نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)
www.cpjournals.com

مروری بر تاثیر تغییر المان‌های ساختمانی بر بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی

مهدی محرّمی*[1] پریساخداوردی[2] یونس عباسی[3] افسانه سهرابی[4]

[1] استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند ،

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد موسسه آموزش عالی علاء الدوله سمنانی گرمسار

[3] دانشجوی کارشناسی ارشد موسسه آموزش عالی علاء الدوله سمنانی گرمسار

[4]دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب دانشگاه آزاد واحد رودهن

چکیده

تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی به عنوان تهدیدات اصلی جوامع انسانی اساسا با مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه است. بخش مسکونی، که به ترتیب ۲۷ و ۱۷ درصد از مصرف انرژی جهانی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد، نقش مهمی در کاهش تغییرات آب و هوایی جهانی دارد. ده کشور از جمله چین، ایالات متحده، هند، روسیه، ژاپن، آلمان، کره جنوبی، کانادا، ایران و انگلستان، دو سوم از کل گازهای گلخانه‌ای جهان را تشکیل می‌دهند. بنابراین، مصرف انرژی مسکونی این کشورها و انتشار گازهای گلخانه‌ای، اثرات مستقیم و قابل توجهی بر محیط زیست جهانی دارند. هدف این مقاله، بررسی وضعیت و روند فعلی مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و سیاست‌های انرژی در بخش مسکونی، در سطح جهانی و در آن ده کشور است. دریافت شد که مصرف انرژی جهانی مسکونی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱، ۱۴ درصد افزایش داشته است. بیشتر این افزایش در کشورهای در حال توسعه رخ داده است که در آن جمعیت، شهرنشینی و رشد اقتصادی عامل اصلی بوده است. در جهان، بازار انرژی مسکونی تحت تاثیر زیست سنتی (۴۰٪ از کل)، به دنبال آن برق (۲۱٪) و گاز طبیعی (۲۰٪)می‌باشد، اما نسبت کل سوخت‌های فسیلی در دهه گذشته کاهش یافته است. سیاست انرژی نقش مهمی در کنترل مصرف انرژی دارد. کشورهای مختلف از سیاست‌های مختلف انرژی مانند کدهای انرژی، انگیزه‌ها، برچسب انرژی استفاده می‌کنند. این سیاست‌ها می‌تواند موفقیت آمیز باشد، زیرا با اجبار کردن آن‌ها، ایجاد انرژی خالص صفر و افزایش آگاهی عمومی در مورد فن آوری‌های جدید افزایش می‌یابد. با این حال کشورهای در حال توسعه مانند چین، هند و ایران با رشد قابل توجهی در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی مواجه هستند که عمدتا به عدم وجود سیاست قوی کمک می‌کند.

کلمات کلیدی: مدلسازی ; تاخیرات ; پروژه های ساخت و ساز، شبکه عصبی

***نویسنده مسئول: مهدی محرمی**

پست الکترونیکی: drmmoharami@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۸

۱. مقدمه

ساختمان‌ها تقریبا ۴۰ درصد از مصرف انرژی جهان را تشکیل می‌دهند و نقش مهمی در بازار انرژی ایفا می‌کنند. تقاضای انرژی ساختمان‌ها پیش بینی می‌شود که در دهه‌های آینده در سراسر جهان رشد کند (Xing et al,۲۰۱۱ & Ibn-Mohammed et al, ۲۰۱۳). علاوه بر این، ساختمان‌ها دارای تاثیر قابل توجهی در مورد استفاده از منابع طبیعی می‌باشند (Lechtenböhmer & Schüring, ۲۰۱۰ & Cabeza et al, ۲۰۱٤). از این رو، در حالی که ساختمان‌ها امکانات را برای نیازهای انسانی فراهم می‌کنند و مزایای بی شماره آن‌ها به جامعه نمی‌تواند نادیده گرفته شود، ولی در طول دهه‌های گذشته تاثیرات مخربی بر محیط داشته‌اند (Zuo & Zhao, ۲۰۱٤).

از ۴۰ سال پیش تا کنون، تقاضای انرژی در ساختمان‌ها (از جمله ساختمان‌های مسکونی و تجاری) به میزان ۱٫۸٪ در سال افزایش یافته است(International Energy Agency (IEA); ۲۰۱۳) و پیش بینی می شود که از ۲۷۹۰ مگاپیکسل (۱۱۶٫۸ یورو) در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۴۴۰۰ مگاپیکسل) تا سال ۲۰۵۰، با بیشترین افزایش از کشورهای در حال توسعه همراه باشد (IEA; ۲۰۱۱:۷۲).

در تحقیقی دیگر این گونه بیان می‌شود که سه چهارم کل مصرف انرژی در بخش ساختمان مسکونی است، جایی که پتانسیل بالایی برای بهبود کارآیی انرژی وجود دارد (IEA); ۲۰۱۳). علاوه بر این، ساختمان‌ها نیز مسئولیت انتشار گازهای گلخانه‌ای را به عهده دارند (Robert & Kummert, ۲۰۱۲) به نظر می‌رسد انتشار گاز دی اکسید کربن تقریبا سه چهارم از گازهای گلخانه‌ای جهانی (GHG) را تشکیل می‌دهد و به عنوان گاز اصلی مسئول تغییر اقلیم است (Huaman & Xiu Jun, Nataly Echevarria). ۲۰۱٤

با توجه به مشکلات زیست محیطی جهان و کاهش منابع انرژی تجدیدناپذیر و افزایش بی رویه استفاده از منابع فسیلی و تولید گازهای گلخانه‌ای، معماران از طریق انتخاب نوع مصالح و روش ساخت و ساز سهم بسزایی در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و مصرف انرژی دارند. فرضیه تحقیق چنین است که ساختمان دارای انرژی نهفته بالایی است و اگر معماران بتوانند سازه‌ای مناسب از نظر نوع مصالح و روش اجرا انتخاب نمایند، کمک شایانی به کاهش مسائل زیست محیطی خواهد شد. از این رو سوالات تحقیق عبارتند از: ساختمان چه نقشی در معماری پایدار می تواند داشته باشد؟ چگونه می‌توان بناها را بر اساس میزان مصرف انرژی در فرایند تولید سنجید؟ بدین

Archive of SID
www.SID.ir

منظور، چندین المان برای مصالح بنا بطور جداگانه مشخص گردیده و میزان تاثیر این تغییرات در مقدار انرژی فرایند تولید مصالح (انرژی نهفته) بررسی گردیده است.

۲. ارزیابی انرژی نهفته ساختمان

این روش به عنوان جدیدترین و دقیق ترین روش ارزیابی پایداری بنا در سال‌های اخیر مطرح گردیده است و اغلب کشورهای جهان این روش را برای وضعیت ویژه خود تعریف و روش‌های نتیجه گیری از آن را طرح و بطور گسترده اعمال کرده‌اند. انرژی نهفته انرژی مصرفی توسط کلیه فرآیندهای مرتبط در تولید یک ساختمان است که استخراج از معدن و پردازش روی منابع طبیعی مثل پخت و ترکیب به منظور به عمل آوردن و ساختن محصول و حمل و نقل و تولید نهایی را شامل می‌شود. هر ساختمان مجموعه‌ای است از ترکیب تعداد زیادی از مواد و مصالح پردازش شده که هر کدام در به وجود آوردن کل انرژی نهفته ساختمان مشارکت دارند. وضعیت ویژه هر منطقه عبارت است از مواد و مصالح موجود بومی در حداقل فاصله از محل تولید تا مصرف؛ به عنوان مثال در هر منطقه‌ای که سنگ آهن موجود می‌باشد مناسب‌ترین سازه بکارگیری فولاد می‌باشد و به این ترتیب با حداقل انرژی نهفته مواد و مصالح در ساختار بنا بکار گرفته می‌شود. انرژی نهفته شامل انرژی در حین بهره‌برداری و تخریب نهایی ساختمان نمی‌باشد. به عبارت دیگر انرژی نهفته سرچشمه و اجزای ابتدا تا انتهای تأثیرات دوره بهره برداری یک بنا است. تنها و مهمترین عامل در کاهش تأثیر انرژی نهفته طراحی بلند مدت، با کیفیت و مقاوم و قابل انطباق بودن ساختمان‌ها با محیط است (ممقانی و همکاران، ۱۳۹۰). انتخاب مواد و مصالح و روش‌های ساخت می‌تواند به طور قابل توجه مقدار انرژی نهفته در ساختار و سازه یک ساختمان را تغییر دهد. عناصر انرژی نهفته مصالح درحین تولید می‌تواند متغیر باشد و بطور گسترده‌ای بستگی به نوع روش ساخت دارد (مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

۳. بحران انرژی و مصرف آن

در چند دهه اخیر، جهان دو شوک مهم انرژی را پشت سر گذاشته است که اولین آن مربوط به سال ۱۹۷۰ بوده و دیگری در سال ۲۰۰۳ آغاز شده است. شوک جدید انرژی با افزایش مصرف انرژی درکشورهای چین و هند همراه بوده و باعث افزایش شدید تقاضا و قیمت انرژی در جهان شده است. از طرف دیگر با توجه به تجدید ناپذیر بودن سوخت‌های فسیلی بروز شوک‌های جدید و شدیدتر بسیار محتمل است. در این راستا مدیریت مصرف انرژی به عنوان راه حلی برای کاهش اثرات این رویداد محتمل بر جوامع، موردتوجه قرارگرفته است. استفاده از مصالح نوین، منابع تجدیدپذیر مثل باد و خورشید، ابداع راه کارهای جدید عایق‌سازی ازجمله فعالیت‌هایی بودند که در این زمینه انجام شدند ولی خیلی زود معلوم شد که تأثیر هریک از این عوامل بدون در نظر گرفتن دیگری موجب هدر رفتن بخش عمده‌ای از ظرفیت بهینه سازی آن ها می‌شود. پتانسیل کاهش مصرف انرژی با بهره‌گیری از مدیریت مناسب ، بسیار بالاست به طوری که می‌توان انرژی مصرفی بخش ساختمان را با رعایت اصول و استفاده از سرمایه گذاری ناچیز اولیه به ۵ تا ۳۰ درصد کاهش داد.

Archive of SID
www.SID.ir

در این راستا "فن راه اندازی پیوسته" (Continuous Commissioning) رویکردی بود که اولین بار در ایالات متحده بنیان نهاده شد و نتایج قابل توجهی در کاهش انرژی مصرفی ساختمان داشت. طراحی یکپارچه (Integrated Design) ساختمان رویکرد مدیریتی دیگری بود که در یک دهه اخیر بسیار موردتوجه بوده و در قالب مدل سازی اطلاعات ساختمان بروز یافته است (اقبال شاکری، ۱۳۹۱).

۴. راه کارهای کاهش مصرف انرژی

با استفاده از طراحی و معماری مناسب ساختمان و با بکارگیری آن بر اساس تجربه و بدون صرف هزینه می‌توان به کاهش موثری در زمینه مصرف انرژی دست یافت. از جمله اقداماتی که در این بخش قابل انجام است می‌توان به جهت گیری مناسب، محل قرار گیری مناسب پنجره‌ها، و نسبت سطح آن‌ها به دیوار، شکل ساختمان و سایه‌های ساختمان‌های مجاور اشاره کرد. البته برای دستیابی به نتایج مطلوب در معماری ساختمان باید نوع شرایط آب و هوایی و نوع مصالح به کار رفته در پوشش ساختمان، کاربری ساختمان و دیگر پارامترهای مرتبط را نیز در نظر گرفت. در مورد کاربری ساختمان می‌توان گفت در ساختمان‌های مسکونی بخش عمده انرژی صرف گرمایش می‌شود در حالی که در ساختمان‌های اداری – تجاری بیشترین مصرف را روشنایی به خود اختصاص داده است (فریدونی، ۱۳۹۴)

امروزه دستیابی به توسعه پایدار هدف بسیاری از کشورهای جهان است. چرا که منابع انرژی در جهان محدود است. با توجه به رویکرد کشور برای کاهش وابستگی به منابع نفتی و نیاز به کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف صنعت و ساختمان و بالا بودن مصرف انرژی در ساختمان، آن‌ها به عنوان اولین گزینه در زمینه توجه به راهکارهای صرفه جویی در مصرف انرژی محسوب می‌شوند. استفاده از سامانه‌های ایستا و پویا برای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی می‌تواند راهکاری موثر در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی باشد. نحوه جهت‌یابی ساختمان‌ها و چگونگی مصالح بکار گرفته شده در آن‌ها نیز از دیگر مسائل مؤثر می‌باشد. عادی‌سازی استفاده از انرژی در یک ساختمان به عوامل زیادی مانند اقلیم، بار داخلی عایقکاری و جزئیات اجرائی و خصوصیات سکونت و تجهیزات موجود و ... بستگی دارد که باید مانند ضوابط تراکم و پارکینگ و ... در شهرداری با آن برخورد شود (سفلایی، ۱۳۸۲).

اصولی که در طراحی باید رعایت شود تا یک ساختمان در زمره‌ی بناهای پایدار طبقه‌بندی شود به شرح زیر است:

- اصل اول، حفظ انرژی: بنا باید طوری ساخته شود که نیاز ساختمان به سوخت‌های فسیلی را به حداقل برساند.
- اصل دوم، هماهنگی با اقلیم: بناها باید طوری طراحی شوند که با اقلیم و منابع انرژی موجود در محل احداث هماهنگی داشته

Archive of SID
www.SID.ir

و کار کند.

- اصـــل ســـوم، کاهش استفاده از منابع جدید مصالح: ســـاختمان‌ها بایستی به گونه‌ای طراحی شوند که میزان استفاده از منابع جدید را تا حد ممکن کاهش داده و در پایان عمر مفید خود برای ساختن بنای جدید، خود به عنوان منبع جدید به کار روند.
- اصـــل چهـــارم، برآوردن نیازهای ساکنان: در معماری پایدار برآورده شدن نیازهای روحی و جسمی ساکنان از اهمیت خاصی برخوردار است.
- اصل پنجم، هماهنگی با سایت: بنا باید با ملایمت در زمین سایت خود قرار گیرد و با محیط اطراف سنخیت داشته باشد.
- اصل ششم، کل‌گرایی: تمام اصول معماری پایدار باید در یک پروسه‌ی کامل که منجر به ساخته شدن محیط زیست سالم می-شود، تجسم یابد (قیاسوند، ۱۳۸۵)

با توجه به اینکه بخـش زیـادی از انرژی مصرف شده در جهان در ساختمان هاست باید به نکاتی که موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی در این بخش می‌شود توجه کرد. یکی از عواملی که در مصرف و متعاقب آن اتلاف انرژی تاثیر زیادی دارد، طراحی معماری و فرم ساختمان است. طراحی معماری ساختمان باید حدالامکان همساز با اقلیم باشد به نحوی که از شرایط مطلوب طبیعی حداکثر استفاده به عمل آید. در ضمن، ساختمان در برابر شرایط نامطلوب اقلیمی محافظت گردد تا مقدار انرژی مورد نیاز برای تأمین گرمایش و سرمایش به حداقل رسیده و بخشی از آن به طریق طبیعی تأمین شود. بدین ترتیب شرایط آسایش به نحو مطلوبتری در داخل فضاهای معماری تأمین می‌شود. برخی عوامل موثر در بهره گیری از انرژی‌های طبیعی در ساختمان به شرح زیر است:

- جهت گیری کلی و فرم ساختمان
- جانمایی فضاهای داخلی
- جداره‌های نورگذر
- سایبان‌ها اینرسی حرارتی
- تعویض هوا (مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان)

۱-۴ مصالح

صنعت ساختمان سازی یکی از عمده‌ترین مصرف کنندگان انرژی در بین بخش‌های اقتصادی در کشور محسوب مـی‌گـردد و مـدیریت و کاهش مصرف انرژی یکی از ضرورت‌های اصلی بخش انرژی به شمار می‌رود. طراحی و ساخت نامناسب، مصالح و مواد بـه کـار رفتـه در ساختمان‌ها و انتخاب نامناسب پوشش ساختمان‌ها مانند پنجره‌ها و سیستم، تجهیزات غیر استاندارد عایق‌کاری از مهمترین عوامل شدت

Archive of SID
www.SID.ir

بالای مصرف انرژی در ساختمان‌ها است. ممکن است در نگاه اول انتظار برود هرچه مقاومت حرارتی دیوار بالاتر باشد مصرف انرژی آن کمتر خواهد بود. ولیکن با تغییر ضخامت لایه‌ها و تغییر چگالی مواد اینرسی حرارتی آن تغییر کرده و در انتقال حرارت مصالح نیز تأثیر خواهد گذاشت. از این رو برای در نظر گرفتن تمام پارامترهای مؤثر در تبادل حرارت، استفاده از مدلسازی اطلاعات ساختمان که قابلیت مدلسازی لایه‌های ساختمانی به تفکیک را نیز دارد، کمک شایانی به برآورد دقیق‌تر و جامع‌تر انرژی خواهد کرد. تأثیر کاهش مصرف انرژی به ازای استفاده از روش‌های صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌های چند طبقه و در طول عمر آنها رقم بالایی را منجر می‌شود. به همین دلیل در صورت در نظر گرفتن صرفه جویی هزینه‌های اضافی ناشی از مصرف انرژی بیشتر، هزینه بالاتر اولیه برای خرید و اجرای مصالح با عملکرد انرژی را توجیه می‌نماید (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۶).

۴-۱-۱ مصالح در سازه ساختمان

از آنجایی که انرژی نهفته در سازه‌ها تا پایان عمر بنا ثابت و بدون تغییر باقی می‌ماند لذا انتخاب مصالحی که معمولا قابلیت استفاده در بخش سازه را دارند، بسیار با اهمیت خواهد شد. از جهتی دیگر به علت تاثیرات آن‌ها بر محیط جهانی انرژی نهفته این سازه‌ها می‌بایست مورد توجه طراحان باشد. در نتیجه در این بخش به بررسی انواع مصالح استفاده شده در سازه پرداخته خواهد شد:

۴-۱-۱-۱ سازه فولادی

سازه فولادی از پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی است. اصلی‌ترین و پر مصرف‌ترین بخش انرژی در فرایند فولاد از سنگ آهن است. لذا انرژی نهفته فولاد در مقایسه با سایر گزینه‌های مصالح ساخت و ساز نسبتا بالا می باشد (Newton et al, ۲۰۱۰).

۴-۱-۱-۲ سازه بتنی

سازه بتنی مانند فولاد از مهمترین صنایع کارخانه‌ای در جهان یکی از عمده‌ترین مصالح در تولید گازهای گلخانه‌ای است و به علت فرایند تولید هزینه بر و سنگین در بخش مصرف انرژی، از انرژی نهفته بالایی برخوردار است (Rogers, ۲۰۱۰).

۴-۱-۲ پنجره‌ها و سایبان

پنجره‌های جنوبی باید توسط پیش آمدگی یا حفاظ‌هایی در سایه قرار گیرند. سایه ایجاد شده، از تابش مستقیم خورشید در ماه‌های تابستان جلوگیری به عمل آورده اما باعث بیشترین نفوذ نور خورشید در ماه‌های زمستان می‌گردد. درختان برگ ریز، سایه بهینه را برای جبهه‌های شرقی و غربی ساختمان فراهم می‌آورند. در طول ماه‌های گرم‌تر، بوسیله برگ‌ها سایه ایجاد شده و تعرق درختان نیز در تأمین سرمایش مورد نیاز ساختمان کمک می‌نماید. به هر حال، این درختان نور خورشید در زمستان را مسدود نمی‌کنند (واتسون، ۱۳۷۲).

در خانه‌های قدیمی حدود ۳۰ درصد و در خانه‌های جدید ۱۵ تا ۲۰ در صد کل اتلاف حرارت توسط پنجره‌ها صورت می‌گیرد. مهمترین عوامل تأثیرگذار بر انتقال حرارت از طریق پنجره‌ها عبارتند از: ساختمان چارچوب و قاب پنجره، ابعاد پنجره، درزبندی پنجره و شیشه

Archive of SID
www.SID.ir

مناسب (ازقندی، ۱۳۸۲). مدت زمان مدیدی است که از پنجره به عنوان تهویه، استفاده از نور روز و روشنایی استفاده شده است. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که حتی آسایش، سلامتی و بهره‌وری در محیط های داخل ساختمان که از تهویه مناسب و نور طبیعی برخوردارند، بهبود می‌یابد. با این وجود پنجره‌ها منبع اصلی اتلاف ناخواسته گرما، ناراحتی و مشکلات مربوط به میعان می‌باشند. در سال‌های اخیر انقلابی فنی و تکنیکی در مورد پنجره و صنعت پنجره‌سازی به وقوع پیوست. سیستم‌های شیشه و پنجره با عملکرد عالی و بازدهی بالا در حال حاضر موجودند که به طور چشمگیر و موثری مصرف انرژی را کاهش داده و از ورود منابع آلودگی صوتی و گرد و غبار به داخل ساختمان جلوگیری می‌کنند. در این پنجره‌ها اتلاف حرارت و نشت هوا کمتر و سطوح این پنجره‌ها گرمتر می‌باشند که این امر موجب افزایش و بهبود راحتی شده و مشکل میعان را به حداقل می‌رساند. این پنجره‌ها با عملکرد بالا و عالی، دوجداره یا سه جداره،دارای فیلم‌ها و پوشش‌های مخصوص بوده و فضای میانی جداره‌های آن‌ها توسط گازهای ویژه پر شده و قابلیت‌های پیشرفته و اصلاح شده دارند. در سال‌های اخیر انواع مختلف شیشه، پوشش‌ها و قاب‌ها جهت استفاده در سیستم‌های پنجره به طور چشمگیری افزایش یافته‌اند، بنابراین امکان انتخاب بهینه پنجره سازگار با شرایط متفاوت از محیطی به محیط دیگر وجود دارد (دقیق و مشتاق،۱۳۸۲).

یکی از راه‌های اتلاف حرارت، خروج هوای گرم و نفوذ هوای سرد به داخل است این اتفاق زمانی روی می‌دهد که هوای گرم به بالا صعود کرده و در نتیجه هوای سرد از راه درزها وارد ساختمان می‌شود. وجود نورگیرها، سقف‌های بلند و باز بودن دودکش شومینه‌ها (افزایش فشار) و سرعت باد در کنار درزبندی ضعیف پنجره‌ها باعث خروج هوای داخل ساختمان و جایگزینی هوای بیرون می‌شود (دقیق و مشتاق، ۱۳۸۲).

انتخاب شیشه و پنجره بایستی کاملا همه جانبه در نظر گرفته شود:

- بهره، دریافت و اتلاف حرارت
- نیازمندی‌های بصری
- کنترل سایه و نور خورشید
- آسایش حرارتی
- کنترل میعان
- کنترل اشعه ماوراء بنفش
- کنترل صوتی
- تاثیرات رنگ

Archive of SID
www.SID.ir

- روشنایی و نور روز
- نیازمندی‌های انرژی
- و در نهایت انتخاب بهینه و مطلوب سیستم‌های پنجره و شیشه به عوامل زیادی از جمله نوع کاربری ساختمان، آب و هوای محلی، میزان استفاده و کارایی، جهت و سمت قرار گرفتن ساختمان و میزان تسهیلات و امکانات رفاهی بستگی دارد (دقیق و مشتاق، ۱۳۸۲).

۴-۱-۲-۱ پنجره‌های تک جداره

فرم و شکل بیشتر پنجره‌ها تک جداره است. این نوع پنجره کاملا روشن است و اتلاف حرارتی در آن‌ها به صورت رسانش، و همرفتی تابشی در مدت فصل گرما بسیار بالا می‌باشد. این پنجره‌ها که از یک لایه شیشه ساخته شده‌اند به عنوان یکی از گزینه‌های طراحی معماران در گذشته به شمار می‌رفته است. اما پس از بحران‌های مربوط به گرم شدن زمین و مشکلات زیادی که در دهه ۱۹۷۰ میلادی در انرژی به وجود آمد، استفاده از این پنجره‌ها به علت عایق بندی‌های حرارتی و صوتی ضعیف کاهش یافت و گزینه‌های دیگری مانند پنجره‌های دولایه و چند لایه جایگزین این نوع پنجره‌ها شدند (Soylemez, ۲۰۰۹)

۴-۱-۲-۲ پنجره‌های دو جداره

طراحان ساختمان‌های تجاری یا خانگی، معمولا برای اجتناب از پرداخت بهای سنگین برای تامین انرژی مورد نیاز، اقدام به کاهش سطح پنجره‌های مورد استفاده می‌نمایند. به این دلیل سیستم پنجره‌های دوجداره (با لایه پوششی یا بدون آن) برای صرفه جویی بیشتر بکار گرفته می‌شود. در پنجره‌های دوجداره اتلاف حرارتی تقریبا نصف می‌شود. فواصل بین دو جداره معمولا ۰/۵ اینچ است. اتلاف حرارتی با استفاده از انواع لایه‌های پوششی با تشعشع کم به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. شیشه دوجداره دو ورق شیشه است که توسط یک فاصل (اسپیسر) در دور تا دور آن، از هم جدا شده‌اند و این فاصله‌ها با مواد درزگیر به هم میچسبند. خواص اصلی شیشه دوجداره به دلیل همین فاصله بین دو شیشه است. شیشه‌های دوجداره به صورت ترکیبی از انواع شیشه‌های مختلف نظیر شیشه ساده، رنگی، رفلکس، لمینیت، سکوریت و مات طراحی می‌شوند که نوع شیشه خود می‌تواند عامل بسیار مهمی در کاهش میزان اتلاف انرژی باشد. قابل ذکر است انواع جدیدی از شیشه‌های دوجداره ساخته شده‌اند که بین دو ورق خلا وجود دارد. در این نوع شیشه‌ها فاصله بین دو ورق بسیار کم می‌باشد و دارای خواص صوتی و حرارتی بهتری می‌باشد. شیشه‌های دوجداره را می‌توان بر روی قاب‌های آلومنیومی آهنی یا از جنس PVC تعبیه و استفاده کرد که باعث جلوگیری از اتلاف انرژی به میزان قابل توجهی می‌شود (نشریه آلومینیوم، ۱۳۸۱)

ضریب انتقال حرارت شیشه‌های دو جداره نصف شیشه‌های یک جداره می‌باشد و افزودن لایه‌های بعدی به پنجره تاثیر کمتری (در حدود ۱۲ درصد) نسبت به لایه دوم خواهد داشت. نور قابل رویت از طول موج‌هایی تشکیل شده است که توسط چشم انسان قابل

Archive of SID
www.SID.ir

ردیابی است. این نور تقریبا شامل ۴۷ درصد انرژی نور خورشید است. میزان عبور قابل رویت با افزایش تعداد لایه‌های شیشه کاهش قابل توجهی نداشته و از این بابت عملکرد پنجره کاملا قابل قبول است (دقیق، ۱۳۸۲).

۴-۱-۲-۳ پنجره‌های چند لایه

امروزه توسعه فن‌آوری تولید پوشش‌های جدید چند لایه شیشه‌ای توانسته مشکلات کاربرد شیشه را به میزان قابل توجهی رفع نموده و تاثیر زیادی در بهینه سازی مصرف سوخت ایفا نماید. پنجره‌های با پوشش جدید و مدرن می‌توانند در حد وسیعی این جریان حرارتی را کنترل کنند، پنجره‌های جدید به مقدار قابل توجهی مصرف الکتریسیته مورد نیاز برای تهویه هوا، تامین گرما و نور را کاهش می‌دهند (ویلسون و موریل،۱۳۸۰).

۴-۱-۲-۴ پنجره‌های رنگی

شیشه‌های رنگی در واقع همان شیشه‌های معمولی هستند که با اضافه کردن فلز در طول فرایند پرداخت شیشه تولید می‌شوند (Rezaei et al, ۲۰۱۷). افزودن فلز و تولید شیشه‌های رنگی سبب بهبود خصوصیات اپتیکی شیشه‌های معمولی شده(Shcherbakova et al, ۲۰۰۱) و ضریب گرمای ورودی تابش خورشید را بهبود می‌بخشد. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۶ میلادی توسط رضایی و همکاران صورت گرفت، تغییر رنگ شیشه از برنز به سبز با ضخامت ثابت سبب تغییر در ضریب گرمای ورودی خورشید از ۰,۶ به ۰,۷۹ شد. به همین ترتیب نشان داده شد که تغییر رنگ شیشه از برنز به خاکستری، ضریب گرمای ورودی خورشید را از ۰,۶ به ۰,۵۵ کاهش می‌دهد (Rezaei et al, ۲۰۱۷).

۴-۱-۳ پوشش‌های ساختمان

خصوصیات پوشش ساختمان تأثیر قابل توجهی بر بازدهی انرژی ساختمان‌ها، کیفیت هوای داخل و دمای آسایش انسان دارد. بنابراین ارزیابی کارآمد عملکرد حرارتی پوشش ساختمان در کاهش مصرف انرژی سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع نقش حیاتی ایفا می‌کند (Allen & Iano, ۲۰۱۱). به طور مشخص طراحی دقیق پوشش ساختمان می‌تواند بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها را بهبود بخشد (Lin et al, ۲۰۱٦). دیوارهای خارجی، بازشوها، سقف، پی، عایق‌های حرارتی، جرم حرارتی، سایه‌بان‌ها و ... همگی جزو مولفه-های کلیدی در پوشش ساختمان‌ها هستند (Sadineni et al, ۲۰۱۱). طبق تحقیقی توسط حسینی در سال ۹۰ در یک ساختمان معمولی عرف در تهران مجموع اتلاف حرارتی از دیوارها و سقف حدود ۷۵ درصد از کل حرارت اتلافی را تشکیل می‌دهد. برای درک

Archive of SID
www.SID.ir

نحوه اثرگذاری این عوامل بر طراحی ساختمان، نیاز به دانستن چگونگی بهینه سازی پوشش بر اساس پارامترهای آب و هوا، مکان و مشخصات پوشش ساختمان است (Krygiel & (Nies, ۲۰۰۸.

۱-۳-۱-۴ تاثیر دیوار پانل‌های ساندویچی بر روی بهینه سازی انرژی

با توجه به محدودیت منابع انرژی در کره زمین و نیاز صنعت به انرژی بخصوص سوخت‌های فسیلی جامعه بشریت در صدد کاهش هدر رفتن انرژی به هر طریق ممکن می‌باشد. یکی از راه‌هایی که اخیرا در کشور ایران بسیار مورد توجه واقع شده است کاهش پرت انرژی در ساختمان‌ها می‌باشد. توجه به صرفه جویی مصرف انرژی در ساختمان‌ها در ایران به علت الگوی مصرف کشور است که مورد توجه بیشتر قرار گرفته است. بر عکس کشورهای صنعتی الگوی مصرف در کشور ایران به نحوی است که مصرف انرژی در قسمت‌های مسکونی بسیار بیشتر از مقادیر مشابه در کشورهای صنعتی است. در حالی که مصرف انرژی در قسمت صنعت کمتر از کشورهای صنعتی می‌باشد. لذا این الگوی مصرف توجه همگان را به کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها به عنوان یکی از عوامل اصلی هدر رفتن انرژی در کشور مبذول داشته است. در مقایسه انجام شده بین انواع مختلف دیواره‌های پیرامونی مثلا تیغه‌های گچی و آجری ۱۰ تا ۲۰ سانتی متری در منابع مختلف مشاهده شده است که استفاده از لایه عایق پلی استایرن و پانل‌های ساندویچی قابلیت صرفه جویی ۴۰ درصدی در مصرف انرژی به دلیل انرژی جلوگیری از هدر رفتن را دارد (پور اختریه، ۱۳۸۰).

در اینجا با توجه به عایق بودن مصالح سبک ساز مانند پلی استایرن و هوای داخل شده دربتن پاششی انتظار می‌رود که علاوه بر عملکرد لایه عایق پلی استایرن عملکرد خود بتن به عنوان لایه مقاوم در برابر حرارت و صرفه جویی در مصرف انرژی باز هم بیشتر شود. لذا به منظور شناسایی دقیق رفتار دیوارها می‌توان به آزمایش‌های انجام شده بر روی ضریب هدایت حرارتی بتن سبک ساخته شده با سبک دانه‌های پلی استایرن اشاره نمود. با توجه به دستورالعمل‌های مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان و راهنمای آن وجود آرماتورهای قطری در این پانل‌ها می‌تواند عامل هدر رفتن انرژی به علت ایجاد پل حرارتی بین دو لایه بتن دو طرف شود. لیکن در آزمایشات بتن سبک ساخته شده با دانه‌های پلی استایرن در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن که ضریب هدایت حرارتی بتن از حدود ۱,۷۵ برای بتن معمولی به ۰,۲۰۵ برای بتن سبک ساخته شده، با دانه‌های پلی استایرن تقلیل می‌یابد (وزن مخصوص بتن سبک مورد آزمایش حدود ۶۰۰ بوده است). با توجه به پوشش روی آمارتورها توسط بتن سبک در پانل‌های ساندویچی و ضریب هدایت حرارتی بتن سبک که

Archive of SID
www.SID.ir

حدود یک هشتم ضریب هدایت حرارتی بتن معمولی می‌باشد،کاهش اثر پل حرارتی برشگیرها و در نتیجه بهبود خواص حرارتی پانل‌های ساندویچی پیش بینی می‌شود (پرهیزگار و همکاران، ۱۳۸۰).

۴-۱-۳-۲ تاثیر سیستم‌های پانل سه بعدی بر روی بهینه سازی انرژی

استفاده از دیوارهای سیستم‌های پانل سه بعدی می‌تواند با رعایت تمهیداتی کاهش مصرف انرژی را در مقایسه با جدارهای متعارف به همراه داشته باشد. سیستم تشکیل دهنده پانل های سه بعدی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: لایه‌های بتنی در دو طرف دیوار، میلگردهای فولادی که قسمت‌های بتنی را مسلح می‌نمایند و توسط رابطه‌های مورب فولادی به یکدیگر متصل می‌شوند و لایه عایق حرارتی (پلی استایرن منبسط شده) در قسمت میانی دیوار. شبکه‌های فلزی در کارخانه و با جوش نقطه‌ای میلگردها به یکدیگر آماده می‌شوند. فاصله میلگردهای فلزی در پانل سه بعدی، ۱۰۰ و قطر میلگردها ۳/۵ میلیمتر است. لایه عایق حرارتی (پلی استایرن منبسط شده) دارای ضخامتی برابر ۶۰ میلیمتر است. بتن به صورت درجا به دو طرف پانل پاشیده می‌شود که دارای ضخامت معادل ۴۰ میلیمتردر هر طرف است. از جمهه خصوصیات مهم پانل‌های سه بعدی خاصیت عایق حرارت پلی استایرن است که مانع تبادل گرمایی داخل و خارج ساختمان می‌گردد و تا حدود ۴۰ درصد در مصرف سوخت و انرژی صرفه جویی در پی دارد (پوراختریه، ۱۳۸۰). با توجه به نقش مقررات ملی ساختمان در بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها (مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان)، همچنین تاثیر نسبتاً مطلوب این سیستم‌ها در کاهش مصرف انرژی در ساختمان، پیشنهاد می‌گردد مطالعات بیشتری در این ارتباط انجام گرفته و استفاده از آن‌ها بصورت گسترده‌تری مورد توجه قرار می‌گیرد.

۴-۱-۳-۳ تاثیر دیوار ترومب بر روی بهینه سازی انرژی

دیوار ترومب نوعی دیوار ذخیره ساز حرارتی است. دیواری تیره رو به جنوب و از جنس مصالح با ظرفیت حرارتی بالا که توسط پوششی شفاف در فاصله‌ای کم پوشانده می‌شود. پوشش شفاف شیشه‌ای یا پلاستیکی با فاصله ای حدود ۱ تا ۵۰ سانتیمتر از دیوار قرار دارد. دیوار توسط تابش خورشید پس از عبور آن از لایه‌ی شفاف، گرم می‌شود، هوای داخلی را گرم کرده و گرما را نیز در خود ذخیره می‌کند. میزان جذب انرژی گرمایی خورشید توسط دیوار ترومب به چهار عامل بستگی دارد: ۱. نوع دیوار (سیمان، آجر، آب) ۲. ضخامت دیوار ۳. مساحت دیوار ترومب نسبت به کل دیوارها ۴. تعداد لایه‌های شیشه (یک جداره، دوجداره، سه جداره) (Amina, ۲۰۱۲).

۴-۱-۳-۴ تاثیر دیوار با بلوک های سفالی بر روی بهینه سازی انرژی

Archive of SID
www.SID.ir

مطالعات نظری و تجربی به وضوح نشان داده‌اند که هندسه‌ی سوراخ‌ها نقشی کلیدی در تعیین مشخصات فیزیکی، مکانیکی بلوک‌های سفالی دارند. در زمینه انتقال حرارت، تحقیقات متعددی انجام شده که به نتایجی تعیین کننده منجر شده‌اند و در حال حاضر در کشورهای صنعتی، بلوک‌های سفالی مخصوصی تولید می‌شوند که جوابگوی کلیه انتظارات از بعد انتقال حرارت و صرفه جویی در مصرف انرژی می‌باشند (ممقانی، ۱۳۹۰).

۴-۱-۴ بام

با بررسی عملکرد حرارتی، بام ساختمان و پیگیری تغییرات آن‌ها در ساعات و فصول مختلف می‌توان به راهکارهای موثر در جهت اصلاح طراحی اجزا دست یافت و متوجه شد که چنین عنصر معماری تا چه اندازه در اتلاف انرژی بنا به صرفه جویی غیر مستقیم انرژی به خصوص در محیط های شهری موثر است (مسندی و حیدری، ۱۳۸۹).

پراهمیت ترین قسمت از پوشش ساختمان در زمینه حفاظت حرارتی، بام آن است، چرا که بام ساختمان، مستقیما تحت تابش نور و گرمای خورشید قرار دارد و حفاظت آن از دریافت این تابش نسبت به بخش‌های دیگر، دشوارتر است. از سویی عملکرد بام بستگی به فرم، ساختار و مصالح به کار رفته در آن را دارد و عکس‌العمل آن در برابر شرایط آب وهوایی گوناگون، بسیار متفاوت خواهد بود (نیلسن، ۱۳۸۹). مطالعات انجام شده در زمینه فرم سقف‌ها، زوایای آن‌ها، تأثیر این متغیرها بر دریافت انرژی تابشی در پژوهش‌های پیشین به صورت مختصر در زیر شرح داده شده است:

در مقاله‌ای با نام نقش فرم سقف در طراحی سیستم ساختمان‌های سبز نوشته قاسم پورآبادی و مهدوی نژاد (۲۰۱۲) که در اقلیم نیمه خشک تهران صورت گرفته است. شناسایی جهت گیری بهینه و زاویه شیب برای سقف‌ها در تهران –پایتخت ایران-انجام گردیده. به عبارت دیگر دستیابی به حداکثر بهره گرمایی در مدت روز به وسیله سلول‌های فتوولتاییک و حداقل انرژی هدر رفت در طول شب‌های زمستانی مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش سه تیپ سقف تخت، ۳۰-۶۰ و ۴۵ درجه با برابر بودن حجم در هر سه سقف، در ماه دسامبر مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان داد که سقف ۳۰-۶۰ مؤثرترین سقف در جهت ذخیره انرژی در این ماه است. دو نمونه سقف دیگر تقریبا وضعیت مشابهی داشتند. بنابراین با دستیابی به زاویه بهینه در واقع بهترین زاویه جهتگیری گردآورنده‌ها به‌دست آمده است. در پژوهش دیگری مبنی بر نقش سقف‌های گنبدی در هدر رفت انرژی در شب در اقلیم گرم و مرطوب نوشته بدری (۲۰۱۳) مطالعاتی بر روی نقش فرم سقف در هدر رفت انرژی در اقلیم گرم و مرطوب در دوره سرد سال صورت گرفته است تا به فرم بهینه سقف دست یابد.

۴-۱-۴-۱ بام سبز

سامانه بام سبز زمانی به وجود آمد که طرح یک فضای سبز بر روی سازه بام اجرا گردید. لوکوربوزیه و روبرت برل ماکس از جمله کسانی

Archive of SID
www.SID.ir

بودند که به طور عملی از این ایده در طرح‌هایشان است استفاده کردند. این ایده بر بام در طبقات، فضاهای خالی و تراس‌ها قابل است استفاده است و می‌تواند جایگزین مناسبی برای طبیعت در حال تخریب و بازگشت روح زندگی به درون مجموعه هوا و در نهایت شهرها شود. (امانی، ۱۳۹۲).

عملکرد حرارتی بام سبز بستگی به آب و هوای محلی دارد، زیرا مشخصات مصالح بام سبز بسیار وابسته به شرایط محیط بیرونی است (Theodosiou ۲۰۰۳, Zhao et al ۲۰۱٤).مطالعات تحقیقات پیشین نشان داده است که یک بام سبز که با گیاهان پوشانده شده، عملکرد حرارتی متفاوتی از بام بدون گیاه دارد. این تفاوت‌ها با توجه به سایه گیاهان، تعرق و حفاظ بادی به وجود می‌آورد (Srebric and Tabares ۲۰۱۲) از نقطه نظر انرژی، بام‌های سبز قادر به کاهش بیشینه دما در سطح بام، متوقف کردن نوسان دما و ذخیره انرژی در ساختمان‌هاست. همچنین اثرات ترکیبی تبخیر و تعرق و سایه اندازی گیاه را در تابستان و عایقبندی اضافی (به واسطه لایه خاکی) را در زمستان فراهم می‌کند (Castleton et al ۲۰۱۰).

۵-۱-۴ فضای خورشیدی (گلخانه)

گلخانه که به آن فضای خورشیدی هم گفته می شود می‌تواند بیش از ۵۰ درصد نیازمندی‌های گرمایی خانه را تامین‌کند، در این موقعیت بهتر است فضاهای زندگی در سمت جنوب قرار گیرد و فضاهایی مانند اتاق خواب در شمال قرار بگیرد در گلخانه عمل ذخیره سازی می‌تواند در دیوار، کف، مخازن آب یا انباره‌های سنگی صورت پذیرد. باید توجه داشت کلیه پنجره‌ها دو جداره بوده و در تابستان می‌بایست روی شیشه‌ها سایه ایجاد نمود.گرمای ذخیره شده از طریق باز کردن در، پنجره یا دریچه‌هایی که به این منظور تعبیه شده‌اند به صورت همرفت وارد فضای مورد نظر می‌گردد. همچنین حرارت به صورت تشعشعی و هدایت می‌تواند از طریق دیوار مشترک بین گلخانه و فضای مورد نظر به داخل منتقل گردد. به طور کلی جهت گیری ایده آل برای شیشه کاری گلخانه باید رو به جنوب باشد.کف، دیوار شمالی و شرقی و غربی گلخانه مکان‌های خوبی برای ذخیره کننده‌هاست که باید دارای ظرفیت حرارتی بالا مانند سنگ، بتن، آب و آجر و ... باشد. اگر هدف از ساخت گلخانه جمع آوری گرما و توزیع آن به فضای زندگی است، بیشترین مقدار جذب انرژی خورشید با شیشه‌های مورب جنوبی، گیاهان کم داخل گلخانه و دیوارهای عایق کاری شده شرقی و غربی آن امکان پذیر است. اگر گلخانه به صورت یک فضای زندگی مورد نظر باشد آسایش توام با کارآمد بودن فضا از لحاظ انرژی مد نظر خواهد بود که در این صورت این فضا باید در زمستان گرم ودر تابستان خنک بماند و کمترین سطح با نور خیره کننده داشته باشد و رطوبت آن ملایم و معتدل باشد. (قیابکلو، ۱۳۸۵).

۵. ابزارهای مدلسازی ساختمان و آنالیز مصرف انرژی

Archive of SID
www.SID.ir

فرآیند و دانش طراحی و اجرای ساختمان در سال‌های اخیر پیچیده شده است. در سال‌های اخیر طراحان به سختی قادر بودند بدون کمک متخصصان دیگر به عنوان مشاور و یا پیمانکار، بتوانند کاری را به پایان برسانند. فرآیندی که برای متمرکز کردن این تخصص‌ها در یکجا وجود دارد، منجر به این شده است که مالک، طـــــراح، پیمانکار، مشاور و پیمانکاران جزء در کنار یکدیگر تشکیل یک تیم طراحی یکپارچه را بدهند، طراحی یکپارچه (IPD) بر اساس توانایی به اشتراک گذاشتن دانش، نظم و تعهد تیم پروژه به همراه قدرت انگیـزش ایجاد می شود. همکاری، تعهد و انگیزه، بایدهای گسترش طراحی پایدار هستند (Krygiel & Nies , ۲۰۰۸).

تفاوت اساسی سیستم طراحی یکپارچه با دیگـر سیسـتم‌هـای متـداول، در همـاهنگی و همکاری موثر تمامی عوامل پروژه با یکدیگر در تمامی چرخه حیات پروژه است. این همکاری از زمان بررسی گزینه طراحی مفهومی آغاز گردیده و تا زمان تحویل پروژه ادامه می‌یابد. نکته‌ی کلیدی این است که تمامی تیم پروژه در کنار یکدیگر با به کارگیری ابزارهای مناسب کار می‌کنند. معیارهای متفاوتی که همواره در تمامی پروژه ها با یکدیگر رقابت می‌کنند را می‌توان به وسیله‌ی روش مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM) به بهترین نحو متعادل کرد که شامل زمان، هزینه، انرژی، عملکرد، زیبایی شناسی و قابلیت ساخت می‌باشد (علی ضیایی، ۱۳۹۴).

ابزارهای مدل اطلاعات ساختمان به کاربران کمک می‌کند تا تحلیل کاملی از مصرف انرژی در پروژه داشـته باشـند و همچنـین بتواننـد سناریوهای جایگزین را برای کاهش مصرف انرژی در طول مرحله طراحی بررسی کنند. بدین وسـیله طراحـان و کارفرمایـان مـی‌تواننـد تصمیمات مربوط به انرژی که بیشترین اثر را بر روی هزینه چرخه عمر پروژه می‌گذارد، با اسـتفاده از ابزارهـای مدلسـازی سـه بعـدی و چهار بعدی مدلسازی اطلاعات ساختمان برای رسیدن به هدف ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ سـاختمان بـا مصـرف انـرژی صـفر اروپـایی و آمریکـای شمالی راهکارهایی ارائه شد (Thomas, ۲۰۱۲). جلائی در سال ۲۰۱۴ در دانشگاه اوتاوا سیستمی یکپارچه از گواهی ساختمان سـبز، تحلیل انرژی و ابزار تخمین هزینه برای طراحی ساختمان های پایدار ارائه داد (Jalaei & Jrade, ۲۰۱٤).

برای تسهیل فرآیند تخمین عملکرد انرژی ساختمان مدل‌های شبیه سازی جامع عملکرد حرارتی ساختمان ایجاد شدند. در حال حاضـر ده ها نرم‌افزار برای شبیه سازی عملکرد انرژی یک ساختمان و زیر مجموعه‌های آن وجود دارد که برخی از آن‌ها قابلیت وارد کردن مدل سه بعدی از CAD و یا مدل چند بعدی از ابزارهای مدلسازی اطلاعات ساختمان را دارند. از این رو مدلسازی اطلاعات سـاختمان مـی-تواند فرصتی جهت بهترین استفاده از اطلاعات طراحی در دسترس برای طراحی پایدار و تحلیل عملکرد ساختمان فراهم کند (Liu et al, ۲۰۱٥).

مدلسازی اطلاعات ساختمان که به عنوان یک تکنولوژی و فرآیند انقلابی توسط بسیاری از افراد به عنوان یک فرصت استثنائی در صنعت معماری، مهندسی و ساخت معرفی می‌شود، به عنوان راهکاری جهت تسهیل یکپارچه‌سازی و مدیریت اطلاعات در طول چرخه عمر یک

Archive of SID
www.SID.ir

ساختمان پدیدار شده‌است. مشخصه‌های حیاتی مدلسازی اطلاعات ساختمان در چهار حوزه شناسایی شده است: یکپارچه سازی پایگاه-های مختلف داده، تسهیل مدیریت اسناد و داده‌ها، به تصویر کشیدن فرآیندهای تحلیل و خروجی‌ها و فراهم کردن تحلیل‌ها و شبیه سازی‌های پایداری (Liu et al, ۲۰۱۵). با توجه به توانایی مدلسازی اطلاعات ساختمان در بهبود عملکرد و سودآوری پروژه ها باعث افزایش علاقه به پذیرش و به کارگیری مدلسازی اطلاعات ساختمان در سراسر جهان شده است. در این میان کشورهای بسیاری از منطقه خاورمیانه برای به کارگیری مدلسازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های ساختمانی تلاش کرده‌اند (Hosseini et al, ۲۰۱٦).

اکثر ابزارهای تجزیه و تحلیل انرژی برای پیش بینی یا ارزیابی عملکرد انرژی کل ساختمان در مراحل مختلف چرخه عمر ساختمان (Stundon et al, ۲۰۱۵ & Wen & Hiyama, ۲۰۱٦) استفاده می شوند. برآورد پایدار و کم کردن هزینه‌های انرژی در ایجاد یک سیستم پشتیبانی مناسب تصمیم گیری برای اولویت بندی اقدامات بعدی ضروری است. اقدامات مختلف معمولا از طریق یک فرایند مدولاسیون و شبیه سازی انجام می‌شود، به دنبال آن یک تحلیل کامل و مقایسه نتایج مختلف شبیه سازی انجام می‌شود. برای این منظور، بسیاری از ابزارها برای تجزیه و تحلیل عملکرد عملیاتی در دسترس هستند، شامل ویژگی هایی مانند تجزیه و تحلیل انرژی کل ساختمان، عملکرد حرارتی، استفاده از آب، روشنایی مصنوعی و بررسی نور روز، مطالعه تابش خورشیدی، مقایسه سیستم HVAC، بررسی آکوستیک و هوا، داده‌های آب و هوا کسب، ارزیابی هزینه‌ها و غیره (Kurul et al, ۲۰۱۳).

Revit ۵-۱

در مراحل اولیه طراحی معمولا اطلاعات کافی موجود نبوده و معماران اصولا افراد غیر متخصص در زمینه شبیه‌سازی عملکرد می‌باشند اما آنها به فرم مصالح و سیستم‌های فنی مطلوب در طرح خود واقفند. این اطلاعات می‌توانند به عنوان استفاده از روش های، داده ورودی برای ارزیابی عملکرد ساختمان استفاده شوند. حجم داده‌ها و پیچیدگی وابستگی‌ها، استفاده از روش‌های محاسباتی را ضروری می‌کنند (Cho & Gibson, ۲۰۰۱). یک مدل تولید شده با BIM برای ذخیره اطلاعات ضروری و دسترسی به اطلاعات حین طراحی استفاده می‌شود. نرم افزارهای گوناگونی جهت تحلیل انرژی از خروجی مدل‌های ساخته شده توسط نرم افزارهای BIM وجود دارند. با در نظر گرفتن رویت (Revit) به عنوان نرم افزار شبیه سازی می‌توان جهت تحلیل مصرف انرژی طرح، از مدل خروجی‌های متناسب با نرم افزار تحلیل انرژی تولید کرد.

جسیکا میلر در مقاله‌ای بهره‌گیری از نرم افزار رویت در تحلیل انرژی را مورد بررسی قرار داد. طبق یافته‌های او قبل از اینکه مدل سه بعدی در نرم افزار رویت ساخته شود، بسیار مهم است که معلوم کنیم کدام نرم افزار متناسب با نرم افزارهای مختلف است و ممکن است نیاز به ساده سازی داشته باشد. نکته قابل توجه دیگر اینکه مدل‌های معماری به ندرت برای مقاصد تحلیل انرژی "بدون درز نفوذ هوا"

Archive of SID
www.SID.ir

طراحی می شوند بلکه بیشتر هدف دستیابی به نقشه ها و اسناد ساخت است. این نکته در طراحی‌ها باید لحاظ شود.

Ecotect ۵-۲

Autodesk Ecotect یک ابزار شبیه سازی محیط زیست BIM است که می‌تواند برای تجزیه و تحلیل بارهای حرارتی، طراحی روشنایی، سایه ها و بازتاب ها، دستگاه‌های سایه زنی و تابش خورشیدی استفاده شود. Ecotect توسط معماران با استفاده از این ابزاردر معماری و فرآیند طراحی در ذهن توسعه داده شده است. Ecotect همچنین می‌تواند توسط مهندسان، مقامات محلی، مشاوران محیط زیست، طراحان ساختمان، صاحبان، سازندگان و متخصصان محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد. Ecotect با استفاده از روش CIBSE Admittance برای محاسبه بارهای گرما و خنک کننده و روش فاکتور نور روز برای محاسبه سطوح روشنایی (Autodesk ۲۰۱۰) استفاده می شود. نتایج یک بررسی توسط Attia و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که ۶۴ درصد از معماران که به نظرسنجی پاسخ دادند از Autodesk Ecotect به عنوان ابزار شبیه سازی عملکرد سازه استفاده کردند. این مطالعه همچنین نشان داد که Ecotect بیشتر در فاز مفهومی و مرحله طراحی پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد (آتتیا و همکاران، ۲۰۰۹).

Ecotect 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. Ecotect از روش ادمیتنس، سی آی بی اس براساس استاندارد ایزو ۲۰۰۴:۱۳۹۱ و ایزو ۱۹۹۹:۱۳۷۸۹ برای محاسبه میزان روشنایی در فضاها استفاده می‌کند. استفاده گسترده از این نرم افزار در فازهای اولیه و نهایی طراحی در تحقیقات تاکید شده است (Lagüela et al, ۲۰۱۳). 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 ویژگی‌های سیستم های تاسیساتی برای هر زون حرارتی تعریف شده است.

Energyplus ۶-۲

استفاده از برنامه های شبیه سازی تجزیه و تحلیل مقدار زیادی از اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه انرژی حرارتی و عملکرد نورپردازی ساختمان‌ها را تسهیل می‌کند. تجزیه و تحلیل نتایج شبیه سازی محاسباتی می‌تواند برای هدایت تصمیمات مربوط به طراحی ساختمان مورد استفاده قرار گیرد. برنامه EnergyPlus بر اساس ترکیبی از دو برنامه BLAST و DOE-۲ ایجاد شد. این برنامه با تعادل حرارتی BLAST با یک مدل عمومی هوای مطبوع، الگوریتم‌های جدید انتقال حرارت و شار حرارتی هوا بین زون ها کار می‌کند

Archive of SID
www.SID.ir

.(Crawley et al, ۲۰۰۷)

این شبیه سازی کاربران را قادر به ارزیابی تعدادی از فرآیندهای می‌کند که نه BLAST و نه DOE-۲ می‌توانند به خوبی شبیه سازی کنند. برخی از مهمترین موارد عبارتند از:

۱. کنترل سیستم واقع بینانه

۲. جذب رطوبت و جذب در عناصر ساختمان

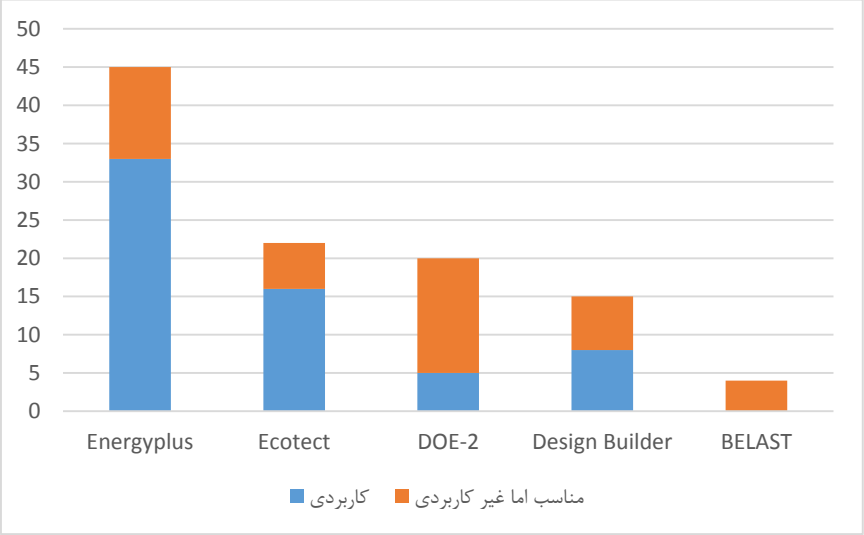
۳. سیستم‌های گرمایش و سرمایش تابشی

۴. جریان هوا بین zone

DesignBuilder ۷-۲

این نرم‌افزار مدلسازی که پیشرفته‌ترین 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 داینامیک 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 نرم-افزارهای مدلسازی انرژی شناخته شده است. اطلاعات در این نرم افزار مبتنی بر داده‌های 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 BESTESTو ۵۵ ASHRAE تایید شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



ابزار تجزیه و تحلیل انرژی در بررسی مشخص شده

نتیجه گیری

مطالعات نشان می‌دهند فن‌آوری های نوین در صنایع سبب افزایش جمعیت جهان، معماری‌های جدید، روش‌های جدید زندگی افـزایش مصرف انرژی و منابع گردیده است، طوری که این اتفاقات عامل بوجود آمدن مشکلات زیست محیطی نیز گردیده‌اند. از طرفی مطالعـات و بررسی‌ها نشان می‌دهند در صورتی که با این پدیده بصورت اصولی و علمی برخورد شود ضمن به وجود امدن امنیت زندگی در اجتماع، برطرف کننده کاستی‌های گذشته و همچنین بهبود دهنده شرایط حاضر نیز خواهند گردید. در این رابطه بـه کـارگیری مـواد و مصـالح ساختمانی و روش‌های ساخت وساز مناسب از جمله سیستم‌های نوین ساختمانی که با دیدگاه پایداری شکل گرفته‌اند مورد توجه خـاص متخصصین امر به شرح ذیل قرار گرفته است:

۱. استفاده از روش‌های طراحی مناسب جهت مصرف بهینه و کارآمد منابع (به حداقل رساندن میزان مورد نیاز منابع)

۲. . به کارگیری مواد و مصالحی که میزان مصرف انرژی در تولید و نگهداری بنا را به حداقل برسانند

۳. بکارگیری روش‌های اجرایی بهینه که موجب اتلاف کمتر مصالح ساختمانی گردند

۴. تأکید بر مصرف مصالحی که پس از گذراندن عمر مفید در بنا قابل استفاده مجدد و یا قابل بازیافت باشند.

Archive of SID
www.SID.ir

منابع

۱. پور اختریه، محمد، "صرفه جویی در انرژی مصرفی ساختمان‌ها و اثر به کارگیری عایق در اجرای ساختمان"، کنفرانس بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۸۰.

۲. پرهیزگار، طیبه و رئیس قاسمی، امیر مازیار، "بررسی و ارزیابی خواص فیزیکی و مکانیکی بتن دانه سبک (لیکابتن) با استفاده از میکرو سیلیس"، اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، ۱۳۸۰.

۳. فریدونی، ف. مافی، م. شناسایی عوامل موثر بر عرضه و مصرف انرژی در ایران با رویکرد اصلاح الگوی مصرف، نخستین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی، مرکز همایش‌های صدا و سیما، تهران، ایران، ۱۳۹۴.

۴. مسندی، مریم. حیدری، شاهین. ۱۳۸۹، شبیه سازی بام‌ها راهکار بررسی دقیق تاثیرات دمایی در محیط مجازی، نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، شماره ۴۲ ص ۵-۱۲.

۵. محمد نیازی، ارتقاء کیفیت طراحی و ساخت سقف ساختمان های موجود در راستای سبک سازی و بهینه سازی مصرف انرژی

۶. ممقانی، قاضی جهانی، حبیب، مفیدی شمیرانی، ساختار ارزیابی انرژی نهفته برای بناهای پایدار، همایش ملی عمران، معماری و شهرسازی و مدیریت انرژی، ۱۳۹۰.

۷. مهدی‌زاده، سراج. فاطمه، میرزایی. فهیمه. مقایسه تطبیقی فرایند تولید آجر و مصالح ساختمانی رایج با عملکرد مشابه از نظر پایداری، فراخوان همایش آجر و آجرکاری در هنر و معماری ایران، ۱۳۹۵.

۸. نشریه آلومینیوم، ویژه نامه علمی – تخصصی نمایشگاه ساختمان، آبان ماه، ۱۳۸۱.

۹. ویلسون، آ، موریل، ج، راهنمای صرفه جویی در مصرف انرژی خانگی، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، انتشارات فنی، ۱۳۸۰.

۱۰. نیلسن، هالگر کاک، ۱۳۸۹، معماری همساز با اقلیم، اصول طراحی ممای زیست محیطی در مناطق گرم، ترجمه فرزانه سفلایی، مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری، چاپ اول.

۱۱. شاکری، اقبال، ۱۳۹۱، کاهش مصرف انرژی بخش ساختمان در ایران با بهره‌گیری از فناوری مدل سازی اطلاعات ساخت، دومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.

۱۲. بهاره علیزاده خرازی، امین الوانچی، حسین تقدس، ۱۳۹۶، بررسی مصرف انرژی مصالح ساخت دیوارهای خارجی با استفاده از

Archive of SID
www.SID.ir

مدلسازی اطلاعات ساختمان، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی شریف.

۱۳. سفلایی، فزرانه، ۱۳۸۲، پایداری عناصر اقلیمی در معماری سنتی ایران (اقلیم گرم و خشک)، مجموعه مقالات سومین همایش بین المللی بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان.

۱۴. واتسون دانلد، لبز، کنت،۱۳۷۲، طراحی اقلیمی، ترجمه وحید قبادیان، و دیگران، تهران: انتشارات دانشگاه تهران

۱۵. قیابگلو، زهرا، ۱۳۸۵، مبانی فیزیک ساختمان ۲، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

۱۶. ازقندی روشناوند، علی (۱۳۸۲)، ساختمان- انرژی- بهینه سازی، مجموعه مقالات همایش بهینه سازی سوخت در ساختمان، سومین همایش، ص ص ۴۸۹- ۴۷۵.

۱۷. دقیق، روناک، مشتاق (۱۳۸۲)، انتخاب بهینه سیستم‌های شیشه و پنجره به منظور صرفه جویی در مصرف انرژی، مجموعه مقالات همایش بهینه سازی سوخت در ساختمان، سومین همایش، ص ۹۶۳-۹۵۵.

۱۸. Fares,Amina, "The Effect of Changing Trombe Wall Component on the Thermal Load", Energy Procedia ۱۹ , ۲۰۱۲, p ٤٧ – ٥٤.

۱۹. Daghigh Rezaei. S, Shannigrahi S., Ramakrishna S., A review of oventional, advanced, and smart glazing technologies and materials or improving indoor environment, Solar Energy Materials & Solar , vol. ۱٥۹: ۲٦-٥۱, ۲۰۱۷.

۲۰. Newton, J., Westaway, N., crane., Embodied energy in residential property ۱۲, ۲۰۱۰.

۲۱. Rogers, M., The use of a multi-criteria decision model to choose between different structural forms within modern office construction, Dublin Institute of Technology, ۲۰۱۰.

۲۲. Xing Y, Hewitt N, Griffiths P. Zero carbon buildings refurbishment—a hierarchical pathway. Renewable Sustainable Energy Rev ۲۰۱۱;۱٥:۳۲۲۹–۳٦.

۲۳. Ibn-Mohammed T, Greenough R, Taylor S, Ozawa-Meida L, Acquaye A. Operational vs. embodied emissions in buildings—a review of current trends. Energy Build ۲۰۱۳;٦٦:۲۳۲–٤٥.

۲٤. Lechtenböhmer S, Schüring A. The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU. Energy Effic ۲۰۱۰;٤:۲٥۷–۷۰.

۲٥. Cabeza LF, Rincón L, Vilariño V, Pérez G, Castell A. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: a review. Renewable Sustainable Energy Rev ۲۰۱٤;۲۹:۳۹٤–٤۱٦.

۲٦. Zuo J, Zhao Z-Y. Green building research—current status and future agenda: a review. Renewable Sustainable Energy Rev ۲۰۱٤;۳۰:۲۷۱–۸۱.

Archive of SID
www.SID.ir

۲۷. IEA. Transition to sustainable buildings: strategies and opportunities to ۲۰۵۰. International Energy Agency (IEA); ۲۰۱۳.

۲۸. IEA. Clean energy progress report. International Energy Agency (IEA); ۲۰۱۱:۷۲.

۲۹. IEA. World Energy Outlook ۲۰۱۳. International Energy Agency (IEA); ۲۰۱۳.

۳۰. Robert A, Kummert M. Designing net-zero energy buildings for the future climate, not for the past. Build Environ ۲۰۱۲;۵۵:۱۵۰–۸.

۳۱. Nataly Echevarria Huaman R, Xiu Jun T. Energy related CO۲ emissions and the progress on CCS projects: a review. Renewable Sustainable Energy Rev ۲۰۱٤;۳۱:۳٦۸–۸۵.

۳۲. Theodosiou, T.G. (۲۰۰۳). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. Energy Build, (۳۵), ۹۰۹–۹۱۷.

۳۳. M.S. Soylemez, Thermoeconomical optimization of number of panes for windows, Journal of Energy Engineering, ASCE ۱۳۵, ۲۱-۲٤, ۲۰۰۹.

۳٤. Zhao, M., P.C. Tabares Velasco, J. Srebric, S. Komarneni, and R. Berghage. (۲۰۱٤). Effects of plant and substrate selection on thermal performance of green roofs duringthe summer. Build. Environ,(۷۸), ۱۹۹–۲۱۱.

۳۵. Daghigh Rezaei. S, Shannigrahi S., Ramakrishna S., A review of oventional, advanced, and smart glazing technologies and materials or improving indoor environment, Solar Energy Materials & Solar , vol. ۱۵۹: ۲٦-۵۱, ۲۰۱۷.

۳۶. N.N. Shcherbakova, V.I. Kondrashov, I.A. Kupriyanova, V.A. Gorokhovskii, Regression equationa for determining light transmission a tinted float, glass Ceram, vol. ۵۸: ۱٦٤-۱٦۵, ۲۰۰۱.

۳۷. Jalaei, F., & Jrade, A. (۲۰۱٤). Integrating BIM with green building certification system, energy analysis, and cost estimating tools to conceptually design sustainable buildings. In Construction Research Congress ۲۰۱٤: Construction in a Global Network (pp. ۱٤۰-۱٤۹).

۳۸. Cho, C-S and Gibson, G. E. , "Building Project Scope Definition Using Project Definition Rating Index", Journal of Architectural Engineering, Vol. ۷(٤),pp.۱۱۵-۱۲۵،۲۰۰۱

۳۹. Allen, E., & Iano, J. (۲۰۱۱). Fundamentals of building construction: materials and methods. John Wiley & Sons.

٤۰. Lin, Y. H., Tsai, K. T., Lin, M. D., & Yang, M. D. (۲۰۱٦). Design optimization of office building envelope configurations for energy conservation. Applied Energy, ۱۷۱, ۳۳٦-۳٤٦.

٤۱. Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (۲۰۱۱). Passive building energy savings: A review of building envelope components. Renewable and Sustainable Energy Reviews, ۱۵(۸),

Archive of SID
www.SID.ir

۳٦۱۷۳٦۳۱.

٤۲. Krygiel, E., & Nies, B. (۲۰۰۸). Green BIM: successful sustainable design with building information modeling. John Wiley & Sons.

٤۳. Hosseini, M. Reza & Azari, Ehsan & Tivendale, Linda & Banihashemi, Saeed & Chileshe, Nicholas. (۲۰۱٦). Building information modelling (BIM) in Iran: An exploratory study. Journal of Engineering, Project, and Production Management. ٦. ۷۸-۸۹.

٤٤. Crawley DB, Hand JW, Kummert M, Griffith BT. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. Build Environ ۲۰۰۷;٤۳:٦٦۱–۷۳.

٤٥. Attia S, Beltrán L, De Herde A, Hensen J. Architect friendly: A comparison of ten diff erent building performance simulation tools. In: Proceedings of the ۱۱th international building performance simulation association conference and exhibition. International Building Performance Simulation Association (IBPSA); ۲۰۰۹.

٤٦. Krygiel, E.; Nies, B. Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling; Wiley: New York, NY, USA, ۲۰۰۸; pp. ۱–۲٤۱.

٤۷. Liu S, Meng X, Tam C. Building information modeling based building design optimization for sustainability. Energy Build ۲۰۱٥;۱۰٥:۱۳۹–٥۳.

٤۸. Spiegelhalter, Thomas. (۲۰۱۲). Achieving the European and North American '۲۰۲۰–۲۰۳۰ Targets' of Net-Zero-Energy-Buildings with Parametric ۳D/٤D-BIM Design Tools. ۲۰۱۲ ACSA International Conference .٤۱-٤۷

٤۹. Aksamija A. BIM-based building performance analysis: evaluation and simulation of design decisions. In: Proceedings of the ۲۰۱۲ ACEEE summer study on energy efficiency in buildings; ۲۰۱۲.

٥۰. Maile T, Fischer M, Bazjanac V. Building energy performance simulation tools-a life-cycle and interoperable perspective [Working Paper]. Cent Integr Facil Eng (CIFE) ۲۰۰۷;۱۰۷:۱–٤۹.

٥۱. AbandaF,ByersL.Aninvestigation of the impact of building orientation onenergy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling). Energy ۲۰۱٦;۹۷:٥۱۷–۲۷.

٥۲. Nasyrov V, Stratbücker S, Ritter F, Borrmann A, Hua S, Lindauer M. Building information models as input forbuilding energy performance simulation–the current state of industrial implementations. eWork eBus Archit Eng Constr: ECPPM ۲۰۱٤;٤۷۹.

٥۳. Dong B, Lam K, Huang Y, Dobbs G. A comparative study of the IFC and gbXML informational

Archive of SID
www.SID.ir

infrastructures for data exchange in computational design support environments. Tenth Int IBPSA Conf ۲۰۰۷:۱۵۳۰–۷.

۵۴. Moon HJ, Choi MS, Kim SK, Ryu SH. Case studies for the evaluation of interoperability between a bim based architectural model and building performance analysis programs.In: Proceedings of the ۱۲th conference of international building performance simulation association; ۲۰۱۱.

۵۵. Kim JB, Jeong W, Clayton MJ, Haberl JS, Yan W. Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation. Autom Constr ۲۰۱۵;۵۰:۱۶–۲۸.

۵۶. Kumar S. Interoperability between building information models (BIM) and energy analysis programs. University of Southern California; ۲۰۰۸.

۵۷. Jeong W, Kim JB, Clayton MJ, Haberl JS, Yan W. A framework to integrate objectoriented physical modelling with building information modelling for building thermal simulation. J Build Perform Simul ۲۰۱۶;۹:۵۰–۶۹.

۵۸. Dubois M, Horvat M. State-of-the-art of digital tools used by architects for solar design (Report No. T. ۴۱. B. ۱). International Energy Agency; ۲۰۱۰.

۵۹. Maile T, Fischer M, Bazjanac V. Building energy performance simulation tools-a life-cycle and interoperable perspective [Working Paper]. Cent Integr Facil Eng (CIFE) ۲۰۰۷;۱۰۷:۱–۴۹.

۶۰. Wen L, Hiyama K. A review: simple tools for evaluating the energy performance in early design stages. Procedia Eng ۲۰۱۶;۱۴۶:۳۲–۹.

۶۱. Stundon D, Spillane J, Lim JP, Tansey P, Tracey M. Building information modelling energy performance assessment on domestic dwellings: a comparative study. In: Proceedings of the ۳۱st annual ARCOM conference: ARCOM; ۲۰۱۵. p. ۶۷۱–۹.

۶۲. Kurul E, Abanda H, Tah JH, Cheung F. Rethinking the build process for BIM adoption. CIB World Build Congr Constr Soc Aust ۲۰۱۳.

۶۳. Lagüela S, Díaz-Vilariño L, Martínez J, Armesto J. Automatic thermographic and RGB texture of as-built BIM for energy rehabilitation purposes. Autom Constr ۲۰۱۳;۳۱:۲۳۰–۴۰.

Archive of SID
www.SID.ir