Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

The effect of Building Information Modeling on the economics of hospital projects

Mohammadreza Amrollahi[1], Nima Amani[1]*

1- Department of Civil Engineering, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous,

ABSTRACT

One of the most critical factors for success in public construction projects, such as hospitals, is managing and preventing clashes that inadvertently occur during execution due to the extensive volume of structural, architectural, and installation materials. Effective management of these clashes before the execution phase is crucial to prevent cost overruns, reduce time delays, and maintain project quality. This research explores the optimal implementation of building facilities in public buildings using Building Information Modelling (BIM). A case study of Shohada Tajrish Hospital examines the impact of BIM on managing and completely resolving structural and installation clashes in construction projects, as well as the extent of material waste, rework, and their influence on project cost criteria before the execution phase. In this context, the hospital was modeled twice using Revit 2015 software. Initially, the structural, architectural, and mechanical and electrical installations of the hospital were modeled on two floors according to the project's consultant-approved AutoCAD plans. The process of identifying clash points between structural and installation volumes to resolve them was examined, and the number of such points was determined. Finally, an optimized model free of structural and installation clashes was prepared. By comparing these two models, the amount of material waste and rework resulting from these clashes was calculated and presented. Without Building Information Modeling, an average of 7% material waste and 9% total cost reduction is predicted for a two-story hospital with a floor area of 2,600 m2. The highest amount of waste and rework is related to air duct sheets and galvanized pipe fittings. The total waste rate for air duct sheets is 24% and for galvanized pipe fittings is 32%. The results of this research indicate that using BIM before the project execution phase can identify and prevent structural and installation clashes in projects.

ARTICLE INFO

Receive Date: 30 November 2024
Revise Date: 07 April 2025
Accept Date: 03 May 2025

Keywords:
Building information modeling,
Hospital projects,
Identifying building facilities interactions,
Cost benefit,
Optimization.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2025.489355.3579

*Corresponding author: Nima Amani.
Email address: nima.amani@iau.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

تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر روی اقتصاد پروژه‌های بیمارستانی

محمدرضا امراللهی[۱]، نیما امانی[۱*]

۱ - گروه مهندسی عمران، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل موفقیت در پروژه‌های ساختمانی عمومی مانند بیمارستان‌ها که به دلیل حجم گستردهٔ مصالح سازه‌ای، معماری و تأسیساتی، ناخواسته در حین اجرا دچار تداخلاتی می‌شوند، مدیریت این تداخلات و جلوگیری از ایجاد آن‌ها قبل از فاز اجرایی در راستای جلوگیری از افزایش هزینه، کاهش زمان و کاهش کیفیت پروژه است. در این پژوهش با پیاده‌سازی بهینه تأسیسات ساختمان‌های عمومی با به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان مطالعه موردی بیمارستان شهدای تجریش به تأثیر به‌کارگیری BIM در مدیریت و رفع کامل تداخلات سازه‌ای و تأسیساتی پروژه‌های ساختمانی کشور و میزان هدر رفت مصالح، دوباره‌کاری و میزان تأثیر آن‌ها بر معیار هزینه پروژه قبل از فاز اجرا پرداخته شد. دراین‌خصوص با استفاده از نرم‌افزار Revit 2015 دو بار ساختمان مدل‌سازی شد که ابتدا سازه، معماری و تأسیسات مکانیکی و برقی بیمارستان موردمطالعه در دوطبقه طبق نقشه‌های اتوکدی تأییدشدهٔ مشاور پروژه، مدل‌سازی شد و چگونگی شناسایی نقاط تداخل احجام سازه‌ای و تأسیساتی در جهت رفع آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و تعداد آن‌ها مشخص گردید. در آخر مدل بهینه‌سازی‌شده عاری از تداخلات سازه‌ای و تأسیساتی تهیه شد و با مقایسه این دو مدل میزان هدر رفت مصالح و دوباره‌کاری حاصل از آن محاسبه شد و ارائه گردید. در صورت عدم مدل سازی اطلاعات ساختمان، به طور میانگین مقدار ۷ درصد هدر رفت مصالح و ۹ درصد کاهش هزینه مجموع برای ساخت بیمارستانی دوطبقه با مساحت زیربنای ۲۶۰۰ مترمربع پیشبینی می شود. بیشترین مقدار هدر رفت و دوباره‌کاری‌ها مربوط به ورق کانال‌های هوا و اتصالات دنده‌ای لوله‌های گالوانیزه است. میزان هدر رفت کل برای ورق کانال‌های هوا ۲۴ درصد و برای اتصالات دنده‌ای لوله‌های گالوانیزه ۳۲ درصد است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد با به‌کارگیری BIM پیش از فاز اجرای پروژه می‌توان تداخلات سازه‌ای و تأسیساتی موجود در پروژه‌ها را شناسایی و از وقوع آنها جلوگیری کرد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، پروژه‌های بیمارستانی، شناسایی تداخلات امکانات ساختمان، بهره وری هزینه، بهینه-سازی.

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۴۰۳/۰۹/۱۰	۱۴۰۴/۰۱/۱۸	۱۴۰۴/۰۲/۱۳	۱۴۰۴/۰۲/۱۳	۱۴۰۴/۱۱/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2025.489355.3579

*نویسنده مسئول: نیما امانی
پست الکترونیکی: nima.amani@iau.ac.ir

۱- مقدمه

طبق تعریف استاندارد ISO 29481-1:2016 مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نشان‌دهنده نماینده‌ای دیجیتال از مشخصات و ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی هر کار ساخت‌وساز (از جمله: ساختمان‌ها، پل‌ها، جاده‌ها، تأسیسات و غیره) به‌منظور ایجاد یک مبنای قابل‌اعتماد برای تسهیل فرایندهای طراحی، ساخت‌وساز، عملیات و تصمیم‌گیری‌ها در طول چرخه حیات پروژه است [۱].

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان روشی است که می‌توان آن را انقلابی در طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری و حتی تخریب در طول چرخهٔ عمر یک پروژه دانست. BIM، ارتباطات فضایی، هندسه‌ی بنا، مقدار و ویژگی‌های اجرای ساختمان، اطلاعات جغرافیایی، تخمین هزینه‌ها، جداول پروژه و لیست مواد موردنیاز را مشخص می‌کند [۲]. این مدل تمام مؤلفه‌های یک ساختمان را در یک مکان جمع می‌کند که می‌توان برای نشان‌دادن کل چرخه ساخت، از زمان شروع کار تا طراحی و تخریب و استفاده از مصالح مورداستفاده قرار گیرد [۳]. مطالعات قبلی نشان می‌دهند که مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌تواند هماهنگی طراحی بین معماری، سازه، اجزای مکانیکی، الکتریکی و لوله‌کشی (MEP) ساختمان‌ها را بهبود بخشد و در نتیجه کیفیت و کارایی یک ساختمان را بهبود بخشد [۴].

استفاده روزافزون از مدل اطلاعات ساختمان (BIM) در زمینه‌های ساخت‌وساز، مهندسی و زیرساخت، در ابزارهای نرم‌افزاری نشان داده است که مقدار قابل‌توجهی از زمان و هزینه پروژه‌ها با استفاده از این روش صرفه‌جویی می‌شود. این رویکرد می‌تواند به طور قابل‌توجهی کاهش ادعاهای ساخت‌وساز، در نتیجه کاهش هزینه‌ها را به دنبال داشته باشد. بااین‌حال، اگر به‌درستی انجام نشود، ویژگی هشداردهنده BIM می‌تواند به طور قابل‌توجهی سرعت پردازش مدل را کاهش دهد و اندازه مدل‌ها را افزایش دهد [۵]. در ادامه خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در ارتباط با مدل‌سازی اطلاعات ساختمان ارائه می‌شود.

فلسفی و صالحی نژاد [۶] به شناسایی، بررسی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر در اجرای موفق فناوری BIM در شرکت‌های ساختمانی پرداختند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی موفق BIM در شرکت‌های ساختمانی به ترتیب اهمیت در دسته‌های: قانونی - قراردادی، سیاست‌گذاری، توجیه - پذیری اقتصادی، سازمانی، فراسازمانی، حمایتگری، فنی، پرسنلی - فردی قرار داده شدند. طاهری پور و همکاران [۷] با استفاده از پرسش‌نامه‌ای به بررسی نقش مؤلفه‌های فرهنگ ملی در پذیرش فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در استان تهران پرداختند. نتایج نشان داد ایجاد اشتیاق بیشتر برای پذیرش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نیازمند افزایش ریسک‌پذیری است. نیلچیان و همکاران [۸] به بررسی قراردادهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و راهکارهای تدوین چارچوب قراردادی آن پرداختند. آن‌ها با نظرسنجی از متخصصین داخلی صنعت ساخت و مطالعه ۲۱ مورد از راهکارهای به کار گرفته شده در هفت کشور پیشرو در زمینه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به این نتیجه رسیدند که بهترین راهکار، پیوست قراردادی BIM و الحاق آن به قراردادهای موجود است. غراب و تقدس [۹] با استفاده از پایگاه داده‌ی ابری به ایجاد ارتباط بین مدل BIM و مدل واقعیت افزوده پرداختند و چهارچوبی برای ارتقای تعامل ذی‌نفعان ارائه کردند. با به‌کارگیری این روش در یک مطالعه موردی نتایج مثبتی از طرف تیم مشاور پروژه حاصل شد. روحانی و بنی‌هاشمی [۱۰] با مطالعه پیشینه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به شناسایی و دسته‌بندی موانع پیاده‌سازی BIM پرداختند. سپس میزان اهمیت موانع را با نظرسنجی از متخصصان مشخص کردند. بر اساس این تحقیق مهم‌ترین موانع به ترتیب عبارت‌اند از: نبود سیاست‌گذاری در سازمان‌ها، عدم حمایت مدیر ارشد از BIM، مهیا نبودن صنعت ساختمان، توجه‌نکردن به جنبه‌های مختلف BIM در قراردادها و نبود استانداردها و راهنمای کاربردی. والی زاده و پروری [۱۱] به شناسایی و ارزیابی عوامل برتری طراحی با استفاده از مدل-سازی اطلاعات ساختمان نسبت به روش رایج در بناهای امدادی شامل مراکز آتش‌نشانی و بیمارستان‌ها با تأکید بر کاهش بحران پرداختند. بر اساس نتایج معیارهای منتخب به ترتیب اولویت شامل: جانی، بهره‌برداری، زمانی و مالی هستند. ملکی و همکاران [۱۲] به شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات ایمنی قابل‌پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان پرداختند. طاهری پور و اربابی [۱۳] به نقش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در کاهش تعارضات، دعاوی و اختلافات پروژه‌های صنعت احداث پرداختند. بر اساس این پژوهش مشخص گردید که بیشتر دعاوی در مرحله اجرا پروژه اتفاق می‌افتد و بیشترین دعاوی از طرف پیمانکار مطرح می‌شود. مهدی پورخداداد و همکاران [۱۴] به بررسی پتانسیل‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و نقش آن در مدیریت بحران پس از زلزله پرداخته‌اند.

نتایج این پژوهش نشان داد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌تواند کاربردهای زیادی در مدیریت بحران پس از زلزله داشته باشد. آن‌ها نشان دادند در زمان مدیریت بحران در واقع BIM هماهنگی و یکپارچگی قوی را فراهم می‌کند. همچنین مزیت واقعی BIM در عملکرد لرزه‌ای استفاده از اطلاعات ساختاری موجود در مدل اطلاعات ساختمان است. سعید فرجی و همایون‌آریا [۱۵] به بررسی رابطه بین بلاکچین (BCT) و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان پرداختند. آنها با ارزیابی مدل پیشنهادی به بررسی نقش این مدل در اداره فرایند به‌روزرسانی زمان‌بندی و هزینه‌های پروژه و کاهش اختلافات از طریق تهیه برنامه‌های اولیه پرداختند. مصطفی محمود و همکاران [۱۶] سعی کردند مدلی یکپارچه بین مهندسی ارزش (VEو BIM) ارائه کنند تا به حداکثر بازدهی در تغیر کاربری املاک دست پیدا کنند. ساکس و همکاران [۱۷] به بررسی چالش‌های تکنولوژیکی ممکن برای اجرای برنامه‌های هوش مصنوعی و BIM پرداختند. آن‌ها یکی از مهم‌ترین چالش‌ها را رمزگذاری نمایش اطلاعات ساختمان در فرمهایی که قابل‌یادگیری ماشین‌ها باشند بیان کردند. حسین و همکاران [۱۸] با استفاده از BIM به بررسی تفاوت قیمت ساختمان‌های سبز (GB) و ساختمان‌های معمولی پرداختند. اتامان و همکاران [۱۹] به ارزیابی انتشار BIM در بین شرکت‌های مالزیایی پرداختند. نتایج ۲۶۸ پاسخ دریافتی نشان داد که تنها ۱۳ درصد از شرکت کنندگان از هر دو بخش دولتی و خصوصی از BIM در سازمان خود استفاده می‌کنند که نشان‌دهنده استفاده کم از BIM است. اجیدا و همکاران [۲۰] به برآورد پیشرفت فیزیکی پروژه با استفاده از وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAV) و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) پرداختند. این روش شامل ثبت ۸۴۸ تصویر با وضوح‌بالا از سایت ساخت‌وساز آزمایشگاه مهندسی عمران در دانشگاه ملی پرو، با استفاده از پهپاد Phantom 4 RTK بود. هدف این مطالعه پیشنهاد ادغام تصاویر هوایی با هواپیماهای بدون سرنشین و مدل‌سازی BIM برای تخمین لحظه‌ای و دقیق پیشرفت کار بود. مشخص شد این روش جایگزینی دقیق و مؤثر برای تکنیک‌های سنتی برای سنجش پیشرفت ملموس پروژه‌ها فراهم می‌کند. زانگ و همکاران [۲۱] به بررسی نقش BIM در افزایش ایمنی کارگاه‌های ساختمانی پرداختند. تمکا و متیکا [۲۲] به بررسی تأثیر پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر بازار ساخت‌وساز پرداختند. پویرر و همکاران [۲۳] به تأثیر BIM بر بهره‌وری نیروی کار در یک پروژه تجاری بزرگ پرداختند.

باتوجه‌به محدودیت بودجه دولتی در تأمین مالی پروژه‌ها و زیرساخت موردنیاز جامعه و همچنین صرف بودجه‌های کلان و زمان طولانی برای اجرای این پروژه‌ها نیل به اهداف اصلی پروژه از جمله: کاهش زمان، کاهش هزینه، افزایش کیفیت و حصول موفقیت در این پروژه‌ها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از طرفی پروژه‌های عمومی به‌خصوص بیمارستان‌ها در طول حیات ساخت خود با مشکلات متنوعی روبه‌رو می‌شوند که اهداف اصلی پروژه را تحت‌تأثیر خود قرار می‌دهند. شناسایی آن‌ها در راستای کاهش یا در حد امکان رفع، ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از مهم‌ترین و عمده‌ترین این مشکلات عدم پیاده‌سازی بهینه تأسیسات مکانیکی و الکتریکی است، این مهم باعث ایجاد تداخل و اعمال دوباره‌کاری‌هایی می‌شود که افزایش زمان، افزایش هزینه و کاهش کیفیت مصالح دوباره اجرا شده را به دنبال دارد. منشأ این تداخلات در عدم هماهنگی و قطعیتی است که در نقشه‌های تمام پروژه‌ها موجود است. اما شناسایی و مدیریت تداخلات فوق ذکر در جهت رفع کامل آن‌ها کار ساده‌ای نیست. روش‌های متداول و مرسوم توانایی کمی در شناسایی و کاهش تداخلات دارند. از سویی دیگر فرایند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) کل اطلاعات اجزای یک پروژه از طراحی تا ساخت، بهره‌برداری و تخریب را ارائه می‌کند.

در نتیجه نیاز به ایجاد یک روش برای پیاده‌سازی بهینه تأسیسات ساختمان‌های عمومی مانند بیمارستان‌ها برای کاهش و رفع این مخاطرات احساس می‌شود. در این پژوهش با پیاده‌سازی بهینه تأسیسات ساختمان‌های بیمارستانی با استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان با مطالعه موردی بیمارستان شهدای تجریش، آن روش شناسایی و تأثیر آن نشان داده می‌شود. تفاوت‌های اصلی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان با روش‌های پیشین در قابلیت همکاری یکپارچه و توانایی خوب در یکپارچه سازی اطلاعات است که به متخصصان مختلف اجازه می‌دهد در مدل اطلاعات ساختمان در کنار یکدیگر جمع شوند. فرایندهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در شکل ۱ نشان‌داده‌شده‌اند [۲۴]. با به‌کارگیری فرایند مدل‌سازی ساختمان در زمان طراحی با ایجاد طراحی یکپارچه می‌توان موفق به شناسایی تضادها و مشکلات شد و با تصمیم‌گیری درست تمامی طرف‌های درگیر در یک پروژه پیش از اجرا، از دعاوی حقوقی و مشکلات اجرایی جلوگیری نمود. همچنین استفاده از این فرایند به طرفین پروژه مسیر مشخصی از اجرای پروژه می‌دهد که می‌تواند برنامه‌ریزی

قابل‌اطمینان‌تر، تخصیص منابع دقیق‌تر، برنامه‌ریزی مالی و بودجه‌ای بهتر و کنترل دقیق‌تر کیفیت را در برداشته باشد. حتی این مسیر دقیق در زمان مناقصه نیز می‌تواند مناقصه‌گذار و شرکت‌کنندگان در مناقصه را نیز برای درک توانایی یا عدم توانایی اجرا و انتخاب پیمانکار شایسته یاری نماید [25].

شکل ۱: فرآیندهای کاری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان[۲۴]

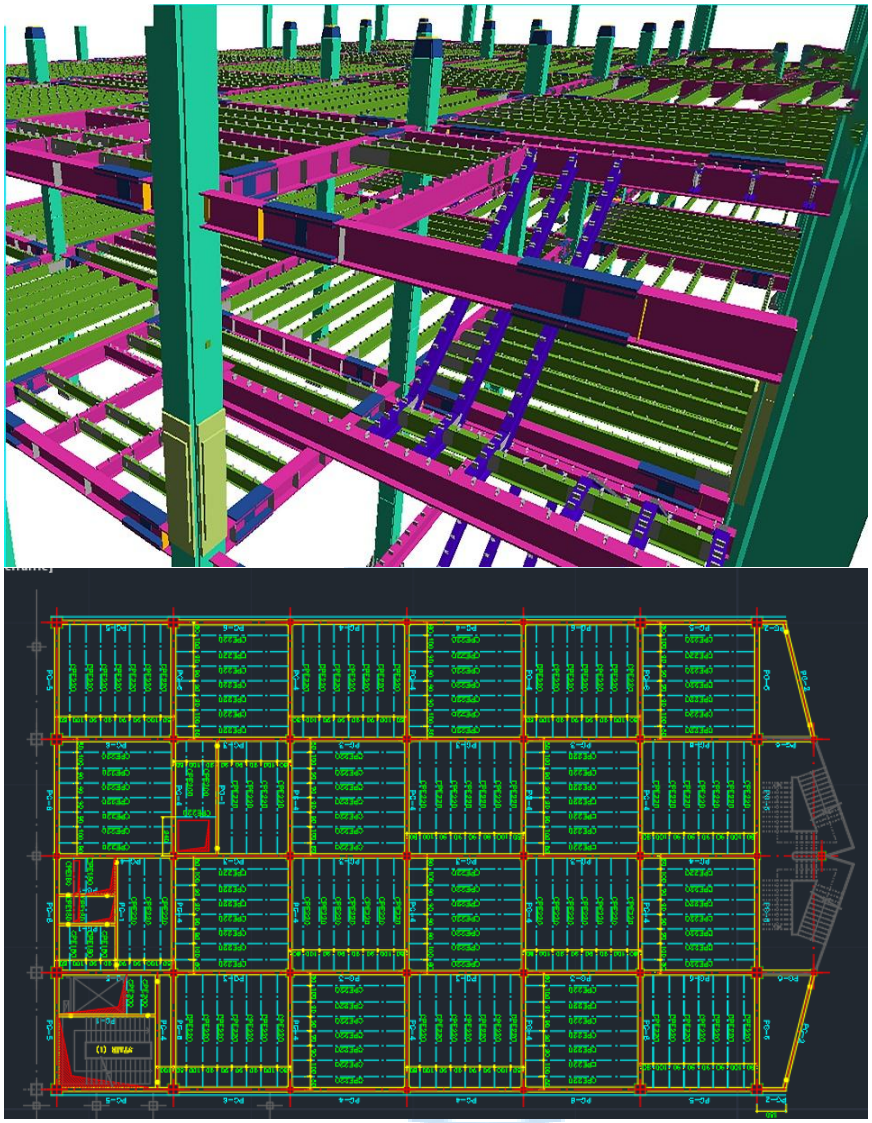
۲- معرفی پروژه و مدل‌های ایجاد شده

در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از نقشه‌های دوبعدی مشاور به مدل‌سازی سه‌بعدی یک بیمارستان با مساحت زیربنای ۲۶۰۰ مترمربع در دوطبقه پرداخته شد. در هر سه بخش معماری و سازه و تاسیسات ملاک عمل فرآیند مدل‌سازی، کلیه نقشه‌های دو بعدی Auto Cad که به تایید مشاور رسیده‌اند بود. نرم‌افزار Autodesk Revit جهت مدل‌سازی بخش‌های سه گانه ساختمانی مورد استفاده قرار گرفت. پس از تکمیل مدل یکپارچه به بررسی و شناسایی تداخل‌های موجود پرداخته شد. در واقع سه مدل جداگانه از سازه و معماری و تاسیسات پروژه تهیه و سپس به ادغام این سه و استفاده از مدل یکپارچه نهایی در جهت برآورده کردن اهداف این پژوهش پرداخته شد.

سپس به معرفی تداخلات به وجود آمده بین تأسیسات با سازه و تأسیسات با تأسیسات و کلیت تداخل‌ها و دسته‌بندی آن‌ها بر اساس موارد مشابه پرداخته شد و انواع راه‌حل‌های رفع آن‌ها با استفاده از نظر خبرگان بررسی شد. همچنین از هر دسته، تداخلی از نظر میزان مصالح هدر رفته و هزینه‌های اضافی تحمیل شده به پروژه مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۱- سازه

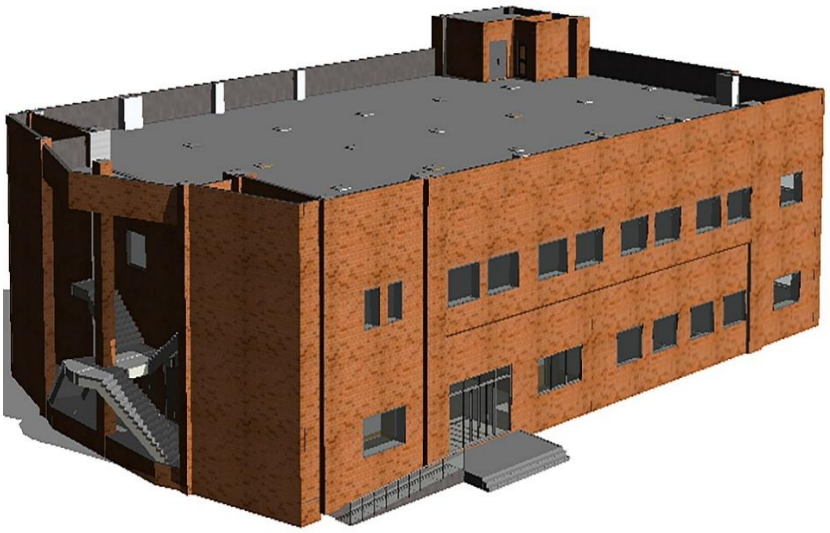
جزئیات اتصال‌ها، بیس پلیت‌ها، برش گیرها، وصله‌های تیرها و ستون‌ها در ابعاد و اندازه‌های دقیق مطابق نقشه‌های مشاور مدل شده‌اند. شمای سه‌بعدی و نقشه تیرریزی سازه ای در شکل ۲ نشان‌داده شده است.

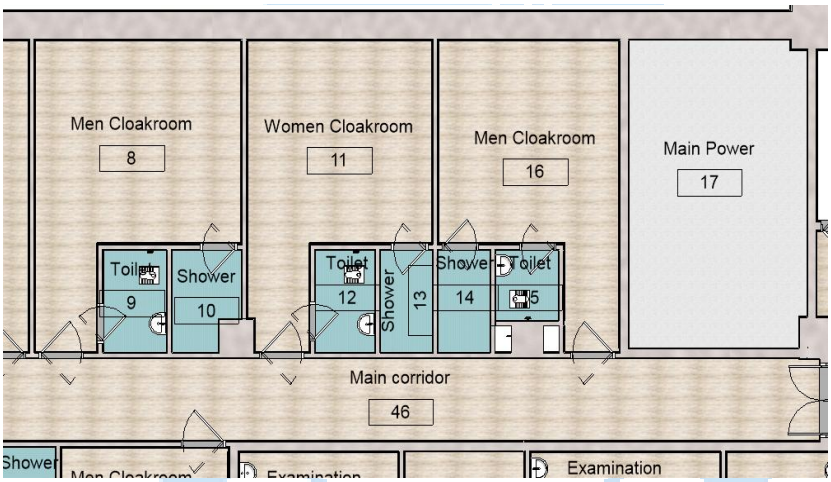


شکل ۲: شمای سه بعدی و نقشه تیر ریزی سازه

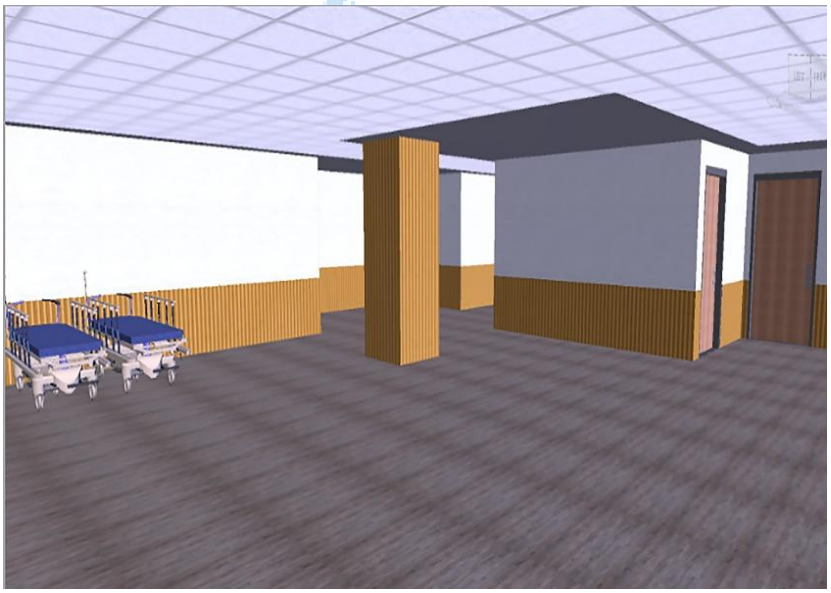
۲-۲- معماری

شمای سه‌بعدی و نقشه معماری پروژه در شکلهای ۳ و شکل ۴ نشان داده شده است.





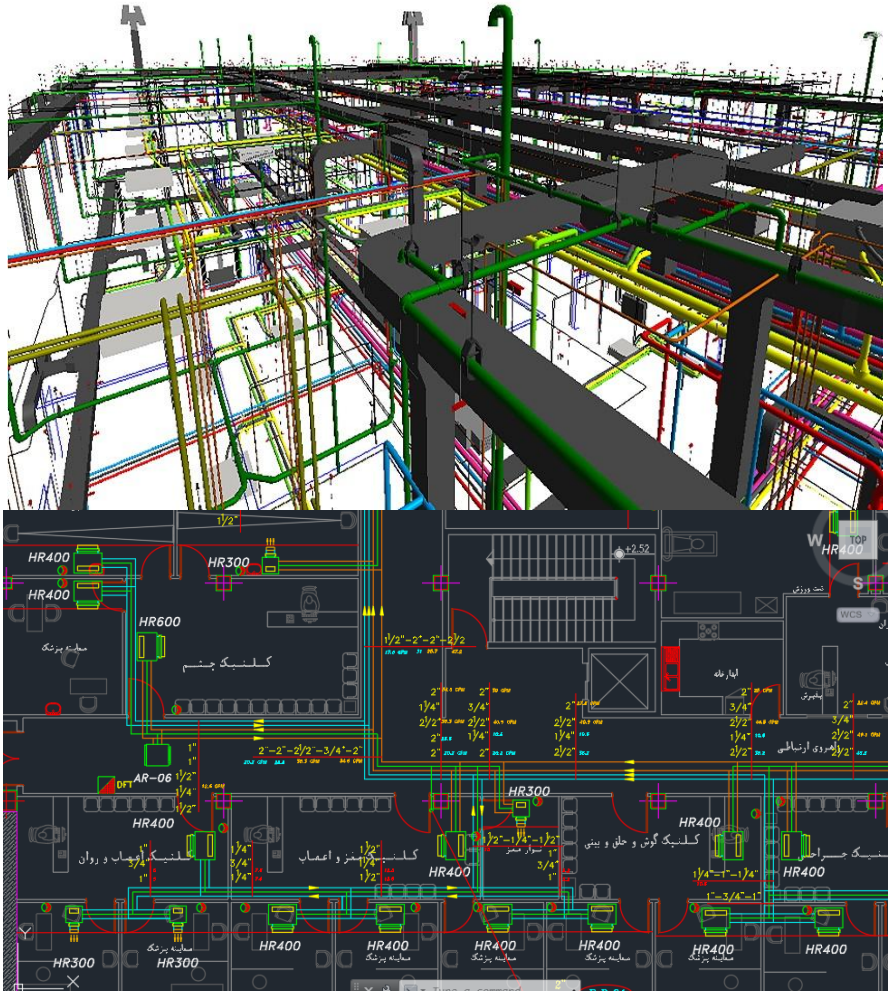
شکل ۳: شمای سه بعدی و نقشه معماری پروژه

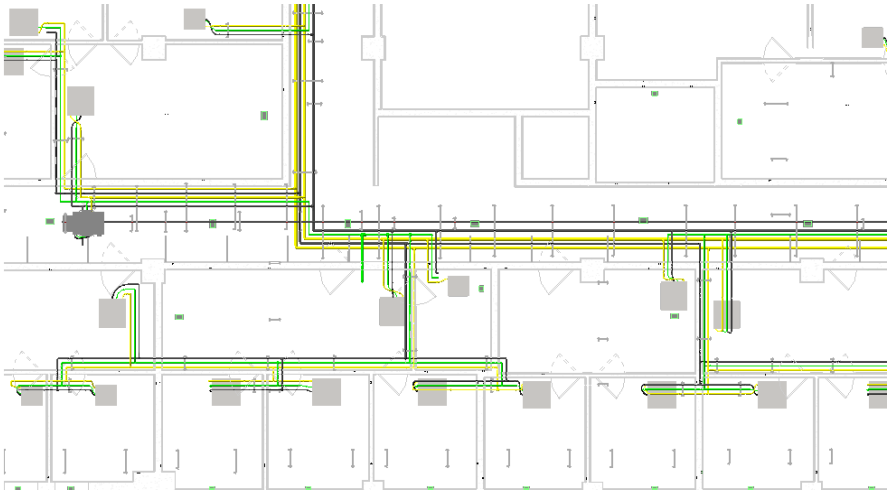


شکل ۴: شمای سه بعدی داخلی معماری پروژه

۳-۲- تاسیسات مکانیکی و الکتریکی

در این مدل سیستم سرمایش و گرمایش، سیستم آب مصرفی سردوگرم، فاضلاب، گاز طبی، کانال‌های هوا و تأسیسات الکتریکی مطابق نقشه‌ها در محل خود مدل‌سازی شدند. شکل ۵ شمای سه بعدی و نقشه تاسیسات پروژه را نشان می‌دهد.

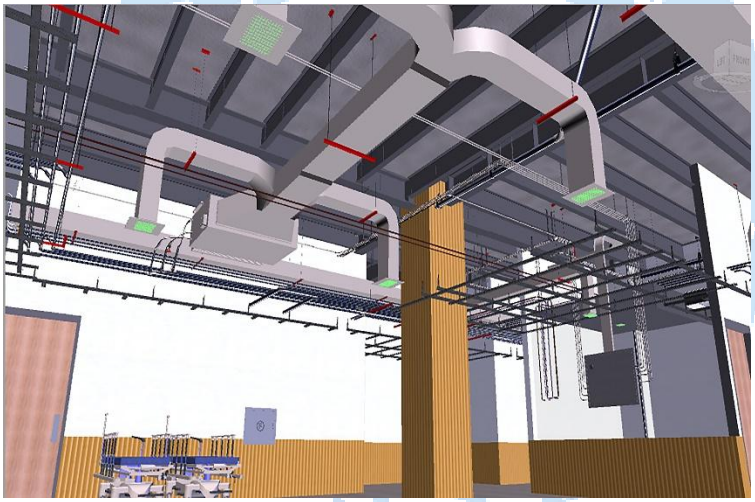




شکل ۵: شمای سه بعدی و نقشه تاسیسات پروژه

۳- ایجاد مدل یکپارچه

ادغام سه بخش معماری، سازه و تأسیسات پروژه در شکل ۶ نمایش داده شده است.



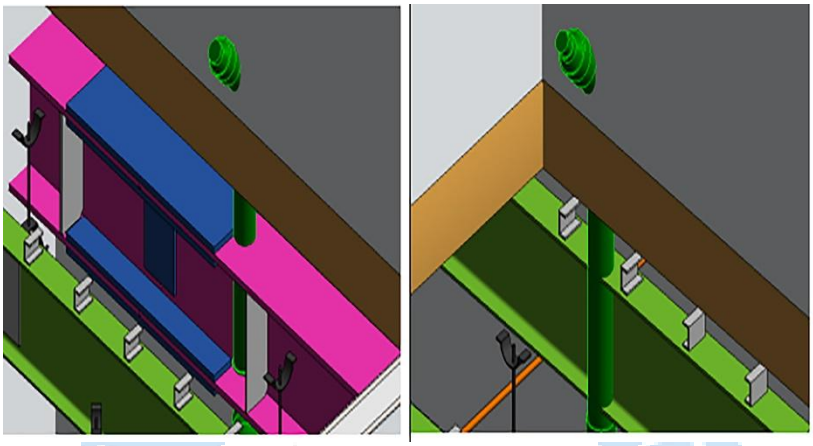
شکل ۶: ادغام سه بخش معماری،سازه و تاسیسات پروژه

۴- بررسی تداخل‌های اجزای ساختمان با یکدیگر

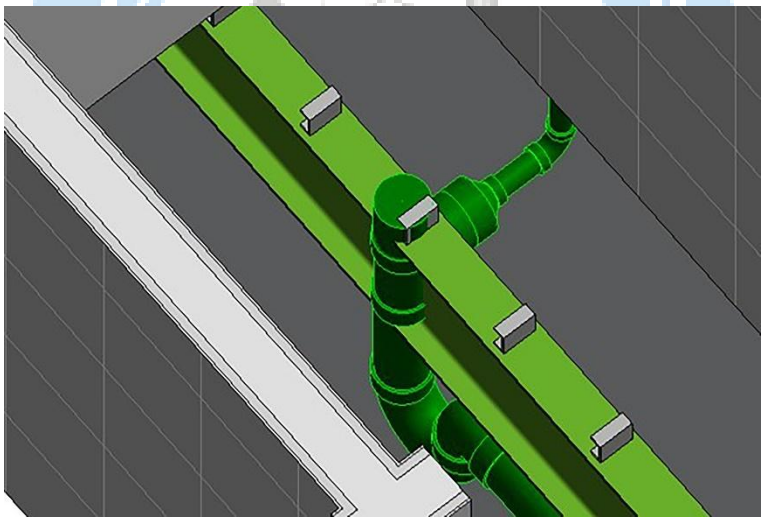
در این قسمت به معرفی تداخل‌های به وجود آمده در پروژه در دو بخش کلی بین سازه با تأسیسات و بین تأسیسات با تأسیسات پرداخته شد. باتوجه‌به اینکه فهرست‌بهای منضم به قرارداد پروژه مطالعه موردی مربوط به سال ۱۳۹۷ بوده است، میزان هدر رفت مصالح و هزینه اضافی تحمیل شده به پروژه با استناد به فهرست‌بهای تأسیسات مکانیکی و الکتریکی سال ۹۷ محاسبه شد. جهت به‌روزرسانی قیمت‌های ردیف‌های فهرست‌بهای در نظر گرفته شده و درک بیشتر، از ضریب تعدیل استفاده گردیده است. سپس گزارش مقدار نهایی هدر رفت مصالح و هزینه با استفاده از امکان گزارش‌گیری نرم‌افزار به دست آورده شد. ضریب تعدیل جبران‌کننده نرخ تورم است و فرمول محاسبه آن بر اساس بخشنامه ۱۰۱/۱۷۳۰۷۳ مورخ ۱۳۸۲/۹/۱۵ مطابق زیر است.

$$\text{تعدیل} = \left(\frac{\text{شاخص دوره انجام کار}}{\text{شاخص مبنا پیمان}} - 1 \right) \times 0/95$$

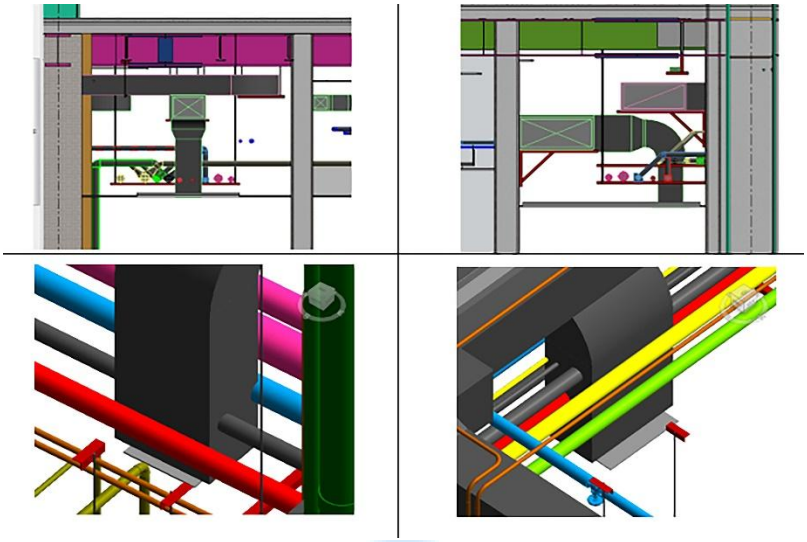
شاخص دوره انجام کار سه‌ماهه دوم ۱۴۰۲ و شاخص مبنا سه ماهه چهارم ۱۳۹۶ در نظر گرفته شد. طبق بخشنامه مذکور در صورتی که پروژه در مدت تاخیرات مجاز به اتمام برسد ضریب ۰/۹۵ به ۰/۹۷۵ و در صورتی که پروژه در مدت اولیه پیمان به اتمام برسد ضریب به ۱ افزایش می یابد. در پروژه مورد مطالعه با توجه به اینکه پروژه در مدت تاخیرات غیر مجاز به اتمام رسیده است عدد ۰/۹۵ ملاک محاسبه قرار گرفته است. در شکل‌های ۷ و ۸ و۹ نمونه‌هایی از این تداخل‌ها نشان داده شده است. همچنین نمونه‌ای از راهکارهای رفع مشکلات این چنینی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



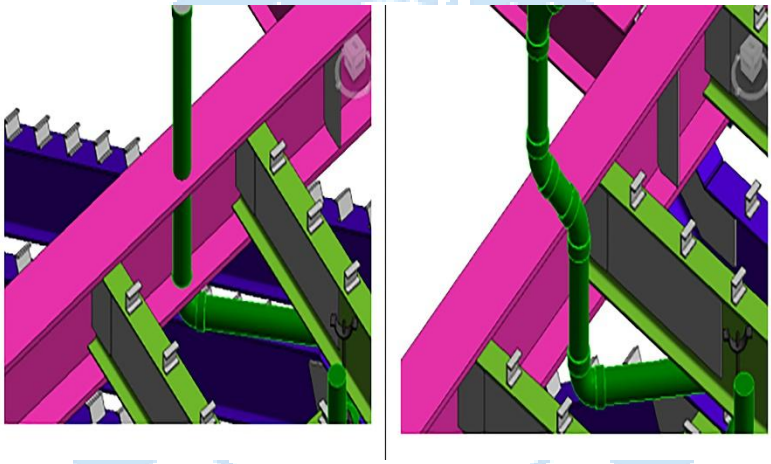
شکل ۷: تداخل بین لوله‌های فاضلاب سینک‌ها و دسشوها با تیر سازه‌ای طبقه زیرین



شکل ۸: تداخل بین لوله‌های فاضلاب سنگ توالت ایرانی سرویس‌ها و تیرهای سازه‌ای



شکل ۹: نمونه‌هایی از تداخلات لوله‌ها با کانال‌های هوای زیر سقف راهروه



شکل ۱۰: استفاده از دو زانو خم ۴۵ درجه برای انحراف مسیر لوله فاضلاب

۵- مقایسه و جمع‌بندی

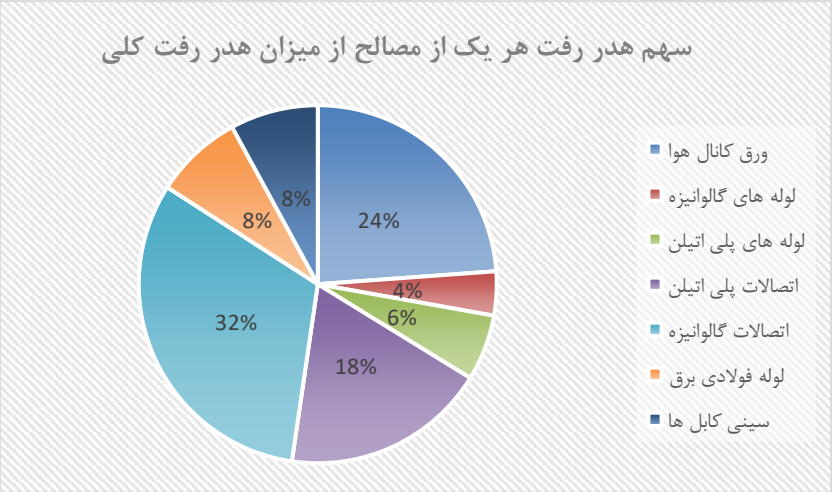
در این قسمت یک جمع‌بندی از مقدار و هزینه مصالح اجرا شده در پروژه بر اساس نقشه‌های مشاور و سپس مقدار مصالح هدر رفته و مجدد اجرا شده و هزینه‌های تحمیل شده ناشی از رفع تداخلات موجود در قالب جداول و نمودارهای کلی ارائه شد و به محاسبه درصد میزان هدر رفت و هزینه‌ها نسبت به میزان کلی پرداخته شد. در جدول ۱ مقدار کل مصالح مصرف شده در پروژه، مقدار هدر رفته آن‌ها و میزان مصالح دوباره اجرا شده در کل پروژه به تفکیک نوع مصالح مشخص شده‌اند:

جدول ۱- میزان کلی مصالح هدر رفته، مجدد اجرا شده و مصرفی در کل پروژه به تفکیک نوع مصالح

نوع مصالح	مقدار هدر رفت (مترمربع، متر، عدد)	مقدار مجدد اجرا شده (دوباره‌کاری)	مقدار مصرفی در کل پروژه (مترمربع، متر، عدد)	درصد ه هدررفت	درصد دوباره‌کاری	درصد هدر رفت + دوباره‌کاری
ورق گالوانیزه به ضخامت ۶ میلیمتر	۷۵	۷۵	۸۳۶	۹	۹	۱۸
لوله پلی‌اتیلن فاضلاب	۱۳	۱۱	۵۷۳	۲/۵	۲	۴/۵
لوله گالوانیزه	۸	۱۸	۹۰۹	۱	۲	۳

لوله فولادی سیاه درزدار	بدون هدر رفت	-	۱۶۹۱	-	-	-
لوله مسی	بدون هدر رفت	-	۸۹۹	-	-	-
لوله فولادی برق	۷۰	۷۸	۲۵۶۸	۳	۳	۶
سینی کابل	۴	۴	۱۴۹	۳	۳	۶
اتصالات پلی‌اتیلن	۱۴	۲۵	۲۷۹	۵	۹	۱۴
اتصالات گالوانیزه	۴	۷۴	۳۳۳	۱/۵	۲۲/۵	۲۴
اتصالات فولادی سیاه درزدار	بدون هدر رفت	-	۸۹۹	-	-	-
اتصالات مسی	بدون هدر رفت	-	۴۲۹	-	-	-

میانگین هدر رفت مصالح در آیتم‌هایی که در آن‌ها هدر رفت مصالح اتفاق افتاده است برابر ۱۱ درصد مصالح مصرفی است. این میزان هدر رفت تنها مربوط به نقشه‌های دوبعدی مشاور است که با توجه به اینکه پروژه یک بیمارستان بوده و از اهمیت خاصی برخوردار است با دقت بالایی ترسیم و طراحی گردیده‌اند اما باز هم همانطور که مشاهده می‌شود مقدار میانگین ۷ درصدی هدر رفت برای مصالح در ۲۶۰۰ مترمربع زیر بنا اتفاق افتاده است. بیشترین مقدار هدر رفت و دوباره‌کاری‌ها مربوط به ورق کانال‌های هوا و اتصالات دنده‌ای لوله‌های گالوانیزه است. شکل ۱۱ نشان‌دهنده مقایسه بین سهم هدر رفت هر یک از مصالح از میزان هدر رفت کلی است.



شکل ۱۱: نمودار درصد هدر رفت هر یک از مصالح از میزان هدر رفت کلی

در جدول ۲ به‌روزرسانی بهای ردیف‌های عملیات‌های اجرایی آورده شده است و هزینه‌های اجرای هر بخش از تأسیسات و همچنین هزینه تحمیل شده ناشی از هدر رفت و اجرای مجدد مصالح به شرح جدول ۳ هستند. در شکل ۱۲ مقایسه هزینه اجرای آیتم‌های تاسیساتی و هزینه اضافی تحمیل شده به پروژه نشان داده شده است و در شکل ۱۳ درصد سهم هزینه تحمیل شده هر یک از آیتم‌های اجرایی نسبت به هزینه تحمیل شده کل نشان داده شده است.

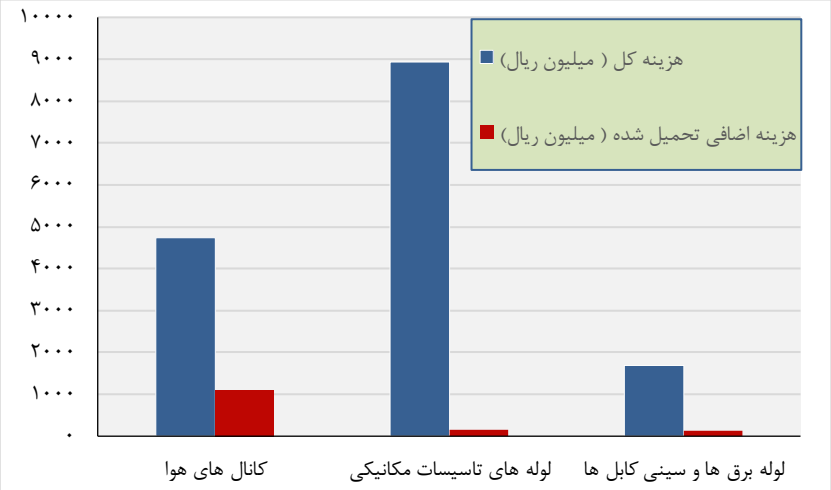
جدول ۲: به‌روزرسانی بهای ردیف‌های عملیات‌های اجرایی

نوع مصالح	ضریب شاخص مبنای پیمان	ضریب شاخص دوره کارکرد	ضریب تعدیل	بها بر اساس فهرست - بهای ۹۷ (ریال)	بها با درنظرگرفتن تعدیل (ریال)

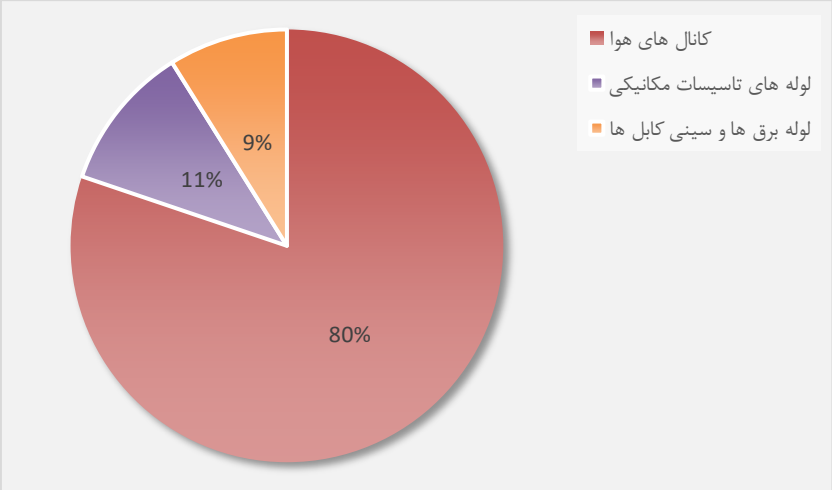
ورق گالوانیزه به ضخامت ۶ میلیمتر	۶۸۸/۴	۶۹۶۷/۳	۸/۶۶۵۰	۴۸۹٬۴۷۸٬۰۰۰	۴٬۷۳۰٬۸۰۴٬۸۷۰
لوله پلی‌اتیلن فاضلاب	۳۸۵/۳	۲۹۸۹/۲	۶/۴۲۰۲	۸۸٬۹۸۳٬۳۰۰	۶۶۰٬۲۷۳٬۸۸۳
لوله گالوانیزه	۸۵۰/۳	۶۵۹۸/۷	۶/۴۲۲۴	۲۲۷٬۱۳۷٬۵۰۰	۱٬۶۸۵٬۹۰۵٬۳۸۰
لوله فولادی سیاه درزدار	۸۵۰/۳	۶۵۹۸/۷	۶/۴۲۲۴	۵۴۲٬۹۰۲٬۵۰۰	۴٬۰۲۹٬۶۳۹٬۵۲۰
لوله مسی	۱۰۷۳/۱	۱۰۵۸۰/۸	۸/۴۱۷۰	۲۷۱٬۲۶۷٬۵۰۰	۲٬۵۵۴٬۵۲۶٬۰۵۰
لوله فولادی برق	۸۲۱/۴	۵۴۴۱/۸	۵/۳۴۳۸	۱۶۶٬۱۴۹٬۶۰۰	۱٬۰۵۴٬۰۱۹٬۸۳۰
سینی کابل	۵۶۰/۳	۴۰۵۹/۴	۵/۹۳۲۸	۹۲٬۸۲۷٬۰۰۰	۶۴۳٬۵۵۱٬۰۲۶

جدول ۳: هزینه‌های اجرای کلی و مقایسه آن با هزینه تحمیل شده به پروژه به سبب رفع تداخل‌ها

آیتم تأسیساتی	کل هزینه اجرا (ریال)	هزینه تحمیل شده ناشی از هدر رفت و اجرای مجدد (ریال)	درصد هزینه تحمیل شده به پروژه
کانال‌های هوا	۴٬۷۳۰٬۸۰۴٬۸۷۰	۱٬۰۹۸٬۶۹۴٬۹۷۰	٪۲۴
لوله‌های تأسیسات مکانیکی	۸٬۹۳۰٬۳۴۴٬۸۳۰	۱۴۲٬۹۰۱٬۲۱۹	٪۲
لوله برق‌ها و سینی کابل‌ها	۱٬۶۹۷٬۵۷۰٬۸۶۰	۱۱۹٬۵۵۰٬۰۷۱	٪۷
مجموع	۱۵٬۳۵۸٬۷۲۰٬۶۰۰	۱٬۳۶۱٬۱۴۶٬۲۶۰	٪۹



شکل ۱۲: نمودار مقایسهٔ هزینه اجرای آیتم‌های تاسیساتی و هزینه اضافی تحمیل شده به پروژه



شکل ۱۳: درصد سهم هزینه تحمیل شده هر یک از آیتم‌های اجرایی نسبت به هزینه تحمیل شده کل

روش اعتبارسنجی به کار رفته در این تحقیق، بر ایجاد و تحلیل مدل‌های اطلاعات ساختمان (BIM) با استفاده از نرم‌افزار رویت ۲۰۱۵ متمرکز می باشد [28-26]. در ابتدا، مدل‌های سه‌بعدی از بخشی از یک بیمارستان، با استفاده از نقشه‌های دوبعدی اتوکد، و با تفکیک سیستم‌های معماری، سازه و تاسیسات (MEP) ساخته شدند. سپس، این مدل‌ها در یک محیط یکپارچه BIM ادغام شدند، که امکان استفاده از ابزارهای تشخیص تداخل رویت برای شناسایی و رفع تداخلات را فراهم کرد. یک تحلیل مقایسه‌ای میان مدل اولیه، غیر بهینه، و مدل بهینه، بدون تداخل، انجام شد که میزان کاهش ضایعات مواد و دوباره‌کاری را کمی‌سازی کرد. این تحلیل به محاسبات هزینه‌ای نیز گسترش یافت، که تاثیر مالی تداخلات را ارزیابی و صرفه‌جویی‌های هزینه‌ای حاصل از اجرای BIM را نشان داد. یافته‌ها، که در جداول و نمودارها ارائه شدند، مزایای ملموس BIM ، از جمله کاهش ضایعات مواد، به حداقل رساندن دوباره‌کاری و بهینه‌سازی کلی پروژه، را با مقایسه مدل بهینه با نتایج مورد انتظار روش‌های نقشه‌کشی دوبعدی سنتی، نشان دادند.

6- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی تداخلات به وجود آمده بین تأسیسات با سازه و تأسیسات با تأسیسات و معرفی کلیت تداخل‌ها و دسته‌بندی آن‌ها بر اساس موارد مشابه پرداخته شد و انواع راه‌حل‌های رفع آن‌ها با استفاده از نظر خبرگان بیان شد. از هر دسته نیز، تداخل‌ها از نظر میزان مصالح هدر رفت شده و هزینه‌های اضافی تحمیل شده به پروژه مورد بررسی قرار گرفت. گزارش‌های نهایی هدر رفت مصالح و حجم دوباره‌کاری‌ها باتوجه‌به مدل‌سازی و مشخص‌شدن تداخلات، تهیه و بیان شد. همچنین در پایان با اعلام میزان مصالح کلی مصرف شده در پروژه و هزینه‌های آن‌ها به مقایسه بین میزان هدر رفت مصالح و هزینه‌های ناشی از هدر رفت و اجرای مجدد با هزینه کل اجرای تأسیسات پرداخته شد.

مهم‌ترین نتایج این پژوهش عبارت‌اند از:

۱- کمترین میزان هزینه تحمیل شده مربوط به آیتم اجرای لوله های برق و سینی کابل ها است. میزان هزینه تحمیل شده نسبت به هزینه تحمیل شده کل برای این آیتم مقدار ۹ درصد است. همچنین بیشترین میزان هزینه تحمیل شده نیز مربوط به آیتم کانال‌های هوا است. میزان هزینه تحمیل شده نسبت به هزینه تحمیل شده کل برای این آیتم مقدار ۸۰ درصد است.

۲- لوله‌های تأسیسات و لوله و سینی کابل‌های تأسیسات الکتریکی باتوجه‌به اولویت‌های اجرا در اولویت نبوده و پس از کانال‌ها اجرا می‌شوند؛ لذا میزان هدر رفت و هزینه‌های اضافی تحمیل شده برای لوله‌های تأسیسات و لوله و سینی کابل‌های تأسیسات الکتریکی از میزان هدر رفت و هزینه کانال‌ها کمتر است. همچنین لوله‌های تأسیساتی به‌خاطر سادگی و سهولتی که در تغییر مسیر و تغییر ارتفاع خط

و مسیرهای لوله دارند کمتر در معرض ایجاد تداخل قرار می‌گیرند. شایان‌ذکر است که در این پروژه نیز سعی شده حتی‌الامکان با تغییر مسیرهای جزئی و تغییر در ارتفاع خطوط لوله از بروز هرگونه تداخل جلوگیری شود. یکی دیگر از عمده دلایل میزان کم هدر رفت و هزینه اضافی لوله‌های تأسیساتی نسبت به سایر آیتم‌ها همین مهم است.

۳- در صورت عدم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، به طور میانگین مقدار ۷ درصد هدر رفت مصالح برای ساخت بیمارستانی دوطبقه با مساحت زیربنای ۲۶۰۰ مترمربع پیشبینی می‌شود.

۴- بیشترین مقدار هدر رفت و دوباره‌کاری‌ها مربوط به ورق کانال‌های هوا و اتصالات دنده‌ای لوله‌های گالوانیزه است. میزان هدر رفت نسبت به هدر رفت کل برای ورق کانال‌های هوا ۲۴ درصد و برای اتصالات دنده‌ای لوله‌های گالوانیزه ۳۲ درصد است. بیشترین مقدار هدر رفت و دوباره‌کاری‌ها مربوط به لوله های گالوانیزه است. میزان هدر رفت نسبت به هدر رفت کل برای لوله های گالوانیزه ۴ درصد است.

مراجع

[1] Standard, I.S.O. (2016). ISO 29481-1:2016(E): Building information modeling - information deliverymanual - Part1: Methodology and format.

[2] Maghrebi, M., Waller, T. and Sammut, C. (2013). Integrated building information modelling (BIM) with supply chain and feed-forward control. *YBL Journal of Built Environment*, 1(2), 25-34. doi.org/10.2478/jbe-2013-0009.

[3] Ben-Alon, L., Loftness, V., Harries, K.A. and Cochran Hameen, E. (2021). Life cycle assessment (LCA) of natural vs conventional building assemblies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110951. doi.org/10.1016/j.rser.2021.110951.

[4] Lee, G. and Kim, J.W. (2014). Parallel vs. sequential cascading MEP coordination strategies: A pharmaceutical building case study. *Automation in Construction*, 43, 170-179. doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.004.

[5] Lee, H.W., Oh, H., Kim, Y. and et al. (2015). Quantitative analysis of warnings in building information modeling (BIM). *Automation in Construction*, 51, 23-31. doi.org/10.1016/j.autcon.2014.12.007.

[6] Falsafi, R. and Salehinejad, F. (2023). Identifying and prioritizing governance factors which affect on the successfulimplementation of building information modeling technology in construction companies. *Journal of Technology Development Management*, 11(2), 93-132. [In Persian]. doi.org/10.22104/jtdm.2024.6227.3161.

[7] Taheripour, S., Azizi, M. and Eshtehardian, E. (2022). Explaining the effects of national culture dimensions on the adoption of building information modeling (BIM) technology in tehran province construction. *Sharif Journal Civil Engineering*, 38(1), 119-129. [In Persian]. doi.org/10.24200/j30.2022.58043.2951.

[8] Nilchian, S., Majrouhi Sardrood, J., Darabpour, M. and Tavousi Tafreshi, S. (2021). The study of the contracts of building information model (BIM) and the approach to its contractual framework codification. *Journal of Civil Engineering*, 53(8), 5. [In Persian]. doi.org/10.22060/ceej.2020.17795.6677.

[9] Ghorab, K. and Taghaddos, H. (2022). An integrated framework using augmented reality (AR) and building information modeling (BIM) for enhancing the stakeholders' interaction in 4d modeling of linear projects. *Sharif Journal Civil Engineering*, 38(1), 79-85. [In Persian]. doi.org/10.24200/j30.2021.57862.2962.

[10] Rohani, N. and Banihashemi, S.Y. (2022). Identifying and prioritizing the barriers to BIM implementation in Iran. *Journal of Civil Engineering*, 54(2), 19. [In Persian]. doi.org/10.22060/ceej.2021.19093.7066.

[11] Valizadeh, S. and Parvari, A. (2021). Providing a crisis management model to design a disaster relief building based on BIM and AHP method. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(3), 234-250. [In Persian]. doi.org/10.22065/jsce.2019.179215.1833.

[12] Maleki Toulabi, A.M., Pourrostam, T. and Aminnejad, B. (2024). Identification and prioritizing the preventable safety hazards in mass housing projects using the integrated multi-criteria decision-making method by applying the building information modelling (BIM) approach. *Journal of Safe City*, 6(24), 1-18. [In Persian]. doi.org/10.22034/ispdrc.2023.2013588.1060.

[13] Taheripou, S. and Arbabi, H. (2023). The role of building information modeling (BIM) in reducing conflicts, lawsuits and disputes in construction industry projects. *Journal of Science and Engineering Elites,* 8(1), 56-71. [In Persian]. No DOI number found. magiran.com/p2573515.

[14] Pourkhodadad, M., Mosalman Yazdi, H.A. and Ravanshadnia, M. (2024). Identifying and evaluating the effectiveness of building information modeling (BIM) in post-earthquake crisis management. In: *The 8th International Conference on Researches in Science and Engineering and the 5th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urbanism in Asia*. Bangkok. [In Persian]. https://civilica.com/doc/1986736/.

[15] Faraji, A. and Homayounarya, S. (2023). Proposing an integrated time-cost management model based on building information modeling (BIM) and blockchain technology (BCT) smart contract development approach in the construction industry. *Journal of Modeling in Engineering*, 21(74), 191-206. [In Persian]. doi.org/10.22075/jme.2023.27994.2313.
[16] Mahmoud, H.M., Fayad, A.A. and Nassar, A.H. (2022). Investigating the impact of changing the usage type of existing structure using BIM. *Civ. Eng. J*, 8(8), 1606-1621. dx.doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-08-06.
[17] Sacks, R., Girolami, M. and Brilakis, I. (2020). Building information modelling, artificial intelligence and construction tech. *Developments in the Built Environment*, 4, 100011. doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011.
[18] Husin, A.E., Priyawan, P., Kussumardianadewi, B.D., Pangestu, R., Prawina, R.S., Kristiyanto, K. and Arif, E.J. (2023). Renewable energy approach with indonesian regulation guide uses blockchain-BIM to green cost performance. *Civil Engineering Journal*, 9(10), 2486-2502. dx.doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-10-09.
[19] Othman, I., Al-Ashmori, Y.Y., Rahmawati, Y., Mugahed Amran, Y.H. and Al-Bared, M.A.M. (2021). The level of building information modelling (BIM) implementation in malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 455-463. doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.007.
[20] Ojeda, J.M.P., Huatangari, L.Q., Calderon, B.A.C., Tineo, J.L.P., Panca, C.Z.A. and Pino, M.E.M. (2024). Estimation of the physical progress of work using UAV and BIM in construction projects. *Civil Engineering Journal*, 10(2). dx.doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-02-02.
[21] Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C.M. and Teizer, J. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science*, 72, 31-45. doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001.
[22] Tomek, A. and Matejka, P. (2014). The Impact of BIM on risk management as an argument for its implementation in a construction company. *Procedia Engineering*, 85, 501-509. doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.577.
[23] Poirier, E.A., Staub-French, S. and Forgues, D. (2015). Measuring the impact of BIM on labor productivity in a small specialty contracting enterprise through action-research. *Automation in Construction*, 58, 74-84. doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.002.
[24] Fani, F., Taherkhani, R. and Sabzehparvar, M. (2015). Applications of building information modeling in constructionproject management.In: *The first national congress of new technologies of Iran with the aim of achieving sustainable development*. Tehran. [In Persian]. https://civilica.com/doc/345469/.
[25] Amani, N. and Alipour, M. (2021). Managing operational strategies to standardize contractors' decisions in construction projects. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8, 174-188. doi: 10.22065/jsce.2020.232383.2148
[26] Amani, N. (2024). Sustainable construction of green school building using energy simulation analysis and modeling. *Hybrid Advances*, 6, 100236. doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100236
[27] Amani, N. and Rezasoroush, A. (2021). Building energy management using building information modeling: Evaluation of building components and construction materials. *Journal of Renewable Energy and Environment (Jree)*, 8 (2), 31–38. doi.org/10.30501/jree.2020.236391.1120
[28] Amani, N. and Rezasoroush, A. (2020). Effective energy consumption parameters in residential buildings using Building Information Modeling. *Global Journal of Environmental Science and Management (Gjesm)*, 6 (4), 467–480. doi: 10.22034/gjesm.2020.04.04