

## مروری بر پژوهش های حوزه مدل سازی اطلاعات ساختمان و ساخت و ساز پایدار به همراه شناسایی خلاء های تحقیقاتی

نیما کامیاب<sup>۱</sup>، یوسف جعفری<sup>۱</sup>، مصطفی قاضی مرادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات-مرکز آموزش بین المللی قشم

<sup>۲</sup> استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.

نام نویسنده مسئول:

نیما کامیاب

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۱۵

### چکیده

محققان صنعت ساخت و ساز همواره به دنبال روش های جدید برای بهبود پایداری و استقامت ساختمان ها هستند، یکی از این راه حل ها استفاده از فناوری های جدید همچون مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) است. بر این اساس، مقاله حاضر به صورت مروری بر روی مطالعات پیشین در مورد ساخت و ساز پایدار و BIM می باشد تا با بررسی این پژوهش ها به شناسایی خلاء های تحقیقاتی دست پیدا کند. برای دستیابی به مروری جامع و همه جانبه این پژوهش به سه قسمت کلی تقسیم شده است از جمله پژوهش های نویسندگان ایرانی در مجلات معتبر خارجی سپس مقالات فارسی و در آخر مقالات منتشر شده خارجی که در مجلات معتبر علمی که به چاپ رسیده اند مورد بررسی قرار گرفته است. برای مطالعات انگلیسی به طور کلی ۹ اصطلاح مختلف با ترکیب با یکدیگر در مجموعه منابع مربوطه در مورد این موضوع استفاده شده بود و برای مقالات فارسی نیز از ۶ کلید واژه استفاده شده است که در نتیجه 68 مقاله خارجی طی سال های بین ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ و ۲۶ مقاله داخلی در بین سال های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ در این مقاله بررسی قرار گرفتند و در آخر نیز خلاء های تحقیقاتی در این حوزه جهت معرفی به پژوهشگران شناسایی و معرفی شده است.

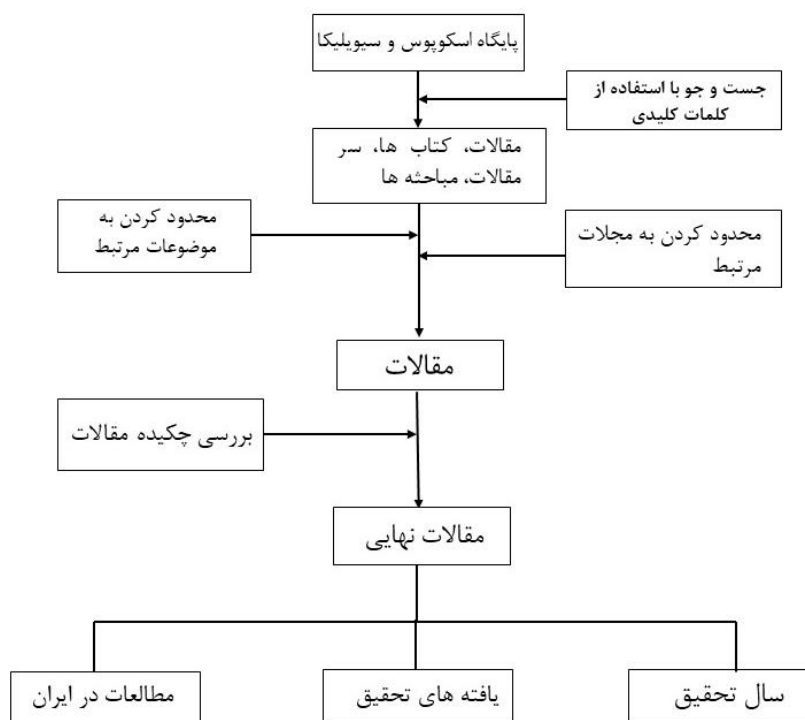
**واژگان کلیدی:** مدل سازی اطلاعات ساختمان، پایداری، ساخت و ساز، پروژه

## مقدمه

مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به عنوان یک اصطلاح، موضوعی جدیدی نیست. مفهوم، رویکرد ها و روش هایی که مدل سازی اطلاعات ساختمان را با آن می شناسیم؛ سال ها است که مورد مطالعه قرار گرفته اند. به خصوص در دهه گذشته مطالعات بسیار زیادی در این مورد انجام گرفته است که یکی از نمونه موارد مرتبط با مدل سازی اطلاعات ساختمان بحث ساخت و ساز پایدار است. مبحث توسعه پایدار یکی از بحث های بسیار مهم و رایج در سطح بین المللی و مهم ترین چالش در توسعه بخش صنعت ساخت و ساز می باشد که مدل سازی اطلاعات ساختمان تاثیر بسزایی در ساخت و ساز پایدار ساختمان داشته است. برخی از جنبه های پایداری (Sustainability) در مطالعات اخیر حوزه BIM نیز برجسته شده است. امروزه مدل سازی اطلاعات ساختمان توجه زیادی را از سوی دانشگاه و صنعت به خود جلب کرده است. BIM نه تنها مزایا فنی در روند توسعه به ارمغان می آورد، بلکه ارائه پلتفرم کار نوآورانه و یکپارچه به منظور بهره وری و پایداری در طول چرخه عمر را به همراه دارد. برای سهولت در پایداری، عناصر اجتماعی، اقتصادی، محیط زیستی به منظور سنجش پایداری بدون در نظر گرفتن سایر زمینه ها، به عنوان معیار اصلی مطرح می باشد. در همین راستا BIM میتواند پایداری ساخت و ساز را بهبود بخشد و طراحی مطلوب تر امکانات و تسهیلات عمومی را برای سهولت زندگی مردم در جامعه فراهم میکند، به همین منظور استفاده از BIM مالکین را قادر می سازد تا از طریق تجسم یک مدل سه بعدی اطلاعات ساختمان پیش از ساخت و ساز، طرح را بررسی و بازخورد دهد. پژوهش ها نشان می دهد که BIM به طور قابل توجهی مسیر پیشروی در ساخت و ساز پایدار را هموار می کند و پیش بینی میشود در آینده با شناسایی و حل چالش های آن به صورت گسترده تر مورد استفاده قرار گیرد.

## روش شناسی

در این مقاله جهت بررسی روند تکامل نقش مدل سازی اطلاعات ساختمان در ساخت و ساز پایدار، از رویکرد مرور پیشینه پژوهش استفاده شده است. در مرحله اول جهت بررسی موضوع از کلید واژه های "BIM" یا "Building Information Modeling" و "Sustainable" یا "Sustainability" یا "Environment" یا "Economic" یا "Cost" یا "Social" یا "Safety" در عنوان مقالات، از پایگاه اسکوپوس جمع آوری شدند. سپس در مرحله دوم با استفاده از گزینه های محدود کننده مقالات ژونالی مربوط به موضوع مهندسی و مدیریتی فیلتر شدند. در مرحله سوم با مطالعه چکیده مقالات، تعدادی از مقالات موضوعات نامرتبط با موضوع حذف شدند. در مرحله آخر نیز با توجه به سال انتشار و کشور های مورد مطالعه فیلتر مورد نظر انجام دسته بندی از نظر سیر تکاملی انجام شد. در مورد مقالات فارسی نیز از جهت بررسی اولیه از کلمات "BIM"، "مدل سازی اطلاعات ساختمان"، "پایداری"، "ساختمان پایدار" از پایگاه های سیویلیکا جمع آوری شده و پس از مطالعه چکیده مقالات با موضوع های نامرتبط حذف و به ترتیب سال انتشار مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۱: روش شناسی مقاله

### تعاریف مختلف از مدل سازی اطلاعات ساختمان و پایداری

جدول ۱: تعاریف مدل سازی اطلاعات ساختمان

تعریف	کتاب یا محقق
BIM به عنوان یک تکنولوژی مدل سازی و مجموعه ای مرتبط از فرآیندهای تولید، ارتباط و تجزیه و تحلیل مدل های ساختمان می باشد.	Eastman et al. (2008)
فرآیند طراحی، تجزیه و تحلیل، یکپارچه سازی و مستند سازی چرخه ای عمر یک ساختمان، با ایجاد نمونه ای مجازی هوشمند از ساختمان با استفاده از پایگاه داده ای از اطلاعات.	Penn State's CIC Research Group
BIM فرآیندی مبتنی بر مدلی هوشمند است که برای ایجاد و مدیریت پروژه های زیرساختی و ساختمانی بینشی اقتصادی و سریع تر، با تأثیرات کمتر زیست محیطی، ارائه می نماید.	Autodesk (2012)
مایه ای دیجیتال از ویژگی های ظاهری و عملکردی یک ساختمان که منبع اطلاعات به مشارکت گذاشته شده ای است که مبنای قابل اتکایی برای تصمیم سازی در دوره حیات پروژه می باشد. (از شروع طراحی شماتیک تا تخریب ساختمان).	NIBS (2007)
مدل سازی اطلاعات ساختمان، توسعه و استفاده ای مدل اطلاعاتی چند وجهی کامپیوتری نه فقط برای مستند سازی طراحی ساختمان بلکه برای شبیه سازی ساخت و عملکرد ساختمان های ایجاد شده و یا نوسازی شده در پروژه می باشد. نتیجه مدل سازی اطلاعات ساختمان، نمایی دارای اطلاعات و ویژگی، شی گرا، هوشمند و ابعادی از ساختمان است که از این منظر نیازهای استفاده کنندگان مختلف استخراج و تحلیل شده بازخورد آن باعث بهبود طراحی ساختمان است.	GSA (2007)

**پایداری:** پایداری، به معنای تداوم در امری همچون فعالیت و ایجاد موازنه ای پویا میان عوامل موثر فراوان نظیر عوامل طبیعی، اجتماعی، اقتصادی مورد نیاز نوع بشر می باشد. پایداری در معنای وسیع خود به توانایی جامعه، اکوسیستم یا هرسیتیم جاری

برای تداوم کارکرد در آینده نامحدود اطلاق می شود، بدون اینکه به طور اجبار در نتیجه تحلیل رفتن منابعی که سیستم به آن وابسته است یا به دلیل تحمیل بار بیش از حد روی آنها، به ضعف کشیده شود(1).

**توسعه پایدار:** ایده پایداری، ریشه در گذشته های دور و تفکرات مرتبط با جنبش های زیست محیطی دارد. رد پای مفهوم پایداری را، در ادبیات جغرافیایی نیز میتوان یافت. شاید بتوان گفت پایداری و مبحث آن، برآیند تفکرات جبر جغرافیایی و امکانگرایی است و اینکه لحاظ نمودن قوانین و محدودیت های محیطی همراه با تفکرات بشر و دوراندیشی او، میتواند به پایداری حیات انسان و اشکال فضایی ساخته شده و طبیعی کمک کند. اما دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی را باید آغاز نگرانی ها و توجه مردم به حفظ محیط زیست و نیز توجه به آثار زیست محیطی در فعالیت های اقتصادی برشمرد. در این سالها اندیشمندان، تخریب و نابودی منابع طبیعی را هشدار دادند و توسعه لجام گسیخته و ناعادلانه کشورهای عقب مانده را گوشزد کردند. طی دهه ۱۹۹۰ میلادی سمینارهای متعددی توسط یونسکو برای دستیابی به توسعه پایدار تشکیل شد و در سال ۱۹۹۷ به منظور ارزیابی میزان پیشرفت اجرایی دستور کار، اجلاسی به نام زمین +۵ از سوی سازمان ملل تشکیل شد تا به موضوعات و بحث های گوناگونی در توسعه پایدار توجه داشته باشد. توسعه پایدار آن نوع از توسعه است که نیازهای نسل حاضر را تامین میکند بدون اینکه توانایی نسلهای بعدی را در برآورده ساختن نیازهایشان تضعیف نماید(2,3).

**ساختمان پایدار:** تعریف ساختمان پایدار بر پایه سه اصل توسعه پایدار شکل گرفته که ساختمان را بخشی از محیط زیست، اقتصاد و اجتماع در نظر می گیرد. در واقع ساختمان پایدار نه تنها به سازگاری با محیط زیست توجه دارد، بلکه پایداری اقتصادی و سازگاری اجتماعی را هم مدنظر قرار داده است. بنابراین به طور خلاصه ساختمان پایدار را می توان این چنین تعریف نمود: ساختمانی که کمترین ناسازگاری و مغایرت را با محیط طبیعی پیرامون خود و در پهنه وسیع تر با منطقه و جهان دارد(4).

**ساخت و ساز پایدار:** ساخت و ساز پایدار این چنین تعریف شده است: "مدیریت یک محیط پاک و سالم بر اساس بهره برداری مؤثر از منابع طبیعی و اصول اکولوژیکی". یک محیط پاک و سالم براساس بهره برداری مؤثر از منابع طبیعی و اصول اکولوژیکی که هدف از طراحی ساختمانهای پایدار کاهش آسیب آن بر روی محیط و منابع انرژی و طبیعت است، که شامل قوانین (۱) کاهش مصرف منابع غیر قابل تجدید (۲) توسعه محیط طبیعی (۳) حذف یا کاهش مصرف مواد سمی و یا آسیب رسان بر طبیعت در صنعت ساختمان سازی(5).

### پیشینه پژوهش های داخلی کاربرد مدل سازی اطلاعات ساختمان در ساخت و ساز پایدار

در مبحث مدل سازی اطلاعات ساختمان و ایمنی، مالکی تبار و همکارانش در سال ۲۰۱۵ (6) در پژوهشی با هدف شناسایی خودکار مسائل ایمنی با استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان انجام داده اند. در این پژوهش نیاز به شناسایی انواع ریسک که در مرحله طراحی قابل شناسایی هستند پیشنهاد شده است. در این پژوهش با بررسی گزارش های حوادث و شرایط محیطی، پنج مجموعه از محرک های ایمنی که میتواند احتمال یا عواقب حادثه احتمالی را تحت تاثیر قرار دهد را مورد بررسی قرار داده و در نتیجه پیشرفت مدل سازی اطلاعات ساختمان، سطح مدیریت ایمنی پروژه به سطح قابل قبولی می رسد.

شیخ خوشکار و همکارانش در پژوهشی در سال ۲۰۱۸ (7) به بررسی کاربرد مدل سازی اطلاعات ساختمان برای تبیین شاخص های کلیدی مؤثر در عملکرد (KPI) پروژه های ساخت و ساز در ایران پرداخته است. این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت بندی کاربرد های BIM با رویکرد KPI و با توجه به مرحله چرخه عمر پروژه در ایران پرداخته است. در نهایت مشخص شد که بهبود کیفیت، ساخت و ساز پایدار و کاهش هزینه سه شاخصه اصلی KPI هستند. همچنین مشخص شد که هماهنگی پروژه، تشخیص تداخل، 5D و 4D در BIM اثرات سودمندی در پروژه ساخت و ساز در ایران با توجه به رویکرد KPI دارد.

جلائی و همکارانش در پژوهشی در سال ۲۰۱۹ (8) به بررسی ارزیابی تاثیرات محیط زیستی چرخه زندگی برای بهینه سازی و مدیریت پسماند های ساختمانی با استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان پرداخته است. روش متدوالی که برای کمی سازی این موضوع به کار گرفته میشود، ارزیابی چرخه زندگی (LCA) است که مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) یک بستر ایده آلی برای ادغام این روند است. این پژوهش با هدف تعیین کمیت زباله های تولید شده یک ساختمان در چرخه حیات انجام شده که برنامه ای هدفمند را برای ساختمانی واقعی به منظور نشان دادن و به سودمندی، قابلیت ارتقاء و توسعه آن پرداخته اند.

کاوه و دادرس در پژوهشی در سال ۲۰۲۰ (9) به بهینه سازی اجزای ساختمان به وسیله مدل سازی اطلاعات ساختمان با توجه به جنبه های پایداری پرداخته اند. در این پژوهش چارچوبی برای مدل سازی اطلاعات ساختمان به عنوان یک رویکرد موفق در صنعت AEC پیشنهاد داده و به این نتیجه رسیده اند که این رویکرد امکان کمترین دخالت انسان در فرآیند انتخاب و بهینه ترین ترکیب را برای اجزا ساختمان فراهم میکند.

جدول ۲: خلاصه ای از مطالعه های داخلی بررسی شده

عنوان مقاله	نام پژوهشگر	سال پژوهش	خلاصه مقاله
به کارگیری تکنولوژی مدل سازی اطلاعاتی ساختمان BIM (جهت کاهش زمان و هزینه ترمیم و بهسازی ساختمان ها) (10)	غمخوار	۱۳۹۱	ارزیابی قابلیت های پیشرفته تکنولوژی BIM و نرم افزار های مربوطه به همراه معرفی راهکار های عملی به کارگیری آن در جهت کاهش زمان و هزینه.
بررسی روند بکار گیری پیکره سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و نحوه پیاده سازی آن در پروژه های عمرانی (11)	ابراهیمی و شاکری	1392	ارزیابی روند رشد استفاده از استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان از طریق پرسشنامه.
بررسی و مطالعه ی مدل سازی اطلاعاتی ساختمان BIM و نحوه ی پیاده سازی آن جهت کاهش زمان و هزینه و مصرف انرژی در ساختمان (12).	کشتی آرای	۱۳۹۳	معرفی عملکرد BIM و همچنین بررسی نحوه تاثیر گذاری آن به همراه مزایا و چالش های BIM اشاره میکند
نقش ابزار های BIM در جلوگیری از امکان از دست رفتن اطلاعات در خلال مرحله ی طراحی و ساخت (13).	طیبه فلاح و گرامی	۱۳۹۳	نقش استفاده از ابزار های BIM برای جلوگیری از دست رفتن اطلاعات بسیار موثر بوده و این ابزار امکان تلفیق و یکپارچگی در پروژه را تحقق می بخشد.
کاربرد مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM در فاز اجرای پروژه های ساخت (14).	ستوده بیدختی	۱۳۹۴	معرفی تکنولوژی BIM و بررسی عملکرد آن در پروژه های ساخت.
مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در مدیریت ساخت پروژه های ساختمانی (15).	عظمتی و جواهر پور	۱۳۹۴	به شناخت مدل سازی اطلاعات ساختمان و مزایا و روش های طراحی در مدیریت ساخت پرداخته است.
مدیریت و بکار گیری مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM (16).	نیک سرشت	۱۳۹۴	با جمع آوری اطلاعات از طریق پرسشنامه، به بررسی روند رو به رشد استفاده از BIM پرداخته است.
عملکرد و جایگاه پیمانکاران در مدیریت پروژه ها با بهره گیری از تکنیک مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM (17).	کاکانزادی فرد و همکارانش	۱۳۹۴	به معرفی BIM و بررسی عملکرد و نقش آن در پروژه های عمرانی پرداخته است.
طراحی پایدار و موفق با استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان (18).	همتیان پور و کراهی مقدم	۱۳۹۴	به بررسی راهکارهای مختلف برای توسعه پایدار با استفاده از BIM در پروژه های ساختمانی پرداخته است.

استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در طراحی های سازگار با محیط (19).	علیزاده نوذری	۱۳۹۴	به بررسی اثر BIM بر روی ایجاد طرح های سازگار با محیط زیست پرداخته شده است.
شناسایی تداخل های زمانی فضایی در پروژه های ساختمانی و ارزیابی کمی تاثیر آنها با استفاده از مدل چهاربعدی اطلاعات ساختمان 4D-BIM (20).	میرزایی و همکارانش	۱۳۹۴	در این پژوهش به شناسایی تداخل های زمانی فضایی و ارزیابی کمی تاثیر آن ها مبتنی بر شبیه سازی چهار بعدی با هدف بهبود روش های برنامه ریزی فضا های کاری در پروژه های ساختمانی صحبت شده است.
استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در بهبود برنامه ریزی بازسازی ساختمان های شهری (21).	اسماعیل زاده و اسماعیلی زاده	۱۳۹۵	این پژوهش با هدف بررسی روند دخیل نمودن BIM در پروژه های بازسازی برای بهبود برنامه ریزی، کاهش هزینه و... در قالب نرم افزار نویس ورک پرداخته که در آخر با توجه به پیش نیاز های فراوان BIM در پروژه ها، اجرای این متد برای همه پروژه ها در ایران مناسب ندانسته اند.
ارزیابی نیاز به مطالعه و بررسی بهبود روند ساخت پذیری پروژه های ساخت و ساز کشور با استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM (22).	صمیم پی و سقط فروش	۱۳۹۵	در این پژوهش به شناسایی تلفیق استفاده از BIM در موانع قبل از فاز اجرا به منظور کاهش اتلافات و جلوگیری از شتباهات، تاخیر ها، دوباره کاری پرداخته است.
بکارگیری مدلسازی اطلاعات ساختمان در طراحی پایدار (23).	رضوانی فر و مسلمان یزدی	۱۳۹۵	در این پژوهش ضمن معرفی قابلیت های این فناوری و نیز بیان اصول طراحی پایدار، مزیت های استفاده از فن آوری های استفاده از BIM در دستیابی به معماری پایدار بررسی شده است.
بررسی اثر مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) بر کنترل و کاهش هزینه احداث ساختمان ها (براساس حجم کار) در ایران (24).	ربیعی و حیدری	1396	استفاده از BIM در ساختمان های کوچکتر از ۱۲ طبقه و ۶۰۰۰ متر مربع زیربنا، صرفه اقتصادی نداشته و فقط برای ساختمان های بالاتر از این سطح مقرون به صرفه خواهد بود.
علل عدم استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM در پروژه های ساخت و ساز ایران (25).	موسویان و سلامی	۱۳۹۶	از نویسندگان مهمترین علت عدم استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان در عدم آشنایی کارفرمایان با مزایای BIM در اجرای پروژه ها می باشد.
بررسی عوامل تاثیرگذار توسعه پایدار بر اجرای ساختمان سازی پایدار Sustainable Building (26).	زرین نقش	۱۳۹۷	به بررسی مولفه های محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی پرداخته است که در هر سه مولفه در مطالعه موردی بسیار ضعیف عمل شده است.
بررسی تحلیلی آثار تلفیق ساخت و ساز ناب (LC) با تحویل یکپارچه پروژه (IPD) و مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM) (27).	علمداری و عبادی	۱۳۹۷	در این پژوهش به بررسی خروجی حاصل از آثار تلفیق این سه معیار در پرسشنامه ها بهبود فرآیند های مدیریت پروژه است و بالاترین اولویت و بیشترین تاثیر گذاری در فرآیند

طراحی، ساخت و بهره برداری چرخه حیات یک پروژه را به خود اختصاص داده است.			
در این پژوهش به بررسی و مقایسه مدل سنتی و روش مدل سازی اطلاعات ساختمان پرداخته است.	۱۳۹۸	اکبری و همکارانش	بررسی مزیت های استفاده از مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM) در طراحی پایدار (28).
به بررسی تاثیر مدل سازی اطلاعات ساختمان بر جهت گیری مناسب ساختمان در راستای کاهش نیاز به انرژی و از طرفی تاثیر راهکار های دیگر مانند انرژی های تجدید پذیر و غیره را با توجه به حجم ساختمان توسط مدل سازی اطلاعات ساختمان نیز اشاره کرده است.	۱۳۹۸	شرائی و همکارانش	بررسی مزیت های استفاده از مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM) در طراحی پایدار (29).
با مطالعه موردی به این نتیجه رسیدند که اجرای موفق یکپارچه سازی سازی LCA و BIM به منظور بهینه سازی انرژی و تاثیرات زیست محیطی مصالح ساختمانی باعث پیشرفت قابل توجهی در روند تصمیم گیری دارد.	۱۳۹۹	شاه محمدی و اخلاصی	یکپارچه سازی ارزیابی چرخه حیات LCA و مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM به منظور به بهینه سازی انرژی و تاثیرات زیست محیطی مصالح ساختمانی در مرحله طراحی مفهومی (30).
و بر اساس نتایج این پژوهش اثبات شد که پیش نیاز های احتمال وقوع حادثه با قابلیت های مدل سازی اطلاعات ساختمان قابل پیشگیری و کاهش است.	۱۳۹۹	فرصت کار و ورزنده	ارزیابی یکپارچگی بین قابلیت های دیجیتال سیستم BIM در راستای پیاده سازی مدیریت ایمنی در پروژه های ساخت و ساز (31).

در حال حاضر تمرکز اکثر مطالعات داخلی که در راستای مدل سازی اطلاعات ساختمان و ساخت و ساز پایدار در راستای معرفی مفاهیم این موضوع ها و معرفی کاربرد نقش مدل سازی اطلاعات ساختمان در ساخت و ساز پایدار است، اما در سال های اخیر تعداد پروژه هایی که به بررسی تلفیق مدل سازی اطلاعات ساختمان و ابعاد مختلف ساخت و ساز پایدار به صورت کاربردی پرداخته است رو به افزایش میباشد اما به جهت تقویت نتایج حاصل از پژوهش ها، نیاز است که بیشتر به صورت عملی و کاربردی تر در پروژه های مختلف ساخت و ساز به بررسی خلا ها و پیچیدگی های به کارگیری مدل سازی اطلاعات ساختمان در ساخت و ساز پایدار در ایران به صورت عملی و کاربردی پرداخته شود.

### پیشینه مطالعات خارجی کاربرد مدل سازی اطلاعات ساختمان در ساخت و ساز پایدار

مطالعاتی در مورد برآورد هزینه، سود حاصل از به کار بردن BIM در صنعت ساخت و ساز، تحلیل هزینه چرخه حیات در پروژه های ساختمانی. Love, PED یکی از محققانی که دیگران بیشتر استناد را به او کرده اند و نویسنده چندین مقاله در زمینه BIM و ساخت و ساز پایدار است که در سال ۲۰۱۱ است به گونه ای معنادار بر جنبه خاصی از پایداری تاثیر گذاشت. Love مقاله هایی با هدف کاهش خطای طراحی با استفاده از ابزارهای BIM نگاشت که بی شک می تواند تاثیر بسزایی بر هزینه های پروژه بگذارند (32) و در مورد منافع مالی به دلیل استفاده از BIM برای صاحبان سرمایه اثرگذار است. اخیرا Love بر پتانسیل BIM در فرآیندهای حصول سرمایه های باطل نشدنی به خصوص در زمینه زیرساخت های راه آهن تمرکز کرده است (33,34). این مطالعات نشان داد که BIM به تنهایی برای جلوگیری از وقوع خطا های طراحی کافی نبود. زیرا مشارکت قابل توجه عامل انسانی وجود داشته است. علاوه بر این تحلیل بازگشت سرمایه (ROL) روشی نامناسب را برای ارزیابی هزینه های ابزار و آموزش BIM نشان داد زیرا روشی قابل قبول برای اندازه گیری مزایا و سود BIM ارائه نمی دهد. اختلاف قابل توجهی بین نتایج ROL



به دست آمده از دیگر مطالعات نیز می‌تواند این بحث را توجیه کند (35). به علاوه ظرفیت BIM برای جلوگیری از اطلاعات چرخه حیات پروژه‌ها آن را ابزاری خاص برای اندازه‌گیری عملکرد در سراسر چرخه حیات یک دارایی می‌کند (برای مثال هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری). بنابراین گنجاندن BIM در فرایندهای فراهم‌سازی برای باطل‌نشدن پروژه‌ها (به عنوان مثال حفاظت از ارزش دارایی) و برای اندازه‌گیری این عملکرد در طول چرخه حیات آن‌ها بسیار رایج شده است. استدلال‌ها توسط مطالعات دیگر پشتیبانی شده‌اند (36).

Hu و Zhang در پژوهشی در سال ۲۰۱۱ (37) یکی از تاثیرگذارترین مقالات را در مورد موضوع و ادغام BIM با مدیریت برنامه (همچنین به عنوان BIM ۴ بعدی شناخته می‌شود) و تحلیل امنیت را برای نخستین بار نوشتند. با تلفیق اطلاعات هندسی با برنامه، مواد و اطلاعات زمان (بر اساس داده‌های تاریخی) مطالعه آن‌ها پتانسیل BIM را برای شناسایی سریع خطاهای طی کار و درگیری‌ها را نشان داد. اهمیت داده‌های تاریخی در بهبود تحلیل امنیت جنبه‌ای بود که بعداً توسط چندین محقق تایید شد در آن BIM نقشی محوری در کمک به شناسایی اغلب تصادفات رایج را بازی می‌کرده (38,39).

مزیت اجتماعی دیگر استفاده از BIM نقش آن بر بهبود راحتی کاربر و کمک به ارزیابی عملکرد ساختمان است. این جنبه اغلب توسط محققان نادیده گرفته می‌شود. اغلب مطالعات گذشته بر مزایای بالقوه استفاده از BIM برای طراحان، مشتری‌ها و پیمانکاران تمرکز دارند تا بر روی کاربران. همان‌طور که در (40) بحث شده. در این راستا، ارزیابی پس از اشغال (POE) شاخص‌های کلیدی برای اندازه‌گیری موفقیت استفاده از BIM در بهبود عملکرد ساختمان‌ها فراهم می‌آورد. افزایش مجموعه اطلاعات خودکار از این شاخص‌ها فایده دیگر استفاده از BIM است (40). همچنین با تمرکز بر راحتی کاربر و ارزیابی عملکرد ساختمان تحقیق Fischer و Welle, Rogers در سال ۲۰۱۲ (41) در میان نخستین مطالعات پتانسیل BIM برای شبیه‌سازی روشنایی روز طی مرحله طراحی بود. آن‌ها عملکرد روشنایی روز ساختمان را بر اساس اطلاعات هندسی موجود در مدل BIM تخمین زدند و زمان شبیه‌سازی را ۷۹ درصد کاهش دادند. در مورد مرحله عملیاتی ساختمان مشاهده شد که BIM و GIS می‌توانند برای ارزیابی راحتی ساکنان استفاده شوند (42).

مطالعات حفاظت از آتش‌سوزی و برنامه‌ریزی اضطراری بودند که در این موضوع به بررسی ادغام BIM با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای مدیریت واکنش در مقابل آتش (43) به عنوان یکی از رایج‌ترین موضوعات این منبع پرداخته است. بر اساس اطلاعات هندسی و معنایی موجود در مدل‌های BIM نویسندگان ابزاری را توسعه دادند که کوتاه‌ترین مسیر از ایستگاه آتش‌نشانی به مکان ساختمان را نشان دهد. با این حال همان‌گونه که Chen, Wu, Shen و Chou (44) در سال ۲۰۱۴ بحث کرده‌اند رویداد آتش‌سوزی یک وضعیت پویاست و برخی شرایط ممکن است در یک لحظه تغییر کنند (به عنوان مثال موقعیت کامیون‌های آتش) به جای این که به مدلی ثابت تکیه شود؛ همانگونه که در (43) آمده است.

یک مقاله جامع و پراستناد توسط Basbagill و همکاران در سال ۲۰۱۳ (45) به چاپ رسید که پتانسیل ادغام BIM-LCA را در مراحل ابتدایی پروژه بررسی می‌کرد. با استخراج اطلاعات هندسی از مدل‌های BIM و دادن آن به ابزارهای LCA نویسندگان رویکردی را توسعه دادند که می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب محصولاتی سازگار با اکوسیستم کمک کند. این رویکرد سپس در دیگر مطالعات تکرار شد (46-48). با اخیراً بحث شده که کار آینده در بررسی گردش کار بین ابزارهای BIM و LCA ضروری است (48,49) با رویکردی مشابه Jade and Jalaei نیز در سال ۲۰۱۳ (49) از تولید حاصل از ابزارهای BIM برای تغذیه ابزار LCA استفاده کردند تا اثرات زیست محیطی ساختمان را به دست آورند. با این حال هدف آن‌ها درک پتانسیل ابزارهای BIM برای پشتیبانی از واگذاری صدور مجوز‌هایی مثل رهبری در انرژی و طراحی محیط زیست (LEED) و روش ارزیابی زیست محیطی تحقیقاتی ساختمان (BREEAM) بوده، این روند دیگری است که اخیراً بیشتر تحت بررسی قرار گرفته است (50,51). یافته‌های آن‌ها نشان داد که استفاده از BIM به دستیابی به LEED با سرعت محاسباتی بیشتر نسبت به رویکردهای سنتی کمک کرد. مطالعه دیگری نشان داد که BIM می‌تواند به طور خودکار ۷ معیار BREEAM و ۸ معیار LEED را ارزیابی کند (50).

Akinci و Ding, Zhou در پژوهشی در سال ۲۰۱۴ (52) منابع موجود درباره کاربرد BIM در مدیریت زیست محیطی و امنیت را آنالیز کردند. طبق یافته‌های تحقیق، نویسندگان بحث کردند که امنیت و مدیریت برنامه باید هر دو کنترل شوند تا از



حفاظت کارگران اطمینان حاصل شود. به علاوه نویسندگان انتشار دی اکسید کربن مواد اولیه را برای مدل ۴ بعدی BIM محاسبه کردند که نشان داد که مدیریت برنامه کاربردی بالقوه در دیگر زمینه‌ها دارد. سرانجام نمایش یک برنامه BIM در ارزیابی زیست محیطی در دوره‌های آموزشی نیز نمایش داده شد (53,54) در این مطالعات نویسندگان موفقیت به کارگیری BIM را در یک رشته دانشگاهی و اثر هم افزایی آن با اصول ساخت و ساز پایدار را بررسی کردند (برای مثال استفاده از شبیه‌سازی‌های مبتنی بر BIM) در پایان دوره نویسندگان نتیجه گرفتند که در میزان اعتماد به نفس دانشجویان در مورد مهارت‌های BIM و کیفیت عملکردی انرژی طرح سبز آن‌ها افزایش وجود داشته است.

مبادلات تجاری بین هزینه و اثر زیست محیطی پروژه‌های ساخت و ساز و یا محصولات با ادغام پایگاه‌های داده‌ای LCC همراه با گواهی‌نامه سبز خودکار در ساختمان‌ها و اثرات هزینه‌ها و زیست محیطی که باعث ضایعات ساخت و ساز می‌گردد، تمرکز دارد. نخستین مقاله‌ای که بر این جنبه متمرکز بوده نشان داد که معاملات بین اتلاف حرارت خاص و هزینه‌های چرخه حیات در روش‌های مقاوم‌سازی هست (55). با استخراج اطلاعات کمی از مدل BIM نویسنده برآورد کرده که مقاوم‌سازی می‌تواند به طور متوسط ۵۱ درصد در انرژی و انتشار کربن صرفه‌جویی در پی داشته باشد. در حالی که هزینه‌های چرخه حیات را کم می‌کند. مطالعات جدیدتر نیز از رویکردی مشابه استفاده کردند (56,57). برای مثال Shin و Cho در سال ۲۰۱۵ (57) چارچوبی را برای بهبود ادغام BIM با روش‌های LCA و LCC بهبود بخشیدند که نتایج سریع‌تر نسبت به رویکردهای سنتی داشت. با این حال همانگونه که در گذشته اشاره شد کمبود کتابخانه‌هایی با اطلاعات LCA و LCC اتوماسیون‌سازی این چنین تحلیل‌هایی را مانع شده محدودیتی که چندین بار در منابع مطرح شده ولی هنوز لاینحل باقی مانده است. با این وجود، محققان به شدت در حال بررسی ادغام BIM با LCA و LCC هستند. که اخیراً یکی از موارد موردعلاقه در این زمینه است (58,59). به علاوه BIM همچنین می‌تواند برای نظارت بر مصرف انرژی و هزینه‌های مربوطه طی مرحله عملیاتی مورد استفاده قرار گیرد (60). بنابراین تصمیم‌گیری مدیران امکانات را ساده می‌سازد. مطالعات دیگری بر استفاده از BIM برای بهبود طراحی پنل‌های فتوولتائیک (PV) (61)، دستیابی به افزایش عملکرد طراحی ۲۶۵ درصدی توسط اتوماسیون نسبی تحلیل سیستم PV متمرکز بودند.

Teizer, J و Zhang, S که دو نفر از سازنده‌ترین و تاثیرگذارترین نویسندگان ساخت و ساز پایدار و BIM بودند در سال ۲۰۱۵ که کار خود را در این جنبه خاص ساخت و ساز توسعه دادند. آن‌ها اغلب روی تحلیل خودکار امنیت بر پایه بررسی قانون، خطرات ایمنی که ممکن است ناشی از استفاده از داربست باشد، سیستم‌های مکانی realtime و اخیراً موقعیت خطرناک نزدیک با تجهیزات سنگین تحقیق کردند. در مقالات اولیه آن‌ها نویسندگان از BIM برای بهبود اطلاعات هندسی پروژه، تجسم خطرات ایمنی در برنامه‌های ساخت و ساز (62) و برآورد درست هزینه مواد به کار رفته در تجهیزات ایمنی مورد نظر و داربست (63) استفاده کردند. سپس مزایای استفاده از حسگرها در کلاه‌های ایمنی کارگر در بهبود مدیریت ایمنی مورد بررسی قرار گرفت و این می‌تواند به عنوان روندی جدید در این زمینه در نظر گرفته شود (64,65). یکبار دیگر پتانسیل BIM به عنوان یک ابزار تصویرسازی نشان داده شد. کار جامع آن‌ها نشان داد که BIM می‌تواند به طور موثری برای تجسم موقعیت realtime کارگران/تجهیزات و فضاهای مورد نیاز برای فعالیت‌های ساخت و ساز مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین فضای کار بالقوه را که تماس خدمه با تجهیزات سنگین را بیشتر می‌کند کاهش داد (66,67). با این وجود انتظار نمی‌رود که مدل‌های BIM همه خطرات طی مرحله ساخت و ساز را حل کند (برای مثال اثر آب و هوا بر مکان ساخت و ساز) و تحقیق بیشتری برای شناسایی خطرات ایمنی و شدت آن‌ها طی فعالیت‌های ساخت و ساز مورد نیاز است. پیش‌بینی می‌شود که داده‌های تاریخی برای درس گرفتن از پروژه‌های گذشته همانگونه که در (68) نشان داده شده استفاده شوند. همچنین برخی دیگر روی کاهش خطرات ایمنی با استفاده از شناسایی خطر بر اساس BIM، شناساگرهای منطقه و ابرسکو (69) کار کرده‌اند. در این مطالعه BIM برای تعیین مکان‌های خطر استفاده می‌شود و به کاربران این امکان را می‌دهد که اطمینان بیشتری به مدیریت امنیت تا ۹۷/۵ درصد داشته باشند وقتی که به اطلاعات حسگر دسترسی دارند.

Ajaji و همکارانش در سال ۲۰۱۵ (70) بر شناسایی استراتژی‌های احتمالی برای کاهش شدت ضایعات ساختمانی و دوام اقتصادی سناریوهای مختلف تصفیه زباله متمرکز بودند. در مطالعه آن‌ها ادغام BIM با روش‌های تحویل یکپارچه پروژه (IPD) و قابلیت همکاری بین BIM و ابزار مدیریت پسماند به عنوان راه‌حلی بالقوه برای کاهش هدر رفت مواد اولیه برجسته شد.

همچنین این موضوع قابل بحث است که باز یافت راه حلی برای کاهش موثر تاثیرات پایان زندگی ساختمان نیست زیرا نیاز است که نخاله‌های ساختمانی به محلی با امکانات تصفیه‌ای منتقل گردند (جدا از خود فرایندهای تصفیه پسماند). بنابراین انتظار می‌رود که مطالعات آینده سبب پیشرفت در قابلیت استفاده مجدد از مواد شوند (به عنوان مثال استفاده از سیستم‌های ساختمانی قابل باز یافت و جلوگیری از اتصالات ثابت) برای جلوگیری از تولید پسماند. با توجه به این موضوع، استفاده از فناوری‌های جدید و رویکردهای تصفیه پسماند جدید (برای مثال اقتصاد چرخشی) می‌تواند راه‌حل مناسب‌تری را نسبت به روش‌های سنتی (مثل اتخاذ شاخص قابل باز یافت بودن برای هر ماده‌ای داخل پروژه‌های BIM) ارائه دهد. سرانجام تغییر سیاست‌های عمومی و قانون اساسی به منظور بهبود استفاده مجدد و باز یافت مواد از مرحله شروعی کار (به عنوان مثال توسعه IPD های مناسب) ضروری است، زیرا اخیراً تصور می‌شود که حمل نخاله به محل دفن زباله نسبت به امحای آن ارزان‌تر است.

نویسندگانی بر ارزیابی راحتی کاربران در درون خانه و هزینه‌های مربوط برای بهبود آن تمرکز کردند (71,72). برای مثال Kim و Park در سال ۲۰۱۶ (۱۲۶) اطلاعات موجود در مدل BIM را استخراج کردند (برای مثال مواد اولیه، هزینه و هندسه) تا هزینه و کارکرد دمایی را برای نوسازی در مراحل اولیه پروژه برآورد کنند. با این حال به این دلیل که عناصر BIM (مثل دیوارها و درها) اطلاعات اقتصادی نداشتند نویسندگان مجبور شدند تا این اطلاعات را به صورت دستی وارد کنند که این مسئله این واقعیت را نشان می‌داد که در استاندارد سازی پارامترهای عناصر BIM کمبود وجود دارد. مشکلی مشابه در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۶ که توسط Woo, Peterson و Gleason (72) مشاهده شد. نویسندگان از BIM برای انتخاب مقرون به صرفه راه‌حل نوسازی در بهبود عملکرد انرژی ساختمان استفاده کردند برای بهبود اتوماسیون تحلیل هزینه و انرژی پارامترهای مشترک به مدل برای ذخیره اطلاعات مربوط به انرژی حاصل از حسگرها افزوده شدند.

Saccucci و Rea, Pelliccio, Ottaviano در پژوهشی در سال ۲۰۱۷ (73) در مورد استفاده از فناوری‌های ارزان قیمت برای نمایش ساختمان‌های میراث فرهنگی و کاهش هزینه‌های نگهداری تحقیق کردند. یک هواپیمای بدون سرنشین با اسکن لیزری و دوربین، اسکن لیزری از ساختمان فرهنگی را انجام داد و توانست یک مدل ساخته شده BIM خلق کند که برای کمک به توسعه یک نقشه نگهداری دقیق می‌تواند استفاده شود. گرچه استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین برای ایجاد مدل‌های ساخته شده طی مراحل عملیاتی اخیراً مسئله مهمی شده (برای مثال ایجاد مدل‌های ساخته شده میراث فرهنگی و شناسایی نقاط گرم)، هنوز خلایی در منابع در مورد کاربرد هواپیماهای بدون سرنشین طی مرحله ساخت و ساز وجود دارد. انتظار می‌رود که در آینده محققان به بررسی پتانسیل استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین برای به نمایش گذاشتن فعالیت‌های ساخت و ساز و تولید مدل‌های از پیش ساخته شده برای کنترل کیفیت، خواهند پرداخت.

طبق تحلیل اطلاعاتی و منابع LCA و LCC رایج‌ترین شیوه‌های مورد استفاده برای ارزیابی اثرات زیست محیطی و اقتصادی چرخه حیات پروژه هستند و رویکردی جدید را در این زمینه نشان می‌دهد. برای مثال Ahmadian و همکارانش در سال ۲۰۱۷ (74) چارچوبی پیشنهاد کردند که می‌تواند در ارزیابی پایداری مدیریت زنجیره تامین مواد مورد استفاده در ساخت و ساز مورد استفاده قرار بگیرد. سرانجام متغیرهای مختلف مورد سنجش قرار گرفتند تا یک شاخص واحد پایداری ایجاد شود و بتواند راه‌حل‌ها را رتبه‌بندی کند رویکردی که در (75) هم دنبال شد. این مطالعات نشان دادند که تولیدکنندگان محلی اثرات زیست محیطی و اقتصادی کم‌تری دارند اما اطلاعات بایستی به طور صحیحی طی مرحله ساخت و ساز جمع‌آوری گردند تا ارزیابی درستی از پایداری پروژه‌ها صورت گیرد (74). بنابراین جمع‌آوری اطلاعات ملی که بر مسائل زیست محیطی و هزینه محصولات و فاکتورهای اجتماعی (مثل شرایط کار و حقوق کارگران) در تولید منطقه‌ای و ملی متمرکز هستند ضروری است. اساساً اطلاعات به دست آمده در تطابق با ابزارهای مبتنی بر BIM هستند تا اتوماسیون ارزیابی پایداری پروژه‌های ساخت و ساز را بهبود بدهند. برای این منظور برنامه‌های BIM باز مثل IFC باید برای تبادل اطلاعات بین تولیدکنندگان و مدل‌های BIM استفاده شوند. با این حال IFC هنوز خصوصیتی مفید را برای ارزیابی پایداری ساختمان‌ها کم دارد (مثل استفاده مجدد از مواد). بنابراین در آینده در مورد توسعه آن کار بیشتری مورد انتظار است همین طور در مورد پیشنهاد هستی‌شناسی‌های جدید که دامنه‌های ساخت و ساز پایدار را پوشش می‌دهد.

در جدول شماره دو به اختصار به خلاصه‌ای از دیگر مقاله‌های خارجی که به موضوع پژوهش پرداخته اند اشاره شده است.

جدول ۳: خلاصه مطالعه های بررسی شده

عنوان مقاله	نام پژوهشگر	سال پژوهش	خلاصه
معیار های پایداری برای تصمیم گیری در صنعت آب انگلیس (76)	Foxon و همکارانش	2002	معرفی یک سیستم تصمیم گیری برای معیار پایداری در صنعت عمرانی
ارزیابی عملکرد پایداری در صنایع (77)	Labuschag و nea همکارانش	۲۰۰۵	تعریف چهار عامل اصلی برای دستیابی به پایداری (شامل اقتصادی، شرکتهای، محیط زیست و اجتماعی)
کاربرد MCDN و BIM برای ارزیابی و توسعه مجدد روش های انجام کار (78)	Pavlovski و S همکارانش	۲۰۰۵	تلفیق BIM و MCDN میتواند رویکرد های سودمندی برای ترکیب گزینه های مختلف برای جهت انتخاب بهتر فراهم سازد.
نقش مدل سازی اطلاعات ساختمان بر اساس تکنولوژی هوشمند پارامتریک (79)	Zeng و Tan	۲۰۰۷	مقایسه فناوری دو بعدی کد با فناوری مدل سازی هوشمند پارامتریک مبتنی بر مدل سازی اطلاعات ساختمان که فناوری پارامتریک هوشمند جایگزین معماری با کمک رایانه خواهد شد.
تجزیه و تحلیل مدل سازی اطلاعات ساختمان برای تحلیل پایداری (80)	Azhar و Brown	2009	این پژوهش با هدف تعیین وضعیت فعلی و مزایا استفاده از BIM به همراه ارزیابی نرم افزار های مختلف برای توسعه مفهومی استفاده از BIM در ساخت و ساز پایدار پرداخته است.
تلفیق BIM و سیستم های پویا برای تصمیم گیری جهت طراحی و بهره برداری ساختمان پایدار (81)	Bank و همکارانش	۲۰۱۰	استفاده از BIM میتواند کارایی تصمیم گیری را بهبود می بخشد.
اصول ها و روش های تجزیه و تحلیل BIM و بعد چهارم به همراه بررسی مشکلات ایمنی در حین ساخت (82)	Zhang و Hu	۲۰۱۱	با توجه به اهمیت ایمنی و تاثیر اقتصادی آن بر ساخت و ساز BIM میتواند یک مدیریت پویا به همراه ارزیابی خودکار هزینه های ساخت و ساز را ارائه دهد.
استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان با رویکرد طراحی و ساخت پایدار (83)	Bynum	۲۰۱۳	نتایج تحقیق نشان داده است که با اینکه BIM یکی از ابزار های اصلی در ساخت و ساز پایدار است ولی مدیران و طراح ها در عمل کمتر از اهمیت آن از این ابزار استفاده میکنند
استفاده از سیستمی مبتنی بر مدل سازی اطلاعات ساختمان برای استفاده دوباره از ضایعات (84)	Cheng و Ma	۲۰۱۳	استفاده از BIM میتواند تخمین بسیار خوبی از ضایعات را ارائه و اثرات محیط زیستی و اقتصادی تخریب ساختمان را به خوبی نشان دهد
شبیه سازی و تجزیه و تحلیل روشنایی مبتنی بر مدل سازی اطلاعات ساختمان (85)	Sandeep و همکارانش	۲۰۱۴	تمرکز بر کاربرد شبیه سازی کاربرد BIM با روشنایی روز و تحلیل ساختمان های متمرکز

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل مدل توسعه یافته نشان داد که هر دو فناوری در مورد ساختمان نهایی کم کربن موثر هستند.	۲۰۱۵	Chen Pan و	مدل تصمیم گیری چند معیاره فازی مبتنی بر مدل سازی اطلاعات ساختمان برای انتخاب ساختمان کم کربن (86)
با توسعه سیستم حمایت از تصمیم گیری تامین کنندگان را بر اساس هزینه محصول شناسایی و انتشار کربن موارد را بررسی میکند.	۲۰۱۵	Akanmu و همکارانش	قابلیت استفاده از ابزار های تحت وب برای ارزیابی و پشتیبانی مدیریت جامع انرژی ساختمان (87)
توسعه ابزاری برای کمک به طراحان در ایجاد مستندات لازم برای گواهی نامه های ساختمان سبز	۲۰۱۶	Ilhan Yaman و	ارزیابی ساختمان های سبز مبتنی بر تصمیم گیری بر پایه مدل سازی اطلاعات ساختمان (51)
بررسی مقایسه ای مصرف انرژی در ساخت و ساز کوچک و نتایج نشان دادند BIM میتواند فرآیند تحلیل مصرف نهایی انرژی را سهولت بخشد.	۲۰۱۶	Fh. Abanda	بررسی تأثیر جهت گیری ساختمان بر مصرف انرژی در یک ساختمان با استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان (88)
استفاده از BIM و LCC برای تخمین اعتبار LEED در دسته انرژی کم نشان داد مه ادغام این روش های هنوز دارای محدودیت هایی است.	۲۰۱۷	Arditi Akcay و	هزینه های حداقلی برای بهینه سازی کارایی انرژی با رویکرد مجوزهای LEED (89)
ارائه یک رویکرد ویژه جهت اجرای مدل سازی اطلاعات ساختمان در پروژه های ساختمانی.	۲۰۱۸	Arayici	طراحی و تجزیه و تحلیل ساختمان های سبز مبتنی بر مدل سازی اطلاعات ساختمان (90)
به بررسی و تحلیل موانع ادغام BIM با تجزیه و تحلیل داده های نظرسنجی دلفی با کمک متخصصان بین المللی پرداخته است	2018	Timothy	موانع ادغام پیاده سازی BIM و روش های پایداری در پروژه های ساختمانی (91)
با توجه به مطالعه موردی انجام شده پیاده سازی سازی LCA و LCC مبتنی بر مدل سازی اطلاعات ساختمان میتواند برای توسعه دهندگان نرم افزار به عنوان ابزار مناسبی کمک کند.	۲۰۱۹	Santos و همکارانش	تجزیه و تحلیل ادغام LCA و LCC در محیط مبنی بر مدل سازی اطلاعات ساختمان (92)
در این پژوهش به بررسی ارتقا مدل های BIM از لحاظ معنایی و توسعه کتابخانه های اشیا مبتنی بر BIM پرداخته شده است.	۲۰۲۰	Santos و همکارانش	بررسی توسعه ارزیابی ابزار های مدل سازی اطلاعات ساختمان مبتنی بر چرخه زندگی اقتصادی (93)

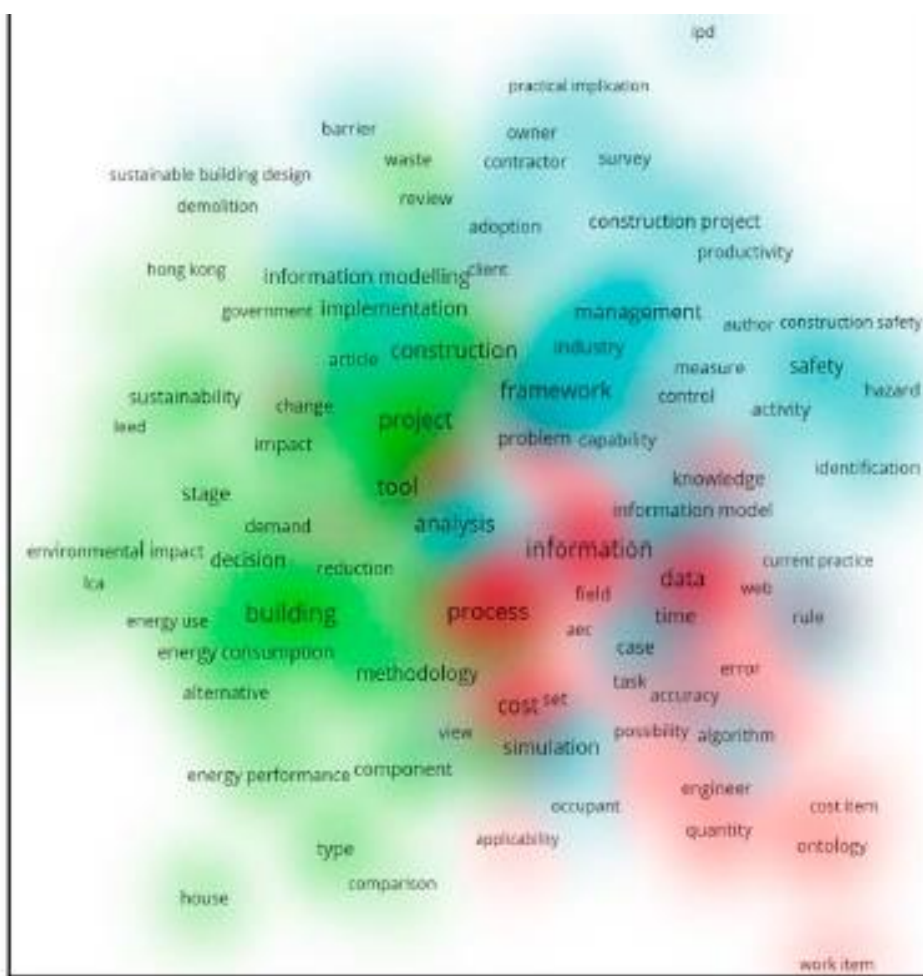
روند پژوهش ها نشان می دهد که از سال ها پیش به اهمیت ادغام فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمان برای ارتقاء ساخت و ساز پایدار دست یافته اند. تا کنون شکافی در منابع مورد مطالعه درباره کاربرد مدل سازی اطلاعات ساختمان بر اساس ابعاد پایداری و پیوند های آن وجود داشته است که در مطالعات به آن اشاره شده است. همانطور که در مقالات مشاهده شده نقش مدل سازی اطلاعات ساختمان در ساخت و ساز پایدار فقط بر یک یا دو جنبه پایداری تأثیر ندارد، بلکه تمامی ابعاد پایداری را تحت تأثیر قرار می دهد. همچنین بهره گیری از این تکنولوژی در فاز تخریب کمتر مورد مطالعه گرفته است، با این حال هم افزایی ها در این زمینه در سال های گذشته افزایش یافته و در مطالعات از مدل سازی اطلاعات ساختمان نه فقط به عنوان ابزار کمکی بلکه بیشتر به عنوان یک فناوری و روش اساسی برای دستیابی به سطوح بالاتر عملکرد و شبیه سازی استفاده شده است.

## نتیجه گیری

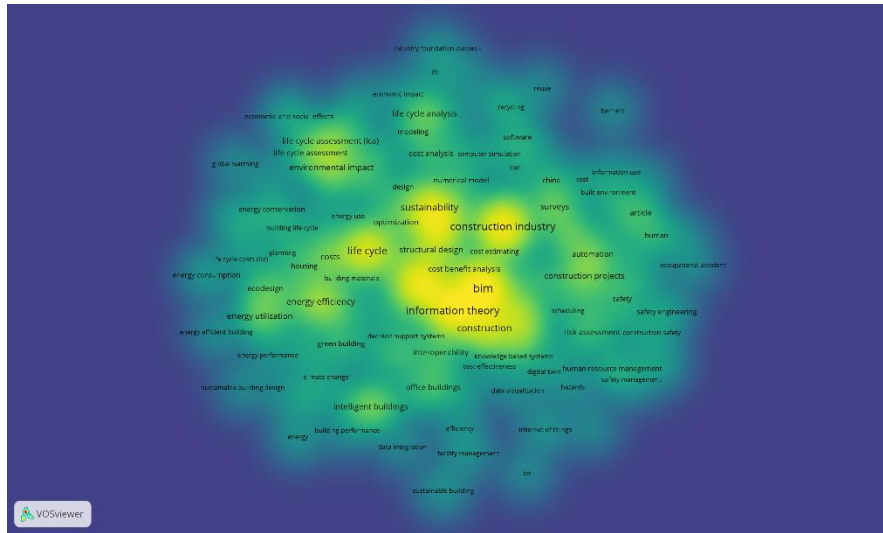
با توجه به گسترش روز افزون مدل سازی اطلاعات ساختمان در جهان، این تکنولوژی در ایران نیز مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش مقالات مورد بررسی و تحلیل محتوا قرار گرفته اند و علاوه بر تحلیل محتوا مقالات جهت بررسی تحلیل توالی پراکندگی کلمات کلیدی برتر مقالات از نرم افزاری به نام VOSViewer استفاده شده که اغلب در کتاب شناسی، علم سنجی و مطالعات اطلاعاتی استفاده میشود که افزایش جنبه های مختلف به کارگیری BIM و ساخت و ساز پایدار را نشان میدهد. در این قسمت از کلمات BIM و یا Building Information Modeling برای اینکه بر نتایج اثر بگذارند حذف شدند. همچنین تعداد کارهای علمی در سه سال اخیر رشد فزاینده ای داشته است که نشان از رشد پختگی و هم افزایی استفاده از BIM در راستا رسیدن به ساخت و ساز پایدار است.

به طور خلاصه چالش ها و خلاء های اصلی در پژوهش های مطالعه شده به شرح ذیل شناسایی شده اند:

- ۱- مسائل و مشکلات همکاری بین ابزار های مدل سازی اطلاعات ساختمان و ابزار های پایداری.
- ۲- فقدان کتابخانه های تخصصی در مورد مدل سازی اطلاعات ساختمان.
- ۳- عدم بررسی نحوه شناساندن موضوع به مدیران و سرپرست های کارگاه.
- ۴- فقدان استاندارد ها و مشوق های عمومی برای به کار گیری مدل سازی اطلاعات ساختمان در صنعت ساخت و ساز.



شکل ۲: کلمات کلیدی استفاده شده در مقالات مرتبط در سال های ۲۰۰۸ لغایت ۲۰۱۷ (۹۴)



شکل ۳: کلمات کلیدی استفاده شده در مقالات مرتبط در سال های ۲۰۱۸ لغایت ۲۰۲۰



## منابع و مراجع

- [1] Miyatake Y. Technology development and sustainable construction. *J Manag Eng*. 1996;12(4):23-7.
- [2] Cowell SJ, Parkinson S. Localisation of UK food production: an analysis using land area and energy as indicators. *Agric Ecosyst Environ*. 2003;94(2):221-36.
- [3] Roseland M. *Eco-city dimensions: healthy communities, healthy planet*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers; 1997.
- [4] Akadiri PO. Understanding barriers affecting the selection of sustainable materials in building projects. *J Build Eng*. 2015;4:86-93.
- [5] Kibert CJ. *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons; 2016. 188-185 p.
- [6] Malekitabar H, Ardeshir A, Sebt MH, Stouffs R. Construction safety risk drivers: A BIM approach. *Saf Sci*. 2016;82:445-55.
- [7] Khanzadi M, Sheikhhoshkar M, Banihashemi S. BIM applications toward key performance indicators of construction projects in Iran. *Int J Constr Manag*. 2020;20(4):305-20.
- [8] Jalaei F, Zoghi M, Khoshand A. Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM). *Int J Constr Manag*. 2019;1-18.
- [9] Khanzadi M, Kaveh A, Moghaddam MR, Pournabaghi SM. Optimization of building components with sustainability aspects in BIM environment. *Period Polytech Civ Eng*. 2019;63(1):93-103.
- [۱۰] غمخوار سم. به کارگیری تکنولوژی مدل سازی اطلاعاتی ساختمان (MIB) جهت کاهش زمان و هزینه ترمیم و بهسازی ساختمان ها. [Internet]. (دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران. تهران: undefined; : 1391. Available from: <https://civilica.com/doc/166908>
- [۱۱] ابراهیمی ح، شاکری ا. بررسی روند بکار گیری پیکره سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و نحوه پیاده سازی آن در پروژه های عمرانی. [Internet]. اولین همایش ملی ساختمان آینده. ساری. 1392. : undefined; Available from: <https://civilica.com/doc/210832>
- [۱۲] کشتی آرای م. بررسی و مطالعه ی مدل سازی اطلاعاتی ساختمان BIM و نحوه ی پیاده سازی آن جهت کاهش زمان و هزینه و مصرف انرژی در ساختمان. [Internet]. پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور. ارومیه. 1393. Available from: <https://civilica.com/doc/321778> : undefined; 1393.
- [۱۳] طیبی فلاح ا، گرامی م. نقش ابزارهای BIM 1 در جلوگیری از امکان از دست رفتن اطلاعات در خلال مرحله ی طراحی و ساخت. [Internet]. اولین کنگره بین المللی افق های جدید در معماری و شهرسازی. تهران: undefined; 1393. Available from: <https://civilica.com/doc/380655> : undefined; 1393.
- [۱۴] ستوده بیدختی اح. کاربرد مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM در فاز اجرای پروژه های ساخت [Internet]. کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین در مهندسی عمران، معماری، محیط زیست و مدیریت شهری. تهران: undefined; 1394. Available from: <https://civilica.com/doc/389833> : undefined; 1394.
- [۱۵] عظمتی ح، جواهرپور ح. مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در مدیریت ساخت پروژه های ساختمانی [Internet]. کنفرانس بین المللی انسان، معماری، عمران و شهر. تبریز: undefined; 1394. Available from: <https://civilica.com/doc/410181> : undefined; 1394.
- [۱۶] نیک سرشت م. مدیریت و بکار گیری مدل سازی اطلاعات ساختمان [Internet]. اولین کنفرانس مهندسی عمران، رهاوردهای جدید، توسعه اقتصادی، فرهنگی و مدیریت جهادی. بندرانزلی: undefined; 1394. Available from: <https://civilica.com/doc/462424> : undefined; 1394.
- [۱۷] کاکانزادی فرد م، محمدی پ، اسکندری بساک ا. عملکرد و جایگاه پیمانکاران در مدیریت پروژه ها با بهره گیری از تکنیک مدلسازی اطلاعات ساختمان [Internet]. اولین کنفرانس بین المللی عمران،



- معماری و توسعه اقتصاد شهری. شیراز: undefined; 1394. Available from: <https://civilica.com/doc/412926>
- [۱۸] همتیان پور را، کراهی مقدم س. طراحی پایدار و موفق با استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان [Internet]. اولین کنگره علمی پژوهشی افق های نوین در حوزه مهندسی عمران، معماری، فرهنگ و مدیریت شهری ایران. تهران: undefined; 1394. Available from: <https://civilica.com/doc/419966>
- [۱۹] علیزاده نوذری م، استوی ا، کهن روز رستمی ز. استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در طراحی های سازگار با محیط. [Internet]. دومین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه اقتصاد شهری. شیراز: undefined; 1394. Available from: <https://civilica.com/doc/457184>
- [۲۰] آقایی اصل ا، گلابچی م. بررسی قابلیت های مدیریتی ناشی از به کارگیری مدلسازی اطلاعات ساختمان BIM در صنعت ساخت ایران. دانشگاه تهران; ۱۳۹۴.
- [۲۱] اسماعیل زاده ف، اسماعیلی زاده ک. استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در بهبود برنامه ریزی بازسازی ساختمان های شهری. [Internet]. دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری. تهران: undefined; 1395. Available from: <https://civilica.com/doc/499717>
- [۲۲] صمیم پی ر، سقط فروش ا. ارزیابی نیاز به مطالعه و بررسی بهبود روند ساخت پذیری پروژه های ساخت و ساز کشور با استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان. [Internet]. BIM دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری. تهران: undefined; 1395. Available from: <https://civilica.com/doc/499819>
- [۲۳] رضوانی فر پ، مسلمان یزدی ح BIM. کاربردها و سطوح توسعه مدل در ساخت و ساز. [Internet]. کنفرانس سالانه علمی - تخصصی عمران، معماری، شهرسازی و علوم جغرافیا در ایران باستان و معاصر. تهران: undefined; 1395. Available from: <https://civilica.com/doc/521131>
- [۲۴] ربیعی ع، حیدری ع. بررسی اثر مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) بر کنترل و کاهش هزینه احداث ساختمان ها (براساس حجم کار) در ایران: undefined; 1396. Available from: <https://civilica.com/doc/679668/>
- [۲۵] موسویان س، سلامی ا. علل عدم استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM در پروژه های ساخت و ساز ایران. [Internet]. پنجمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری. تهران: undefined; 1396. Available from: <https://civilica.com/doc/759947>
- [۲۶] زرین نقش ک. بررسی عوامل تاثیرگذار توسعه پایدار بر اجرای ساختمان سازی پایدار [Internet]. Sustainable Building اولین همایش ملی ساختمان پایدار و انرژی (چالش ها، ضرورت ها و راهکارها). اصفهان: undefined; 1397. Available from: <https://civilica.com/doc/899772>
- [۲۷] شش بلوکی علمداری ع، عبادی م. بررسی تحلیلی آثار تلفیق ساخت و ساز ناب (LC) با تحویل یکپارچه پروژه (IPD) و مدلسازی اطلاعات ساختمان. [Internet]. کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران. تهران: undefined; 1397. Available from: <https://civilica.com/doc/847393>
- [۲۸] شرائی ر، پولادیان ا، اکبری ع. بررسی مزیت های استفاده از مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM) در طراحی پایدار. [Internet]. ششمین کنگره ملی عمران، معماری و توسعه شهری. تهران: undefined; 1398. Available from: <https://civilica.com/doc/1003466>
- [۲۹] ترکمان زاده ا، زحمتکش گل افشانی ه، افراندپی ع. بررسی تاثیر مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) بر جهت گیری مناسب ساختمان در راستای کاهش نیاز به انرژی. [Internet]. ششمین کنگره ملی عمران،

- معماری و توسعه شهری. تهران: Available from: undefined; 1398. Available from: <https://civilica.com/doc/1003874>
- [۳۰] شاه محمدی س، جلائی ف، اخلاصی ا. یکپارچه سازی ارزیابی چرخه حیات LCA و مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM به منظور بهینه سازی انرژی و تاثیرات زیست محیطی مصالح ساختمانی در مرحله طراحی مفهومی. [Internet]. هشتمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری پایدار ایران. تهران: Available from: undefined; 1399. Available from: <https://civilica.com/doc/1125269>
- [۳۱] فرصت کار ا، ورزنده آذر پ. ارزیابی یکپارچگی بین قابلیت‌های دیجیتال سیستم BIM در راستای پیاده سازی مدیریت ایمنی در پروژه های ساخت و ساز. ۱۳۹۹؛
- [32] Love PED, Edwards DJ, Han S, Goh YM. Design error reduction: toward the effective utilization of building information modeling. *Res Eng Des*. 2011;22(3):173–87.
- [33] Love PED, Ahiaga-Dagbui D, Welde M, Odeck J. Light rail transit cost performance: Opportunities for future-proofing. *Transp Res Part A Policy Pract*. 2017;100:27–39.
- [34] Love PED, Zhou J, Edwards DJ, Irani Z, Sing C-P. Off the rails: The cost performance of infrastructure rail projects. *Transp Res Part A Policy Pract*. 2017;99:14–29.
- [35] Lee G, Park HK, Won J. D3 City project—Economic impact of BIM-assisted design validation. *Autom Constr*. 2012;22:577–86.
- [36] Kehily D, Underwood J. Embedding life cycle costing in 5D BIM. *J Inf Technol Constr*. 2017;22:145–67.
- [37] Hu Z, Zhang J. BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials. *Autom Constr*. 2011;20(2):167–80.
- [38] Tixier AJ-P, Hallowell MR, Rajagopalan B, Bowman D. Construction safety clash detection: identifying safety incompatibilities among fundamental attributes using data mining. *Autom Constr*. 2017;74:39–54.
- [39] Kim H, Lee H-S, Park M, Chung B, Hwang S. Information retrieval framework for hazard identification in construction. *J Comput Civ Eng*. 2015;29(3):4014052.
- [40] Gurevich U, Sacks R, Shrestha P. BIM adoption by public facility agencies: impacts on occupant value. *Build Res Inf*. 2017;45(6):610–30.
- [41] Welle B, Rogers Z, Fischer M. BIM-Centric Daylight Profiler for Simulation (BDP4SIM): A methodology for automated product model decomposition and recomposition for climate-based daylighting simulation. *Build Environ*. 2012;58:114–34.
- [42] Göçer Ö, Hua Y, Göçer K. Completing the missing link in building design process: Enhancing post-occupancy evaluation method for effective feedback for building performance. *Build Environ*. 2015;89:14–27.
- [43] Isikdag U, Underwood J, Aouad G. An investigation into the applicability of building information models in geospatial environment in support of site selection and fire response management processes. *Adv Eng informatics*. 2008;22(4):504–19.
- [44] Chen L-C, Wu C-H, Shen T-S, Chou C-C. The application of geometric network models and building information models in geospatial environments for fire-fighting simulations. *Comput Environ Urban Syst*. 2014;45:1–12.
- [45] Basbagill J, Flager F, Lepech M, Fischer M. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Build Environ*. 2013;60:81–92.
- [46] Najjar M, Figueiredo K, Palumbo M, Haddad A. Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. *J Build Eng*. 2017;14:115–26.
- [47] Jalaei F, Jrade A. Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. *Sustain Cities Soc*. 2015;18:95–107.

- [48] Marzouk M, Abdelkader EM, Al-Gahtani K. Building information modeling-based model for calculating direct and indirect emissions in construction projects. *J Clean Prod.* 2017;152:351–63.
- [49] Jrade A, Jalaei F. Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. In: *Building Simulation.* Springer; 2013. p. 429–44.
- [50] Wu W, Issa RRA. BIM execution planning in green building projects: LEED as a use case. *J Manag Eng.* 2015;31(1):A4014007.
- [51] Ilhan B, Yaman H. Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. *Autom Constr.* 2016;70:26–37.
- [52] Ding L, Zhou Y, Akinci B. Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *Autom Constr.* 2014;46:82–93.
- [53] Wu W, Luo YV. Pedagogy and assessment of student learning in BIM and sustainable design and construction. *J Inf Technol Constr.* 2016;21(15):218–32.
- [54] Lewis AM, Valdes-Vasquez R, Clevenger C, Shealy T. BIM energy modeling: Case study of a teaching module for sustainable design and construction courses. *J Prof Issues Eng Educ Pract.* 2015;141(2):C5014005.
- [55] Szónyi L. Building Information Modelling in the decision process of retrofitting the envelope of public buildings-a case study. *Period Polytech Civ Eng.* 2010;54(2):143–54.
- [56] Abanda FH, Oti AH, Tah JHM. Integrating BIM and new rules of measurement for embodied energy and CO2 assessment. *J Build Eng.* 2017;12:288–305.
- [57] Shin Y, Cho K. BIM application to select appropriate design alternative with consideration of LCA and LCCA. *Math Probl Eng.* 2015;2015.
- [58] Liu S, Meng X, Tam C. Building information modeling based building design optimization for sustainability. *Energy Build.* 2015;105:139–53.
- [59] Kreiner H, Passer A, Wallbaum H. A new systemic approach to improve the sustainability performance of office buildings in the early design stage. *Energy Build.* 2015;109:385–96.
- [60] Abdelalim A, O'Brien W, Shi Z. Data visualization and analysis of energy flow on a multi-zone building scale. *Autom Constr.* 2017;84:258–73.
- [61] Ning G, Junnan L, Yansong D, Zhifeng Q, Qingshan J, Weihua G, et al. BIM-based PV system optimization and deployment. *Energy Build.* 2017;150:13–22.
- [62] Wang J, Zhang S, Teizer J. Geotechnical and safety protective equipment planning using range point cloud data and rule checking in building information modeling. *Autom Constr.* 2015;49:250–61.
- [63] Kim K, Cho Y, Zhang S. Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM. *Autom Constr.* 2016;70:128–42.
- [64] Zhang S, Teizer J, Pradhananga N, Eastman CM. Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning. *Autom Constr.* 2015;60:74–86.
- [65] Fang Y, Cho YK, Zhang S, Perez E. Case study of BIM and cloud-enabled real-time RFID indoor localization for construction management applications. *J Constr Eng Manag.* 2016;142(7):5016003.
- [66] Golovina O, Teizer J, Pradhananga N. Heat map generation for predictive safety planning: Preventing struck-by and near miss interactions between workers-on-foot and construction equipment. *Autom Constr.* 2016;71:99–115.
- [67] Teizer J. Right-time vs real-time pro-active construction safety and health system architecture. *Constr Innov.* 2016;
- [68] Choe S, Leite F. Construction safety planning: Site-specific temporal and spatial information integration. *Autom Constr.* 2017;84:335–44.

- [69] Park J, Kim K, Cho YK. Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors. *J Constr Eng Manag*. 2017;143(2):5016019.
- [70] Ajayi SO, Oyedele LO, Bilal M, Akinade OO, Alaka HA, Owolabi HA, et al. Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements. *Resour Conserv Recycl*. 2015;102:101–12.
- [71] Kim KP, Park KS. Primary BIM dataset for refurbishing flood risk vulnerable housing in the UK. *Built Environ Proj Asset Manag*. 2016;
- [72] Woo J-H, Peterson MA, Gleason B. Developing a virtual campus model in an interactive game-engine environment for building energy benchmarking. *J Comput Civ Eng*. 2016;30(5):C4016005.
- [73] Rea P, Pelliccio A, Ottaviano E, Saccucci M. The heritage management and preservation using the mechatronic survey. *Int J Archit Herit*. 2017;11(8):1121–32.
- [74] FF AA, Rashidi TH, Akbarnezhad A, Waller ST. BIM-enabled sustainability assessment of material supply decisions. *Eng Constr Archit Manag*. 2017;
- [75] Jalaei F, Jrade A, Nassiri M. Integrating decision support system (DSS) and building information modeling (BIM) to optimize the selection of sustainable building components. *J Inf Technol Constr*. 2015;20(25):399–420.
- [76] Foxon TJ, McIlkenny G, Gilmour D, Oltean-Dumbrava C, Souter N, Ashley R, et al. Sustainability criteria for decision support in the UK water industry. *J Environ Plan Manag*. 2002;45(2):285–301.
- [77] Labuschagne C, Brent AC, Van Erck RPG. Assessing the sustainability performances of industries. *J Clean Prod*. 2005;13(4):373–85.
- [78] Pavlovskis M, Antuceviciene J, Migilinskas D. Application of MCDM and BIM for evaluation of asset redevelopment solutions. *Stud Informatics Control*. 2016;25(3):293–302.
- [79] Zeng X, Tan J. Building information modeling based on intelligent parametric technology. *Front Archit Civ Eng China*. 2007;1(3):367–70.
- [80] Azhar S, Brown J. BIM for sustainability analyses. *Int J Constr Educ Res*. 2009;5(4):276–92.
- [81] Bank LC, McCarthy M, Thompson BP, Menassa CC. Integrating BIM with system dynamics as a decision-making framework for sustainable building design and operation. In: *Proceedings of the First International Conference on Sustainable Urbanization (ICSU)*. Citeseer; 2010. p. 15–7.
- [82] Zhang JP, Hu ZZ. BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Autom Constr*. 2011;20(2):155–66.
- [83] Bynum P, Issa RRA, Olbina S. Building information modeling in support of sustainable design and construction. *J Constr Eng Manag*. 2013;139(1):24–34.
- [84] Cheng JCP, Ma LYH. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. *Waste Manag*. 2013;33(6):1539–51.
- [85] Kota S, Haberl JS, Clayton MJ, Yan W. Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. *Energy Build*. 2014;81:391–403.
- [86] Chen L, Pan W. A BIM-integrated fuzzy multi-criteria decision making model for selecting low-carbon building measures. *Procedia Eng*. 2015;118:606–13.
- [87] Akanmu A, Asfari B, Olatunji O. BIM-based decision support system for material selection based on supplier rating. *Buildings*. 2015;5(4):1321–45.
- [88] Abanda FH, Byers L. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling). *Energy*. 2016;97:517–27.
- [89] Akcay EC, Arditi D. Desired points at minimum cost in the “Optimize Energy Performance” credit of leed certification. *J Civ Eng Manag*. 2017;23(6):796–805.

- [90] Arayici Y, Fernando T, Munoz V, Bassanino M. Interoperability specification development for integrated BIM use in performance based design. *Autom Constr.* 2018;85:167–81.
- [91] Olawumi TO, Chan DWM, Wong JKW, Chan APC. Barriers to the integration of BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. *J Build Eng.* 2018;20:60–71.
- [92] Santos R, Costa AA, Silvestre JD, Pyl L. Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. *Autom Constr.* 2019;103:127–49.
- [93] Santos R, Costa AA, Silvestre JD, Pyl L. Development of a BIM-based environmental and economic life cycle assessment tool. *J Clean Prod.* 2020;265:121705.
- [94] Santos R, Costa AA, Silvestre JD, Pyl L. Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. *Autom Constr.* 2019;103:221–34.