

## تأثیر طراحی معمارانه بر مصرف انرژی سرمایشی در اقلیم گرم و مرطوب (مطالعه موردی شهر بندرعباس)

الهه نوری سقرلو<sup>۱</sup>، غزاله نوری سقرلو<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشگاه آزاد اسلامی تهران واحد شهرقدس.

<sup>۲</sup> دانش آموخته ارشد عمران دانشگاه آزاد تهران مرکز.

نام نویسنده مسئول:

الهه نوری سقرلو

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۸

### چکیده

صرفه جویی در مصرف انرژی، به یک اولویت در طراحی معمارانه‌ی ساختمان‌ها، به ویژه در مناطقی با آب و هوای گرم تبدیل شده است. از این رو، انتخاب ویژگی‌های طراحی معمارانه (ADF) مناسب در مرحله اولیه‌ی طراحی، فرصت قابل توجهی را برای مدیریت جریان گرما، جلوگیری از مصرف بیش از حد انرژی و حفظ دمای آسایش برای ساکنین، فراهم می‌کند. در این تحقیق، یک «سیستم ساختاریافته-ی امتیازدهی تأثیر انرژی، مبتنی بر معماری<sup>۱</sup> (AEISS)» توسعه داده شده است. این سیستم شامل هفت ADF کلیدی است که بر اساس داده‌های تعداد بسیاری از معماران باتجربه، شناسایی شده و ۴۰ گزینه مختلف طراحی را در بر می‌گیرند. AEISS، به منظور حمایت از طراحان در انتخاب و ارزیابی، از جمله تحلیل انرژی، از میان انواع طراحی معمارانه که دارای ترکیبی از گزینه‌های طراحی باشند، یک سیستم جامع امتیازدهی تصمیم‌گیری را در بردارد. تحلیل انرژی با استفاده از یک ابزار شبیه سازی (Ecotect®) که با مدل‌های Revit BIM تلفیق شده است، انجام می‌شود. به منظور اعتبارسنجی AEISS، سه گزینه‌ی طراحی برای یک ساختمان مسکونی در اقلیم گرم و مرطوب ایران مورد ارزیابی قرار گرفتند. با استفاده از AEISS می‌توان به طراحی بهینه دست یافت. این پژوهش، یک رویکرد تصمیم‌گیری علمی برای تعیین کمیت گزینه‌های طراحی، در عین کاهش نقش ذهنیت طراحان در فرآیند ارزیابی را ارائه می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** مصرف سرمایشی، ویژگی‌های طراحی، سیستم امتیازدهی، اقلیم گرم و مرطوب، طراحی پایدار، مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM)، شبیه سازی انرژی، Ecotect.

<sup>۱</sup> Architectural based-Energy Impact Scoring

## مقدمه

مصرف انرژی بخش ساختمان سازی، پیوسته در حال رشد بوده و حدود ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. نسبت قابل توجه ۳۷ درصد از کل انرژی در بخش ساختمان سازی در ایالات متحده آمریکا، برای سیستم های گرمایش و تهویه هوا استفاده می شود. حدود ۵۰ درصد از نیروی برق، در ساختمان های مسکونی مصرف می شود. علاوه بر این، بیش از ۷۰ درصد ساختمان های مسکونی ایران، فاقد عایق حرارتی مناسب و راه حل های معمارانه برای کاهش مصرف انرژی در دستگاه های سرمایشی هستند. همچنین برآورد می شود که راه حل های مطلوب معماری می توانند حدود ۲۵۰ میلیون بشکه نفت را که معادل یک دوره ۵ ساله است، ذخیره کنند. در بندر عباس (به عنوان یک مورد خاص از منطقه ای دارای اقلیم گرم)، که مشخصه ای اقلیم بسیار گرم آن، ترکیبی از دمای بالا، رطوبت بالا و بارندگی زیاد است، تقاضای بسیار زیادی برای بار انرژی سرمایشی در ساختمان ها، به منظور حفظ آسایش حرارتی ساکنین، وجود دارد. این تقاضا، طراحان معماری را ناچار می سازد که از راه حل های طراحی معدودی استفاده کرده و از بسیاری از راه حل ها صرف نظر کنند. برای مثال، برخی از معماران که ساختمان هایی با نمای شفاف فانتزی طراحی می کنند، باید هزینه ی بار اضافی HVAC<sup>۲</sup> را در طراحی خود مدنظر قرار دهند. از منظر پایداری، ساختمان هایی با کارایی بالا، همواره به دنبال کاهش بارهای حرارتی مورد نیاز تا حد ممکن، و پاسخگویی هر چه کارآمدتر به این بارها بوده اند.

مصرف انرژی، یکی از مهمترین موضوعات پیرامون ساختمان های سبز است و می تواند اثر قابل توجهی بر کاهش هزینه های اجرایی داشته باشد. از این رو، محققان بسیاری نتیجه گرفته اند که لزوم کاهش مصرف انرژی، مهمترین جنبه ی مرحله ی اولیه ی طراحی ساختمان است. به منظور ارتقای فرایند اولیه ی طراحی ساختمان، تلفیق ابزارهای نوآورانه ی مورد استفاده در محیط های دیجیتال داده ای، می تواند پتانسیل عظیمی برای یافتن راه حل های بهینه برای تبادل انرژی بار حرارتی داشته باشد. از ابزارهای شبیه سازی مدل سازی اطلاعات ساختمانی (BIM)، می توان در جهت پیش بینی عملکرد انرژی استفاده کرد.

هدف اصلی این پژوهش، توسعه ی یک سیستم امتیازدهی تاثیر انرژی، مبتنی بر معماری (AEISS)، به منظور ارزیابی گزینه های طراحی در مرحله ی اولیه ی طراحی معماری است. نمونه ی موردی شامل سه مدل طراحی مختلف، با استفاده از AEISS و نرم افزار BIM Revit مورد ارزیابی قرار گرفتند. به منظور اعتبارسنجی نتایج AEISS، این سه مدل وارد ابزار شبیه سازی انرژی Ecotect شدند تا تحلیل مصرف انرژی HVAC روی آنها انجام گیرد.

## مرور ادبیات

### عوامل تاثیرگذار بر مصرف انرژی

عوامل بسیاری وجود دارند که بر مصرف انرژی در ساختمان ها اثرگذار بوده، و بسیاری از این عوامل را می توان به گونه ای مدیریت کرد که بهره وری انرژی ساختمان ارتقا یابد. برای مثال، جداری ساختمان، عهده دار ۲۵ درصد از انرژی ساختمان بوده و به طور کلی، بر تبادل حرارتی میان ساختمان و محیط پیرامونش اثرگذار است. یوشینو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۷) استدلال می کنند که شکل جداره، یکی از فنی ترین و فیزیکی ترین عواملی است که بر مصرف انرژی تاثیرگذار است. فرارا<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل بهینه سازی تک منظوره را با هدف کاهش تقاضای انرژی، با استفاده از متغیرهای مربوط به جداره ی ساختمان (نظیر ضخامت عایق، نوع شیشه، ابعاد پنجره، و تجهیزات سایه اندازی در برابر نور خورشید) توسعه داده اند. ناتفرا<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، یک سیستم پشتیبانی از تصمیم گیری برای طراحان پیشنهاد داده اند تا بتوانند مصالح مناسب جداره را با هدف طراحی یک ساختمان کارآمد-بهینه، انتخاب کنند.

<sup>۲</sup> مجموعه فن آوری های مربوط به گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع

<sup>۳</sup> Yoshino

<sup>۴</sup> Ferrara

<sup>۵</sup> Natephra

علاوه بر این، جهت‌گیری صحیح ساختمان، یکی از عوامل اصلی انرژی است؛ چرا که ساختمان می‌تواند گرمای خورشیدی زیادی را دریافت کند. بنابراین، در اقلیم‌های گرم، پنجره‌های رو به جنوب باید نور را از خود عبور داده و گرما را بارتاب دهند؛ در حالی که در اقلیم‌های سرد، پنجره‌ها باید گرمای خورشید را به داخل هدایت کرده و در برابر سرما، عایق باشند. آکسوی و اینالی<sup>۶</sup> (۲۰۰۶) بیان می‌کنند که بهینه‌سازی صحیح جهت‌گیری و شکل ساختمان، می‌تواند منجر به ذخیره‌ی انرژی تا ۳۶ درصد در ساختمان‌ها شود. این در حالیست که آباندا و بیرز<sup>۷</sup>، دریافتند که بهترین جهت‌گیری ساختمان برای کاهش گرما، (+۱۸°) و بدترین آن (+۴۵°) است.

شیشه‌ی پنجره‌ها، به دلیل مقدار U بسیار بالاتر نسبت به سایر اجزای جداره‌ی ساختمان، عهده‌دار مقدار زیادی از انرژی هستند. به گفته‌ی جیل و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۲)، حدود ۶۰ درصد از کل مصرف انرژی در ساختمان‌ها، مربوط به پنجره‌ها است. درصد و شکل کاربرد شیشه در نما نیز بر مصرف انرژی تأثیرگذار است. شیشه، یکی از اساسی‌ترین مصالح برای احداث ساختمان‌هایی با مصرف انرژی کم بوده و برای ارتقای پایداری ساختمان‌ها، مهم است. برای مثال، نماهای شیشه‌ای، اجازه می‌دهند که نور طبیعی وارد ساختمان شود، که خود منجر به کنترل ورود یا خروج حرارت خورشیدی، بسته به مساحت، شکل و مشخصات شیشه می‌شود.

### ابزارهای شبیه‌سازی انرژی BIM

انجام تحلیل‌های انرژی توسط تیم طراحی در مراحل اولیه، ضروری است؛ چرا که شناسایی راه‌های ارتقای صرفه‌جویی در انرژی را ممکن می‌سازد. فناوری BIM، امکان دسترسی مقرون به صرفه به طیف کاملی از ابزارهای تصمیم‌گیری درباره‌ی طراحی تعاملی ساختمان را که به منظور حفظ بیشتر انرژی استفاده می‌شود، برای مالکان و تیم طراحی، فراهم می‌کند. از آنجایی که BIM قابلیت ذخیره‌سازی، به روزرسانی و استخراج داده‌هایی را دارد که می‌توانند در طول مرحله‌ی طراحی - با هدف ارتقای فرایند تصمیم‌گیری- تحلیل شوند، توانایی بهره‌گیری از اطلاعات ذخیره شده در این مدل‌ها برای شبیه‌سازی انرژی را نیز دارد. BIM، روشی کارآمد برای امکان‌پذیر کردن طراحی یکپارچه‌ی مدل و ارزیابی شبیه‌سازی انرژی در طول فرایند چرخه‌ی عمر ساختمان را ارائه می‌دهد. تلفیق یک مدل BIM با یک ابزار تصمیم‌گیری، به اتخاذ تصمیمات مفید در مراحل آغازین پروژه کمک کرده و امکان تحلیل دقیق پایداری را با مراجعه به داده‌های حقیقی پروژه، فراهم می‌کند. چنین رویکردی، طراحان را قادر می‌سازد تا با گنجاندن تصمیم‌گیری‌های مقرون به صرفه در طراحی خود، گزینه‌های طراحی انرژی را ارتقا دهند.

ابزارهای BIM، قابلیت عظیمی دارند که به طراحان در شبیه‌سازی انرژی کمک کرده و می‌توانند به منظور تقویت تکنیک‌های بهینه‌سازی، به کار روند. ابزارهای مدلسازی انرژی BIM، تحلیل و مقایسه‌ی استفاده از انرژی در طول طراحی را آسان‌تر کرده و در طول چرخه‌ی عمر ساختمان، به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای متخصصان عمل می‌کنند. لی<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۵) از مدل Revit BIM برای بررسی تأثیر زیست محیطی مصالح ساختمانی در چرخه‌ی عمر ساختمان‌ها در کره، استفاده کردند. علاوه بر این، پنگ<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۶) Revit را با Ecotect تلفیق کرد تا میزان انتشار گاز CO2 برای تمام چرخه‌ی عمر، تخمین بزند. آباندا<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ی اخیر خود، با تلفیق Revit، Navisworks و Excel، انرژی نهان و انتشار کربن دی اکسید را شبیه‌سازی کردند. با این حال، هیچ یک از محققان پیشین، اثر ADFهای کلیدی بر مصرف انرژی در اقلیم‌های گرم را مورد مطالعه قرار نداده‌اند.

<sup>6</sup> Aksoy and Inalli

<sup>7</sup> Abanda and Byers

<sup>8</sup> Jelle et al

<sup>9</sup> Lee

<sup>10</sup> Peng

<sup>11</sup> Abanda

## روش تحقیق

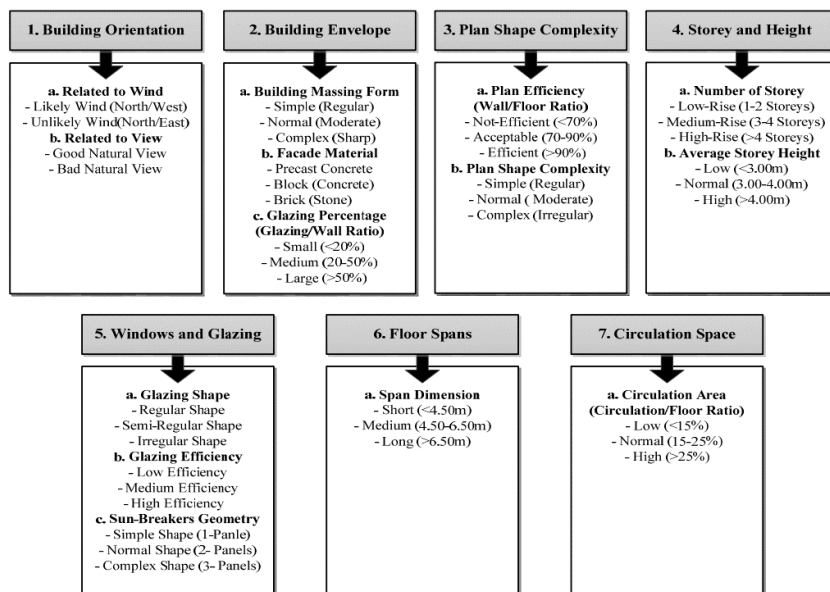
به منظور توسعه‌ی یک سیستم امتیازدهی ساده‌سازی شده که به معماران در انتخاب یک طراحی بهینه‌ی مربوط به انرژی کمک کند، روش تحقیق به شرح زیر خواهد بود:

- شناسایی ADF‌های کلیدی و سپس توسعه‌ی مجموعه‌ای از طبقه‌بندی‌ها و گزینه‌های طراحی برای هر ADF؛
- توسعه‌ی سیستم امتیازدهی پیشنهادی با ارزیابی اثر هر گزینه‌ی طراحی روی عملکرد انرژی، مبتنی بر ورودی‌های پزل معماران متخصص؛
- ایجاد و ارزیابی گزینه‌های مختلف طراحی با استفاده از یک نمونه مطالعاتی واقعی از یک ساختمان مسکونی در بندر عباس
- ساخت مدل‌های BIM برای گزینه‌های طراحی با استفاده از نرم افزار RevitT، به منظور تحلیل با استفاده از شبیه‌سازی انرژی؛
- انجام تحلیل‌های بار حرارتی با استفاده از Ecotect، به منظور ارزیابی گزینه‌ها از نظر بهره‌وری انرژی؛ و
- مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی با خروجی‌های AEISS از نظر بارهای سرمایشی، و مقرون به صرفه بودن هزینه‌های ماهانه.

## سیستم امتیازدهی اثر انرژی، بر مبنای معماری (AEISS)

### ویژگی‌های طراحی معمارانه (ADF‌ها)

این تحقیق، به منظور بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، و بر اساس ادبیات و مصاحبه‌های ساختاریافته با ۱۰ متخصص از ۷ شرکت مختلف در ایران، سه ADF را در مرحله‌ی طراحی اولیه شناسایی می‌کند که اثر قابل توجهی روی مصرف بارهای سرمایشی در اقلیم‌های گرم و مرطوب دارند. متخصصان منتخب، دارای سطوح تحصیلی متفاوت و طیف گسترده‌ای از تخصص‌ها بوده و هر یک از ۱۰ تا ۲۵ سال در طراحی و ساخت ساختمان‌های سبز برای بخش عمومی و خصوصی، تجربه دارند. در طول مصاحبه‌ها، از متخصصان خواسته شد که ADF‌های کلیدی که بیشترین تاثیر را بر عملکرد انرژی دارند، انتخاب کنند. متخصصان، ۷ ADF را از میان ۱۲ ADF مشخص شده، انتخاب کردند. این ۷ ADF عبارتند از: ۱- جهت گیری ساختمان، ۲- جداره‌ی ساختمان، ۳- شکل و پیچیدگی نقشه، ۴- طبقات و ارتفاع، ۵- پنجره‌ها و شیشه‌ها، ۶- بستر کف و ۷- فضای جریان. علاوه بر این، هر ویژگی طراحی، چندین دسته‌بندی، و هر دسته بندی، گزینه‌های ممکن متعددی دارد. ADF‌ها، جنبه‌ها (دسته‌بندی‌ها) و گزینه‌ها، در شکل ۱ نشان داده شده است. AEISS پیشنهادی، در مجموع دارای ۴۰ گزینه‌ی ویژگی طراحی است که برای تمام ملاحظات طراحی، جهت‌گیری‌ها و توسعه‌های ممکن برای سه نوع ساختمان، مناسب هستند: ۱- ساختمان‌های مسکونی، ۲- ساختمان‌های تجاری و ۳- ساختمان‌های آموزشی.



شکل ۱، ویژگی‌های طراحی معمارانه (ADFها) و گزینه‌های طراحی مربوطه

### اندازه‌گیری اثر ADFها بر انرژی

برای تعیین نقش هر گزینه‌ی ADF از نظر مصرف انرژی، از یک مقیاس ۵ امتیازی نشان داده شده در جدول ۱، استفاده شد. این مقیاس، هم اثرات منفی و هم مثبت، و همچنین درجه‌ی اثر را با استفاده از حروف (VL، L، M، H، VH) و اعداد معادل آن، مشخص می‌کند. برای مثال، اثر بسیار زیاد مثبت، به معنای یک اثر با امتیاز +۰٫۹ است؛ در حالی که یک اثر بسیار زیاد منفی، به معنای یک اثر با امتیاز -۰٫۹ است. ده معیار متخصص، با استفاده از این مقیاس، امتیازهای گزینه‌های ADF را ارزیابی کردند. این ارزیابی، بر اساس مشخصات اقلیم گرم و مرطوب انجام شد. میانگین امتیازات برای ارزیابی‌های هر متخصص محاسبه و تا نزدیکترین نقطه در مقیاس، تنظیم شد تا ارزیابی‌های نهایی برای گزینه‌های ADF تعیین شوند.

جدول ۱، مقیاس پنج امتیازی ارزیابی

| No. | Scale          | Discription                          | Positive Impact | Value | Negative Impact | Value | Importance Value |
|-----|----------------|--------------------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|------------------|
| 1   | Very High (VH) | Extremely Important /Reliable/Severe | (+VH)           | +0.90 | (-VH)           | -0.90 | 5                |
| 2   | High (H)       | Very Important/Reliable/Severe       | (+H)            | +0.70 | (-H)            | -0.70 | 4                |
| 3   | Medium (M)     | Important/Reliable/Severe            | (+M)            | +0.50 | (-M)            | -0.50 | 3                |
| 4   | Low (L)        | Somewhat Important/Reliable/Severe   | (+L)            | +0.30 | (-L)            | -0.30 | 2                |
| 5   | Very Low (VL)  | Not Important/Reliable/Severe        | (+VL)           | +0.10 | (-VL)           | -0.10 | 1                |

نتایج ارزیابی ADFها در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، «جهت‌گیری ساختمان» با شاخص اهمیت ۸۵ درصد، قابل توجه‌ترین اثر را روی مصرف انرژی دارد. این بدان علت است که جانمایی مناسب ساختمان در ارتباط با خورشید، به خصوص در مناطق گرم، با کاهش بارهای سرمایشی مورد نیاز، بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهد. در مقابل، «بستر کف» و «طبقات و ارتفاع»، ویژگی‌های طراحی با کمترین اثر هستند و شاخص اهمیت آنها ۷۳٫۳۳ درصد است. به طور معمول، برای مثال، افزایش بستر کف و مساحت، تنها یک ملاحظه‌ی استفاده‌ی عملکردی هستند و ارتباط زیادی با مصرف انرژی ندارند.

## جدول ۲، خلاصه‌ی شاخص‌های اهمیت ADFها

| No. | ADF                       | Number of Assessments | Importance Index (%) | Rank |
|-----|---------------------------|-----------------------|----------------------|------|
| 1   | Building Orientation      | 4                     | 85.00                | 1    |
| 2   | Building Envelope         | 9                     | 75.56                | 5    |
| 3   | Plan shape and Complexity | 6                     | 83.33                | 2    |
| 4   | Storey and Height         | 6                     | 73.33                | 6    |
| 5   | Window Glazing            | 9                     | 82.22                | 3    |
| 6   | Floor Spans               | 3                     | 73.33                | 6    |
| 7   | Circulation Space         | 3                     | 80.00                | 4    |

## پیااده‌سازی و اعتبارسنجی AEISS

## نمونه مطالعاتی و مدل‌های سه بعدی BIM

به منظور پیاده‌سازی و اعتبارسنجی AEISS پیشنهادی، ابتدا یک نمونه مطالعاتی واقعی شامل سه گزینه‌ی پروژه‌ی طراحی مجموعه مسکونی در شهر بندر عباس (هرمزگان) انتخاب می‌شود. مساحت سایت پروژه، ۳۵۰۰ مترمربع است و سه ساختمان یک طبقه که رو به خیابان اصلی هستند، در اطراف آن قرار دارند. سپس مدل‌های سه بعدی BIM مربوط به گزینه‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Rivet ساخته شده و به منظور انجام تحلیل بارهای سرمایشی HVAC، با تحلیل Ecotect تلفیق می‌شوند (شکل ۲). نتایج این شبیه‌سازی، با سیستم AEISS مقایسه شده تا کاربست‌پذیری آن به عنوان یک سیستم امتیازدهی برای بهینه‌سازی مصرف بارهای سرمایشی در مناطقی با اقلیم گرم، آزموده شود.

سه گزینه‌ی طراحی مختلف (A، B و C) ساختمان ویلایی، بر اساس الزامات عملکردی مشتری پیشنهاد شده و از نظر مصرف انرژی، مورد ارزیابی قرار گرفتند. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، هر گزینه شامل ۲۲۴۷ متر مربع مساحت ناخالص زیربنا، نقشه‌ی ۳ طبقه، ۱۰۱ فضا، ۱۸ ساکن و ۱۴ پارامتر طراحی است.



## شکل ۲، مدل‌های BIM و پارامترهای طراحی برای جنبه‌های مختلف گزینه‌های طراحی

هر گزینه‌ی طراحی، امتیاز خود را دارد که مجموع امتیازات اثر ترکیب آن است. همانطور که نشان داده شده است، گزینه‌ی طراحی C دارای بالاترین امتیاز، یعنی ۳،۰۰ است؛ در حالی که گزینه‌های A و B به ترتیب امتیازات ۲،۸۰ و ۲،۴۰ را کسب کرده‌اند. امتیازات منفی گزینه‌های A و B بیانگر آن است که هر دوی این طراحی‌ها مصرف انرژی بسیار بالایی داشته و نیازمند بارهای سرمایشی بیشتری برای رسیدن به آسایش حرارتی هستند. بنابراین، طراحی C بهترین گزینه است که به بارهای سرمایشی کمتری نیاز دارد.

پس از وارد کردن مدل‌های گزینه‌ها و فایل‌های داده‌های آب و هوایی شهر جده در Ecotect، ویژگی‌های حرارتی به گونه‌ای تنظیم شدند که بیانگر بارهای حرارتی طراحی و میزان انرژی خنک‌کننده‌ی مورد نیاز برای رسیدن به سطح آسایش

بودند. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، گزینه‌ها شرایط طراحی یکسانی از نظر مکان، داده‌های آب و هوایی، تعداد طبقات و فضاها، مساحت ناخالص زیربنا و سطح اشغال، محدوده‌ی ترموستاتی و ساعات فعالیت HVAC دارند. در عین حال، مولفه‌های ADFها نظیر ارتفاع و حجم ساختمان، درصد کارایی نقشه، مساحت شیشه‌ی به کار رفته و فضای جریان، مختلف بوده و از گزینه‌ای به گزینه‌ی دیگر، متفاوت است. هدف از ایجاد یک محیط داخلی مشابه، اندازه‌گیری اثر تغییرات ADFها بر مصرف انرژی و همچنین اعتبارسنجی AEISS است.

جدول ۳، ویژگی‌های فیزیکی طراحی و خصوصیات تحلیل انرژی

| معیار تحلیل                | طراحی A                                                                              | طراحی B          | طراحی C          |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|
| آب و هوا/ موقعیت           | بندر عباس/ هرمزگان                                                                   |                  |                  |
| نوع ساختمان                | مجتمع مسکونی                                                                         |                  |                  |
| مساحت سایت                 | ۴۴۰۰ متر مربع                                                                        |                  |                  |
| تعداد طبقات                | نقشه‌های ۳ طبقه (طبقه همکف، طبقه اول و طبقه زیر بام)                                 |                  |                  |
| تعداد فضاها                | ۱۰۳ فضا (۸۹ فضای خنک شونده و ۱۴ فضای غیر خنک شونده)                                  |                  |                  |
| مساحت ناخالص زیربنا        | ۲۵۴۷ متر مربع                                                                        |                  |                  |
| ارتفاع کل طبقات            | ۱۱،۴ متر                                                                             | ۱۲،۶ متر         | ۱۴،۰۵ متر        |
| حجم فضاهای خنک شونده       | ۹۶۱۰ مترمکعب                                                                         | ۱۰۷۸۴ متر مکعب   | ۱۲۱۷۲ متر مکعب   |
| مساحت دیوارهای خارجی       | ۱۷۸۲،۰۵ متر مربع                                                                     | ۲۵۱۱،۷۰ متر مربع | ۲۷۹۸،۶۱ متر مربع |
| درصد بازده نقشه            | ۷۰ درصد                                                                              | ۹۸،۶۱ درصد       | ۱۰۹،۸۸ درصد      |
| مساحت شیشه‌های به کار رفته | ۴۶۰،۰۲ متر مربع                                                                      | ۵۷۳،۴۷ متر مربع  | ۵۰۲،۰۶ متر مربع  |
| درصد شیشه‌های به کار رفته  | ۲۵،۸۱ درصد                                                                           | ۲۲،۸۳ درصد       | ۱۷،۹۴ درصد       |
| مساحت فضای جریان           | ۸۶۴ متر مربع                                                                         | ۶۷۵ متر مربع     | ۶۰۳ متر مربع     |
| درصد مساحت جریان           | ۳۳،۲۲ درصد                                                                           | ۲۶،۵ درصد        | ۲۳،۶۷ درصد       |
| تعداد ساکنان ساختمان       | ۱۸ نفر (بی تحرک - ۷۰ وات خروجی گرمایی بیولوژیک هر کدام)                              |                  |                  |
| شرایط داخلی                | رطوبت ۶۰ درصد، سرعت باد ۰،۵ متر بر ثانیه، سطح روشنایی ۳۰۰ lux                        |                  |                  |
| نرخ نفوذ (تبادل هوا)       | نرخ تغییر هوا (۰،۵ بر ساعت)، حساسیت به باد (۰،۲۵ بر ساعت)                            |                  |                  |
| سیستم فعال                 | فقط سرمایشی (با کارایی ۹۵ درصد)                                                      |                  |                  |
| طیف ترموستاتی              | کران پایین: ۱۸ درجه سانتی گراد، کران بالا: ۲۶ درجه سانتی گراد                        |                  |                  |
| ساعات فعالیت HVAC          | روزهای هفته (از ۵ بعداز ظهر تا ۷ صبح)، پایان هفته (از ۱۰ بعد از ظهر تا ۴ بعد از ظهر) |                  |                  |
| تعداد ساعات                | روزهای هفته: ۱۴ ساعت/روز، پایان هفته‌ها: ۱۸ ساعت/روز، ۱۰۶ ساعت/هفته                  |                  |                  |

### تحلیل بارهای حرارتی و Ecotect

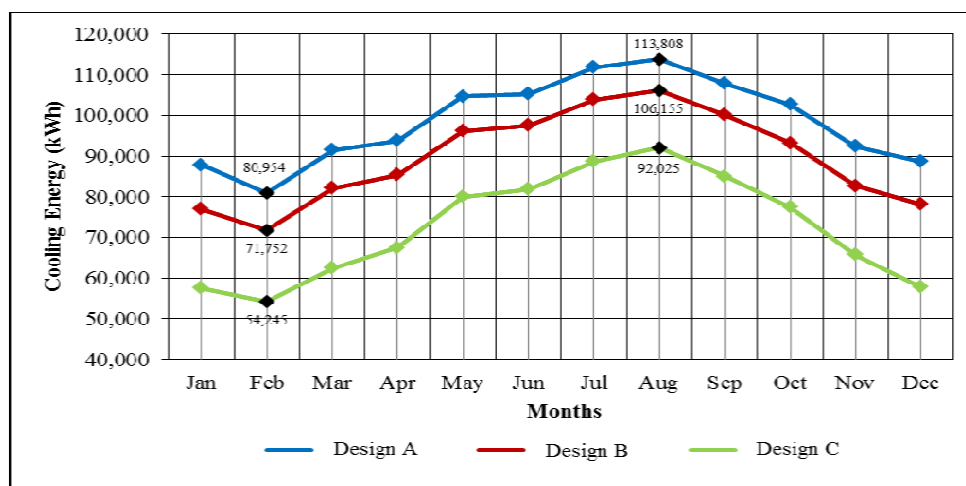
تحلیل بار حرارتی، به منظور محاسبه‌ی مقدار انرژی مورد نیاز برای اضافه (در مناطقی با اقلیم گرم) یا کم شدن (در مناطقی با اقلیم سرد) از فضای ساختمان توسط سیستم HVAC و تامین آسایش ساکنین، انجام می‌شود. از منظر پایداری، ساختمان‌هایی با کارایی بالا، همواره در پی کاهش بارهای حرارتی مورد نیاز تا حد امکان و تامین این بارها به کارآمدترین شکل ممکن، هستند. محیط نرم‌افزار تحلیل Ecotect، به عنوان یک ابزار تحلیل تعاملی عمل می‌کند که به طراحان ساختمان این امکان را می‌دهد تا عملکرد ساختمان را از مرحله‌ی طراحی مفهومی تا ارزیابی گزینه‌ها، شبیه‌سازی کنند. این فرایند می‌تواند به طراح در کاهش بارهای حرارتی، دستیابی به آسایش گرمایی و تبدیل هزینه‌های بارهای حرارتی به هزینه‌های ماهانه، کمک کند. پس از تدوین گزینه‌های طراحی، می‌توان خروجی مدل‌های سه بعدی BIM را به آسانی با فرمت gbXML دریافت و برای فرایند



شبیه‌سازی، مستقیماً وارد نرم افزار Ecotect کرد. بر اساس مدل‌های سه بعدی BIM و فایل داده‌های مکانی آب و هوا، می‌توان توده‌ها را با تحلیل سایت در Ecotect ترکیب کرد تا ساختمان، جهت‌گیری، مصالح و شیشه‌های پنجره‌های ساختمان را بر اساس عوامل زیست محیطی و طراحی، ارزیابی کرد.

### تحلیل هزینه و مصرف بارهای انرژی سرمایشی بر اساس BIM

شبیه‌سازی ماهانه بارهای خنک‌کننده، با استفاده از معیارهای تحلیل طراحی موجود در جدول ۳، انجام شد. بیشترین و کمترین مقادیر مصرف بارهای سرمایشی گزینه‌های طراحی، در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل، نشان داده شده است که کمترین مقدار مورد نیاز بار سرمایشی برای رسیدن به منطقه‌ی آسایش، برای تمامی گزینه‌ها در ماه فوریه رخ می‌دهد؛ در حالی که در آگوست، بیشترین مقدار بار سرمایشی مورد نیاز است. بنابراین، بهینه‌سازی ترکیب ADFها، اثر قابل توجهی نسبت به تاثیر روزهای ماه، در کاهش مصرف سرمایشی دارد. برای مثال، ترکیب AFDهای مناسب طراحی C، تنها ۹۲۰۲۵ کیلووات ساعت مصرف دارد، در حالی که مصرف طراحی A در آگوست ۱۱۳۸۰۸ کیلووات ساعت است و در طول یکماه، ۲۱۷۸۳ کیلووات ساعت کاهش دارد.



شکل ۳، بیشترین و کمترین مصرف بارهای خنک‌کننده

طراحی C، به عنوان تاییدی برای نتایج AEISS پیشنهادی، بهترین گزینه‌ی طراحی از نظر بهره‌وری انرژی است و تنها ۸۷۰۳۲۲ کیلووات ساعت بار سرمایشی در سال مصرف کرده است. طراحی C موجب صرفه‌جویی نسبت به طراحی A و صرفه‌جویی نسبت به طراحی B در هر سال می‌شود. بنابراین، بهینه‌سازی موثر ADFها در مراحل اولیه‌ی طراحی، راه‌حلی را در اختیار قرار می‌دهد که دارای مصرف کمتر انرژی و هزینه‌های ارزانه‌تر هستند.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله، ۷ ADF شناسایی شده و برای توسعه‌ی یک سیستم امتیازدهی اثر انرژی مبتنی بر معماری (AEISS)، ارزیابی شدند. با استفاده از یک مقیاس ارزیابی ۵ امتیازی و مصاحبه با ۱۰ معمار متخصص، مشخص شد که سه ADF دارای بیشترین تاثیر روی بارهای سرمایشی در اقلیم گرم و مرطوب، هستند: ۱- جهت‌گیری ساختمان، ۲- شکل و پیچیدگی نقشه و ۳- شیشه‌های پنجره‌ها. به منظور تسهیل ارزیابی طراحی‌ها، ۴۰ گزینه‌ی طراحی تعریف شده و برای تدوین AEISS، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمونه‌ی مطالعاتی واقعی پروژه‌ی طراحی سه گزینه‌ی طراحی ویلا مسکونی در بندرعباس، در نظر گرفته شد. این گزینه‌ها، شرایط طراحی یکسانی از نظر موقعیت، داده‌های آب و هوایی، تعداد طبقات و فضاها، مساحت ناخالص کف و تعداد ساکنین، طیف ترموستاتی و ساعات فعالیت HVAC داشتند تا بتوان تاثیر تغییرات ADFها را نشان داد. مدل‌های سه



بعدی Revit BIM گزینه‌ها و ابزار شبیه‌سازی انرژی Ecotect به منظور برآورد بارها و هزینه‌ی ماهانه‌ی انرژی سرمایه‌ی برای سه گزینه، با هم تلفیق شدند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که طراحی C تنها ۸۷۰۳۲۲ کیلووات ساعت بار سرمایه‌ی مصرف می‌کند و موجب کاهش هزینه‌ها می‌شود. این نتایج با خروجی‌های AEISS پیشنهادی همسو بوده و اثبات کردند که این سیستم می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند پشتیبان تصمیم‌گیری عمل کند که به تیم طراحی در ارائه‌ی توصیه‌های سیستماتیک تصمیم‌گیری به مشتریان پروژه، کمک می‌کند. علاوه بر این، این سیستم می‌تواند به طراحان در انتخاب بهترین گزینه‌های طراحی معماری و همچنین بهینه‌سازی و به حداقل رساندن تقاضاهای بار سرمایه‌ی در پروژه‌های ساختمانی کمک کند. این امر به معماران/مهندسان کمک می‌کند تا به راه‌حل‌های پایدار طراحی دست یافته و همچنین از افزایش هزینه‌های انرژی در مرحله‌ی بهره‌برداری از ساختمان‌ها، جلوگیری کنند.

## منابع و مراجع

- [1] International Energy Agency (IEA), International Standards to develop and promote energy efficient and renewable energy sources. International Organization for Standardization (IEA-ISO), Special ISO Focus-World Energy Congress, (2012) 5-10.
- [2] Abel, C., & Foster, N. (2012). *Architecture and identity*: Routledge.
- [3] Abunimah, A. (2012). *Iraq under siege: The deadly impact of sanctions and war*: South End Press.
- [4] Ali-Toudert, F., Ji, L., Fährmann, L., & Czempik, S. (2019). Comprehensive Assessment Method for Sustainable Urban Development (CAMSUD)-A
- [5] New Multi-Criteria System for Planning, Evaluation and Decision-Making. *Progress in Planning*, 100430 .
- [6] alyami, s. (2014). The development of Sustainable assessment method for Saudi Arabia built environment : weighting system.
- [7] ammar, m. g. (2012). Evaluation of the Green Egyptian Pyramid. *elsevier*.
- [8] Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1-17 .
- [9] Berezin, Y., Gozolchiani, A., Guez, O., & Havlin, S. (2012). Stability of climate networks with time. *Scientific reports*,
- [10] United State Department of Energy (USDE), Buildings Energy Data Book (2012), <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ChapterIntro1.aspx> (Accessed date: 18 July 2018).
- [11] N. Aldossary, Y. Rezgui, A. Kwan, Energy consumption patterns for domestic buildings in hot climates using Saudi Arabia as case study field: Multiple case study analyses, *Journal of Computing in Civil and Building Engineering*, International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (2014) 1986-1993
- [12] SEEC, Saudi Energy Efficiency Center, and Energy of Buildings Sector (2013), <http://www.seec.gov.sa> (Accessed date: 23 July 2018).
- [13] F. Abanda, L. Byers, An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling), *Energy*, 97 (2016) 517-527.
- [14] Z. Tian, X. Zhang, X. Jin, X. Zhou, B. Si, X. Shi, Towards adoption of building energy simulation and optimization for passive building design: A survey and a review, *Energy Build.* 158 (2018) 1306-1316.
- [15] P. Inyim, J. Rivera, Y. Zhu, Integration of building information modeling and economic and environmental impact analysis to support sustainable building design, *Journal of Management Engineering* 31 (1) (2015) 1-10.
- [16] F. Jalaei, A. Jade, An automated BIM model to conceptually design, analyze, simulate, and assess sustainable building projects, *Journal of Construction Engineering : Hindawi* (ID 672896) (2014) 1-21.
- [17] S. Kubba, Handbook of green building design and construction: LEED, BREEAM, and green globes, Butterworth-Heinemann, 1st Edition (2012), ISBN: 9780123851291.
- [18] H. Yoshino, T. Hong, N. Nord, IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings-Analysis and evaluation methods, *Energy Build.* 152 (2017) 124-136.
- [19] M. Ferrara, E. Sirombo, E. Fabrizio, Automated optimization for the integrated design process: the energy, thermal and visual comfort nexus, *Energy Build.* 168 (2018) 413-427.
- [20] W. Natephra, N. Yabuki, T. Fukuda, Optimizing the evaluation of building envelope design for thermal performance using a BIM-based overall thermal transfer value calculation, *Build. Environ.* 136 (2018) 128-145.
- [21] R. Fallahtafti, M. Mahdavinejad, Optimisation of building shape and orientation for better energy efficient architecture, *International Journal of Energy Sector Management*, 9 (4) (2015), 593-618.
- [22] P. Shrestha, P. Kulkarni, Factors Influencing Energy Consumption of Energy Star and Non-Energy Star Homes, *Journal of Management in Engineering*, 29 (3) (2013) 269-278.

- [23] U. Aksoy, M. Inalli, Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region, *Build. Environ.* 41 (12) (2006) 1742–1754.
- [24] A. Stumpf, H. Kim, & E. Jenicek, Early design energy analysis using BIMs (Building Information Models), *Building a Sustainable Future, Construction Research Congress* 2009.
- [25] F. Shadram, T. Johansson, W. Lu, J. Schade, T. Olofsson, An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design, *Energy Build.* 128 (2016) 592–604.
- [26] R. Nizam, C. Zhang, L. Tian, A BIM based tool for assessing embodied energy for buildings, *Energy Build.* 170 (2018) 1–14.
- [27] S. Azhar, Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry, *Leadership and Management in Engineering ASCE*, 11 (3) (2011) 241–252.
- [28] F. Abanda, A. Oti, J. Tah, Integrating BIM and new rules of measurement for embodied energy and CO2 assessment, *J. Build. Eng.* 12 (2017) 288–305.