Journal of Structural and Construction Engineering, 8(11), 2022, pp. 45-60

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Using scientific research techniques to investigate future contexts integrating the three concepts of sustainable development, lean construction and building information modelling

Hamidreza Abbasiajahromi[1]*, Maryam Pournaghi Keykele[2] , Mehdi Ravanshadnia[3]

1- Assistant Professor, dept. civil engineering, K. N. Toosi university of technology, Tehran, Iran
2- Master student, civil, dept. art and architecture. Science and reaserch university, Tehran, Iran
3- Associate professor, dept. art and architecture. Science and reaserch university, Tehran, Iran

ABSTRACT

Many studies have been conducted on the fields of Building Information Modelling, Lean construction and Sustainability not only individually but also pairwise. Despite that, there are currently no researches that integrate these concepts collectively. In order to fill this gap, a systematic literature review was conducted. The input data of this research are 95 valid international articles that are mostly focused on pairwise interaction of these concepts. Using Grounded Theory, which is a method based on line-by-line review of articles and coding of sections related to the purpose of the article and with the help of Atlas.ti software, we found triple codes that represent the integrated fields of all three concepts. The triple codes were placed in 6 main categories: Stakeholder management, cost management, material waste management, resource management, project productivity and energy management. Then, by comparing each code with other codes, 6 main theories were created. To analyse these theories and prioritize them, an interview was presented in the form of a 6-question questionnaire, in which 10 experts and professors expressed their opinions. Then, the questionnaire was analyzed using statistical methods and SPSS software. To that end, Friedmann's non-parametric test was used to prioritize theories after the variables were found to be abnormal by the Kolmogorov-Smirnov test. as a result, combining the three concepts could be more effective on waste material management than other categories.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 21 October 2020
Revise Date: 20 March 2021
Accept Date: 07 April 2021

Keywords:
Building information modeling
Sustainable construction
Lean construction
Grounded theory
BIM

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.253855.2271

*Corresponding author: Hamidreza Abbasian Jahromi
Email address: habasian@kntu.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

تلفیق سه ابزار توسعه پایدار، ساخت و ساز ناب و مدلسازی اطلاعات ساختمان با استفاده از مفاهیم علم سنجی

حمیدرضا عباسیان جهرمی*[۱]، مریم پورنقی کیکله[۲]، مهدی روانشادنیا[۳]

۱- استادیار، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

۲- کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم تحقیقات، تهران، ایران

۳- دانشیار، دانشگاه علوم تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

مطالعات بسیاری در مورد مدل سازی اطلاعات ساختمان، ساخت ناب و پایداری نه تنها به صورت جداگانه بلکه به صورت دو به دو انجام شده است. با این وجود، در حال حاضر اندک تحقیقاتی وجود دارد که این مفاهیم را به صورت جمعی ادغام کند. به منظور پوشش خلأ موجود در تلفیق سه‌گانه این مفاهیم، یک مرور ادبیات قاعده‌مند صورت گرفت. داده‌های این پژوهش ۹۵ مقاله معتبر بین‌المللی می‌باشند که بیشتر بر زمینه‌های تلفیقی دو به دو این مفاهیم متمرکز هستند. با بهره‌گیری از گراندد تئوری که روشی مبتنی بر بررسی خط به خط مقالات و کدگذاری بخشهای مرتبط با هدف مقاله است، کدهای سه‌گانه‌ای حاصل شد که نشانگر زمینه‌های تلفیقی هر سه مفهوم هستند. کدهای سه‌گانه در ۶ مقوله اصلیِ مدیریت ذینفعان، مدیریت هزینه، مدیریت ضایعات و مصالح مصرفی، مدیریت منابع مصرفی، راندمان پروژه و مدیریت انرژی مصرفی، دسته‌بندی شدند. در ادامه با مقایسه هر کد با سایر کدها، ۶ نظریه اصلی ایجاد شد که برای تحلیل نظریه-ها و اولویت‌بندی آنها، مصاحبه‌ای در قالب یک پرسشنامه‌ی ۶ سوالی مطرح گردید و در این میان ۱۰ تن از متخصصان و اساتید این حوزه‌ها نظرات خود را به اشتراک گذاشتند. سپس به آنالیز پرسشنامه با استفاده از روش‌های آماری و نرم‌افزار spss پرداخته شد. پس از تشخیص غیرنرمال بودن متغیرها توسط آزمون کولموگروف اسمیرنوف، برای اولویت‌بندی نظریه‌ها از آزمون ناپارامتریک فریدمن استفاده شد و طبق نتیجه ، تلفیق سه مفهوم مذکور بر عملکرد مدیریت ضایعات و مصالح مصرفی نسبت به حوزه‌های دیگر می‌تواند موثرتر ظاهر شود.

کلمات کلیدی: توسعه پایدار، مدلسازی اطلاعات ساختمان، ساخت ناب، تکنیک‌های علم پژوهی، گراندد تئوری

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.253855.2271	doi:
۱۳۹۹/۰۷/۳۰	۱۳۹۹/۱۲/۳۰	۱۴۰۰/۰۱/۱۸	۱۴۰۰/۰۱/۱۸	۱۴۰۰/۱۱/۳۰	10.22065/jsce.2021.253855.2271	

*نویسنده مسئول: حمیدرضا عباسیان جهرمی

پست الکترونیکی: habasian@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

صنعت معماری، مهندسی و ساخت و ساز (AEC) به عنوان یکی از مصرف کننده‌های اصلی منابع طبیعی به شمار می‌رود. حدود ۵۰٪ از مصالح صنعت ساخت و ساز برگرفته از منابع طبیعی و ۴۰٪ از انرژی جهان در این صنعت مصرف می‌شود. علاوه بر این صنعت AEC مسئول تولید ۵۰٪ از ضایعات در سطح جهان می‌باشد[۱]. پیش بینی می‌شود صنعت ساخت و ساز طی چند سال آینده سالانه ۴ درصد رشد داشته باشد[۲]. اهمیت مدیریت منابع، مصالح و انرژی مصرفی به منظور کاهش هزینه‌ها و هدررفت‌های ناشی از ساخت و سازها، با استفاده از تکنولوژی‌ها، استانداردها و مفاهیم جدیدی که دغدغه حل معضلاتی از این دست را دارند، روز به روز در حال افزایش است. در همین راستا ساخت ناب (LC) یک فلسفه تولید جدید است که پتانسیل ایجاد پیشرفتهای نوآورانه در بخش ساخت و ساز را دارد [۳]. این تکنولوژی از طریق سیستم کشش[1]، مشارکت کارکنان، پیشرفت مستمر و ... هدف اصلی خود را که به حداقل رساندن هدررفت و بهبود بهره وری است، دنبال می‌کند[۴]، هدر رفت در ساخت ناب به معنای هر چیزی است که ایجاد ارزش افزوده نمی‌کند. [۵]

با کاهش هر نوع هدررفتی در منابع، مصالح، انرژی، تلاش نیروی انسانی و.... ساخت و ساز همسو با محیط زیست و اصول پایداری پیش برده می‌شود. از آنجایی که مفهوم ساخت پایدار بر رفع نیازهای ذینفعان بدون تهدید آیندگان در رفع نیازهایشان تمرکز دارد، این رویکرد منجر به کاهش اثرات منفی بر محیط زیست و استفاده بهینه از منابع می‌شود. [۶] با توجه به همراستا بودن دو مفهوم ساخت ناب و پایداری، محققان بسیاری از جمله کارواجال آرانجو و همکاران [۷]، کوردو و همکاران [۸] و خودیر و اوسمن [۹] اشتراکات میان این دو مفهوم را با هدف ارتقا جنبه‌های مختلف ساخت و ساز مورد بررسی قرار داده اند.

برای پیشبرد بهتر دو تکنیک ساخت ناب و پایدار در صنعت ساخت و ساز، مدلسازی اطلاعات ساختمان به عنوان مفهومی جامع و دارای ابزار آلات کاربردی مطرح می‌شود. مدل سازی اطلاعات ساختمان[2] (BIM) به عنوان یک بستر دیجیتال ، به تیم‌های پروژه کمک می‌کند تا اطلاعات بهتری را به اشتراک بگذارند و عملکرد پروژه را بهبود بخشند[۱۰]. BIM، ابزاری یکپارچه به منظور بهینه سازی فرآیند انتخاب مصالح، تجهیزات و سیستم‌ها در هر مرحله از حیات یک ساختمان است[۱۱]. از آنجایی که BIM ابزاری یاری‌دهنده به ذینفعان پروژه در ضبط کامل طراحی و اطلاعات مربوط به پروژه است، میتوان بهترین استفاده را از داده‌های طراحی موجود برای طراحی پایدار و تجزیه و تحلیل رتبه‌بندی پایداری برد. محققان بسیاری از جمله لوو و همکاران [۱۲]، کاروالو و همکاران [۷] و مالتیز و همکاران [۱۳] تحقیقات خود را در زمینه بررسی تلفیق دو مفهوم مدلسازی اطلاعات ساختمان و پایداری ارائه داده اند. از طرفی ساخت و سازهای ناب و مدل سازی اطلاعات ساختمان ابتکارات کاملاً متفاوتی هستند، اما هر دو تأثیرات عمیقی بر صنعت ساخت دارند. استفاده از BIM و اصول ناب، ساختارها و ارتباط تیمهای طراحی را پیکربندی می‌کند تا خطاها را زودتر شناسایی کرده، تکرار مجدد آنها را کاهش داده و پخش شدگی آنها را محدود کند [۱۴]. با توجه به این موضوع که مدل سازی اطلاعات ساختمان در ارتباط با شیوه های ناب می تواند در پروژه های عمرانی برای بهبود پروژه مورد استفاده قرار گیرد، محققان بسیاری از جمله هیگرموز و همکاران [۱]، ماهالینگام و همکاران [۱۱] و شوو و همکاران [۱۵] بر این موضوع تمرکز داشته اند.

آهوجا و همکاران [۱۶] بیم را به عنوان ابزاری برای دستیابی به نتایج ناب و سبز پروژه معرفی و پیشنهاد دادند. با این وجود تحقیقات بیشتری باید بر بهبود و کاوش در روابط بین سه مفهوم بیم، ناب و پایداری متمرکز شده و به دنبال شواهد عملی باشند. [۱۷]

با توجه به اینکه ساخت و ساز ناب و پایدار دو نیاز اساسی جامعه رو به رشد کنونی می باشد لذا ضروری است که به نحو مناسبی این دو مفهوم با یکدیگر تلفیق شده و مزیت های متعددی را برای صنعت ساخت و ساز فراهم آورند. نظر به اینکه BIM به عنوان ابزاری برای ساخت پایدار در مقالات متعددی معرفی شده و همچنین از BIM برای بهبود ساخت و ساز ناب نیز استفاده شده است لذا به نظر می رسد این ابزار می تواند به عنوان حلقه اتصال دو مفهوم ساخت و ساز پایدار و ناب عمل نماید. از اینرو هدف این پژوهش شناسایی و اولویت-بندی زمینه‌های مختلف تلفیق سه تکنیک مدلسازی اطلاعات ساختمان، ساخت ناب و پایداری می باشد. برای این منظور، یک بررسی و

[1] Pull system
[2] Building Information Modeling (BIM)

مرور منظم ادبیات برای درک چگونگی هم‌افزایی بین این مفاهیم در این تحقیق صورت گرفته است. با استفاده از روش تحلیل کیفی گراندد تئوری و سایر ابزارات پژوهش‌های کیفی به حوزه‌های اشتراکات سه مفهوم BIM، Lean وSustainability پرداخته شده است. در ادامه پس از بررسی پیشینه پژوهش‌های مربوط به موضوع تحقیق، به شرح گام به گام روش تحقیق پرداخته شده، پس از آن تحلیل نتایج و در نهایت جمع بندی و نتیجه گیری کلی ارائه شده است.

۲- پیشینه‌ی پژوهش

نویسندگانی چون بهاتاچاریا و همکاران [۱۸]، کاروالهو و همکاران[۳]، لئون و کالوو-آمودیو [۱۹]، گارزا-ریز و همکاران [۲۰]، کوراندا و همکاران [۲۱] ویژگی‌های مشترک اصول ناب و پایداری را شناسایی کرده و به مزایای تلفیق این دو تفکر در مقایسه با به کار بردن مجزای هر کدام از آنها در بهبود روند یک پروژه پرداخته‌اند .پژوهشگرانی مانند سلیمانی و صدیقی [۲]، کارواجال-آرونگو [۷]، مارهانی و همکاران [۲۲] و آگونیبیی و همکارن [۲۳] تفکر ناب را به عنوان تفکری که می‌تواند موجب بهبود ابعاد مختلف ساخت و ساز پایدار شود، مورد بررسی قرار دادند. جمیل و فتحی [۱۰] با پژوهش در مورد ابعاد مختلف ساخت و ساز ناب و پایدار، نقطه‌ای را مورد هدف قرار دادند که طبق یافته‌های نظری و عملی شالوده‌ای برای ادغام این دو ابتکار در دستیابی به استفاده‌ی بهینه از منابع ارزشمند باشد. فرانسیس و توماس [۲۴] به مرور و بررسی دو مفهوم مجزا و مهم ساخت ناب و محیط زیست در طول حیات یک پروژه ساخت و ساز پرداختند. پنگ و فنگ [۲۵] چگونگی موثر بودن مفاهیم ناب در کاهش تولید کربن ناشی از ساخت و ساز را مورد بررسی قرار دادند.

سانتوس و همکاران [۲۶] و آلوان و همکاران [۲۷] به نقش موثر مدلسازی اطلاعات ساختمان در بهبود استراتژی‌های توسعه پایدار در صنعت ساخت پرداختند. برخی از محققان از جمله لیو و همکاران [۲۸]، احمد و همکاران [۲۹]، محسنی جم و همکاران [۳۰]، اوتی و تیزانی [۳۱] و لوو و همکاران[۱۲] چگونگی کاربرد بیم در دستیابی به یک طراحی پایدار را مورد پژوهش قرار دادند.کاروالوو و همکاران [۳]، جلائی و جرید [۳۲]، آلوان و همکاران [۲۷]، ونگ و کوآن [۳۳] و ازهر و همکاران [۳۴] به نحوه‌ی استفاده از بیم به منظور بهینه‌سازی روش‌های ارزیابی پایداری ساختمان(BSA) با تمرکز بر سیستم‌های مختلف رتبه‌بندی پایداری پرداختند. در زمینه ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان با ابزارهای شبیه‌سازی و ارزیابی انرژی مصرفی، نویسندگانی از جمله شوبی و همکاران [۳۵]، جلائی و همکاران [۳۶]و چنگ و داس [۳۷] تحقیق کرده‌اند. اثرات بیم در هر سه بُعد اصلی پایداری یعنی ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی در تحقیق مالتیز و همکاران [۱۳] مورد مطالعه قرار گرفت و برخی محققان نحوه‌ی اثرگذاری بیم را بر هر یک از ابعاد سه‌گانه پایداری به صورت مجزا بررسی کردند، که از این میان می‌توان به مطالعات احمد و همکاران [۲۹] که بر بعد اجتماعی پایداری، لی و همکاران [۲۸] که بر بعد زیست محیطی پایداری و احمد و همکاران [۳۸] که بر بعد اقتصادی پایداری تمرکز داشتند، نام برد.

مطالعات انجام شده توسط ساکس و همکاران [۱۴]، همدی و لیته [۳۹] به ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و ساخت ناب پرداختند. تلفیق این دو حوزه از منظر ارتقا بهره‌وری و کاهش ضایعات ساختمان توسط هیگرموزر و همکاران[۱] و از منظر بهبود راندمان نگهداری توسط شوو و همکاران [۱۵] مورد بررسی قرار گرفته است. آرایسی و همکاران [۴۰] به نحوه‌ی مشارکت BIM در تسهیل دستیابی به اهداف ناب پرداختند، در صورتیکه ماهالینگام و همکاران [۱۱] نقش تفکر ناب را در امکان سازی به کارگیری BIM مورد پژوهش قرار داده است.

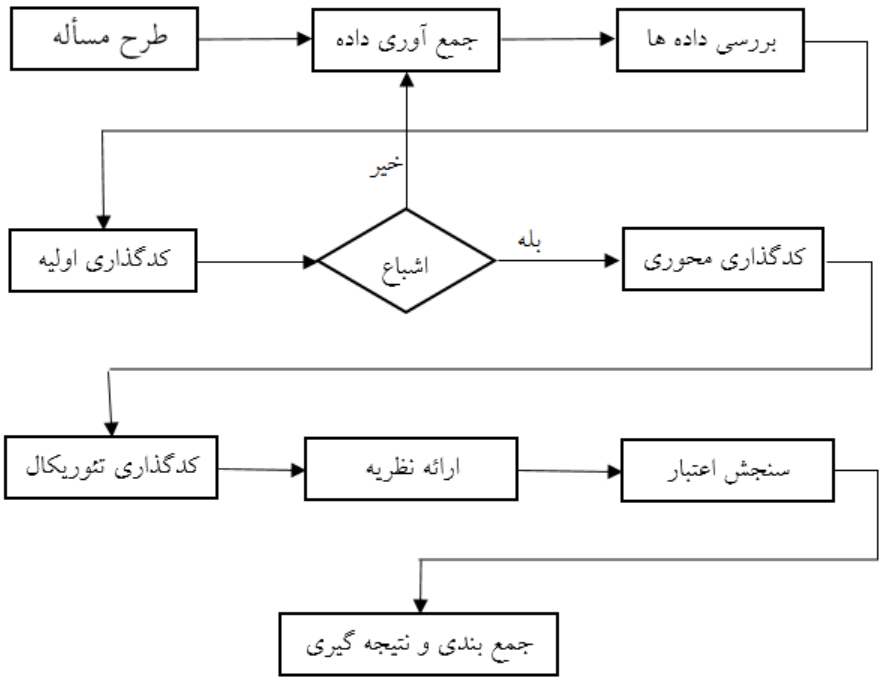
در دو مقاله‌ی آهوجا و همکاران [۱۶،۴۱] نیز هدف تلفیق دو به دو تفکرهای ناب و پایداری است که BIM را به عنوان ابزاری کارآمد برای پیشبرد اهداف تلفیقی این دو مفهوم معرفی می‌کند.

۳- روش پژوهش

در این پژوهش شالوده کار، مرور منظم ادبیات با رویکرد تحلیل پیمایشی می‌باشد. هدف این پژوهش داده‌کاوی میان مقالاتی است که به مفاهیم مدلسازی اطلاعات ساختمان، ساخت ناب و پایداری پرداخته‌اند. خروجی‌های اصلی این داده‌کاوی، شناسایی کدهایی است که نشانگر زمینه‌های تلفیقی سه گانه‌ی مفاهیم ساخت وساز پایدار، BIM و ساخت ناب و ارتباط این کدهای سه گانه با سایر کدها که

نماینده‌ی مزایای به کارگیری جداگانه هر یک از سه مفهوم BIM، ساخت ناب و پایداری و همچنین کدهای دوگانه‌ای است که نشان دهنده ی زمینه‌های تلفیقی دو به دو مفاهیم مذکور می‌باشد. بدین منظور این تحقیق با متدولوژی گراندد تئوری پیش می‌رود. تئوری برخواسته از داده ها (گراندد تئوری) یک روش پژوهشی استقرایی و اکتشافی است که به پژوهشگر در حوزه های موضوعی گوناگون امکان می دهد تا بجای اتکا به تئوری های موجود و از پیش تدوین شده خود به تدوین تئوری و گزاره اقدام نماید. این تئوری ها و گزاره ها به شکلی نظام مند و بر اساس داده های واقعی تدوین می شود. واژه گراندد در این موضوع نشانگر آن است که هر تئوری و گزاره‌ای که بر اساس این روش تدوین می شود بر زمینه ای مستند از داده های واقعی بنیان نهاده شده است [۴۲]

در فلوچارت شماره ۱ تمامی مراحل انجام شده پژوهش مبتنی بر روش گراندد تئوری نمایش داده شده است.



شکل ۱ گام‌های پژوهش انجام شده مبتنی بر گراندد تئوری

گام۱-طرح مسأله: با توجه به پیشینه‌ی تحقیقات مشخص شد اندک تحقیقاتی وجود دارند که هر سه مفهوم BIM ، ساخت ناب و پایداری را در کنار هم قرار دهند، با توجه به ضرورت شناسایی و اولویت بندی زمینه‌های تلفیقی سه مفهوم مذکور مسأله تحقیق حاضر مطرح گردید.

گام۲-جمع آوری داده: به دلیل عدم دسترسی به پروژه‌هایی که به طور همزمان هر سه تکنولوژی BIM ، ناب و پایداری را به کار برده باشند. داده‌های ورودی، مقالات مرتبط با سوال پژوهش هستند. تمرکز در این تحقیق بر مقالاتی است که تلفیق حوزه‌های مدلسازی اطلاعات ساختمان، توسعه پایدار و ساخت ناب را هدف پژوهش خود قرار داده‌اند.تعداد ۹۵ مقاله مورد تحقیق واقع شده‌اند که در این میان ۴۲ مقاله مرتبط با حوزه‌ی تلفیق مدلسازی اطلاعات ساختمان و توسعه پایدار، ۳۰ مقاله در ارتباط با ادغام موضوعات ساخت ناب و توسعه پایدار، ۲۲ مقاله در مورد ترکیب ساخت ناب و مدلسازی اطلاعات ساختمان و در نهایت ۳ مقاله به تلفیق هر سه مفهوم مذکور پرداخته اند.

گام۳- بررسی داده‌ها: ابتدا لازم است که تمامی داده‌ها به صورت خط به خط بررسی شده و در این بررسی اسناد به اجزای کوچکتری به نام روایت شکسته شوند. منظور از روایت بخشهایی از مقالات است که مرتبط با هدف پژوهش می‌باشند.

گام۴- کدگذاری اولیه: روایات مشخص شده در گام سوم به صورت خط به خط خوانده شده و کدگذاری شدند. کدگذاری، به معنای نامگذاری مفاهیمی است که از هر روایت برداشت می‌شود. این نام باید عبارتی باشد که پاسخی اثباتی بر یکی از چیستی‌های سوال تحقیق باشد. بنابراین تخصیص تکواژه‌ای، بدون وجود معنای فعل‌گونه در آن، ممکن است اعتبار کدگذاری را کاهش دهد.

گام ۵- اشباع: با پیشروی بیشتر پژوهش و بررسی مقالات بیشتر، رفته رفته از تعداد کدهای جدید در هر مقاله کاسته شد تا جایی که پس از بررسی حدود چهل مقاله به اشباع نسبی دست یافته شد. با این حال برای اطمینان از اینکه کدهای به دست آمده جامعیت قابل قبولی را دارند تعداد مقالات بررسی شده تا حدود ۹۰ مقاله پیش برده شد.

گام ۶- کدگذاری محوری: کدگذاری محوری، بر موضوعات کدگذاری شده‌ی ابتدایی، بیشتر از داده‌ها تمرکز دارد. هدف حرکت به سمت سازماندهی ایده‌ها یا موضوعات و شناسایی محور مفاهیم کلیدی در تحلیل می‌باشد. در این مرحله کدهایی که به ندرت تکرار شده بودند، نادیده گرفته شدند و تعدادی از کدهای مشابهی که متفاوت نامگذاری شده بودند با یکدیگر ادغام شدند. در دسته‌بندی اولیه کدهایی که دارای اشتراکات مفهومی بودند در یک دسته قرار داده شدند. یکسری از دسته‌بندی‌هایی که از محوریت سوالات پژوهش فاصله داشتند، به طور کلی حذف شده و برخی از دسته بندیها که قابلیت ادغام به یک دسته بندی جامعتر را داشتند، با یکدیگر ترکیب شدند.

گام ۷- کدگذاری تئوریکال: در طول کدگذاری تئوریکال، موضوعات اصلی یا مفاهیم سرانجام جست‌وجوی پژوهشگر را هدایت می کنند. موضوعات خاص که پیشتر در کدگذاری شناسایی شده‌اند تشخیص داده می‌شوند و شرح موضوع اصلی و جزئیات پرداخته می‌شود. با توجه به رسیدن به کدهای قطعی در این مرحله با بررسی هر کد در روایات، ماهیت تمام کدهای باقیمانده مشخص شد. تعدادی از کدها صرفا منعکس‌کننده یکی از مفاهیم BIM ، ناب و پایداری بودند. بخشی دیگر از کدها نشانگر اشتراکات دو به دو مفاهیم BIM، LEAN و Sustainability می‌باشند. مهمترین مرحله‌ی این بخش از پژوهش دستیابی به کدهایی است که نشان دهنده‌ی مزایای به کارگیری تلفیقی هر سه مفهوم مدلسازی اطلاعات ساختمان، تفکر ناب و توسعه‌ی پایدار ساخت می‌باشد.

گام ۸- ارائه نظریه: در گام بعد هدف یافتن کدهایی است که بیشترین ارتباط را با کدهای اصلی سه‌گانه داشتند، به این منظور کدهای سه گانه را به صورت جداگانه در میان روایات بررسی شدند و کدهایی که همزمان با کدهای سه‌گانه در هر یک از روایت ها به کار رفته بودند مشخص شدند. سپس درصد تکرار و ارتباط هر کد مشخص شده با کد سه‌گانه مربوطه تعیین شد. با توجه به اطلاعات کسب شده به نظریه‌پردازی پرداخته شد و به شناسایی زمینه هایی که تلفیق سه حوزه‌ی مدل سازی اطلاعات ساختمان و ساخت و ساز ناب و توسعه‌ی پایدار بر آنها بیشترین اثر مثبت را می‌گذارد، منجر شد.

گام ۹-صحت سنجی: با توجه به اطلاعات کسب شده از کدگذاری تئوریکال به پرسشنامه‌ای شامل ۶ سوال اصلی دست یافته شد. این ۶ سوال برگرفته از ۶ مقوله‌ی مرتبط با ترکیب سه مفهوم مدلسازی اطلاعات ساختمان، ساخت ناب و توسعه‌ی پایدار به دست آمده از مرحله قبل می‌باشند. مصاحبه‌هایی با ۱۰تن از متخصصین و اساتید داخل و خارج از کشور است که در هر سه حیطه‌ی ذکر شده سابقه‌ی فعالیت داشته‌اند، صورت پذیرفت .پس از دریافت پاسخ شرکت کنندگان در مصاحبه، به تحلیل و بررسی نظرات پاسخ‌دهندگان از طریق آزمون نرمالیته و تست غیرپارامتریک رتبه‌بندی فریدمن با استفاده از SPSS (یک نرم افزار تجزیه و تحلیل آماری) پرداخته شد.

گام ۱۰- جمع بندی و نتیجه گیری: در نهایت با توجه به گام‌های طی شده به ۶ نظریه مهم اولویت بندی شده در مزایای زمینه های تلفیقی سه مفهوم ساخت و ساز پایدار، ساخت ناب و مدلسازی اطلاعات ساختمان دست یافته شد.

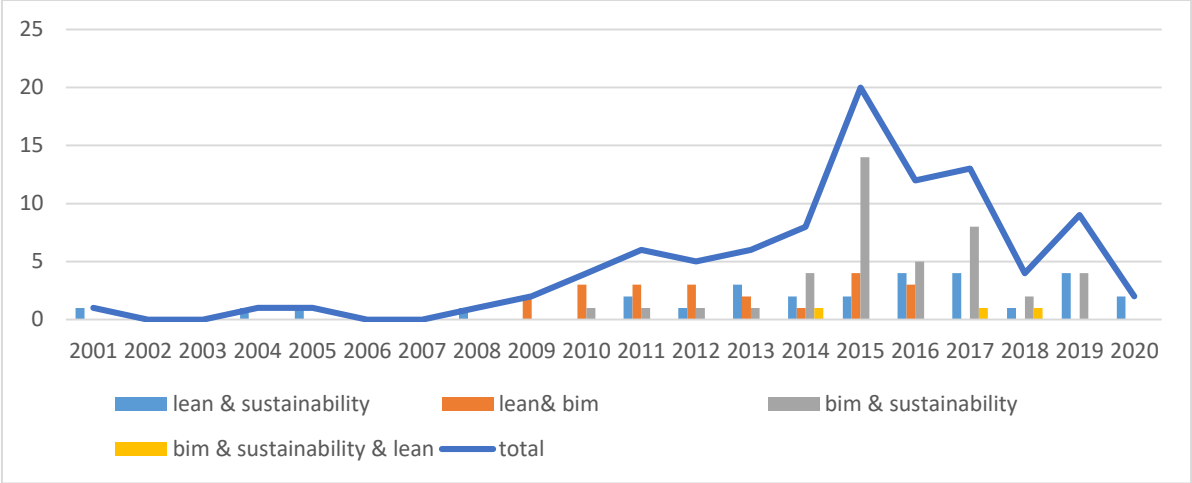
۴- نتایج پژوهش

این مقالات از میان ۳۳ مجله و کنفرانس معتبر جهانی مطابق جدول۱ انتخاب شده است.

جدول ۱ تعداد مقالات مرتبط با هر حوزه در مجلات مختلف

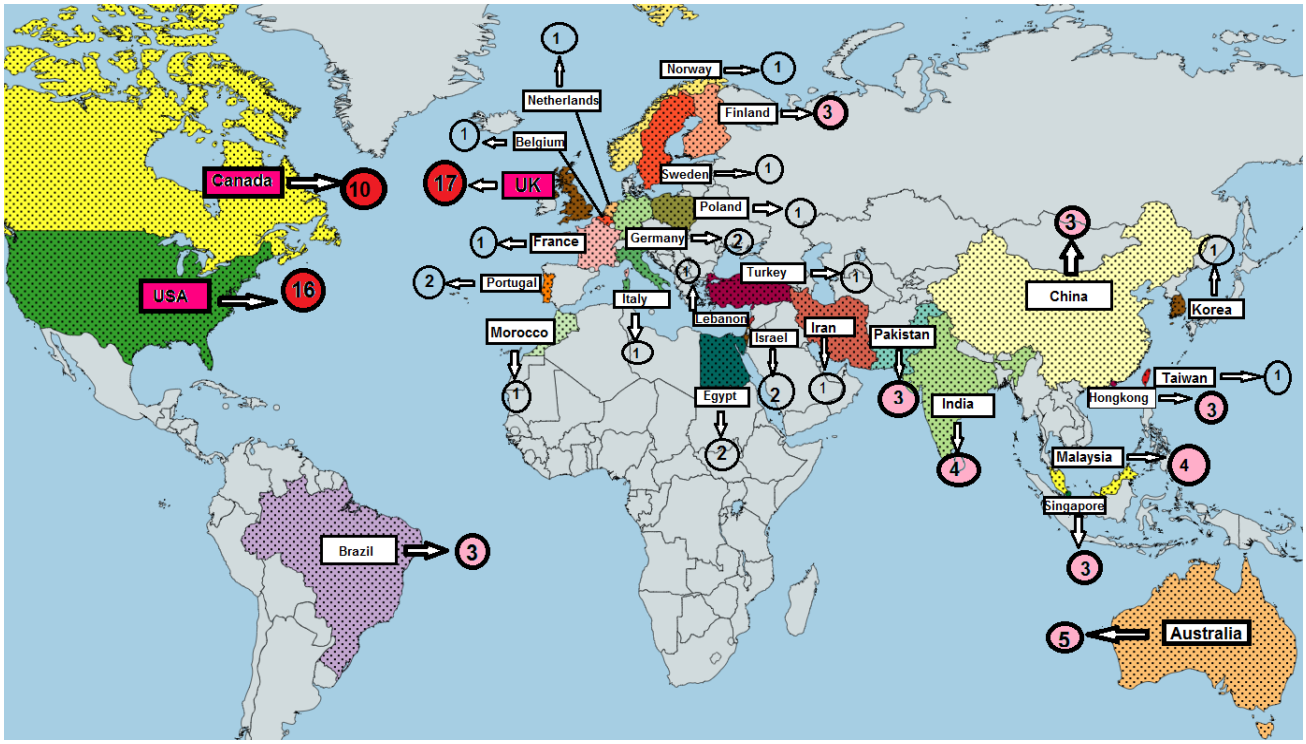
نام مجلات	Bim & sustainability	Bim &lean	Sustainability & lean	Sustainability & lean & bim	مجموع تعداد
Journal of Cleaner Production	۴		۹	۱	۱۴
Procedia Engineering	۱۰	۱			۱۱
Annual Conference of the International Group for Lean Construction(IGLC)		۹		۱	۱۰
Automation in Construction	۶	۴			۱۰
Sustainable Cities and Society	۴		۱		۵
Journal of Construction Engineering and Management		۴	۲		۶
Procedia Manufacturing	۱		۲		۳
Information Technology in Construction	۳				۳
Energy Procedia	۳				۳
Procedia - Social and Behavioral Sciences	۱		۲		۳
Construction Innovation	۲		۱		۳
Journal of Operations & Production Management			۲		۲
Sustainability	۱		۱		۲
Ain Shams Engineering Journal	۱		۱		۲
Clean Technologies and Environmental Policy	۱				۱
Advanced Engineering Informatics	۱				۱
Environmental Informatics	۱				۱
Canadian Journal of Civil Engineering	۱				۱
Journal of Civil Engineering			۱		۱
International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)			۱		۱
Procedia Computer Science			۱		۱
Green Build			۱		۱
Environmental Quality Management			۱		۱
Building and Environment			۱		۱
International Journal of Construction Management			۱		۱
Proceedings of the EPPM			۱		۱
Journal of Engineering Science and Technology Review			۱		۱
Smart and Sustainable Built Environment	۱				۱
International Conference on Construction Applications of Virtual Reality		۱			۱
International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)		۲			۱
Construction Research Congress: Construction Challenges in a Flat World		۱			۱
Computing in Civil and Building Engineering		۱			۱
International Journal of Sustainable Built Environment				۱	۱
Total	۴۲	۲۲	۳۰	۳	۹۵

مطابق نمودار شماره ۱ مقالات مطالعه شده مربوط به سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۲۰ می‌باشند، تعداد بسیار اندکی از مقالات به سالهای ماقبل ۲۰۱۰ برمی‌گردند و حجم قابل توجه مقالات به سالهای بعد از ۲۰۱۴ مرتبط هستند.



شکل ۲ سالهای انتشار مقالات مطالعه شده

همانطور که در شکل ۱ قابل مشاهده است، مقالات مورد بررسی قرار گرفته از پراکندگی قابل قبولی در سطح جهان برخوردار است، که در این میان کشور انگلیس با تعداد ۱۷ مقاله بیشترین تعداد مقالات را به خود اختصاص داده است و آمریکا با ۱۶ مقاله و کانادا با ۱۰ مقاله در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.



شکل ۳ تعداد مقالات مرتبط با هر کشور

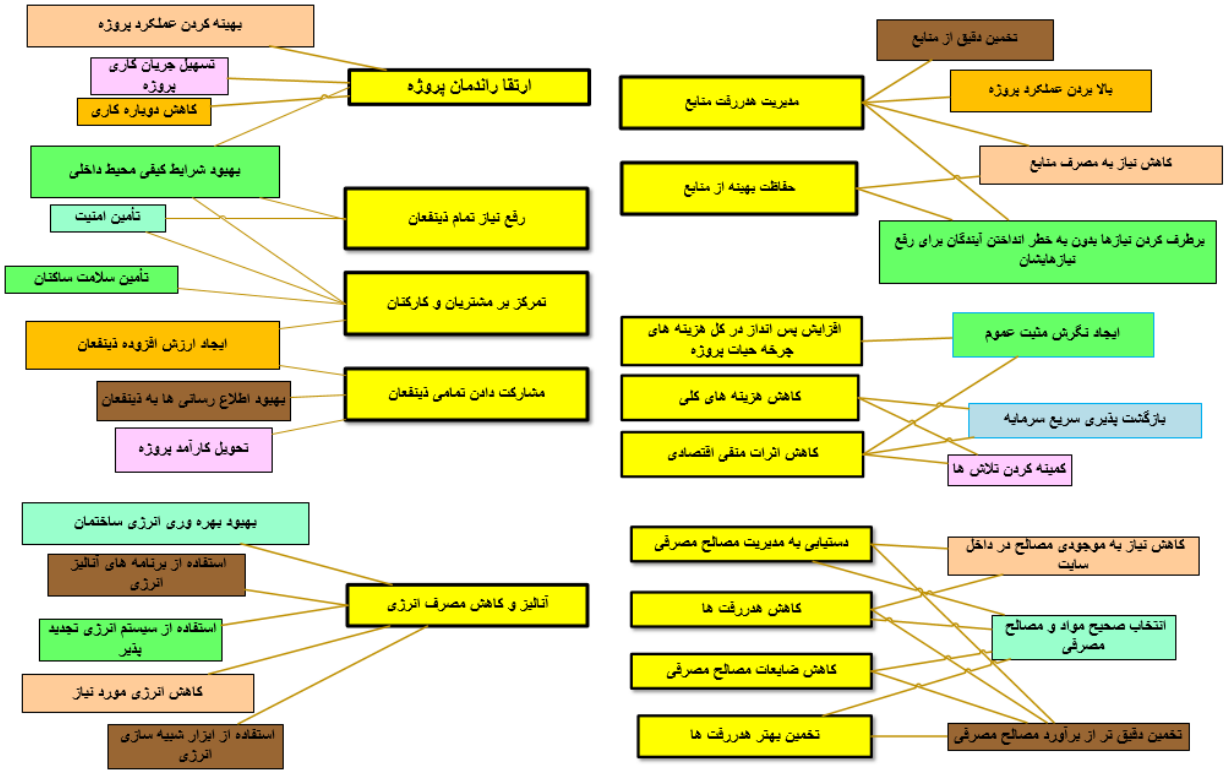
بررسی‌های انجام شده منجر به شناسایی ۱۴ کد متعلق به ۶ حوزه شد که این کدها نشان‌دهنده‌ی مزایای به کارگیری تلفیقی هر سه مفهوم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، تفکر ناب و توسعه‌ی پایدار ساخت می‌باشند. طبق جدول ۲ سه تکنیک BIM، ساخت و ساز ناب و پایداری در حوزه‌های مدیریت ذینفعان، مدیریت ضایعات و مصالح، مدیریت منابع، مدیریت هزینه‌ها، مدیریت راندمان پروژه و مدیریت انرژی

مصرفی بیشترین اشتراکات را دارند. به عبارت بهتر نتایج جدول ۲ نشان می دهد که تلفیق سه مفهوم BIM، ساخت و ساز ناب و پایدار در چه حوزه هایی میتواند بیشترین اثرگذاری را داشته باشد.

جدول ۱ مقولات و کدهای مرتبط با تلفیق سه حوزه‌ی BIM ، Lean و Sustainability

بعد	حوزه	کد
تلفیق مفاهیم BIM، LEAN و SUSTAINABILITY	مدیریت ذینفعان	رفع نیاز تمام ذینفعان
		تمرکز بر مشتریان و کارکنان
		مشارکت دادن تمامی ذینفعان
	مدیریت ضایعات و مصالح	دستیابی به مدیریت مصالح مصرفی
		کاهش هدررفت‌ها
		کاهش ضایعات مصالح مصرفی
		تخمین بهتر هدر رفت‌ها
	مدیریت منابع	مدیریت هدررفت منابع
		حفاظت بهینه از منابع
	مدیریت هزینه‌ها	افزایش پس‌انداز در کل هزینه‌های چرخه حیات پروژه
		کاهش هزینه‌های کلی
		کاهش اثرات منفی اقتصادی
	مدیریت راندمان پروژه	ارتقا راندمان پروژه
	مدیریت انرژی مصرفی	آنالیز و کاهش مصرف انرژی

در گام بعدی هدف یافتن کدهایی است که بیشترین ارتباط را با مفاهیم سه‌گانه داشته باشند، به این منظور تمام ۱۴ کد به صورت جداگانه در میان روایات بررسی شد و کدهایی که هم‌زمان با کدهای سه‌گانه در هر یک از روایت ها به کار رفته بودند مشخص شد. سپس درصد تکرار و ارتباط هر کد مشخص شده با مفاهیم سه‌گانه مربوطه تعیین شد. شکل ۲ نشانگر کدهایی است که علاوه بر اینکه درصد بالایی از تکرار را در روایات مرتبط با هر کدام از مفاهیم سه‌گانه داشتند، طبق بررسی روایات بیشترین ارتباط مفهومی را با آن کد داشتند.



شکل ۴ کدهای مرتبط با کدهای سه گانه با بیشترین درصد تکرار

جدول ۲ راهنمای شکل ۲

کدها		خطوط ارتباطی[۳]	
کدهای مرتبط با حوزه‌های Lean، BIM و Sustainability		درصد تکرار بین ٪۱۵ الی ٪۳۰	
کدهای مرتبط با حوزه Sustainability		درصد تکرار بین ٪۳۰ الی ٪۵۰	
کدهای مرتبط با حوزه Lean		درصد تکرار بین ٪۵۰ الی ٪۷۰	
کدهای مرتبط با حوزه BIM		درصد تکرار بین ٪۷۰ الی ٪۱۰۰	
کدهای مرتبط با حوزه‌های BIM,Lean			
کدهای مرتبط با حوزه های Sustainability, BIM			
کدهای مرتبط با حوزه‌های Sustainability, lean			

در گام بعدی به منظور اولویت بندی ۶ حوزه شناسایی شده از توزیع پرسشنامه بین خبرگان و تعیین میزان اولویت هرکدام از ۶ حوزه مذکور برای تلفیق BIM، ساخت و ساز ناب و پایدار استفاده شده. پاسخگویی به گویه های پرسشنامه در قالب طیف لیکرت که از خیلی زیاد تا خیلی کم تغییر می کند انجام شد.

[۳] این درصدها نشانگر این است که کدهایی که مرتبط با یک یا دو حوزه مدلسازی اطلاعات ساختمان، ساخت و ساز ناب و توسعه پایدار می‌باشند به چه میزان در متنهای مرتبط با کدهای سه گانه تکرار شده‌اند.

به منظور تحلیل نتایج حاصل از توزیع پرسشنامه ابتدا می بایست نرمال بودن داده ها بررسی شود. با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف ، به بررسی نرمال یا غیرنرمال بودن توزیع متغیرهای مورد نظر پرداخته شده. نتایج حاصل از آزمون کولموگروف اسمیرنوف برای نرمال بودن متغیرهای میزان تأثیرگذاری در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴ نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

		مدیریت ذینفعان	مدیریت ضایعات و مصالح مصرفی	مدیریت منابع مصرفی	مدیریت هزینه	مدیریت انرژی مصرفی	راندمان پروژه
N		10	10	10	10	10	10
Normal Parameters[a,b]	Mean	4.2000	4.8000	4.1000	4.3000	4.6000	3.8000
	Std. Deviation	.42164	.42164	.56765	.67495	.51640	.42164
Most Extreme Differences	Absolute	.482	.482	.370	.272	.381	.482
	Positive	.482	.318	.370	.272	.277	.318
	Negative	-.318	-.482	-.330	-.250	-.381	-.482
Test Statistic		.482	.482	.370	.272	.381	.482
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000[c]	.000[c]	.000[c]	.035[c]	.000[c]	.000[c]

بر اساس نتایج آزمون کولموگروف اسمیرنوف مشاهده می‌شود که سطح معناداری آزمون (Asymp. Sig) ، در تمامی موارد پایین-تر از ۰،۰۵ می‌باشد. در نتیجه می‌توان بیان داشت که تمامی متغیرهای مورد بررسی در پژوهش دارای توزیع نرمال نمی‌باشند. از این رو برای مرحله‌ی بعد که آزمون رتبه‌بندی است، روش غیرپارامتری بر روش پارامتری ترجیح داده می‌شود.

برای رتبه‌بندی متغیرها از آزمون ناپارامتریک فریدمن استفاده می‌شود. در آزمون فریدمنH_0 مبتنی بر یکسان بودن میانگین رتبه‌ها در بین گروه‌هاست. رد شدن فرض صفر به این معنی است که در بین گروه‌ها حداقل دو گروه با هم تفاوت معناداری دارند.

جدول ۵ آزمون فریدمن

N	10
Chi-Square	27.462
df	5
Asymp. Sig.	.000

با توجه به اینکه طبق جدول ۵ سطح معناداری آزمون (Asymp. Sig.) صفر می‌باشد و کمتر از ۰،۰۵ است، فرض H_0 رد می‌شود. این موضوع بیانگر این است که رتبه‌بندی متغیرها طبق جدول ۶، قابل استناد می‌باشد.

جدول ۶ رتبه‌بندی متغیرها

	Mean Rank
مدیریت ذینفعان	3.20
مدیریت ضایعات و مصالح مصرفی	4.95
مدیریت منابع مصرفی	2.90
مدیریت هزینه	3.50
مدیریت انرژی مصرفی	4.40
راندمان پروژه	2.05

طبق نتایج برگرفته از آزمون فریدمن، به اولویت‌بندی نظریه‌ها که به ترتیب در جدول ۷ زیر، شرح داده شده‌اند، دست یافته شد.

جدول ۷ نظریه‌های پژوهش طبق اولیت‌بندی نهایی

رتبه	مقوله	نظریه
۱	مدیریت ضایعات و مصالح مصرفی	از آنجاییکه هدف اصلی از ساخت و ساز ناب کاهش هدررفت مصالح و تولید نخاله بوده و همچنین در مفاهیم پایداری هدف اصلی استفاده از مصالح با دوام بیشتر و آسیب زنندگی کمتر به محیط زیست است می توان از مدل های BIM برای تامین این دو نیاز استفاده لازم را برد. مدل های BIMاین قابلیت را دارد تا با تخمین دقیق مصالح مورد نیاز هم برآورد مشخصی از مصالح به منظور مدیریت تولید نخاله ایجاد نموده و هم اینکه می توان با استفاده از مدل های BIM امکان استفاده مجدد از مصالح بازیافتی را فراهم نمود. چنانچه مصرف مصالح و تولید نخاله آنها نیز کاهش یابد می توان به اهداف ساخت و ساز پایدار نیز دست یافت.
۲	مدیریت انرژی مصرفی	از آنجاییکه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان موجب برآورد دقیق‌تر بهره‌وری انرژی می‌شود، و همچنین هدف از ساخت‌وساز ناب به حداقل رساندن هدررفتها و به تبع آن کمینه کردن مصرف انرژی است و همچنین مفهوم توسعه‌ی پایدار با کاهش انرژی مورد نیاز مصرفی عجین می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که تلفیق سه حوزه‌ی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و ساخت و ساز ناب و توسعه‌ی پایدار، مدیریت و کنترل بهتری از انرژی مصرفی را ارائه می‌دهد.
۳	مدیریت هزینه	با توجه به اینکه در بعد پنجم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به مدیریت هزینه پرداخته شده‌است، می توان هزینه اجرای ساختمان را با استفاده از بکارگیری مدل های BIMمدیریت کرد که این موضوع دقیقا در راستای اهداف ساخت‌وساز ناب می باشد. در حوزه توسعه پایدار با ایجاد نگرش مثبت عموم نسبت به ساختمان، امکان بازگشت پذیری سریع سرمایه را فراهم می‌کند، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب مفاهیم مدل سازی اطلاعات ساختمان، ساخت و ساز ناب و توسعه‌ی پایدار، مدیریت هزینه پروژه را در طول چرخه‌ی حیاتش بهبود می‌بخشد.
۴	مدیریت ذینفعان	با توجه به اینکه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان موجب بهبود اطلاع‌رسانی‌ها و همکاری‌های ذینفعان می‌شود، از طرف دیگر مساخت‌وساز ناب بر تحویل کارآمد پروژه و ایجاد ارزش افزوده ذینفعان اثرگذار می‌باشد و همچنین توسعه‌ی پایدار شرایط کیفی بهتر محیط داخلی، سلامت و امنیت را برای ساکنان و کارکنان فراهم می‌کند، می‌توان نتیجه گرفت که تلفیق سه حوزه‌ی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، ساخت‌وساز ناب و توسعه‌ی پایدار سطح بهتری از نیازهای ذینفعان را رفع می‌کند.
۵	مدیریت منابع مصرفی	با توجه به اینکه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان تخمین دقیقی از منابع مورد نیاز را ارائه می‌کند، از طرف دیگر ساخت‌وساز ناب به کمترین میزان مصرف منابع برای بالا بردن عملکرد پروژه تمایل دارد و همچنین توسعه پایدار در راستای برطرف کردن نیازهای مصرف منابع، بدون به خطر انداختن توان آیندگان برای رفع نیازهایشان می‌باشد، میتوان نتیجه گرفت که تلفیق مفاهیم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، ساخت و ساز ناب و توسعه‌ی پایدار، مدیریت منابع پروژه را بهبود می‌بخشد.
۶	راندمان پروژه	با توجه به این‌که مدل‌سازی اطلاعات ساختمان موجب کاهش دوباره‌کاری‌ها می‌شود، از طرفی ساخت‌وساز ناب بر تسهیل جریان کاری پروژه اثرگذار می‌باشد و همچنین توسعه‌پایدار با تمرکز بر کیفیت محیط داخلی و بهینه کردن عملکرد پروژه، باعث ارتقا راندمان کارکنان می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که تلفیق سه حوزه مدل سازی اطلاعات ساختمان، ساخت و ساز ناب و توسعه‌ی پایدار، راندمان پروژه را در طول چرخه حیاتش ارتقا می‌دهد.

۱۰- نتیجه گیری

مطالعات بسیاری در مورد مدل سازی اطلاعات ساختمان ، ساخت و ساز ناب و پایداری نه تنها به صورت جداگانه بلکه به صورت دو به دو انجام شده است. با این وجود، در حال حاضر اندک تحقیقاتی وجود دارد که این مفاهیم را به صورت جمعی ادغام کرده باشد. هدف این پژوهش شناسایی و اولویت‌بندی زمینه‌هایی از یک پروژه عمرانی است که بیشترین اثر مثبت را از بکارگیری سه جانبه مفاهیم BIM ، ساخت و ساز ناب و پایداری می‌پذیرند. با استفاده از روش تحلیل کیفی گراندد تئوری و سایر ابزارهای پژوهش‌های کیفی به حوزه-های اشتراکات سه مفهوم BIM ، ساخت و ساز ناب و پایداری پرداخته شد. داده‌های این پژوهش ۹۵ مقاله به روز بین‌المللی بودند که زمینه‌های تلفیقی دو به دو این مفاهیم را مورد بررسی قرار داده بودند. با استفاده از تکنیک روش گراندد تئوری سه مرحله کد گذاری اولیه، محوری و نئوریکال انجام شد. نتایج کدگذاری اولیه شناسایی ۴۵۰ کد ابتدایی بود. بعد از انجام مراجل کدگذاری محوری و نئوریکال کدهای اولیه غربال شده و در حوزه های شش گانه شامل مدیریت ذینفعان، مدیریت هزینه، مدیریت ضایعات و مصالح مصرفی، مدیریت منابع مصرفی، راندمان پروژه و مدیریت انرژی مصرفی طبقه بندی شدند. با توجه به کدهای زیرشاخه هرکدام از شش حوزه مورد اشاره سعی در ارائه نظریه هایی به منظور تلفیق سه مفهوم BIM ، ساخت و ساز ناب و پایداری شد. برای تحلیل و بررسی نظریه‌ها و اولویت‌بندی آنها، مصاحبه‌ای در قالب یک پرسشنامه‌ی ۶ سوالی ترتیب داده شد. پس از تحلیل نتایج با کمک آزمون فریدمن اولویت‌بندی نظریه‌ها حاصل شد. نتایج نشان داد که استفاده از تلفیق سه مفهوم BIM ، ساخت و ساز ناب و پایداری، بیشترین اثرگذاری را به ترتیب در بهبود شرایط مدیریت ضایعات و مصالح مصرفی، مدیریت انرژی و مدیریت هزینه داشته باشد. براساس نتایج این پژوهش حوزه مدیریت ضایعات مسئله ای است که بیشتر می تواند تاثیرات تلفیق سه مفهوم مورد اشاره در این پژوهش را با همزمانی تخمین دقیق مصالح توسط مدل های BIM و کاهش مصرف و هدررفت مصالح با استفاده از مفهوم ساخت و ساز ناب و نهایتا آسیب کمتر به محیط زیست و مصرف کمتر مصالح را در راستای ساخت و ساز پایدار به دنبال داشته باشد. محققین مختلفی مانند (ساجده و همکاران [۴۳]، روزنباوم و همکاران [۴۴]، فرکوق و همکاران [۴۵] تحقیقاتی را در این زمینه داشته اند. پژوهش های آتی در این زمینه می تواند در راستای توسعه پلتفرم هایی به منظور خودکار کردن تلفیق این سه حوزه به منظور کاهش نخاله های ساختمانی و یا استفاده مجدد از مصالحی که دچار آسیب های جزیی شده اند تعریف شود. حوزه مدیریت انرژی یکی از حوزه های مورد توجه محققین پیشین برای نشان دادن اثرگذاری مدل های BIM در ساختمان بوده است به عنوان مثال می توان به فعالیت های چاسیاکس و همکاران [۴۶]، چن و همکاران [۴۷]؛ چوو و همکاران [۴۹] اشاره کرد. به طور مشخص بهینه کردن مصرف انرژی با استفاده از مدل های BIM خود در راستای توسعه مفاهیم ساخت و ساز پایدار می باشد. مدل های آتی می تواند در راستای تلفیق مفاهیم ساخت و ساز ناب به منظور بهینه سازی مصرف مصالح که خود در راستای مدیریت انرژی مصرفی باشد تعریف شود. مدیریت هزینه رتبه سوم را در بین پاسخ دهندگان در خصوص جذابیت تلفیق سه مفهوم مورد اشاره کسب کرد. بعد پنجم مدلساز BIM به طور مشخص به مدیریت هزینه ها در پروژه می پردازد. استفاده از مفهوم ساخت و ساز ناب خود باعث مدیریت بهینه مصرف منابع شده که می تواند در راستای مدیریت هزینه نیز در نظر گرفته شود. از سویی دیگر استفاده از مصالح پایدار نیز می تواند خود محرکی به منظور استفاده از مصالح مناسب و مدیریت هزینه ها گردد. مدل های آتی می تواند به پیاده سازی مفهوم ساخت و ساز ناب در بعد پنجم مدل های BIM تعریف شود.

در این پژوهش، تلاش بر پر کردن یکی از جنبه‌های خلأ تحقیقاتی تلفیق سه حوزه‌ی مدلسازی اطلاعات ساختمان، توسعه پایدار و ساخت ناب می‌باشد. در واقع توجه اصلی پژوهشگر بر شناسایی و اولویت‌بندی مزیت‌های تلفیق سه مفهوم ذکر شده می‌باشد. با توجه به این موضوع برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد:

۱- چالش‌های موجود در به کارگیری سه تکنیک Bim، Lean و Sustainability در یک پروژه به طور همزمان مورد بررسی قرار گیرد.

۲- پارامترهای موثر بر استفاده‌ی بهینه از مزایای تلفیق سه مفهوم مدلسازی اطلاعات ساختمان، ساخت ناب و توسعه‌ی پایدار شناسایی و اولویت‌بندی شوند.

۳- نحوه‌ی تأثیرگذاری ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان، ساخت ناب و توسعه پایدار بر هر یک از حوزه‌های مدیریت ضایعات و مصالح مصرفی، مدیریت انرژی مصرفی، مدیریت هزینه، مدیریت ذینفعان، مدیریت منابع مصرفی و راندمان پروژه می‌تواند هر کدام موضوع یک پژوهش مستقل باشد و با عمق بیشتری میزان بهبود عملکرد هر یک از این ۶ حوزه زمانی که مفاهیم سه‌گانه در یک پروژه در کنار هم قرار می‌گیرند ، مورد بررسی قرار بگیرد. پیشنهاد می‌شود با توجه به اولویت‌بندی به دست آمده در این پژوهش این زمینه‌ها بررسی شوند.

مراجع

[1] Heigermoser, D., de Soto, B. G., Abbott, E. L. S., & Chua, D. K. H. (2019). BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. *Automation in Construction*, *104*, 246-254.

[2] Solaimani, S., & Sedighi, M. (2020). Toward a holistic view on lean sustainable construction: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, *248*, 119213.

[3] Carvalho, J. P., Bragança, L., & Mateus, R. (2019). Optimising building sustainability assessment using BIM. *Automation in Construction*, *102*, 170-182.

[4] De Carvalho, A. C. V., Granja, A. D., & Da Silva, V. G. (2017). A systematic literature review on integrative lean and sustainability synergies over a building's lifecycle. *Sustainability*, *9*(7), 1156.

[5] Hussain, K., He, Z., Ahmad, N., & Iqbal, M. (2019). Green, lean, six sigma barriers at a glance: a case from the construction sector of Pakistan. *Building and Environment*, *161*, 106225.

[6] Bajjou, M. S., Chafi, A., Ennadi, A., & El Hammoumi, M. (2017). The Practical Relationships between Lean Construction Tools and Sustainable Development: A literature review. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, *10*(4).

[7] Carvajal-Arango, D., Bahamón-Jaramillo, S., Aristizábal-Monsalve, P., Vásquez-Hernández, A., & Botero, L. F. B. (2019). Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase. *Journal of Cleaner Production*, *234*, 1322-1337.

[8] Kurdve, M., et al., Waste flow mapping to improve sustainability of waste management: a case study approach. Journal of Cleaner Production, 2015. 98: p. 304-315.

[9] Khodeir, L.M. and R. Othman, Examining the interaction between lean and sustainability principles in the management process of AEC industry. Ain Shams Engineering Journal, 2018. 9(4): p. 1627-1634.

[10] Abd Jamil, A. H., & Fathi, M. S. (2016). The integration of lean construction and sustainable construction: A stakeholder perspective in analyzing sustainable lean construction strategies in Malaysia. *Procedia Computer Science*, *100*(1), 634-643.

[11] Mahalingam, A., Yadav, A. K., & Varaprasad, J. (2015). Investigating the role of lean practices in enabling BIM adoption: Evidence from two Indian cases. *Journal of Construction Engineering and Management*, *141*(7), 05015006.

[12] Lu, Y., Wu, Z., Chang, R., & Li, Y. (2017). Building Information Modelling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, *83*, 134-148.

[13] Maltese, S., Tagliabue, L. C., Cecconi, F. R., Pasini, D., Manfren, M., & Ciribini, A. L. (2017). Sustainability assessment through green BIM for environmental, social and economic efficiency. *Procedia engineering*, *180*, 520-530.

[14] Sacks, R., Radosavljevic, M., & Barak, R. (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in construction*, *19*(5), 641-655.

[15] Shou, W., Wang, X., Wang, J., Hou, L., & Truijens, M. (2014). Integration of BIM and lean concepts to improve maintenance efficiency: A case study. In *Computing in Civil and Building Engineering (2014)* (pp. 373-380).

[16] Ahuja, R., Sawhney, A., & Arif, M. (2017). Driving lean and green project outcomes using BIM: A qualitative comparative analysis. *International Journal of Sustainable Built Environment*, *6*(1), 69-80.

[17] Saieg, P., Sotelino, E. D., Nascimento, D., & Caiado, R. G. G. (2018). Interactions of building information modeling, lean and sustainability on the architectural, engineering and construction industry: a systematic review. *Journal of cleaner production*, *174*, 788-806.

[18] Bhattacharya, A., Nand, A., & Castka, P. (2019). Lean-green integration and its impact on sustainability performance: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, *236*, 117697.

[19] Leon, H. C. M., & Calvo-Amodio, J. (2017). Towards lean for sustainability: Understanding the interrelationships between lean and sustainability from a systems thinking perspective. *Journal of cleaner production*, *142*, 4384-4402.

[20] Garza-Reyes, J. A. (2015). Lean and green–a systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, *102*, 18-29.

[21] Koranda, C., Chong, W. K., Kim, C., Chou, J. S., & Kim, C. (2012). An investigation of the applicability of sustainability and lean concepts to small construction projects. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *16*(5), 699-707.

[22] Marhani, M. A., Jaapar, A., & Bari, N. A. A. (2012). Lean Construction: Towards enhancing sustainable construction in Malaysia. *Procedia-social and behavioral sciences*, *68*, 87-98.
[23] Ogunbiyi, O., Goulding, J. S., & Oladapo, A. (2014). An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK. *Construction innovation*.
[24] Francis, A., & Thomas, A. (2020). Exploring the relationship between lean construction and environmental sustainability: A review of existing literature to decipher broader dimensions. *Journal of Cleaner Production*, *252*, 119913.
[25] Peng, W., & Pheng, L. S. (2011). Lean and green: emerging issues in the construction industry–a case study. *Proceedings of the EPPM, Singapore*, 20-21.
[26] Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. *Automation in Construction*, *103*, 221-234.
[27] Alwan, Z., Jones, P., & Holgate, P. (2017). Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 349-358.
[28] Liu, H., Sydora, C., Altaf, M. S., Han, S., & Al-Hussein, M. (2019). Towards sustainable construction: BIM-enabled design and planning of roof sheathing installation for prefabricated buildings. *Journal of Cleaner Production*, *235*, 1189-1201.
[29] Ahmad, T., Aibinu, A., & Thaheem, M. J. (2017). BIM-based iterative tool for sustainable building design: A conceptual framework. *Procedia engineering*, *180*, 782-792.
[30] Mohsenijam, A., & Lu, M. (2016). Achieving sustainable structural steel design by estimating fabrication labor cost based on BIM data. *Procedia Eng*, *145*, 654-661.
[31] Oti, A. H., & Tizani, W. (2015). BIM extension for the sustainability appraisal of conceptual steel design. *Advanced Engineering Informatics*, *29*(1), 28-46.
[32] Jalaei, F., Jrade, A., & Nassiri, M. (2015). Integrating decision support system (DSS) and building information modeling (BIM) to optimize the selection of sustainable building components. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, *20*(25), 399-420.
[33] Wong, J. K. W., & Kuan, K. L. (2014). Implementing 'BEAM Plus' for BIM-based sustainability analysis. *Automation in construction*, *44*, 163-175
[34] Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D., & Ahmad, I. (2011). Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. *Automation in construction*, *20*(2), 217-224.
[35] Shoubi, M. V., Shoubi, M. V., Bagchi, A., & Barough, A. S. (2015). Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. *Ain Shams Engineering Journal*, *6*(1), 41-55.
[36] Jalaei, F., & Jrade, A. (2014). Integrating Building Information Modeling (BIM) and Energy Analysis Tools with Green Building Certification System to Conceptually Design Sustainable Buildings. *Itcon*, *19*, 494-519.
[37] Cheng, J. C., & Das, M. (2014). A BIM-based web service framework for green building energy simulation and code checking. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, *19*(8), 150-168.
[38] Ahmad, T., & Thaheem, M. J. (2018). Economic sustainability assessment of residential buildings: A dedicated assessment framework and implications for BIM. *Sustainable cities and society*, *38*, 476-491.
[39] Hamdi, O., & Leite, F. (2012, July). BIM and Lean interactions from the bim capability maturity model perspective: A case study. In *IGLC 2012-20th Conference of the International Group for Lean Construction, The International Group for Lean Construction*.
[40] Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in construction*, *20*(2), 189-195.
[41] Ahuja, R., Sawhney, A., & Arif, M. (2014, June). BIM based conceptual framework for lean and green integration. In Proceedings of the 22nd Conference of the International Group of Lean Construction (pp. 123-132).
[42] Charmaz, K. (2006). Grounded theory: A practical guide through qualitative analysis. Thousand Oaks, CA: Sage. Cornell, S., Berkhout, F., Willemijn, T., Tàbara, D., Jäger, J., Chabay, L.,… Kerkhoff, L.(2013). Opening up knowledge systems for better responses to global environmental change. Environmental Science & Policy, 28, 60-70.
[43] Sajedeh, M., Fleming, A., Talebi, S., & Underwood, J. (2016). Development of an Experimental Waste Framework based on BIM/Lean concept in construction design.
[44] Rosenbaum, S., Toledo, M., & Gonzalez, V. (2012, July). Green-lean approach for assessing environmental and production waste in construction. In Proceedings for the 20th Annual Conference of the IGLC, San Diego, USA.
[45] Fercoq, A., Lamouri, S., & Carbone, V. (2016). Lean/Green integration focused on waste reduction techniques. Journal of Cleaner production, 137, 567-578.

[46] Chassiakos, A., Karatzas, S., & Farmakis, P. (2019). BIM and Lean-Business Process Reengineering for Energy Management Optimization of Existing Building Stock. In Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering (pp. 711-718). Springer, Cham.
[47] Chen, C. J., Chen, S. Y., Li, S. H., & Chiu, H. T. (2017). Green BIM-based building energy performance analysis. Computer-Aided Design and Applications, 14(5), 650-660.
[48] Choo, S. Y., Lee, K. H., & Park, S. K. (2012). A Study on LOD (Level of Development) for Development of Green BIM Guidelines-Focused on Energy Performance Estimation. Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 28(6), 37-47.