مشخصات فیزیکی مدل موردی پایه

مقدار ورودی	پارامتر
۲۲C	ست پوینت <sup>۹</sup> گرمایش
۱۲C	ست بک <sup>۱۰</sup> گرمایش
۲۴C	ست پوینت سرمایش
۲۸C	ست بک سرمایش
۱۰ الیتر بر ثانیه بر نفر	کمینه هوای تازه
۵۵ وات بر متر مربع	رایانه
۰,۱ نفر بر متر مربع	چگالی ساکنین
۸-۱۳:۴۰	برنامه زمانی
۱۳۰ وات بر متر مربع	تجهیزات
۳۰۰ لوکس-فلورسنت	روشنایی
زیرزمین: خاموش، طبقه همکف، اول و دوم: روشن (فن کویل)	تهویه مطبوع
۸, ۱۰ گرمایش-۱, ۸ سرمایش	بازدهی تهویه مطبوع
روشن	تهویه طبیعی
شیشه تک‌جراره ۶ میلی‌متری با پرده داخلی - قاب: آلومینیومی	بازشوها
۱, ۸ وات بر متر مربع کلوین	ضریب انتقال حرارت دیوارها

شکل ۱۲: زون بندی مدل پایه و حجم ایجاد شده در دیزاین بیلدر



در طول ماه است. مشاهده می‌شود که حداکثر تلفات حرارتی از طریق دیوارهای خارجی مدل با ۴۸ درصد افزایش در بار گرمایش در روز اول ژانویه است، بنابراین باید با مصالح مناسب و عایق بهینه شود. دومین عامل بیشترین اتلاف حرارتی، نفوذ هوای خارجی با ۲۶ درصد افزایش در بار گرمایشی در روز اول ژانویه است (شکل ۱۳ و ۱۴). سومین عامل شیشه با ۱۴ درصد افزایش در بار گرمایشی است. عامل‌های چهارم و پنجم، بام و سقف مدل پایه بترتیب با ۲۶ درصد و ۱ درصد افزایش هستند (شکل ۱۴).

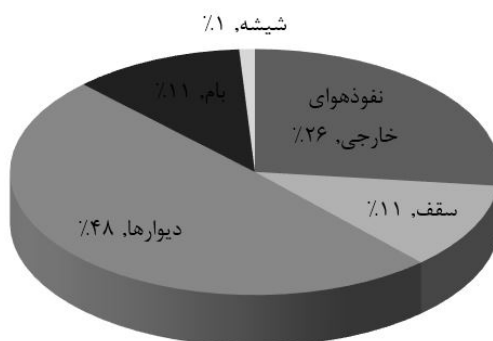
## ۶-۲- نتایج مدل پایه

در ادامه به بیان نتایج مدل پرداخته شده است.

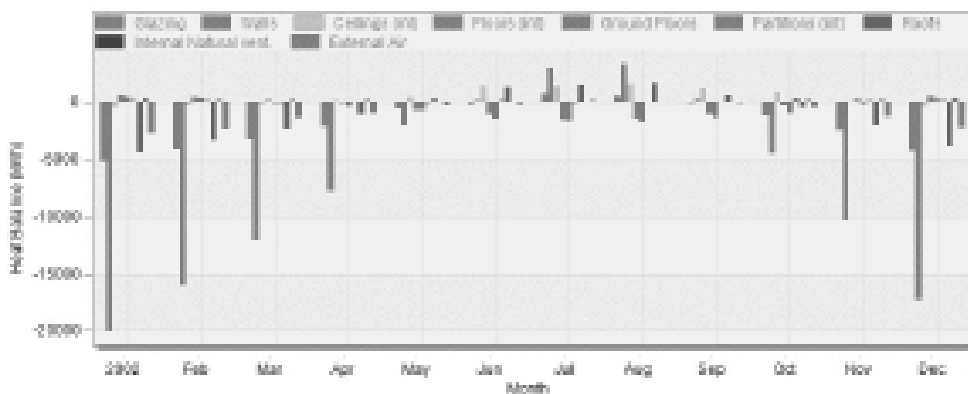
### ۶-۲-۱- عملکرد ساختمان و مصرف انرژی آن

با این نوع از نتایج شبیه‌سازی، محققین عملکرد ساختمان می‌توانند عواملی را که باعث افزایش بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان می‌شوند، تحلیل کنند و سپس راه‌حلی برای ایجاد یک مدل بهینه ارائه دهند. اعداد منفی به معنای اتلاف گرما و اعداد مثبت به معنای کسب گرما

شکل ۱۳: اتلاف حرارت مدل پایه در ژانویه



شکل ۱۴: اتلاف حرارت ماهانه مدل پایه



در سه علت ریشه‌ای عملکرد انرژی ساختمان (مرحله طراحی، علل مرتبط با ساخت و ساز و علل مرتبط با بهره‌برداری)، مدل بهینه سازی شده مجدداً مدل‌سازی شد.

### ۶-۳-۱- مدل بهینه شده و مرحله طراحی

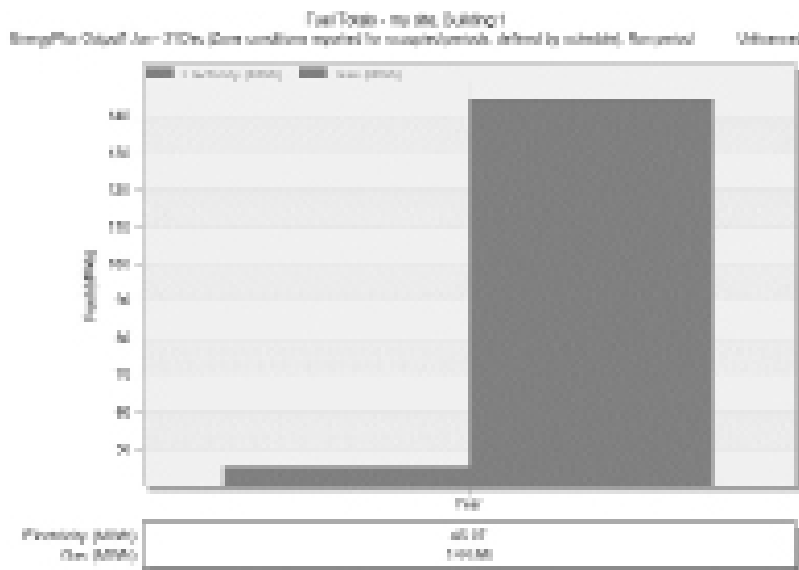
یک نمای دو پوسته درحالت بهینه یکی از مناسبترین گزینه‌ها در مدیریت تعامل بین فضای باز و فضای داخلی است. در این مقاله، ۹ آلترناتیو نمای دوجداره در نمای جنوبی به عنوان یک راه حل طراحی جهت بهینه‌سازی شبیه‌سازی شدند (جدول ۳).

(شکل‌های ۱۵ و ۱۶)، مصرف انرژی گاز و برق را نشان می‌دهند. مصرف سالانه گاز ۵۶.۱۴۴ مگاوات ساعت و برق ۴۵.۰۷ مگاوات ساعت است. مصرف کل انرژی ۱۸۹.۶۳ مگاوات ساعت معادل ۱۵۲ کیلووات ساعت در متر مربع است. با توجه به برچسب انرژی ساختمان‌های غیر مسکونی در ایران، مدل پایه در رده C قرار دارد.

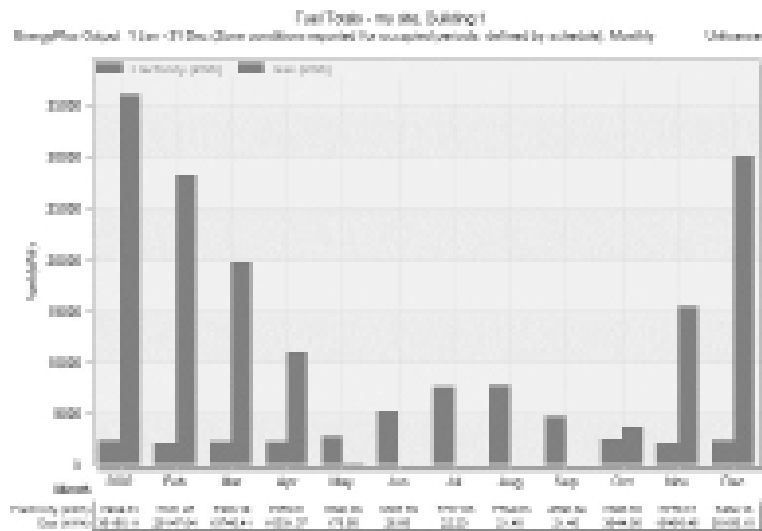
### ۶-۳-۲- بهینه سازی مدل پایه با سه علت ریشه‌ای عملکرد انرژی ساختمان

پس از تحلیل مدل پایه، برای نشان دادن کاربرد شبیه‌سازی

شکل ۱۵: مصرف انرژی کل مدل پایه



شکل ۱۶: مصرف انرژی ماهانه مدل پایه



و در طول ماه‌های تابستان دریاچه‌ها باز می‌شوند (شکل ۱۷ و ۱۸).

### ۶-۳-۱-۲- نمای دوپوسته دالانی

نمای دالانی از یک حفره جریان هوا تشکیل شده است که در هر سطح طبقه مسدود می‌شود. تهویه نمای دالانی ممکن است به صورت عمودی، افقی یا هر دو صورت گیرد. در نمای خارجی، بازشوهای ورود و خروج هوا به‌منظور جلوگیری از بازیافت مستقیم هوای خروجی از حفره پایینی، نوسان دارند و تاب می‌خورند. در این تحقیق یک نمای دالانی شامل دو دریاچه به ابعاد  $۰.۲۳ * ۰.۴$  متر و با

### ۶-۳-۱-۱- نمای دوپوسته چندطبقه ای

نمای دوپوسته چند طبقه‌ای دارای حفره‌ای است که تقسیم‌بندی افقی و عمودی ندارد. پوسته‌های خارجی و داخلی یک نمای چند طبقه‌ای معمولاً مستقل از یکدیگر هستند. خروج هوا در بالای نما با خاصیت شناوری حرارتی و یا وسایل مکانیکی صورت می‌گیرد. در طول ماه‌های زمستان، حفره نمای دوپوسته آب‌بندی شده و به عنوان یک بافر حرارتی عمل می‌کند. همچنین در پوسته خارجی، دو دریاچه یکی در پایین پنجره و دیگری در سطح سقف مدل‌سازی می‌شوند. ابعاد دریاچه‌های ورودی و خروجی هوا در بالا و پایین  $۰.۲۳ * ۰.۴$  متر هستند

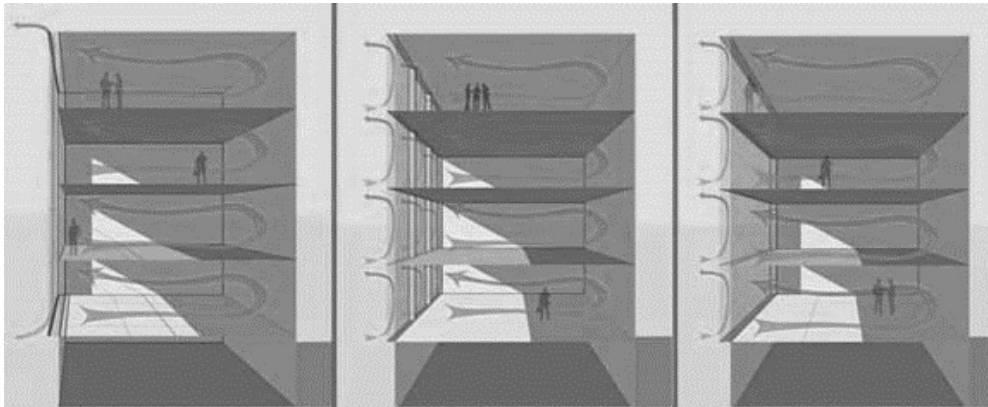
اجرا شده قرار دارد. حفره پنجره جعبه‌ای قابلیت تهویه دارد. در تحقیق حاضر، جعبه‌هایی با ابعاد ۰.۸\*۰.۲\*۳ متر و عمق حفره ۰.۶، ۰.۷ و ۰.۸ متر افزوده شدند. در زمستان، دریچه‌ها بسته می‌شوند. ابعاد ورودی و خروجی هوا در بالا و پایین جعبه‌ها ۰.۴\*۰.۳ متر است.

عمق حفره ۰.۶، ۰.۷ و ۰.۸ متر افزوده شدند.

### ۳-۲-۳-۶- نمای دوپوسته پنجره جعبه‌ای

پنجره جعبه‌ای قدیمی‌ترین شکل نمای دوپوسته است که شامل لایه‌ای شیشه‌ای است که در مقابل یک پنجره

شکل ۱۷: نمودار تهویه طبیعی گونه‌های مختلف نمای دوپوسته در تابستان (دریچه‌ها تابستان: روشن - زمستان: خاموش)



شکل ۱۸: دریچه‌های ورودی و خروجی هوا (تابستان: روشن - زمستان: خاموش)

■ دریچه ورودی ■ دریچه خروجی



جدول ۳: سناریوهای نمای دوپوسته

نمای دوپوسته	عمق حفره ۰.۶ متر	عمق حفره ۰.۷ متر	عمق حفره ۰.۸ متر	
A چندطبقه‌ای	A0/6 	A0/7 	A0/8 	
	B دالانی	B0/6 	B0/7 	B0/8 
		نمای دوپوسته	عمق حفره ۰.۶ متر	عمق حفره ۰.۷ متر
		B0/6	B0/7	B0/8

C0/6



C0/7



C0/8



C

پنجره جعبه‌ای

سقف‌ها کاهش می‌یابد. مقدار  $U$  دیوارهای خارجی مدل پایه برابر ۰.۸ وات بر مترمربع کلون است. در مدل بهینه، افزودن عایق به ضخامت ۰.۳۵ متر ما بین دو لایه دیوار آجری، مقدار  $U$  را به ۰.۲۵ وات بر مترمربع کلون رساند. بام تخت مدل پایه نیز دارای  $U$  برابر ۰.۹ مترمربع کلون است که در مدل بهینه به ۰.۱ کاهش یافت. بازشوها به عنوان عامل دیگر افزایش بار گرمایشی در نمای دوپوسته بهینه شدند. ویژگی‌های پنجره‌های نمای دوپوسته در جدول ۴ به‌طور خلاصه ارائه شده‌اند.

### ۶-۳-۲- مدل‌های بهینه و ساخت و ساز

با توجه به نتایج شبیه‌سازی مدل پایه، ساخت و ساز آن بهینه شد. انتقال حرارتی که به صورت  $U$ -value شناخته می‌شود یکی از مهم‌ترین ویژگی‌هایی است که رفتار انرژی ساختمان را تعریف می‌کند. مقدار  $U$  به عنوان مقدار گرمایی که در یک عنصر خاص در واحد سطح و زمان جریان دارد، درک می‌شود. در این مورد، با افزودن مصالح عایق به لایه‌ها، مقدار  $U$  دیوارها و

جدول ۴: ویژگی‌های بازشوها

	لايه خارجي	لايه داخلي (دوجداره $e_2=1$ ) LoE بیرنگ (۶ میلی‌متر / ۱۳ میلی‌متر آرگون)			
		بیرونی ترین لایه	داخلی ترین لایه		
		تک‌داره بیرنگ ۶ میلی‌متری	LoE ( $e=2$ ) بیرنگ ۶ میلی‌متری		
مرئی	عبور	۰.۸۸	۰.۸۴	۰.۸۸	
	انعکاس	بیرون	۰.۸۸	۰.۰۵	۰.۰۸
		درون	۰.۰۸	۰.۰۷	۰.۰۸
خورشیدی	انتقال	۰.۷۷	۰.۰۶	۰.۷۷	
	انعکاس درون	بیرون	۰.۰۷	۰.۱۷	۰.۰۷
		درون	۰.۲۲	۰.۰۷	۰.۰۷
	رسانایی	۰.۹	۰.۹	۰.۹	
	انتقال حرارت	۵.۱		۰.۴۹	

### ۶-۳-۳- مدل‌های بهینه و بهره برداری

رفتار افراد شامل نحوه استفاده از تجهیزات، باز یا بستن پنجره‌ها، کنترل سیستم ساختمان (به عنوان مثال، سیستم‌های تهویه مطبوع و سیستم‌های روشنایی) توسط پرسنل، مدیریت مناسب و کنترل‌های خودکار، بر مصرف انرژی ساختمان تأثیر زیادی می‌گذارد. این اقدامات به طور مستقیم و غیرمستقیم بر مصرف انرژی (به عنوان مثال، برق، گاز و آب) تأثیر می‌گذارد. رفتار انسان مانند مدت زمان استفاده از تهویه مطبوع، نقاط تنظیم دما و

عادات باز و بسته کردن پنجره‌ها کاملاً متفاوت هستند و این تفاوت‌های رفتاری باعث ایجاد تفاوت‌های زیادی در مصرف برق توسط سیستم‌های خنک کننده در یک ساختمان مسکونی می‌شود. میزان برق مصرفی از ۰ تا ۱۴.۳ کیلووات ساعت بر متر مربع با میانگین ۲.۳ کیلووات ساعت بر متر مربع متغیر است (Peng et al., 2012). در این مورد برخی از عوامل مرتبط با بهره برداری مانند روشنایی، باز و بسته شدن پنجره، دما، تهویه طبیعی، باز و بسته شدن سایبان با کنترل خودکار بهینه می‌شوند. خصوصیات این عوامل رفتاری انسانی در جدول ۵ به‌طور خلاصه ارائه شده‌اند.

جدول ۵: ویژگی‌های عوامل مرتبط با بهره برداری در مدل بهینه

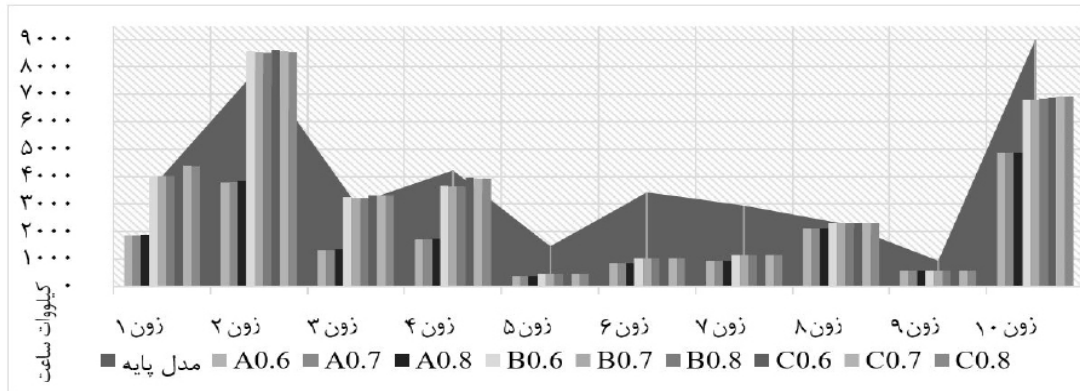
روشنایی	نسبت بازشوها	تهویه	دمای تنظیم شده	سایبان
کنترل خطی خودکار: روشن	پنجره های داخلی ۲۰ درصد باز در هنگام استفاده	طبیعی، در تابستان روشن و زمستان خاموش	کنترل خودکار: روشن	پرده داخلی خودکار: خاموش

#### ۴-۶- نتایج مدل های بهینه

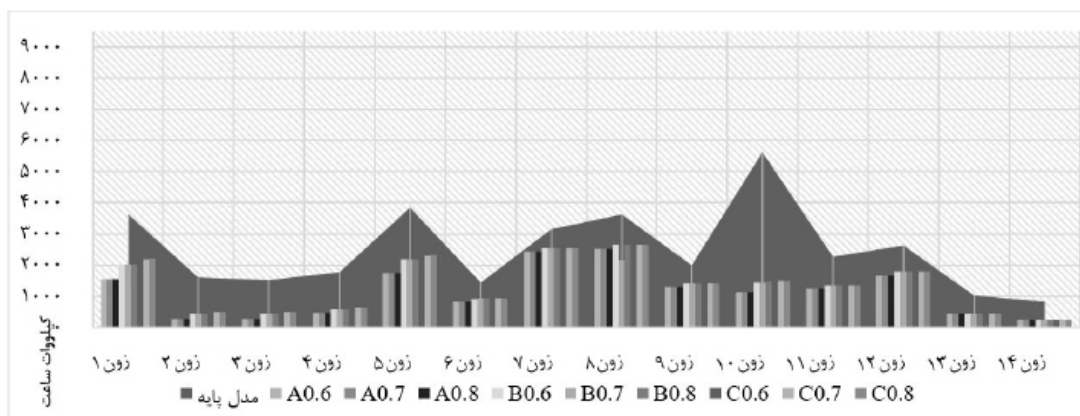
قرار گرفتند. بنابراین، اختلاف بین بار گرمایش زون های شمالی در آلترناتیوها کم است. در طبقه همکف، بیشترین مقدار برای زون های (۱۰ و ۲) و به دلیل مساحت آنها است (شکل ۱۹). طبقه اول و دوم نسبت به طبقه همکف بار گرمایش کمتری دارند چون سیستم تهویه مطبوع زیرزمین خاموش است. شکل ۲۲ مصرف سوخت ماهانه همه سناریوها را نشان می دهد. طبق این نمودار، سه نمای دوپوسته چند طبقه ای (A0.6, A0.7 & A0.8) نسبت به انواع دیگر مصرف انرژی پایینی دارند.

بارگرمایش ماهانه زون های ساختمان در ۹ سناریو و مدل پایه در (شکل های ۱۹ تا شکل ۲۱) به دلیل اهمیت بارگرمایش در اقلیم سرد در نمودار نشان داده شده اند. نتایج شبیه سازی نشان می دهند که تنظیمات پارامترها در سناریوهای بهینه منجر به عملکرد انرژی بهتر مدل پایه می شود و در تمامی طبقات، مدل A0.6 نسبت به سایر مدل ها بار گرمایشی کمتری دارد. زون های جنوبی تمام طبقات بیشتر تحت تأثیر وجود نمای دوپوسته

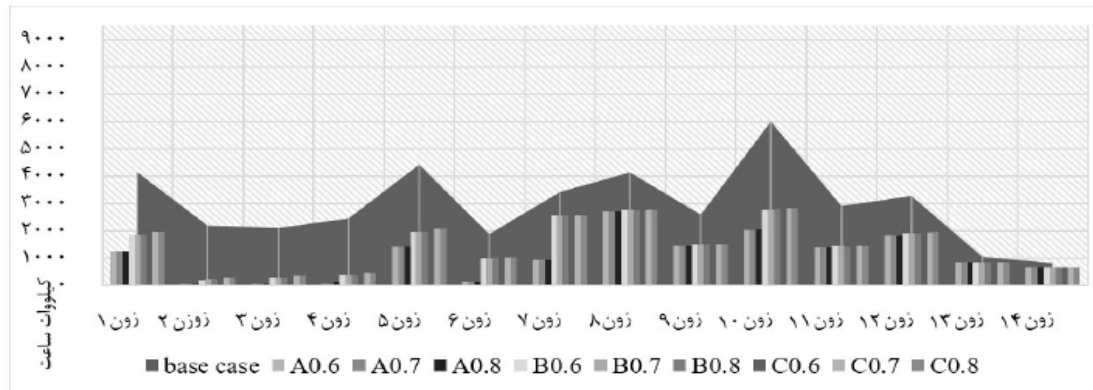
شکل ۱۹: بار گرمایش ماهانه طبقه همکف در تمام سناریوها



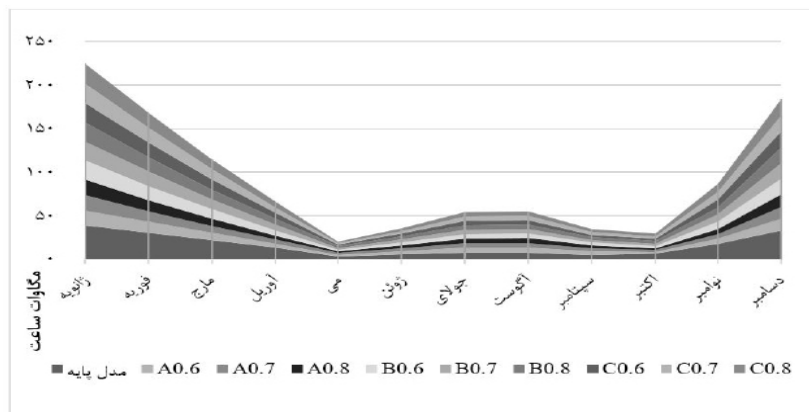
شکل ۲۰: بار گرمایش ماهانه طبقه اول در تمام سناریوها



شکل ۲۱: بار گرمایش ماهانه طبقه دوم در تمام سناریوها



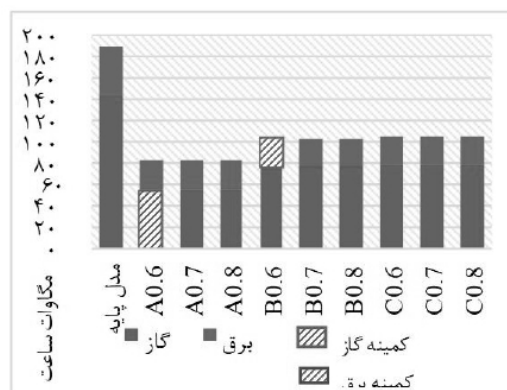
شکل ۲۲: مصرف سوخت ماهانه مدل پایه و مدل های بهینه



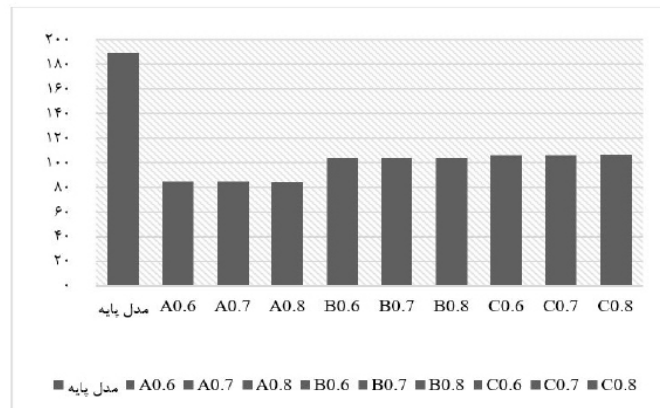
دیگر انرژی کمتری مصرف می کند و کل مصرف گاز و برق سالانه آن ۸۴.۱ مگاوات ساعت معادل ۵۸.۵ کیلووات ساعت بر متر مربع است. با توجه به برچسب انرژی ساختمان های غیرمسکونی در ایران، مدل بهینه شده در رده A (ساختمان سبز) قرار می گیرد. همچنین مصرف کل انرژی مدل پایه ۱۸۹.۶ مگاوات ساعت است و مدل A0.8 کاهشی معادل ۵۵.۶ درصد در مصرف انرژی را نشان می دهد.

نتایج شبیه سازی نشان می دهند که بهبود طراحی، ساخت و بهره برداری مدل پایه تأثیر قابل توجهی بر کاهش مصرف انرژی خواهد داشت. همچنین با بهبود عوامل مرتبط با بهره برداری (کنترل روشنایی، سایبان، بازشوها و نقاط تنظیم دما) مصرف برق به طور قابل توجهی کاهش می یابد. شکل (۲۳) مصرف سالانه گاز و برق را نشان می دهد. مدل A0.6 دارای کمینه مقدار مصرف گاز و مدل B0.6 دارای کمینه مقدار مصرف برق است. مطابق شکل ۲۴ مدل A0.8 نسبت به مدل های

شکل ۲۳: مصرف سالانه گاز و الکتریسیته



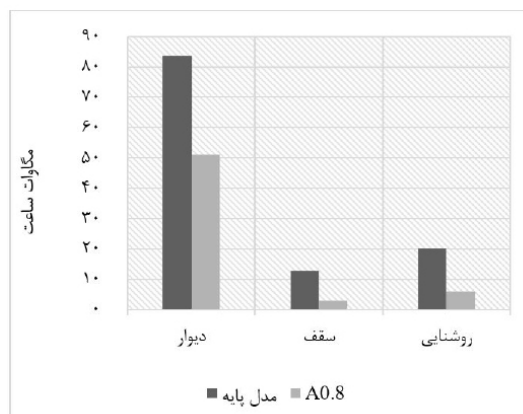
شکل ۲۴: مصرف انرژی سالانه مدل پایه و بهینه



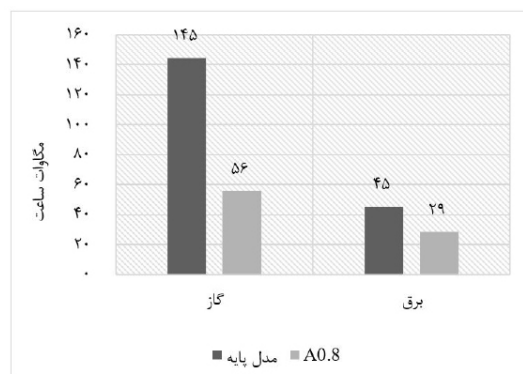
می‌توان دریافت که استفاده از روشنایی خودکار، مصرف برق را تا ۷۰ درصد کاهش می‌دهد. شکل (۲۶) مقایسه مصرف برق و گاز را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آنست که با بهینه‌سازی مدل پایه، مصرف سالانه گاز به میزان ۶۱ درصد و برق به میزان ۰.۳۶ درصد کاهش یافته است.

پس از تعیین مدل بهینه (A0.8) نتایج مقایسه‌ای بین مدل پایه و مدل بهینه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از (شکل ۲۵)، می‌توان دریافت که با کاهش انتقال حرارتی، بار گرمایشی به میزان ۳۸ درصد برای دیوارها و ۷۷ درصد برای سقف‌ها کاهش می‌یابد. همچنین از شبیه‌سازی،

شکل ۲۵: بار گرمایش مدل پایه و مدل بهینه (A0.8)



شکل ۲۶: مقایسه مصرف برق و گاز مدل پایه و مدل بهینه (A0.8)



ارائه شدند. مطالعه موردی ارائه شده در این مقاله، نمونه‌ای از استفاده از ابزار شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان در ساختمان اداری در اقلیم سرد تبریز را

۸. نتیجه‌گیری  
در این تحقیق، ویژگی‌های کلیدی شبیه‌سازی در مراحل مختلف آن در تحقیقات تجربی ساختمان با رویکرد انرژی



گرمایشی کمتر و همچنین مصرف گاز کمتر، بهترین نتیجه را در اقلیم سرد دارند.

- در تابستان، فضای حفره گونه چند طبقه‌ای نیاز به تهویه طبیعی یا مکانیکی بیشتری دارد.

- کنترل خودکار روشنایی، پنجره، دمای تنظیم داخلی، تهویه طبیعی و سایبان به عنوان عوامل مرتبط با بهره‌برداری، مصرف کل انرژی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

- در انواع نمای دوپوسته چند طبقه ای، دالانی و پنجره جعبه ای، بار گرمایش طبقات فوقانی کمتر از طبقات پایینی است.

- استفاده از نمای دوپوسته پنجره جعبه‌ای در نمای جنوبی مدل پایه منجر به مصرف انرژی بیشتری در این اقلیم می‌شود.

لازم به ذکر است که نتیجه کلی و مهمتر این است که دانشجویان، محققان و متخصصان باید واجد مهارت کافی برای استفاده از ابزار شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان در ارزیابی عملکرد و اهداف بهینه‌سازی طراحی باشند. هر مورد طراحی ویژگی‌های خاص خود را دارد که باید با استفاده از نرم افزارهای شبیه‌سازی به خوبی تحلیل شوند.

نشان داد. با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر، که یک رابط کاربرپسند با موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس است، ۹ آلترناتیو مدل‌سازی و سپس در طی روندی شامل سه مرحله طراحی، ساخت و بهره‌برداری بهینه‌سازی شدند. اهم نتایج مطالعه موردی را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- افزودن سه گونه نمای دوپوسته (چند طبقه‌ای، دالانی و پنجره جعبه‌ای) با سه عمق حفره (۰.۶، ۰.۷ و ۰.۸ متر) به نمای جنوبی به عنوان یک راه‌حل طراحی در آزمون بهینه‌سازی نشان می‌دهد مدل (A0.8) با عمق حفره ۰.۸ متر همراه با ویژگی‌های فیزیکی خاص خود، به عنوان یک گونه نمای دوپوسته چند طبقه‌ای، نسبت به سایر آلترناتیوها مصرف انرژی کمتری به میزان ۵۸.۵ کیلووات ساعت بر متر مربع دارد.

- با افزودن گونه‌های مختلف نمای دوپوسته به نمای جنوبی، زون‌های جنوبی بیشتر تحت تأثیر قرار گرفتند.

- با کاهش رسانایی حرارتی به عنوان عوامل مرتبط با ساخت و ساز، بار گرمایشی برای دیوارها به میزان ۳۸ درصد و برای سقف‌ها به میزان ۷۷ درصد کاهش می‌یابد.

- میزان کاهش مصرف انرژی مدل (A0.8) نسبت به مدل پایه ۵۵.۶ درصد محاسبه شد.

- آلترناتیوهای بهینه از نوع چند طبقه‌ای به دلیل بار

## پی نوشت

1. BPESO
2. Science Direct
3. Designbuilder
4. John Holland
5. DOE
6. www.buildingenergysoftwaretools.com
7. Lund Jensen
8. BSim
9. Set point
10. Set back

## REFERENCES

- Anu, M. (1997). Introduction to modeling and simulation, Proceedings of the 29th conference on Winter simulation, p.7-13. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/268437.268440>
- Athienitis, A., O'Brien, W (ed.). (2015). Modeling, Design, and Optimisation of Net-Zero Energy Buildings Solar Heating and Cooling, pp.175-176
- Attia, Sh., Hensen, J. L.M., Beltranc, L., & D. Herde, A. (2011). Selection criteria for building performance simulation tools: Contrasting architects' and engineers' needs, Journal of Building Performance Simulation, 5, 1-15. [https://www.researchgate.net/publication/254220572\\_Selection\\_criteria\\_for\\_building\\_performance\\_simulation\\_tools\\_Contraſting\\_architects%27\\_and\\_engineers%27\\_needs](https://www.researchgate.net/publication/254220572_Selection_criteria_for_building_performance_simulation_tools_Contraſting_architects%27_and_engineers%27_needs)
- Attia, SH., Hamdy, A., O'Brien, W, & Carlucci, S. (2013). Assessing gaps and needs for integrating building performance optimisation tools in net zero energy buildings design, Energy and Buildings J, 60, 110–124. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778813000339>
- Bánóczy, E., & Szeme, P.T. (2014). Simulation-based optimisation in energy efficiency retrofit for office building, IEEE/SICE (International Symposium on System integration), pp.222-227. <https://www.semanticscholar.org/paper/Simulation-based-optimization-in-energy-efficiency-B%C3%A1n%C3%B3czy-Szemes/d69dc29d-137547dae424bd9b26fa776fc2b0a99d>
- Demanuele, C., Tweddell, T., & Davies, M. (2010). Bridging the gap between predicted and actual energy performance in schools, World renewable energy congress XI, pp. 25-30. [https://www.researchgate.net/publication/267967366\\_Bridging\\_the\\_gap\\_between\\_predicted\\_and\\_actual\\_energy\\_performance\\_in\\_schools](https://www.researchgate.net/publication/267967366_Bridging_the_gap_between_predicted_and_actual_energy_performance_in_schools)
- DOE. Building Energy Software Tools Directory. [https://www.buildingenergysoftwaretools.com/?\\_cf\\_chl\\_jschl\\_tk\\_=4BPRcz0hLLilQcx52.STFbrm3LhbKMFnw3Qwth7xdWY-1636035545-0-gaNycGzNCJE](https://www.buildingenergysoftwaretools.com/?_cf_chl_jschl_tk_=4BPRcz0hLLilQcx52.STFbrm3LhbKMFnw3Qwth7xdWY-1636035545-0-gaNycGzNCJE)
- Dooley, K. (2002). Simulation research methods, Baum, J (ed.), Companion to Organizations, Blackwell, London, pp. 829-830
- Farhanieh, B., & Sattari, S. (2006). Simulation of energy saving in Iranian buildings using integrative modeling for insulation, Renewable Energy, 31(4), 417-425. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148105000844>
- Gaetani, I., Hoes, P.J., & Hensen, L. (2016). Occupant behavior in building energy simulation: towards a fit-for-purpose modeling strategy, Energy and Buildings, 121, 188-204. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816301918>
- Garg, H., & Sharma, S. P. (2013). Reliability–redundancy allocation problem of pharmaceutical plant, Journal of Engineering Science and Technology, 8(2), 190 – 198. [https://www.researchgate.net/publication/250306537\\_Reliability\\_redundancy\\_allocation\\_problem\\_of\\_pharmaceutical\\_plant](https://www.researchgate.net/publication/250306537_Reliability_redundancy_allocation_problem_of_pharmaceutical_plant)
- Hensen, J., & Lamberts, L. (ed.), (2011). Introduction to building performance simulation for design and operation, pp. 1-14, spon press, London. [https://www.researchgate.net/publication/270570789\\_Building\\_Performance\\_Simulation\\_for\\_Design\\_and\\_Operation](https://www.researchgate.net/publication/270570789_Building_Performance_Simulation_for_Design_and_Operation)
- H. Hart, G. (2011). Saving energy by insulating pipe components: on steam & hot water distribution systems, ASHRAE J. 53(10), 42-48. [https://www.researchgate.net/publication/294658495\\_Saving\\_Energy\\_by\\_Insulating\\_pipe\\_Components\\_On\\_Steam\\_Hot\\_Water\\_Distribution\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/294658495_Saving_Energy_by_Insulating_pipe_Components_On_Steam_Hot_Water_Distribution_Systems)
- Holland, J. (2000). Emergence: From Chaos to Order, pp.45-52, Oxford University Press.
- Jankovic, L. (2017). Designing Zero Carbon Buildings Using Dynamic Simulation Methods, second edition, Routledge, New York, pp.10-11
- Kuo, W., & Prasad, V.R (2000). An annotated overview of system reliability optimisation. IEEE Transaction on Reliability, (49)2,176-187. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/877336>
- Liang, X., Hong, T., Shen, G.Q. (2016). Occupancy data analytics and prediction: A case study, Building and Environment, 102,179-192. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013231630110X>
- Lund Jensen, R., & Kalyanova, O., Heiselberg, P. (2008). Modeling a naturally ventilated double skin façade with a building thermal simulation program, 8th Nordic symposium, Building physics. [https://www.researchgate.net/publication/237464908\\_Modeling\\_a\\_Naturally\\_Ventilated\\_Double\\_Skin\\_Facade\\_with\\_a\\_Building\\_Thermal\\_Simulation\\_Program](https://www.researchgate.net/publication/237464908_Modeling_a_Naturally_Ventilated_Double_Skin_Facade_with_a_Building_Thermal_Simulation_Program)
- Lusk, G. (2016). Computer simulation and the features of novel empirical data, Studies in History and Philosophy of Science, 56,145-152. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039368115001430>
- M. Samaan, M., Farag, O. & Khalil, M. (2018). Using simulation tools for optimizing cooling loads and daylighting levels in Egyptian campus buildings, Housing and Building National Research Center, (HBRC J),14, 79–92. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S168740481600002X>
- Nguyen, A., Reiter, S. & Rigo, P. (2014). A Preview on simulation-based optimisation methods applied to building performance analysis, Applied Energy, pp. 1043-1058. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261913007058>

- Niu, S. Pan, W., & Zhao, Y. (2016). A virtual reality integrated design approach to improving occupancy information integrity for closing the building energy performance gap, *Sustainable Cities and Society*, 27, 275-286. [https://www.researchgate.net/publication/298897644\\_A\\_virtual\\_reality\\_integrated\\_design\\_approach\\_to\\_improving\\_occupancy\\_information\\_integrity\\_for\\_closing\\_the\\_building\\_energy\\_performance\\_gap](https://www.researchgate.net/publication/298897644_A_virtual_reality_integrated_design_approach_to_improving_occupancy_information_integrity_for_closing_the_building_energy_performance_gap)
- Panas, A., & Pantouvakis, J. P. (2010). Evaluating research methodology in construction productivity studies, *The Built & Human Environment Review J*, 3(1), 70. [https://www.researchgate.net/publication/282715366\\_Evaluating\\_research\\_methodology\\_in\\_construction\\_productivity\\_studies](https://www.researchgate.net/publication/282715366_Evaluating_research_methodology_in_construction_productivity_studies)
- Peng, W., Yang, J., Wagner, F., & Mauzerall, D.L. (2017). Substantial air quality and climate co-benefits achievable now with sectoral mitigation strategies in China. *Sci. Total Environ.* 598, 1076–1084. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717308185>
- Suh, W. J., Park, C. S., & Kim, D. W. (2011). Heuristic vs. meta-heuristic optimisation for energy performance of a post office building. *Proceedings of the 12th conference of international building performance simulation association*, pp. 704-711, Sydney: IBPSA.
- Tian, Z., Zhang, X., Jin, X., Zhou, X., Si, B. & Shi, X. (2018). Towards adoption of building energy simulation and optimisation for passive building design: A survey and a review, *Energy and Buildings J*, 158, 1306-1316. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817317899>
- Tian, Z.C., Chen, W.Q., Tang, P., Wang, J.G, & Shi, X. (2015). Building Energy Optimisation Tools and Their Applicability in Architectural Conceptual Design Stage, *Energy Procedia (78)*, 2572 – 2577. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215020202>
- Wetter, M. (2009). GenOpt, Generic optimisation program - User manual, version 3.0.0. Technical report, LBNL -5419. s. l.: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Wilde, P. De. (2014). The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation, *Automation in Construction*, 41, 40-49. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658051400034X>
- X. W. Zou, P., & Alam, M. (2020). Closing the Building Energy Performance Gap Through Component Level Analysis and Stakeholder Collaborations. *Energy & Buildings Journal*, (224). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778820307842>
- Yan, D., O'Brien, W., Hong T., Feng, X., Gunay, H.B., Tahmasebi, F., & Mahdavi, A. (2015). Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges, *Energy and Buildings*, 107, 264-278. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778815302164>
- Yoshino, H., Hong, T., & Nord, N., (2017). IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods, *Energy and Buildings*, 152, 124-136. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817318716>
- <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/>
- <http://www.sciencedirect.com>

## نحوه ارجاع به این مقاله

نوری‌وند، شیرین، بلیان اصل، لیداء ستارزاده، داریوش، آصفی، مازیار (۱۴۰۰). نشریه معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۱۴ (۳۶)، ۱۱۳-۱۳۱.

DOI: 10.22034/AAUD.2021.214618.2083

URL: [http://www.armanshahrjournal.com/article\\_142354.html](http://www.armanshahrjournal.com/article_142354.html)



## COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open- access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

