نقش فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در دستیابی به اهداف توسعه‌پایدار در زمینه طراحی معماری

محمدحسین عزیزی بابانی*
دانشگاه تربیت‌مدرس، تهران، ایران
m.azizibabani@modares.ac.ir

افسانه زرکش
دانشگاه تربیت‌مدرس، تهران، ایران
zarkesh@modares.ac.ir

محمدرضا بمانیان
دانشگاه تربیت‌مدرس، تهران، ایران
bemanian@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۴
تاریخ اصلاحات: ۱۳۹۹/۰۴/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۷

چکیده

معضلات زیست‌محیطی در کنار نابرابری‌های اقتصادی و اجتماعی ناشی از گونه‌های نامتوازن توسعه که عمدتاً ره‌آورد انقلاب صنعتی هستند منجر به تشدید ظهور جنبش‌ها و نظریاتی در نیمه دوم قرن بیستم با هدف دستیابی به توسعه‌ای متوازن در زمینه‌های مختلف گردید که در این خصوص می‌توان به نظریه توسعه‌پایدار اشاره نمود. دستیابی به اهداف توسعه‌پایدار در حیطه معماری مستلزم توجه به تمامی ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است. بررسی‌های انجام‌شده گواه آن است که معماری پایدار و بویژه جنبش‌های متأخرتر مرتبط با آن که در حوزه‌های طراحی و ساخت از فناوری‌های نوین بهره می‌برند متناسب با چنین اهدافی هستند. در این میان فناوری‌های طراحی رایانه‌ای به‌عنوان ابزاری تأثیرگذار در جهت تأمین اهداف پایداری به ایفای نقش پرداخته‌اند. در این پژوهش به بررسی میزان تأثیرگذاری کاربست فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در مراحل مختلف فرایند طراحی در جهت دستیابی به اهداف پایداری پرداخته شده است. روش پژوهش توصیفی تحلیلی است. در این راستا شاخص‌های مربوط به کاربست BIM در تأمین پایداری از منابع کتابخانه‌ای و مصاحبه با خبرگان و مطالعه نمونه‌های موردی که شامل ساختمان‌های پایداری است که فرایند طراحی آن‌ها بر پایه BIM بوده، استخراج گشته‌اند. و با انجام تحلیل سلسله مراتبی بر مبنای معیارهای بدست‌آمده از مبانی نظری این نتیجه بدست آمده که عمده تأثیرگذاری BIM در راستای دستیابی به پایداری بواسطه امکان استفاده از تحلیل‌های دینامیک در مراحل اولیه طراحی به‌ویژه تهیه طرح مفهومی و همچنین بسترسازی جهت برقراری تعاملات مؤثر میان مهندسین و سایر ذی‌نفعان بوده است.

واژگان کلیدی

توسعه‌پایدار؛ فرایند طراحی، فناوری‌های طراحی رایانه‌ای، طراحی به کمک رایانه (CAD)، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM).

۱- مقدمه

امروزه جوامع بشری به واسطه رشد پر شتاب صنعتی، افزایش جمعیت شهرنشین و تغییرات ایجادشده در سبک زندگی با چالش‌های متعددی در ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مواجه شده‌اند. به دنبال این تغییرات و مطرح‌شدن بحث توسعه‌پایدار و روشن‌شدن ابعاد مختلف آن تلاش‌هایی در زمینه‌های مختلف به‌منظور حرکت در جهت توسعه‌ای که علاوه بر تأمین نیازهای کنونی جوابگوی نیاز نسل‌های آتی نیز باشد، انجام شده است. اغلب صاحب‌نظران معتقدند که تنها راه رهایی بشر از مشکلات به‌وجود آمده به واسطه رشد سریع صنعتی جوامع بشری و پیشرفت فناوری، حرکت در جهت تحقق اهداف توسعه‌پایدار می‌باشد [۱۱]. پرداختن به بحث توسعه‌پایدار در حیطه معماری منجر به تدوین معیارهای طراحی پایدار شده است. اصول معماری پایدار نیز شامل بازه وسیعی از بکارگیری ساده‌ترین روش‌ها تا پیچیده‌ترین فناوری‌های روز است [۱] و با موضوع کاهش مصرف انرژی و بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر در ارتباط تنگاتنگی است. استدلال پاره‌ای از صاحب‌نظران در این مورد آن است که بخش وسیعی از طراحی پایدار، آن چیزی است که از طریق ذخیره انرژی انجام می‌دهیم [۱۲]. دسته‌ای دیگر سه اصل اساسی را برای دستیابی به پایداری در معماری عنوان می‌کنند که عبارتند از: صرفه‌جویی در مصرف منابع، طراحی براساس چرخه حیات، و طراحی انسانی. به بیان دیگر، چالش معماری پایدار در ارتباط با یافتن یک راه‌حل جامع برای ملاحظات محیطی و در عین حال برای بدست‌آوردن سطح مناسب کیفیت زندگی و ارزش‌های فرهنگی، اقتصادی، اجتماعی و آسایشی می‌باشد [۱۳].

ساختمان‌ها به صورت میانگین در سطح جهان تولید۴۰ درصد از زباله‌های جامد، ۵۰ درصد از دی‌اکسیدکربن منتشرشده در جو، ۴۰ درصد از کل انرژی مصرفی،۱۶ درصد از مصرف آب و ۵۰ درصد از مصرف مواد

* نویسنده مسئول

خام را به خود اختصاص می‌دهند [۱۴]. طراحی معماری می‌تواند نقش بسزایی را در افزایش بهره‌وری انرژی و روی‌آوردن به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، که از لازمه‌های حرکت در جهت توسعه‌پایدار هستند، ایفا نماید. در این خصوص سه دیدگاه کلی وجود دارد: دیدگاه نخست بر این عقیده استوار است که ساخت یک بنای پایدار از طریق بکارگیری سیستم‌های فعال و فناوری‌های هوشمند ساختمانی امکان‌پذیر است. دیدگاه دوم مبتنی بر استفاده از روش‌های طراحی منفعل به منظور بهره‌گیری بیشتر از انرژی‌های طبیعی است و دیدگاه سوم بر استفاده همزمان از این دو روش جهت دستیابی به پایداری در ساختمان تأکید دارد [۲]. در چارچوب هر سه دیدگاه نقش طراحی معماری در راستای دستیابی به پایداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پیشرفت فناوری و لزوم تأمین سایر اهداف مربوط به ابعاد مختلف توسعه‌پایدار معماران را بیشتر به سمت کاربرد گرایش سوم جهت تأمین پایداری در طراحی معماری سوق داده، در این خصوص نقش خلاقیت معمار در طراحی به منظور ابداع روش‌های بکارگیری انرژی‌های طبیعی در معماری بسیار حائز اهمیت است و ابزارهای طراحی در جهت دستیابی به حالت بهینه در این زمینه نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کنند.

فناوری در ادوار مختلف تاریخی همواره به‌عنوان ابزار و یا شیوه تفکر و نگرش نسبت به موضوع جهت دستیابی به اهداف مختلف در جوامع انسانی مطرح و به تناسب پیشرفت‌های بشری در حال ارتقاء بوده است. در گذشته عمده‌ترین تأثیرات فناوری در معماری معطوف به حوزه ساخت بوده و فرایند طراحی در مقایسه با این حوزه کمتر دچار تحول شده است. اما در دوران معاصر ظهور فناوری‌های رایانه‌ای در زمینه طراحی معماری منجر به آن شده که دو دسته‌بندی کلی برای ابزارهای طراحی معماری در نظر گرفته شود. که در این خصوص می‌توان ابزارهای دستی و ابزارهای رایانه‌ای را نام برد.

تاریخ بکارگیری نرم‌افزارهای رایانه‌ای در طراحی معماری به اواسط قرن بیستم میلادی باز می‌گردد. در ابتدا کاربرد اصلی این نرم‌افزارها تسهیل امور مربوط به تهیه مدارک ساخت و ارائه امکاناتی درخصوص تجزیه و تحلیل و ارزیابی طرح معماری از جانب طراحان بوده است. ارزیابی‌های اولیه عمدتاً در قالب پایش بصری مدل‌های سه بعدی ساخته‌شده در نرم‌افزارهایی تحت عنوان CAD به‌عنوان ابزاری جهت کمک به طراح در فرایند طراحی مطرح بودند و کمتر جنبه‌های محاسباتی را شامل می‌شدند. از این‌رو بر چگونگی فرایند طراحی تأثیر چندانی نداشته و فعالیت مدل‌سازی در این نرم‌افزارها معادل با بخشی از فرایند ترکیب در طراحی معماری در نظر گرفته می‌شد. اما امروزه نرم‌افزارهای کاربردی مربوط به معماری، امکان تهیه ایده‌های اولیه، طرح‌های آزمایشی، اسناد دو بعدی و سه بعدی مربوط به مدارک و نقشه‌های ساختمانی به همراه لایه‌های مصالح، نور و غیره را براساس ذهنیت‌های معمار در فضای مجازی فراهم می‌آورند. در واقع مبنای کار واردساختن اطلاعات به آنها و دریافت تصاویر و نقشه‌های دو بعدی و احجام سه بعدی است که از طریق داده‌های دیجیتال انجام می‌شود [۳]. در این خصوص ظهور فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) تحولی عظیم را در حوزه فرایند طراحی، تهیه مدارک ساخت و مدیریت پروژه‌های ساختمانی ایجاد نمود. به گونه‌ای که امروزه نرم‌افزارهایی که در بستر BIM تعریف شده‌اند از طریق قابلیت‌هایی که در مراحل مختلف طراحی در اختیار ذی‌نفعان پروژه قرار می‌دهند، بستر لازم را جهت دستیابی به اهداف پایداری فراهم می‌آورند.

۲- بیان مسأله و تبیین اهداف

دستیابی به پایداری در معماری شرط لازم حرکت به سمت توسعه‌پایدار در صنعت ساختمان است. تأمین چنین هدفی علاوه بر آن‌که مستلزم اقداماتی در حوزه ساخت است، حوزه طراحی را نیز شامل می‌شود. در این راستا قابلیت‌های مربوط به فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌تواند بستر لازم را جهت دستیابی به هدف مذکور فراهم نماید. در ایران با وجود آن‌که مدت زمان قابل توجهی از معرفی و بکارگیری نرم‌افزارهای BIM در کشور می‌گذرد، کاربرد این بستر در شرکت‌های مهندسین مشاور و دفاتر طراحی عمدتاً متوجه فرایند تهیه مدارک ساخت و نقشه‌های اجرایی است که البته مزایایی از قبیل کاهش زمان و افزایش دقت تهیه مدارک ساخت را به‌دنبال دارد. اما سایر قابلیت‌های BIM که در روند طراحی نیز تأثیرگذارند مغفول مانده و این امر مانع از بهره‌برداری از ویژگی‌های این بستر در تأمین اهداف پایداری شده است. در این پژوهش پس از شناسایی علل عدم استفاده از تمامی قابلیت‌های این بستر به‌دنبال دستیابی به اهداف ذیل هستیم.

- تعیین اهمیت و میزان تأثیر BIM در دستیابی به اهداف پایداری در فعالیت‌های مختلف مرتبط با حوزه طراحی.
- مشخص‌کردن سلسله‌مراتب مربوط به انجام اقدامات در بستر BIM جهت دستیابی به پایداری در معماری.

۳- پرسش‌های پژوهش

فرایند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به چه صورت می‌تواند بستر لازم را جهت تأمین اهداف پایداری در معماری ایجاد نماید؟

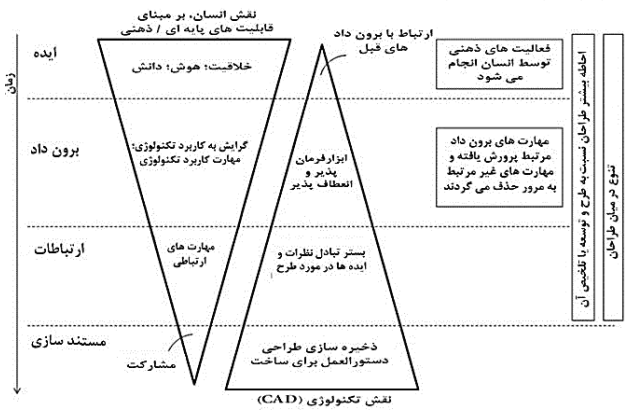
کاربرد BIM در کدام دسته از فعالیت‌های مرتبط با طراحی معماری جهت دستیابی به پایداری از اهمیت بیشتری برخوردار است؟

۴- پیشینه پژوهش

بررسی پژوهش‌های انجام‌شده درخصوص دستیابی به پایداری در معماری که از لازمه‌های تأمین اهداف توسعه‌پایدار در این زمینه است از اهمیت ویژه‌ای برای تأمین اهداف این پژوهش برخوردار است در این راستا لوی [۱۵] به بررسی تأثیر بکارگیری فرایند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در جهت دستیابی به پایداری در ساختمان‌های کوچک پرداخته است. بر مبنای این پژوهش که مبتنی بر بررسی نمونه‌های موردی است، کاربرد

BIM به واسطه؛ تعیین نحوه برخورد بهینه با سایت پروژه، ارزیابی توده حجمی بنا، دستیابی به نور بهینه روز و انرژی خورشیدی، بهینه‌سازی روش‌های سرمایش و گرمایش غیرفعال خورشیدی و مدیریت آب‌های سطحی و فاضلاب در ساختمان نقش مؤثری در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و حفظ منابع دارد. کئو و تایبات [۱۶] در پژوهشی به بررسی موانع و مشکلات موجود در بکارگیری بستر BIM در جهت دستیابی به پایداری پرداخته‌اند. عمده این معضلات از قرار عدم وجود نیروهای طراح ماهر و مسلط به نرم‌افزارهای BIM، هزینه‌های بالای پیاده‌سازی در شرکت‌های طراحی، عدم تمایل بسیاری از مشاورین، پیمانکاران و کارفرمایان جهت استفاده از بستر نرم‌افزاری جدید و نبود استانداردهای مدل‌سازی جهت انجام کار گروهی شناخته شده است. آزهار [۱۷] با بررسی دو وجه فناورانه و فرایندمحور BIM به این نتیجه رسیده که جنبه فناورانه به واسطه فرایند شبیه‌سازی، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار ذی‌نفعان پروژه جهت تصمیم‌گیری قرار می‌دهد و بعد فرایندمحور آن به واسطه تأمین بستر لازم جهت همکاری مهندسین طراح و سازندگان، منجر به افزایش بازدهی، کاهش هزینه‌ها و مدیریت بهتر زمان می‌شود. بوننبرگ و وی [۱۸] بر این باورند که کاربرد BIM می‌تواند منجر به کاهش هدررفت منابع، افزایش کیفیت ساخت و یکپارچگی سیستم‌های طبیعی و فناورانه در طراحی معماری گردد. ریچاو و همکاران [۱۹] در پژوهشی به بررسی ۳۰ دستورالعمل مربوط به کاربرد BIM در صنعت ساختمان که در ۸ کشور به‌کار گرفته می‌شوند، پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که عمده مباحث نظری درخصوص BIM به جنبه‌های فناورانه آن پرداخته و کاربرد اجتماعی و فرهنگی این فناوری از لحاظ نظری مغفول مانده است و این امر می‌تواند مانع از دستیابی به اهداف راهبردی پایداری گردد.

مورتی و مانی نیز [۲۰] در پژوهشی در باب بررسی تأثیر فناوری‌های طراحی در پایداری، ضمن تأکید بر نقش انکارناپذیر خلاقیت طراح در زمینه دستیابی به اهداف تعیین‌شده، مدلی را درخصوص میزان تأثیرگذاری توانایی‌های ذهنی طراح و فناوری در مراحل مختلف طراحی تدوین نموده‌اند (شکل ۱).



شکل ۱- مدل مربوط به نقش طراح و فناوری در مراحل مختلف طراحی منبع: [۲۰]

درخصوص شناسایی فرصت‌ها و قابلیت‌هایی که BIM جهت دستیابی به پایداری در معماری ایجاد می‌کند، ناگالینگام و همکاران [۲۱] به موضوع تحویل یکپارچه پروژه (IPD) در این بستر و تأثیر آن بر محصول نهایی اشاره کرده‌اند. چانگ و همکاران [۲۲] معتقدند که استفاده از بستر BIM در طراحی منجر به کاهش ضایعات، هزینه‌های ساخت، تعمیر و نگهداری ساختمان و اشتباهات احتمالی در طراحی می‌گردد. ونگ و همکاران [۲۳] به اتفاق آریایسی و همکاران [۲۴] امکان اتخاذ تصمیمات گروهی در مراحل اولیه طراحی را عامل تأثیرگذار در تأمین پایداری طرح در بستر BIM دانسته‌اند. ادی و همکاران [۲۵] همراه ایلزور و کلی [۲۶] موانع اصلی بکارگیری BIM در طراحی پایدار را مربوط به هزینه‌های خرید و آموزش نرم‌افزارهای آن دانسته‌اند. ایستمن و همکاران [۲۷] علاوه بر مشکلات مربوط به زیرساخت‌های فناوری عدم وجود قابلیت همکاری در فرهنگ مهندسین دست‌اندرکار در فرایند طراحی را چالش اصلی پیش روی فراگیرشدن BIM می‌دانند. گری و همکاران [۲۸] نیز عدم وجود پایگاه داده‌های ملی یا محلی که دربرگیرنده اطلاعات مربوط به عرضه‌کنندگان مصالح باشد را چالش پیش‌روی BIM در تأمین پایداری طرح می‌دانند.

بوئنو و همکاران [۲۹] بر این باورند که قابلیت‌های BIM امکان دستیابی به بسیاری از اهداف پایداری را در طول چرخه‌حیات بنا فراهم می‌نماید بر این اساس بداوی محمد [۳۰] در پژوهشی به تبیین مدل دستیابی به اهداف پایداری در طول چرخه حیات یک پروژه از طریق استفاده از قابلیت‌های BIM پرداخته است و تأثیرگذارترین ویژگی BIM را در جهت دستیابی به پایداری، امکان پایش مستمر عملکرد ساختمان از لحاظ مصرف انرژی دانسته است. نجار و همکاران [۳۱] نیز در پژوهشی مشابه به تبیین مدل بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان از طریق بکارگیری BIM پرداخته‌اند و بر این باورند که از طریق کاربست قابلیت‌های BIM امکان کاهش مصرف انرژی به میزان ۴۵ درصد در طول چرخه‌حیات پروژه وجود دارد.

بررسی پژوهش‌های پیشین مبین آن است که قابلیت‌های BIM بستر مناسبی را جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش هدررفت مصالح، کاهش هزینه‌های طراحی، ساخت و نگهداری بنا ایجاد می‌کند. با توجه به آمار مربوط به مصرف منابع در بخش ساختمان‌ها که در مقدمه به آن اشاره شد، این امر می‌تواند در جهت دستیابی به پایداری در ابعاد زیست‌محیطی و اقتصادی بسیار مؤثر باشد. بعد دیگر کاربرد BIM فرایندی است که به واسطه آن همکاری‌های مؤثرتری میان مهندسین پروژه و سایر ذی‌نفعان از کارفرما گرفته تا مصرف‌کننده نهایی انجام می‌پذیرد و در این راستا نظرات گروه‌های ذی‌نفع می‌تواند به گونه‌ای سامان‌مند در طرح لحاظ گردد. این امر در شناسایی و تأمین نیازهای استفاده‌کنندگان و به تبع آن تأمین آسایش انسان در فضای معماری نقش مهمی را ایفا می‌نماید که از اهداف اولیه در زمینه دستیابی به پایداری محسوب می‌شود.

۵- روش‌شناسی پژوهش

روش پژوهش توصیفی- تحلیلی است. در مرحله گردآوری اطلاعات شاخص‌های مربوط به نحوه استفاده از قابلیت‌های BIM در فعالیت‌های مختلف مرتبط با طراحی معماری جهت تأمین اهداف پایداری، از طریق بررسی مبانی نظری، پیشینه‌پژوهش و انجام مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با ۸ نفر از گروه خبرگان (که ردیف مربوط به آنها در جدول ۱ بصورت ستاره‌دار است) و مطرح‌کردن فعالیت‌های اصلی اشاره‌شده در جدول ۴ استخراج شده است. داده‌های بدست‌آمده از طریق روش تحلیل محتوا و شناسایی و کدگذاری عبارات کلیدی نظیر فرم بهینه، ابعاد بهینه، جدول مساحت‌ها و مصالح و ... تحلیل‌شده و بر مبنای آنها سایر شاخص‌های مربوط به نحوه کاربست BIM در تأمین پایداری تدوین گشته است. جهت تعیین روایی شاخص‌ها به بررسی نمونه‌های موردی که شامل پروژه‌هایی است که BIM در فرایند طراحی آن‌ها دخیل بوده و موفق به اخذ گواهی‌نامه‌های بین‌المللی در زمینه پایداری گشته‌اند، پرداخته شده است. سپس با بررسی مبانی نظری، معیارها و زیرمعیارهای مربوط به تأمین پایداری در معماری تعیین‌شده و میزان تأثیرگذاری هریک در این فرایند با نظراخواهی از خبرگان از طریق پرسشنامه، مشخص گردیده که فرایند گردآوری این داده‌ها در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۸ شمسی به انجام رسیده است. مشخصات توصیفی خبرگان در جدول ۱ ارائه شده است. ملاک گزینش افراد حداقل تحصیلات کارشناسی‌ارشد معماری، سازه یا مرتبط با تأسیسات ساختمان با سابقه کاری حداقل ۴ سال و تجربه استفاده از بستر BIM در فرایند طراحی و تهیه نقشه‌های ساختمانی بوده است.

جدول ۱- مشخصات توصیفی خبرگان

ردیف	جنسیت	سابقه (سال)	تحصیلات	تخصص	جایگاه شغلی
۱	مذکر	۶	کارشناسی‌ارشد معماری	طراحی فاز یک و دو معماری- طراحی منظر	کارشناس معماری
۲*	مذکر	۹	کارشناسی‌ارشد شهرسازی	طراحی فاز یک و دو معماری- طراحی شهری	مدیر فنی
۳	مونث	۴	کارشناسی‌ارشد معماری	طراحی فاز یک و دو معماری- طراحی پارامتریک	کارشناس معماری
۴	مذکر	۱۵	کارشناسی‌ارشد برق	طراحی تأسیسات الکتریکی- طراحی نورپردازی	کارشناس‌ارشد تأسیسات
۵	مذکر	۸	کارشناسی‌ارشد مکانیک	طراحی تأسیسات مکانیکی	کارشناس تأسیسات
۶*	مونث	۶	دانشجوی دکتری معماری	طراحی فاز یک و دو معماری- طراحی پارامتریک	مدیر فنی
۷	مذکر	۱۳	دانشجوی دکتری مکانیک	طراحی تأسیسات مکانیکی	کارشناس‌ارشد تأسیسات
۸	مذکر	۸	دانشجوی دکتری زلزله	طراحی سازه	کارشناس سازه
۹*	مذکر	۱۲	کارشناسی‌ارشد معماری	طراحی فاز یک و دو معماری	مدیر فنی
۱۰*	مذکر	۱۰	دانشجوی دکتری معماری	طراحی فاز یک و دو معماری- طراحی پارامتریک	مدیرعامل
۱۱	مذکر	-	کارشناسی‌ارشد معماری	طراحی فاز یک و دو معماری	مدیرعامل
۱۲*	مونث	۱۶	کارشناسی‌ارشد معماری	طراحی فاز یک و دو معماری	مدیرکل
۱۳*	مذکر	۱۴	دانشجوی دکتری معماری	طراحی فاز یک و دو معماری	کارشناس‌ارشد معماری
۱۴	مذکر	-	دانشجوی دکتری معماری	طراحی فاز یک و دو معماری	کارشناس معماری
۱۵	مذکر	۱۲	کارشناسی‌ارشد معماری	طراحی فاز یک و دو معماری	کارشناس معماری
۱۶*	مونث	۱۲	دکتری معماری	طراحی فاز یک و دو معماری- طراحی پارامتریک	مدیر فنی
۱۷*	مذکر	۸	کارشناسی‌ارشد معماری	طراحی فاز یک و دو معماری- طراحی نما	مدیر عامل
۱۸	مونث	۱۰	کارشناسی‌ارشد معماری	طراحی فاز یک و دو معماری- طراحی نما	مدیر عامل

جهت مشخص‌شدن میزان تأثیر BIM در هریک از فعالیت‌های مرتبط با طراحی معماری از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و استفاده از نرم‌افزارهای اکسپرت چویس ۱۱ (جهت تعیین اوزان معیارها و زیرمعیارها و بررسی نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی) و اکسل ۲۰۱۶ (جهت تعیین اوزان شاخص‌ها و رسم نمودار سلسله‌مراتبی) استفاده شده است. در گام نخست ساختار سلسله‌مراتبی در چهار سطح مطابق تصویر شماره ۴ تدوین شده و اوزان مربوط به معیارها، زیرمعیارها و شاخص‌ها از طریق داده‌های بدست‌آمده از پرسشنامه‌ها به قرار ذیل تعیین گردیده است.

وزن معیارها و زیرمعیارها از طریق مقایسه زوجی و محاسبه وزن نسبی (محاسبه میانگین هندسی و سپس نرمال‌کردن اوزان به روش مجموع ستونی) تعیین شده است. وزن نسبی شاخص‌ها که به مثابه گزینه‌های پیشنهادی در این روش در نظر گرفته شده‌اند، با توجه به میزان تأثیر هریک در دستیابی به معیارها و زیرمعیارها با استفاده از مقیاس لیکرت (۱= کمترین تأثیرگذاری، ۵= بیشترین تأثیرگذاری) بدست آمده و امتیازات به روش مجموع ستونی نرمال و وزن نسبی آنها بدست آمد. در ادامه وزن نهایی شاخص‌ها (گزینه‌ها) از حاصل‌ضرب وزن نسبی در اوزان زیرمعیارها و معیارهای مربوطه تعیین گردید [۱۰].

۶- مبانی نظری

۶-۱- مفهوم توسعه

نخستین کاربرد واژه توسعه به زبان فرانسه و انگلیسی در سال ۱۷۵۲ باز می‌گردد و به معنای رسیدن به اهداف با ایده‌هایی طبق یک طرح یا برنامه بوده است؛ سپس این واژه به‌عنوان مراحل مشخصی در برنامه و بعد به مثابه توالی بیولوژیکی تغییر از یک دانه و تخم گیاه به یک گل به‌کار رفته است [۳۲]. در معنای لغوی واژه توسعه نیز همین کاربرد مستتر است

و به معنی خارج‌شدن از پوشش و لفاف می‌باشد، یا بروز و ظهورنمودن همه آنچه که به‌طور بالقوه در چیزی وجود دارد. در ربع آخر قرن هجدهم واژه توسعه از علوم‌طبیعی به علوم‌اجتماعی وارد شد و در این چارچوب مفهومی است که بر تکامل نظام‌های اجتماعی بشری از اشکالی ساده‌تر به اشکالی پیچیده‌تر، بالاتر و در حد بلوغ و کمال دلالت دارد [۳۳]. در این میان مفهوم توسعه در ابتدای ورود به حوزه علوم‌اجتماعی بیشتر در علم اقتصاد و جامعه‌شناسی مطرح گردید، بدان‌گونه که در علم اقتصاد با تأکید بر شاخص‌های کمی بیشتر بر مفهوم رشد دلالت داشت و در حوزه علوم‌اجتماعی توسعه بیشتر بر ابعاد ارزشی تأکید دارد و از این روست که توسعه در یک تعریف دیگر به معنی "خروج از لفافه" است. "لفافه" از دیدگاه صاحب‌نظران نسل اول توسعه، به معنی جامعه سنتی و ارزش‌های مربوط به آن است. به اعتقاد آنها برای دستیابی به توسعه باید از مرحله سنتی خارج شد و به تجدد رسید [۴]. با گذشت زمان مفهوم توسعه به سایر حوزه‌های علوم‌اجتماعی راه پیدا کرد که در این خصوص می‌توان از پیدایش مفاهیمی نظیر توسعه سیاسی، توسعه اجتماعی، توسعه فرهنگی در کنار توسعه اقتصادی نام برد. همچنین بروز مسائل منطقه‌ای و جهانی منجر به مطرح‌شدن مفاهیم دیگری در ارتباط با توسعه از جمله توسعه انسانی، توسعه درون‌زا، توسعه برون‌زا و در نهایت توسعه‌پایدار گردیده است.

۶-۲- مفهوم توسعه‌پایدار

اصطلاح توسعه‌پایدار نخستین بار در کمیسیون جهانی توسعه و محیط زیست در گزارش آینده مشترک ما (برانتلند) به‌کار برده شد [۵]. در این گزارش "توسعه‌پایدار را گونه‌ای از توسعه نامیدند که بواسطه آن نیاز نسل‌های امروز بدون ایجاد مخاطره برای نسل‌های آتی، تأمین شود" [۶]. با این وجود ابعاد مختلف موضوع در تعریف ارائه‌شده مشخص نبود. در ادامه چارچوب‌ها، اصول و ابعاد توسعه‌پایدار روشن‌تر گردید آن‌چنان‌که امروزه مفهوم توسعه‌پایدار بیشتر در سه حیطه پایداری زیست‌محیطی، پایداری اقتصادی و پایداری اجتماعی بررسی می‌شود.

پایداری محیطی: یک سیستم پایدار از لحاظ محیطی با حفاظت و تقویت پایه منابع فیزیکی، بیولوژیکی و اکوسیستم، به استفاده حداقل از منابع تجدیدناپذیر و روی‌آوردن به منابع تجدیدشونده می‌پردازد. در این مفهوم علاوه بر توسعه کمی و کالبدی، توسعه کیفی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کیفیتی که علاوه بر تأمین نیاز نسل امروز خدشه‌ای بر اکوسیستم و توانایی آن برای تأمین منابع وارد ننماید [۳۴].

پایداری اقتصادی: "بعد اقتصادی توسعه‌پایدار با رشد اقتصادی و سایر پارامترهای اقتصادی مرتبط است و در آن رفاه فرد و جامعه باید از طریق استفاده بهینه و کارایی منابع‌طبیعی و توزیع عادلانه منافع حداکثر شود" [۶].

پایداری اجتماعی: بعد اجتماعی توسعه‌پایدار به ایجاد زمینه‌ای جهت تقویت همبستگی اجتماعی، افزایش میزان تعاملات اجتماعی و ایجاد مساوات و برابری برای دسترسی به امکانات عمومی از قبیل بهداشت، آموزش، حمل و نقل، مسکن و ... می‌پردازد [۷].

۶-۳- معماری و توسعه‌پایدار

پرداختن به ابعاد توسعه‌پایدار، در حیطه معماری منجر به آن شد که علاوه بر مسأله بهره‌وری انرژی که با کاهش اثرات سوء زیست‌محیطی همراه است، بحث تأمین آسایش استفاده‌کنندگان و توجه به مسائل اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی نیز به‌عنوان لازمه‌های یک طرح پایدار شناخته شود [۷]. این امر منجر به تدوین تعاریف و مؤلفه‌های مربوط به نوعی طراحی هم راستا با اهداف توسعه‌پایدار گردید، که تحت عنوان طراحی پایدار شناخته شده و محصول آن در حیطه معماری، معماری پایدار است. مفهوم معماری پایدار در برگیرنده طیف وسیعی از تعاریف فنون و روش‌ها است که جنبش‌های متعدد معماری با رویکردهای مختلف زیرمجموعه این نوع معماری قرا گرفته‌اند. بحث نحوه کاربرد فناوری، استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و حفظ منابع‌طبیعی در این جنبش‌ها که عمدتاً مربوط به نیمه دوم قرن بیستم می‌باشند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این خصوص دو دیدگاه کلی وجود دارد. دیدگاه اول مبتنی بر استفاده از فناوری‌های نوین در جهت کاهش مصرف انرژی و استحصال انرژی‌های تجدیدپذیر است و دیدگاه دوم بر استفاده از مواد و مصالح و روش‌های ساخت بومی و بکارگیری سیستم‌های گرمایش و سرمایش غیرفعال تأکید دارد. پاره‌ای دیگر از جنبش‌ها نیز به صورت توأمان از دو دیدگاه فوق بهره می‌برند. این جنبش‌ها اگرچه در زمینه اتخاذ رویکردها و روش‌های طراحی و ساخت تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند اما از اصول مشابهی پیروی می‌کنند که عبارتند از: حفظ محیط‌زیست، توجیه‌پذیری اقتصادی و طراحی انسانی. اما در حوزه طراحی، فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و نرم‌افزارهای مربوط به آن می‌تواند به‌عنوان زمینه‌ای مناسب جهت ارزیابی میزان پایداری طرح، کمک شایانی را در اختیار طراحان و برنامه‌ریزان در مراحل اولیه تهیه طرح پایدار قرار دهد. لذا به بررسی قابلیت‌های کلی و مزیت‌های استفاده از این فناوری جهت دستیابی به پایداری در معماری پرداخته شده است.

به منظور تأمین اهداف توسعه‌پایدار در حیطه معماری، علاوه بر آن‌که طرح ارائه‌شده می‌بایست دارای حداقل اثرات سوء زیست‌محیطی باشد، باید از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر بوده و تضمین‌کننده سلامت فردی و اجتماعی و آسایش استفاده‌کنندگان باشد. بر این اساس امروزه ساختمان پایدار می‌بایست به اقلیم، به انسان، به فرهنگ و محیط‌زیست خودش احترام گذاشته و هر سه جنبه محیطی، اقتصادی و اجتماعی توسعه‌پایدار در آن لحاظ شده باشد [۲].

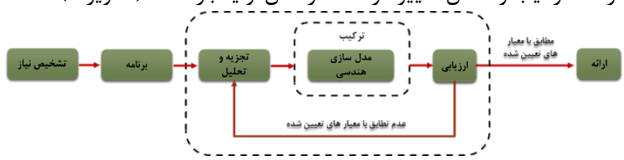
جدول ۲- معیارها و زیرمعیارهای طراحی پایدار منبع: [۱۳] و [۲]

	معیارها	زیرمعیارها
طراحی پایدار	حفظ محیط‌زیست	حفظ انرژی
		حفظ وضعیت زمین
		حفظ مواد اولیه
	توجیه‌پذیری اقتصادی	کاهش هزینه‌های ساخت
		کاهش اشتباهات و بهینه‌سازی فنی
		کاهش هزینه‌های نگهداری
	طراحی انسانی	تأمین آسایش انسان
		طراحی بر مبنای ظرفیت‌های محلی
		طراحی بر مبنای روش‌های مشارکتی

۶-۴- کاربرد فناوری‌های طراحی رایانه‌ای در فرایند طراحی

ظهور فناوری‌های رایانه‌ای در فرایند طراحی و تهیه مدارک ساخت به اواخر دهه ۵۰ میلادی و استفاده از بستر CAD که مخفف عبارت استفاده از رایانه به منظور کمک به فرایند طراحی است، باز می‌گردد. اگرچه تاکنون مدل‌های متنوعی از سوی صاحب‌نظران برای فرایند طراحی ارائه گردیده اما به‌صورت کلی می‌توان گفت که فرایند طراحی دارای شش مرحله «تشخیص نیاز»، «برنامه»، « تجزیه و تحلیل»، «ترکیب»، «ارزیابی» و «ارائه» می‌باشد [۸]. فرایند طراحی به کمک رایانه را نیز می‌توان به چهار زمینه عملیاتی مدل‌سازی هندسی، تجزیه و تحلیل مهندسی، مرور و ارزیابی طرح و تهیه مدارک ساخت تقسیم‌بندی نمود [۹].

استفاده از رایانه در فرایند طراحی عمدتاً معطوف به کاربرد این ابزار در مراحل ترکیب، تجزیه و تحلیل و ارزیابی و ارائه است. ماهیت سه مرحله اول تکرارپذیری به منظور دست‌یابی به طرح بهینه بر مبنای معیارهای در نظر گرفته شده در مرحله تعریف مسأله می‌باشد که به واسطه استفاده از رایانه و فرایند مدل‌سازی هندسی (که می‌تواند زیرمجموعه مرحله ترکیب قرار گیرد)، تجزیه و تحلیل مهندسی و ارزیابی مدل ساخته شده در زمان کوتاه‌تر و با کیفیت بهتری انجام می‌گیرد. در بستر CAD سه مرحله مذکور به صورت خطی قابل انجام است و پس از مرحله ارزیابی است که می‌توان مجدداً به مرحله ترکیب و اعمال تغییر در ساختار مدل اولیه بازگشت (تصویر ۲).



شکل ۲- مدل مربوط به فرایند طراحی در بستر CAD (منبع: نگارندگان)

با توجه به آن‌که در تهیه طرح معماری همواره با محدودیت‌های سازه‌ای، تأسیساتی، اقتصادی و ... مواجهیم، طراح معمار با کاربست تکنیک CAD قادر نیست بسیاری از تداخلات و محدودیت‌های موجود در طرح‌های اجرایی را در مراحل اولیه طراحی پیش‌بینی نماید. این امر تأثیرات سویی را در جهت رسیدن به استانداردها و معیارهای تعیین‌شده در مرحله تعریف مسأله به دنبال دارد. به بیان دیگر عمدتاً فوائد کاربرد تکنیک مدل‌سازی CAD محدود به افزایش سرعت تهیه مدارک ساخت می‌گردد. فناوری دیگری که امروزه کاربرد آن در فرایند طراحی معماری فراگیر است مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌باشد. مفهوم BIM از دهه ۱۹۷۰ میلادی وجود داشته اما واژه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نخستین بار در سال ۱۹۹۲ میلادی در مقاله‌ای توسط ندروین و تولمن آورده شد با این حال، اصطلاحات مدل اطلاعات ساختمان و مدل‌سازی اطلاعات ساختاری به صورت وسیع‌تری در سال ۲۰۰۲ میلادی توسط شرکت Autodesk به‌کارگرفته شد.

۶-۴-۱- کاربرد BIM در فرایند طراحی معماری

واژه BIM مخفف عبارت (Building Information Modeling) یا مدل‌سازی اطلاعات ساختمان است. به واسطه این فناوری مدل دیجیتالی مربوط به یک پروژه که حاوی اطلاعاتی درخصوص تمامی اجزا است، در محیطی شبیه‌سازی شده، تولیدشده و می‌تواند جهت فعالیت‌هایی از قبیل برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت پروژه و همچنین بررسی عملکردهای آتی اجزای مختلف بنا مورد استفاده قرار گیرد. BIM مفهومی وسیع است که گروه‌های گوناگون از نقطه‌نظرهای متفاوت به آن نگریسته‌اند و آن‌را تعریف کرده‌اند. در کل می‌توان BIM را به‌عنوان نمایش دیجیتالی خصوصیات فیزیکی و کاربردی یک ساختمان و منبع دانش مشترکی برای اطلاعات ساخت که دربرگیرنده مبنایی قابل اعتماد برای تصمیم‌گیری در طول چرخه عمر پروژه است، تعریف نمود [۳۵]. در تعریفی دیگر BIM را نمایشی مجازی از خصوصیات فیزیکی و کارکردی یک جزء دانسته‌اند، که به‌عنوان یک منبع دانش تسهیم شده برای اطلاعات آن عمل می‌کند. و یک پایه قابل اطمینان برای تصمیمات در طول چرخه‌حیات از ابتدای آن تشکیل می‌دهد. از این جهت BIM بیش از یک ابزار، یا نرم‌افزار کاربردی برای طراحی است، زیرا در شکل‌گیری روند طراحی تأثیرگذار است و علاوه بر آن می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب جهت تسریع روند تهیه مدارک ساخت بنا، به‌کار گرفته شود [۱۵].

با توجه به تعاریف ارائه‌شده و موارد فوق می‌توان BIM را از دو جنبه مورد بررسی قرار داد.

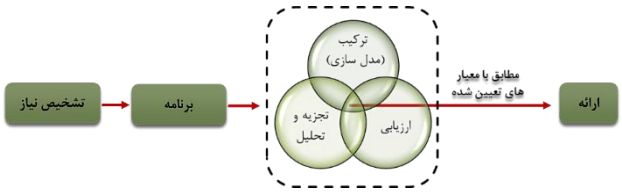
۱) BIM به‌عنوان یک فناوری

از دیدگاه فناوری، BIM به فرایند شبیه‌سازی سه بعدی اجزای یک پروژه گفته می‌شود که دربرگیرنده اطلاعات و داده‌های موردنیاز در ارتباط با فعالیت‌های برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و یا کارکرد یک پروژه است. در BIM از تکنیک مدل‌سازی پارامتریک شیگرا بهره‌گیری شده است [۳۶]. واژه پارامتریک در این خصوص به تعیین ارتباط میان اجزای مختلف یک پروژه اشاره دارد (به‌عنوان مثال قرارگیری یک درب در داخل یک دیوار). این امر در موارد ویرایش مدل‌ها در حفظ شرایط اولیه تعریف شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

عمده‌ترین مزیت فناوری BIM بر فناوری رایج CAD شناسایی اجزای پروژه و ماهیت مربوط به آن‌ها است. این امر امکان گنجاندن داده‌هایی مربوط به خواص و ویژگی‌های مختلف هر جزء را فراهم نموده که در انجام تحلیل‌های مختلف بر اجزای مدل هندسی، بسیار راه‌گشا است.

۲) BIM به‌عنوان یک فرایند

به‌کارگیری BIM در فرایند طراحی معماری تحولی اساسی را در روند طراحی ایجاد می‌نماید. تمامی مهندسان دخیل در فرایند طراحی بر روی مدلی واحد کار می‌کنند و به تناسب پیشرفت کار، عدم هماهنگی‌ها میان رشته‌های مختلف برطرف شده و مدل دقیق‌تری بدست می‌آید. لذا به‌منظور در نظرگیری BIM به‌عنوان یک فرایند طراحی دو اصل ارتباطات و همکاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و این امر مستلزم دخیل‌نمودن کلیه مهندسان و ذی‌نفعان پروژه در مراحل اولیه طراحی است. در حالت سنتی معمولاً ابتدا نقشه‌های اولیه معماری تهیه شده و بعد از اتمام این مرحله که تصمیمات اساسی تأثیرگذار در پایداری طرح اتخاذ گردیده، سایر مهندسین فعالیت خود را آغاز می‌کنند و غالباً محدودیت‌هایی را در تهیه نقشه‌های اجرایی بر پروژه اعمال می‌نمایند که طرح اولیه را دچار تغییراتی ناخواسته می‌کند. فرایند طراحی و تهیه مدارک ساخت در بستر BIM بر گرفته از مفهوم تحویل یکپارچه پروژه (IPD) است که در آن بستر مناسب جهت همکاری کلیه مهندسان و ذی‌نفعان پروژه فراهم آورده شده است.

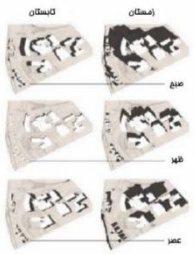
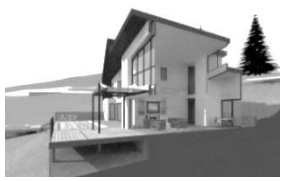
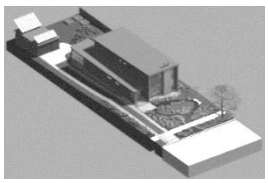


شکل ۳- مدل مربوط به فرایند طراحی در بستر BIM (منبع: نگارندگان)

۷- بررسی نمونه‌های موردی

بررسی نمونه‌های موردی که شامل پروژه‌هایی است که موفق به اخذ درجاتی از گواهینامه LEED شده و در روند طراحی آن‌ها از قابلیت‌های BIM استفاده شده است، تأییدی بر تأثیرگذاری کاربرد این بستر نرم‌افزاری در جهت دستیابی به اهداف پایداری در معماری است. در این خصوص سه ساختمان که اطلاعات مرتبط با عملکرد آن‌ها از منابع کتابخانه‌ای جمع‌آوری شده به قرار ذیل مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

جدول ۳- نتایج بررسی نمونه‌های موردی

عنوان پروژه	مزایای کاربرد BIM در تأمین پایداری	تصویر	منبع
مرکز روانشناسی دانشگاه ایموری	انجام تحلیل‌های مربوط به کارکرد ساختمان از لحاظ مصرف انرژی در مراحل اولیه طراحی که منجر به موارد ذیل شده است. انتخاب بهترین گزینه‌ها درخصوص جهت‌گیری ساختمان، پوسته متناسب با اقلیم، ابعاد مناسب برای بازشوها و استفاده بهینه از روشنایی روز. ساخت مدل BIM سایت پروژه به همراه همجواری‌ها منجر به بررسی و کاهش اثرات سو ساختمان بر محیط اطراف از لحاظ سایه‌اندازی شده است. کنترل هزینه‌های اجرایی در مراحل مختلف طراحی		[۱۷]
ویلای مسکونی شهر سونوما ایالت کالیفرنیا	آنالیز سایت به منظور درک بهتر توپوگرافی و خطوط دید. محاسبه میزان خاک‌ریزی و خاک‌برداری برای گزینه‌های مختلف جانمایی ساختمان و انتخاب گزینه بهینه. ارائه حجم سه بعدی پروژه برای کارفرما و دپارتمان برنامه‌ریزی. انجام مطالعات مربوط به سایه‌اندازی و یافتن راهبردهای بهینه درخصوص تأمین تهویه طبیعی. آماده‌سازی و تثبیت نقشه‌های SIPS یا سیستم پانل‌های عایق سازه‌ای. استفاده از مدل BIM در نرم‌افزار Ecotect به منظور بررسی کارکرد تهویه طبیعی ساختمان.		[۱۵]
ویلای مسکونی شهر مدیسون ایالت ویسکانسین	طراحی بهینه آفتاب‌شکن‌ها در نمای جنوبی بر مبنای مطالعات خورشیدی انجام‌شده در BIM تعیین مناسب‌ترین مکان جهت استقرار پانل‌های فوتوولتائیک طراحی بهینه سیستم تأسیساتی بر مبنای بازخوردهای بدست‌آمده از تحلیل‌های انجام‌شده بر مدل BIM افزایش سرعت تهیه مدارک و نقشه‌های ساختمانی		[۱۵]

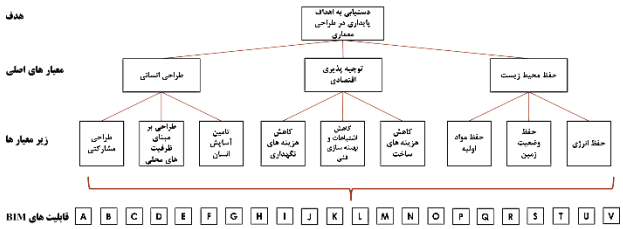
۸- یافته‌ها

بر مبنای بررسی ادبیات موضوع و نمونه‌های موردی قابلیت‌هایی که BIM در مراحل مختلف فرایند طراحی جهت دستیابی به پایداری فراهم می‌نماید در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۴- گزینه‌های مربوط به کاربرد BIM در فعالیت‌های مرتبط با طراحی پایدار

نوع فعالیت	شماره	گزینه‌های کاربرد BIM	منبع
تعیین موقعیت قرارگیری در سایت	A	تعیین موقعیت بنا در سایت با در نظرگیری کمترین میزان عملیات خاکی	[۱۵]
	B	تعیین موقعیت بنا در سایت با در نظرگیری حداقل آسیب به پوشش گیاهی موجود	
	C	تعیین موقعیت بنا در سایت با در نظرگیری سایه‌اندازی احجام و پوشش گیاهی مجاور	
طراحی مفهومی	D	طراحی فرم به منظور کنترل تابش آفتاب با توجه به اطلاعات اقلیمی موجود در بانک داده نرم‌افزار	گروه خبرگان
	E	طراحی فرم به منظور کنترل بهینه نور و روشنایی روز برای فضاهای مختلف	
	F	طراحی بهینه فرم با توجه به وضعیت توپوگرافی زمین	[۱۵]
	G	طراحی فرم با رویکرد بهره‌گیری از سیستم‌های گرمایشی و تبرید فعال و منفعل	[۱۷]
تعیین ابعاد فضاها	H	تعیین ابعاد بهینه برای فضاها با توجه به استانداردهای مربوط به ابعاد مصالح موجود در بانک داده‌های نرم‌افزار	[۲۸]
	I	تعیین ابعاد بهینه برای فضاها با توجه به شرایط اقتصادی پروژه، ویژگی‌های تأسیسات مکانیکی و سیستم سازه‌ای مدنظر به‌واسطه استفاده از تحلیل‌های دینامیک نرم‌افزارها	گروه خبرگان
	J	تعیین ابعاد بهینه برای فضاها به واسطه ارتباط مستمر با استفاده‌کنندگان در مراحل مختلف طراحی	[۱۹]
طراحی جزئیات معماری	K	طراحی جزئیات بازشوها به منظور کنترل تابش آفتاب و روشنایی روز	[۱۱]
	L	تعیین نوع مصالح و ضخامت جداره‌ها جهت دستیابی به میزان مطلوب انتقال حرارت	گروه خبرگان
	M	تعیین نوع مصالح و مقادیر مربوط به آن با توجه به بودجه پروژه و قیمت مربوط به مصالح در بانک داده	[۱۱]
	N	اجتناب از هدررفت مصالح با تعیین ابعاد سطوح بر مبنای ابعاد واحد مصالح	[۱۸]
انتخاب سیستم‌های سازه‌ای و تأسیساتی	O	انتخاب سیستم سازه‌ای و تأسیساتی بهینه از طریق فراهم‌آوردن امکان کارگروهی معمار، سایر مهندسین و ذی‌نفعان، در مراحل اولیه طراحی	[۲۰]
	P	تعیین میزان بار حرارتی و برودتی مورد نیاز با توجه به جزئیات فضا، جهت تأمین شرایط آسایش	گروه خبرگان
	Q	تعیین میزان نور مصنوعی مورد نیاز با توجه به ابعاد، کاربری فضاها و ویژگی‌های مصالح دیوار، کف و سقف	
کنترل و ارزیابی طرح	R	اجتناب از عدم هماهنگی در نقشه‌های اجرایی و هزینه‌های احتمالی (استفاده از ابزار Clash Detection)	[۱۵]
	S	برآوردهای اقتصادی مستمر در کلیه مراحل طراحی و اتخاذ تصمیمات بر مبنای آن	[۱۱]
	T	کاهش زمان طراحی و خطاهای احتمالی به واسطه افزایش قابلیت همکاری میان مهندسین رشته‌های مختلف و ذی‌نفعان پروژه	[۱۹]
	U	انجام محاسبات دینامیک تحلیل انرژی و امکان اعمال تغییرات بر طرح در مراحل اولیه	[۱۵]
	V	استفاده از نیروی کار و مصالح قابل دسترس از طریق تکمیل پایگاه داده‌های محلی	[۲۸]

در ادامه معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مربوط به دستیابی به پایداری در معماری مطابق تصویر ۴، تعیین شده که بر مبنای موارد اشاره شده در روش‌شناسی پژوهش شاخص‌های مربوط به قابلیت‌های BIM به مثابه گزینه‌های پیشنهادی در ساختار تدوین‌شده در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۴- سلسله‌مراتب تأثیر قابلیت‌های BIM در دستیابی به اهداف پایداری

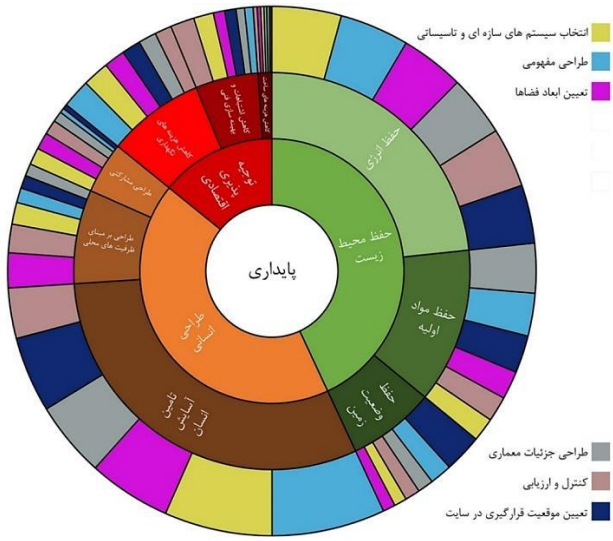
جهت مشخص‌شدن اوزان مربوطه در پرسشنامه‌ها از پاسخ‌دهندگان درخواست شد که میزان تأثیر هر گزینه در رابطه با زیرمعیار مربوطه با اعداد ۱ تا ۵ مشخص نمایند (۱ کمترین میزان تأثیر و ۵ بیشترین میزان تأثیر) سپس بر مبنای داده‌های بدست‌آمده و وزن نرمال معیارها و زیرمعیارها، وزن نسبی و رتبه هر گزینه بر مبنای هر معیار و مجموع بدست آمد که در جدول ۴ ارائه شده است.

همچنین با توجه به یافته‌های پژوهش و نتایج آماری تحلیل‌های انجام‌شده می‌توان میزان تأثیر هر گروه از فعالیت‌های مرتبط با طراحی در بستر BIM را بر دستیابی به اهداف پایداری در قالب تصویر ۵ نشان داد.

جدول ۵- وزن نهایی و رتبه گزینه‌ها

معیارها / گزینه‌ها		حفظ محیط‌زیست		توجیه‌پذیری اقتصادی		طراحی انسانی		دستیابی به اهداف پایداری در طراحی معماری	
		وزن	رتبه	وزن	رتبه	وزن	رتبه	وزن نهایی	رتبه
تعیین موقعیت قرارگیری در سایت	A	۰.۰۲۹۴۷	۱	۰.۰۰۸۳۰	۵	۰.۰۰۷۱۱	۲۱	۰.۰۴۴۸۷	۱۱
	B	۰.۰۲۱۳۲	۷	۰.۰۰۴۳۶	۱۶	۰.۰۱۹۶۲	۱۱	۰.۰۴۵۳۱	۱۰
	C	۰.۰۱۶۰۴	۱۶	۰.۰۰۳۱۴	۲۲	۰.۰۱۹۶۲	۱۱	۰.۰۳۸۸۱	۱۸
طراحی مفهومی	D	۰.۰۲۰۷۶	۹	۰.۰۰۴۳۶	۱۶	۰.۰۲۳۸۰	۶	۰.۰۴۸۹۲	۷
	E	۰.۰۲۰۷۶	۹	۰.۰۰۴۳۶	۱۶	۰.۰۲۳۸۰	۶	۰.۰۴۸۹۲	۷
	F	۰.۰۲۱۸۶	۶	۰.۰۰۵۷۴	۱۱	۰.۰۱۵۴۵	۱۶	۰.۰۴۳۰۶	۱۳
	G	۰.۰۲۶۰۱	۲	۰.۰۰۵۳۸	۱۴	۰.۰۳۰۳۰	۲	۰.۰۶۱۶۸	۱
تعیین و تدقیق ابعاد فضاها	H	۰.۰۱۷۸۷	۱۴	۰.۰۰۷۲۹	۶	۰.۰۱۰۸۱	۱۹	۰.۰۳۵۹۷	۲۱
	I	۰.۰۲۱۲۹	۸	۰.۰۰۵۷۴	۱۱	۰.۰۲۵۴۹	۵	۰.۰۵۲۵۳	۴
	J	۰.۰۱۳۱۵	۱۹	۰.۰۰۴۷۳	۱۵	۰.۰۳۱۲۰	۱	۰.۰۴۹۰۹	۶

گزینه‌ها / معیارها		حفظ محیط‌زیست		توجیه‌پذیری اقتصادی		طراحی انسانی		دستیابی به اهداف پایداری در طراحی معماری	
		وزن	رتبه	وزن	رتبه	وزن	رتبه	وزن نهایی	رتبه
طراحی جزئیات معماری	K	۰.۰۱۵۵۱	۱۸	۰.۰۰۳۳۵	۲۱	۰.۰۲۳۸۰	۶	۰.۰۴۲۶۶	۱۴
	L	۰.۰۲۰۷۶	۹	۰.۰۰۳۵۷	۲۰	۰.۰۲۳۸۰	۶	۰.۰۴۸۱۲	۹
	M	۰.۰۲۲۳۴	۵	۰.۰۰۶۱۷	۱۰	۰.۰۱۳۷۵	۱۷	۰.۰۴۲۲۶	۱۵
	N	۰.۰۲۵۴۸	۴	۰.۰۰۶۳۹	۸	۰.۰۰۸۶۵	۲۰	۰.۰۴۰۵۱	۱۷
انتخاب سیستم‌های سازه‌ای و تأسیساتی	O	۰.۰۱۸۴۰	۱۲	۰.۰۱۲۱۲	۲	۰.۰۲۶۲۶	۳	۰.۰۵۶۷۹	۲
	P	۰.۰۱۸۴۰	۱۲	۰.۰۰۷۰۷	۷	۰.۰۲۶۱۰	۴	۰.۰۵۱۵۸	۵
	Q	۰.۰۱۶۰۴	۱۶	۰.۰۰۳۹۳	۱۹	۰.۰۲۱۱۶	۱۰	۰.۰۴۱۱۴	۱۶
کنترل و ارزیابی طرح	R	۰.۰۱۷۶۳	۱۵	۰.۰۱۳۴۵	۱	۰.۰۰۷۱۱	۲۱	۰.۰۳۸۱۸	۱۹
	S	۰.۰۱۳۱۵	۱۹	۰.۰۰۶۳۳	۹	۰.۰۱۳۷۵	۱۷	۰.۰۳۳۲۳	۲۲
	T	۰.۰۱۳۱۵	۱۹	۰.۰۱۱۹۱	۳	۰.۰۱۸۵۳	۱۵	۰.۰۴۳۵۸	۱۲
	U	۰.۰۲۶۰۱	۲	۰.۰۰۹۶۳	۴	۰.۰۱۹۶۲	۱۱	۰.۰۵۵۲۶	۳
	V	۰.۰۱۳۱۵	۱۹	۰.۰۰۵۵۳	۱۳	۰.۰۱۸۸۵	۱۴	۰.۰۳۷۵۳	۲۰



شکل ۵- میزان تأثیر قابلیت‌های BIM در جهت دستیابی به اهداف پایداری

۹- بحث

اگرچه به منظور دستیابی به اهداف توسعه‌پایدار، هر سه حوزه زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی می‌بایست به‌صورت متوازن مورد توجه قرار گیرند اما از دیدگاه متخصصینی که در این پژوهش از آن‌ها نظرخواهی شده، در حیطه فعالیت‌های مرتبط با طراحی معماری، حفظ انرژی و طراحی انسانی اندکی بیش از توجیه‌پذیری اقتصادی پروژه در جهت دستیابی به پایداری حائز اهمیت هستند. دلیل این امر آن است که صنعت ساختمان در اغلب نقاط جهان ماهیتاً در برگیرنده ارزش‌افزوده اقتصادی بوده و عمدتاً دو موضوع محیط‌زیست و طراحی انسانی در این حوزه مغفول مانده‌اند. همچنین پرداختن به این دو موضوع در حوزه ساختمان در بیشتر موارد مستلزم سرمایه‌گذاری اولیه بیشتری است که منفعت اقتصادی آن یا به صورت مشوق‌های مالیاتی شامل حال سرمایه‌گذار و یا در طول زمان حیات پروژه در قالب کاهش هزینه‌های مصرفی شامل حال استفاده کننده خواهد شد. لذا در طراحی معماری می‌توان اندکی بیشتر به ابعاد زیست‌محیطی و موضوعات انسانی در مقایسه با منفعت اقتصادی پرداخت.

یافته‌های مربوط به تحلیل سلسله‌مراتبی حاکی از آن است که تأثیرگذارترین قابلیت‌های BIM در روند دستیابی به اهداف پایداری به فعالیت‌های مرتبط با طراحی مفهومی اختصاص دارد. این فعالیت‌ها عمدتاً در مراحل اولیه فرایند طراحی انجام شده و پس از آن طرح از لحاظ فرم کمتر دچار تغییرات کلی می‌شود. فرم در تعیین عملکرد کلی بنا از لحاظ مصرف انرژی، نحوه تعامل با سایت پروژه، اقلیم و خرده اقلیم، تأثیر بسزایی دارد. فرم متناسب با عوامل اقلیمی علاوه بر آن که می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی در ساختمان گردد، بستر لازم را جهت استحصال انرژی‌های تجدیدپذیر فراهم آورده و با در نظرگیری تمهیدات لازم می‌تواند منجر به اعمال کمترین میزان تغییر در وضعیت اولیه زمین گردد. ارزیابی‌های دینامیک در مراحل اولیه شکل‌گیری طرح مفهومی در زمینه میزان جذب پرتوهای خورشید از طریق سطوح مختلف، تعیین حجم خاک‌ریزی و خاک‌برداری، نحوه سایه‌اندازی فرم بر اجزای خود و بخش‌های مختلف سایت و تأثیری که بر سایر عوامل اقلیمی دارد، می‌تواند نتایج مؤثری را در راستای دستیابی به فرم بهینه جهت بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر فراهم آورد. لذا این دسته از فعالیت‌ها در تأمین پایداری زیست‌محیطی در درجه اول اهمیت قرار گرفته‌اند. همچنین از آنجا که در مواردی از مرحله طراحی مفهومی در بستر BIM کنترل روشنایی روز و تابش آفتاب با هدف تأمین آسایش فیزیکی و روانی انسان است، این فعالیت‌ها در درجه دوم اهمیت در حوزه طراحی انسانی قرار دارند.

دسته دیگری از فعالیت‌ها، منتهی به انتخاب سیستم‌های سازه‌ای و تأسیساتی بنا می‌شوند که از لحاظ بسترسازی جهت تأمین اهداف پایداری در درجه دوم اهمیت قرار گرفته‌اند. بخش اعظمی از هزینه‌های مربوط به احداث و نگهداری بنا در ارتباط با فعالیت‌های مربوط به این حوزه است و دستیابی به حالت بهینه در این بخش تأثیر قابل توجهی را از جنبه‌های اقتصادی در طول چرخه‌حیات پروژه خواهد داشت. همچنین مقدار قابل توجهی از انرژی مصرفی و موادخام بکار رفته در مرحله ساخت مربوط به احداث سازه بنا است و عمده مصرف انرژی در زمان بهره‌برداری در ارتباط با کارکرد سیستم‌های تأسیسات مکانیکی و الکتریکی است. طراحی بهینه سازه و سیستم‌های تأسیساتی از لحاظ هماهنگی با طرح معماری تأثیر بسزایی در حفظ انرژی دارد اما هدف اصلی در حوزه حفظ محیط‌زیست، حرکت به سمت استحصال انرژی‌های تجدیدپذیر جهت مصرف در ساختمان است. لذا این بخش از قابلیت‌های BIM در راستای دستیابی به پایداری زیست‌محیطی، به نسبت سایر حوزه‌ها از تأثیر کمتری برخوردار است.

امروزه تأمین آسایش فیزیکی انسان در ساختمان‌ها منوط به تحلیل، پیش‌بینی دقیق کارکرد و طراحی متناسب سیستم‌های تأسیسات مکانیکی

و الکتریکی است. این امر به واسطه مدلی واحد در بستر BIM که متخصصین معمار، سازه و تأسیسات به‌صورت هم‌زمان در توسعه آن نقش داشته، و با استفاده از بازخوردهای مربوط به تحلیل‌های دینامیک می‌توانند بر مبنای اهداف پروژه به بهینه‌ترین حالت طراحی دست یابند، محقق می‌گردد. همچنین ماهیت چنین فرایندی بر کار گروهی میان ذی‌نفعان پروژه استوار است. در این بین ارتباط مستمر با استفاده‌کنندگان نهایی می‌تواند در شناسایی نیازهای آن‌ها از جنبه‌های فیزیکی و روانی بسیار راه‌گشا باشد. از این‌رو است که فعالیت‌های مرتبط با انتخاب سیستم‌های سازه‌ای و تأسیساتی در بستر BIM می‌توانند در حوزه دستیابی به اهداف طراحی انسانی نیز بسیار تأثیرگذار باشد.

وجود اطلاعات مربوط به مصالح ساختمانی در بانک داده‌های نرم‌افزارهای BIM که به‌واسطه ایجاد شبکه ارتباطی با عرضه‌کنندگان مصالح امکان‌پذیر است می‌تواند از طریق تدقیق ابعاد فضاها بر مبنای ابعاد پایه مصالح (به‌عنوان مثال تایل‌های کف‌سازی و ...) در کاهش هدررفت مصالح و انرژی تأثیرگذار باشد. بعد فرایندمحور BIM که بسترساز ارتباط مستمر با سایر ذی‌نفعان از جمله استفاده‌کنندگان نهایی است در شناسایی نیازهای عملکردی ساکنین و طراحی فضاها بر مبنای آن مؤثر است. از این‌رو است که این دسته از فعالیت‌ها در بستر BIM با میزان اولویت مشخص‌شده، زمینه‌ساز دستیابی به اهداف پایداری هستند.

فعالیت‌های مرتبط با کنترل و ارزیابی طرح که بر مدل سه بعدی به‌دست آمده اعمال می‌گردد در کاهش هزینه‌های ساخت، مدیریت اقتصادی پروژه و کاهش اشتباهات فنی که در توجیه اقتصادی پروژه نقش داشته، تأثیرگذارند. در این میان انجام محاسبات دینامیک تحلیل انرژی نقش پر اهمیتی در راستای دستیابی به اهداف پایداری در حوزه زیست‌محیطی، تأمین آسایش انسان و به تبع آن دستیابی به اهداف طراحی انسانی، دارد.

۱۰- نتیجه‌گیری

آمار موجود در زمینه مصرف انرژی و مواد اولیه نشان‌دهنده اهمیت صنعت ساختمان در جهت تأمین اهداف توسعه‌پایدار است. در این میان طراحی معماری به‌عنوان یکی از تأثیرگذارترین فعالیت‌ها در این حوزه می‌تواند بستر لازم را از طریق تأمین اهداف مربوط به طراحی پایدار فراهم نماید. اگرچه نقش خلاقیت طراحان در این زمینه انکارناپذیر است اما تأمین اهداف مذکور مستلزم دستیابی به حالت بهینه در زمینه‌های مختلفی از جمله مصرف انرژی، مواد اولیه، اقتصاد طرح، تأمین آسایش استفاده‌کننده و ... می‌باشد که امروزه کنترل تمامی این موارد نیازمند استفاده از فناوری‌های نوین طراحی رایانه‌ای است. فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان از دو جنبه می‌تواند بستر لازم را جهت دستیابی به طرح بهینه از لحاظ معیارهای پایداری فراهم نماید. نتایج پژوهش حاکی از آن است که تأثیر بکارگیری BIM در جهت دستیابی به پایداری در مرحله طراحی مفهومی نسبت به سایر مراحل طراحی بیشتر است. جنبه فناورانه BIM در این مرحله بستر لازم را جهت انجام ارزیابی‌های دینامیک بر مدل اولیه فراهم نموده و تغییرات اعمال‌شده بر این مبنا بیشترین میزان تأثیر را در عملکرد بنا به دنبال دارد. همچنین بعد دیگر BIM که بر چگونگی فرایند طراحی تأثیرگذار است، با ایجاد امکان ارتباط مؤثر میان مهندسین پروژه و سایر ذی‌نفعان از نخستین مراحل طراحی علاوه بر آن که بر کاهش میزان اشتباهات فنی، گزینش‌های بهینه در مورد تناسب سیستم‌های سازه‌ای و تأسیساتی با معماری و کاهش هزینه‌های ساخت و هدررفت مصالح تأثیرگذار است، با ایجاد امکان شناسایی دقیق‌تر نیازهای استفاده‌کنندگان نقش مهمی در تأمین فضای مورد نیاز از جنبه‌های کمی و کیفی و به تبع آن تأمین آسایش کاربران در جهت دستیابی به معیارهای طراحی انسانی دارد. لذا پس از مرحله طراحی مفهومی تأثیر کاربرد BIM در مرحله گزینش سیستم‌های سازه‌ای و تأسیساتی بیشترین میزان اهمیت را در جهت تأمین معیارهای پایداری داشته است. به صورت کلی می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر اقدامات انجام‌شده و سهولت اعمال تغییرات در مراحل اولیه طراحی بیش از سایر مراحل بوده و ماهیت کاربرد BIM فراهم‌آوردن بستری جهت انجام ارزیابی‌های مستمر بر مدل سه بعدی و همکاری‌های مؤثر میان ذی‌نفعان پروژه از مراحل اولیه طراحی است. لذا به‌عنوان ابزاری مؤثر در جهت تأمین معیارهای طراحی پایدار در نظر گرفته می‌شود. از محدودیت‌های این پژوهش عدم وجود استاندارد ملی ارزیابی پایداری در ساختمان‌ها بوده که امکان گزینش و بررسی نمونه‌های موردی داخلی و نظرخواهی از ذی‌نفعان پروژه‌ها را سلب نموده است. همچنین در اغلب دفاتر طراحی رشته‌های مختلف بصورت جزیره‌ای از بستر BIM استفاده نموده که این امر موجب عدم بهره‌مندی از بسیاری از قابلیت‌های تأثیرگذار BIM در دستیابی به پایداری شده و به تبع آن این امر ممکن است بر ارزیابی‌های گروه خبرگان نیز تأثیرگذار بوده باشد. از دیگر موارد استفاده از بستر BIM در فعالیت‌های عمرانی که تأثیر زیادی نیز در تأمین اهداف پایداری در معماری دارد، کاربرد آن در فاز تخریب و بهره‌برداری از بنا و بهینه‌سازی ساختمان‌های موجود بوده که کمتر در ایران مورد توجه قرار گرفته است. بررسی میزان تأثیرات BIM در این خصوص و تبیین مدل استفاده بهینه از این فناوری در ارتباط با فعالیت‌های مربوط به فاز تخریب، بهره‌برداری و بهینه‌سازی ساختمان‌های موجود، می‌تواند به‌عنوان موضوع پژوهش‌های کاربردی آتی مدنظر قرار گیرد.

۱۱- مراجع

۱- گرجی مهلبانی، یوسف. معماری پایدار و نقد آن در حوزه محیط‌زیست. انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۳۸۹. ۱(۱): ۹۱-۱۰۰.
۲- عزیزی بابانی، محمدحسین. مرکز مطالعات انرژی‌های تجدیدپذیر بینالود. ۱۳۹۳، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز: تهران.
۳- گلابچی، محمود، گرمارودی، علی و باستانی، حسین. معماری دیجیتال: کاربرد فناوری‌های CAD/CAE/CAM در معماری. ۱۳۹۰، تهران: دانشگاه تهران.

۴- موثقی، سیداحمد. توسعه، سیر تحول مفهومی و نظری. مجله دانشگده حقوق و علوم سیاسی، ۱۳۸۳. ۶۳: ۲۲۳-۲۵۲.
۵- ضرابی، اصغر و اذانی، مهری. توسعه‌پایدار در جهان صنعتی و در حال توسعه. رشد آموزش جغرافیا، ۱۳۸۰. ۵۹.
۶- زاهدی، شمس‌السادات و نجفی، غلامعلی. بسط مفهومی توسعه‌پایدار. مدرس علوم انسانی، ۱۳۸۵. ۱۰(۴): ۴۴-۷۶.
۷- عزیزی بابانی، محمدحسین. نقش هوشمندسازی ساختمان‌ها در روند حرکت به سمت توسعه‌پایدار. دومین همایش بین‌المللی معماری، عمران و شهرسازی در هزاره سوم. ۱۳۹۵. تهران.
۸- مظفر، فرهنگ. و خاکزند، مهدی. بکارگیری فناوری در فرایند طراحی معماری. نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۷. ۱۹(۶): ۵۳-۷۲.
۹- حسنوی، رضا. طراحی و تولید به کمک کامپیوتر. ۱۳۷۶، تهران: نشر عرفان.
۱۰- دلبری، سیدعلی و داودی، سیدعلیرضا. کاربرد تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در رتبه‌بندی شاخص‌های ارزیابی جاذبه‌های توریستی. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱۳۹۱. ۹ (۲): ۵۷-۷۹.
11- Elliott, J.A., An Introduction to Sustainable Development. 2006, London: Routledge.
12- Edwards, B., Rough Guide to Sustainability: A Design Primer. 2001, London: RIBA Publications.
13- Kim, J.J. and B. Rigdon, Sustainable Architecture Module: Introduction to Sustainable Design. 1998, Michigan: National Pollution Prevention Center for Higher Education.
14- Pivo, G. and J.D. Fisher, Income, Value and Returns in Socially Responsible Office Properties. Journal of Real Estate Research, 2010. 32(3): p. 243-270.
15- Levy, F., BIM in small- scale sustainable design. 2012, NewJersey: John Wiley and Sons, Inc.
16- Ku, K. and M. Taiebat, BIM Experiences and Expectations: The Constructor's Perspective. International Journal of Construction Education and Research, 2011. 3 (7): p. 175-197.
17- Azhar, S., Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering, 2011. 11(3): p. 241-252.
18- Bonenberg, W. and X. Wei. Green BIM in Sustainable Infrastructure. in 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015). 2015. ELSEVIER.
19- Reychav, I., R. M. Leitan, and R. McHaney, Sociocultural sustainability in green building information modeling. Clean Technologies and Environmental Policy, 2017: p. 2245–2254.
20- Murthy, S.R. and M. Mani, Design- Technology and Sustainability. 2013, Springer: India. p. 75-86.
21- Nagalingam, G., H. Jayasena, and K. Ranadew. Building information modelling and future quantity surveyor's practice in Sri Lankan construction industry. in Second World Construction Symposium. 2013.
22- Chong, H.-Y., et al. Improving quality and performance of facility management using building information modelling. in The 11th International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering. 2014. Washington, DC: Springer.
23- Wang, Y., et al., Engagement of Facilities Management in Design Stage through BIM: Framework and a Case Study. Advances in Civil Engineering, 2013. 29(5/6).
24- Arayici, Y., et al., Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. Automation in Construction, 2011. 20(2): p. 189-195.
25- Eadie, R., et al., BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. Automation in Construction, 2013. 36: p. 145-151.
26- Ilozor, B.D. and D.J. Kelly, Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study. Journal of Engineering, Project, and Production Management, 2012. 2(1): p. 23-36.
27- Eastman, C., et al., BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2011, Hoboken: John Wiley & Sons.
28- Gray, M., et al. Building Information Modelling: an international survey. in World Building Congress. 2013. Brisbane: QLD.
29- Bueno C, Pereira LM, Fabricio MM. Life cycle assessment and environmental- based choices at the early design stages: an application using building information modelling. Archit Eng Des Manag. 2018, 14:332–346.
30- Badawy Mohammed, A. Applying BIM to achieve sustainability throughout a building life cycle towards a sustainable BIM model. International Journal of Construction Management, 2019, DOI: 10.1080/15623599.2019.1615755.
31- Najjar, M., et al. Integrated optimization with building information modeling and life cycle assessment for generating energy efficient buildings. Applied Energy, 2019, 250: 1366-1382.
32- Haas, M., Polity and Society: Philosophical Underpinning of Social Science. 1992, New York: New York Unversity Press.
33- Riggs, F.W., Development, ed. G. sartori. 1984, London: Social Sciences Concepts.
34- Morelli, J., A Definition for Environmental Professionals. Journal of Environmental Sustainability, 2011. 1 (1).
35- NBIMS. National Building Information Modeling Standard. 2010.
36- Stine, D.J., Design Integration Using Revit 2012. 2011, Kansas: SDC Publications.