اعتبار سنجی نرم افزارهای شبیه سازی انرژی در ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه ای

زهراسادات زمردیان [۱]، محمد تحصیلدوست [۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۱/۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۲/۹

چکیده:

بالا بودن هزینه سرمایه‌گذاری و دوره بازگشت سرمایه طولانی در پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها، ارزیابی دقیق راهکارهای کاهش مصرف انرژی را قبل از اجرا ضروری کرده است. به دلیل گستردگی پارامترهای دخیل در مصرف انرژی، تصمیم‌گیری دررابطه با راهبردها و اجزا طراحی عملا بدون استفاده از ابزارهای شبیه سازی امکان پذیر نیست. برای بهره گیری صحیح از ابزارهای شبیه سازی در فرایند طراحی و ارزیابی، لازم است اعتبار آنها از طریق روشهای علمی بررسی شود. در این پژوهش، اعتبار دو نرم‌افزار شبیه سازی انرژی (دیزاین بیلدر و اکوتکت) با روش تجربی و مقایسه‌ای بررسی گردیده است: مصرف انرژی سالانه یک ساختمان آموزشی موجود شبیه‌سازی و سپس با مصرف واقعی حاصل از ممیزی انرژی ساختمان مقایسه شده است. با اصلاح ورودی‌های نرم افزار براساس برداشت‌های میدانی، پارامترهای اصلی موجد اختلاف بین مصارف پیش‌بینی شده و واقعی انرژی در ساختمان شناسایی شده اند. بر اساس نتایج این مطالعه، نرم افزار دیزاین بیلدر عملکرد خوبی در پیش بینی میزان مصرف انرژی و دمای داخلی فضاها مطابق شرایط ساخت و تجهیزات و اقلیم بررسی شده را دارد.

کلمات کلیدی:

اکوتکت، اعتبار سنجی، بهینه سازی مصرف انرژی، دیزاین بیلدر، شبیه سازی انرژی ساختمان

۱) دانشجوی دکتری معماری انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول) z_zomorodian@sbu.ac.ir
۲) عضو هیئت علمی گروه ساختمان، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی m_tahsildoost@sbu.ac.ir

مقدمه

سهم قابل توجه مصرف انرژی در ساختمان‌های کشور که در حدود ۴۰٫۶ درصد از کل این میزان است[۲]، کاهش مصرف انرژی در این بخش را ضروری می‌سازد. رویکردها و راهبردهای کاهش تراز مصرف انرژی در ساختمان، در دو بخش اصلی طراحی ساختمان‌های انرژی‌کارا و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های موجود، قابل بررسی است. با ظهور فناوری‌های مختلف، پیچیدگی و هزینه‌های اجرایی نیز افزایش یافته و تصمیم‌گیری در رابطه با انتخاب بهینه‌ترین استراتژی‌ها و راهکارهای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. از سویی، تعامل بین عناصر طراحی، اقلیم، کاربران، سیستم‌های سرمایش، گرمایش، تهویه و روشنایی بسیار پیچیده است و تنها با استفاده از شبیه‌سازی تمامی عوامل مداخله‌گر در کارایی انرژی ساختمان قابل بررسی است[۱۱]. به همین اعتبار، استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی مصرف انرژی ساختمان، به عنوان ابزار تجزیه و تحلیل عملکرد حرارتی و بصری ساختمان‌ها از ابتدای دهه هفتاد میلادی آغاز شد و به مرور بسیار گسترش یافت. با استفاده از شبیه‌سازی انرژی در فرایند طراحی، امکان ارزیابی تمامی گزینه‌ها و تصمیمات مختلف طراحی به روش‌های نسبتا یکپارچه امکان‌پذیر است. از این‌رو، نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی متعددی با قابلیت‌های مختلف از ساده تا پیشرفته و نیز با سطح دقت متفاوت طی سال‌های اخیر توسعه یافته‌اند و استفاده از آنها رایج شده است.

معمولا نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی یک ساختمان در نرم‌افزارهای مختلف، حتی زمانی که شبیه‌سازی توسط یک فرد واحد انجام شده باشد، متفاوت است. علاوه براین، تفاوت بین میزان انرژی پیش‌بینی شده در نرم‌افزارهای مختلف و میزان واقعی مصرف و نیز بهره‌گیری نامناسب و بی‌دقت از این ابزار برای اهداف نامتناسب با توانمندی‌ها و دقت‌های تعریف شده نرم افزار سبب شده تا کاربران و کارفرمایان نسبت به صحت و کاربست پذیری نتایج این نرم‌افزارها اطمینان و اعتماد لازم را نداشته باشند. این امر مانع توسعه و بکارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی در صنعت ساختمان کشور شده است. در حالی‌که برای دستیابی به اهداف کاهش مصرف انرژی در ساختمان، استفاده از نرم افزارهای شبیه‌سازی انرژی برای اجرایی کردن مقررات ساختمانی، برچسب انرژی و طراحی یکپارچه ضروری است. طبعا مادامی‌که مدلسازی انرژی به عنوان ابزاری مفید در طراحی و ارزیابی ساختمان ها درنظر گرفته شود، لازم است اعتبار و دقت نرم افزارهای رایج مقایسه و تحلیل شوند.

برای بررسی اعتبار نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی روش‌های مختلفی در تحقیقات معرفی شده است. به طور کلی، این روش‌ها به سه دسته کلی روش‌های *تحلیلی، مقایسه ای و تجربی* تقسیم می‌شوند. در میان تحقیقات اعتبارسنجی نرم افزارهای انرژی ساختمان، روش‌های تجربی(مقایسه نتایج شبیه‌سازی با اندازه‌گیری‌های میدانی) و مقایسه‌ای(مقایسه نتایج نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی انرژی با یکدیگر) رایج‌ترین نوع تحقیقات اعتبارسنجی‌اند. هدف از این مطالعات، تبیین پارامترهای ایجاد کننده اختلاف بین میزان مصرف انرژی پیش‌بینی شده و میزان مصرف واقعی و تدقیق ورودی‌های

نرم‌افزار با توجه به بستر بکارگیری آنهاست. نرم‌افزارهای اکوتکت[1] [۸, ۱۸] ، گرین بیلدینگ استودیو[2]، آی ای اس[3][۱۳] انرژی پلاس[۲۳]، ای کوست[4] [۱۷]، دیزاین بیلدر [۶,۲۳, ۲۲]، دی او ای[5][21] از جمله نرم‌افزارهایی هستند که اعتبار آنها بدین طریق بررسی شده‌است. اکثر این تحقیقات در کشورهای توسعه‌یافته که نرم‌افزارهای شبیه‌سازی براساس مقررات و استانداردهای رایج در آنها تدوین شده، انجام شده‌اند. طبیعتا برای بکارگیری این نرم‌افزارها در ایران نیز لازم است توانمندی‌های آنها برای هماهنگی با شرایط و روش های ساخت و بهره برداری و نیز تجهیزات و شرایط اقلیمی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین برای حصول نتایج معتبر و قابل اتکا، لازم است ملاحظاتی در فرایند شبیه‌سازی در نظرگرفته شود.

در این تحقیق اعتباردو نرم‌افزار رایج در جامعه حرفه ای و علمی کشور در مدلسازی انرژی ساختمان، دیزاین بیلدر [6] و اکوتکت[7] که کاربرد نسبتا وسیعی هم در حوزه آموزش و هم پروژه‌های اجرایی دارند[8]، از طریق مقایسه خروجی های نرم‌افزارها با میزان واقعی مصرف انرژی بررسی شده‌است. یک ساختمان آموزشی موجود در شهر کاشان در هر دو نرم‌افزار مدلسازی شده و میزان مصرف انرژی آنها در بازه یکساله از طریق شبیه‌سازی محاسبه، و با میزان واقعی مصرف انرژی ساختمان در طول یک سال مقایسه و نهایتا نتایج ارائه گردیده است. دربخش اول، ابتدا مبانی نظری اعتبارسنجی جهت اتخاذ رویکرد مناسب برای تحقیق بررسی و سپس در بخش بعد، رویکرد مورد نظر برای اعتبارسنجی نرم‌افزارها در یک ساختمان آموزشی به صورت مصداق به کارگرفته شده است. روش، نتایج و پیشنهادهای حاصل از این بررسی برای بکارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در فرایند طراحی و ارزیابی ساختمان‌ها در ایران در دیگر بخش‌های مقاله ارائه شده است. نیازی به تاکید نیست که نتیجه گیری در خصوص اعتبار یک نرم افزار به واسطه انجام یک نمونه موردی اعتبار کافی نخواهد داشت و لذا اگرچه این مقاله یکی از مطالعاتی است که در جهت اثبات و نفی این مدعا گام برداشته است، لیکن هدف اصلی روش بررسی امر و ارائه روش و ارائه راهکارهایی برای کاهش خطاهای احتمالی در روند استفاده از نرم افزار بوده است. به عبارت دیگر، مستدل بودن نتایج مقایسه مستلزم تکرار و بررسی آن در کاربری ها و شرایط متنوع دیگر است.

اعتبار سنجی نرم افزارهای شبیه سازی انرژی

عوامل متعدد تاثیرگذار بر عملکرد انرژی در ساختمان، پیش‌بینی دقیق میزان مصرف انرژی در شرایط واقعی را بسیار مشکل کرده است. از این‌رو، لازم است با تطبیق خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های اندازه‌گیری شده در شرایط

1) ECOTECT Autodesk
2) Green Building Studio
3) IES
4) e-Quest
5) DOE-2
6) DesignBuilder
7) Ecotect

واقعی، اعتبار نرم‌افزارهای شبیه‌سازی بررسی شود. جامعه متخصصان شبیه‌سازی پیش از این اعتبارسنجی را هنری وابسته به تجربه کاربر نرم افزار و دانش مهندسی می‌دانستند و به طور گسترده به سعی و خطا برای رسیدن به هدف تکیه می‌کردند، اما در سال‌های اخیر، محققان روش‌هایی علمی برای اعتبارسنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی ارائه کرده‌اند [۹,۱۲,۱۶].

همانطور که اشاره شد، روش‌های مرسوم برای اعتبارسنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی را می‌توان در سه دسته کلی شامل روش‌های تحلیلی، روش‌های مقایسه‌ای و روش‌های تجربی جای داد. روش‌های تحلیلی برای آزمایش سازوکارهای اصلی انتقال حرارت که بیشترین تاثیر را در عملکرد انرژی ساختمان دارند، به کار می‌روند. این روش بنیادی‌ترین طریقه اعتبار سنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی است. در روش‌های مقایسه‌ای، نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نرم‌افزار مورد نظر با نتایج شبیه‌سازی در سایر نرم‌افزارها و با در نظر گرفتن داده‌های ورودی و شرایط کاملا یکسان مقایسه می‌شود. در این روش، شناسایی پارامترهای تاثیرگذار در ایجاد اختلاف در نتایج دو نرم‌افزار بسیار مهم است. محققین[۲۳] تفاوت بین نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزارهای مختلف را اساسا ناشی از سه پارامتر می‌دانند: اول، موتور شبیه‌سازی که قابل تغییر نیست؛ دوم، رابط گرافیکی موتور شبیه‌سازی که معمولا ساده‌سازی هایی را اعمال می‌نماید و در برخی مواقع، پیش فرض‌های بسیار پر اهمیتی را از دید کاربر مخفی نگه می‌دارد و سوم، خطاهای ناشی از عدم تسلط کاربر بر نرم‌افزار انتخابی است که عموما منجر به ورودی‌های ناقص در نرم‌افزار می‌شود. در روش‌های تجربی نیز یک ساختمان واقعی یا اتاقک آزمایشگاهی طی زمان مشخصی پایش و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مقایسه می شود. مرجع[۱۹] نیز روش‌های اصلی برای اعتبارسنجی نرم افزارهای شبیه‌سازی انرژی را به دو دسته تقسیم می کنند:

۱- اعتبارسنجی برای شرایط ایده‌آل
۲- اعتبارسنجی برای شرایط واقعی

اعتبار سنجی برای شرایط ایده‌آل بر اساس استانداردهایی مانند BESTEST[1] و ASHRAE 14 انجام می‌شود. این روش‌ها برای بررسی فرضیات و فرایندهای فیزیکی در مدل به کار گرفته می‌شوند. در این روش‌ها، یک اتاقک آزمایشگاهی که همه وجوه آن به جز یکی بخوبی عایق شده‌است، برای بررسی تاثیر تابش، مصالح و ... بر شرایط داخلی اتاق در نظر گرفته می‌شود. همچنین حسگرهایی در داخل فضا اطلاعات دما و رطوبت، برنامه استفاده از سیستم های سرمایش، گرمایش و روشنایی در طول چندین روز را ثبت می‌کنند. این اطلاعات به عنوان داده‌های ورودی به مدل به کار می‌روند و در نهایت، نتایج حاصل از شبیه‌سازی با اندازه‌گیری های اتاقک آزمایشگاهی مقایسه می‌شوند. روش دیگر، اعتبارسنجی در شرایط واقعی شامل مقایسه اطلاعات حاصل از ممیزی ساختمان‌ها با نتایج حاصل از شبیه‌سازی است. در این روش، محققان نه تنها به دنبال اعتبارسنجی فرایند فیزیکی مدل بوده، بلکه به دنبال تبیین رفتار کاربران نیز هستند[۱۶].

1)Building Energy Simulation Test

افراد با تجربه در زمینه شبیه‌سازی تا ۵۰ درصد اختلاف بین میزان مصرف انرژی شبیه‌سازی شده و میزان واقعی مصرف انرژی سالانه را گزارش داده‌اند[۱۴]. علاوه بر میزان دقت و اعتبار نرم‌افزارها در شبیه‌سازی عملکرد حرارتی ساختمان‌ها، اکثر اوقات این اختلافات ناشی از فرضیات اشتباه کاربر در فرایند شبیه‌سازی است که معمولا با شرایط واقعی تطبیق پیدا نمی کند. از جمله این فرضیات اشتباه می‌توان به مواردی چون عدم تطابق دقیق شرایط اقلیمی، زمان‌بندی استفاده از فضاها و مشخصات سیستم‌های سرمایش و گرمایش اشاره کرد. رفتار کاربران در برنامه‌های شبیه‌سازی با تنظیم برنامه استفاده از سیستم‌های سرمایش، گرمایش و دمای تنظیم پیش‌فرض بر اساس استفاده ساعت به ساعت از آنها و شرایط آب و هوایی منطقه و برنامه استفاده از سیستم‌های روشنایی و سایر تجهیزات الکتریکی در نظر گرفته می‌شود، ضمن آنکه می‌دانیم تبیین الگوی دقیق استفاده کاربران با توجه به طبیعت متنوع رفتار آنها بسیار مشکل است. به علاوه، شبیه‌سازی‌های انرژی ساختمان‌ها بر اساس این فرضیه شکل گرفته است که کاربران ساختمان را آنگونه که مدنظر طراح است مورد بهره‌برداری قرار می‌دهند. تنظیم دماها بر اساس فرضیات و استفاده از روشنایی مصنوعی، تنها در مواقعی که روشنایی طبیعی قابل تامین نیست، از جمله این موارد است. اما در واقعیت، کاربران به صرفه‌جویی انرژی به اندازه آسایش و راحتی خود اهمیت نمی‌دهند. علاوه بر این، به دلیل عدم آگاهی‌های لازم در بسیاری از موارد ساختمان‌ها به گونه‌ای که طراحان تصور می‌کنند، مورد استفاده قرار نمی‌گیرند[۱۵]. بنابراین، مطالعه دقیق رفتار کاربران در ساختمان‌ها و تبیین الگوی رفتاری آنها از اقدامات اساسی برای تدقیق نتایج حاصل از شبیه‌سازی و اعتبارسنجی نرم‌افزارهای انرژی در ساختمان است.

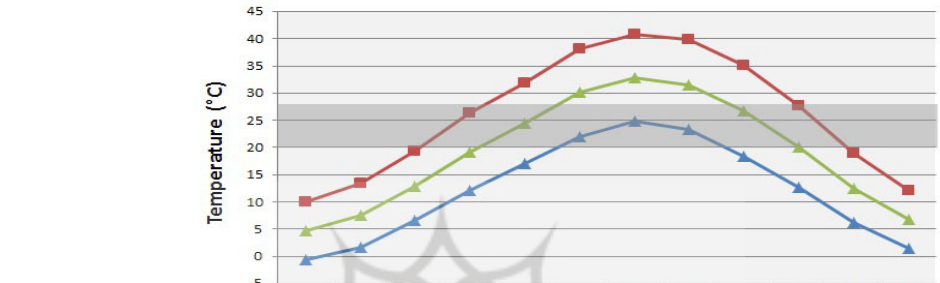
هدف و روش شناختی تحقیق

از آنجایی که بر اساس تحقیقات[۱۹, ۲۳] علت اصلی تفاوت بین میزان واقعی و پیش‌بینی شده مصرف انرژی ناشی از خطا در داده‌های ورودی به نرم‌افزارهای شبیه‌سازی است، در این تحقیق با مطالعات میدانی و برداشت دقیق اطلاعات از یک ساختمان آموزشی موجود، ضمن تدقیق داده‌های ورودی به نرم‌افزار، تلاش شده الگوهای رفتاری کاربران نیز شناسایی و برای اعتبارسنجی دو نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و اکوتکت از آنها استفاده شود. بدین ترتیب، عملکرد این دو نرم‌افزار شبیه‌سازی با در نظر گرفتن ورودی‌های یکسان، با یکدیگر و شرایط واقعی مقایسه شده است. هدف از این تحقیق، بررسی همزمان دقت و صحت این دو نرم‌افزار شبیه‌سازی برای بهره‌گیری در ساختمان‌های آموزشی متداول کشور با توجه به شرایط اقلیمی، فناوری ساخت و روش های بهره‌برداری است. منظور از دقت، هماهنگی بین روند مصرف انرژی شبیه‌سازی شده و میزان واقعی به صورت ماهانه و منظور از صحت، میزان درصد اختلاف بین میزان پیش‌بینی شده و میزان واقعی مصرف انرژی است. همچنین تفاوت‌های اصلی بین این دو نرم‌افزار شامل توانایی‌ها، الگوریتم‌های محاسباتی، پیش‌فرض‌ها و ورودی‌ها بررسی شده است. عوامل اصلی ایجادکننده اختلاف در نتایج شبیه‌سازی ارائه و پیشنهادهایی برای افزایش دقت و صحت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی برای بکارگیری آنها در داخل کشور بیان شده است.

معرفی نمونه موردی

یک ساختمان آموزشی پایه دبستان در شهر کاشان واقع در اقلیم گرم و خشک به عنوان نمونه برای تحقیق اعتبارسنجی

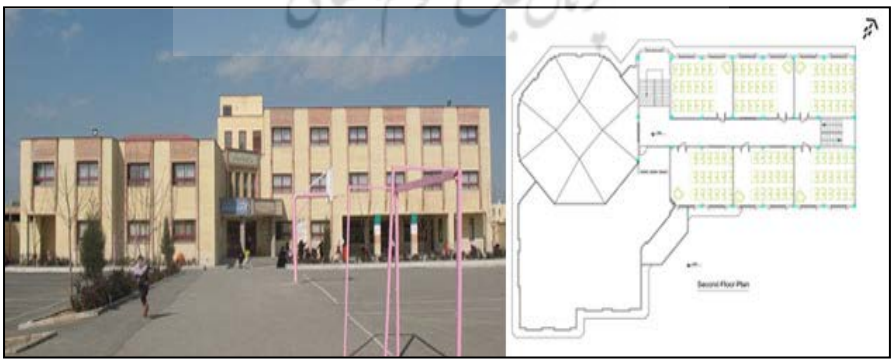
در نظر گرفته شده است. تغییرات سالانه دما و رطوبت در شهر کاشان در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به اطلاعات هواشناسی، فقط در ۲۰ درصد از سال تحصیلی دمای هوا در شرایط آسایش قرار می‌گیرد. (محدوده آسایش درتصویر نمایش داده شده است.) در ۵۹ درصد از سال تحصیلی به علت سرد بودن و ۲۱ درصد به علت گرم بودن آسایش حرارتی تامین نمی‌شود. متوسط رطوبت نسبی در طول سال نیز ۴۰ درصد است.



	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUNE	JULY	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
MAXIMUM AIR TEMPERATURE (C)	10	13.5	19.3	26.3	31.9	38.1	40.8	39.8	35.2	27.6	18.9	12.1
AIR TEMPERATURE (C)	4.7	7.6	12.9	19.2	24.4	30.1	32.9	31.5	26.8	20.1	12.5	6.7
MINIMUN AIR TEMPERATURE (C)	-0.6	1.6	6.5	12.1	17	22	24.9	23.3	18.4	12.7	6.2	1.4

شکل۱) میانگین دما، متوسط حداکثر، متوسط حداقل دمای ماهانه و محدوده آسایش حرارتی در شهر کاشان[۲۴]

فرم پلان که در شکل (۲) نمایش داده شده است، فشرده و از جمله فرم‌های رایج مدارس در کشور است. ساختمان مدرسه دوره اول و دوم ابتدایی را در ۳ طبقه پوشش داده است. نیمی از کلاس‌های درس جهت‌گیری شمال‌غربی و نیمی دیگر جهت‌گیری جنوب‌شرقی دارند. از خصوصیات مهم ساختار آن می‌توان به دیوارهای ۲۰ سانتی‌متری آجر سفالی، سقف تیرچه بلوک همراه با عایق حرارتی و پنجره با شیشه دوجداره با پروفیل آلومینیومی اشاره نمود. متوسط کل سطح پنجره در نما ۲۱ درصد است. همچنین پنجره‌ها به نسبت سطح نمای خارجی در حدود ۱۰ سانتی‌متر فرورفتگی دارند. تعداد ۵۳۰ دانش آموز بین ۷ تا ۱۲ سال در یک نوبت از ساعت ۷:۴۵ تا ۱۲:۴۵ در مدرسه حضور دارند. گرمایش فضاها با رادیاتور و سرمایش با کولر آبی صورت می‌گیرد.



شکل۲) پلان و نمای ساختمان مدرسه مورد بررسی

بازدید و ممیزی انرژی ساختمان

با استفاده از نقشه‌های موجود مدرسه و همچنین دریافت اطلاعات تکمیلی از طریق مدیریت مدرسه، اداره‌کل نوسازی مدارس استان و بازدید میدانی، اطلاعات ساختمانی مورد نظر جمع آوری شده است. به منظور انجام ممیزی فهرست بازبینی ممیزی ساختمان بر مبنای مشاهده، بررسی و اندازه گیری مواردی چون اطلاعات ابعادی و معماری، جزئیات اجرایی، مشخصات دیواره ها، سقف ها، درها و پنجره ها، مشخصات عمومی سیستم های تاسیسات مکانیکی و برقی ساختمان، اعم از روشنایی و غیره ، شرایط آسایش فضاها (مقادیر دما و رطوبت) و شرایط بهره‌برداری از ساختمان به طور کامل و دقیق برداشت و ثبت گردیده است. میزان مصرف انرژی برق و گاز از طریق قبوض ماهانه در یک دوره یکساله استخراج گردید. میزان مصرف کنتور گاز در قبوض بر اساس متر مکعب بوده که ابتدا به کیلووات ساعت تبدیل و سپس با تقسیم بر زیربنای ساختمان بر اساس کیلووات ساعت بر مترمربع محاسبه شده است. همچنین دمای داخلی یکی از کلاس‌ها با خاموش بودن سیستم روشنایی و سرمایش و بسته بودن پنجره‌ها در روز۱۶ اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۳در یک دوره ۶ ساعته از ابتدای صبح بدون حضور و مابقی ساعت ها با حضور دانش آموزان با استفاده از دستگاه دیتالاگر تستو[1] 175-H2 دربازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه ای در مرکز کلاس اندازه‌گیری شده است.

شبیه سازی انرژی ساختمان

اطلاعات بدست آمده از بازدید میدانی ساختمان به عنوان داده‌های ورودی واحد برای شبیه‌سازی در هر دو نرم‌افزار استفاده شده است. نمونه ای از داده های ورودی به هر دو نرم افزار در جدول (۱) ارائه شده است. برای سهولت امر و کنترل خطاهای ناشی از مدلسازی حجمی، ساختمان مورد نظر ابتدا در نرم افزار رویت ۲۰۱۴ مدلسازی و سپس درقالب فایل با پسوند gbXML به نرم افزار اکوتکت و دیزاین بیلدر وارد شده است. پس از معرفی مختصر این دو نرم‌افزار، مشخصات اصلی آنها در جدول (۲)، جهت مقایسه ارائه شده‌است.

جدول۱) داده های ورودی به نرم افزار دیزاین بیلدر و اکوتکت

تعداد افراد در هر کلاس	۳۵ نفر	ضریب عملکرد سیستم سرمایش.CoP	۰,۵
ساعات بهره برداری	۱۲:۴۵–۷:۴۵	ضریب عملکرد سیستم گرمایش.CoP	۰,۶
سطح پوشش دانش آموزان	۰,۷۵ clo.	ضریب انتقال حرارتی دیوار خارجی	۱,۹ W/m2K
سطح فعالیت دانش آموزان	۰,۹ met	ضریب انتقال حرارتی سقف	۰,۴۳ W/m2K
دمای تنظیم[2] گرمایش	۲۲ °C	ضریب انتقال حرارت پنجره	۲,۷ W/m2K
دمای تنظیم سرمایش	۲۷°C	میزان نفوذ هوا	۱,۸ ACH
میزان روشنایی	۳۰۰Lux	نرخ تهویه طبیعی	۳ ACH

1) TESTO DATA LOGGER , Accuracy/Logger ±0.5 °C (-50 to +70 °C), Measuring Range -50 to +400 °C, Type T sensor/external

شبیه سازی در نرم افزار اکوتکت اتودسک

اکوتکت ابزاری برای تحلیل بارهای حرارتی، برودتی وروشنایی ساختمان است. این نرم افزار به دست معماران و برای کاربرد در فرایند طراحی توسعه یافته، اما توسط مهندسان تاسیسات و مشاوران زیست محیطی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکوتکت از روش ادمیتنس[1] سی آی بی[2] اسبراساس استاندارد ایزو ۱۳۹۱:۲۰۰۴و ایزو ۱۳۷۸۹:۱۹۹۹ برای محاسبه بار سرمایش و گرمایش و از روش عامل روشنایی روز[3] برای محاسبه میزان روشنایی در فضاها استفاده می کند. استفاده گسترده از این نرم افزار در فازهای اولیه و نهایی طراحی در تحقیقات تاکید شده است[۵,۴]. ساختمان مدلسازی شده در نرم افزار رویت در اکوتکت وارد شده و تنظیمات در دو دسته کلی یکی شامل تنظیمات عمومی الگوی اشغال فضاها، بارهای داخلی(تجهیزات و افراد)، سطح روشنایی و میزان نفوذ هوا و دیگری مشتمل بر ویژگی های سیستم های تاسیساتی برای هر زون حرارتی تعریف شده است.

از جمله محدودیت‌های نرم‌افزار، اطلاعات ناکافی برای شبیه‌سازی سیستم سرمایش، گرمایش و تهویه است. در این نرم افزار، ۴ حالت به صورت پیش فرض برای سیستم سرمایش و گرمایش تعریف شده و فقط امکان تغییر میزان بازدهی سیستم ها توسط کاربر فراهم است. با این وجود، کارایی اصلی این نرم افزار برای محاسبه بار سرمایش و گرمایش بوده و محاسبه میزان مصرف انرژی سیستم های سرمایش، گرمایش و تهویه احتیاج به اطلاعات دقیق از اجزای این سیستم ها دارد. با توجه به این محدودیت، آزمون های مختلف اعتبار سنجی از جمله BESTEST و ASHRAE به طور مستقیم برای اعتبار سنجی این نرم افزار قابل استفاده نیستند. البته لازم به ذکر است محاسبات مربوط به تابش و بارهای حرارتی این نرم افزار مطابق با CIBSE TM33 (2006)[4] اعتبارسنجی شده است.

شبیه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر

این نرم‌افزار مدلسازی که از پیشرفته ترین و به‌روزترین نرم‌افزارهای مدلسازی انرژی ساختمان است، جز مدلسازی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان، مصارف مختلف انرژی ساختمان از قبیل مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، لوازم خانگی، آب گرم مصرفی و غیره را به صورت دینامیک مدلسازی می‌نماید. این نرم‌افزار همچنین قابلیت محاسبه میزان روشنایی روز را داراست. موتور شبیه سازی این نرم‌افزار انرژی پلاس بوده که توسط بخش انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ توسعه یافته و به عنوان یکی از معتبرترین نرم‌افزارهای مدلسازی انرژی شناخته شده است. اطلاعات در این نرم افزار مبتنی بر داده های برداشت شده و مشابه ورودی های مدلسازی با نرم افزار اکوتکت وارد شده است. اعتبار نرم افزار انرژی پلاس که موتور شبیه سازی دیزاین بیلدر است، بر اساس استانداردهای BESTEST و اشری-۱۴ تایید شده است.

---

1) Admittance
2) CIBSE- The Chartered Institution of Building Services Engineers
3) Daylight Factor
4) Tests for Software Accreditation and Verification

جدول ۲) مشخصات اصلی نرم افزار دیزاین بیلدر و اکوتکت

اکوتکت اتودسک	دیزاین بیلدر	مشخصه
اتودسک(۲۰۰۸)	2009DesignBuilder Software Ltd	تولید کننده
عددی	عددی	ورودی
۱ ساعتی، ماهانه، سالانه	۳۰ دقیقه ای ،۱ساعتی و ماهانه، سالانه	خروجی
دارد	دارد	کاربر گرافیکی
ادمیتنس، سیبسی	انرژی پلاس	موتور محاسباتی
یک ساعته	۱-۶۰ دقیقه	گام های زمانی محاسباتی
Wea	epw	قالب(فرمت) داده های آب و هوایی
۴ حالت پیش فرض با تنظیمات محدود	حالت های آماده و قابل تنظیم	سیستم سرمایش و گرمایش و تهویه مطبوع
رایگان برای دانشجویان	یکساله و دائم	جواز[1]

نتایج مدلسازی و اندازه گیری

برای ارزیابی اعتبار نرم افزارها، نتایج حاصل از آنها با یکدیگر و اندازه گیری های واقعی مقایسه شده و درصد اختلاف بین نتایج محاسبه و ارائه شده است. خروجی های ماهانه هر یک از نرم افزارها در شکل (۳) ارائه شده است.

درصد اختلاف= (میزان مصرف شبیه سازی شده- میزان مصرف واقعی)/ میزان مصرف واقعی

Ecotect results

RESOURCE USAGE - Daily Energy Use

Model: D:\validation\ferdosi school.eco

MONTH	HEATING (Wh)	COOLING (Wh)	ELECTRIC (Wh)
Jan	21111000	0	1816000
Feb	8172000	0	1589000
Mar	1362000	0	1816000
Apr	0	454000	1816000
May	0	3064500	567500
Jun	0	1271200	0
Jul	0	681000	0
Aug	0	726400	0
Sep	0	476700	567500
Oct	3632000	0	1589000
Nov	6129000	0	1589000
Dec	14755000	0	1589000
TOTAL	55161000	6673800	11350000

Design builder

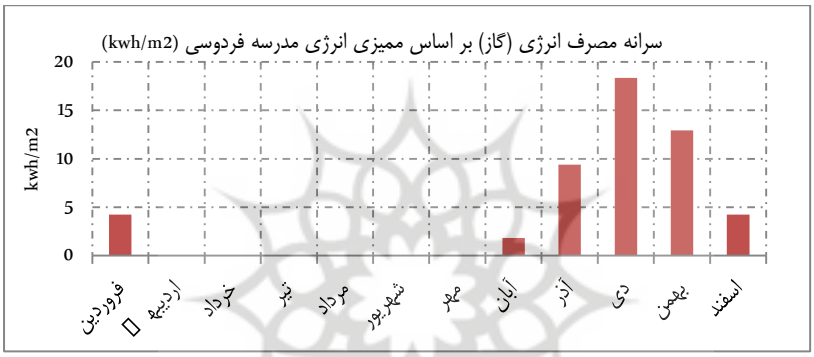
Date/Time	Heating (Gas) kWh	Cooling (Electricity) kWh	Lighting kWh	Room Electricity kWh	Total kWh
01/01/2002	28785	0	1246	342.98	30374
01/02/2002	16029	0	1473	342.98	17845
01/03/2002	6275	0	1246	342.98	7864
01/04/2002	908	0	1473	342.98	2724
01/05/2002	0	2497000	1473	342.98	2498816
01/06/2002	0	794500	396010	171.49	1190682
01/07/2002	0	590200	0	0.00	590200
01/08/2002	0	635600	0	0.00	635600
01/09/2002	0	930700	0	0.00	930700
01/10/2002	0	3178000	1246	342.98	3179589
01/11/2002	5675	0	1246	342.98	7264
01/12/2002	22631900	0	1246	342.98	22633489

شکل۳) خروجی ماهانه نرم افزار دیزاین بیلدر و اکوتکت

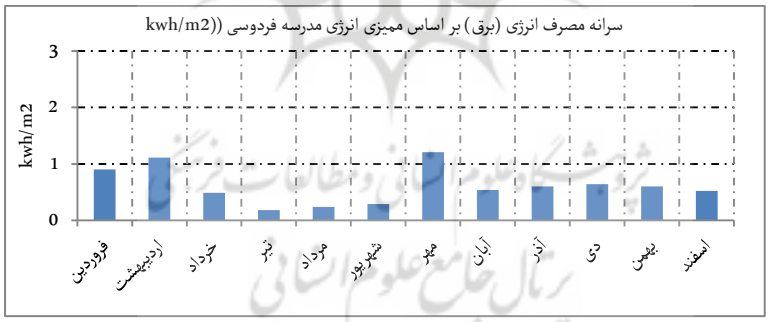
1) Licence

میزان واقعی مصرف انرژی برق و گاز بر اساس قبوض

بر اساس نتایج حاصل از ممیزی انرژی، حداکثر مصرف گاز در دی ماه و مصرف گاز در ماه های اردیبهشت تا مهر صفر بوده است (شکل۴)[۱]. مصرف برق مدرسه شامل مصرف انرژی برای سیستم‌های روشنایی، سیستم سرمایش(کولر آبی)، موتورخانه و تجهیزات (رایانه ها، دستگاه تکثیر و ...) است که در ماه های گرم مورد بهره برداری (مهرماه و اردیبهشت ماه) حداکثر و در ماههای تعطیلی مدرسه که تنها فضاهای اداری به صورت پاره وقت (۲ روز درهفته) مورد استفاده قرار می‌گیرند، حداقل بوده است(شکل۵).



شکل٤) میزان مصرف انرژی گاز بر اساس قبوض در دوره یکساله[۳]



شکل۵) میزان مصرف انرژی برق بر اساس قبوض در دوره یکساله [۳]

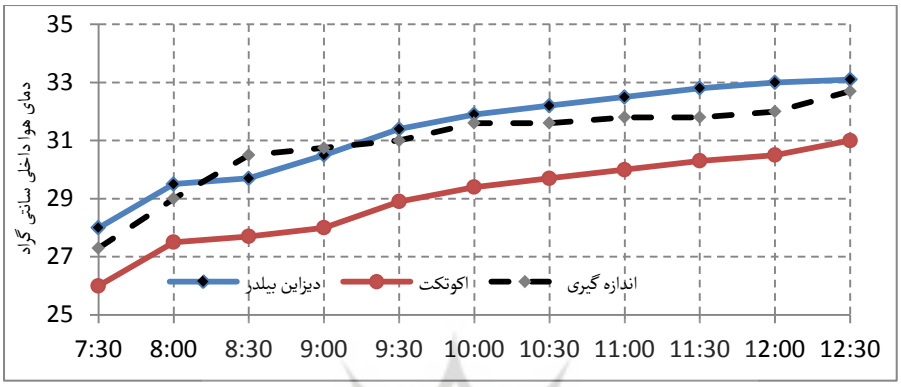
مقایسه نتایج ممیزی انرژی واندازه گیری میدانی و شبیه سازی انرژی

دمای فضای داخلی یکی از کلاس‌های درس در وجه جنوبی در ۶ اردیبهشت ماه از ساعت ۷:۳۰ الی ۱۲:۳۰ اندازه‌گیری و با خروجی‌های هر دو نرم افزار در آن روز مقایسه شده است. بنا بر اندازه‌گیری‌ها، دمای کلاس مورد نظر از

---

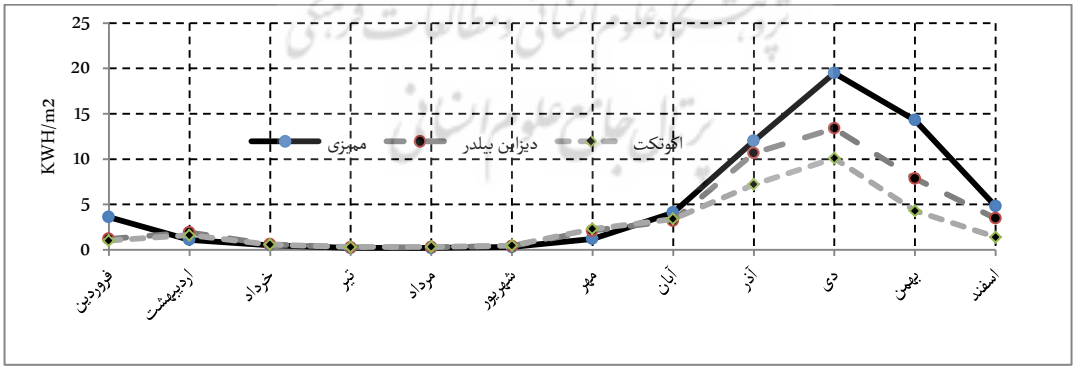
۱) جهت دقت بیشتر تبدیل و تطابق تاریخ های نرم افزار با ماه های شمسی انجام پذیرفته است.

۲۷,۳ درجه سانتی‌گراد در ساعت ۷:۳۰ صبح زمانی که دانش‌آموزان حضور نداشتند تا ۳۲,۷ سانتی‌گراد درساعت ۱۲:۳۰ با حضور دانش‌آموزان متغیر بوده است (شکل۶).



شکل٦) مقایسه دمای حاصل از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در کلاس درس در روز ٦ اردیبهشت ماه

بر اساس نمودار، روند تغییر دما در هر دو نرم افزار مشابه روند تغییرات در شرایط واقعی است و بنابراین، هر دو نرم افزار برای پیش بینی تغییرات دما در این بررسی صحت لازم را دارا بوده اند. نرم افزار اکوتکت دمای کلاس را پایینتر از میزان اندازه گیری شده محاسبه کرده و حدود ۵ ـ ۱۰ درصد اختلاف بین میزان اندازه گیری شده و پیش بینی شده در ساعت های مورد بررسی مشاهده می‌شود. در حالی که میزان اختلاف بین دماهای پیش بینی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر و اندازه گیری ها بین ۱ تا ۳ درصد است. بنابراین، نرم افزار دیزاین بیلدر با توجه به درصد اختلاف کمتر، دقت بیشتری در پیش بینی دمای داخلی کلاس داشته است.

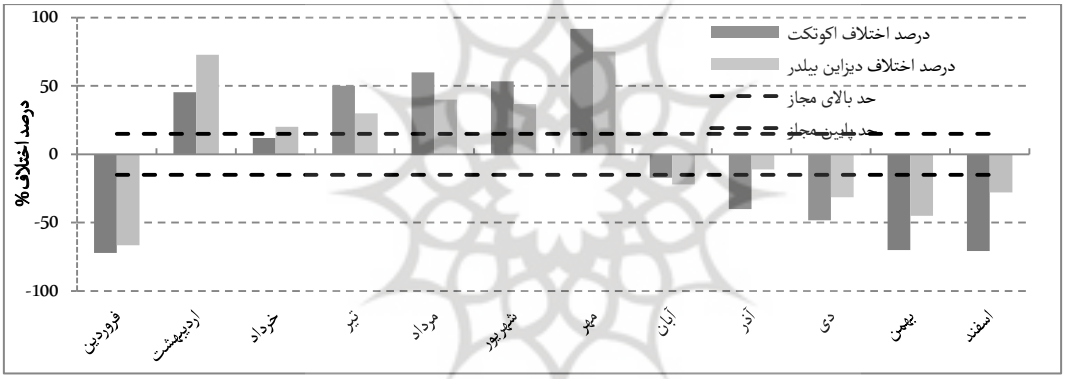


شکل۷)مقایسه میزان مصرف انرژی(گاز و برق) واقعی و مصرف پیش بینی شده در مدرسه مورد بررسی

همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، میزان مصرف انرژی در ماه های سرد بیشتر از میزان پیش بینی شده در نرم افزارهای شبیه‌سازی و در ماه های گرم کمتر از آن است. به طور کلی، روند مصرف انرژی در طول سال در هر دو نرم-

افزار با شرایط واقعی مشابه است که صحت نتایج هر دو نرم‌افزار از نقطه نظر امکان کاربست پذیری آن در شرایط واقعی، مطالعات و طراحی را تایید می‌کند.

درصد اختلاف بین میزان واقعی مصرف انرژی و میزان مصرف شبیه سازی شده در هر دو نرم افزار در تمامی ماه ها جز آذر و خرداد بیش از ۱۵ درصد است. حداکثر درصد اختلاف، برابر ۹۱ درصد ، در مهرماه و مربوط به نرم افزار اکوتکت و حداقل درصد اختلاف ۱۱ درصد در آذر ماه مربوط به نرم افزار دیزاین بیلدر است(شکل۸). میزان مصرف انرژی پیش بینی شده در نرم‌افزارها در ماه های تعطیلی (تیر، مرداد، شهریور) و نیمه تعطیل (خرداد ماه)که مدارس به صورت محدود استفاده می شوند، به میزان واقعی مصرف نزدیک است.درصد اختلاف نرم افزار اکوتکت با شرایط واقعی در تمامی ماه ها جز آبان، اردیبهشت و خرداد بیش از نرم افزار دیزاین بیلدر است.



شکل۸)مقایسه درصد اختلاف ماهانه بین مصرف پیش بینی شده و مصرف واقعی و حد مجاز در مدرسه مورد بررسی

میزان واقعی کل مصرف انرژی در طول یک سال ۵۹,۴ کیلووات ساعت بر متر مربع است. میزان مصرف انرژی شبیه‌سازی شده بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع در نرم افزار دیزاین بیلدر۴۵,۳۳ و در اکوتکت ۳۲,۹۴ محاسبه شده است. درصد اختلاف نرم افزار دیزاین بیلدر در این بررسی برای محاسبه میزان مصرف انرژی سالیانه ۲۳ درصد و نرم افزار اکوتکت ۴۴ درصد است.

تحلیل نتایج

مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی و ممیزی انرژی و اندازه گیری میدانی نشان می دهد که نتایج نرم افزار دیزاین بیلدر به شرایط واقعی نزدیک تر است. البته پرواضح است که درصد اختلاف بین دو نرم افزار با شرایط واقعی بسیار زیاد بوده و در محدوده مجاز استانداردها (±۱۵ درصد) نیست. لازم به ذکر است این استانداردها بر اساس مصالح، کیفیت ساخت و ساز، تجهیزات الکتریکی و تاسیسات سرمایش، گرمایش، تهویه و روشنایی مرسوم در کشورهای توسعه یافته تدوین شده

است و دستیابی به این میزان درصد خطا در شبیه سازی در کشور ما به راحتی امکانپذیر نبوده و خارج از اختیار شبیه ساز می باشد. به نظر می‌رسد نرم افزار دیزاین بیلدر با توجه به امکانات گسترده تر برای تدقیق داده های ورودی، از جمله امکان اصلاح و به روز سازی مقادیر و داده های اقلیمی و درصد خطای کمتر در شرایط یکسان نسبت به نرم افزار اکوتکت جهت بکارگیری برای اهداف ممیزی و بهینه سازی انرژی در ساختمان کاربردی تر است. بنابراین در فرایند شبیه سازی با کنترل مجدد ورودی‌های این نرم افزار، آنهایی که با شرایط واقعی کاملا انطباق ندارند، شناسایی و تاثیر آنها بر کاهش اختلاف مصرف پیش بینی شده و شبیه سازی شده بررسی گردیده است.

مصرف انرژی گرمایشی پیش بینی شده در هر دو نرم افزار بخصوص اکوتکت کمتر از میزان مصرف واقعی است. این امر علاوه بر خطای پارامترهای ورودی، ناشی از الگوریتم محاسباتی اکوتکت نیز به نظر می‌رسد. محاسبات گرمایشی اکوتکت بر اساس روش ادمیتنس است که بنا بر راهنمای طراحی محیطی *سی آی بی اس ای*[1] برای محاسبات بار سرمایشی اعتبار لازم را دارد. اما تحقیقات مختلف نشان داده اند که در شرایطی مانند تابش شدید و بار داخلی زیاد معمولا این روش نتایج درستی ارائه نمی دهد[۷]. با وجود اینکه نتایج محاسبه میزان مصرف انرژی نرم افزار اکوتکت از دقت کافی برخوردار نیست، اما تحقیقات مختلف[۵,۸,۲۰] نتایج حاصل از تحلیل‌های حرارتی این نرم افزار را برای مقایسه جایگزین‌های مختلف طراحی در مراحل اولیه طراحی مناسب دانسته‌اند. نرم افزار دیزاین بیلدر، با موتور شبیه سازی معتبر انرژی پلاس برای محاسبات، عملکرد بهتری در پیش بینی میزان مصرف انرژی ساختمان و دمای داخلی فضاها داشته است. به نظر می‌رسد اختلاف موجود بین مصرف واقعی و پیش بینی شده این نرم افزار ناشی از از تاثیر همزمان چندین پارامتر است. این پارامترها در دو دسته پارامترهای فیزیکی و بهره برداری در ادامه شرح داده می شوند. پارامترهای مورد نظر اصلاح شده و مجددا شبیه سازی صورت گرفته و با میزان واقعی مصرف مقایسه شده است.

پارامترهای فیزیکی

اطلاعات آب و هوایی

اطلاعات آب و هوایی بیرونی مهمترین پارامتر در تبیین دمای داخلی فضاها و میزان انرژی مورد نیاز برای تامین شرایط آسایش است. متغیرهای اقلیمی مورد استفاده در شبیه سازی انرژی ساختمان با فرمت های گوناگون از جمله epw, wea, TMY بر اساس اطلاعات آب و هوایی ایستگاه های هواشناسی ساخته و با در نظر گرفتن شرایط اطراف ساختمان مورد بررسی، به کارگرفته می شوند. سازمان انرژی امریکا فایل اطلاعات اقلیمی بیش از ۲۱۰۰ منطقه در جهان را در فرمت epw به صورت رایگان در اختیار کاربران می‌گذارد. این فایل ها برای ۶ شهر، بندرعباس، تهران، تبریز، شیراز ، اصفهان و یزد از کشور ایران بر اساس اطلاعات آب و هوایی ۳۰ تا ۴۳ سال در قالب ITMY تولید شده و در دسترس است [۱۰]. فایل اقلیمی شهر کاشان براساس داده های اقلیمی سالهای ۱۹۹۱-۲۰۱۰ با استفاده از نرم افزار متونرم ۷[2]

1) Environmental design, CIBSE Guide A
1) Meteonorm 7

تهیه شده است. برخی از پارامترها از جمله سرعت باد در اطراف ساختمان و میزان تابش دریافتی ارتباط مستقیمی با ویژگی های محدوده اطراف ساختمان دارد. ضرایب مربوط به باد و بازتابش با توجه به موقعیت قرارگیری ساختمان نسبت به بافت اطراف بایستی کنترل شود. همچنین لازم است اطلاعات آب و هوایی سال های اخیر شامل معدل دما و حداکثر و حداقل دما در ماه‌های مختلف با اطلاعات فایل اقلیمی مورد استفاده مقایسه و در صورت وجود اختلاف قابل توجه بین آنها، اصلاحات صورت پذیرد.

نفوذ هوا

میزان نفوذ هوا در ساختمان، از داخل آن به خارج و یا در مسیر معکوس که غالبا از طریق درزها و تخلخل مصالح و نیز دریچه‌های تهویه و نظایر آن رخ می‌دهد، از عوامل اصلی افزایش مصرف انرژی در ساختمان است و عموما نیز به واسطه عدم شناخت مورد غفلت قرار می گیرد. نفوذ هوا علاوه بر جزئیات اجرایی، به کیفیت ساخت و تعمیر و نگهداری ساختمان نیز بستگی دارد و با افزایش سطح عایق ساختمانها در کشورهای پیشرفته به عامل اصلی اتلاف انرژی تبدیل گردیده و لذا محدودیت‌هایی برای آن لحاظ شده است در حالی که در کشور ایران به آن پرداخته نشده است. از این رو، مقدار عدد ۰,۷۵ تعداد دفعات تعویض هوا که نرم افزار به صورت معمول برای آن لحاظ می‌کند باید تدقیق شود در حالی که مطالعات نشان می دهد این عدد در ساخت و ساز رایج کشور بسیار بیش از این مقدار (تا حدود سه برابر) است[۱].

باید توجه داشت که نفوذ هوا در بسیاری از موارد به صورت غیرتعمدی بخشی از تهویه و کیفیت هوا را نیز تامین می کند لیکن متفاوت از تهویه تعمدی است و لذا در مدلسازی نیز باید به هردو وجه این موضوع توجه نمود. ازسوی دیگر، اختلاف محتوای رطوبت هوای نفوذ کرده به شرایط آسایش بار مضاعفی به محیط وارد می‌کند. همچنین موضوع نفوذ هوا از این وجه قابل تأمل است که سیستم های تاسیساتی نظیر سرمایش با کولر آبی با ایجاد فشار مثبت مقدار نفوذ هوا به خارج را افزایش می‌دهند و شرایط وزش باد خارج و شفت ها و اثردودکشی ناشی از آنها نیز بر این مقدار تاثیرگذارند. عدم توجه به این موضوع می‌تواند نتایج مدلسازی را دچار خطاهای غیر قابل چشم‌پوشی نماید.

تنظیمات سیستم های سرمایش و گرمایش و تهویه[1]

بخش اعظمی از فرایند شبیه سازی انرژی ساختمان به صورت تخصصی، مدلسازی سیستم های پیچیده تاسیسات به صورت یکپارچه است. با پدید آمدن نرم افزارهایی با رابط گرافیکی ساده تر، امکان ارتباط مستقیم معماران با مقوله انرژی فراهم شده است. از فواید این امر کوتاه‌تر شدن زمان طراحی ، افزایش کارایی و پایین آمدن هزینه های طراحی است. نرم افزار دیزاین بیلدر امکان شبیه سازی سیستم های سرمایش ،گرمایش و تهویه را در سه سطح فراهم می‌کند: در سطح اول یا سطح ساده[2] ، سیستم های گرمایش/سرمایش با استفاده از الگوریتم های پایه محاسبات بار مدلسازی می شود. در

1) HVAC
2) simple

سطح ساده، مصرف انرژی منبع گرمایش (بویلر یا پمپ گرمایی) و سرمایش(چیلر) بر اساس بار گرمایش و سرمایش فضا با استفاده از ضریب عملکرد سیستم ها محاسبه می شود، در سطح دوم یا سطح متراکم[1] ، سیستم های سرمایش و گرمایش بر اساس جزییات بیشتر، دقیق تر و نسبتا مناسب در انرژی پلاس مدل می شوند. این جزییات شامل مشخصات دقیق بویلرها، چیلرها و فن ها است و در سطح سوم، سیستم سرمایش/گرمایش با جزئیات بسیار دقیق و کامل مدلسازی می‌شوند. بهره‌گیری از سطوح دوم و سوم مدلسازی بدون داشتن اطلاعات دقیق و تخصص لازم از اجزاء و سیستم ها، منجر به نتایج نادرست در شبیه سازی می شود. بنابر توصیه نرم افزار در صورتی که این اطلاعات فراهم نباشد، بهترین راه حل استفاده از حالت ساده بوده که با تعریف سیستم و تعیین و تدقیق ضرایب عملکرد، میزان مصرف انرژی پیش بینی می شود.

پارامترهای بهره برداری

الگوی باز و بسته کردن پنجره ها

یکی از دلایل اصلی اتلاف حرارت در ساختمان ها، رفتارها و عادات بعضا نادرست کاربران است. از جمله این رفتارها می‌توان به باز کردن پنجره برای بازیابی آسایش حرارتی و دریافت هوای تازه همزمان با روشن بودن سیستم های گرمایش و سرمایش اشاره کرد. بیش گرمایش (افزایش بیش از حد دما) به علت تعداد زیاد افراد و دمای بالای سیستم های گرمایشی از مشکلات اساسی در کلاس های درس در زمستان است. همچنین بالا رفتن رطوبت و عدم آسایش با وجود روشن بودن سیستم های سرمایش تبخیری یکی از مشکلات اساسی در فصل گرم است. این مشکلات منجر به باز کردن پنجره ها برای کاهش دما در زمستان و دریافت هوای تازه و کاهش رطوبت در تابستان می‌شود و این امر در عمل سبب افزایش مصرف انرژی هم در زمان سرمایش و هم در زمان گرمایش می شود. این رفتار کاربران بر خلاف پیش فرض نرم افزار است که باز شدن پنجره ها و تهویه طبیعی فضاها را فقط در زمان‌هایی که اختلاف دمای مجاز بین فضای داخل و خارج وجود دارد، ممکن می سازد. لازم است با مطالعات میدانی الگوی رفتاری واقعی کاربران در فضاها شناسایی و به عنوان ورودی در نرم افزار در نظر گرفته شود. نتایج مطالعه میدانی این تحقیق حاکی از باز گذاشتن پنجره کلاس با وجود روشن بودن سیستم سرمایش برای بهبود جریان هوا و کاهش رطوبت در فصل گرم و کاهش دما به علت بیش گرمایش در فصل سرد در کلاس های درس مدرسه مورد مطالعه بوده است.

الگوی روشن و خاموش کردن سیستم روشنایی

یکی از امکانات نرم افزارهای شبیه سازی انرژی، کنترل روشنایی روز است. بدین ترتیب که با فعال کردن این گزینه، نرم افزار محاسبات مصرف انرژی روشنایی را فقط در زمان هایی که حداقل نور روز مورد نظر در تنظیمات به صورت طبیعی تامین نشده باشد، انجام می دهد. این فرضیه تا حدی به واقعیت نزدیک بوده، اما با توجه به کاربری مورد بررسی

---

1) compact

این فرضیه باید بدقت در نظر گرفته شود. رفتار نادرست کاربر و طراحی نامناسب فضا که سبب توزیع نامناسب نور و خیرگی به سبب نور مستقیم می شود در برخی مواقع سبب استفاده از روشنایی مصنوعی، به رغم وجود روشنایی طبیعی کافی، است. بنابراین، لازم است رفتار کاربران بدقت بررسی شود و تنظیماتی که نزدیکترین حالت به شرایط واقعی است در نرم افزار اعمال گردد. مطالعه میدانی در این تحقیق در کلاس های درس نشاندهنده بسته بودن پرده های داخلی به علت تابش مستقیم و بازتابش نور بر روی تخته سیاه و یا وایت برد و استفاده از روشنایی مصنوعی در کلاس های جنوبی در بیش از ۸۰ درصد طول روز بوده است.

تمامی این پارامترها در مدل اولیه نرم افزار دیزاین بیلدر اصلاح شده و مجددا محاسبات صورت گرفته است. میزان درصد اختلاف بین مصرف واقعی و مصرف پیش بینی شده نرم افزار از ۲۳ درصد به ۱۴ درصد کاهش یافته است. این درصد اختلاف در محدوده مجاز استانداردها قرار می‌گیرد.

نتیجه گیری

نرم افزارهای شبیه سازی انرژی از ابزارهای جدا ناشدنی پروژه های طراحی ساختمان های انرژی کارا و بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های موجود است که امروزه تقاضای بسیار وسیعی برای استفاده از آنها در صنعت ساختمان وجود دارد. یکی از دلایل افزایش تقاضا برای نرم افزارهای شبیه سازی، کمبود شدید مهندسان مشاور انرژی توانمندی است که بتوانند گروه طراحی را به سمت ساختمان های انرژی کارا هدایت کنند. تنوع و پیچیدگی این نرم افزارها، انتخاب مناسب ترین آنها را با توجه به اهداف پروژه دشوار کرده است. این نرم افزارها از نظر میزان دقت متفاوت بوده و بکارگیری آنها در شرایط مختلف احتیاج به آگاهی و دانش تخصصی دارد. تا زمانی که مدلسازی انرژی به عنوان ابزاری مفید در طراحی درنظر گرفته شده باشد، باید اعتبار آنها بررسی و ملاحظاتی برای بهره گیری از آنها در نظرگرفته شود.

در این پژوهش، اعتبار دو نرم افزار دیزاین بیلدر و اکوتکت بررسی شده و نتایج با مقادیر مصرف واقعی مستخرج از قبوض برق و گاز مقایسه شده است. نتایج حاکی از نزدیکتر بودن نتایج نرم افزار دیزاین بیلدر به شرایط واقعی بوده است. گرچه ورودی های نرم افزار تا حد امکان تدقیق شده اند، اما یکی از محدودیت های این تحقیقات نااطمینانی از میزان مصرف ماهانه حاصل از قبوض است. در ممیزی انرژی ساختمان میزان مصرف انرژی روزانه ثابت فرض شده و با تقسیم میزان کل مصرف برق و گاز هر دوره بر تعداد روزهای استفاده از مدرسه به دست آمده است. با ضرب این عدد در تعداد روزهای مدرسه در هر ماه، میزان مصرف ماهانه تخمین زده شده است. بدیهی است برای افزایش دقت این تحقیق بایستی میزان مصرف و شرایط اقلیمی در روزهای مشخص پایش و با نتایج شبیه سازی در آن روزها مقایسه شود.

از نکات مهم در استفاده از نرم افزارهای شبیه‌سازی، دقت در ورودی های نرم افزار است. دقت ناکافی در ورودی ها عامل اصلی خطا در نتایج شبیه سازی می باشد. بررسی های انجام شده در این تحقیق حاکی از این بوده که ورودی هایی از جمله پرونده اطلاعات اقلیمی، میزان نفوذ هوا ، تنظیمات مربوط به سیستم های سرمایش / گرمایش و رفتار کاربران در خصوص باز و بسته کردن پنجره ها و روشن و خاموش کردن سیستم های روشنایی از جمله مواردی است که تطبیق آنها با شرایط واقعی مشکل بوده و باید برای ورود اطلاعات مطالعات و دقت کافی انجام پذیرد. همچنین نتایج نشان می دهد

که نرم افزار دیزاین بیلدر به واسطه برخورداری از آرشیو گسترده تر مصالح و کتابخانه وسیعتر و جامعتری از سیستم ها و تجهیزات دقت و تطابق بیشتری با شرایط واقعی دارد. از سوی دیگر، نرم افزار اکوتکت اختلاف بسیار زیادی با میزان مصرف واقعی دارد و از دقت کمتری برخوردار است اما هماهنگی بین روند مصرف انرژی در ماه های مختلف، صحت و کاربست پذیری هر دو نرم افزار را تایید می‌کند. به عبارت دیگر، کفایت و صحت داده های نرم افزار برای تخمین مقدار مصرف انرژی در گامهای نخست طراحی را فراهم می‌کند. گرچه برای مقاصد دقیقتر و کارامدتر، توصیه منتج از این تحقیق صراحتا استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر است.

سپاسگزاری

نویسندگان از گروه معماری و طراحی محیط پژوهشکده مطالعات و توسعه جهاد دانشگاهی تهران برای در اختیار گذاشتن اطلاعات مربوط به پایش ساختمان آموزشی در شهر کاشان کمال تشکر را دارند.

منابع

[۱] تحصیلدوست، محمد(۱۳۹۰)، نفوذ هوا در ساختمان، مطالعه موردی بررسی رفتار بناهای متداول در محدوده تهران، رساله دکتری دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۰.

[۲] ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو.

[۳] سازمان نوسازی توسعه و تجهیز مدارس کشور (۱۳۹۳)، طرح تدوین راهنمای طراحی مدارس با تراز مصرف انرژی سالانه صفر، مجری: سعید امینیان- پژوهشکده مطالعات توسعه جهاد دانشگاهی تهران، تهران.

[۴] مفیدی‌شمیرانی، سیدمجید، غیائی، محمدمهدی، طاهباز، منصوره، مهدوی نیا، مجتبی(۱۳۹۲)، روش شناسی گزینش نرم افزارهای کاربردی شبیه ساز انرژی در حوزه معماری، هویت شهر شماره ۱۳، صفحه ۴۵-۵۵.

[5] Attia, S., Beltrán, L., De Herde, A. and Hensen, J.(2009) "Architect Friendly*: **A comparison of ten different building performance simulation tools***", *Proceedings of 11th International IBPSA Conference*, Glasgow, Skotland.

[6] Baharvand, M., Bin Ahmad, M., Safikhani, T., Abdul Majid, R. "DesignBuilder Verification and Validation for Indoor Natural Ventilation Conditions". *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, Vol 3, No.4, pp.182-189, 2013.

[7] Beattie, K.H. and I.C. Ward(1999) "The Advantages Of Building Simulation For Building Design Engineers", *Proceedings of 7th International IBPSA Conference*, Kyoto, Japan.

[8] Chung, L.P., Ahmad, M.H.b.H. and Ossen, D.R., "Comparison Of Integrated Environmental Solutions (Virtual Environment) And Autodesk Ecotect Simulation Software Accuracy With Field Measurement For Temperature", *Sustainability in Built Environment 1*, pp.85-100, 2013.

[9] Coakley, D., Raftery, P., and Molloy ,P.(2012) "Calibration Of Whole Building Energy Simulation Models: Detailed Case Study Of A Naturally Ventilated Building Using Hourly Measured Data", *Proceedings of First Building Simulation and Optimization Conference*,

Loughborough, UK.

[10] Ebrahimpour, A. and M. Maerefat, "A method for generation of typical meteorological year", *Energy Conversion and Management*, Vol.51, No.3, pp. 410-417, 2010.

[11] Holst, J.(2003) "Using Whole Building Simulation Models &Optimizing Procedures To Optimise Builidng Envelope Design With Respect To Energy Consumption & Indoor Environment", *Proceedings of 8th International IBPSA Conference*, Eindhoven, Netherlands.

[12] Judkoff, R., Wortman, D., O'Doherty, B., Burch, J. (2008) *A Methodology for Validating Building Energy Analysis Simulations*, in Technical Report NREL/TP-550-42059, National Renewable Energy Laboratory.

[13] Leng, P.C Ahmad, M.H.b.H., Ossen, D.R.(2012)" Investigation of Integrated Environmental Solutions-Virtual Environment Software Accuracy for Air Temperature and Relative Humidity of the Test Room Simulations", *Proceeding of International Annual Symposium on Sustainability Science and Management*, Terengganu, Malaysia.

[14] Liu, G. and M. Liu, "A rapid calibration procedure and case study for simplified simulation models of commonly used HVAC systems", *Building and Environment*, Vol 46, No.2, pp. 409-420,2011.

[15] Norford, L.K., Socolow, R. H., Hsieh, E. S., Spadaro, G. V., "Two-to-one discrepancy between measured and predicted performance of a 'low-energy' office building: insights from a reconciliation based on the DOE-2 model". *Energy and Buildings* Vol. 2, No. 2, pp. 121-131,1994.

[16] Polly, B., N. Kruis, and D. Roberts, (2011) *Assessing and Improving the Accuracy of Energy Analysis for Residential Buildings*, U.S. Department of Energy: Building Technologies Program, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.

[17] Rallapalli, H.S.(2010) *A Comparison of EnergyPlus and eQUEST Whole Building Energy Simulation Results for a Medium Sized Office Building*, Master thesis Arizona State University.

[18] Reeves, T., S. Olbina, and R. Issa, (2012)"Validation Of Building Energy Modeling Tools: Ecotect™, Green Building Studio™ And IES" , *Proceeding of Winter Simulation Conference*, Berlin, Germany

[19] Ryan, E.M. and T.F. Sanquist, "Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions", *Energy and Buildings*, Vol. 47, pp. 375-382, 2012.

[20] Vangimalla, P.R., Olbina, S. J. Issa, R.,Hinze, J., (2011), "Validation Of Autodesk Ecotecttm Accuracy For Thermal And Daylighting Simulations", *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, Phoenix, USA.

[21] Wasilowski, H. and C .Reinhart, (2009) "Modelling An Existing Building In Designbuilder/ Custom Versus Default Inputs", *Proceedings of 11th International IBPSA Conference*, Glasgow, Scotland.

[22] S.Zahiri and H.Altan, (2012) "Evaluation of Thermal Conditions in a Secondary School Building in Middle East: A Comparison Study of Computed and Measured Conditions", *Proceedings of 1th IBPSA Asia Conference*, Shanghai, China.

[23] Zhu, D., Tianzhen, H., Da, Y., Chuang, W*A*," detailed loads comparison of three building energy modeling programs: EnergyPlus, DeST and DOE-2.1E", *Building Simulation* Vol. 6 No. 3, pp. 323-335, 2013.

[24] Available from: http://www.chaharmahalmet.ir