

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

محمد رضا بمانیان
دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
bemanian@modares.ac.ir

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

محمدحسین عزیزی بابانی^{*}
دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
m.azizibabani@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 توسعه پایدار اشاره نمود. دستیابی به اهداف توسعه پایدار در حیطه معماری مستلزم توجه به تمامی ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است. بررسی‌های انجام شده 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 مهندسين و سایر ذی‌نفعان بوده است.

واژگان کلیدی

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

۱- مقدمه

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 بدست آوردن سطح مناسب کیفیت زندگی و ارزش‌های فرهنگی، اقتصادی، اجتماعی و آسایشی می‌باشد [۱۳].

ساختمان‌ها به صورت میانگین در سطح جهان تولید ۴۰ 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

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 مطرح شدن بحث توسعه پایدار و روشن شدن 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 راه‌هایی بشر از مشکلات به‌وجود آمده به واسطه رشد سریع صنعتی جوامع بشری و پیشرفت فناوری، حرکت در جهت تحقق اهداف توسعه پایدار می‌باشد [۱۱]. پرداختن به بحث توسعه پایدار در حیطه معماری منجر به تدوین معیارهای طراحی پایدار شده است. اصول معماری پایدار نیز شامل بازه وسیعی از

* نویسنده مسئول

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 توسعه‌ی پایدار در صنعت ساختمان است. تأمین چنین هدفی علاوه بر آن که 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 آن که مدت زمان قابل توجهی از معرفی و بکارگیری نرم‌افزارهای BIM در کشور می‌گذرد، کاربرد این بستر در شرکت‌های مهندسی 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 به دنبال 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 به دنبال دستیابی به اهداف ذیل هستیم.

- تعیین اهمیت و میزان تأثیر BIM در دستیابی به اهداف پایداری در فعالیت‌های مختلف مرتبط با حوزه طراحی.
- مشخص کردن 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 در خصوص دستیابی به پایداری در معماری که از لازمه‌های تأمین اهداف توسعه‌ی پایدار 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

خام را به خود اختصاص می‌دهند [۱۴]. طراحی معماری می‌تواند نقش بسزایی را در افزایش بهره‌وری انرژی و روی آوردن به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، که از لازمه‌های حرکت در جهت توسعه‌ی پایدار 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 توسعه‌ی پایدار 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 بازمی‌گردد. در ابتدا کاربرد اصلی این نرم‌افزارها تسهیل امور مربوط به تهیه مدارک ساخت و ارائه امکاناتی در خصوص 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 این رو 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

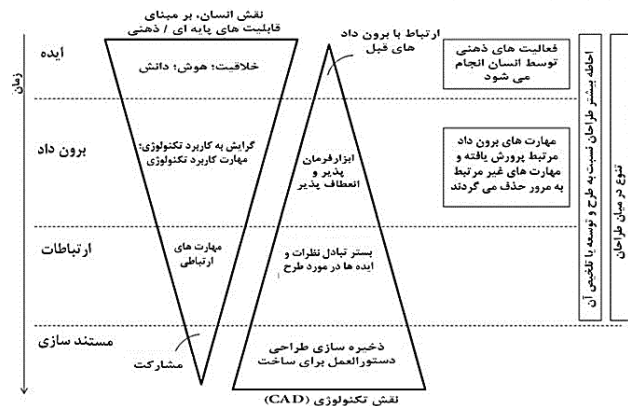
در خصوص شناسایی فرصت‌ها و قابلیت‌هایی که BIM جهت دستیابی به پایداری در معماری ایجاد می‌کند، ناگالینگام و همکاران [۲۱] به موضوع تحویل یکپارچه پروژه (IPD) در این بستر و تأثیر آن بر محصول نهایی اشاره کرده‌اند. چانگ و همکاران [۲۲] معتقدند که استفاده از بستر BIM در طراحی منجر به کاهش ضایعات، هزینه‌های ساخت، تعمیر و نگهداری ساختمان و اشتباهات احتمالی در طراحی می‌گردد. ونگ و همکاران [۲۳] به اتفاق آریایی 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 مهندسی‌دستان‌دراکار در فرایند طراحی را چالش اصلی پیش روی فراگیری 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.

بوئو 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 بدوای محمد [۳۰] در پژوهشی به تبیین مدل دستیابی به اهداف پایداری در طول چرخه‌حیات 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 مهندسی 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.

BIM به واسطه تعیین نحوه برخورد بهینه با سایت پروژه، ارزیابی توده حجمی بنا، دستیابی به نور بهینه روز و انرژی خورشیدی، بهینه‌سازی روش‌های سرمایه‌گذاری و گرمایش غیرفعال خورشیدی و مدیریت آب‌های سطحی و فاضلاب در ساختمان نقش مؤثری در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و حفظ منابع دارد. کتو 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. آزار [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 مهندسی‌دستان‌دراکار و سازندگان، منجر به افزایش بازدهی، کاهش هزینه‌ها و مدیریت بهتر زمان می‌شود. بونبرگ 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 به کار گرفته می‌شوند، پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که عمده مباحث نظری در خصوص 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 در خصوص 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]

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، پیشینه پژوهش و انجام مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با ۸ نفر از گروه خبرگان (که ردیف مربوط به آنها در جدول ۱ بصورت ستاره‌دار است) و مطرح کردن فعالیت‌های اصلی اشاره شده 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 ... تحلیل شده 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 تعیین شده و میزان تأثیرگذاری هر یک 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	مؤنث	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	مؤنث	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

ردیف	جنسیت	سابقه (سال)	تحصیلات	تخصص	جایگاه شغلی
۱۱	مذکر	-	کارشناسی‌ارشد معماری	طراحی فاز یک و دو معماری	مدیرعامل
*۱۲	مؤنث	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	مؤنث	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	مدیرعامل
۱۸	مؤنث	۱۰	کارشناسی‌ارشد معماری	طراحی فاز یک و دو معماری- طراحی نما	مدیرعامل

جهت مشخص شدن میزان تأثیر BIM در هر یک 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 نرمال کردن 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 هر یک 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 حاصل ضرب وزن نسبی در اوزان زیرمعیارها و معیارهای مربوطه تعیین گردید [۱۰].

۴- 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

۶-۳- معماری و توسعه پایدار

پرداختن به ابعاد توسعه پایدار، 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 [۱۷]. این امر منجر به تدوین تعاریف و مؤلفه‌های مربوط به نوعی طراحی هم راستا با اهداف توسعه پایدار 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 منابع طبیعی در این جنبش‌ها که عمده‌تاً 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 توسعه پایدار در حیطه معماری، علاوه بر آن که 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 توسعه پایدار در آن لحاظ شده باشد [۱۲].

و به معنی خارج‌شدن از پوشش و لفاف می‌باشد، یا بروز و ظهور نمودن همه آنچه که به‌طور بالقوه در چیزی وجود دارد. در ربع آخر قرن هجدهم واژه توسعه از علوم طبیعی به علوم اجتماعی 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 علوم اجتماعی بیشتر در علم اقتصاد و جامعه‌شناسی مطرح گردید، بدان گونه که در علم اقتصاد با تأکید بر شاخص‌های کمی بیشتر بر مفهوم رشد دلالت داشت و در حوزه علوم اجتماعی 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 تجدید رسید [۴]. با گذشت زمان مفهوم توسعه به سایر حوزه‌های علوم اجتماعی 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 توسعه پایدار گردیده است.

۶-۲- مفهوم توسعه پایدار

اصطلاح توسعه پایدار نخستین بار در کمیسیون جهانی توسعه و محیط زیست در گزارش آینده مشترک ما (برانتلند) به کار برده شد [۵]. در این گزارش "توسعه پایدار 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 توسعه پایدار روشن‌تر گردید آن چنان که امروزه مفهوم توسعه پایدار 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 روی آوردن 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 توسعه پایدار با رشد اقتصادی و سایر پارامترهای اقتصادی مرتبط است و در آن رفاه فرد و جامعه باید از طریق استفاده بهینه و کارایی منابع طبیعی و توزیع عادلانه منافع حداکثر شود" [۶].

پایداری اجتماعی: بعد اجتماعی توسعه پایدار 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].

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 مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و مدل‌سازی اطلاعات ساختاری به صورت وسیع‌تری در سال ۲۰۰۲ میلادی توسط شرکت Autodesk به کار گرفته 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 دیجیتال مربوط به یک پروژه که حاوی اطلاعاتی در خصوص تمامی اجزا است، در محیطی شبیه‌سازی شده، تولید شده 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 آن را 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، به کار 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 گنجانیدن داده‌هایی مربوط به خواص و ویژگی‌های مختلف هر جزء را فراهم نموده که در انجام تحلیل‌های مختلف بر اجزای مدل هندسی، بسیار راه‌گشا است.

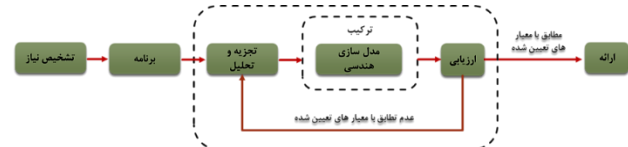
جدول ۲- معیارها و زیرمعیارهای طراحی پایدار منبع: [۱۳] و [۲]

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

۶-۴-۲ کاربرد فناوری‌های طراحی رایانه‌ای در فرایند طراحی

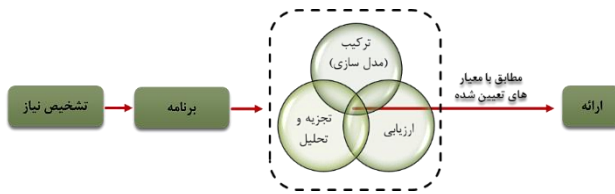
ظهور فناوری‌های رایانه‌ای در فرایند طراحی و تهیه مدارک ساخت به اواخر دهه ۵۰ میلادی و استفاده از بستر CAD که مخفف عبارت استفاده از رایانه به منظور کمک به فرایند طراحی است، باز می‌گردد. اگرچه تاکنون مدل‌های متنوعی از سوی صاحب‌نظران برای فرایند طراحی ارائه گردیده اما به‌صورت کلی می‌توان گفت که فرایند طراحی 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 سوپی را در جهت رسیدن به استانداردها و معیارهای تعیین‌شده در مرحله تعریف مسأله به دنبال دارد. به بیان دیگر عمدتاً فواید کاربرد تکنیک مدل‌سازی CAD



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

۲) BIM به عنوان یک فرایند

به کارگیری 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 به عنوان یک فرایند طراحی دو اصل ارتباطات و همکاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و این امر مستلزم دخیل نمودن 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.

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 ایلموری	انجام تحلیل‌های مربوط به کارکرد ساختمان از لحاظ مصرف انرژی در مراحل اولیه طراحی که منجر به موارد ذیل شده است. انتخاب بهترین گزینه‌ها در خصوص 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 دیپارتمان برنامه‌ریزی. انجام مطالعات مربوط به سایه‌اندازی و یافتن راهبردهای بهینه در خصوص 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]

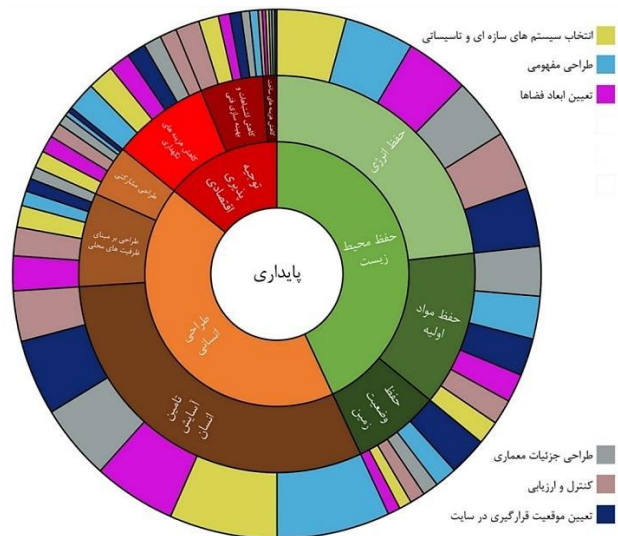
صورت مشوق‌های مالیاتی شامل حال سرمایه‌گذار و یا در طول زمان حیات پروژه در قالب کاهش هزینه‌های مصرفی شامل حال استفاده‌کننده خواهد شد. لذا در طراحی معماری می‌توان اندکی بیشتر به ابعاد زیست‌محیطی و موضوعات انسانی در مقایسه با منفعت اقتصادی پرداخت.

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 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 در جهت دستیابی به 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

گزینه‌ها	حفظ محیط‌زیست		توجیه‌پذیری اقتصادی		طراحی انسانی		دستیابی به اهداف	
	رتبه	وزن	رتبه	وزن	رتبه	وزن	رتبه	وزن
طراحی جزئیات معماری	K	۱۸۰۰۱۵۵۱	۳	۲۱	۰۰۰۳۳۵	۴	۶	۰۰۲۳۸۰
	L	۹۰۰۲۰۷۶		۲۰	۰۰۰۳۵۷		۶	۰۰۴۸۱۲
	M	۵۰۰۲۲۲۴		۱۰	۰۰۰۶۱۷		۱۷	۰۰۴۲۲۶
	N	۴۰۰۲۵۴۸		۸	۰۰۰۶۳۹		۲۰	۰۰۴۰۵۱
انتخاب سیستم‌های سازه‌ای و تأسیساتی	O	۱۲۰۰۱۸۴۰	۴	۲	۰۰۱۲۱۲	۲	۳	۰۰۲۶۲۶
	P	۱۲۰۰۱۸۴۰		۷	۰۰۰۷۰۷		۴	۰۰۵۱۵۸
	Q	۱۶۰۰۱۶۰۴		۱۹	۰۰۰۳۹۳		۱۰	۰۰۴۱۱۴
کنترل و ارزیابی طرح	R	۱۵۰۰۱۷۶۳	۶	۱	۰۰۱۳۴۵	۵	۲۱	۰۰۰۷۱۱
	S	۱۹۰۰۱۳۱۵		۹	۰۰۰۶۳۳		۱۷	۰۰۳۳۲۳
	T	۱۹۰۰۱۳۱۵		۳	۰۰۱۱۹۱		۱۵	۰۰۴۳۸۳
	U	۲۰۰۲۶۰۱		۴	۰۰۰۹۶۳		۱۱	۰۰۵۵۲۶
	V	۱۹۰۰۱۳۱۵		۱۳	۰۰۰۵۵۳		۱۴	۰۰۳۳۵۳



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 به صورت 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

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 اعمال شده 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 مهندسان 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 پایدار 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 مهبلانی، یوسف. معماری پایدار و نقد آن در حوزه محیط‌زیست. انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۳۸۹. (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.

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 می‌تواند 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 بستر ساز 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 توسعه‌ی پایدار 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

- 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 University 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.
- 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. توسعه پایدار در جهان صنعتی و در حال توسعه. رشد آموزش جغرافیه، ۱۳۸۰. ۵۹.
- ۶- زاهدی، شمس‌السادات و نجفی، غلامعلی. بسط مفهومی توسعه پایدار. مدرس علوم انسانی، ۱۳۸۵. ۴۱(۴): ۴۴-۷۶.
- ۷- عزیزی بابانی، محمدحسین. نقش هوشمندسازی ساختمان‌ها در روند حرکت به سمت توسعه پایدار. 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- حسینی، 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, New Jersey: 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- Reyhav, 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.