

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

زهراسادات زمردیان<sup>۱</sup>، محمد تحصیلدوست<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۹۳/۱۱/۲

تاریخ پذیرش مقاله:

۹۴/۲/۹

## چکیده:

بالا بودن هزینه سرمایه گذاری و دوره بازگشت سرمایه طولانی در پروژه های بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان ها، ارزیابی دقیق راهکارهای کاهش مصرف انرژی را قبل از اجرا ضروری کرده است. به دلیل گستردگی پارامترهای دخیل در مصرف انرژی، تصمیم گیری در رابطه با راهبردها و اجزا طراحی عملاً 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 نرم افزار شبیه سازی انرژی (دیزاین بیلدر و اکوتکت) با روش تجربی و مقایسه ای بررسی گردیده است: مصرف انرژی سالانه یک ساختمان آموزشی موجود شبیه سازی و سپس با مصرف واقعی حاصل از ممیزی انرژی ساختمان مقایسه شده است. با اصلاح ورودی های نرم افزار براساس برداشت های میدانی، پارامترهای اصلی موجد اختلاف بین مصارف پیش بینی 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

## 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 نسبتاً 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.

معمولاً نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی یک ساختمان در نرم‌افزارهای مختلف، حتی زمانی که شبیه‌سازی توسط یک فرد واحد انجام شده باشد، متفاوت است. علاوه بر این، 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 نرم‌افزار سبب شده تا کاربران و کارفرمایان نسبت به صحت و کاربست‌پذیری 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 حالی که برای دستیابی به اهداف کاهش مصرف انرژی در ساختمان، استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی برای اجرایی کردن مقررات ساختمانی، برچسب انرژی و طراحی یکپارچه ضروری است. طبعاً مادامی که مدلسازی انرژی به عنوان ابزاری مفید در طراحی و ارزیابی ساختمان‌ها در نظر گرفته شود، لازم است اعتبار و دقت نرم‌افزارهای 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، مقایسه‌ای و تجربی تقسیم می‌شوند. در میان تحقیقات اعتبارسنجی نرم‌افزارهای 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 ایجادکننده اختلاف بین میزان مصرف انرژی پیش‌بینی شده و میزان مصرف واقعی و تدقیق ورودی‌های

نرم افزار با توجه به بستر بکارگیری آنهاست. نرم افزارهای اکوتکت<sup>۱</sup> [۸, ۱۸]، گرین بیلدینگ استودیو<sup>۲</sup>، آی ای اس<sup>۳</sup> [۱۳] انرژی پلاس [۲۳]، آی کوست<sup>۴</sup> [۱۷]، دیزاین بیلدر [۲۲, ۲۳, ۶]، دی او ای<sup>۵</sup> [۲۱] از جمله نرم افزارهایی هستند که اعتبار آنها بدین طریق بررسی شده است. اکثر این تحقیقات در کشورهای توسعه یافته که نرم افزارهای شبیه سازی براساس مقررات و استانداردهای رایج در آنها تدوین شده، انجام شده اند. طبیعتاً برای بکارگیری این نرم افزارها در ایران نیز لازم است توانمندی های 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 شبیه سازی در نظر گرفته شود.

در این تحقیق اعتبار دو نرم افزار رایج در جامعه حرفه ای و علمی کشور در مدلسازی انرژی ساختمان، دیزاین بیلدر<sup>۶</sup> و اکوتکت<sup>۷</sup> که کاربرد نسبتاً وسیعی هم در حوزه آموزش و هم پروژه های اجرایی دارند<sup>۸</sup>، از طریق مقایسه خروجی های نرم افزارها با میزان واقعی مصرف انرژی بررسی شده است. یک ساختمان آموزشی موجود در شهر کاشان در هر دو نرم افزار مدلسازی شده و میزان مصرف انرژی آنها در بازه یکساله از طریق شبیه سازی محاسبه، و با میزان واقعی مصرف انرژی ساختمان در طول یک سال مقایسه و نهایتاً نتایج ارائه گردیده است. در بخش اول، ابتدا مبانی نظری اعتبارسنجی جهت اتخاذ رویکرد مناسب برای تحقیق بررسی و سپس در بخش بعد، رویکرد مورد نظر برای اعتبارسنجی نرم افزارها در یک ساختمان آموزشی به صورت مصداق به کار گرفته شده است. روش، نتایج و پیشنهادهای حاصل از این بررسی برای بکارگیری نرم افزارهای شبیه سازی در فرایند طراحی و ارزیابی ساختمان ها در ایران در دیگر بخش های 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، پیش بینی دقیق میزان مصرف انرژی در شرایط واقعی را بسیار مشکل کرده است. از این رو، لازم است با تطبیق خروجی های حاصل از شبیه سازی با داده های اندازه گیری شده در شرایط

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

واقعی، اعتبار نرم افزارهای شبیه سازی بررسی شود. جامعه متخصصان شبیه سازی پیش از این اعتبارسنجی را هنری و وابسته به تجربه کاربر نرم افزار و دانش مهندسی می دانستند و به طور گسترده به سعی و خطا برای رسیدن به هدف تکیه می کردند، اما در سال های اخیر، محققان روش هایی علمی برای اعتبارسنجی نرم افزارهای شبیه سازی انرژی ارائه کرده اند [۹،۱۲،۱۶].

همانطور که اشاره شد، روش های مرسوم برای اعتبارسنجی نرم افزارهای شبیه سازی را می توان در سه دسته کلی شامل روش های تحلیلی، روش های مقایسه ای و روش های تجربی جای داد. روش های تحلیلی برای آزمایش سازوکارهای اصلی انتقال حرارت که بیشترین تاثیر را در عملکرد انرژی ساختمان دارند، به کار می روند. این روش بنیادی ترین طریقه اعتبار سنجی نرم افزارهای شبیه سازی انرژی است. در روش های مقایسه ای، نتایج حاصل از شبیه سازی در نرم افزار مورد نظر با نتایج شبیه سازی در سایر نرم افزارها و با در نظر گرفتن داده های ورودی و شرایط کاملا یکسان مقایسه می شود. در این روش، شناسایی پارامترهای تاثیرگذار در ایجاد اختلاف در نتایج دو نرم افزار بسیار مهم است. محققین [۲۳] تفاوت بین نتایج شبیه سازی در نرم افزارهای مختلف را اساسا ناشی از سه پارامتر می دانند: اول، موتور شبیه سازی که قابل تغییر نیست؛ دوم، رابط گرافیکی موتور شبیه سازی که معمولا ساده سازی هایی را اعمال می نماید و در برخی مواقع، پیش فرض های بسیار پر اهمیتی را از دید کاربر مخفی نگه می دارد و سوم، خطاهای ناشی از عدم تسلط کاربر بر نرم افزار انتخابی است که عموما منجر به ورودی های ناقص در نرم افزار می شود. در روش های تجربی نیز یک ساختمان واقعی یا اتاقک آزمایشگاهی طی زمان مشخصی پایش و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از شبیه سازی مقایسه می شود. مرجع [۱۹] نیز روش های اصلی برای اعتبارسنجی نرم افزارهای شبیه سازی انرژی را به دو دسته تقسیم می کنند:

۱- اعتبارسنجی برای شرایط ایده آل

۲- اعتبارسنجی برای شرایط واقعی

اعتبار سنجی برای شرایط ایده آل بر اساس استانداردهایی مانند BESTEST<sup>۱</sup> و ASHRAE 14 انجام می شود. این روش ها برای بررسی فرضیات و فرایندهای فیزیکی در مدل به کار گرفته می شوند. در این روش ها، یک اتاقک آزمایشگاهی که همه وجوه آن به جز یکی بخوبی عایق شده است، برای بررسی تاثیر تابش، مصالح و ... بر شرایط داخلی اتاق در نظر گرفته می شود. همچنین حسگرهایی در داخل فضا اطلاعات دما و رطوبت، برنامه استفاده از سیستم های سرمایش، گرمایش و روشنایی در طول چندین روز را ثبت می کنند. این اطلاعات به عنوان داده های ورودی به مدل به کار می روند و در نهایت، نتایج حاصل از شبیه سازی با اندازه گیری های اتاقک آزمایشگاهی مقایسه می شوند. روش دیگر، اعتبارسنجی در شرایط واقعی شامل مقایسه اطلاعات حاصل از ممیزی ساختمان ها با نتایج حاصل از شبیه سازی 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 معمولاً با شرایط واقعی تطبیق پیدا نمی‌کند. 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.

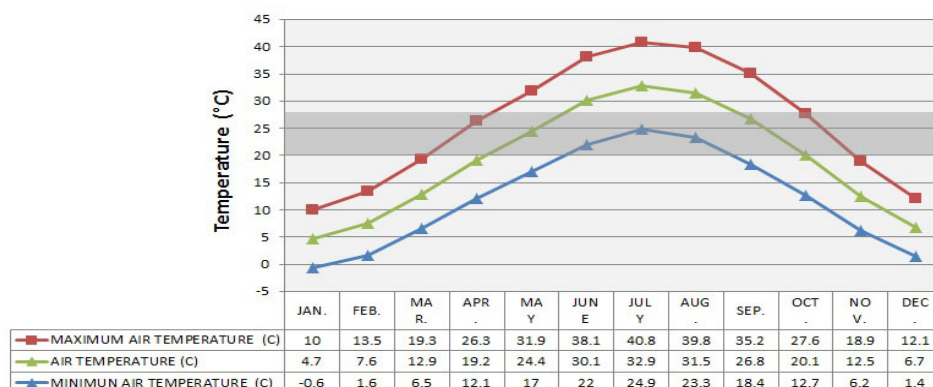
### هدف و روش شناختی تحقیق

از آنجایی که بر اساس تحقیقات [۲۳، ۱۹] 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 روش‌های 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 صحت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی برای بکارگیری آنها در داخل کشور بیان شده است.

### معرفی نمونه موردی

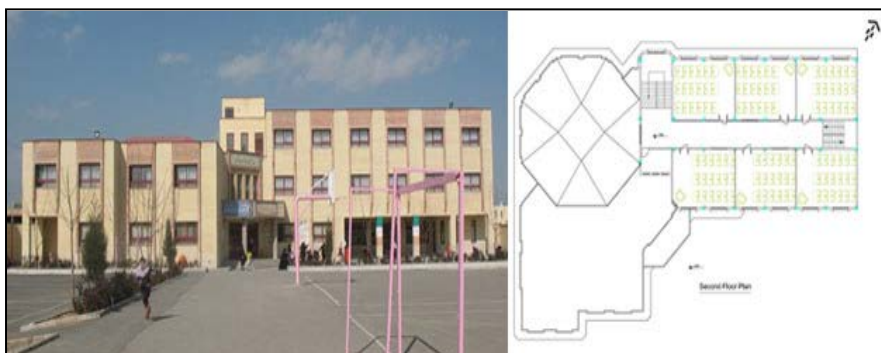
یک ساختمان آموزشی پایه دبستان در شهر کاشان واقع در اقلیم گرم و خشک به عنوان نمونه برای تحقیق اعتبارسنجی

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 در تصویر 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.



شکل (۱) 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 دانش‌آموز 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.



شکل (۲) 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، اداره کل 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 روز ۱۶ اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۳ در یک دوره ۶ ساعته از ابتدای صبح بدون حضور و مابقی ساعت ها با حضور دانش آموزان با استفاده از دستگاه دیتالاگر تستو<sup>۱</sup> 175-H2 در بازه‌های 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 در قالب 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 شده است.

جدول (۱) داده های ورودی به نرم افزار دیزاین بیلدر و اکوتکت

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

1) TESTO DATA LOGGER , Accuracy/Logger  $\pm 0.5$  °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 و روشنایی 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 می گیرد. اکوتکت از روش ادمیتنس<sup>۱</sup> سی آی بی<sup>۲</sup> اسپراساس استاندارد ایزو ۱۳۹۱:۲۰۰۴ و ایزو ۱۳۷۸۹:۱۹۹۹ برای محاسبه بار سرمایش و گرمایش و از روش عامل روشنایی روز<sup>۳</sup> 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 محدودیت های نرم افزار، اطلاعات ناکافی برای شبیه سازی 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 (2006) CIBSE TM33<sup>۴</sup> اعتبارسنجی شده است.

### شبیه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر

این نرم افزار مدلسازی که از پیشرفته ترین و به روزترین نرم افزارهای 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 می نماید. این نرم افزار همچنین قابلیت محاسبه میزان روشنایی روز را داراست. موتور شبیه سازی این نرم افزار انرژی پلاس بوده که توسط بخش انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ توسعه یافته و به عنوان یکی از معتبرترین نرم افزارهای 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 انرژی-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

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

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

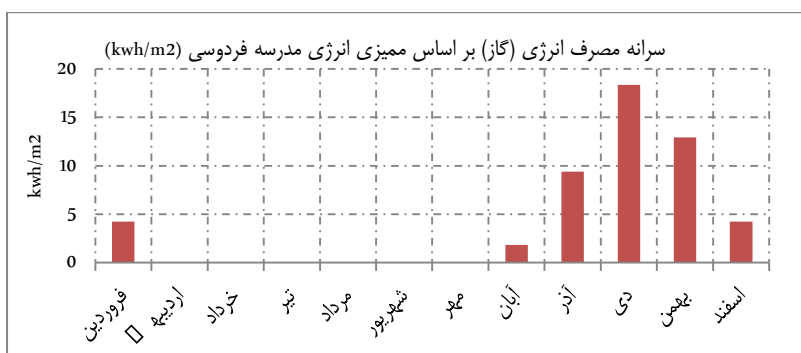
Ecotect results				Design builder						
RESOURCE USAGE - Daily Energy Use				Date/Time						
Model: D:\validation\ferdosi school.eco				Heating (Gas)		Cooling (Electricity)		Lighting	Room Electricity	Total
MONTH	HEATING (Wh)	COOLING (Wh)	ELECTRIC (Wh)	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Jan	21111000	0	1816000	28785	0	1246	342.98	30374		
Feb	8172000	0	1589000	16029	0	1473	342.98	17845		
Mar	1362000	0	1816000	6275	0	1246	342.98	7864		
Apr	0	454000	1816000	908	0	1473	342.98	2724		
May	0	3064500	567500	0	2497000	1473	342.98	2498816		
Jun	0	1271200	0	0	794500	396010	171.49	1190682		
Jul	0	681000	0	0	590200	0	0.00	590200		
Aug	0	726400	0	0	635600	0	0.00	635600		
Sep	0	476700	567500	0	930700	0	0.00	930700		
Oct	3632000	0	1589000	0	3178000	1246	342.98	3179589		
Nov	6129000	0	1589000	5675	0	1246	342.98	7264		
Dec	14755000	0	1589000	22631900	0	1246	342.98	22633489		
TOTAL	55161000	6673800	11350000							

شکل ۳) خروجی ماهانه نرم افزار دیزاین بیلدر و اکوتکت

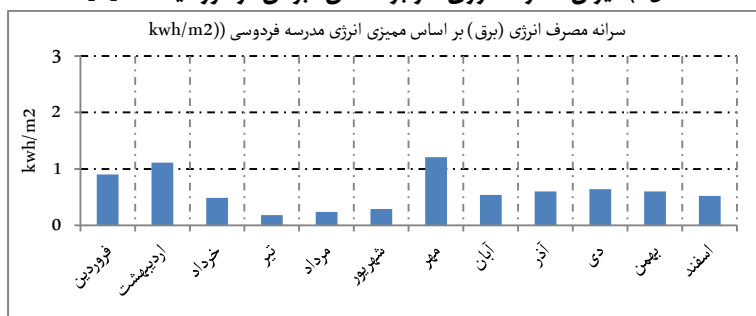
1) Licence

### 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 (شکل ۴). مصرف برق مدرسه شامل مصرف انرژی برای سیستم های 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 ماه های تعطیلی مدرسه که تنها فضاهای اداری به صورت پاره وقت (۲ روز در هفته) مورد استفاده قرار می گیرند، حداقل بوده است (شکل ۵).



شکل ۴) میزان مصرف انرژی گاز بر اساس قبوض در دوره یکساله [۳]



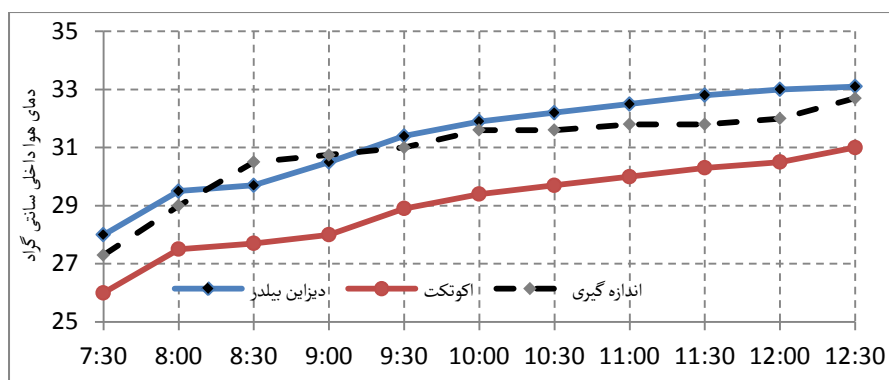
شکل ۵) میزان مصرف انرژی برق بر اساس قبوض در دوره یکساله [۳]

### مقایسه نتایج ممیزی انرژی و اندازه گیری میدانی و شبیه سازی انرژی

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

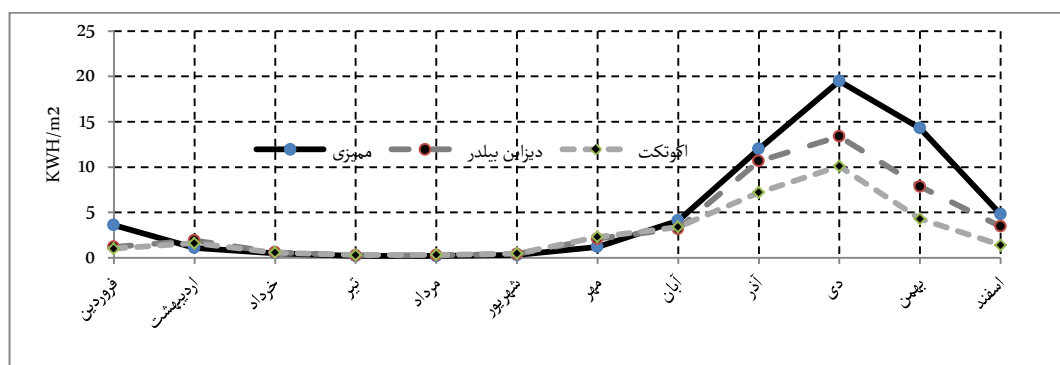
(۱) جهت دقت بیشتر تبدیل و تطابق تاریخ های نرم افزار با ماه های شمسی انجام پذیرفته است.

۲۷,۳ درجه سانتی‌گراد در ساعت ۷:۳۰ صبح زمانی که دانش‌آموزان حضور نداشتند تا ۳۲,۷ سانتی‌گراد در ساعت ۱۲:۳۰ با حضور دانش‌آموزان متغیر بوده است (شکل ۶).



شکل ۶) مقایسه دمای حاصل از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در کلاس درس در روز ۶ 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 پایبتر از میزان اندازه‌گیری شده محاسبه کرده و حدود ۵ - ۱۰ درصد اختلاف بین میزان اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده در ساعت‌های مورد بررسی مشاهده می‌شود. در حالی که میزان اختلاف بین دماهای پیش بینی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر و اندازه‌گیری‌ها 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.

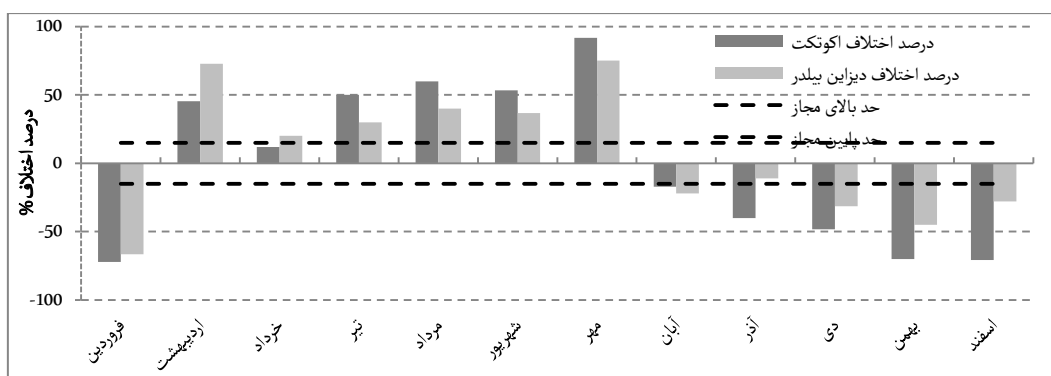


شکل ۷) مقایسه میزان مصرف انرژی (گاز و برق) واقعی و مصرف پیش‌بینی شده در مدرسه مورد بررسی

همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، میزان مصرف انرژی در ماه‌های سرد بیشتر از میزان پیش‌بینی شده در نرم افزارهای شبیه‌سازی و در ماه‌های 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 نرم افزار از نقطه نظر امکان کاربست پذیری آن در شرایط واقعی، مطالعات و طراحی را تایید می کند.

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 (شکل ۸). میزان مصرف انرژی پیش بینی شده در نرم افزارها 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.



شکل ۸) 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 شبیه سازی شده بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع در نرم افزار دیزاین بیلدر ۴۵,۳۳ 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 ( $\pm 15$  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 می رسد 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 ورودی های این نرم افزار، آنهایی که با شرایط واقعی کاملاً 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 می رسد. محاسبات گرمایشی اکوتکت بر اساس روش ادمیتنس است که بنا بر راهنمای طراحی محیطی سی آی بی اس ای<sup>۱</sup> برای محاسبات بار سرمایشی اعتبار لازم را دارد. اما تحقیقات مختلف نشان داده اند که در شرایطی مانند تابش شدید و بار داخلی زیاد معمولاً 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 تحلیل های حرارتی این نرم افزار را برای مقایسه جایگزین های مختلف طراحی در مراحل اولیه طراحی مناسب دانسته اند. 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 می رسد اختلاف موجود بین مصرف واقعی و پیش بینی شده این نرم افزار ناشی 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 مجدداً 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 کار گرفته می شوند. سازمان انرژی امریکا فایل اطلاعات اقلیمی بیش از ۲۱۰۰ منطقه در جهان را در فرمت epw به صورت رایگان در اختیار کاربران می گذارد. 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<sup>۲</sup> ۷

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 ماه های مختلف با اطلاعات فابیل 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 غالباً از طریق درزها و تخلخل مصالح و نیز درپچه های تهویه و نظایر آن رخ می دهد، از عوامل اصلی افزایش مصرف انرژی در ساختمان است و عموماً 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 ساختمانی در کشورهای پیشرفته به عامل اصلی اتلاف انرژی تبدیل گردیده و لذا محدودیت هایی 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 می کند 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 می کند. 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 می دهند و شرایط وزش باد خارج و شفت ها و اثرودکشی ناشی از آنها نیز بر این مقدار تاثیرگذارند. عدم توجه به این موضوع می تواند نتایج مدلسازی را دچار خطاهای غیر قابل چشم پوشی نماید.

### تنظیمات سیستم های سرمایش و گرمایش و تهویه<sup>۱</sup>

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 کوتاه تر 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 می کند: در سطح اول یا سطح ساده<sup>۲</sup>، 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 سیستم‌ها محاسبه می‌شود، در سطح دوم یا سطح متراکم<sup>۱</sup>، سیستم‌های سرمایش و گرمایش بر اساس جزئیات بیشتر، دقیق‌تر و نسبتاً مناسب در انرژی پلاس مدل می‌شوند. این جزئیات شامل مشخصات دقیق بویلرها، چیلرها و فن‌ها 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 سیستم‌ها، منجر به نتایج نادرست در شبیه‌سازی می‌شود. بنابر توصیه نرم‌افزار 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 پیش‌بینی می‌شود.

### پارامترهای بهره‌برداري

#### الگوی باز و بسته کردن پنجره‌ها

یکی از دلایل اصلی اتلاف حرارت در ساختمان‌ها، رفتارها و عادات بعضاً نادرست کاربران است. از جمله این رفتارها می‌توان به باز کردن پنجره برای بازیابی آسایش حرارتی و دریافت هوای تازه همزمان با روشن بودن سیستم‌های گرمایش و سرمایش اشاره کرد. بیش گرمایش (افزایش بیش از حد دما) به علت تعداد زیاد افراد و دمای بالای سیستم‌های گرمایشی از مشکلات اساسی در کلاس‌های درس در زمستان است. همچنین بالا رفتن رطوبت و عدم آسایش با وجود روشن بودن سیستم‌های سرمایش تبخیری یکی از مشکلات اساسی در فصل گرم است. این مشکلات منجر به باز کردن پنجره‌ها 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 می‌شود. این رفتار کاربران بر خلاف پیش‌فرض نرم‌افزار است که باز شدن پنجره‌ها و تهویه طبیعی فضاها را فقط در زمان‌هایی که اختلاف دمای مجاز بین فضای داخل و خارج وجود دارد، ممکن می‌سازد. لازم است با مطالعات میدانی الگوی رفتاری واقعی کاربران در فضاها شناسایی و به عنوان ورودی در نرم‌افزار 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 کلاس‌های درس مدرسه مورد مطالعه بوده است.

#### الگوی روشن و خاموش کردن سیستم روشنایی

یکی از امکانات نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی، کنترل روشنایی روز است. بدین ترتیب که با فعال کردن این گزینه، نرم‌افزار محاسبات مصرف انرژی روشنایی را فقط در زمان‌هایی که حداقل نور روز مورد نظر در تنظیمات به صورت طبیعی تامین نشده باشد، انجام می‌دهد. 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 می گیرد.

### 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 در نظر گرفته شده باشد، باید اعتبار آنها بررسی و ملاحظات برای بهره گیری از آنها در نظر گرفته 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 ناطمینانی 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 شبیه سازی، 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 می کند. به عبارت دیگر، کفایت و صحت داده های نرم افزار برای تخمین مقدار مصرف انرژی در گامهای نخست طراحی را فراهم می کند. گرچه برای مقاصد دقیقتر و کارآمدتر، توصیه منتج از این تحقیق صراحتاً 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] مفیدی شمیرانی، سیدمجید، غیائی، محمد مهدی، 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 Building 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 Ecotect™ 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, WA," 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>