نشریه‌ی مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی
Tunneling & Underground Space Engineering (TUSE)
tuse.shahroodut.ac.ir
دوره‌ی ۱۱- شماره‌ی ۲/زمستان ۱۴۰۱

بررسی مزایای مدل‌سازی اطلاعات ساخت (BIM) در پروژه‌های تونلی
مطالعه موردی ایستگاه متروی میدان نماز اسلامشهر

مقاله پژوهشی

رامین علم‌شاهی[۱]؛ امید فرجی[۲]؛ سینا رستم‌آبادی[۳*]؛ آرمین مقبلی[۴]؛ سیدعباس اسدی[۵]؛ امین الوانچی[۶]

۱- کارشناس ارشد مهندسی مدیریت ساخت؛ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ramin.alamshahi@gmail.com
۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران؛ دانشکده‌ی عمران، آب و انرژی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، omidfaraji110@gmail.com
۳- کارشناس ارشد تونل و فضای زیرزمینی؛ عضو پیوسته انجمن تونل ایران، تهران، ایران، s.rostamabadi@srbiau.ac.ir
۴- دکتری سازه؛ مدیر بخش سازه و معماری شرکت مهندسین مشاور رهساز طرح، rmin.moghbeli@gmail.com
۵- کارشناس ارشد معماری؛ بیم مدلر شرکت مهندسین مشاور رهساز طرح، vahabasadi1366@gmail.com
۶- عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف؛ تهران، ایران، alvanchi@sharif.edu

دریافت دست‌نوشته: ۱۴۰۲/۰۲/۱۹؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳
شماره صفحات: ۲۰۵ تا ۲۲۷
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22044/tuse.2024.13099.1478

واژگان کلیدی
صنعت ساخت
فناوری‌های نوین
طراحی یک‌پارچه
تونل
مدل‌سازی

چکیده

ساخت و ساز یکی از صنایع کلیدی است که تأثیر فراوانی بر اقتصاد کشورها داشته و سالانه درصد قابل توجهی از بودجه کل کشورها را به خود اختصاص می‌دهد. با فرا رسیدن انقلاب صنعتی چهارم، دامنه به‌کارگیری فناوری‌ها در حوزه ساخت و ساز و درک مزایای آن گسترده‌تر شد. صنعت ساخت با رویکرد دیجیتالی شدن و دخیل شدن فناوری‌های نوین تحولی شگرف را تجربه کرده است و این تکامل، تأثیر بسزایی در برآوردن نیازها و فرآیندهای موجود در صنعت ساخت ایفا می‌کند. از جمله فناوری‌هایی که بستر دیجیتالی شدن صنعت ساخت را فراهم کرده، مدل‌سازی اطلاعات ساخت است. فرآیندی که در طی آن، مدیریت و تولید اطلاعات پروژه‌های عمرانی به صورت منسجم و یکپارچه انجام می‌پذیرد و باعث همکاری گروهی و هماهنگ مؤثر ارکان پروژه و طراحی‌های دقیق و جزئی‌تر می‌شود. تونل یکی از پرکاربردترین پروژه‌های صنعت ساخت است که برای کاربری‌های مختلفی نظیر حمل و نقل، استخراج مواد معدنی، هدایت جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی، نصب تأسیسات و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاله حاضر، پژوهش‌های صورت گرفته از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و با مطالعه موردی ایستگاه متروی میدان نماز اسلامشهر به پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات ساخت و شرح نتایج آن پرداخته است.

۱- مقدمه

صنعت ساخت پتانسیل قابل توجهی در ارتقاء اقتصاد کشورها دارد و شواهد محکمی در سالیان اخیر وجود دارد که ساخت و ساز نوآورانه و کارآمد، یک اقتصاد جهانی باثبات را به ارمغان می‌آورد. با رشد سریع اقتصاد و جمعیت، حمل و نقل شهری

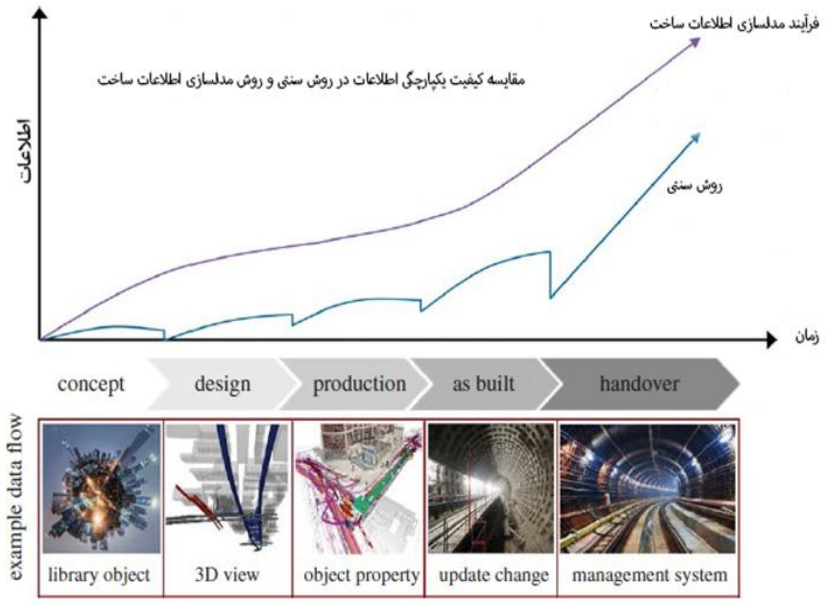
* تهران؛ خیابان کارگر شمالی؛ بالاتر از بیمارستان قلب؛ نبش خیابان دوم؛ ساختمان ۱۸۳۹؛ طبقه ۵؛ واحد ۱؛ انجمن تونل ایران؛ تلفن: ۸۸۶۳۰۴۹۵-۰۲۱

به یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های توسعه‌ی کشورها مبدل شده است و در این میان حمل و نقل زیرزمینی به طور قابل توجهی در توسعه‌ی شهری ایفای نقش می‌کند. حمل و نقل زیرزمینی در مقایسه با سایر روش‌های حمل و نقل، دارای ویژگی‌های بارز از جمله کاهش حجم ترافیک سطحی، ظرفیت بالا، آلودگی کمتر، صدای کمتر و عدم تقاطع همسطح با جاده‌های شهری است و از طرف دیگر روش ساخت تونل از پروژه‌ای به پروژه دیگر متفاوت است زیرا بسته به اندازه، شکل، کاربرد، بودجه، منابع، شرایط ژئوتکنیکی و مدت زمان پروژه که همگی در فرآیند ساخت مؤثر هستند، پیچیدگی هر پروژه منحصر به فرد است (*Hoek, 2001*). پروژه‌های این حوزه نیاز به همکاری زیادی بین مدیران، پیمانکاران، مهندسین و کارگران دارد و میزانی که این ذینفعان می‌توانند به طور مؤثر ارتباط برقرار کنند افزایش کارایی پروژه را به همراه خواهد داشت. لذا دیدگاه جامعی به گردش کار و برنامه‌های مرتبط با پروژه از عناصر مهم در پیشبرد موفقیت آمیز پروژه‌های مرتبط با تونل و فضاهای زیرزمینی است.

افزایش تقاضا برای خدمات ساخت، حفظ سطوح بالای بهره‌وری عملیاتی و بهره‌وری در پروژه‌های عمرانی سرعت پیش‌روی به سمت تکنولوژی‌های نوین را سرعت بخشیده است. تحول در ساخت و ساز زیرزمینی و حرکت آن به سمت راه حل‌های دیجیتالی عمدتاً به دو دلیل هدایت می‌شود: توسعه سریع شهرنشینی همراه با افزایش جمعیت، استفاده از فضای زیرزمینی و تونل‌سازی را سرعت بخشیده است. از طرف دیگر بار تعمیر و نگهداری پروژه‌های زیرزمینی که از گذشته تا کنون احداث شده‌اند به دلیل عدم مدیریت صحیح دارایی‌ها به شدت افزایش یافته است. برای مثال مدیریت دارایی‌های مترو لندن که صاحب یکی از قدیمی‌ترین سیستم‌های متروی جهان است در صورت رخداد حادثه می تواند تا ۱/۲ میلیارد پوند باعث خسارت شود (*uk, 2019*).

انقلاب صنعتی چهارم که به انقلاب دیجیتالی معروف است باعث تغییر نگرش فعالیت‌ها در صنعت ساخت شده است. دیجیتالی شدن در ساخت و ساز با به کارگیری فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساخت در سالیان اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. مدل‌سازی اطلاعات ساخت *(Building Information Modelling(BIM))* توسط دکتر چات ایسمن در سال ۱۹۷۵ مطرح شد (*Trappey, et al., 2011*) و پس از آن جری لیزرین و همکاران این مفهوم را تکمیل و استانداردهای اولیه به منظور به‌کارگیری آنرا مطرح کردند (*He, et al., 2012*). پروژه‌های صنعت ساخت در سال‌های اخیر چالش برانگیزتر، پیچیده‌تر و پویاتر شده‌اند و روش‌های سنتی مدیریت و نظارت در حال حاضر قادر به همگام شدن با صنعت نیستند. صنعت ساخت برای حل چالش‌ها به سمت دیجیتالی شدن برای بهبود روند پروژه‌ها و افزایش کارآمدی حرکت کرد که در نتیجه آن، باعث پذیرش گسترده مدل‌سازی اطلاعات ساختمان شد که نشان دهنده یک تغییر الگو از رویکردهای سنتی به سمت یک رویکرد تعاملی و یکپارچه است و این فناوری با ترکیب شدن با سایر رویکردهای دیجیتالی و فناوری‌های مختلف دیگر مسیر و الگویی متفاوت برای ارکان پروژه و آینده پروژه‌های صنعت ساخت رقم می‌زند. در نگاه کلی *BIM* دارای چهار عنصر اصلی است که شامل همکاری، نمایش، فرآیند و چرخه حیات است که باعث تعامل کارآمد در پروژه می‌شود (*Bradley, et al., 2016*). *BIM* به صورت هم‌زمان تابع دیجیتالی‌سازی و بصری‌سازی اطلاعاتی مدل‌های پروژه را ادغام می‌کند و تمام اطلاعات پروژه‌های ساخت را پوشش می دهد (*Li, J., et al., 2014*). یک مدل اطلاعاتی مواردی نظیر؛ هندسه، روابط مکانی، اطلاعات جغرافیایی، مقادیر و ویژگی‌های عناصر پروژه، برآورد هزینه و زمان‌بندی پروژه را مشخص می‌کند و یکی از بهترین مزیت‌های فناوری *BIM* رویکرد منحصر به فرد آن در ذخیره اطلاعات پروژه به صورت یکپارچه است، به طوری که از این مدل اطلاعاتی دیجیتالی می‌توان در چرخه عمر پروژه به‌خصوص در دروان بهره‌برداری برای بحث نگهداری و تعمیرات بهره برد. تأثیر حالت مدیریت اطلاعات سنتی و حالت مدیریت اطلاعات مبتنی بر *BIM* بر کارایی انتقال اطلاعات در **شکل ۱**، نشان داده شده است (*Zhou, et al., 2017*).

مشکلات ساخت تونل غیر قابل چشم‌پوشی است که این امر ناشی از ماهیت خاص پروژه‌های تونل شهری، نظیر؛ دشواری ساخت بالا، شرایط پیچیده زمین‌شناسی، الزامات ایمنی، تخصص‌های مختلف درگیر و غیره است. مشکلات ساخت تونل را می‌توان در سه دسته کلی تقسیم‌بندی کرد:



شکل ۱- تفاوت انتقال اطلاعات بین روش سنتی و BIM (Zhou, et al., 2017)

اولین مشکل در ساخت و ساز فضاهای زیرزمینی این واقعیت است که محیط کاری اطراف تونل پیچیده است. پروژه‌های مترو اغلب در مناطقی با تعداد زیادی ساختمان بلند و سیستم‌های پیچیده خط لوله زیرزمینی در یک منطقه شهری ساخته می‌شوند. انواع مصالح ساختمانی و وسایل مکانیکی ساختمانی در فضاهای محدود کاری هم در بالای زمین و هم در زیر زمین انباشته می‌شوند و باعث عدم قطعیت‌هایی می‌شوند که خطرات ایمنی متعددی را در مرحله ساخت و ساز به همراه دارند. از نگاه دیگر ساخت و ساز در یک محیط شهری باعث تغییر شکل زمین و فرونشست سطحی می‌شود و شرایط زمین‌شناسی ضعیف و وضعیت زمین دربرگیرنده اطراف تونل نیز می‌توانند عناصری باشند که بر کیفیت ساخت و ساز فضاهای زیرزمینی تأثیر می‌گذارند (*Geng, 2020*).

دومین مشکل در ساخت فضاهای زیرزمینی، ارتباطات پیچیده ارکان پروژه است. در احداث تونل‌ها، پیمانکاران و مهندسان زیادی دخیل هستند که به دلیل شرایط ساخت تونل، عملکرد کاری پیمانکاران مختلف، متفاوت است. از آنجایی که پیمانکاران مختلف با گروه متنوعی از کارگران در پروژه مشارکت دارند، تضمین پایداری و هماهنگی ساخت امری دشوار و پیچیده است (*Geng, 2020*).

سومین مشکل در ساخت و ساز فضاهای زیرزمینی، مشکلات فنی در حین ساخت تونل است. ساختار تونل‌ها شامل انواع دیوارهای سازه‌ای و اجزای تأسیساتی نظیر متعلقات تهویه و بخش‌های با جزئیات پیچیده در طراحی وجود دارد. هنگام استفاده از روش ساخت و ساز سنتی، عمدتاً بر اساس نقشه‌های دو بعدی، نمی‌توان از کاستی‌های طراحی مانند اشتباهات مکان‌یابی تأسیسات و تداخلات آنها با دیگر بخش‌ها اجتناب کرد (*Geng, 2020*).

از طرف دیگر یک سیستم حمل و نقل زیرزمینی دارای هزینه‌های ثابت بالا، دوره زمانی ساخت طولانی، داده‌های عظیم و پردازش اطلاعات است که چگونگی ارتقای مؤثر کارایی ساخت، بهره‌برداری و نگهداری ایستگاه حمل و نقل زیرزمینی و در عین حال تضمین پیشرفت، ایمنی و کیفیت پروژه، موضوع مهمی برای مدیران و مهندسان فضاهای زیرزمینی است. لذا به‌کارگیری فناوری‌های نوین مانند مدل‌سازی اطلاعات ساخت در ارتباط یک‌پارچه بین ارکان پروژه و تصمیم‌گیری‌های کلیدی پروژه و همچنین بهبود فرآیند نگهداری و تعمیرات به عنوان راه حلی مؤثر در ساخت تونل و بهره‌برداری از آن مطرح شده است. در این مقاله با جمع بندی مشکلات موجود در ساخت تونل شهری، کاربرد فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساخت با بررسی مطالعه موردی ایستگاه متروی میدان نماز اسلامشهر، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

جستجوی منابع در پایگاه‌های داده *Web of Science*، *Scopus* و *ScienceDirect* انجام شد. در این جستجو، ترکیبی از کلمات کلیدی "مدل‌سازی اطلاعات ساخت"، "تونل‌های زیرزمینی" و "چالش‌ها و مشکلات احداث تونل" استفاده شد. در مرحله اول با بررسی عناوین و چکیده‌ها، فهرستی از مقالات با تمرکز بر روی مطالعات موردی عملی، تعداد ارجاعات و تاریخ انتشار برای بررسی بیشتر شناسایی شد. پس از خواندن متن کامل مقالات، لیست نهایی منابع شامل ۳۰ مورد، انتخاب شد. همچنین از استانداردهای موجود جهان در حوزه مدل‌سازی اطلاعات ساخت*ISO 19650* و استاندارد مدل‌سازی اطلاعات ساخت انجمن بین‌المللی تونل و فضاهای زیرزمینی *(The International Tunnelling Underground Space Association (ITA))* در مدل‌سازی و بررسی مربوط به مطالعه موردی استفاده شد.

۳- پیشینه پژوهش

مهندسی تونل دربرگیرنده چالش‌هایی با مقیاس بزرگ، پیچیدگی بالا، چرخه ساخت طولانی، فضای ساخت و ساز محدود، نیازهای بیشتر برای بهره‌برداری و نگهداری و پیامدهای شدیدتر در آتش سوزی و ترافیک است که مزایایی که فناوری *BIM* در کل چرخه عمر مدیریت پروژه ارائه می‌دهد به دلیل ویژگی‌های ذکر شده در پروژه‌های زیرزمینی، می‌تواند آشکارتر شود. روند کلی پیاده‌سازی *BIM* را می‌توان تحت عناوین ذیل خلاصه کرد:

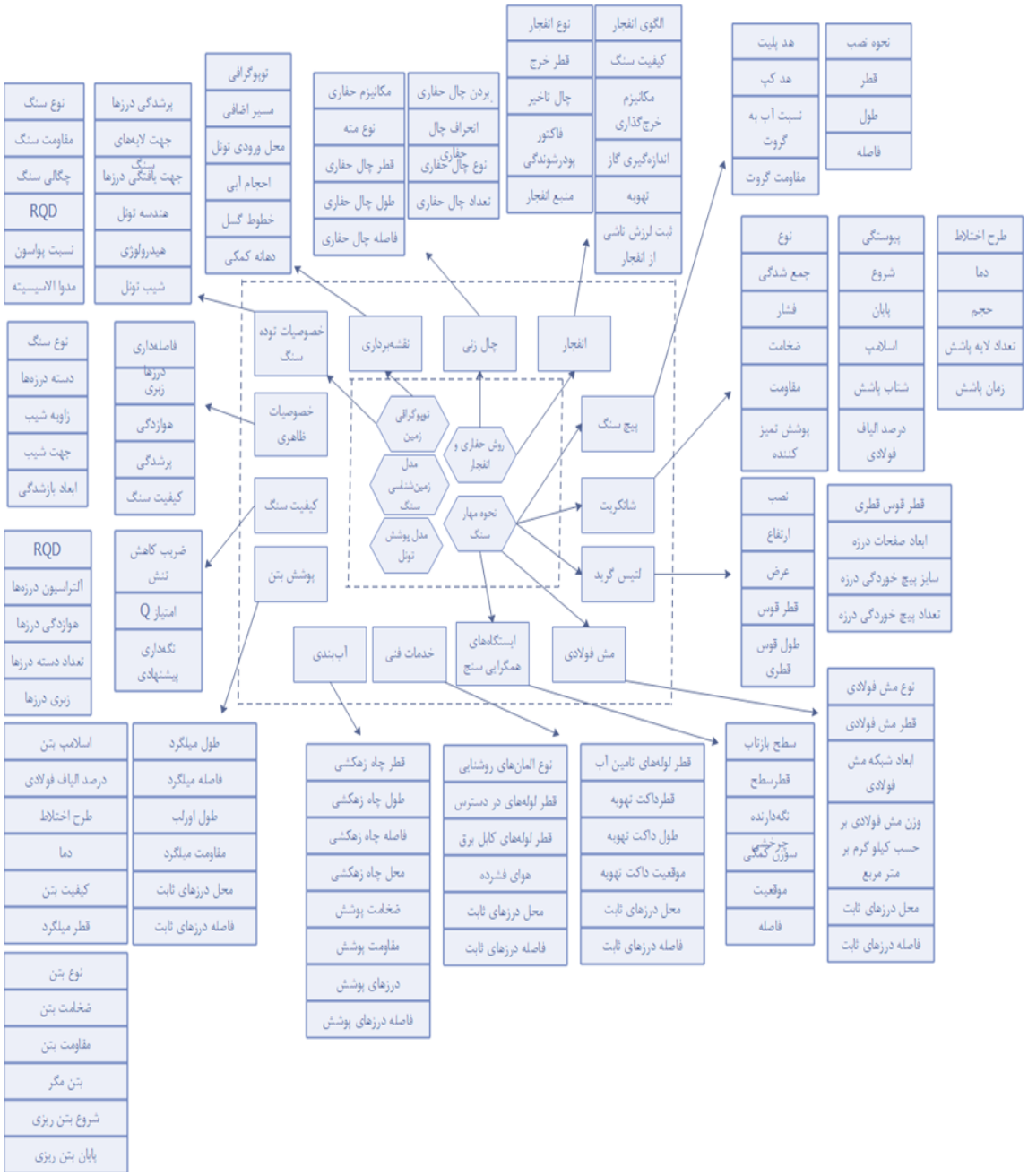
- ایجاد یک مدل سه بعدی زمین‌شناسی که با اطلاعات ژئوتکنیکی ترکیب شده است.
- انتخاب مسیر تونل با توجه به ویژگی‌های ژئوتکنیکی.
- ارائه برش‌های پارامتریک از مسیر تونل جهت ارائه جزئیات و ارائه کروکی با توجه به محیط واقعی.
- به‌کارگیری نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساخت به منظور تحلیل‌های مهندسی از جمله تهویه هوا، مدل‌سازی حریق و خروج دود.
- ثبت اطلاعاتی نظیر ساخت در پایگاه داده به منظور استفاده در دوران بهره‌برداری.

محیط‌اشتراک داده *(Common Data Environment (CDE))* یک ابزار نرم‌افزاری است که به عوامل مختلف درگیر در یک پروژه این امکان را می‌دهد تا با روشی به هم پیوسته و هماهنگ با یکدیگر همکاری کنند (*Daller, et al., 2016*). در یک *CDE* امکان جمع‌آوری، مدیریت و انتشار اطلاعات و داده‌ها بین تیم‌های مختلف به روشی ایمن، واضح و کنترل شده وجود دارد که برای پیشبرد پروژه‌های *BIM* ضروری است. این امر از طریق یک پلتفرم مبتنی بر وب اتفاق می‌افتد که باعث می‌شود به اطلاعات و نقشه‌های سه بعدی و دو بعدی بدون نیاز به داشتن نرم‌افزاری که نقشه‌ها در آن تولید شده‌اند، دسترسی وجود داشته باشد. محیط اشتراک داده‌های مدرن، تخصیص و نظارت بر مسائل را با فیلترها، سطوح دسترسی مختلف و اسناد پیوستی ارائه می‌دهد (*Lestari, 2022*). پروژه‌های تونلی حجم عظیمی از داده‌ها را ایجاد می‌کنند و برای اجرای کارآمد چنین پروژه‌هایی، داده‌ها باید به درستی سازماندهی، مدیریت، توزیع و تجزیه و تحلیل شوند. در یک پروژه تونل‌سازی به منظور تصمیم‌گیری در پیشبرد اهداف، لازم است تا ارتباط اطلاعات مختلف بین ارکان پروژه صورت پذیرد. ارتباط این اطلاعات با به‌کارگیری روش‌های سنتی انتقال اطلاعات، به موقع و به درستی صورت نگرفته و موجب همکاری گسسته افراد درگیر در پروژه می‌شود و همین امر باعث اشتباهات طراحی و اجرایی در پروژه می‌شود (**شکل ۲** و **شکل ۳**). نتایج نشان می‌دهد با به‌کارگیری ابزارهایی نظیر *BIM* و *CDE* نظم در اطلاعات و تأثیرگذاری در روند تصمیمات بهبود می‌یابد. (*Lestari, et al., 2022*). موسسه *KPMG* (این موسسه یک موسسه مالیاتی و مشاوره‌ای است که به شرکت‌های پیشرو جهان خدمات ارائه می‌دهد) عنوان کرده است زمانی که سازمان‌ها در مدیریت اطلاعات سرمایه‌گذاری می‌کنند، صرفه‌جویی قابل توجهی بین ۱/۶ تا ۱۸ درصد در هزینه‌های مراحل مختلف مربوط به چرخه عمر دارایی‌ها برایشان رقم خواهد خورد (*Dosad, 2021*). بنابراین فواید به کارگیری *CDE* را می‌توان در عناوین ذیل خلاصه کرد:

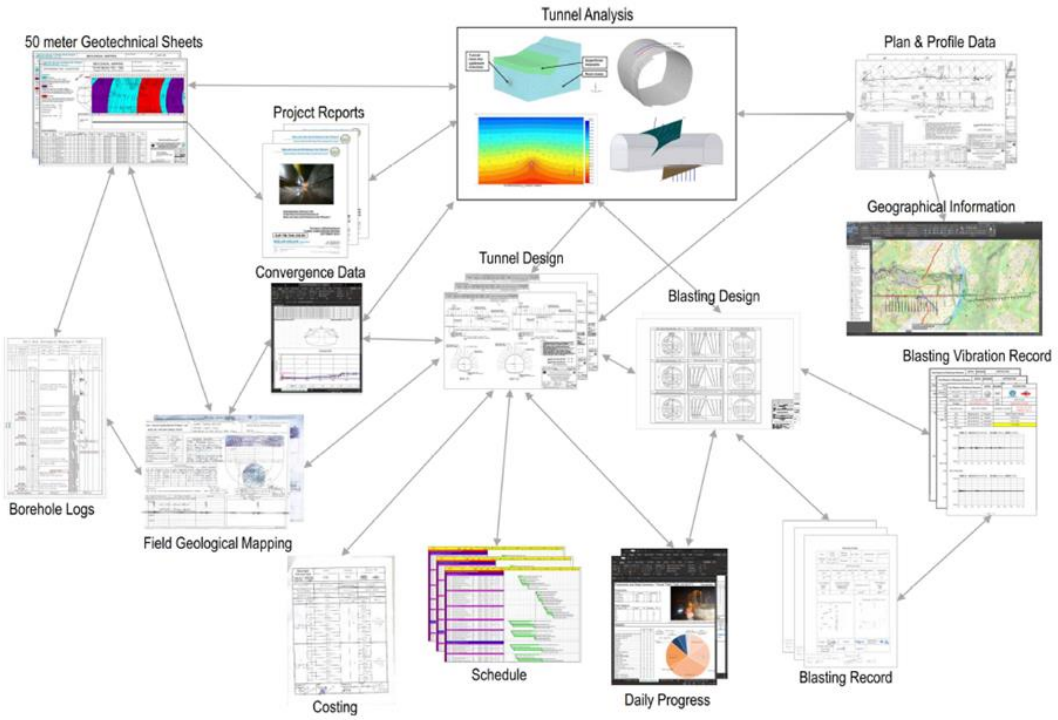
- اعضای تیم پروژه به آخرین و به‌روزترین اطلاعات در یک محیط مشترک و به صورت دیجیتالی دسترسی دارند که به تحویل به موقع پروژه کمک می کند.
- اطلاعات به اشتراک گذاشته شده هماهنگ می‌شود و زمان و تلاش مورد نیاز برای بررسی نسخه و انتشار

مجدد اطلاعات را کاهش می‌دهد. اطلاعات پروژه به طور مداوم به روز می‌شود.

- اطلاعات را می‌توان برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی ساخت و ساز، برآورد و برنامه‌ریزی هزینه، مدیریت تأسیسات و بسیاری از فعالیت‌های پایین دستی دیگر مورد استفاده قرار داد.
- پس از اتمام پروژه، اطلاعات مربوط به دارایی‌ها به راحتی برای تحویل به مراجع ذی‌صلاح در دسترس است (*Lestari, et al., 2022*).



شکل ۲- مجموعه‌ای از اطلاعات در گردش ساخت تونل (Hoek, 2001)



شکل ۳- ارتباط بین اطلاعات پروژه (Hoek, 2001)

مرزوک و همکاران در سال ۲۰۱۲ به استفاده از *BIM* با هدف بهبود روند مدیریت دارایی‌ها در مترو اشاره کردند. قبل از ظهور فناوری *BIM* از فایل *CAD* برای انجام مدیریت دارایی استفاده می‌شد که این موضوع مشکلاتی از قبیل کمبود اطلاعات ادغام شده در نقشه‌ها، عدم هماهنگی بین تخصص‌های مختلف و پیچیدگی کارکرد نرم‌افزارهای مختلف را به همراه داشت. اما در نرم‌افزارهای تحت *BIM* با مدل‌سازی اجزای مختلف از جمله اجزای سازه‌ای، مکانیکی، الکتریکی و تهویه، هر جزء را با کمک اینترنت اشیاء مورد رصد قرار می‌دهند و به مدیریت دارایی‌ها با در نظر گرفتن اهداف اولویت‌بندی شده و تخصیص بودجه کمک می‌کنند (*Marzouk & Abdel Aty, 2012*).

ژائو و همکاران در سال ۲۰۱۶ به منظور بهبود کارایی ساخت و ساز و مدیریت ایمنی در ساخت تونل، مدل‌سازی اطلاعات ساخت را با توجه به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های ساخت تونل و نیاز به مدیریت کارآمد از جمله برنامه‌ریزی ساخت و ساز، شفاف سازی فنی ساخت، کنترل کیفیت و مدیریت ایمنی پیشنهاد دادند (*Zhao, Zhai, et al., 2017*).

دلر و همکاران در سال ۲۰۱۶ به اهمیت مدل‌سازی اطلاعات ساخت و مدیریت اطلاعات در صنعت ساخت و ساز شهری اشاره کردند که به طور فزاینده‌ای رو به گسترش است و از طریق فرآیندها و قوانین مرجع به رسمیت شناخته شده و بوسیله آیین نامه‌های عملی در حال اجرا هستند. در این مقاله به بررسی کلی *BIM* و مزایای آن پرداخته شده و اعتقاد بر این است که *BIM* یک پلتفرم مشترک با امکان ایجاد اطلاعات ساختار یافته است که برای ذینفعان مختلف پروژه امکانات متفاوتی را فراهم می‌کند و با توجه به تجربه خود فواید *BIM* را در سه حوزه مدل‌سازی‌های زمین‌شناسی، مدل‌سازی روش حفاری و مهار گود و مدل‌سازی سازه‌های دائمی دسته‌بندی کرده و به‌کارگیری *BIM* را در پروژه پایلوت تونل گرانتیزتال پیاده‌سازی کردند (*Daller, et al., 2016*).

بردیگلیجو و همکاران در سال ۲۰۱۹ به پیاده‌سازی ابزارها و فرآیندهای *BIM* در پروژه‌های زیرزمینی بزرگ که جنبه‌های ژئوتکنیکی و ساختاری قابل توجهی دارند اشاره کردند. آنها متعقدند که نادیده گرفتن جنبه‌های ژئوتکنیکی در مدل‌ها، منجر به اشتباهات پرهزینه می‌شود، به خصوص زمانی که پروژه، یک ساخت و ساز زیرزمینی باشد. لذا آنها بررسی کردند که چگونه گنجاندن داده‌های ژئوتکنیکی در

مدل *BIM* می‌تواند سودمندی مدل‌ها و فرآیند تصمیم‌گیری را بهبود بخشد. این مقاله همچنین دلایلی را بررسی می‌کند که چرا داده‌های ژئوتکنیکی در اطلاعات لحاظ نمی‌گردد و چگونه می‌توان این موانع را حذف کرد تا تیم‌های ژئوتکنیکی و سازه‌ای کاملاً یکپارچه شوند. (*Berdigylyjov & Popa, 2019*).

پرویدیکاس و همکاران در سال ۲۰۱۹ با هدف ارائه مدیریت داده‌های ژئوتکنیکی به استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساخت در مقاله خود پرداختند. برآورد خطر نشست برای ساختمآنهای مجاور یک جنبه مهم برای برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت تونل است. در این مقاله برای تجزیه و تحلیل این مسئله، مدل‌های سه بعدی برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری نشست ناشی از ساخت تونل ایجاد شده است. سپس اطلاعات پارامترهای مهندسی مرتبط با عوامل خطر نشست زمین از یک فایل *BIM* برای پروژه ساختمانی خاص استخراج و به کمک استاندارد *IFC* و با کمک برنامه نویسی در متلب برای ارزیابی خطرات ایمنی تونل مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. این مقاله یک تعامل سه بعدی *BIM* و زمین شناسی یکپارچه را ارائه کرده است، روشی که می‌تواند اثرات ایجاد سازه‌های زیرزمینی جدید بر محیط اطراف را بررسی کند (*Providakis, et al., 2019*).

لی و همکاران در سال ۲۰۱۹ ضمن بررسی مشکلات موجود در ساخت تونل شهری در چین، به‌کارگیری فناوری *BIM* برای برنامه‌ریزی و ساخت تونل را مورد بررسی قرار دادند. از مشکلات اصلی که آنها در تحقیقات خود به آن اشاره داشتند می‌توان موارد ذیل را برشمرد؛ عدم وجود استانداردهای کامل و همه جانبه، نبود سیستم مدیریت پروژه تونل، هزینه سرمایه‌گذاری بالا، عملیات نگهداری و تعمیر هزینه‌بر، شرایط پیچیده ساخت تونل، فقدان مهندسان مجرب، شرایط پیچیده زمین‌شناسی و تعارض با سایر زیرساخت‌های شهری. آن‌ها به منظور برطرف سازی مشکلات اشاره شده در احداث تونل، راه‌کار استفاده از یک مکانیسم ارتباطی و هماهنگی مؤثر بین واحدها و ارگان‌های مورد نیاز را پیشنهاد کردند که با بهره‌گیری از فناوری *BIM* محقق می‌گردد و باعث طراحی مناسب و جامع می‌شود. این امر در یک فضای مشترک که قابلیت تجسم سه بعدی و رفع تداخلات را دارد و از دقت و صحت طراحی برخوردار است بدست می‌آید. از طرف دیگر آنها استفاده از فناوری *BIM* را درجنبه‌های دیگر از جمله تغییر مقادیر متره برآورد به صورت خودکار در صورت بروز تغییر، زمان‌بندی و شبیه‌سازی فرآیند ساخت مطرح کردند و بیان داشتند که استفاده از فناوری *BIM* در رصد مشکلات پروژه و ارائه راه حل‌های بهینه مؤثر است (*Li, et al., 2019*).

شرفات و همکاران در سال ۲۰۲۱ بیان کردند که روش حفاری و آتشکاری از رایج‌ترین روش‌های ساخت تونل است. در این روش به دلیل تولید حجم زیاد اطلاعات از منابع پراکنده و مستقل، مدیریت ساخت تونل امری پیچیده و چالش برانگیز است. همچنین بهره‌گیری از سیستم‌های مدیریت سنتی به منظور مدیریت تعاملات در چنین پروژه‌هایی، ناکارآمد بوده و عدم قطعیت‌های فراوانی را به همراه دارد. آنها اشاره کردند که حفاری و انفجار یک فرآیند چرخه‌ای است که در هر سیکل اطلاعات زیادی نظیر؛ حفاری چال‌ها، اطلاعات نقشه‌برداری و زمین‌شناسی، ارتعاش زمین و نتایج حاصل از آتشکاری تولید شده که هر کدام مرتبط با دیسیپلین‌های کاری مختلف بوده که باید بین آنها ارتباط منطقی برقرار شود. هر کدام از این اطلاعات از نظر نوع، قالب، مقیاس و در دسترس بودن در طول مدت زمان پروژه متفاوت هستند. آنها در این مقاله مدیریت و شبیه‌سازی ساخت تونل و روند انفجار را با توجه به ماهیت متمایز طراحی در قالب یک مطالعه موردی برای اعتبارسنجی مزایای *BIM* بررسی کردند و نتیجه گرفتند با پیاده‌سازی *BIM* روند مدیریت ساخت، ارزیابی ریسک و بهبود روند تصمیم‌گیری از طراحی تا مرحله ساخت افزایش پیدا می‌کند (*Sharafat, et al., 2021*).

شرفات و همکاران در سال ۲۰۲۱ با اشاره به اهمیت تأسیسات زیرزمینی که خدمات اساسی را برای زندگی روزمره جامعه ارائه می‌کنند، طراحی، ساخت و نگهداری سازه‌های زیرزمینی با روش سیستم مدیریت سنتی را دارای مشکلات زیاد مطرح کردند که منجر به صدمات، تلفات جانی، اختلالات، تأخیر در پروژه و ضرر مالی می شود. آنها مشکل سیستم سنتی را نقشه‌های دو بعدی با اطلاعات غیرقابل اعتماد و ناقص عنوان کردند، که آن‌را به یک ابزار مدیریت ناکارآمد تبدیل می‌کند که این نقص با یکپارچه‌سازی *BIM* و *GIS* به طور مؤثر برطرف خواهد شد. در این مقاله، یک چارچوب جدید و یکپارچه *BIM-GIS* برای سیستم‌های مدیریت بر اساس نقشه‌برداری *IFC* به *CityGML* توسعه داده شده

است. برای مثال؛ در این سیستم با ارائه اطلاعات مکانی سه بعدی در هرلحظه از فرآیند ساخت، به اپراتور بیل مکانیکی کمک خواهد شد تا با دسترسی به پایگاه اطلاعاتی، از مکان تأسیسات زیرزمینی شهری مطلع شود و از بروز حادثه و آسیب به چنین زیرساخت‌هایی جلوگیری به‌عمل آورد. (*Sharafat, et al., 2021*).

قیان در سال ۲۰۲۱ در مقاله خود یک سیستم نظارت خودکار برای تونل مبتنی بر *BIM* و اینترنت اشیاء را مطرح کرد. او دستگاه‌های سنجش مختلفی از جمله تغییر شکل، کنترل سطح آب زیرزمینی، کنترل تنش و کنترل ارتعاش در داخل تونل برای رصد مقادیر ذکر شده را نصب و مورد قرائت قرار داد. او همچنین داده‌های نظارتی از طریق سیستم جهانی ناوبری ماهواره‌ای *Global Navigation Satellite System)* در خارج از تونل را جمع آوری کرده و اطلاعات فوق را با استفاده از فناوری ارتباط بی‌سیم به صورت پویا به پلتفرم رایانش ابری منتقل و از این طریق سیستم نظارت خودکار تونل را بر اساس تلفیق فناوری *BIM*، فناوری اینترنت اشیاء و فناوری سیستم موقعیت‌یابی جهانی ارائه کرده است (*Qian, 2021*).

در ادامه، در **جدول ۱**، به مقالاتی که در آنها مطالعه موردی صورت گرفته، اشاره شده و ویژگی‌های مهم آنها بیان شده است و پس از آنها به مطالعه موردی متروی اسلامشهر پرداخته شده است.

جدول ۱- بررسی مطالعات موردی پژوهش‌های گذشته

نویسنده/ سال	شکل/ کاربری تونل	روش حفاری	ابزارهای ***BIM***	مزایا ***BIM***
یابوکی(۲۰۰۸) (*N Yabuki, 2008*)	دایره‌ای	*Shield TBM*	*CAD, IFC-based 3D BIM*	به‌کارگیری بعد سوم *BIM* در مرحله طراحی
لی وهمکاران(۲۰۱۱) (*Lee & Kim, 2011*)	دارای پورتال ورودی / تونل جاده‌ای	ذکر نشده	*CAD, IFC-based 3D BIM*	به‌کارگیری بعد سوم *BIM* در مرحله طراحی
بورمن(۲۰۱۲) (*Borrmann, et al., 2012*)	دارای پورتال ورودی / تونل ریلی	ذکر نشده	*CAD, Autodesk Inventor,XML version 1.1*	ارائه پیشنهاد سطح توسعه مدل *BIM* برای پروژه‌های تونلی
هگمان (۲۰۱۲) (*Hegemann, et al., 2012*)	دایره‌ای	*EPB, TBM*	*SolidWorks & OpenIFC*	به کارگیری *BIM* در مطالعات امکان‌سنجی و شبیه‌سازی فعالیت‌های پروژه به‌منظور درک ارکان پروژه
چو (۲۰۱۲) (*Cho, et al., 2012*)	دایره‌ای / حمل و نقل	*NATM*	*Revit & Digital Project*	توسعه کتاب‌خانه استانداردهای مدل *BIM* به‌منظور مدل‌سازی آسان اجزای تونل
یابوکی (۲۰۱۳) (*Yabuki, et al., 2013*)	دایره‌ای	*Shield TBM*	*Civil3D, Revit Structure*	به کارگیری *BIM* در مرحله طراحی و استفاده از *IFC-ShieldTunnel* به‌منظور ارتباط بین نرم افزارهای مختلف
هیکیلیا (۲۰۱۴) (*Heikkilä, et al., 2014*)	حمل و نقل	*NATM*	*2D drawing, 3D lase scanningr*	به کارگیری بعد سوم *BIM* در مرحله طراحی
جوبیره و همکاران (۲۰۱۵) (*Jubierre & Borrmann, 2015*)	دایره‌ای / راه آهن	*TBM*	*CAD, .NET Framework*	به کارگیری بعد سوم *BIM* با تأکید بر اهمیت تأسیسات زیربنایی در ساخت تونل

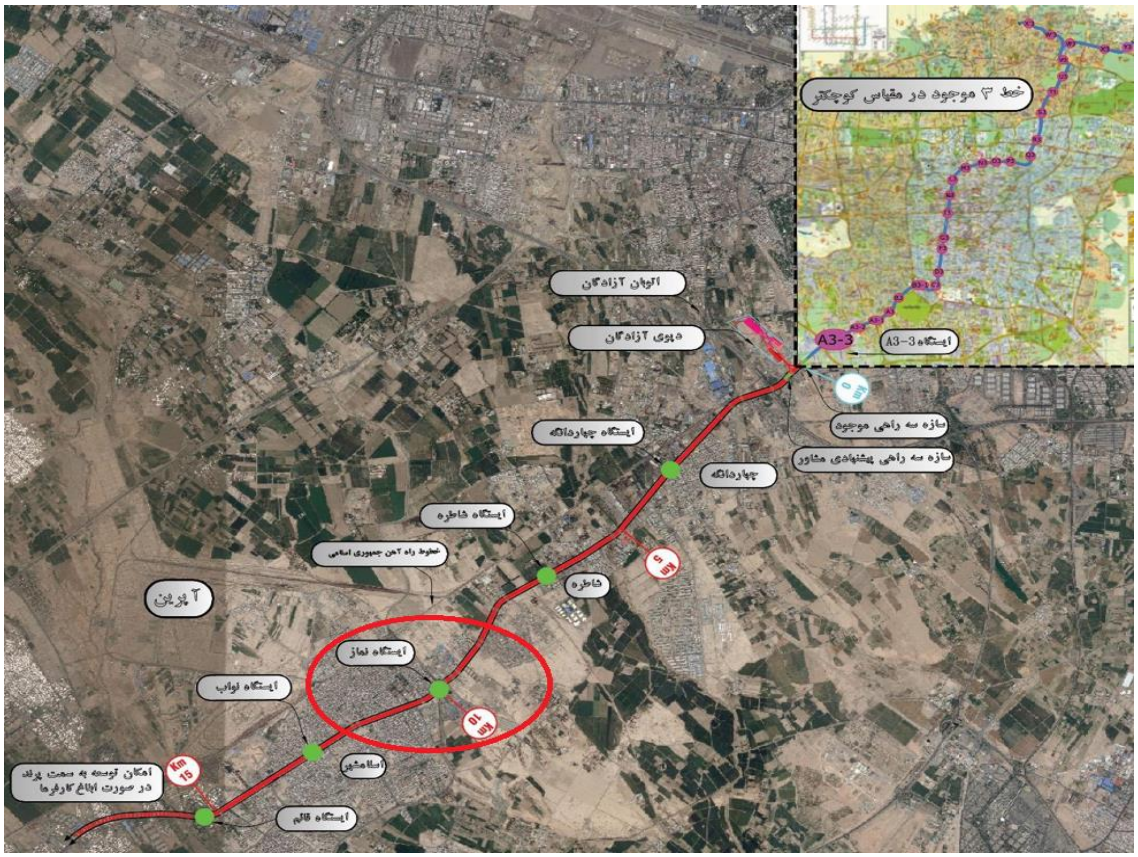
ادامه جدول ۱- بررسی مطالعات موردی پژوهش‌های گذشته

نویسنده/ سال	شکل/ کاربری تونل	روش حفاری	ابزارهای ***BIM***	مزایا ***BIM***
بورمن (۲۰۱۵) (*Borrmann, et al., 2015*)	دایره‌ای	*Shield TBM*	*CAD, UML, IFC*	تلفیق *BIM* و *GIS* در مرحله طراحی
ونگ (۲۰۱۵) (*Wang, et al., 2015*)	نعل اسبی / حمل و نقل	ذکر نشده	*Bentley, geology tool GeoStation*	به‌کار گیری *BIM* در مرحله طراحی و با تأکید بر بحث مسیر بهینه تونل و متره برآورد مصالح و تداخلات مسیر تونل
لی (۲۰۱۶) (*Lee, et al.,, 2016*)	نعل اسبی / حمل و نقل	*NATM*	*IFC 2 × 3 in CAD-based environment*	توسعه *IFC* برای به اشتراک‌گذاری اطلاعات بین نرم‌افزارهای مختلف
کوچ (۲۰۱۷) (*Koch, et al., 2017*)	دایره‌ای / مترو	*TBM*	*IFC/open BIM/FEM*	به کارگیری *BIM* در مرحله طراحی و توسعه مدل بر پایه وب به‌منظور به اشتراک مدل سه بعدی برای ارکان پروژه
ژوا (۲۰۱۷) (*Zhou, et al., 2017*)	دایره‌ای / حمل و نقل	ذکر نشده	*Civil 3D, CATIA software,Inventor, Google Earth*	بررسی ابعاد مختلف *BIM* و تأثیرگذاری هر یک از آنها در مراحل مختلف پروژه
اوسلو (۲۰۱۷) (*Osello, et al., 2017*)	نعل اسبی	ذکر نشده	*Revit, AutoCAD, RS3*	به‌کارگیری *BIM* در مرحله طراحی و استفاده از آنالیزهای مهندسی مانند مسائل نشست
ناینیک (۲۰۱۷) (*Ninić, et al., 2017*)	دایره‌ای	*Shield TBM*	*SATBIM, Revit, Dynamo,GiD, KRATOS*	به کارگیری *BIM* با هدف بررسی گزینه‌های مختلف طراحی بر اساس شرایط ژئوتکنیکی
لی (۲۰۱۸) (*Lee, et a;., 2018*)	تونل تأسیساتی	ذکر نشده	*C# Language, IFC,CityGML*	به‌کارگیری *BIM-3DGIS* با هدف بهبود نگهداری و تعمیرات در تونل
لی (۲۰۱۸) (*Liu & Sun, 2018*)	تونل مترو	ذکر نشده	*Naviswork,Revit*	به‌کارگیری *BIM* در مرحله طراحی و شناسایی تداخلات و همچنین در مرحله بهره‌برداری به‌منظور نگه‌داری و تعمیرات
ناینیک (۲۰۱۹) (*Ninić, 2019*)	دایره‌ای	*TBM*	*SATBIM, Revit, Dynamo,Kratos*	به‌کارگیری *BIM* با رویکرد آنالیزهای مهندسی
سونگ و همکاران (۲۰۱۹) (*Song, et al., 2019*)	دایره‌ای / راه آهن	ذکر نشده	*Civil 3D, 3ds Max,Revit*	به‌کارگیری *BIM* در مرحله طراحی و زمان‌بندی پروژه
چن (۲۰۲۰) (*Chen, et al., 2020*)	تونل خدماتی	ذکر نشده	*CAD, Prototype SystemInterfaces for FM*	به‌کارگیری *BIM* با رویکرد نگهداری و تعمیرات در تونل

۴- مطالعه موردی

در این قسمت به بررسی یک مطالعه موردی تونل شهری مترو پرداخته می‌شود. تونل و مترو ایستگاه میدان نماز واقع در اسلامشهر در امتداد خط سه مترو تهران در حال ساخت است و طول کل مسیر ۵/۱۵ کیلومتر بوده که تا میدان قائم اسلامشهر ادامه یافته و شامل ۵ ایستگاه، شفت‌های ورودی و خروجی دستگاه حفار مکانیزه *(TBM)* و ۱۳ هواکش میان تونلی است. در ساخت تونل و ایستگاه این پروژه از مدل‌سازی اطلاعات ساخت بهره گرفته شده است.

در این مطالعه موردی از مدل‌سازی اطلاعات ساخت با اهداف ذکر شده در **جدول ۲**، بهره گرفته شده است.



شکل ۴- مسیرخط ۳ مترو تهران

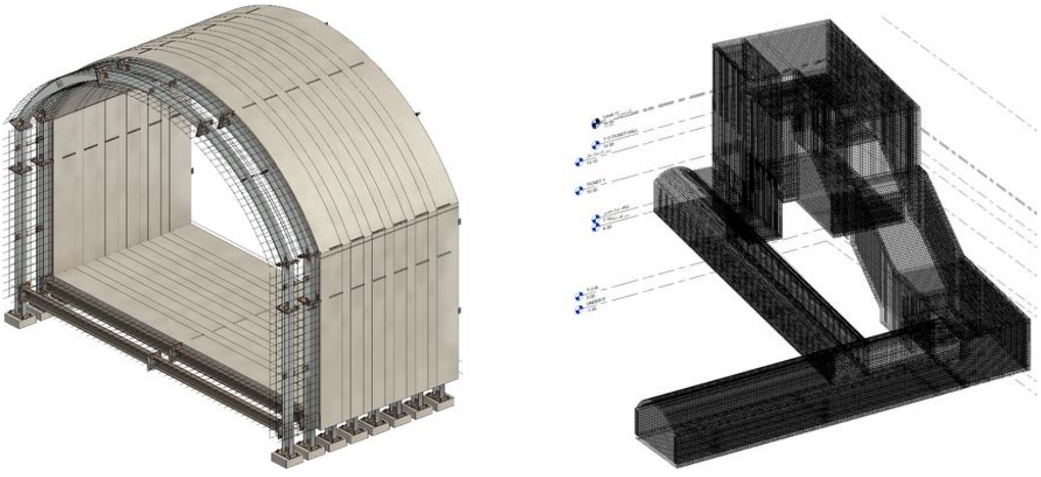
۴-۱- مدل‌سازی سه بعدی طراحی‌های انجام شده

این مدل‌سازی به منظور بهینه‌سازی ابعاد فضاها، چیدمآنها و نقاط دسترسی، برآورد احجام، تداخل‌یابی، زمان‌بندی و برآورد هزینه انجام گرفت و در مرحله طراحی و بر مبنای طراحی فاز یک و یا فاز دو معماری صورت گرفت. برای اجرای این کاربرد تیم پژوهشی به عنوان مشاور *BIM* مبانی و جریان کاری مورد نظر از مشاور پروژه را جویا شد و پس از آن با توجه به اطلاعات کسب شده اقدام به مدل‌سازی سه بعدی سناریوهای مورد نظر و تهیه انیمیشن‌های مربوطه کرد. سناریوهای مورد بررسی شامل مسیر پیاده و سواره از خیابان احمدیه به ورودی شمالی مترو، مسیر سواره از بزرگراه آیت الله سعیدی غرب به ورودی جنوبی مترو، مسیرهای دسترسی سواره و پیاده از خیابان شهدای مخابرات به ورودی شمالی ایستگاه مترو مورد بررسی قرار گرفتند. در فرآیند مدل‌سازی، مدل سازه با *LOD 400*، مدل معماری و تأسیسات با *LOD350* انجام گرفت. مدل‌سازی‌های انجام شده در جلسات گروهی بین مشاور پروژه و بهره‌برداران بخش‌های مختلف مورد بازبینی و ارزیابی قرار گرفت. در این جلسات همچنین، مدل سه بعدی *BIM* در دسترس قرار گرفت تا در صورت نیاز به مشاهده جزئیات بیشتر برای بخش‌هایی از طرح، مستقیماً از مدل سه بعدی

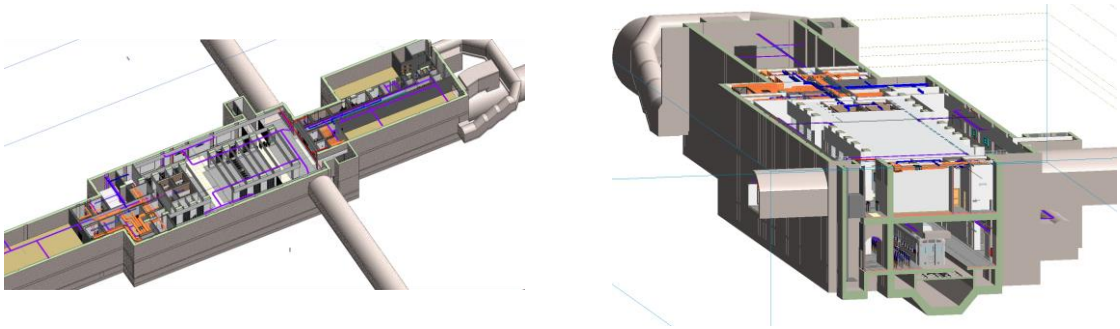
برای مشاهده و ارزیابی این بخش‌ها استفاده شود. در این پروژه از نرم‌افزارهای مبنا نظیر رِویت و نویس‌ورک استفاده شد و از افزونه *BCF* برای تخصیص کارها و مدیریت فعالیت‌های انجام شده به‌منظور بهبود طراحی مورد نیاز استفاده شد.

جدول ۲- اهداف پیاده‌سازی BIM

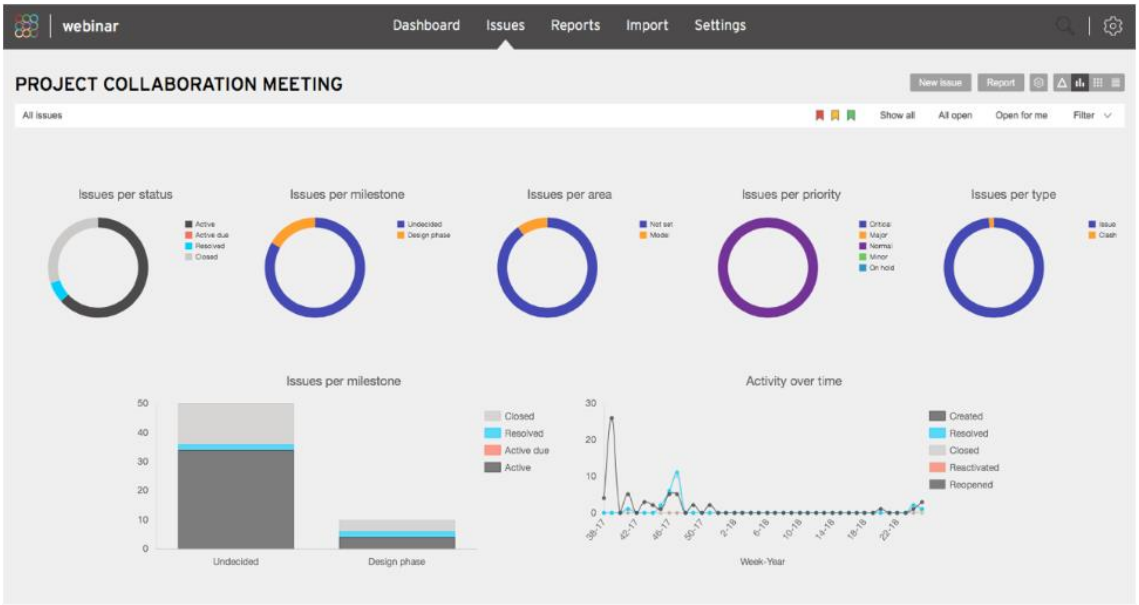
اولویت هدف	هدف	کاربردهای مورد نظر *BIM*	فاز پروژه
۱	کم کردن و تشخیص تداخلات طراحی	شناسایی و رفع تداخلات	طراحی فاز دو
۲	طراحی بهینه فضاها با داشتن دید کاملتر	شبیه‌سازی سه بعدی طراحی‌های انجام شده	طراحی فاز یک/ فاز دو
۲	داشتن برآورد دقیق از احجام در مراحل مختلف ساخت	استفاده از قابلیت برآورد احجام در مدل‌های *BIM*	طراحی فاز دو
۲	داشتن برنامه زمانی کارآمد و دقیق	برنامه‌ریزی چهار بعدی	برنامه‌ریزی ساخت
۲	افزایش دقت در برنامه‌ریزی هزینه و بودجه	برنامه‌ریزی پنج بعدی	برنامه‌ریزی ساخت
۲	ارزیابی دقیق افزایش هزینه‌های ناشی از تغییرات درخواست شده توسط کارفرما	شبیه‌سازی سه بعدی تغییرات انجام شده	دوره ساخت
۳	ارائه مدل دیجیتال به کارفرما و بهره‌برداران به عنوان مبنایی برای مدیریت ساخت و بهره‌برداری	به‌روز رسانی نقشه‌های *as built* در حین تحویل بخش‌های مختلف طرح	تحویل موقت
۳	تحلیل و کاهش خطرات	شبیه‌سازی بخش‌های مختلف طرح در تعامل با ذینفعان مختلف به منظور شناسایی، تحلیل و کاهش ریسک‌های احتمالی	برنامه‌ریزی ساخت



شکل ۵- مدل‌سازی سازه با LOD400



شکل ۶- مدل‌سازی معماری و تأسیسات با LOD350



شکل ۷- نمایی از افزونه BCF

۴-۲- شناسایی و رفع تداخلات

پس از مدل‌سازی سه‌بعدی، تداخلات مربوط به طرح، در سه دیسیپلین، شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت که این تداخلات در سه دسته تقسیم‌بندی شدند.

- *LOC – Level Of Clash 1*

این نوع تداخل‌ها در بالاترین اولویت قرار دارند و می‌بایست در اسرع وقت نسبت به بر طرف کردن آنها اقدام شود، برای مثال تداخل بین لوله‌ها و کانال‌ها با عناصر سازه‌ای.

- *LOC – Level Of Clash 2*

این نوع تداخلات برای فرآیند ساخت و ساز بسیار مهم هستند و به عنوان دومین اولویت باید اصلاح شوند، برای مثال تداخل بین کانال ها و لوله ها با کف‌ها.

- *LOC – Level Of Clash 3*

این نوع آیتم‌ها معمولاً به طور منظم در طول فرآیند طراحی و اجرا دستخوش تغییرات می‌شوند که قبل از ارائه مدل می‌بایست این تداخل ها برطرف شوند، برای مثال تداخل بین لوله‌های آبرسانی با تجهیزات الکتریکی.

بر این اساس تداخلات پروژه بر مبنای مدل‌های جداگانه معماری، سازه، تأسیسات مکانیکی و برقی شناسایی و در ماتریس تداخلات، وضعیت تداخل آیتم‌های مختلف استخراج و براساس نوع تداخلات و **شکل ۸** دسته‌بندی صورت پذیرفت.

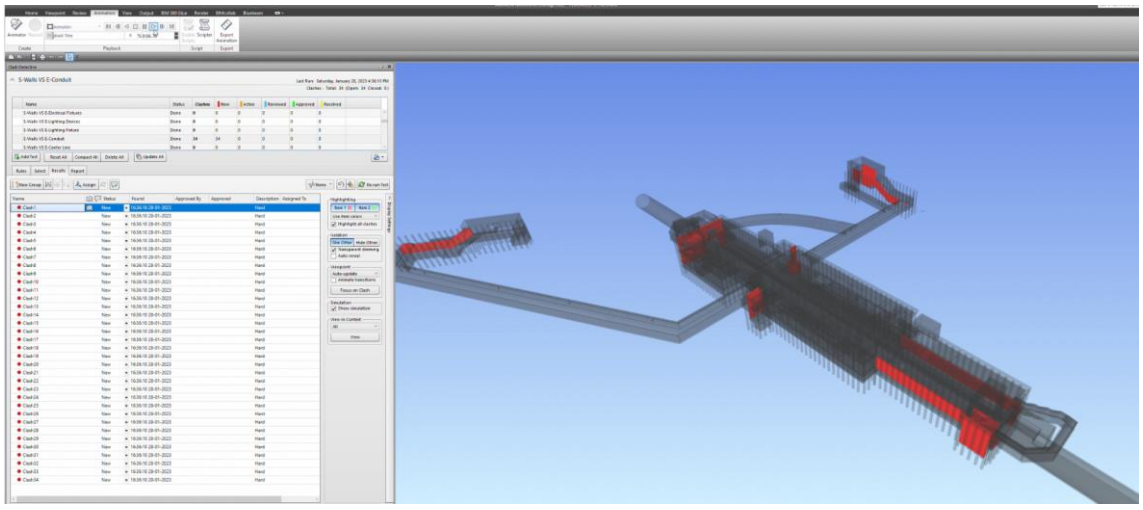
High Risk LOC1	
Medium Risk LOC2	
LOW Risk LOC3	

شکل ۸- دسته‌بندی انواع تداخلات

جدول ۳- ماتریس تداخلات المانهای پروژه

Selection Set	S-Roofs	S-Fondations	S-Beams	S-Columns	S-Floors	S-Walls
P-Flex Pipes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
P-Pipe Fittings	N/A	N/A	N/A	7	29	121
P-Plumbing Fixtures	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7
P-Pipe Accessories	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8
P-Pipes	3	N/A	N/A	12	132	557
E-Center Line	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
E-Lighting Devices	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
E-Electrical Fixtures	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3
E-Lighting Fixtures	N/A	N/A	N/A	N/A	817	N/A
E-Conduit Fitting	25	N/A	2	5	817	394
E-Conduits	11	N/A	18	2	287	503
E-Cable Tray Fittings	N/A	N/A	N/A	N/A	2	31
E-Cable Trays	N/A	N/A	N/A	N/A	4	105
M-Lining	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	59
M-Fire Alarm Devices	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
M-Furniture	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
M-MEP Fabrication Ductwork	N/A	N/A	N/A	N/A	164	256
M-Mechanical Equipment	3	N/A	N/A	N/A	1	1
M-Specialty Equipment	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

در راستای رفع تداخلات در صورت امکانِ رفع تداخلات در مدل *BIM* بدون بروز تغییرات معنادار در طراحی‌های انجام شده، اصلاحات لازم انجام شد و سپس، تداخلات رفع نشده را در قالب تداخلات معماری با سازه، تداخلات سازه با تأسیسات و تداخلات معماری با تأسیسات تقسیم‌بندی کرده و در ذیل هر تقسیم‌بندی تداخلات در المآنهای ساختمانی به ترتیب ارتفاع یا طبقه و در المآنهای تونل به ترتیب موقعیت در طول مسیر مرتب و دسته‌بندی شدند و با توجه به حجم تداخلات شناسایی شده، جلسات رفع تداخلات به ترتیب تقسیم‌بندی‌های انجام شده بین تیم طراحی در دو دیسیپلین و یا تیم طراحی در سه دیسیپلین صورت گرفت و تمامی موارد، قبل از ورود به مرحله اجرا رفع شد. نرم‌افزار مبنای مورد استفاده در این کاربرد نویس‌ورک است.

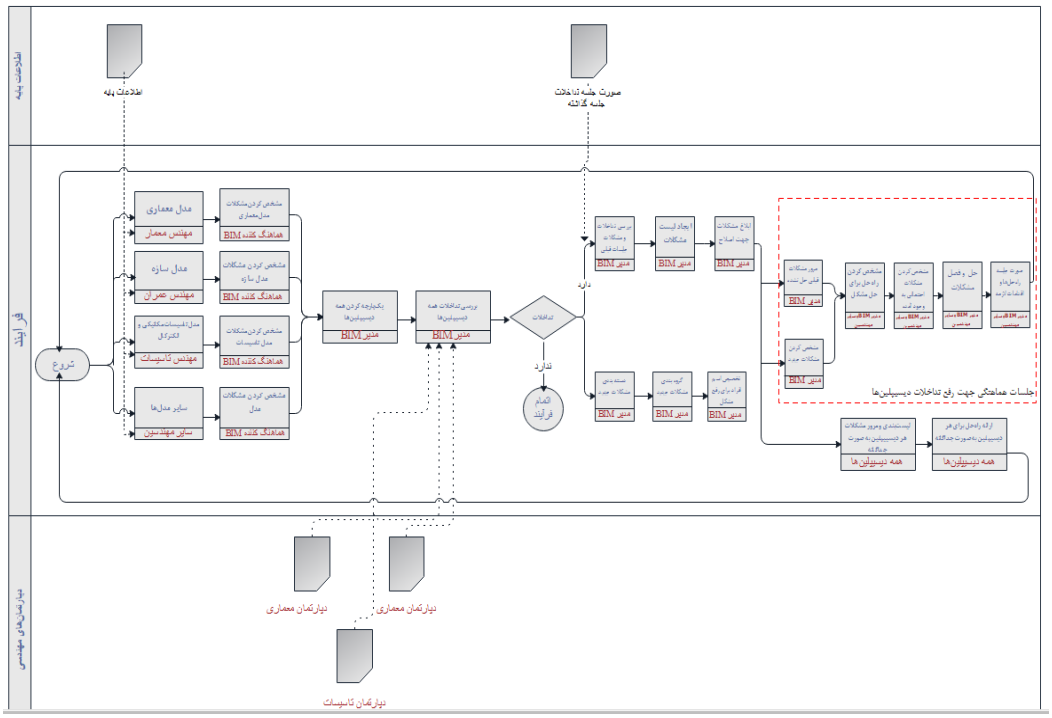


شکل ۹- شناسایی تداخلات در نرم‌افزار نویس‌ورک

تداخلات به دلایل مختلفی در پروژه‌ها اتفاق می‌افتند که منجر به مشکلات متعدد در پروژه می‌شوند و کیفیت کار را کاهش می‌دهند. بنابراین تشخیص تداخلات بخش مهمی از فرآیند کنترل کیفیت برای طراحی و ساخت مبتنی بر *BIM* است و تیم‌های طراحی باید از ابزارهای تشخیص تداخل استفاده کنند تا از طراحی کاملاً هماهنگ در همه‌ی بخش‌ها اطمینان حاصل کنند. فرآیند شناسایی تداخلات در **شکل ۱۰**، نشان داده شده است. همچنین از دیگر عواملی که در شناسایی تداخلات مورد بررسی قرار گرفت هزینه صرفه‌جویی شده در تداخلات شناسایی شده است که در **جدول ۴**، صرفاً برای بحث تداخلات تأسیسات مکانیکی و برقی با اجزای سازه‌ای هزینه‌ی آن مطابق با فهرست‌بهاء استخراج شده است.

جدول ۴- هزینه ناشی از تداخلات سازه با تأسیسات مکانیکی و برقی

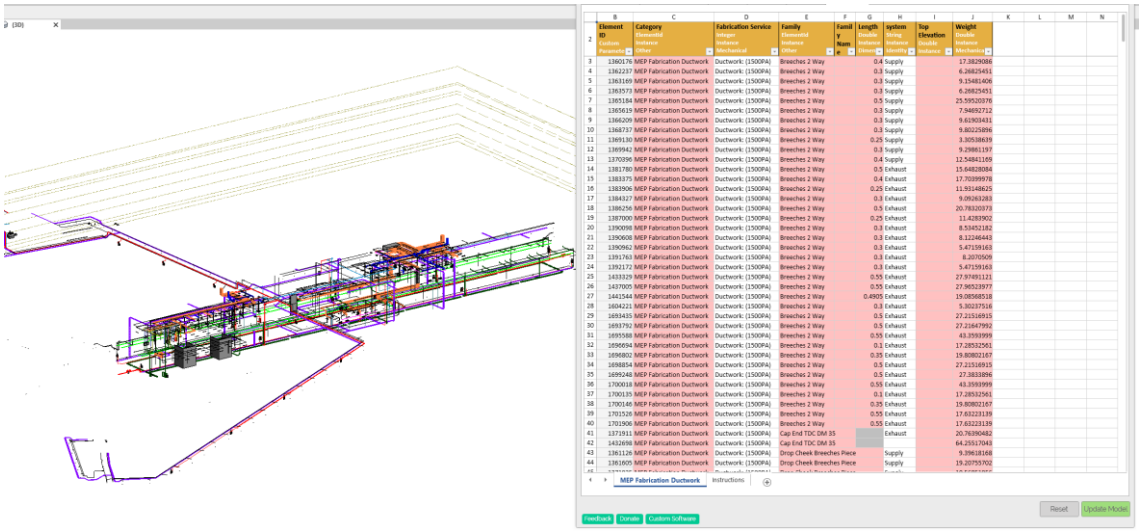
نوع فهرست بها	شماره فهرست بها	شرح آیتم	واحد	تعداد سوراخکاری	طول سوراخکاری	بهای واحد(ریال)	ضرایب کل	ضریب تعدیل	بهای کل (ریال)	توضیحات
ابنیه	۰۱۰۲۳۰	سوراخ کردن سطوح بتنی و بتن مسلح، به قطر تا ۱۵ سانتیمتر به روش مغزه‌گیری	متر طول	۱۶۳	۲/۳	۴۱۱۶۰۰۰	۱/۳۲	۱/۶۲	۳,۲۹۹,۷۴۰,۲۳۵	سوراخکاری مربوط به تداخلات در تأسیسات مکانیکی
				۱۱۵	۲/۳	۴۱۱۶۰۰۰	۱/۳۲	۱/۶۲	۲,۳۲۸,۰۳۷,۵۸۹	سوراخکاری مربوط به تداخلات در تأسیسات الکتریکی
								جمع کل(ریال)	۵,۶۲۷,۷۷۷,۸۲۳	



شکل ۱۰- فرایند شناسایی تداخلات

۴-۳- استفاده از قابلیت برآورد احجام در مدل‌های *BIM*

از این کاربرد برای ارائه برآورد احجام بخش‌های مختلف پروژه، در همه دیسیپلین‌ها استفاده شد و در راستای مهندسی خرید و تأمین تدارکات پروژه با توجه به برنامه زمان‌بندی استفاده شد. این متره و برآورد نسبت به روش سنتی دقیق‌تر و سریع‌تر و با خطای تقریبی کمتر از ۵ درصد بر مبنای مدل اطلاعاتی *BIM* در دسترس است. برای انجام این کاربرد از قابلیت *Schedule* در نرم‌افزار رِویت بهره گرفته شد.



شکل ۱۱- متره و برآورد احجام پروژه

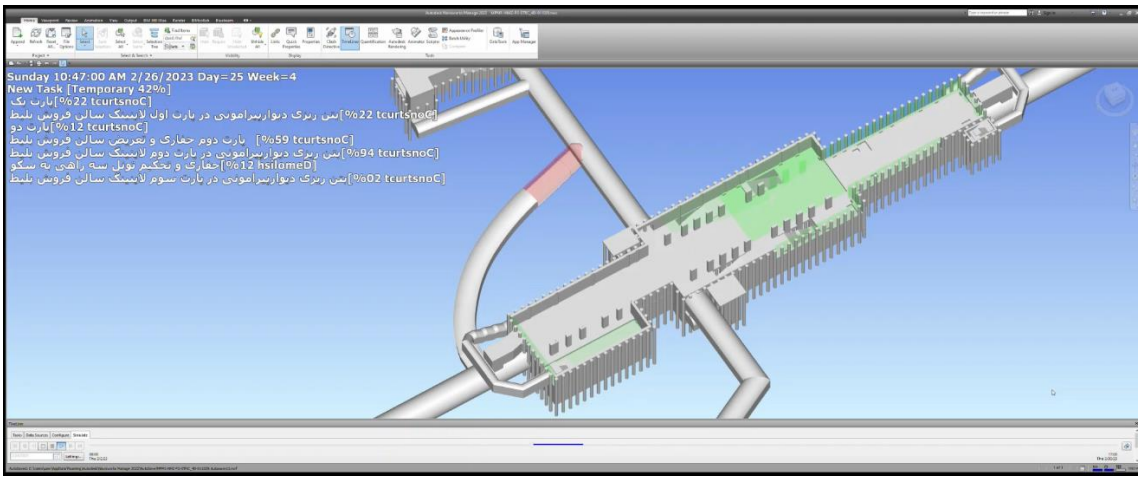
۴-۴- برنامه‌ریزی چهاربعدی

در برنامه‌ریزی چهار بعدی، مدل‌سه بعدی *BIM* پروژه به برنامه زمان‌بندی پروژه متصل گردید و این امکان برای تیم مدیریت پروژه بوجود آمد که روند ساخت المآنهای مختلف سازه پروژه در طول زمان را بر روی مدل سه‌بعدی ملاحظه کنند. برای انجام برنامه‌ریزی چهار بعدی، مهندسین مشاور، ساختار شکست کار (*WBS*) در بخش‌های مختلف طرح را با مرور مدل *BIM* و متناسب با گروه‌بندی‌های مورد استفاده در تشکیل مدل *BIM* برای بخش مربوطه در طرح پیشنهاد کردند و به تأیید مجری طرح رساندند و سپس سطوح *WBS* مورد نظر که می‌بایست به مدل *BIM* متصل شود، تعیین شد. با اتصال برنامه‌ریزی بخش‌های مختلف طرح به مدل *BIM* امکان شبیه‌سازی چهار بعدی پروژه فراهم گردید و شبیه‌سازی و تهیه ویدئوهایی از روند اجرای برنامه *4D* در بخش‌های مختلف صورت پذیرفت. با توجه به این کار، تداخلات زمانی بین گروه‌های مختلف کاری شناسایی و تغییرات لازم در برنامه زمان‌بندی اعمال شد. شبیه‌سازی‌های انجام شده در جلسات بین مجری، کارفرما، مهندسین مشاور طراح و ناظر و پیمانکار پروژه مورد بازبینی و ارزیابی قرار گرفتند. در این جلسات، با در دسترس بودن مدل سه بعدی *BIM* به مرور جزئیات بیشتر برای بخش‌هایی از پروژه، مستقیماً برنامه چهار بعدی پیشرفت ساخت بخش‌های مختلف طرح توسط تیم مرور شد. این جلسات به منظور شناسایی اشکالات احتمالی در برنامه‌ریزی انجام شده و در جریان قراردادن تیم‌های مختلف اجرایی در ارکان مختلف اجرای طرح از روند اجرای برنامه اجرا می‌شود. نرم‌افزار زمان‌بندی مورد استفاده برای این کاربرد طرح مایکروسافت پراجکت و نرم‌افزار *BIM* است. همچنین در این کاربرد از نویس‌ورک و افزونه *BCF* برای تخصیص کارها و بهبود مدیریت برنامه‌ریزی به صورت همزمان استفاده شده است.

۴-۵- برنامه‌ریزی پنج بعدی

در برنامه‌ریزی پنج بعدی، مدل‌سه بعدی *BIM* پروژه به برنامه زمان‌بندی پروژه متصل است و همزمان با نمایش روند ساخت المآنهای مختلف پروژه در طول زمان، برآورد هزینه ساخت پروژه را نیز نشان می‌دهد. برای انجام برنامه‌ریزی پنج بعدی، تیم مدیریت طرح با مرور بخش‌های مختلف برنامه چهار بعدی

و احجام برآورد شده برای بخش‌های مختلف طرح، موعدهای زمانی مناسب برای تهیه مصالح، تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز بخش‌های مختلف طرح را تعیین می‌کند. با تعیین موعدهای زمانی، تهیه منابع مورد نیاز برای بخش‌های مختلف، اطلاعات احجام هر فعالیت از مدل استخراج و سپس اطلاعات مربوط به هزینه‌های واحد با توجه به نرخ‌های برآورد شده در مدل منظور شد. با اتصال هزینه فعالیت‌های بخش‌های مختلف طرح به برنامه چهار بعدی، امکان شبیه‌سازی پنج بعدی بخش‌های مختلف طرح وجود خواهد داشت، بدین معنی که با گذشت زمان علاوه بر پیشرفت بخش‌های مختلف طرح، امکان مشاهده هزینه بخش‌های مختلف طرح نیز وجود خواهد داشت. با استفاده از این اطلاعات، امکان تهیه هزینه بخش‌های مختلف طرح در طول زمان بوجود خواهد آمد و در این قسمت ویدئوهایی از روند اجرای برنامه و هزینه‌های مورد نیاز در طول زمان تهیه شد. جریان نقدی برآورد شده و شبیه‌سازی‌های انجام شده در جلسات بین مجری کارفرما، مهندسین مشاور طراح و تیم نظارت و پیمانکار، بخش‌های مختلف طرح مورد بازبینی و ارزیابی قرار گرفت. همچنین در این جلسات، مدل سه بعدی *BIM* در دسترس قرار خواهد داشت تا در صورت نیاز به مرور جزئیات بیشتر در مورد توالی انجام کار و هزینه بخش‌های مختلف طرح، مستقیماً برنامه پنج بعدی پیشرفت ساخت بخش‌های مختلف طرح توسط تیم بازبینی شود. این جلسات به منظور شناسایی مشکلات احتمالی در تأمین منابع در زمآنهای مختلف و اصلاح و تعدیل برنامه‌ی اجرا، انجام می‌شود. نرم‌افزار زمان‌بندی مورد استفاده برای اجرای این کاربرد در بخش‌های مختلف طرح، مایکروسافت پراجکت است. همچنین نرم‌افزار *BIM* مورد استفاده در این کاربرد نویس‌ورک است و در صورت نیاز از افزونه *BCF* برای تخصیص کارها و بهبود مدیریت برنامه‌ریزی استفاده می‌شود. همچنین از نرم‌افزار اکسل برای جمع‌بندی و ارائه جریان هزینه‌ها استفاده شده است.



شکل ۱۲- انیمیشن 4D در نرم افزار نویس‌ورک

۵- بحث و پیشنهادات

با پیاده‌سازی موارد اشاره شده که بر اساس استاندارد مدل‌سازی اطلاعات ساخت انجمن بین‌المللی تونل و فضاهای زیرزمینی و استاندار جهانی مدل‌سازی اطلاعات ساخت *ISO 19650* بر روی پروژه متروی اسلامشهر صورت پذیرفت، چالش‌ها و مزایای پیش‌رو به شرح ذیل است:

۱. از چالش‌های پروژه شرایط پیچیده موقعیت هندسی و وضعیت پهنه زمین‌شناسی، مشارکت ذینفعان مختلف و ارائه راهکارهای متفاوت به منظور تعیین مسیر تونل و ایستگاه‌های آن و جدید بودن فرآیند پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات ساخت در این پروژه بود که هنوز به صورت کامل در پروژه‌های تونلی در ایران توسعه نیافته است.

۲. به‌کارگیری نرم‌افزارها و فرآیند مدل‌سازی جدید نسبت به روش سنتی برای پروژه‌های تونل که از لحاظ ترازهای افقی و عمودی حائز اهمیت هستند کمک شایانی به پیشبرد پروژه و درک بهتر عوامل پروژه داشت.

۳. از آنجایی که در این پروژه مدل‌سازی اطلاعات ساخت در مرحله طراحی به‌کارگیری شد، نیاز به انعطاف‌پذیری بالایی

در اصلاح نقشه‌ها با توجه به دخیل بودن رشته‌های مهندسی متعدد احساس می‌شد، که به‌واسطه مدل‌های سه‌بعدی که به‌صورت پارامتریک تهیه گردیده بود این امر در زمان کوتاه‌تری صورت گرفت.

۴. برگزاری جلسات هماهنگی بین ذینفعان پروژه و اعلام بروزرسانی‌ها و تغییرات پروژه و حل مشکلات پروژه در فازهای مختلف طراحی با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی باعث ایجاد یک دید مشترک و ایجاد هماهنگی بین ارکان پروژه شد که این امر باعث بهبود مکاتبات و نظارت دقیق‌تر بر حسن اجرای پروژه در مرحله طراحی شد.

۵. از آنجایی که ساخت تونل فرآیندی است که طراحی و اجرای آن علوم مهندسی مختلف را درگیر می‌کند، نیازمند تبادل اطلاعات بین تیم‌های مختلف است. این نیاز با پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات ساخت و شناسایی تداخلات طراحی میان دیسیپلین‌ها با به‌کارگیری ابزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساخت به‌سرعت شناسایی و برطرف شد. با توجه به نظر مشاور طراح، روند طراحی و تداخلات پروژه ۳۰٪ نسبت به تجربه‌های پیشین بهبود پیدا کرده است.

۶. با به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساخت تخصیص کارها و وظایف بین تیم‌های کاری به وضوح تعریف و خروجی نقشه‌های اجرایی نسبت به روش سنتی بهبود یافت.

مدل‌سازی اطلاعات ساخت همان گونه که اشاره شد تحولی بزرگ در حوزه پروژه‌های عمرانی ایجاد کرده است و به‌کارگیری آن در پروژه‌های تونلی در ابتدای مسیر است. به‌واسطه پتانسیل ادغام این فناوری با سایر فناوری‌ها مانند ابزارهای اینترنت اشیاء و یادگیری ماشین، ظرفیت تغییر زیادی را در فرآیندهای طراحی و اجرای پروژه عمرانی دارد که در ذیل به چند مورد از مواردی که در پژوهش‌های آتی می‌توان به آنها پرداخت، اشاره شده است:

آیین نامه و استانداردها، الزامات متنوع و زیادی در خصوص فازهای مختلف حیات پروژه بیان می‌کنند که کنترل برخی از آنها به شکل دستی ممکن است با پیچیدگی‌هایی همراه باشد. علاوه بر آن کنترل دستی امری زمان‌بر و مستعد خطا است. به‌منظور بهبود این روند می‌توان از تکنولوژی‌هایی نظیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در خدمت کنترل خودکار ضوابط آیین نامه‌ها استفاده نمود که ضمن فراهم نمودن اطلاعات مورد نیاز، بستر لازم جهت اعمال و بصری سازی آن‌ها را فراهم می‌سازد. کنترل خودکار ضوابط و آیین‌نامه‌ها در مدل‌های مبتنی بر مدل اطلاعاتی *BIM* از جمله پایش‌هایی است که قبل از ورود به مرحله اجرا باعث کنترل مضاعف بر ضوابط و کاهش خطاها در طراحی می‌شود و همین امر مانع بسیاری از دوباره‌کاری‌ها و کاهش تأخیرات زمانی پروژه می‌شود.

به‌کارگیری ابزارهای اینترنت اشیاء در نقاط مختلف تونل در حین عملیات اجرایی به منظور نظارت بر تغییر مکان به طور مؤثری به انجام کارهای فنی ایمن‌تر و سریع‌تر می‌انجامد. همچنین این فرآیند افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها و در نتیجه نظارت دقیق و کارآمد را ممکن می‌سازد. با استفاده از یادگیری ماشین می‌توان برای تشخیص این‌که پارامترهای اندازه‌گیری شده در محدوده مجاز هستند یا خیر بهره برد. همچنین می‌توان روند احتمالی آینده شاخص‌ها را با توجه به اطلاعات داده‌های زمانی واقعی که در یک دوره خاص جمع‌آوری شده‌اند، مورد بررسی قرار داده و مواردی نظیر منحنی‌های تغییر شکل و نشست زمین و سنجش گازهای مضر و سایر شاخص‌های مختلف را به کمک رایانش ابری در مدل‌های بصری به نمایش گذاشت. بر این اساس با هشدارِ به موقع عوامل خطر، کاهش بروز حوادث و بهبود کارایی مدیریت در دسترس خواهد بود.

از فواید به کارگیری سیستم مانیتورینگ خودکار می‌توان به فواید ذیل اشاره کرد:

در خصوص بحث کنترل پروژه، پهپادهایی که به طور خاص برای کاربردهای عمرانی و تجاری طراحی شده‌اند، به کمک پردازش تصویر امکان رصد پروژه و محاسبه درصد پیشرفت پروژه بر اساس مدل‌های اولیه طراحی *BIM* را فراهم می‌کنند و در نهایت می‌توان به تهیه نقشه‌های ازبیلت به کمک ابر نقاط اشاره کرد. از طرف دیگر به کارگیری پهپاد عمدتاً زمانی که مکان برای کارگران غیرقابل دسترسی باشد یا در یک منطقه یا طول بزرگ مانند جاده‌ها یا پروژه‌های خطوط انتقال، نقشه‌برداری پروژه در مقیاس‌های وسیع مدنظر باشد می‌تواند به‌کار گرفته شود. به طور کلی ترکیب به‌کارگیری *BIM* و پهپاد را برای جمع‌آوری کارآمد و دقیق اطلاعات پروژه از پیشرفت کار در طول پروژه‌های زیرساختی به منظور دستیابی به مدیریت پروژه موثرتر، نگهداری سوابق و تجزیه و تحلیل تاخیرات پروژه، به عنوان چشم‌انداز استفاده

این دو فناوری عنوان کرد.

در صورت تجهیز تأسیسات نصب شده به سنسورهای اینترنت اشیاء ارتباط به‌هنگام با آنها برقرار می‌گردد و با ثبت اطلاعات، خرابی‌های احتمالی مشخص و تیم‌های نگهداری و تعمیرات، اقدامات لازم را اجرا می‌کنند. از طرف دیگر در خصوص مسائل فنی از جمله تغییر شکل، سطح آب زیرزمینی و سایر داده‌های نظارتی می‌توان در تعمیر و نگهداری بهره برد. از نگاه دیگر به کمک اینترنت اشیاء بسیاری از راه حل‌های امنیتی و مدیریت ترافیک را می‌توان اعمال کرد، به عنوان مثال، اخطار جهت کاهش سرعت وسایل نقلیه. از طرف دیگر مصرف برق یکی از بزرگترین اقلام هزینه برای اپراتورهای تونل است. استفاده از داده‌های حسگرهای اینترنت اشیاء امکان اندازه‌گیری و مدیریت این مصرف را با هدف کنترل و بهینه‌سازی آن فراهم می‌کند. به عنوان مثال، سنسورهای از نوع رادار، وجود وسایل نقلیه را در مناطق خاصی تشخیص می‌دهند و بر اساس آن نور را کنترل می‌کنند. به این ترتیب در زمان‌های کم تردد، روشنایی تنها در مواقع ضروری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۶- نتیجه‌گیری

به‌کارگیری فناوری‌های نوین و فرآیند ساخت در پروژه‌های عمرانی، موضوع پیچیده‌ای است و با توجه به نقش این صنعت در تولید ناخالص داخلی، ایجاد اشتغال و کسب مزیت رقابتی پایدار، سهم آن در رشد اقتصادی قابل توجه بوده و فراهم‌کننده زیرساخت پایه‌ای برای بخش‌های دیگر اقتصاد است. در این مطالعه به بررسی مدل‌سازی اطلاعات ساخت و مزایای آن در بکارگیری پروژه‌های تونلی پرداخته شد. به‌طور کلی فرآیند *BIM* مزایایی هم‌چون مدل‌سازی سه بعدی، تشخیص تداخلات و هماهنگی طراحی، تجزیه و تحلیل‌های مهندسی مانند تحلیل انرژی و روش‌های حفاری، زمان‌بندی پروژه، متره و برآورد مصالح، تجزیه تحلیل سایت و نگهداری و تعمیرات پروژه را دارد. بنابراین مدل‌سازی اطلاعات ساختمان تنها یک ابزار سه بعدی برای طراحی نیست، بلکه فرآیندی است که به‌طورکلی اطلاعات مربوط به پروژه‌های ساخت را از برنامه‌ریزی تا بهره‌برداری پوشش می‌دهد.

در این پژوهش مدل‌سازی اطلاعات ساخت در مطالعه موردی ایستگاه مترو میدان نماز واقع در شهرستان اسلامشهر استان تهران پیاده‌سازی شد و مواردی مانند بهبود طرح هندسی تونل، شناسایی تداخلات، بهبود ارتباط بین ارکان پروژه و مدیریت تخصیص وظایف بین ارکان پروژه، کاهش هزینه‌های طراحی با توجه به سرعت بالای اصلاح نقشه‌ها و کاهش دوباره‌کاری در مرحله اجرا، متره و برآورد سریع و مهندسی دقیق خرید مصالح و کاهش تأخیرات پروژه از نتایج این مطالعه موردی بود. در این پژوهش ضمن بررسی تداخلات پروژه، هزینه صرفه‌جویی شده‌ی ناشی از دو مورد از تداخلات سازه با تأسیسات مکانیکی و الکتریکی برآورد شد که شناسایی آن در مرحله طراحی باعث صرفه‌جویی مالی و کاهش زمان بسزائی در پروژه شد. همچنین مصالح با خطای کمتر از ۵ درصد بر مبنای مدل اطلاعاتی و بهبود ۳۰ درصدی ارتباطات ارکان پروژه جهت فهم مشکلات و مرتفع کردن آنها از دستاوردهای اساسی این پژوهش است که می‌توان به آن اشاره کرد.

در طی سال‌های اخیر مدل‌سازی اطلاعات ساخت اعتبار روز افزونی در صنعت ساخت به دست آورده و به عنوان یک ابزار کلیدی در ارتقاء مدیریت پروژه و ساخت پدیدار شده است. از آنجایی که کشور ما درحال توسعه بوده و پروژه‌های تونلی متعدد در آن در حال اجرا است که باعث توسعه شهری می‌شوند، ایجاد بسترهایی برای استفاده از فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساخت در طراحی و مدیریت پروژه‌های ساخت می‌تواند باعث صرفه‌جوئی در زمان و هزینه و ایجاد پروژه‌هایی باکیفیت بالا باشد. در پاسخ به این تقاضای روزافزونِ مدل‌سازی اطلاعات در صنعت ساخت، فعالان صنعت ساخت باید استراتژی پیاده‌سازی و برنامه‌ی استقرار را توسعه دهند. توسعه یک روش استاندارد و آسان برای برنامه‌ریزی و کنترل پیاده‌سازی و اجرای این فناوری و کارآیی حاصل از آن ضروری است. با این حال، مدل‌سازی اطلاعات ساخت در ایران تا حد زیادی در پروژه‌های ساختمانی ورود پیدا کرده است اما در پروژه‌های تونلی این موضوع در اول راه است. لذا با توجه به دانش محدود و عدم تجربه قبلی، بسیاری از فعالان این حوزه تصویری واضح ازآنچه مربوط به کاربرد، بسترهای موردنیاز، قابلیت‌ها و چالش‌های این فناوری است ندارند، که امید است با به‌کارگیری هرچه بیشتر این فناوری، شاهد پیشرفت روزافزون این حوزه در پروژه‌های مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی باشیم.

۷- مراجع

Berdigylyjov, M., & Popa, H. (2019). The implementation and role of geotechnical data in BIM process. *Paper presented at the E3S Web of Conferences*.

Borrmann, A., Ji, Y., Jubierre, J., & Flurl, M. (2012). Procedural Modeling: A new approach to multi-scale design in infrastructure projects. *Paper presented at the EG ICE workshop on intelligent computing in civil engineering*.

Borrmann, A., Kolbe, T. H., Donaubauer, A., Steuer, H., Jubierre, J. R., & Flurl, M. (2015). Multi-scale geometric-semantic modeling of shield tunnels for GIS and BIM applications. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30(4), 263-281.

Bradley, A., Li, H., Lark, R., & Dunn, S. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction*, 71, 139-152.

Chen, L., Shi, P., Tang, Q., Liu, W., & Wu, Q. (2020). Development and application of a specification-compliant highway tunnel facility management system based on BIM. *Tunnelling and underground space technology*, 97, 103262.

Cho ,D., Cho, N.-S., Cho, H., & Kang, K.-I. (2012). Parametric modelling based approach for efficient quantity takeoff of NATM-tunnels. *Paper presented at the ISARC*. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction.

Daller, J., Žibert, M., Exinger, C., & Lah, M. (2016). Implementation of BIM in the tunnel design–Engineering consultant's aspect. *Geomechanics and Tunnelling*, 9(6), 674-683.

Dosad, C., (2021). A report commissioned by the University of Cambridge's Centre for Digital Built Britain (CDBB).

Geng, T., (2020). *BIM Technology in Underground Transportation Engineering*.

He, Q., Qian, L., Duan, Y., & Li, Y.-k. (2012). Current situation and barriers of BIM implementation. *Journal of Engineering Management*, 26(1), 12-1.

Hegemann, F., Lehner, K., & König, M. (2012). IFC-based product modeling for tunnel boring machines. *Paper presented at the Proceedings of the 9th European Conference on Product and Process Modeling*.

Heikkilä, R., Kaaranka, A., & Makkonen, T .(2014) .Information modelling based tunnel design and construction process. *Paper presented at the ISARC*. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction.

Hoek, E., (2001). Big tunnels in bad rock. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(9), 726-740.

Jubierre, J. R., & Borrmann, A. (2015). Knowledge-based engineering for infrastructure facilities: assisted design of railway tunnels based on logic models and advanced procedural geometry dependencies. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 20(26), 421-441.

Koch, C., Vonthron, A., & König, M. (2017). A tunnel information modelling framework to support management, simulations and visualisations in mechanised tunnelling projects. *Automation in Construction*, 83, 78-90.

Lee, P.-C., Wang, Y., Lo, T.-P., & Long, D. (2018). An integrated system framework of building information modelling and geographical information system for utility tunnel maintenance management. *Tunnelling and underground space technology*, 79, 263-273.

Lee, S.-H., & Kim, B.-G. (2011). IFC extension for road structures and digital modeling. *Procedia Engineering*, 14, 1037-1042.

Lee, S.-H., Park, S. I., & Park, J. (2016). Development of an IFC-based data schema for the design information representation of the NATM tunnel. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(6), 2112-2123.

Lestari, S. A., Purwanto, H., & Saputra, J. (2022). Application of Common Data Environment (CDE) As a Method of Design Review in Construction Project .Logic: *Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 22(2), 103-109.

Li, J., Wang, Y., Wang, X., Luo, H., Kang, S.-C., Wang, J., . . . Jiao, Y. (2014). Benefits of building information modelling in the project lifecycle: construction projects in Asia. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(8), 124.

Li, Y., Yang, J., Shen, X., & Ma, Y. (2019). Application Research on Construction Management of Urban Underground Utility Tunnel Based on BIM. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

Liu, B., & Sun, X. (2018). Application analysis of BIM technology in metro rail transit. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

Marzouk, M., & Abdel Aty, A. (2012). Maintaining subway infrastructure using BIM. Paper presented at the Construction Research Congress 2012: *Construction Challenges in a Flat World*.

Ninić, J., Bui, H.-G., Koch, C., & Meschke, G. (2019). Computationally efficient simulation in urban mechanized tunneling based on multilevel BIM models. *Journal of computing in civil engineering*, 33(3), 04019007.

Ninić, J., Koch, C., & Stascheit, J. (2017). An integrated platform for design and numerical analysis of shield tunnelling processes on different levels of detail. *Advances in Engineering Software*, 112, 165-179.

Osello, A., Rapetti, N., & Semeraro, F. (2017). BIM methodology approach to infrastructure design: Case study of Paniga tunnel. *Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.

Providakis ,S., Rogers, C. D., & Chapman, D. N. (2019). Predictions of settlement risk induced by tunnelling using BIM and 3D visualization tools. *Tunnelling and underground space technology*, 92, 103049.

Qian, H. (2021). Design of Tunnel Automatic Monitoring System Based on BIM and IOT. *Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series*.

Sharafat, A., Khan, M. S., Latif, K., & Seo, J. (2021). BIM-based tunnel information modeling framework for visualization, management, and simulation of drill-and-blast tunneling projects. *Journal of computing in civil engineering*, 35(2), 04020068.

Sharafat, A., Khan, M. S., Latif, K., Tanoli, W. A., Park, W., & Seo, J. (2021). BIM-GIS-Based Integrated Framework for Underground Utility Management System for Earthwork Operations. *Applied Sciences*, 11(12), 5721.

Song, Z., Shi, G., Wang, J., Wei, H., Wang, T., & Zhou, G. (2019). Research on management and application of tunnel engineering based on BIM technology. *Journal of Civil Engineering and Management*, 25(8), 785-797.

Trappey, C. V., Wu, H.-Y., Taghaboni-Dutta, F., & Trappey, A. J. (2011). Using patent data for technology forecasting: China RFID patent analysis. *Advanced Engineering Informatics*, 25(1), 53-64.

uk, G., (2019). Geospatial Commission.

Wang, J., Hao, X & ,.Gao, X. (2015). The application of BIM technology in the construction of Hangzhou Zizhi tunnel. *Paper presented at the 3rd International Conference on Mechatronics*, Robotics and Automation.

Yabuki, N. (2008). Representation of caves in a shield tunnel product model. In eWork and eBusiness in Architecture, *Engineering and Construction (pp. 559-564): CRC Press*.

Yabuki, N., Aruga, T., & Furuya, H. (2013). Development and application of a product model for shield tunnels. *Paper presented at the ISARC*. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction.

Zhao, L., Zhai, S., Chen, F., & Ji, F. (2017). Research on the Application of BIM Technology in Tunnel Project Construction. *Paper presented at the Proceedings of the 20th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*.

Zhou, W., Qin, H., Qiu, J., Fan, H., Lai, J., Wang, K., & Wang, L. (2017). Building information modelling review with potential applications in tunnel engineering of China .*Royal Society open science*, 4(8), 170174 .

Zhou, Y., Ding, L., Rao, Y., Luo, H., Medjdoub, B., & Zhong, H. (2017). Formulating project-level building information modeling evaluation framework from the perspectives of organizations: *A review. Automation in Construction*, 81, 44-55.

tuse.shahroodut.ac.ir

Tunneling & Underground Space Engineering

(TUSE)

Volume 11-Issue 2\Winter 2023

نشریه‌ی مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی

Analysis of the benefits of building information modeling (BIM) in tunnel projects - A case study: Namaz Square metro station of Islamshahr

R. Alamshahi[1]; O. Faraji[2]; S. Rostamabadi[3*]; A. Moghbeli[4]; A. Asadi[5]; A. Alvanchi[6]

1- MSc in Construction Management Engineering; Faculty of Civil Engineering K.N. Toosi, Tehran, IRAN, ramin.alamshahi@gmail.com

2- MSc in Civil Engineering; Imam Hossein Comprehensive University, Faculty of Engineering, Tehran, IRAN, omidfaraji110@gmail.com

3- MSc in Tunnels and Underground Space; Member of the Iranian Tunnelling Association; Deep and Long Tunnels Working Group, Tehran, IRAN, s.rostamabadi@srbiau.ac.ir

4- Ph.D. in Civil Engineering; Manager of Architecture and Structure in Rahsaz Tarh Co., Tehran, IRAN, Rmin.moghbeli@gmail.com

5- MSc in Architecture Engineering, BIM Modeler in Rahsaz Tarh Co; Tehran, IRAN, vahabasadi1366@gmail.com

6- Associate Professor; Sharif University of Technology, Tehran, IRAN, alvanchi@sharif.edu

Received: 9 May 2023; Accepted: 24 Jul 2024

DOI: 10.22044/tuse.2024.13099.1478

Keywords

Construction industry
Building information modeling (BIM)
Integrated design
Tunnel
Namaz Square metro station of Islamshahr

Extended Abstract

Summary

The construction industry is one of the key industries of every country that has a great impact on the economy because a significant percentage of the country budget is annually allocated to the construction budget. With the arrival of the fourth industrial revolution, the scope of applying technologies in the field of construction has been expanded. The construction industry has experienced a tremendous transformation with the approach of digitization and the involvement of new technologies, and this evolution has a significant impact on meeting the needs and processes in the construction industry. Among the technologies that have provided a platform for the digitization of the construction industry is construction information modeling, a process in which the management and production of construction project information is carried out in a coherent and integrated manner, and it causes group cooperation, effective coordination of project elements and more detailed designs. The tunnel is one of the most widely used projects in the construction industry that is used for various purposes such as transportation, mineral extraction, directing the flow of underground and surface water, installation of facilities, etc. In this paper, analysis of the benefits of construction information modeling in tunnel projects according to the research conducted from 2010 to 2022 in a case study is presented following implementation of construction information modeling in the tunnel of Namaz Square metro station in Islamshahr located in Tehran Province.

Introduction

Building information modeling (BIM) has been one of the new technologies in recent years that has found a good position in the field of construction. However, in the field of tunneling, it is at the beginning and needs to be known more by execution of tunneling projects, Therefore, in this paper, an overview of the advantages of building or construction information modeling is discussed.

Methodology and Approaches

References were searched in the scientific databases of Web of Science, Scopus and ScienceDirect. In this search, a combination of keywords "construction information modeling", "underground tunnels" and "tunnel construction challenges and problems" were used. In the initial stage of reviewing titles and abstracts, a list of articles focusing on practical case studies in this regard were selected for further review. After reading

the full text of the articles, the final list of 30 sources was chosen. Moreover, the existing standards in this field, the ISO 19650 international construction information modeling standard and the International Tunnel and Underground Spaces Association construction information modeling standards have been used in the implementation of the case study.

Results and Conclusions

The transfer of new construction technologies in construction projects is a complex issue, and considering the role of this industry in the GDP, creating employment and gaining a sustainable competitive advantage, its contribution to economic growth is significant and it provides a basic infrastructure for other sectors of the economy. In this study, construction information modeling and its advantages in using tunneling projects were investigated. In general, the BIM process has advantages such as 3D modeling, interference detection and design coordination, engineering analyzes such as energy analysis and drilling methods, project scheduling, measurement and estimation of materials, site analysis and project maintenance and repairs. Therefore, building information modeling is not only a 3D tool for design, but a process that generally covers information related to construction projects from planning to operation. In this research, the construction information modeling was implemented in a case study of Namaz Square metro station located in Islamshahr, in an attempt for improving the geometric design of the tunnel, identifying interferences, improving communication between project elements and managing the assignment of tasks between project elements, reducing design costs with paying attention to the high speed of modification of drawings and reduction of rework in the implementation stage, quick measurement and accurate estimation of materials to purchase, and finally, reducng project delays. The number of 134 interferences in the design stage, identifying and estimating materials with less than 5% error based on the information model, 30% improvement in the communication of the project elements to understand the problems and solve them can be mentioned among the achievements of this case study. In response to this growing demand for information modeling in the construction industry, construction industry players must develop an implementation strategy and deployment plan. It is necessary to develop a standard and easy method for planning and controlling the implementation and execution of this technology and its resulting efficiency. Construction information modeling in Iran has been introduced to a large extent in construction projects, but in tunnel projects, this issue is at the forefront, due to limited knowledge and lack of previous experience, and thus, many activists in this field do not have a clear picture of its components, application, required platforms, capabilities and challenges of this technology. It is hoped that by using this technology, we will see the increasing progress of this field in tunnel projects and underground spaces.