بررسی تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در طراحی و چیدمان مبلمان فضاهای داخلی مجتمع‌های آموزشی

(موردپژوهی: دانشکده معماری‌وشهرسازی، عمران و مکانیک دانشگاه علم‌وصنعت ایران)

محمد بهزادپور[1] و مهدی خاک‌زند*[2]

تاریخ دریافت: 1399/12/08
تاریخ پذیرش: 1400/06/20

چکیده: در دنیای معاصر توجه به عوامل محیطی از جمله نور طبیعی در محیط‌های آموزشی علاوه بر ایجاد ارتباط بصری بر آسایش دانش پژوهان و میزان کارآیی آنان نیز تأثیرمی‌گذارد. امروزه نرم‌افزارهای بر پایه BIM با شبیه‌سازی و آنالیز میزان روشنایی امکان به‌کارگیری کیفیت مطلوب فضایی از منظر نور طبیعی و ارزیابی میزان مصرف انرژی ساختمان پیش از اجرا را فراهم نموده است. بر اساس مطالعات انجام شده می‌توان بیان کرد که در نظر گرفتن حد استاندارد نور طبیعی در فضاهای آموزشی ضمن افزایش کیفیت فضای معماری بر ارتقا میزان سطح یادگیری دانشجویان (حداکثر 25 درصد) تأثیر گذار است. در پژوهش حاضر با هدف ارائه راهکارهایی جهت مناسب سازی طراحی فضای داخلی بر اساس بهره‌گیری از نور طبیعی به منظور بهبود کیفیت فضای معماری در دو بخش پیمایشی و شبیه‌سازی به بررسی شاخص‌های کیفیت فضای معماری و آنالیز روشنایی فضاهای داخلی در دانشکده معماری‌وشهرسازی عمران و مکانیک دانشگاه علم‌وصنعت ایران پرداخته شد. نتایج حاصل از پژوهش در بخش پیمایشی با استفاده از روش دلفی در نرم‌افزار spss نشان دهنده آن است که میزان و شدت نور در فضای داخلی در کنار عواملی همچون (تناسبات، فرم و رنگ) تأثیر بسیار زیادی بر کیفیت فضای معماری در مجتمع‌های آموزشی خواهد داشت. در خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار Design Builder علاوه بر کیفیت فضا (بر حسب محاسبه شدت و اندازه نور) به میزان مصرف انرژی سالیانه از طریق دیواره‌ها (با توجه به نسبت نورگیرها به دیواره‌ها) پرداخته شد. نتایج حاصل از آنالیزها بر اساس استانداردهای LEED و BREEAM نشان می‌دهد که به منظور بهره‌گیری بیشتر از نور روز، مناسب‌ترین اضلاع (جنوب و شمال) دانشکده معماری‌وشهرسازی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از این‌روی عدم توجه به آنالیزهای تحلیل نور و مصرف انرژی در دانشکده مذکور منجر به اختلالاتی در دریافت نور فضاهای آموزشی شده که این مهم، مشکلاتی از قبیل کسلی و خواب‌آلودگی (در فضاهای کمتر از حد استاندارد نور) همچنین خیرگی و اتلاف انرژی (در فضاهای بیشتر از حد استاندارد نور) را به همراه دارد. در پایان باید گفت BIM علاوه بر ارزیابی میزان مصرف انرژی ساختمان می‌تواند در طراحی داخلی (مبلمان فضاهای معماری بر حسب نورگیری) به منظور افزایش کیفیت فضایی نیز مؤثر واقع شود.

واژگان کلیدی: BIM، طراحی داخلی، کیفیت فضای معماری، دانشگاه علم‌وصنعت ایران.

این مقاله برگرفته از رساله پسادکتری نگارنده اول به میزبانی نگارنده دوم است.

[1] **پسادکتری**، معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، گروه معماری؛ واحد هشتگرد؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ هشتگرد؛ ایران.

[2] **دانشیار**، معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)mkhakzand@iust.ac.ir

1-مقدمه

نور طبیعی و ارتباط بصری با محیط خارج در فضاهای زیستی انسان اعم از محیط کار و تحصیل می‌تواند علاوه بر افزایش کارآیی و بازدهی، سبب کاهش اضطراب، بهبود رفتار و به دنبال آن تأثیرات مثبت بر سلامت جسم و روان انسان شود. با توجه به این مهم که دانشجویان، زمان قابل توجهی از روز را در کلاس‌های آموزشی می-گذرانند؛ مسأله پژوهش حاضر، فقدان طرح‌هایی مبتنی بر آسایش بصری آنان، جهت افزایش کیفیت فضایی است. هدف اصلی از انجام پژوهش نیز، ارائه طرح‌هایی بر مبنای دستیابی به کارآمدترین جانمایی فضاهای داخلی به منظور تأمین نور لازم و کاهش مصرف انرژی در فضاهای آموزشی دانشکده است. طبق مطالعات انجام شده توسط Dogan و همکارانش در سال 2012 که در پنجمین همایش ملی IBPSA-USA به چاپ رسیده است، دانش‌آموزان در کلاس‌هایی با نور طبیعی مناسب و کافی تا 25٪ یادگیری بالاتری نسبت به همتایان خود دارند و همین امر دلیل ضرورت پژوهش حاضر به منظور ارزیابی کیفیت روشنایی فضاهای آموزشی دانشکده مورد بررسی است. از سویی پژوهش bailey و nicklus در سال 1997 نشان دهنده آن است، دانش‌آموزانی که در کلاس‌های با نور روز مناسب تحصیل می‌کنند از سلامت روحی قالب قبول‌تری برخوردارند. همچنین طبق مطالعات انجام شده توسط باستان‌فر (2002) استفاده مناسب از روشنایی طبیعی منجر به ارتقای کیفیت یادگیری می‌شود و در پی آن میزان و نوع روشنایی بر رفتار کاربران نیز تأثیرگذار است. در پژوهشی دیگر توسط عرفان نیا و همکاران که در سال 2018 به چاپ رسیده است، به نقش نور در فضاهای آموزشی به عنوان یک عامل مهم اشاره شده و نور را در تغییر وسعت محیط، مسیر دید، رنگ محیط و تفکیک فضاها نیز مؤثر دانسته-اند. همچنین امروزه استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و شبیه‌سازی مصرف انرژی؛ توجه طراحان را به بهره‌گیری از نور روز همانند یک راهبرد مؤثر برای کاهش مصرف انرژی، بهبود آسایش بصری و استفاده بهینه از فضا معطوف ساخته است. در پژوهش حاضر، پس از مطالعات کتابخانه‌ای و گردآوری مبانی نظری پژوهش؛ در بخش پیمایشی، با شناسایی شاخص-های کیفیت فضای معماری در مجتمع‌های آموزشی براساس دیدگاه‌های صاحب‌نظران و وزن‌دهی شاخص-های مذکور در نرم‌افزار SPSS، با استفاده از ضریب همبستگی کندال به دلیل ماهیت رتبه‌ای داده‌ها، ارزیابی شاخص‌ها انجام خواهد شد. سپس در بخش شبیه‌سازی، پس از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و شبیه‌سازی مصرف انرژی سالیانه؛ به کمک آنالیز روشنایی فضاهای داخلی، به سنجش میزان تطابق جانمایی فضاهای داخلی با کاربری آن در فضای آموزشی مورد بررسی، پرداخته خواهد شد، همچنین در ارتباط با جهت طراحی و چیدمان مبلمان فضاهای داخلی با هدف بهبود کیفیت فضای داخلی در مجتمع آموزشی مذکور، راهکارهایی ارائه خواهد شد. حال با توجه به مباحث مطروحه پرسش اصلی پژوهش بدین شکل بیان می‌شود؛ چگونه با استفاده از (BIM) مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به منظور افزایش کیفیت فضای داخلی می‌توان گامی مؤثر در راستای افزایش و بهبود سطح یادگیری کاربران برداشت؟ با توجه به وضعیت فعلی کشور، مسأله اصلی پژوهش، عدم وجود راهنما و استانداردهای بومی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در زمینه جایگاه نور و تأثیر آن بر افزایش کیفیت مجتمع های آموزشی بوده، همچنین از اهداف اصلی پژوهش؛ شناسایی و معرفی فاکتورهای تأثیر گذار در طراحی مجتمع‌های آموزشی در ایران به منظور افزایش کیفیت فضایی در راستای حفظ کیفیت آموزشی است. در نتیجه اهمیت و ضرورت موضوع جهت حفظ کیفیت فضاهای آموزش بوده از این‌روی نتایج حاصل از پژوهش می‌تواند در راستای بهبود و افزایش کیفیت فضاهای آموزشی به منظور ارتقا سطح دانش و یادگیری جهت ساختن کشوری اندیشمند مؤثر باشد.

1-1-مروری بر پیشینه تحقیق

افراد متعددی به مطالعه و نگارش مزایای BIM و تأثیر نور بر فضای معماری پرداخته‌اند. Eastman و همکارانش در سال 2011، مزایای BIM را به 4 دسته طبقه‌بندی کرده‌اند. مزایای پیش از ساخت (بررسی مفهوم و امکان سنجی)، مزایای حین ساخت (تأمین تصویر مناسب از پروژه، تصحیح خودکار اشتباهات، تولید نقشه‌های

دوبعدی)، مزایای حین ساخت و اجرا (شناسایی تناقضات، ساخت خودکار قطعات، برآورد) و مزایای پس از ساخت مانند مدیریت ساختمان (Eastman et al., 2011) تصویرسازی عناصر سازه و سایر اطلاعات در سیستم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، امکان پیش تحلیلی از آن‌ها جهت پیش‌بینی مسائل ممکن در خلال ساخت‌وساز فراهم می‌نماید و مسیر هرگونه تغییری در طراحی را جهت تحلیل بیشتر، ذخیره می‌کند (Kushwaha, 2015) سیستم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را می‌توان به عنوان یک پلت‌فرم کاری مشترک و چندرشته‌ای نیز تعریف نمود که تغییرات، مدیریت و ارتباطات به طور همزمان در میان افراد پروژه، به اشتراک گذاشته می‌شود (De Masi, 2015) این امر به بازیابی اطلاعات مفید در هر زمان و جلوگیری از اتلاف زمان و کاهش احتمال خطاها، کمک خواهد نمود (Logothetis and Stylianidis, 2016).

اساسا سیستم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، فناوری نوینی جهت طراحی و تولید اجزاء ساختمان در صنعت ساخت و ساز مهیا می‌کند. این سیستم از مدل رایانه‌ای جامعی با فرآیندی مبتنی بر همکاری در مقابل مجموعه ترسیمات جداگانه سنتی طراحی ساختمان، بهره می‌برد (Alwan et al., 2017) BIM چندبعدی است و اجازه می‌دهد ابعاد اضافی داده‌ها به یک مدل متصل شوند در نتیجه درک کاملی از پروژه فراهم می‌کند. ابعاد BIM که توسعه یافته‌اند عبارتند از طراحی[12]، زمان[13]، هزینه[14]، پایداری[15]، مدیریت امکانات[16] و حفظ سلامتی و امنیت[17]که با افزودن اطلاعات جدید به مدل، نقش استانداردهای بین‌المللی مانند استاندارد اندازه‌گیری ساخت‌وساز[18] به طور فزاینده‌ای اهمیت پیدا می‌کند.

برای بهره‌گیری از دیجیتالی‌سازی مداوم محیط ساخته شده، چالش‌های آموزشی وجود دارد که باید توسط دانشگاه‌ها، ارگان‌های حرفه‌ای، سازمان‌ها و افراد رفع شود. باید روش‌های جدیدی برای فراهم آوردن مهارت-های لازم برای پذیرش اقتصاد دیجیتال در اختیار مردم قرار گیرد. این ممکن است به معنای تغییر در دوره‌های آموزشی و ارائه صلاحیت‌های حرفه‌ای برای کسانی باشد که وارد صنعت می‌شوند (Dowd et al., 2020) آموزش سیستم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در رشته معماری می‌تواند ابتدا به صورت موضوعی و مستقل مطرح شده و سپس به صورت میان رشته‌ای بررسی شود (Latifi. Oskouie et al., 2020).

از جمله پژوهش‌های انجام شده در زمینه نقش نور و روشنایی بر فضاهای داخلی، پژوهشی بود که توسط پوردیهیمی و حاجی سید جوادی (2008) تأثیر نور روز بر انسان را مورد بررسی قرار داد. این پژوهش در نتیجه-گیری خود به این موضوع پرداخته که امروزه، در مقایسه با گذشته، مردم بخش زیادی از ساعات عمر خود را در طول روز، در فضاهای سرپوشیده می‌گذرانند بنابراین فراهم‌آوری امکان ورود نور مناسب روز به این فضاهای بسته، برای ارتقاء کیفیت زیستی و نیز افزایش سطح سلامتی، آسایش و کارآیی آنها، ایده‌ای کاملا مطلوب به شمار می‌آید، اما تابش مستقیم و شدید نور روز، همانند محرومیت از آن ممکن است مضر و خطرناک نیز باشد (به دلیل عوارض پوستی و ایجاد اشکال در بینایی). نحوه تأمین میزان تابش در تمام نقاط یک فضا با توجه به فواصل گوناگون این نقاط از پنجره‌ها و در عین کنترل تابش اضافی یا کمتر از میزان مورد نیاز و نیز با در نظر داشتن شرایط متغیر نوری در طول روز، از نکات اساسی دیگری است که باید در تأمین نور فضاهای داخلی مدنظر قرار گیرد (Haji seyed javadi et al., 2008).

احدی و خانمحمدی (2015) در پژوهشی به منظور بررسی عملکرد دانشجویان با بهره‌گیری مناسب از نور روز در کلاس‌های آموزشی دانشکده معماری دانشگاه علم‌وصنعت ایران؛ با مدل‌سازی دانشکده در نرم‌افزار دیالوکس به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین اشکال طراحی در این دانشکده، کم بودن مساحت پنجره‌های فضاهای آموزشی رو به شمال است. از نظر آنان برابری نسبی مساحت پنجره‌ها در کارگاه‌های رو به شمال و جنوب، نشان‌دهنده عدم توجه به تأثیر جهت‌گیری در کیفیت روشنایی روز در فضاهای این نمونه موردی است. همچنین عبور کانال‌های تأسیساتی از بالای پنجره‌ها، ارتفاع و مساحت آن‌ها را محدود کرده است. در خصوص مقادیر شدت و فاکتور نور روز، محاسبات آنان نشان داد، در کلاس‌های طبقه زیرزمین، نور روز کمتر از حداقل

مناسب (2٪) و برابر 1.69٪ است. براساس محاسبات انجام شده، در ابتدا و اواسط هر ماه، شدت نور روز این کلاس‌ها بین 160 تا 310 لوکس برآورد شده که در بسیاری از روزها کمتر از حد استاندارد مناسب برای کلاس‌های آموزشی (300 لوکس) بوده است. در کارگاه‌های رو به شمال طبقه اول، شدت نور روز بین 100 تا 480 لوکس و در طبقه سوم، 100 تا 200 لوکس، برقرار است. در این فضاها در تمام روز از نور مصنوعی استفاده می‌شود و حالات کسل بودن و خواب آلودگی در میان دانشجویان بیشتر دیده می‌شود. محاسبات و مدل‌سازی شدت نور روز در کارگاه‌های رو به جنوب در طبقات اول و سوم، نشان‌دهنده مناسب بودن ابعاد پنجره‌ها و مؤثر بودن نورگیرهای سقفی است هرچند در روزهای ابری، شدت روشنایی این فضاها به شدت کاهش می‌یابد و نیازمند استفاده از روشنایی مصنوعی هستند (Ahadi et al., 2015).

نتایج حاصل از پژوهش انجام شده توسط زمردیان، خسروی و تحصیل‌دوست نشان داد تنظیمات پنجره به میزان قابل توجهی بر شدت و یکنواختی نور روز تأثیر می‌گذارد. آن‌ها با هدف بررسی تأثیر تنظیمات پنجره بر عملکرد نور روز از طریق تجزیه‌وتحلیل پارامتریک؛ پیکربندی‌های مختلف پنجره مانند نسبت پنجره به دیوار، قفسه‌های روشنایی و مانیتورهای سقف در یک کلاس معمولی رو به جنوب شرقی در کاشان را به کمک DesignBuilder Radiance برای اولین بار، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. اعتبار روزانه ابزار رتبه‌بندی ساختمان سبز؛ Leed EQ 8.1 و BREEAM HEA1 به عنوان شاخص‌هایی برای ارزیابی و مقایسه تنظیمات مختلف پنجره، نشان داد با افزایش نسبت دیوار به پنجره به 35، 40 و 50 درصد و با نصب یک مانیتور سقف، اعتبار نور روز BREEAM و LEED می تواند حاصل شود. آن‌ها در نتیجه‌گیری پژوهش خود به ارائه راهکاری پرداخته‌اند که براساس آن ترکیبی از نصب سقف مانیتور و قفسه‌های نور و افزایش نسبت پنجره به دیوار، ممکن است باعث افزایش سطح نور روز شود (Zomorodian et al., 2016).

بررسی‌های صورت گرفته توسط قنبران و حسین‌پور (2016)، بر این مسأله تأکید می‌کند که از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تعیین میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی در اقلیم شهر تهران، می‌توان به میزان نفوذ ناخواسته هوا، عایق‌کاری حرارتی بام و ابعاد پنجره‌ها اشاره کرد. ابعاد پنجره‌ها می‌بایست به گونه‌ای طراحی گردند که ضمن تأمین نور طبیعی مورد نیاز فضای کلاس درس، تأثیر منفی بر افزایش بار سرمایش و گرمایش ساختمان نداشته باشند. از سوی دیگر، در صورتی که پنجره در ارتفاع حدود 140 سانتیمتر نصب شود، عمق نفوذ نور روز بیشتر خواهد بود و میزان بهره-گیری کلاس از نور روز، مناسب‌تر خواهد شد. جهت‌گیری مناسب کلاس‌های درس و اجتناب از پنجره‌های واقع در جهات غربی و شرقی می‌تواند نقش بسزایی بر کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان داشته باشد (Ghanbaran et al., 2016). جدول 1، خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه را نشان می‌دهد. با توجه به مزایای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، می‌توان دریافت آنالیز نور پیش از ساخت چه تأثیراتی بر فضای معماری و کاربران آن خواهد داشت.

2-1-مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

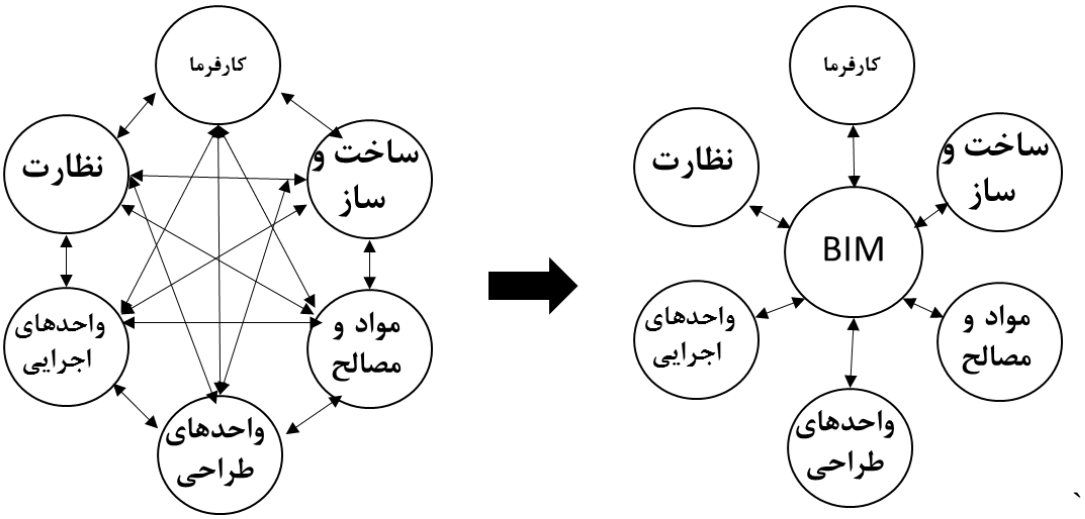
مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)[1]، اشتراک اطلاعات و تبادل رسانه‌هاست. مهم‌تر از همه، یک کار و روش همکاری جدید با ایجاد سیستم کنترل کیفیت و استفاده در مرحله ساخت است که می‌تواند به طور مؤثر از کیفیت ساخت محافظت کند. با توجه به کیفیت تشکیلات؛ کنترل پروژه به سه قسمت کنترل قبلی، کنترل در فرایند ساخت و کنترل پس از ساخت برای معرفی کاربرد خاص تقسیم می‌شود (Junying Lou et al., 2016) شکل 1، تأثیر BIM را در برقراری ارتباط میان عوامل مختلف یک پروژه نشان می‌دهد.

روش‌های طراحی سنتی که غالبا بدون ارزیابی انرژی انجام می‌شده‌اند، امروزه با اهمیت یافتن میزان مصرف انرژی و نتایج حاصل از آن؛ قابل اطمینان نیستند. اقتصاد بر اساس معماری سبز و اهداف توسعه پایدار؛ مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را با توجه به چرخه عمر آن به صورت یک واحد مجزا و در کل در ارتباط با یک شهر در نظر می‌گیرد.

جدول1- پیشینه تحقیق

Tab. 1 - Research background

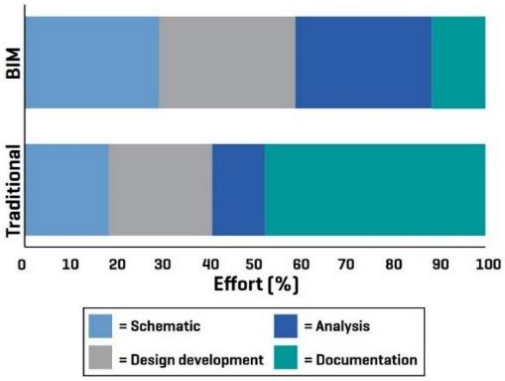
ردیف	سال	نویسنده/ نویسندگان	نتایج حاصل شده
1	2011	Eastman et al.,	مزایای پیش از ساخت، حین ساخت، حین ساخت و اجرا و پس از ساخت در سازی اطلاعات ساختمان‌مدل
2	2015	Kushwaha	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و امکان پیش تحلیل و پیش بینی حاصل از آن
3	2015	De Masi	به عنوان پلت‌فرم کاری مشترک و چند رشته‌ای BIM
4	2016	Logothetis & Stylianidis	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان ابزاری برای بازیابی اطلاعات مفید، جلوگیری از اتلاف زمان و کاهش احتمال خطاها
5	2017	Alwan et al.,	به عنوان مدل کامپیوتری جامعی با فرآیندی مبتنی بر همکاری BIM
6	2020	Dowd & Marsh	BIM چند بعدی است که با افزودن استانداردهای بین‌المللی به طور فزاینده‌ای اهمیت پیدا می‌کند و از طریق آموزش با هدف ایجاد اقتصاد دیجیتال گسترش می‌یابد
7	1399	لطیفی اسکوئی و همکاران	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به صورت موضوعی و مستقل و در ادامه میان رشته‌ای
8	1387	پوردیهیمی و حاجی سید جوادی	تأثیر نور بر ارتقاء کیفیت زیستی و نیز افزایش سطح سلامتی، آسایش و کارآیی
9	1393	احدی و خان محمدی	و تأثیر مساحت و ابعاد پنجره‌ها بر نورگیری فضاهای داخلی دانشکده معماری دانشگاه علم صنعت ایران
10	2016	زمردیان، خسروی و تحصیلدوست	تأثیر پنجره بر عملکرد نور روز در فضای داخلی
11	1395	قنبران و حسین‌پور	تأثیر اقلیم بر مصرف انرژی- توجه به جهت‌گیری ساختمان و ابعاد پنجره‌ها



شکل1- تأثیر BIM در برقراری ارتباط میان عوامل مختلف یک پروژه

Fig. 1- The impact of BIM on the relationship between different factors of a project

(Gang Zhou et al., 2020) شکل 2، مقایسه صنعت ساخت‌وساز در روش‌های سنتی و روش BIM را نشان می‌دهد.



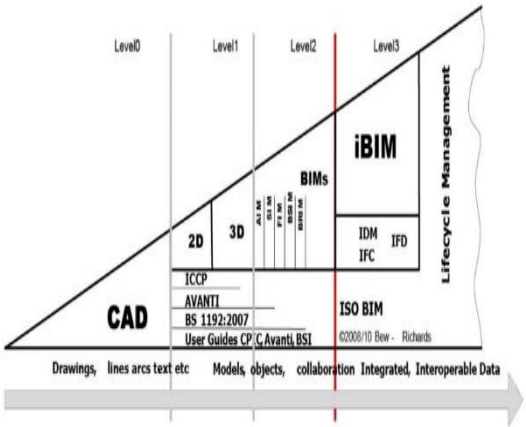
شکل2-مقایسه روش‌های سنتی در صنعت ساخت و ساز با روش BIM (International BIM implementation guide, 2020)

Fig. 2- Comparison of traditional methods in the construction industry with BIM method (International BIM implementation guide, 2020)

طبق نمودار بالا که به عنوان بخشی از راهنمای بین‌المللی BIM در سال 2020 مطرح شده است؛ تفاوت عمده روش‌های سنتی در ساخت و ساز با روش‌های BIM در مستندات[2] و تحلیل و بررسی[3] است و پس از آن طرح شماتیک[4] و طراحی و توسعه[5] بیشترین میزان از این تفاوت را به خود اختصاص داده‌اند.

در کنار مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، باید مدیریت طراحی ناب نیز وجود داشته باشد که بر اساس آن، پیمانکار از همان ابتدای پروژه، جزئیات دقیق را طلب کند و درک مشترک بین دست‌اندرکاران یک پروژه را افزایش دهد

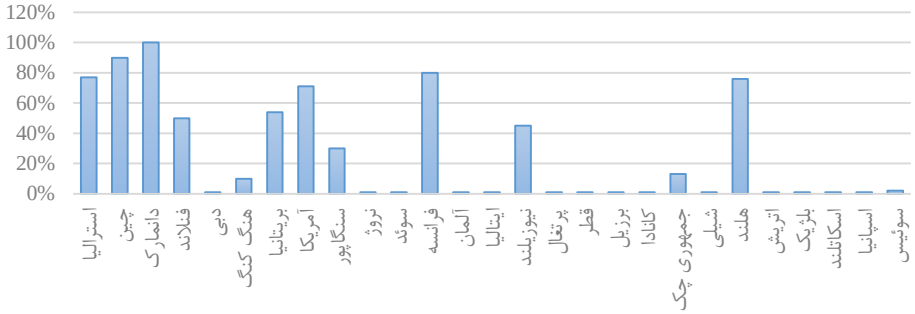
(Uusitalo et al., 2019) قابلیت‌های BIM دیگر محدود به نمایش هندسه نیست و بسیاری از جنبه‌های دیگر پروژه‌های ساختمانی مانند مدیریت اطلاعات از طریق مدل‌های غنی معنایی، هوش و تجزیه‌وتحلیل داخلی از طریق سیستم‌های دانش‌بنیان فعال و شبیه‌سازی را تقویت می‌کند و همچنین همکاری و ادغام را از طریق تبادل داده‌های دیجیتال میسر می‌سازد (N. Gu et al., 2014). به منظور مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، نرم‌افزارهای متعددی در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند. در انگلستان از سال 2013، استفاده از نرم‌افزار Revit با 49٪، بیشترین میزان کاربر را دارست (BIMtalk, 2013) و در کشور آمریکا طبق پژوهش انجام شده در سال 2012، استفاده از نرم‌افزارهای تحت Autodesk با 27٪، بیشترین میزان مصرف را از آن خود کرده است (Becerik- Gerber at el Rice, 2012) می‌توان نتیجه گرفت، وقتی صحبت از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان باشد، نرم‌افزار Revit کاربران بیشتری دارد. شکل 3، سیر تکامل BIM و شکل 4 بررسی سیر تکاملی استفاده از BIM را در سایر کشورها نشان می‌دهد.



شکل 3- سیر تکامل BIM (Dowd and Marsh, 2020)

Fig. 3- The evolution of BIM (Dowd and Marsh, 2020)

عامل مهمی که رشد BIM را در صنعت ساخت محدود می‌کند، عدم توانایی ایجاد ارزش در ذهن سازمان‌های کوچک و متوسط است. 71 درصد از شرکت‌های کوچک احساس می‌کنند BIM به دلیل میزان کار معمول آن‌ها، قابل اجرا یا مناسب نیست. آن‌ها احساس می‌کنند پروژه‌های آن‌ها به اندازه کافی پیچیده نیستند تا نیاز به BIM داشته باشند. اما بازدهی BIM در هزینه‌ها و سرعت تحویل و سودآوری؛ تجارب افرادی که BIM را پذیرفته‌اند تأیید می‌کند که این تغییر ارزشمند است (Shimonti, 2019) طبق شکل4، برخلاف کشورهایی همچون هنک کنگ، نروژ، سوئد، آلمان، ایتالیا و غیره؛ چین از جمله کشورهای پیشرو در صنعت مدل‌سازی اطلاعات ساختمان است. این کشور دارای استانداردهای بومی‌سازی شده است و این استانداردها را می‌توان به چهار نوع ملی، محلی، صنعتی و شرکت‌ها تقسیم‌بندی نمود.



شکل 4- بررسی سیر تکاملی استفاده از BIM در سایر کشورها
Fig. 4- the evolution of BIM use in other countries

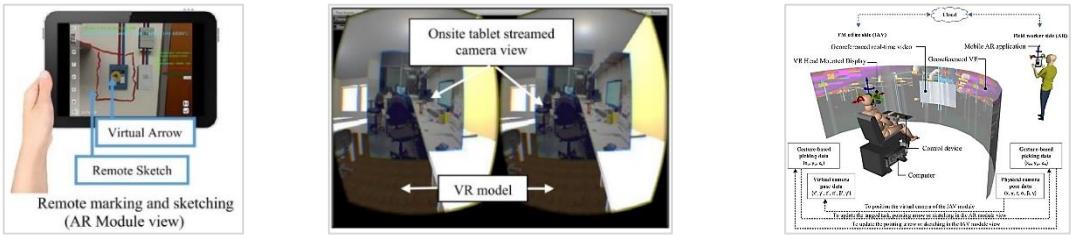
از این میان، استانداردهای ملی، معتبرترین هستند و پایه و اساس، برای سه نوع دیگرند (Zhiliang Ma et al., 2018) طبق مطالعات انجام شده، تاکنون در کشور ایران برای تدوین و اجرای استانداردهای بومی‌سازی شده اقدامی انجام نشده است و در صورت الزام به استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های دولتی و خصوصی؛ ارزیابی میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها باید با استانداردهای جهانی همچون LEED[6]، ASHRAE[7] و BREEAM[8] انجام شود.

یکی دیگر از مزایای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، دستیابی Vr[9] و Ar[10] است. با مدل‌سازی ساخت می‌توان، در فعالیتی با استفاده از هر دو واقعیت مجازی و فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)؛ روند معمول برنامه‌ریزی فضای کار دستی را افزایش داد و با استفاده از دانش کارگران با تجربه و تلفیق آن با ساخت‌وساز، سبب بهبود و افزایش سطح بهره‌وری در صنعت مذکور شد (Getuli et al., 2020) مشارکت ذینفعان، پشتیبانی طراحی، بازنگری در طراحی، پشتیبانی از ساخت، عملیات و مدیریت پشتیبانی و آموزش؛ از مزایای بهره‌مندی از واقعیت‌های مجازی و افزوده است که مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، در اختیار کاربران قرار می‌دهد (Delgad et al., 2020) فضاهای مجازی Vr و Ar؛ در صنعت ساختمان، علاوه بر جنبه‌های درک فضای سه بعدی با حواس بصری پیش از ساخت و هنگام بهره‌برداری از ساختمان؛ برای رعایت ایمنی کارگران در حین کار نیز، مؤثر است (Xiao Li, 2018) شکل 5، تفاوت Vr و Ar و تعامل بصری با محیط مجازی را نشان می‌دهد.

3-6-نور خورشید

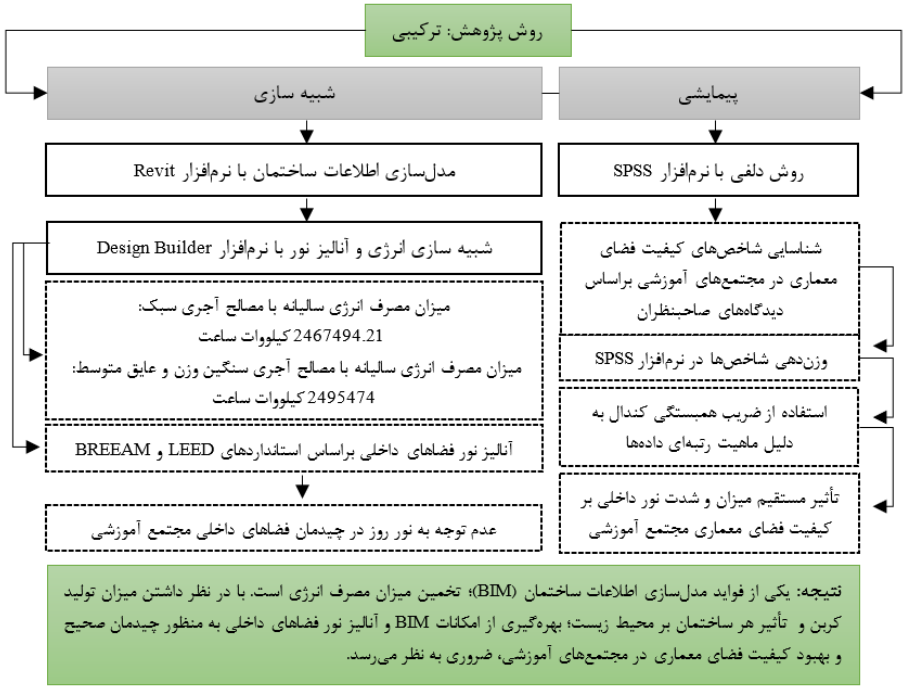
نور خورشید برای ایجاد روشنایی طبیعی در ساختمان لازم است ولی از آنجا که این نور در نهایت به حرارت تبدیل می‌شود، میزان تابش مورد نیاز برای هر ساختمان باید با توجه به نوع و شرایط اقلیمی محل آن تعیین شود. شکل موقعیت و زوایای تابش خورشید را طبق عرض جغرافیایی 35 درجه شمالی که تهران در آن واقع شده است، نشان می‌دهد و شکل8، نشان دهنده حرکت خورشید در ساختمانی است که در نیم‌کره شمالی قرار دارد و رو به جنوب قرار گرفته است. در تابستان خورشید از شمال شرقی محوطه این ساختمان طلوع، و در شمال غربی آن غروب می‌کند و در زمستان طلوع خورشید از جنوب شرقی و غروب آن در جنوب غربی محوطه‌ی ساختمان مزبور صورت می‌گیرد و فقط در اول فروردین و اول مهرماه، خورشید کاملا از شرق طلوع کرده و در غرب غروب می‌کند (Kasmayi, 2003).

شاخص‌های دینامیک به کمک مدل‌سازی نور روز مبتنی بر اقلیم و شبیه‌سازی، قابل محاسبه‌اند. با مشخص کردن مواردی از قبیل هندسه و فرم فضا، ویژگی‌های مصالح، منابع نوری (خورشید و آسمان)؛ شبکه‌ای از حسگرها در ارتفاع سطح کار، تعیین و به کمک آنالیزهای روشنایی به دست آمده در محل هر یک از این حسگرها، شاخص‌های مربوط محاسبه می‌شوند. برای پیش‌بینی میزان رضایت کاربران از شرایط نوری، لازم است برای شاخص‌های مذکور، مقادیری به عنوان مبنا تعیین شوند و ملاک قضاوت درباره کافی نبودن، مناسب بودن و یا زیاد از حد بودن نور در نقاط مختلف فضای مورد بررسی قرار گیرند (Reinhart and Weissman, 2012).



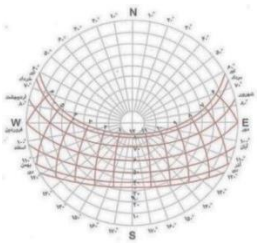
شکل 5- تفاوت Ar و Vr و تعامل بصری با محیط مجازی (Ammaria and Hammad, 2019)

Fig. 5- Difference between Ar and Vr and visual interaction with the virtual environment (Ammaria and Hammad, 2019)



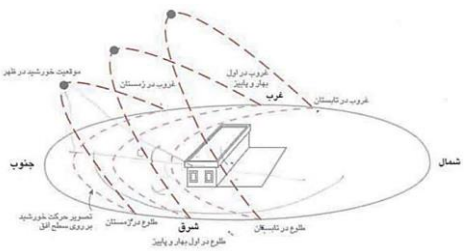
شکل 6- مدل مفهومی پژوهش

Fig. 7- Conceptual model of research



شکل 7- موقعیت و زوایای تابش خورشید طبق عرض جغرافیایی 35 درجه شمالی که تهران در آن واقع شده است (Kasmayi, 2003)

Fig 7 - Position and angles of the sun according to latitude 35 degrees north where Tehran is located(Kasmayi, 2003)



شکل8- موقعیت خورشید نسبت به زمین نسبت به ساختمانی که در نیم‌کره شمالی و رو به جنوب قرار گرفته است (Kasmayi, 2003)

Fig 8. Position of the sun relative to the ground relative to a building located in the northern hemisphere facing south(Kasmayi, 2003)

چیدمان فضاهای داخلی براساس حرکت خورشید و تأثیر آن بر ساختمان، یکی از مواردی است که باید هنگام طراحی در نظر گرفته شود. در صورت عدم توجه به این موضوع ممکن است فضاهای داخلی به گونه‌ای جانمایی شوند که برای گرم‌کردن و خنک‌کردن آن‌ها، نیاز به بهره‌گیری از انرژی بیشتری به وسیله تجهیزات مکانیکی گرم‌کننده و خنک‌کننده باشد. در مورد دانشکده مورد بررسی، کلاس‌های درس و آتلیه‌ها، با توجه به مطالب مطرح شده در زمینه تأثیر نور بر آسایش بصری، باید به طریقی جانمایی شوند که علاوه بر عدم خیرگی، با بهره-گیری مناسب از نور روز، سبب بهبود کیفیت فضای معماری شوند.

2-3-شاخص‌های ارزیابی نور و خیرگی

تأمین آسایش کاربر در فضای داخلی ساختمان، دارای جنبه‌های مختلفی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به آسایش بصری اشاره کرد. فراهم کردن شرایط نوری به گونه‌ای که آسایش بصری کاربران تأمین شود و پیام‌های دیداری به وضوح از محیط دریافت شوند، متأثر از عوامل مختلفی است که مقدار نور و نحوه توزیع آن، بازتاب‌های آزار دهنده، درجه خیرگی و دمای رنگ نور از جمله آن‌هاست (Rodriguez and Pattini Garretón ،2016) در طی دهه‌های اخیر، شاخص‌های زیادی برای اندازه‌گیری نور روز در داخل فضا معرفی شده که می‌توان آن‌ها را به دو دسته تقسیم‌بندی کرد: 1) شاخص‌های ایستا و 2) شاخص‌های پویا. شاخص‌های ایستا، تحت شرایط بیرونی مشخص و ثابت (آسمان ابری یا آسمان بدون ابر)، میزان روشنایی طبیعی را در فضای داخلی بیان می‌کنند. شاخص‌های پویا (شاخص‌های مبتنی بر اقلیم) یک مدل پیش‌بینی نور روز هستند که کمیت‌های مختلف روشنایی را با در نظر گرفتن وضعیت آسمان و موقعیت خورشید، بر اساس داده‌های اقلیمی، شبیه‌سازی و ارزیابی می‌کنند. مهم‌ترین تفاوت بین شاخص‌های ایستا و پویا، در نظر گرفتن تغییرات ساعتی، روزانه و فصلی نور روز در شاخص‌های پویا است (Fadayi ardestani et al., 2018).

2-روش تحقیق

تحقیق حاضر از حیث هدف، کاربردی و از حیث نحوه گردآوری داده‌ها از نوع تحقیقات تحلیلی (کمی و عددی) به شمار می‌آید، به عبارتی در پژوهش‌های تحلیلی، پژوهشگر به‌جای توصیف داده‌ها به آنالیز و تحلیل عددی متغییرها بر حسب ابزارهای تحلیلی همچون نرم‌افزارهای کمی می‌پردازد. این مهم در پژوهش حاضر به صورت ترکیبی در دو بخش 1- پیمایشی به کمک روش دلفی در نرم‌افزار SPSS و 2- شبیه‌سازی انرژی در نرم‌افزار Design Builder پس از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در نرم‌افزار Autodesk Revit 2021 انجام شده است. در این بخش باید اشاره کرد که نرم‌افزار Design Builder که یکی از محبوب‌ترین و قوی‌ترین نرم‌افزارهای شبیه-سازی سیستم‌های انرژی برای مهندسان و معماران است. این نرم‌افزار یکی از پیشرفته‌ترین، به‌روزترین و معتبرترین نرم‌افزارها در جنبه‌های متفاوتی همانند: مصالح، سیستم‌های گرمایش و سرمایش، معماری ساختمان، نورپردازی و تحلیل انرژی است. از این‌رو مجموعه عوامل بالا علت اصلی انتخاب نرم‌افزار Design Builder به منظور شبیه‌سازی نمونه مورد بررسی در پژوهش حاضر را تشکیل داده است. در ادامه نتایج حاصل از وزن‌دهی شاخص‌های کیفیت فضای معماری در مجتمع آموزشی به کمک تکنیک دلفی و با استفاده از ضریب همبستگی کندال در نرم‌افزار SPSS نشان داد، از نظر صاحب‌نظران، نور در فضای معماری در مجتمع‌های آموزشی، بیشترین تأثیر را بر میزان رضایت کاربران از فضا دارد. در بخش شبیه‌سازی، به منظور ارزیابی کیفی چیدمان داخلی دانشکده معماری‌وشهرسازی، عمران و مکانیک دانشگاه علم‌وصنعت ایران، علاوه بر آنالیز انرژی مصرفی سالیانه؛ آنالیز روشنایی در تمام طبقات دانشکده مذکور انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می-دهد، در حالی‌که سالیانه مقادیر قابل توجهی از انرژی صرف دانشکده فنی‌ومهندسی مورد بررسی می‌شود، به سبب چیدمان نامناسب فضایی؛ دانشجویان به عنوان کاربران اصلی، در فضاهای آموزشی نامناسب به لحاظ آسایش بصری به تحصیل می‌پردازند. در ارتباط با اعتبارسنجی و اثبات (روایی و پایایی) روش تحقیق در

بخش (پیمایشی) می‌توان چنین بیان کرد که تکنیک دلفی به عنوان یک روش یا ابزار حمایت کننده و توسعه دهنده مطالعات، مد نظر قرار گرفته و داده‌ها با سایر ابزار و فنون تکمیل شده‌اند. پانلیست‌ها از رشته‌های مختلف انتخاب شده که در هر رشته متخصصان همان رشته بوده‌اند. از سویی از سوألات محدود استفاده شده تا متخصصین با توجه به محدودیت زمانی از شرکت در مطالعه خودداری نکنند و برای متخصصین نیز زمان کافی جهت تفکر عمیق در نظر گرفته شده است. همچنین برای کاهش ریزش پانل، متخصصین علاقه‌مند انتخاب و از نظر تئوریکی توجیه شدید. در ادامه نامه‌های یادآوری ارسال و همچنین از محرک مالی و معنوی نیز استفاده شد. از سویی گروه تحقیق با هماهنگی برای پاسخ‌گویی و روشن سازی هرگونه سوأل و ارائه اطلاعات در دسترس بود و در نهایت بدون مداخله و دستکاری در فرآیند تحقیق، جمع‌آوری نتایج انجام شد.

در ارتباط با اثبات روایی تحقیق، باید خاطرنشان کرد که روایی به صورت روش صوری (ظاهری) که یکی از مشتقات روایی محتوایی است، انجام شده است. در اعتبارسنجی روایی پژوهش، به بررسی این مطلب پرداخته شدکه پرسش‌های مورد استفاده (ابزار اندازه-گیری) در ظاهر تا چه حد شبیه به موضوعی هستند که برای سنجش و اندازه‌گیری متغیرهای مد نظر به‌کار گرفته شده‌اند، که با توجه به بررسی‌های انجام شده و با کسب امتیاز لازم روایی روش تحقیق تأیید شد. در ارتباط با پایایی روش تحقیق نیز، باید بیان کرد که از نوع روش موازی بود که در این روش پرسشنامه، که حاوی دو دسته از سوألات کاملا یکسان (با تغییر ترتیب و تغییر برخی از کلمات) بود را بین تعدادی از متخصصین پخش و سپس به بررسی میزان یکسان بودن نتایج پرداخته شد. در پایان با توجه به یکسان بودن بیشتر پاسخ‌ها، اعتبار پایایی روش تحقیق نیز تأیید شد. در نهایت معیار رسیدن به اجماع، پیش از آغاز پروژه تعیین شد که اجماع براساس نظرات پانلیست‌ها باشد؛ چنان که پذیرفتن اکثریت آراء جایگزینی برای نمایش یافته‌های قابل اطمینان و بدون فشار برای اجماع بود، از سویی جهت تعیین اعتبار یافته‌ها با چند نفر محقق و اهل دانش که در مطالعات شرکت نداشته‌اند، مصاحبه شد و یک راند پیگیر یا ثانویه برای افزایش اعتبار یافته‌ها نیز انجام شد که تمامی موارد دال بر اعتبار سنجی و اثبات روایی و پایایی روش تحقیق (پیمایشی) بوده‌اند. در همین راستا به جهت بهبود کیفیت فضای معماری در مجتمع آموزشی مورد مطالعه، راهکارهایی برای چیدمان فضاهای داخلی براساس آنالیز روشنایی و بهره‌گیری از نور روز، ارائه شد. از این‌رو جهت معرفی متغیرهای تحقیق می‌توان بدین شکل اشاره کرد: متغییر مستقل (میزان نور طبیعی)، متغییر میانجی (کیفیت فضای معماری) و متغییر وابسته (افزایش سطح یادگیری) دانشجویان در محیط و فضاهای آموزشی است. شکل 6، مدل مفهومی پژوهش را نشان می‌دهد.

همچنین در مورد اعتبارسنجی و اثبات (روایی و پایایی) روش تحقیق در بخش (پیمایشی) می‌توان چنین بیان کرد روایی پژوهش بر اساس تطبیق با مطالعات پیشنی که در این حوزه انجام شده است. طبق تحقیقات انجام شده نرم‌افزار دیزاین بیلدر با موتور انرژی پلاس از قدرتمندترین نرم‌افزارهای انرژی به شمار می‌رود. در پژوهشی که توسط نتو و فیورلی در برزیل انجام شد، نشان داد که موتور energy plus با دقتی در حدود ٪13± مقادیر انرژی مصرفی ساختمان را شبیه‌سازی می‌کند که این مقدار در تحقیقات علمی قابل قبول است. از سویی پیرو مطالعات انجام شده توسط اسکین در ارتباط با مقایسه بارهای حرارتی و سرمایشی توسط موتور energy plus و میزان واقعی آن طی 24 ساعت در طول روز نشان از اختلاف بسیار ناچیزی بوده که در آن بارهای حرارتی تا ٪3 و سرمایشی نیز تا ٪5 متغیر است. در انتها طبق مطالعات انجام شده توسط زمردیان و تحصیل‌دوست در کاشان میزان مصرف انرژی در بازه یک ساله از طریق شبیه سازی محاسبه با میزان واقعی مصرف انرژی در طول یک سال بین 1 تا 3 درصد اندازه‌گیری شده است که این میزان در محدوده قابل قبولی است. تمامی موارد مطروحه نشان از روایی روش تحقیق در ارتباط با آنالیزهای (حرارتی، سرمایشی و میزان مصرف انرژی) است.

در مورد پایایی روش پیمایشی(تحلیل‌ها و نمودارها) باید خاطرنشان نمود که خروجی حاصل از تحلیل‌های کمی

با مقادیر مصرف واقعی انرژی -مستخرج از قبوض (برق و گاز)- محاسبه و تطبیق داده شد که نتیجه این امر ضریب دقت 0/8 را نشان داده که این مهم که نشان از نزدیک بودن (تحلیل‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر با شرایط واقعی) را به همراه دارد. به عبارتی صحه بر پایایی روش تحقیق در بخش شبیه‌سازی را می‌گذارد.

در نهایت جهت اعتبارسنجی خروجی‌های حاصل از نرم‌افزار دیزاین بیلدر، می‌توان چنین بیان کرد که این نرم‌افزار به واسطه برخورداری از آرشیو گسترده (مصالح، کتابخانه وسیع و تجهیزات)، دقت و تطابق زیادی با شرایط واقعی دارد.

3- نتایج و بحث

3-1-شبیه‌سازی مصرف انرژی

به منظور طراحی ساختمان‌های با بهره‌وری انرژی، معمولا از شبیه‌سازی انرژی ساختمان به صورت ساده، محاسبات استاتیک و شبیه‌سازی پیشرفته پویا؛ توأم با روش‌های بهینه‌سازی عملکرد ساختمان استفاده می‌شود (Schlueter & Geyer ،2018). استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی مصرف انرژی ساختمان به عنوان ابزار تجزیه‌وتحلیل عملکرد حرارتی و بصری ساختمان‌ها از ابتدای دهه هفتاد میلادی آغاز شد و به مرور بسیار گسترش یافت. با استفاده از شبیه‌سازی انرژی در فرآیند طراحی، امکان ارزیابی تمام گزینه‌ها و تصمیمات مختلف طراحی، امکان‌پذیر است. از این رو نرم افزارهای 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.

نرم‌افزار DesignBuilder از پیشرفته‌ترین و به روزترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی انرژی ساختمان است و مصارف مختلف انرژی ساختمان از قبیل مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، آب گرم مصرفی و غیره را به صورت دینامیکی مدل‌سازی می‌کند. این نرم‌افزار همچنین قابلیت محاسبه میزان روشنایی روز را داراست. موتور شبیه‌سازی این نرم افزار انرژی پلاس بوده که توسط بخش انرژی آمریکا در سال 2011 توسعه یافته و به عنوان یکی از معتبرترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی انرژی شناخته شده است. اعتبار نرم‌افزار انرژی پلاس که موتور شبیه‌سازی Design Builder است بر اساس استانداردهای BESTEST و ASHRAE تأیید شده است (Zomorodian et al., 2016).

3-2-کیفیت فضای معماری در مجتمع‌های آموزش

در هر محیطی، فضای کالبدی به مثابه سامانه فضایی عمل می‌کند و ویژگی‌های این سامانه فضایی بر تعاملات جمعی کاربران مؤثر است (Pasalar, 2003). محیط فیزیکی، شکل‌گیری روابط جمعی را تسهیل نموده، سطح مطلوبی از خلوت را در فضای فعالیت فراهم می‌آورد. این امر شامل ابعاد، هندسه فضا و روابط و ارتباطات فضایی در فضاهای فعالیت است. در نهایت محیط انسان ساخت، مولد و تضمین کننده احساسات، تجارت و ادراکات نمادین و زیباشناسانه است که به مثابه کیفیاتی در محیط، ادراکات کاربران را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Moleski and Lang, 1986) جدول 2، نتایج به دست آمده از وزن‌دهی شاخص‌های کیفیت فضای معماری در مجتمع آموزشی را با روش دلفی و با استفاده از ضریب

جدول2-نتایج به دست آمده از وزن‌دهی شاخص‌های کیفیت فضای معماری در مجتمع آموزشی با روش دلفی و با استفاده از ضریب همبستگی کندال در نرم‌افزار SPSS

Tab. 2-The results obtained by weighting the quality indicators of architectural space in the educational complex by Delphi method and using Kendall correlation coefficient in SPSS software

Ranks

	Mean Rank
شکل گیری و ساماندهی فضا	1.35
عملکرد فضا و نحوه استفاده کاربران از فضا	2.35
فرم، هندسه، نظم، هماهنگی، هارمونی، تنوع ابعاد و تناسبات و ابعاد زیباشناسانه	3.35
تأثیر میزان و شدت نور در فضای داخلی	2.95

Test Statistics

N	10
Kendall's W[a]	.688
Chi-Square	20.636
df	3
Asymp. Sig.	.000

a. Kendall's Coefficient of Concordance

همبستگی کندال[11] در نرم‌افزار SPSS نشان می‌دهد. لازم به ذکر است استفاده از ضریب همبستگی کندال در پژوهش حاضر، به دلیل ماهیت رتبه‌ای داده‌هاست.

بر اساس جداول فوق، برای پایان راندهای تکنیک دلفی از ضریب همبستگی کندال در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. برای تعیین روانی دیدگاه صاحبنظران، می‌توان به Kendall's W[a] اشاره کرد که در جدول Test Statistics یا آمار آزمون؛ نشان‌دهنده 0.69 هماهنگی بین دیدگاه‌هاست. مقدار معناداری 0.00 نیز محاسبه شده، که نشان می‌دهد ضریب هماهنگی مشاهده شده، معنادار است. طبق فرمول محاسبه ضریب همبستگی کندال که در آن، n نمونه مورد بررسی است، رابطه زیر برقرار است:

$$T = \frac{2S}{n(n-1)}$$

مقدار S از مجموع اختلاف u_i (تعداد داده‌هایی که بعد از داده‌ی مورد نظر قرار گرفته و بیشتر از آن است) و v_i(تعداد داده‌هایی که بعد از داده مورد نظر قرار گرفته و کمتر از آن است) به‌دست می‌آید.

$$S = \sum_{i=1}^{n} d_i = \sum_{i=1}^{n} (u_i - v_i)$$

طبق جدول 2، می‌توان نتیجه گرفت، پس از فرم، هندسه، نظم، هماهنگی، هارمونی، تنوع ابعاد و تناسبات و ابعاد زیباشناسانه؛ میزان و شدت نور در فضای داخلی، بیشترین تأثیر را بر کیفیت فضای معماری در مجتمع‌های آموزشی خواهد داشت. بنابراین در راستای دستیابی به هدف پژوهش حاضر، به منظور جانمایی صحیح کلاس‌های آموزشی؛ تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها براساس آنالیز انرژی مصرفی سالیانه و آنالیز روشنایی فضاهای داخلی، انجام خواهد شد. هدف از ارائه آنالیز انرژی مصرفی سالیانه دانشکده مورد بررسی، طرح این سوأل خواهد بود که چگونه طراحان و مجریان ساخت دانشکده‌ای با این میزان مصرف انرژی سالیانه که می‌تواند تأثیرات مخرب زیست‌محیطی به همراه داشته باشد، در جانمایی و چیدمان فضاهای داخلی بی‌توجه بوده و علاوه بر مصرف مقادیر زیادی از انرژی؛ کاربران اصلی دانشکده که دانشجویان خواهند بود، از آسایش بصری برخوردار نیستند.

3-3-تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

بالا بودن هزینه سرمایه‌گذاری و دوره بازگشت سرمایه طولانی در پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، ارزیابی دقیق راهکارهای کاهش مصرف انرژی را قبل از اجرا ضروری کرده است. به دلیل گستردگی پارامترهای دخیل در مصرف انرژی، تصمیم‌گیری در رابطه با راهبردها و اجزا طراحی عملا بدون استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی امکان پذیر نیست. در پژوهش حاضر پس از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در نرم‌افزار Autodesk Revit, 2021، از سربرگ آنالیز این نرم‌افزار، گزینه Design Builder به منظور استخراج شبیه‌سازی بار گرمایشی، سرمایشی، انرژی مصرفی سالیانه و آنالیز روشنایی با هدف طراحی و چیدمان فضاهای داخلی به منظور بهبود کیفیت فضای معماری مجتمع آموزشی مورد مطالعه، انجام شد. شکل 9، مدل‌سازی دانشکده فنی‌ومهندسی دانشگاه علم‌وصنعت ایران را در نرم‌افزار Autodesk Revit 2021 و شکل 10، خروجی مدل‌سازی انجام شده را در نرم‌افزار Design Builder نشان می‌دهد.

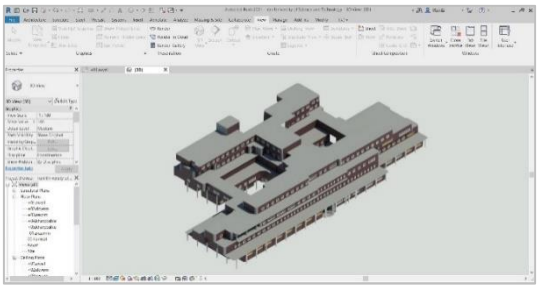
عوامل متعددی بر میزان مصرف انرژی سالیانه در یک ساختمان تأثیرگذار هستند. از جمله این موارد می‌توان به کاربری ساختمان و به تبع آن ساعت‌های حضور در آن، کاربران و توجه به متابولیک[19]آنان، مصالح[20]، بازشوها[21]و سیستم‌های روشنایی[22]، گرمایشی[23] و سرمایشی[24]، اشاره کرد. جدول 3، آنالیز بار گرمایشی، سرمایشی و شبیه‌سازی انرژی مصرفی سالیانه را در صورت استفاده از مصالح آجری سبک، گرمایش رادیاتور و سیستم خنک‌کننده متناسب با موقعیت مکانی در مقایسه با مصالح آجری سنگین وزن، عایق متوسط و براساس استانداردهای فضاهای آموزشی، در نرم‌افزار Design Builder در طبقه دوم ساختمان دانشکده معماری‌وشهرسازی، عمران و مکانیک دانشگاه علم و

صنعت ایران و جداول 3، 4، 5 و 6 نتایج عددی آنالیزهای کل طبقات را نشان می‌دهد.

طبق نتایج عددی حاصل شده در جداول 4 تا 6 و نمودارهای مقایسه‌ای 12 و 13؛ در صورت ساخت ساختمان دانشکده معماری‌وشهرسازی، عمران و مکانیک دانشگاه علم‌وصنعت ایران با آجر سبک و به کارگیری گرمایش رادیاتور و استفاده از سیستم خنک‌کننده متناسب با موقعیت مکانی؛ میزان کل مصرف انرژی سالیانه در ساختمان به رقم 2467494.21 کیلووات ساعت در طی یک‌سال می‌رسید و در مقایسه با ساختمان فعلی ساخته شده با مصالح آجری سنگین وزن با عایق متوسط و براساس استانداردهای فضاهای آموزشی که رقم 2495474 کیلووات ساعت در طی یکسال، حاصل شده است؛ 27979.79 کیلووات ساعت، مصرف انرژی کاهش می‌یافت. اهمیت این میزان از کاهش مصرف انرژی تا حدی است که اگر سالیانه در مصرف انرژی در هر مترمربع از فضاهای ساختمانی در کشور 200 کیلووات ساعت صرفه جویی حاصل شود، در طی 10 سال معادل دو برابر تولید کنونی نیروگاه پارس جنوبی خواهد بود. در حال حاضر که ساختمان دانشکده معماری‌وشهرسازی، عمران و مکانیک دانشگاه علم‌وصنعت ساخته شده و در حال استفاده است، به نظر می‌رسد جانمایی صحیح فضاهای آموزشی و بهره‌وری آن برای کاربران اصلی دانشکده که همان دانشجویان هستند می‌تواند گامی مؤثر در جهت استفاده صحیح از انرژی باشد.

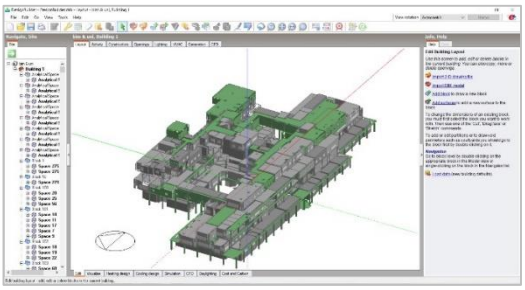
با توجه به موضوع بحث پژوهش حاضر و توجه به آنالیز نور در فضاهای داخلی؛ جدول 8، نتایج آنالیز روشنایی دانشکده معماری‌وشهرسازی، عمران و مکانیک دانشگاه علم‌وصنعت ایران را براساس استانداردهای جهانی LEEDو BREEAM در طبقه دوم در نرم‌افزار Design Builder نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شکل 13 و تطبیق آن با فضاهای داخلی و میزان نور طبیعی دریافتی در طی روز در این طبقه و سایر طبقات، گویای عدم جانمایی صحیح فضاهای آموزشی در دانشکده مورد بررسی است. برخی از فضاهای اداری، خدماتی و تأسیساتی در ضلع‌های شمالی و جنوبی که نور مناسبی دارند تعبیه شده‌اند و برخی از فضاهای آموزشی همچون کلاس‌های درس، آتلیه و اتاق دانشجویان دکتری از نور اضلاع شرق و غرب برخوردارند و طبق پژوهش انجام شده توسط احدی و خان‌محمدی که پیشتر در پیشینه تحقیق به آن اشاره شد، در کلاس‌های طبقه زیرزمین، در ابتدا و اواسط هر ماه، شدت نور روز بین 160 تا 310 لوکس برآورد شده که در بسیاری از روزها کمتر از حد استاندارد مناسب برای کلاس‌های آموزشی (300 لوکس) بوده است. در کارگاه‌های رو به شمال طبقه اول، شدت نور روز بین 100 تا 480 لوکس و در طبقه سوم، 100 تا 200 لوکس، برقرار است. در این فضاها در تمام روز از نور مصنوعی استفاده می‌شود و حالت‌های کسل بودن و خواب آلودگی در میان دانشجویان بیشتر دیده می‌شود. محاسبات و مدل‌سازی شدت نور روز در کارگاه‌های رو به جنوب در طبقات اول و سوم، نشان‌دهنده مناسب بودن ابعاد پنجره‌ها و مؤثر بودن نورگیرهای سقفی است هرچند در روزهای ابری، شدت روشنایی این فضاها به شدت کاهش می‌یابد و نیازمند استفاده از روشنایی مصنوعی هستند. اهمیت پژوهش انجام شده توسط احدی و خان‌محمدی را می‌توان با پژوهش پوردیهیمی و حاجی سید جوادی بهتر درک کرد. آنان در پژوهش خود اذعان می‌دارند که باید در نظر داشت امروزه در مقایسه با گذشته، کاربران بخش زیادی از عمر خود را در طول روز در فضاهای سرپوشیده می‌گذرانند بنابراین فراهم‌آوری امکان ورود نور مناسب روز به این فضاهای بسته، برای ارتقاء کیفیت زیستی و نیز افزایش سطح سلامتی، آسایش و کارآیی آنها، ایده‌ای کاملا مطلوب به شمار می‌آید.

جدول شماره 7، طراحی و چیدمان (فعلی و پیشنهادی) برای فضاهای داخلی معماری‌وشهرسازی، عمران و مکانیک دانشگاه علم‌وصنعت ایران را که براساس آنالیزهای روشنایی به دست آمده از شکل 15 است را نشان می‌دهد. طبق مطالعات صورت گرفته در طرح پیشنهادی به منظور بهبود کیفیت فضای معماری در دانشکده مورد بررسی؛ آتلیه‌ها، کلاس‌های درس، فضاهای ژوژمان و اتاق دانشجویان دکتری که نیاز بیشتری به نور طبیعی داشته در اضلاع شمالی و جنوبی جانمایی شده و پس از آن سایر فضاها بر حسب اولویت بندی چیده شدند.



شکل9- مدل‌سازی دانشکده فنی‌ومهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران در نرم‌افزار Revit 2021

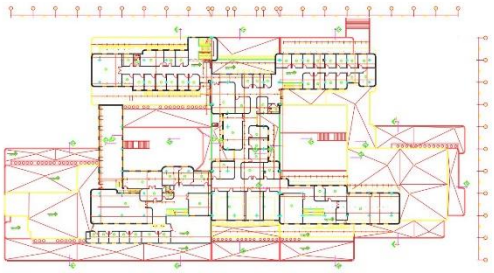
Fig.9- Modeling of the Faculty of Engineering of Iran University of Science and Technology in Autodesk Revit 2021 software



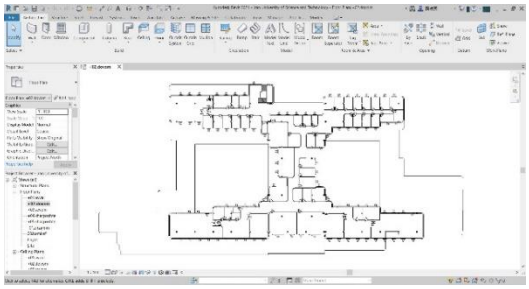
شکل10-خروجی مدل‌سازی انجام شده با نرم‌افزار Revit در نرم افزار Builder Design

Fig. 10-Modeling output performed by Revit software in DesignBuilder software

طبقه دوم (مساحت 2499.36 مترمربع)

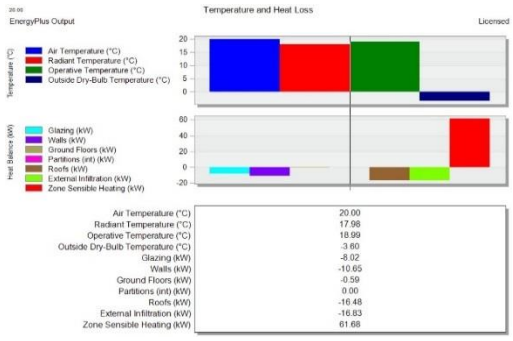


پلان طبقه دوم در نرم‌افزار AutoCAD

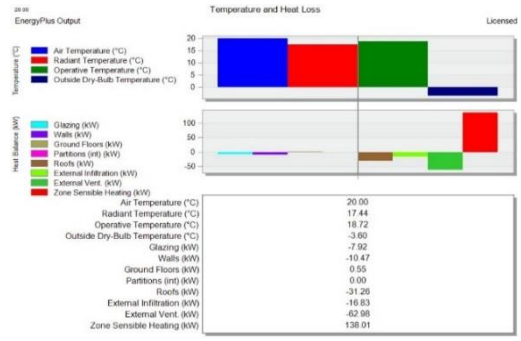


مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در نرم‌افزارAutodesk Revit

⮚ شبیه‌سازی بار گرمایشی طبقه دوم (Heating design در نرم‌افزار Design Builder ⮚

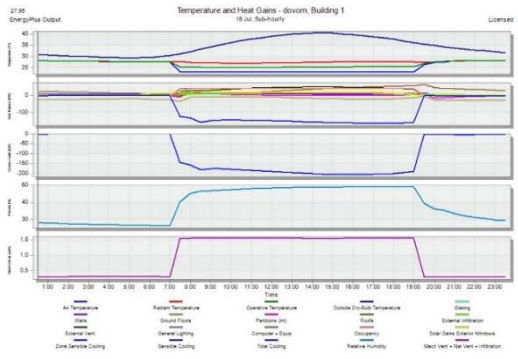


شبیه‌سازی بار گرمایشی با آجر سبک

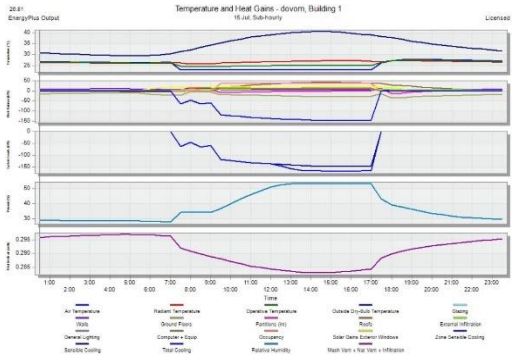


شبیه‌سازی بار گرمایشی با آجر سنگین وزن و عایق متوسط

⮚ شبیه‌سازی بار سرمایشی طبقه دوم (Cooling design) در نرم‌افزار DesignBuilder ⮚

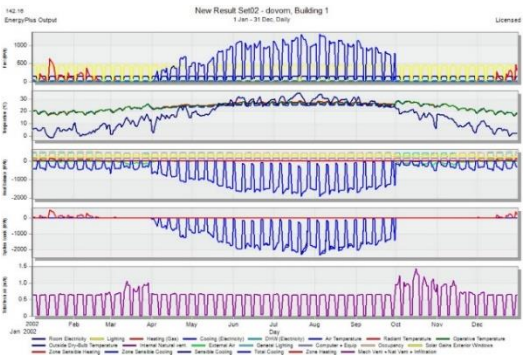


شبیه‌سازی بار سرمایشی با آجر سنگین وزن و عایق متوسط

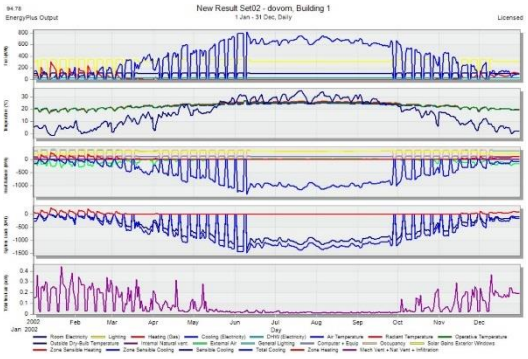


شبیه‌سازی بار سرمایشی با آجر سبک

➢ شبیه‌سازی انرژی مصرفی سالیانه در طبقه دوم (Simulation) در نرم‌افزار DesignBuilder ➢



شبیه‌سازی انرژی مصرفی سالیانه با آجر سنگین وزن و عایق‌متوسط



شبیه‌سازی انرژی مصرفی سالیانه با آجر سبک

شکل11- مقایسه آنالیز بار گرمایشی، بار سرمایشی و شبیه‌سازی انرژی مصرفی سالیانه با مصالح آجری سبک و مصالح آجری سنگین وزن با عایق متوسط در طبقه دوم در نرم‌افزار Design Builder

Fig. 11-Comparison of heating load analysis، cooling load and simulation of annual energy consumption with light brick materials and heavy brick materials with medium insulation in the second floor in DesignBuilder software

جدول 3- نتایج عددی شبیه‌سازی بار گرمایشی و بار سرمایشی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران با مصالح آجری سبک، گرمایش رادیاتور و سیستم خنک‌کننده متناسب با موقعیت مکانی در نرم افزار Design Builder

Tab. 3-Numerical results of simulation of heating load and cooling load of the Faculty of Engineering، Iran University of Science and Technology with light brick materials، radiator heating and cooling system appropriate to the location in DesignBuilder software

Floor	Total Building Area [m2]	Heating Design	Cooling Design (15 Jul، Sub- hourly)		
		Total Design Heating Capacity[kW]	Design Capacity [kW]	Total Cooling Load [kW]	Sensible [kW]
Basement	3606.44*	86.19*	218.36*	189.88*	161.55*
Ground	4938.62	118.40	326.67	284.06	244.97
First	4538.41	116.68	319.73	278.02	241.80
Second	2499.36	77.11	195.90	170.35	150.32
Third	1204.69**	123.90**	216.05**	187.87**	184.79**
Total Design	16787.52	522.28	1276.71	1110.18	983.43

* Unconditioned Building Area of Basement: 2357.35 m2

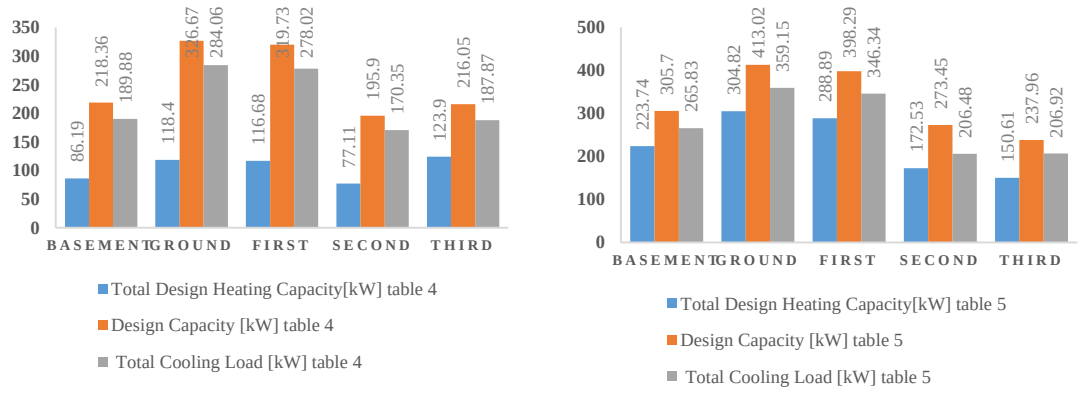
** Flat roof with 19mm asphalt on 13mm fibreboard on 25mm eps slab

جدول 4- نتایج عددی شبیه‌سازی بار گرمایشی و بار سرمایشی دانشکده فنی‌ومهندسی دانشگاه علم‌وصنعت ایران با مصالح آجری سنگین وزن، عایق متوسط و براساس استانداردهای فضاهای آموزشی در نرم‌افزار Design Builder

Tab. 4-Numerical results of simulation of heating load and cooling load of the Faculty of Engineering، Iran University of Science and Technology with heavy brick materials، medium insulation and based on the standards of educational spaces in DesignBuilder software

Floor	Total Building Area [m2]	Heating Design	Cooling Design (15 Jul، Sub- hourly)		
		Total Design Heating Capacity[kW]	Design Capacity [kW]	Total Cooling Load [kW]	Sensible [kW]
Basement	3606.44*	223.74*	305.70*	265.83*	265.83*
Ground	4938.62	304.82	413.02	359.15	359.15
First	4538.41	288.89	398.29	346.34	346.34
Second	2499.36	172.53	273.45	206.48	206.48
Third	1204.69**	150.61**	237.96**	206.92**	206.92**
Total Design	16787.52	1140.59	1628.42	1384.72	1384.72

* Unconditioned Building Area of Basement: 2357.35 m2
** Flat roof - 19mm asphalt on 75mm screed



شکل 12- مقایسه نتایج عددی جدول 3و 4

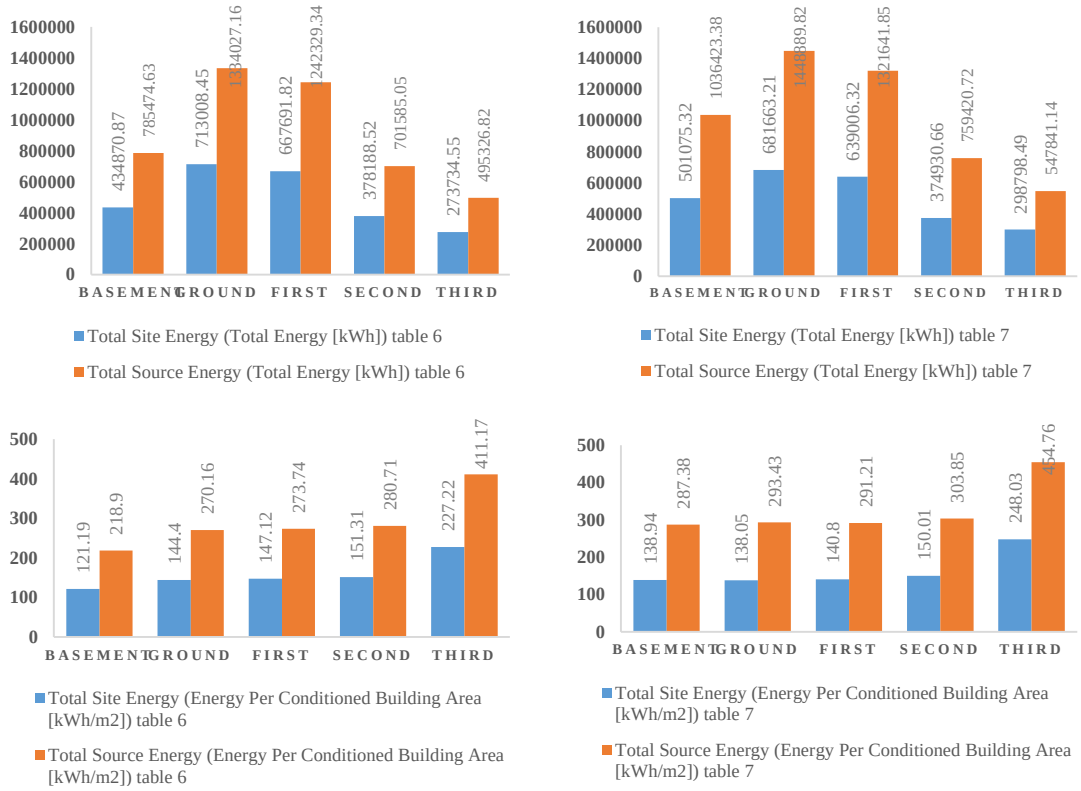
Fig.12- Comparison of numerical results of Tables 3 and 4

جدول 5- نتایج عددی شبیه‌سازی انرژی مصرفی سالیانه در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران با مصالح آجری سبک، گرمایش رادیاتور و سیستم خنک‌کننده متناسب با موقعیت مکانی در نرم افزار Design Builder

Tab. 5-Numerical results of annual energy consumption simulation in the Faculty of Engineering of Iran radiator heating and cooling system ،University of Science and Technology with light brick materials appropriate to the location in DesignBuilder software

Floor	Total Building Area [m2]	Site and Source Energy	Total Energy [kWh]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Basement	3606.44*	Total Site Energy	434870.87*	121.19*
		Total Source Energy	785474.63*	218.90*
Ground	4938.62	Total Site Energy	713008.45	144.40
		Total Source Energy	1334027.16	270.16
First	4538.41	Total Site Energy	667691.82	147.12
		Total Source Energy	1242329.34	273.74
Second	2499.36	Total Site Energy	378188.52	151.31
		Total Source Energy	701585.05	280.71
Third	1204.69**	Total Site Energy	273734.55**	227.22**
		Total Source Energy	495326.82**	411.17**

* Unconditioned Building Area of Basement: 2357.35 m2
** Flat roof with 19mm asphalt on 13mm fibreboard on 25mm eps slab



شکل 12- مقایسه نتایج عددی جدول 5 و 6

Fig.12- Comparison of numerical results of Tables 5 and 6

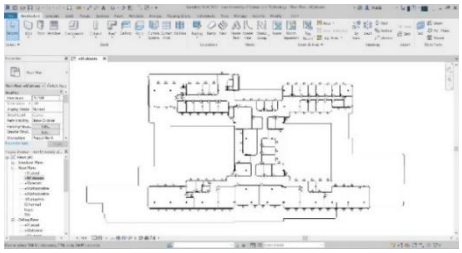
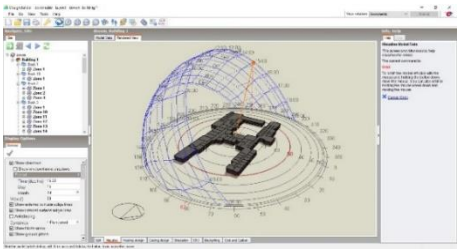
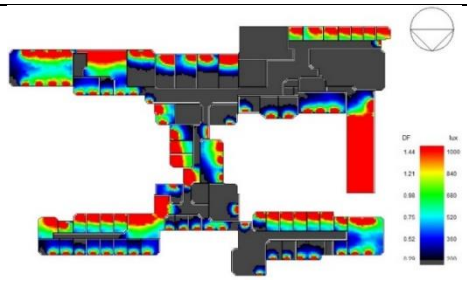
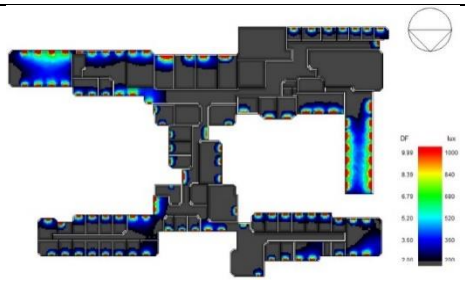
جدول 6- نتایج عددی شبیه‌سازی انرژی مصرفی سالیانه در دانشکده فنی‌ومهندسی دانشگاه علم‌وصنعت ایران با مصالح آجری سنگین وزن، عایق متوسط و براساس استانداردهای فضاهای آموزشی در نرم‌افزار Design Builder

Tab. 6- Numerical results of annual energy consumption simulation in the Faculty of Engineering and medium insulation and ،Technology of Iran University of Science and Technology with heavy brick materials based on the standards of educational spaces in DesignBuilder software

Floor	Total Building Area [m2]	Site and Source Energy	Total Energy [kWh]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Basement	3606.44*	Total Site Energy	501075.32*	138.94*
		Total Source Energy	1036423.38*	287.38*
Ground	4938.62	Total Site Energy	681663.21	138.05
		Total Source Energy	1448889.82	293.43
First	4538.41	Total Site Energy	639006.32	140.80
		Total Source Energy	1321641.85	291.21
Second	2499.36	Total Site Energy	374930.66	150.01
		Total Source Energy	759420.72	303.85
Third	1204.69**	Total Site Energy	298798.49**	248.03**
		Total Source Energy	547841.14**	454.76**

* Unconditioned Building Area of Basement: 2357.35 m2

** Flat roof - 19mm asphalt on 75mm screed

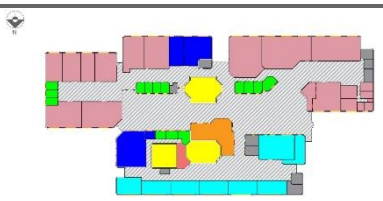
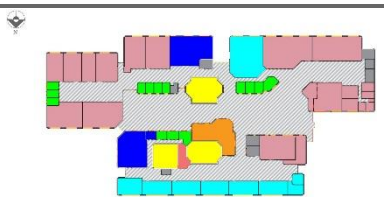
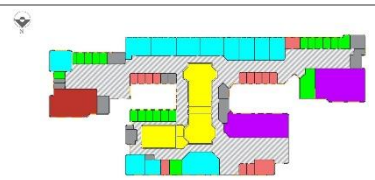
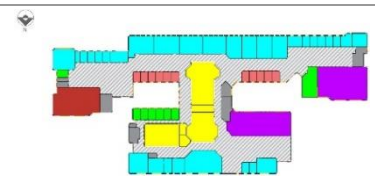
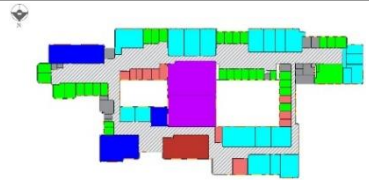
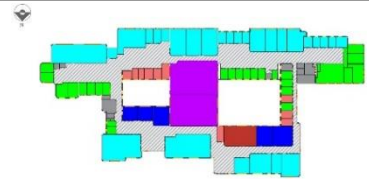
طبقه دوم (مساحت 2499.36مترمربع)	
	
مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در نرم‌افزارRevit	تجسم سه بعدی روشنایی پلان طبقه دوم (Jul،15)
	
آنالیز روشنایی پلان طبقه دوم براساس استاندارد LEED	آنالیز روشنایی پلان طبقه دوم براساس استاندارد BREEAM

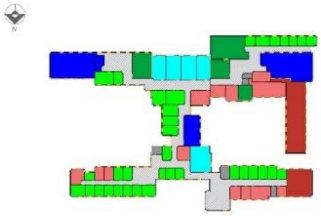
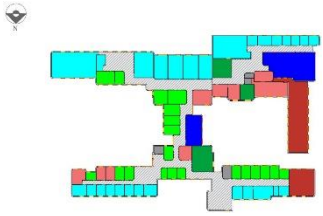
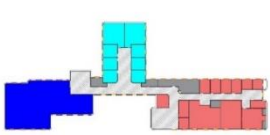
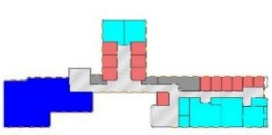
شکل 13-نتایج آنالیز روشنایی دانشکده فنی‌ومهندسی دانشگاه علم‌وصنعت ایران براساس استانداردهای جهانیLEED و BREEAMدر طبقه دوم در نرم‌افزارDesign Builder

Fig.13- Results of lighting analysis of the Faculty of Engineering of Iran University of Science and Technology based on international standards LEED and BREEAM in the second floor in DesignBuilder software

جدول 7- طراحی و چیدمان فعلی و پیشنهادی فضاهای داخلی دانشکده فنی‌ومهندسی دانشگاه علم‌وصنعت ایران براساس آنالیز روشنایی به منظور بهبود کیفیت فضای معماری در مجتمع آموزشی

Tab. 7- Current and proposed design and layout of interior spaces of the Faculty of Engineering of Iran University of Science and Technology based on lighting analysis in order to improve the quality of architectural space in the educational complex

عنوان پلان	جانمایی فعلی پلان	جانمایی پیشنهادی براساس آنالیز روشنایی پلان
طبقه زیرزمین		
طبقه همکف		
طبقه اول		

طبقه دوم		
طبقه سوم		

راهنمای جدول 9			
سایت کامپیوتر		آمفی تئاتر	
آزمایشگاه‌ها		آتلیه، کلاس، ژوژمان و اتاق دانشجویان دکتری	
نمایشگاه معماری		خدمات آموزشی، شورای صنفی، دفاتر فرهنگی، دفتر مجله، دفتر امور پژوهش، دبیرخانه کنفرانس هیدرولیک، دبیرخانه دائمی جشنواره‌های دانشجویی عمران، ریاست، معاونت، دفتر تحصیلات تکمیلی، مدیرگروه برنامه‌ریزی، مدیرگروه ایمنی صنعتی، معاونت آموزش	
اتاق استادان		سالن کنفرانس	
کتابخانه و آرشیو		آبدارخانه، موتورخانه، تأسیسات، انبار، نمازخانه و سرویس بهداشتی	
سالن امتحانات		راهرو	

4-نتیجه‌گیری

ارزیابی شاخص های محیطی (نور، دما، رطوبت، تناسبات فضایی و غیره) در طراحی فضاهای داخلی می‌توانند بر عملکرد و بازدهی کاربران تأثیر گذار باشند. از این‌روی در طراحی محیط‌های آموزشی بهره‌گیری صحیح و منطقی از عوامل محیطی علاوه بر بالا بردن کیفیت فضا بر راندمان و کارآیی استفاده کنندگان نیز تأثیر گذار است که یکی از این شاخص‌های مؤثر محیطی نور طبیعی است. طبق مطالعات صورت گرفته کیفیت فضا در محیط‌های آموزشی می‌تواند تا 25 درصد بر میزان یادگیری دانشجویان نیز تأثیر گذار باشد. امروزه با استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان BIM (شبیه‌سازی انرژی و آنالیز میزان روشنایی فضای داخلی) می‌توان امکان پیش بینی کیفیت روشنایی در فضاهای معماری و میزان رضایتمندی کابران از شرایط نوری فضا را فراهم آورد. نرم‌افزار Desing Builder با موتور انرژی پلاس که بر اساس استانداردهای Bestest و Ashrae تأیید شده، علاوه بر میزان مصرف انرژی، تحلیل‌های مربوط به روشنایی طبیعی و نحوه توزیع نور روز در فضا را بررسی می‌کند. همچنین این نرم افزار قدرتمند در طراحی و چیدمان مبلمان فضاهای داخلی نیز تأثیر گذار است. از طرفی فراهم نمودن شرایط نوری به گونه ای که آسایش بصری کاربران تأمین شود و پیام‌های دیداری به وضوح از محیط دریافت شوند، متأثر از عوامل مختلفی هستند که میزان و نحوه توزیع نور، بازتاب‌های آزاردهنده، درجه خیرگی، دما و رنگ نور از جمله این عوامل است. نتایج حاصل از پژوهش حاکی از آن است، که در طراحی و چیدمان فضاهای داخلی دانشکده معماری‌وشهرسازی، عمران و مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران، نور طبیعی مورد توجه واقع نشده و طراحان صرفا به تفکیک فضاها بر اساس رشته‌ها بسنده کرده‌اند، در نتیجه فضاهایی همچون کلاس درس در برخی طبقات در ضلع غربی و شرقی جانمایی شده و فضاهایی چون آزمایشگاه، سالن کنفرانس، سالن امتحانات، دفتر فرهنگی، شورای صنفی، دبیرخانه کنفرانس هیدرولیک، دبیرخانه دائمی جشنواره‌های دانشجویی عمران، تأسیسات، سرویس‌های بهداشتی و غیره که با وجود استفاده موقت ارجح‌تر از کلاس‌های درس جانمایی شده‌اند و بهره بیشتری از نور طبیعی می‌برند. همین امر (عدم توجه به جانمایی صحیح فضاها بر حسب کاربری)

و از سویی کم توجهی به تناسبات و اندازه نورگیرها در دانشکده مذکور منجر به مصرف بیش از حد انرژی (2495474 کیلووات ساعت)، تولید کربن و به تبع آن آسیب‌های مخرب بر محیط زیست می‌شود. در پایان پیشنهاد می‌شود که بهترین و کارآمدترین راهکار به منظور حل آسیب‌های شناسایی شده در دانشکده مذکور، استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) جهت تغییر در جانمایی فعلی فضاهای داخلی به منظور افزایش کیفیت فضایی و کاهش مصرف انرژی است. که در جدول شماره7 به صورت کامل به این مهم پرداخته شده است. در مجموع باید خاطرنشان کرد که با عدم به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در مجتمع‌های آموزشی، اجرای ساختمان‌هایی همچون دانشکده فنی‌ومهندسی دانشگاه علم‌وصنعت دیده می‌شود که علاوه بر مخاطرات زیست‌محیطی، کیفیت فضاهای آموزشی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و در پی آن میزان سطح یادگیری دانشجویان را با مشکل مواجه خواهد نمود.

تقدیر و تشکر

از تمامی مسئولین دانشگاه علم‌وصنعت ایران، از جمله استاد میزبان جناب آقای دکتر مهدی خاک‌زند که همکاری‌های لازم جهت انجام مطالعات میدانی برای جمع‌آوری و آنالیز یافته‌های پژوهش حاضر (برگرفته از رساله پسادکتری نویسنده مسئول) در دانشکده معماری‌وشهرسازی دانشگاه علم‌وصنعت ایران سپاسگزاری می‌شود.

پی‌نوشت

[1] Building Information Modelling
[2] Documentation
[3] Analysis
[4] Schematic
[5] Design development
[6] Leadership in Energy and Environmental Design
[7] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
[8] BRE Environmental Assessment Method
[9] Virtual Reality
[10] Augmented Reality
[11] Kendall Correlation Coefficients
[12] Design
[13] Time
[14] Cost
[15] Sustainability
[16] Facilities management
[17] Health and safety
[18] Standard measurements and construction
[19] Metabolic
[20] Construction
[21] Opening
[22] Lighting
[23] Heating
[24] Cooling

منابع

Ahadi, A., Khanmohamadi, M. (2015). Better Performance of Students by Proper Utilization of Daylight in Classrooms Case Study: The Architecture School, Iran University of Science and Technology. Journal of Architecture and Urban Planning, 8(15), 25-42. doi: 10.30480/aup.2015.9.

Alwan Z, Jones P, Holgate P (2017). Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework of strategic sustainable development, using building information modelling, Journal of Cleaner Production, Vol. 140, No. 1, pp. 349-358.

Arno Schlueter, Philipp Geyer (2018), Linking BIM and Design of Experiments to balance architectural and technical design factors for energy performance, Automation in Construction 86 (2018) 33–43.

Bastanfar, GH, (2002) Optimal consumption of electrical energy, School Journal, No.31.

Becerik-Gerber, B. & Rice, S. (2012). The Value of Building Information. aecbytes.

BIMtalk, 2013. software applications - BIMTalk. NBS 'National BIM Library. Available at: http://BIMtalk.co.uk/software_applications [Accessed November 26, 2015].

De Masi A (2015). From knowledge to complex representation interpretation of material systems, survey guidelines and reading criteria, multi-representations of 3D city models for Cultural Heritage. 2015 Digital Heritage.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K. (2011) BIMHandbook: A Guide to Building Information Modelingfor Owners, Managers, Designers, Engineers and Con-tractors, 2nd Edition, Wiley, New Jersey, p. 648.

Kushwaha V (2015). Contribution of building information modelling (BIM) to solve problems in architecture, engineering and construction (AEC) industry and addressing barriers to implementation of BIM, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol. 3, No. 1, pp. 100-105.

Latifi Oskouie, M., Mahmoodi, S., Nazemi, E. (2020). Recognition and Feasibility Study of Implementing Building Information Modeling (BIM) in Architectural Education in Iran. Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU), 11(1), 145-166.

Logothetis S, Stylianidis E (2016). BIM Open Source Software (OSS) for the documentation of cultural heritage, Virtual Archaeol, Vol. 7, pp. 28–35.

Mohammadi, E, Rezayi mehrdar, L, Silvaye, S, (2018), Investigation and analysis of the effect of light in the architecture of educational spaces, Journal of Architecture memary shenasi, vol 1, No.1.

Moleski, W., & Lang, J. (1986)Organizational Goals and Human Needs in Office Planning, in Jean D. Wineman (Ed), Behavioral Issues in Office Design, New York: Van Nostrand Reinhold Company.

N. Gu, V. Singh, K. London, (2014) BIMecosystem: the coevolution of products, processes, and people, in: K. Kensek, D. Noble (Eds.), Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice, John Wiley & Sons, Hoboken, 2014, pp.197–210.

Pasalar, C. (2003). The Effects of Spatial Layout on Student Intraction in Middle Scholl: Multiple Case Analysis.Unpublished Thesis for Degree of Doctor of Philosophy Faculty of North Carolina State University.

Petteri Uusitalo, Olli Seppänen, Eelon Lappalainen, Antti Peltokorpi, Hylton Olivieri (2019). Applying Level of Detail in a BIM-Based Project: An Overall Process for Lean Design Management. Buildings 2019, 9, 109.

Reinhart, Christoph F., and Daniel A. Weissman(2012) .The Daylit Area - Correlating Architectural Student Assessments with Current and Emerging Daylight Availability Metrics. Building and Environment 50: 155–164.

Shimonti, P., (2019) What's limiting BIM adoption in construction? article on Geospatial

Fadayi ardestani, M, nasery mobaraky, H, Ayatollahi, M, Zomorodiyan, Z, (2018), The Assessment of Daylight and Glare in Classrooms Using Dynamic Indicators; the Case of SBU Faculty of Architecture and Urban Planning [Volume 28, Issue 4, 2019, Pages 25-40].

Garretón, Julieta Yamin, Roberto Rodriguez, and Andrea Pattin (2016)Effects of Perceived Indoor Temperature on Daylight Glare Perception. Building Research and Information 44 (8): 907–919.

Ghanbaran A, Hosseinpour M A. (2016)Assessment of design parameter influence on energy efficiency in educational buildings in Tehran's climate. Naqshejahan. 2016; 6 (3) :51-62.

Haji seyed javadi, F, Pour behbami,(2008) SHDaylight and the Human Being: Perception and Biopsychology of Daylight [Volume 17, 2-1, 2008].

International BIM implementation guide (1st edition), RICS guidance note. Available at: https://www.rics.org/uk/upholding-professional-standards/sector-standards/ construction/international-bim-implementation-guide/ (accessed 7 July 2020).

Juan Manuel Davila Delgad, Lukumon Oyedele, Peter Demian, Thomas Beach (2020). A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. Advanced Engineering Informatics 45 (2020) 101122.

Jun-Gang Zhou, Ling-Ling Li, Ming-Lang Tseng, Guo-Qian Lin (2020). Green system reliability assessment method based on life cycle: Resources and economical view, Journal of Cleaner Production 251 (2020) 119786.

Junying Lou, Jiang Xu, Kun Wang. (2016)Study on Construction Quality Control of Urban Complex Project Based on BIM, 13th Global Congress on Manufacturing and Management, GCMM 2016.

Kasmayi, M, (2003), Climate and architecture, Khak Tehran.

Khaled El Ammaria, Amin Hammad, (2019), Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality, Automation in Construction 107 (2019) 102940.

applications in construction safety. Automation in Construction 86 (2018) 150–162.

Zhiliang Ma, Shiyao Cai, Na Mao, Qiliang Yang, Junguo Feng, Pengyi Wang (2018). Construction quality management based on a collaborative system using BIM and indoor positioning, Automation in Construction 92 (2018),35-45.

Z.S. Zomorodian, S.S. Korsavi, M. Tahsildoost (2016). The effect of window configuration on daylight performance in classrooms: A field and simulation study, Int. J. Architect. Eng.Urban Plan, 26(1): 15-24, June 2016.

Zomorodian Z S, Tahsildoost M. (2016). Validation of Energy Simulation Programs: An Empirical and Comparative Approach. IJE. 2016; 18 (4)

World, 2018. Available at: www.geospatialworld.net/blogs/whats-limiting-bim-adoption-inconstruction/ (accessed 12 December 2019).

Thomas Dowd, Dianne Marsh. (2020). The future of BIM: Digital transformation in the UK construction and infrastructure sector. July 2020.

Timur Dogan, Prof. Christoph Reinhart, Panagiotis Michalatos (2012) Urban Daylight Simulation Calculating the Daylit Area of Urban Designs. Fifth National Conference of IBPSA-USA, Madison, Wisconsin, August 1-3, 2012.

Vito Getuli, Pietro Capone, Alessandro Bruttini, Shabtai Isaac (2020) BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. Automation in Construction 114 (2020) 103160.

Xiao Li, Wen Yi, Hung-Lin Chi, Xiangyu Wang, Albert P.C. Chan (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR)