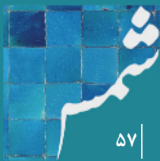




به‌رنگ سجادی

دکترای مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف،
دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تهران.

کاربرد نرم‌افزار OpenStudio در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها



۵۷ |

ماهنامه فنی و مهندسی شمس
شماره ۱۲۶ - زمستان ۱۴۰۳
THE MONTHLY TECHNICAL
ENGINEERING OF SHAMS

۱- چکیده

در دو دهه اخیر افزایش تقاضا برای ساختمان‌های با کارایی انرژی بالا منجر به توسعه ابزارهای شبیه‌سازی مختلفی شده است که یکی از اهداف آن‌ها، فراهم آوردن ابزار لازم برای شبیه‌سازی عملکرد و بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان است. نرم‌افزار OpenStudio یک پلتفرم منبع باز است که به وسیله وزارت انرژی ایالات متحده (DOE) توسعه یافته است و یک ابزار جامع شبیه‌سازی انرژی ساختمان به شمار می‌رود که امروزه به طور گسترده در بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نوشتار به بررسی کاربردهای نرم‌افزار OpenStudio در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها پرداخته شده و عملکرد، قابلیت‌ها و پیاده‌سازی عملی آن در جهت بهبود کارایی انرژی ساختمان‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین با بررسی چند نمونه مطالعه موردی سعی می‌شود نشان داده شود که چگونه استفاده از چنین ابزارهایی می‌تواند برای ارزیابی الگوهای مصرف انرژی، شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهینه‌سازی پارامترهای طراحی ساختمان به منظور کاهش مصرف کلی انرژی مفید باشد.

۲- مقدمه

در چارچوب تلاش‌های جهانی برای کاهش تغییرهای اقلیمی، در چند دهه اخیر بهینه‌سازی مصرف انرژی به یکی از حوزه‌های حیاتی تبدیل شده است. مصرف انرژی در ساختمان‌ها بخش قابل توجهی از مصرف جهانی

انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهد. در دنیای امروز معماران، مهندسان و مالکان ساختمان‌ها برای رعایت الزامات مقرراتی و دستیابی به پایداری، به دنبال روش‌های کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها هستند.



در دو دهه اخیر افزایش تقاضا برای ساختمان‌های با کارایی انرژی بالا منجر به توسعه ابزارهای شبیه‌سازی مختلفی شده است.

شبیه‌سازی انرژی یک بخش حیاتی در طراحی ساختمان‌های مدرن است. از طریق شبیه‌سازی‌ها، معماران، مهندسان و مشاوران انرژی می‌توانند عملکرد طرح‌های مختلف ساختمان، مصالح و سیستم‌ها را قبل از آغاز ساخت‌وساز ارزیابی کنند. این توانایی برای پیش‌بینی مصرف انرژی و بهینه‌سازی طراحی‌ها بر اساس داده‌های مبتنی بر تحلیل، منجر به ایجاد ساختمان‌های پایدارتر و با هزینه‌های کمتر می‌شود. برای دستیابی به این اهداف، در دهه اخیر، ابزارهای پیشرفته مدل‌سازی و شبیه‌سازی انرژی ساختمان‌ها به ابزاری ضروری برای بهینه‌سازی طراحی و عملیات ساختمان‌ها تبدیل شده‌اند. نقش شبیه‌سازی انرژی در طراحی ساختمان را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

● **بهینه‌سازی طراحی:** با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، نرم‌افزارهای مدل‌سازی انرژی به طراحان ساختمان این امکان را می‌دهند که گزینه‌های مختلف طراحی، مانند تغییر ضخامت عایق، محل قرارگیری پنجره‌ها، پیکربندی‌های سیستم‌های HVAC و امکان استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را بررسی کنند. این امر به انتخاب کارآمدترین ترکیب برای سیستم‌های ساختمان کمک می‌کند.

● **پیش‌بینی عملکرد ساختمان:** ابزارهای مدل‌سازی انرژی این امکان را فراهم می‌کنند که عملکرد ساختمان در شرایط مختلف مانند تغییرات فصلی، الگوهای مختلف تصرف و تأثیر عوامل خارجی مانند تابش خورشید و دمای محیط توسط طراح مورد ارزیابی قرار گیرد.

● **صرفه‌جویی در هزینه‌ها:** شبیه‌سازی می‌تواند مصرف انرژی و هزینه‌های مربوط به آن را پیش‌بینی کند و به ذینفعان پروژه این امکان را بدهد که نقاط بالقوه برای کاهش هزینه‌ها را شناسایی

کنند. با بهینه‌سازی پوسته ساختمان و سیستم‌های ساختمانی قبل از ساخت، طراحان می‌توانند هزینه‌های عملیاتی در طول عمر ساختمان را نیز کاهش دهند.

● **تطابق با مقررات انرژی:** شبیه‌سازی انرژی، همان‌طور که در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان نیز مورد تأکید قرار گرفته است، نقش کلیدی در بررسی تطابق ساختمان‌ها با استانداردها و مقررات انرژی دارد. در بسیاری از حوزه‌ها طراحی ساختمان باید برخی شاخص‌های کارایی انرژی را برآورده سازد و با استفاده از شبیه‌سازی می‌توان قبل از شروع ساخت‌وساز، این تطابق را بررسی نمود.

۳- نرم‌افزار OpenStudio

نرم‌افزار OpenStudio یک پلتفرم جامع برای ایجاد و تحلیل مدل‌های ساختمانی فراهم می‌آورد که به طراحان و ذینفعان امکان می‌دهد تا مصرف انرژی ساختمان را ارزیابی و کاهش دهند و در عین حال آسایش حرارتی ساکنین را حفظ کنند. نرم‌افزار OpenStudio دارای یک رابط گرافیکی کاربرپسند است، انعطاف‌پذیری بالایی دارد و با سایر ابزارهای مدل‌سازی انرژی نیز سازگار است. در ادامه نمایی کلی از قابلیت‌های این نرم‌افزار ارائه و سعی می‌شود به اختصار نحوه استفاده از آن در بهینه‌سازی انرژی ساختمان‌ها توضیح داده شده و مثال‌هایی عملی از کاربرد آن در پروژه‌های واقعی مطرح شود.

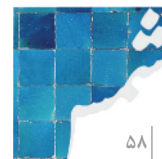
ویژگی‌های کلیدی OpenStudio عبارت‌اند از:

● مدل‌سازی انرژی که امکان مدل‌سازی ساختمان‌های جدید و موجود را برای کاربران فراهم می‌کند. در این نرم‌افزار از می‌توان هندسه ساختمان، نوع مصالح، سیستم‌های HVAC (گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع)، سیستم‌روشنایی، سیستم‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر و سایر سیستم‌های ساختمانی را مدل‌سازی نمود.

● شبیه‌سازی عملکرد ساختمان که به کاربران این امکان را می‌دهد که شاخص‌های مختلف عملکرد ساختمان مانند مصرف انرژی، آسایش حرارتی، آسایش بصری و کارایی سیستم‌های HVAC را شبیه‌سازی کنند. نتایج بدست آمده از این شبیه‌سازی‌ها می‌تواند در مرحله طراحی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی کمک‌کننده باشد.

● پشتیبانی از ابزارهای بهینه‌سازی پیشرفته بهینه‌سازی مانند تحلیل پارامتریک و تحلیل حساسیت که به شناسایی ترکیب‌های کارآمد انرژی برای مصالح و سیستم‌های ساختمانی کمک می‌کند.

● امکان ارتباط با سایر ابزارهای طراحی ساختمان مانند SketchUp که ایجاد و وارد کردن مدل‌های ساختمان به نرم‌افزار OpenStudio را تسهیل می‌کند. به علاوه، نرم‌افزار OpenStudio قابلیت ادغام با



در طراحی انرژی و محیط‌زیست) ۱ که به طراحان کمک می‌کند تا به استانداردهای پایداری برسند.

• امکان ایجاد خروجی‌های خاص مطابق خواست کاربر در غالب Measure که دست طراحان و ارزیاب‌های انرژی را در پروژه‌های خاص باز می‌گذارد.



در چارچوب تلاش‌های جهانی برای کاهش تغییرهای اقلیمی، در چند دهه اخیر بهینه‌سازی مصرف انرژی به یکی از حوزه‌های حیاتی تبدیل شده است.

برای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها می‌توان از OpenStudio در مراحل مختلف پروژه، از طراحی اولیه تا عملیات پس از ساخت، استفاده نمود. موارد زیر بخش‌های اصلی پروژه را که نتایج OpenStudio می‌تواند در کاهش مصرف انرژی کمک کننده باشد، شرح می‌دهند:

- یکی از کاربردهای اصلی OpenStudio شبیه‌سازی و تحلیل عملکرد انرژی ساختمان‌ها است. از طریق مدل‌سازی دقیق انرژی، می‌توان شناسایی کرد که چگونه بهبود اجزای مختلف ساختمان به کاهش مصرف انرژی کمک می‌کنند. به عنوان نمونه:
- **طراحی پوسته ساختمان:** OpenStudio می‌تواند تأثیر طراحی پوسته ساختمان، از جمله فرم، مصالح دیوارها، پنجره‌ها، عایق‌ها و انواع سایه‌اندازها را بر عملکرد انرژی ساختمان پیش‌بینی کند.
- **سیستم‌های HVAC:** با استفاده از شبیه‌سازی می‌توان کارایی سیستم‌های مختلف HVAC در شرایط و پیکربندی‌های مختلف را ارزیابی نمود و بینشی از نحوه کاهش مصرف انرژی در حالی که شرایط آسایش حرارتی ساکنین حفظ شود، به دست آورد.
- **سیستم روشنایی:** OpenStudio امکان شبیه‌سازی استراتژی‌های استفاده از روشنایی طبیعی و طراحی سیستم‌های روشنایی مصنوعی کارآمد از نظر مصرف انرژی را فراهم می‌کند. نتایج بدست آمده می‌تواند مصرف انرژی برای سیستم‌های روشنایی مصنوعی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.
- علاوه بر تحلیل طراحی ساختمان، OpenStudio به بهینه‌سازی سیستم‌های ساختمانی به منظور کاهش مصرف انرژی نیز کمک

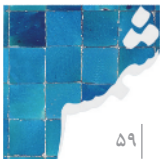
سیستم‌های اتوماسیون ساختمانی را دارد تا تحلیل‌های عملکردی به صورت زمان واقعی (real time) انجام شود.

۱-۳- استفاده از نرم‌افزار OpenStudio در بهینه‌سازی مصرف انرژی

مصرف انرژی در ساختمان‌ها تحت تأثیر عامل مختلفی قرار دارد که از جمله می‌توان به طراحی معماری، مصالح ساختمانی، سیستم‌های HVAC (گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع)، سیستم روشنایی و رفتار ساکنان اشاره کرد. بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها شامل استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای تحلیل و بهبود عملکرد انرژی در ساختمان‌ها است. ابزارهای مدل‌سازی انرژی برای شناسایی ناکارآمدی‌ها، آزمایش گزینه‌های طراحی مختلف و پیش‌بینی صرفه‌جویی‌های انرژی در طول عمر ساختمان ضروری هستند. نرم‌افزار OpenStudio یک پلتفرم نرم‌افزاری منبع باز است که از موتورهای شبیه‌سازی انرژی EnergyPlus و شبیه‌سازی روشنایی Radiance که هر دو توسط وزارت انرژی ایالات متحده توسعه یافته‌اند، بهره می‌برد تا مصرف انرژی و تأثیرات محیطی

طراحی‌های ساختمانی را ارزیابی کند. این نرم‌افزار مجموعه‌ای از ویژگی‌ها را برای طراحی، بهینه‌سازی و تحلیل انرژی ساختمان ارائه داده و در سال‌های اخیر به طور گسترده برای شبیه‌سازی انرژی و تحلیل عملکرد ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. نرم‌افزار OpenStudio به کاربران امکان می‌دهد تا مدل‌های ساختمانی را ایجاد کرده، شبیه‌سازی‌های انرژی را انجام دهند و نتایج نهایی را در قالب جداول و نمودارهای مختلف مشاهده کنند. ویژگی‌های اصلی این نرم‌افزار عبارت‌اند از:

- امکان ایجاد مدل‌های سه‌بعدی ساختمانی که اطلاعات دقیقی در مورد هندسه ساختمان، خواص مصالح، مشخصات سیستم‌های HVAC، سیستم روشنایی و سایر جزئیات ساختمان دارد. این مدل‌ها می‌توانند برای شبیه‌سازی مصرف انرژی و ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان استفاده شوند.
- استفاده از موتور EnergyPlus که به کاربران این امکان را می‌دهد تا شبیه‌سازی‌های دقیق انرژی انجام دهند و تأثیر دینامیک حرارتی ساختمان، سیستم‌های HVAC، سیستم‌های روشنایی، سیستم‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر و سایر عواملی که بر مصرف انرژی ساختمان تأثیر می‌گذارد، را در نظر بگیرند.
- فراهم کردن ابزارهایی برای تحلیل حساسیت، بهینه‌سازی پارامترها و ارزیابی مقایسه‌ای استراتژی‌های صرفه‌جویی که به طراحان کمک می‌کند تا بهترین پیکربندی‌ها را برای بهبود کارایی انرژی شناسایی کنند.
- پشتیبانی از گواهینامه‌های ساختمان سبز مانند LEED (رهبری



می‌کند. این نرم‌افزار ابزارهایی برای آزمایش و بهینه‌سازی موارد زیر فراهم می‌کند:

- **استراتژی‌های کنترل سیستم‌های HVAC:** با شبیه‌سازی استراتژی‌های مختلف کنترل سیستم‌های HVAC، نرم‌افزار OpenStudio می‌تواند به شناسایی راه‌های مناسب برای کاهش مصرف انرژی بدون کاهش کیفیت هوای داخلی کمک کند.
- **سیستم روشنایی:** نرم‌افزار OpenStudio امکان شبیه‌سازی



برای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها می‌توان از OpenStudio در مراحل مختلف پروژه، از طراحی اولیه تا عملیات پس از ساخت، استفاده نمود.

سیستم‌های کنترل روشنایی مختلف، سنسورهای حضور ساکنین و سایر فناوری‌ها را فراهم می‌کند که می‌توانند به کاهش بارهای الکتریکی و مصرف انرژی سیستم روشنایی کمک کنند.

- **سیستم‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر:** با توجه به افزایش محبوبیت استفاده از انرژی تجدیدپذیر در طراحی ساختمان‌های پایدار، نرم‌افزار OpenStudio از سیستم‌های حرارتی خورشیدی، فتوولتائیک خورشیدی، توربین‌های بادی و سایر فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر پشتیبانی می‌کند. با شبیه‌سازی تولید انرژی به‌سیله سیستم‌های تجدیدپذیر، این نرم‌افزار به طراحان کمک می‌کند تا امکان سنجی و صرفه‌جویی انرژی ناشی از بکارگیری سیستم‌های تجدیدپذیر را ارزیابی کنند.
- **نظارت بر مصرف انرژی پس از بهره‌برداری:** نرم‌افزار OpenStudio می‌تواند برای نظارت و مدیریت مصرف انرژی پس از شروع بهره‌برداری از ساختمان نیز مورد استفاده قرار گیرد. با مقایسه عملکرد انرژی شبیه‌سازی شده با مصرف انرژی واقعی، نرم‌افزار می‌تواند به مدیران مربوط کمک کند تا الگوهای مصرف انرژی را رصد کرده و نواحی بالقوه برای بهینه‌سازی بیشتر شناسایی کنند.

۳-۲- مزایا و محدودیت‌های OpenStudio

- به طور خلاصه مزایا اصلی نرم‌افزار OpenStudio عبارت‌اند از:
 - **متن‌باز بودن:** این نرم‌افزار به طور رایگان در دسترس است و این

امکان استفاده بدون محدودیت از آن را برای طیف وسیعی از کاربران، از جمله کسب و کارهای کوچک و مشاوران انرژی مستقل فراهم می‌کند.

- **مدلسازی جامع:** این نرم‌افزار به کاربران این امکان را می‌دهد که تمام جنبه‌های مصرف انرژی ساختمان از طراحی معماری تا سیستم‌های تأسیساتی و منابع انرژی تجدیدپذیر را مدل‌سازی کنند.

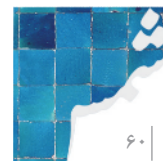
- **رابط کاربری کاربرپسند:** رابط گرافیکی نرم‌افزار فرآیند مدل‌سازی انرژی را ساده کرده و به کارشناسان و کاربران تازه‌کار این امکان را می‌دهد که راحت‌تر از استفاده کنند.

- **امکان اتصال با ابزارهای دیگر:** OpenStudio می‌تواند به سایر ابزارهای طراحی و تحلیل انرژی متصل شود که این امر باعث افزایش تطبیق‌پذیری و کاربرد آن می‌شود.

علیرغم مزایای فوق، یادگیری برخی از ویژگی‌های پیشرفته OpenStudio ممکن است برای کاربران جدید، به ویژه کسانی که پس‌زمینه کاملی در زمینه مدل‌سازی انرژی ندارند، دشوار باشد. همچنین اجرای شبیه‌سازی‌های دقیق می‌تواند، به‌ویژه برای ساختمان‌های بزرگ، از نظر محاسباتی پرهزینه و زمان‌بر باشد.

۳-۳- مطالعات موردی

برای درک بهتر تأثیر استفاده از OpenStudio در بهینه‌سازی انرژی، در ادامه چند نمونه مطالعه موردی واقعی ارائه می‌شود. این موارد نشان می‌دهند که چگونه از نتایج شبیه‌سازی می‌توان برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مختلف استفاده کرد. شبیه‌سازی‌های انجام شده با استفاده از نرم‌افزار OpenStudio برای ارزیابی صرفه‌جویی‌های انرژی احتمالی با استفاده از روش‌های طراحی غیرفعال (passive) مانند جهت‌گیری مناسب ساختمان، سایه‌اندازها و پنجره‌های با عملکرد بالا در یک ساختمان مسکونی نشان داد که این اقدامات می‌تواند موجب کاهش بیش از ۳۰ درصدی انرژی مصرفی سیستم گرمایش و سرمایش ساختمان شود. در یک نمونه مطالعه موردی در یک ساختمان اداری-تجاری از نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار OpenStudio برای ارزیابی عملکرد مصالح عایق مختلف و طراحی پنجره‌ها و سیستم HVAC ساختمان استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از پنجره‌های با عملکرد بالا و بهینه‌سازی زمان‌بندی استفاده از سیستم HVAC منجر به کاهش ۲۵ درصدی مصرف انرژی نسبت به مدل پایه می‌شود. در نمونه‌ای دیگر، ارزیابی اولیه انرژی برای یک ساختمان دانشگاهی نشان داد که استفاده از سیستم‌های گرمایش و سرمایش زمین‌گرمایی (ground source)، همراه با



کارایی انرژی بالا تبدیل می‌کند. با استفاده از این نرم‌افزار و سایر ابزارهای شبیه‌سازی، صنعت ساختمان می‌تواند به پیشرفت‌های خود در راستای کاهش اثرات محیط‌زیستی ساختمان‌ها و افزایش راحتی و عملکرد ساکنان ادامه دهد.



علیرغم مزایای فوق، یادگیری برخی از ویژگی‌های پیشرفته OpenStudio ممکن است برای کاربران جدید، به ویژه کسانی که پس‌زمینه کاملی در زمینه مدل‌سازی انرژی ندارند، دشوار باشد.

استراتژی‌های پیشرفته کنترل روشنایی، منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی می‌گردد.

۴- جمع‌بندی

نرم‌افزار OpenStudio یک پلتفرم قدرتمند و قابل دسترس برای همگان به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها فراهم می‌کند. از طریق نتایج شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های دقیق، این نرم‌افزار می‌تواند به طراحان، معماران و مدیران حوزه انرژی کمک کند تا تصمیمات آگاهانه‌ای به منظور کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان بگیرند، هزینه‌های عملیاتی را پایین بیاورند و به سمت طراحی ساختمان‌های پایدار حرکت کنند. علیرغم محدودیت‌های این نرم‌افزار، قابلیت‌های آن در مدل‌سازی انرژی، بهینه‌سازی سیستم‌ها و ارزیابی سیستم‌های مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر آن را به ابزاری ارزشمند برای طراحی و اجرای ساختمان‌های با

۶- پی‌نوشت

1- Leadership in Energy and Environmental Design

۷- مراجع

- [1] U.S. Department of Energy. (2020). EnergyPlus Engineering Reference. U.S. Department of Energy.
- [2] NREL. (2018). OpenStudio Overview. National Renewable Energy Laboratory.
- [3] EIA. (2021). Commercial Buildings Energy Consumption Survey. U.S. Energy Information Administration.

