مهندسی عمران شریف، تابستان (۱۳۹۹)
دوره‌ی ۲-۳۶، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۱۴۱-۱۵۰، (یادداشت فنی)

Research Note

مقایسه‌ی برآورد هزینه‌ی پروژه با روش متداول و مدل پویا و هوشمند بر بستر BIM بر مبنای فهرست‌بهای ابنیه

اقبال شاکری* **(استادیار)**
سجاد طاهری جبلی (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی عمران، مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

از آنجا که صنعت ساخت از جمله صنایعی است که منابع زیادی در آن صرف می‌شود، کاهش زمان و هزینه در آن بسیار موردتوجه است. در سال‌های اخیر، روش‌های متعددی در زمینه‌ی کنترل زمان و هزینه‌ی پروژه‌ها ارائه شده است که منجر به ظهور فنّاوری‌های نوینی در زمینه‌ی اخیر شده است که مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) از جمله‌ی آن‌ها در صنعت ساخت است. از ویژگی‌های مهم فنّاوری BIM، رفع تعارض‌های اطلاعات مرتبط با سازه، معماری و تأسیسات است که مبانی خوبی را برای برآوردهای دقیق پروژه فراهم می‌سازد که در برآورد سنتی ممکن نبود. در نوشتار حاضر، با استفاده از ظرفیت‌های فنّاوری BIM، از طریق برنامه‌نویسی و اتصال فهرست‌بها به آن، مدل پویا و هوشمندی برای برآورد هزینه‌ی پروژه ارائه و از طریق مدل‌سازی یک ساختمان جهت اعتبارسنجی و سنجش نتایج به‌دست آمده، برتری مدل ارائه شده نسبت به روش‌های سنتی برآورد هزینه‌ی پروژه‌ها تأیید شده است.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، متره‌ی ساختمان، برآورد هزینه‌ی پروژه، فهرست بهای ابنیه.

eshakeri@aut.ac.ir
sajadtaheri@aut.ac.ir

۱. مقدمه

ساخت و ساز، فرایندی است که نیازمند وجود اطلاعات کافی مربوط به اجزاء ساختمان و صرف هزینه و زمان نسبتاً بالا جهت دست‌یابی به اطلاعات مذکور است. هر قدر اطلاعات به‌دست آمده از اجزا و شرایط ساخت دقیق‌تر باشد، تصمیم‌های اتخاذ شده برای انتخاب روش ساخت بهینه‌تر خواهند بود و هزینه‌ی لازم برای اجرای عملیات اخیر کاهش خواهد یافت.[۱]

در مباحث مدیریت ساخت، شاید موضوع هزینه‌ی پروژه مهم‌ترین مبحثی است که در مدیریت و ارزیابی پروژه باید به آن توجه کرد و مباحث دیگر را حول آن در نظر گرفت و مدیریت کرد.[۲] از طرفی دیگر، تغییرات طرح در طول اجرا، عدم برآورد دقیق و اجرایی نبودن برخی بخش‌ها در هنگام برآورد اولیه، باعث افزایش هزینه و زمان می‌شود.[۳] لذا متره و برآورد از جمله فرایندهایی است که در تمامی مراحل پروژه‌های عمرانی، از جمله: تعریف پروژه، برگزاری مناقصه، پیشنهاد قیمت در مناقصه، زمان‌بندی پروژه و برآورد منابع موردنیاز است و به دلیل حساسیت‌های مالی، اهمیت زیادی دارد.[۴]

همچنین، مناقصه در صنعت ساخت، روند بسیار مهمی است که منجر به تعیین قیمت پروژه می‌شود. با این حال تجربه نشان می‌دهد در حین فرایند ساخت معمولاً قیمت پروژه بالاتر می‌رود که دلیل آن نه فقط به دلیل اشتباهات محاسباتی، بلکه ممکن است ناشی از تغییرات کارفرما در حین پروژه نیز باشد.[۲]

فرایند متره در حالت متداول، از طریق انتخاب عناصر[۱] ترسیم شده در کَد (CAD)[۲] و یا به‌کارگیری نرم‌افزارهایی با قابلیت تخمین خودکار ابعاد عناصر و درنهایت، وارد کردن داده‌های هزینه به فهرست متره‌ی پروژه انجام می‌گیرد.[۵] فرایند متره به تنهایی نیازمند صرف وقت و توان قابل توجه مسئول متره و برآورد است. از آنجایی که فرایند گزینش و تخمین مقادیر با روش مذکور به‌صورت دستی و غیرخودکار انجام می‌گیرد، استعداد بروز خطا و از قلم افتادن برخی موارد اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. حال آنکه صنعت ساخت از معدود صنایعی است که در آن پیمانکار، نیازمند ارائه‌ی قیمت نهایی کار پیش از شروع اجرای آن است، بنابراین نیاز دارد تا محاسبات و برآورد هزینه‌ی پروژه، با دقت بسیار بالا انجام پذیرد.[۶] در روش‌های مرسوم نقشه‌ها و مشخصات از یک سو و از سوی دیگر نقشه‌های اجرایی گروه‌های مختلف طراحی به‌صورت جداگانه ولی هماهنگ با یکدیگر تهیه می‌شوند. برخی از بدترین مشکلات

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۷/۶/۱۸، اصلاحیه ۱۳۹۷/۱۰/۴، پذیرش ۱۳۹۷/۱۰/۱۰.
DOI:10.24200/J30.2019.51237.2382

روش ذکرشده، عدم هماهنگی‌ها، اشتباهات و دوباره‌کاری‌هاست که نهایتاً علاوه بر بالا بردن هزینه‌ی ساخت، منجر به پایین‌آمدن کیفیت کار می‌شود.[۷]

بنابراین با توجه به اینکه استخراج مقادیر (متره) در طول مراحل مختلف پروژه و فرایند ساخت مکرر انجام می‌گیرد، نشان از اهمیت و حساسیت موضوع اخیر دارد.[۸] با این حال امروزه استخراج [۳] مقادیر (متره) از نقشه‌های دوبُعدی می‌تواند ۵۰ تا ۸۰٪ زمان متخصصان تخمین هزینه‌های پروژه را درگیر خود کند. با استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)[۴] زمان موردنیاز برای تخمین هزینه‌ها بسیار کاهش یافته است و برنامه‌ریز می‌تواند زمانش را بازتوزیع و در نتیجه زمان و انرژی خود را صرف طراحی گزینه‌های دیگر کند.[۹] درکشور ما نیز تا به امروز برای تخمین هزینه‌ی پروژه از روش‌های مرسوم و یا سنتی استفاده شده و خلأ استفاده از تکنولوژی BIM در آن به خوبی محسوس بوده است.[۱۰]

BIM ارتباطات بین فازهای پروژه را تسهیل وکلیه‌ی اطلاعات حیاتی پروژه را در خود ذخیره می‌کند و با استفاده از آن می‌توان تصویر دقیقی از پروژه فراهم آورد، تا در تصمیم‌سازی‌ها استفاده شود. به عبارتی می‌توان گفت BIM به‌طور موفقیت‌آمیزی به بسیاری از مشکلات رویکردهای سنتی در صنعت ساخت، نظیر: ارتباطات ضعیف، دوباره‌کاری‌های مکرر و تجسم نادرست اطلاعات توجه کرده است.[۱۱] یکی از ویژگی‌های فنّاوری BIM این است که هر عنصر تعریف شده در آن، کلیه‌ی اطلاعات مربوط به ابعاد، هزینه، زمان و دیگر اطلاعات لازم را دارد. بنابراین با ورود اطلاعات عناصر در مدل و ورود اطلاعات مالی، می‌توان برآورد دقیقی از قیمت پروژه داشت. به نحوی که با اعمال کوچک‌ترین تغییری در طراحی، آثار آن در کل پروژه به راحتی در همان لحظه قابل رؤیت است. بنابراین، BIM باعث بهبود روند تصمیم‌گیری در موارد مختلف طراحی و اجرا خواهد شد؛[۱۲] و احتمال جلو افتادن طرح از هزینه‌ی پیش‌بینی شده افزایش می‌یابد.[۱]

مدیر پروژه می‌تواند برنامه‌ی زمان‌بندی و اطلاعات تخمین هزینه‌ی پروژه را با مدل BIM مرتبط کند. با اضافه کردن داده‌های برنامه‌ی زمان‌بندی و برنامه‌ی تخمین مالی به مدل اطلاعات ساختمان سه‌بُعدی، بُعدهای چهارم و پنجم که زمان و هزینه هستند، به مدل اصلی اضافه می‌شوند. بُعد چهارم مدل، یک ابزار توانمند برای مرحله‌بندی، هماهنگی و تبادل عملیات برنامه‌ریزی شده با پیمانکاران جزء، طراحان، کارفرما، و سایر دست‌اندرکاران پروژه است. همچنین به کمک بُعد پنجم می‌توان برآورد دقیقی از قیمت پروژه داشت. در نتیجه، ارائه‌ی برنامه‌ی زمان‌بندی و تخمین هزینه، در حین توسعه‌ی طراحی و در هر لحظه‌ی زمانی موردنظر، امکان‌پذیر خواهد بود.[۲]

همچنین با شتاب گرفتن انتقال تکنولوژی به صنعت ساخت و معرفی نرم‌افزارهایی از قبیل اتودسک رِویت[۵] فرایند استفاده از متره و برآورد با رویکرد مدل اطلاعات ساختمان می‌تواند تا حدود ۵۰ تا ۸۰٪ زمان برآورد هزینه را در پروژه کاهش دهد.[۵] بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد مطالعات کمی در زمینه‌ی خودکارکردن بررسی قوانین انجام شده است. بعضی از آن‌ها بر روی تفسیر قوانین و آیین‌نامه‌ها به‌صورت فرم‌های محاسباتی و بعضی دیگر بر روی اجرای قوانین محاسباتی با استفاده از روش‌های استاندارد و ابزار قانونی تمرکز کرده‌اند. کار برای بررسی قانون در حوزه‌های بسیار خاص نیز انجام شده است. به طور مثال، ژانگ و همکارانش (۲۰۱۳) قوانین OSHAرا برای بررسی امنیت ساختمان در طول ساخت به کار برده‌اند،[۱۳] و یا مارتین (۲۰۱۳) که یک برنامه‌ی کاربردی برای بررسی خودکار سیستم‌های توزیع آب ایجاد کرده است.[۱۴]

بسیاری ازکشورهای دنیا با طراحی نرم‌افزارهایی مانند Autodesk Quantity Take-off و اتصال فهرست‌بهاهای کشورهای خود با امثال برنامه‌های مذکور، روش سنتی متره راکنارگذاشته و به سمت خودکارکردن آن در پروژه‌های ساختمانی حرکت کرده‌اند.[۴] به عنوان نمونه، بینگ تانگ (۲۰۰۵)، روش جدیدی ارائه کرده است که براساس آن، از نقشه‌ی دوبُعدی و کمک کاربر، مدل سه‌بُعدی پروژه ایجاد می‌شود و اطلاعات اجزاء آن به یک فایل داده‌ی Access انتقال می‌یابد و از طریق تعامل با اطلاعات هزینه‌یی، برآورد پروژه در فایل Access به‌دست می‌آید.[۱۵]

پلیبانکویچ و همکارانش (۲۰۱۵) نیز این امکان را با استفاده از مدل BIM ارائه کرده‌اند. کار آن‌ها برای برآورد هزینه براساس BIM، خروج مقادیر با استفاده از یک ابزار اندازه‌گیری تخصصی BIM و یک سیستم برآورد هزینه بوده است. فرصت‌ها و راه‌حل‌های آن‌ها بر بستر یک نرم‌افزار لهستانی ارائه شده است. آن‌ها به ارائه‌ی یک سیستم برآورد هزینه‌ی جدید در مدل BIM از طریق تجزیه‌وتحلیل و گرفتن ویژگی‌های موردنیازشان از برنامه‌های BIM پرداخته‌اند.[۱۶] همچنین چوی و همکارانش (۲۰۱۵) یک روند برآوردی برای سازه‌ی ساختمان در راستای BIM ارائه کرده‌اند که منجر به افزایش اطمینان پایین برآورد در مرحله‌ی اولیه طراحی می‌شود. فرایند مذکور شامل چهار مرحله‌ی: مدل‌سازی شماتیک برای برآورد، بازبینی برای افزایش دقت، بازبینی کیفیت داده‌ها برای برآورد و درنهایت روش برآورد برای استخراج مقادیر از طریق کدگذاری‌های مشخص برای هر عنصر بوده است.[۱۷]

بنابراین مترورها به جای صرف زمان بسیار جهت انجام محاسبات بر روی عناصر، به نحوه‌ی اجرا و همچنین تداخلات آن‌ها با دیگر اجزا متمرکز هستند و در نتیجه خطاهای انسانی به میزان کمینه خواهد رسید. به عبارتی با وجود فنّاوری اشاره شده، استفاده از نیروی انسانی برای متره و برآورد چیزی جز اتلاف وقت و هدر رفتن نیروی مهندسی نیست.

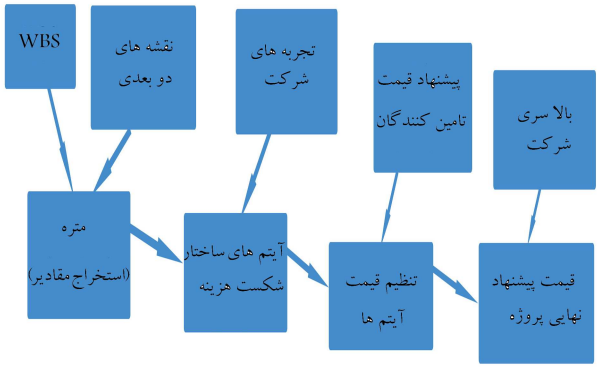
هدف از نوشتار حاضر، استفاده از ظرفیت فنّاوری BIM از طریق برنامه‌نویسی و اتصال فهرست بها به آن و ایجاد مدلی پویا و هوشمند برای برآورد هزینه‌ی پروژه است. مقایسه‌ی برآورد هزینه‌ی پروژه با استفاده از فهرست‌بهای واحد پایه‌ی رشته‌ی ابنیه به‌صورت خودکار (برآورد خودکار) و برآورد دستی (سنتی) نیز به‌عنوان اعتبارسنجی کار ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که برآورد خودکار، علاوه بر دقت و سرعت بیشتر مزایایی همچون تصویرسازی، توانایی مقایسه‌ی گزینه‌های مختلف را نیز برای پروژه فراهم می‌آورد.

۲. برآورد هزینه‌ی پروژه با استفاده از BIM

برآورد یک پروژه، فرایند نگاه به آینده و تلاش برای تخمین هزینه‌ها و منابع موردنیاز آن است. طبق مطالعات هالپین[۶]، به طورکلی مسئول برآورد، این مراحل را در فرایند برآورد هزینه‌ی پروژه طی می‌کند:[۱۸]

۱. تفکیک پروژه به مراکز هزینه‌ها؛
۲. تخمین مقادیر موردنیاز برای هر مرکز هزینه (متره)؛
۳. تعیین هزینه‌ی هر یک از آیتم‌های به‌دست آمده در مرحله‌ی ۲ براساس داده‌های به دست آمده از تجربیات پیشین، استعلام از تأمین‌کنندگان و یا کاتالوگ‌های موجود؛
۴. محاسبه‌ی هزینه‌ی کل برای هر مرکز از طریق ضرب هزینه‌ی آیتم‌ها در مقادیر آن‌ها و محاسبه‌ی مجموع این اعداد؛
۵. افزودن سود، بالاسری و ریسک‌ها به مجموع به دست آمده از مراحل اخیر.

شکل ۱، نشان‌دهنده‌ی مراحل ۵ گانه‌ی برآورد هزینه‌ی پروژه در سیستم سنتی (نقشه‌های ۲بُعدی) است.[۱۸]



شکل ۱. مراحل ۵ گانه‌ی برآورد هزینه‌ی پروژه در سیستم سنتی (نقشه‌های ۲بُعدی).

به طور سنتی، متره فرایندی دستی است که شامل تخمین عناصر مختلف به‌کار رفته در مدل، پلان‌های طبقات، نما، مقاطع و اسناد مشابه آن است. از آنجایی که این فرایند، متأثر از تفسیر انسان است، به خودی خود فرایندی مستعد ظهور خطاست. به علاوه، نقشه‌های دوبُعدی ترسیم شده به وسیله‌ی ابزارهای کَد نیز خطازا هستند. بنابراین، در صورت استخراج مقادیر (متره) از نقشه‌های دوبُعدی، مشکلات و خطاهای بسیاری در پروژه پدید خواهد آمد.[۱۹]

از معایب برآورد سنتی می‌توان مواردی مانند: زمان بسیار طولانی حتی برای پروژه‌های کوچک، خطاهای انسانی در استخراج مقادیر از نقشه‌ها، از قلم افتادن اجزا در متره‌ی دستی، خطاهای محاسباتی، خطا در ورود مقادیر به نرم‌افزارهای صورت وضعیت و از قلم افتادن آیتم‌های اختصاصی و خطا در تخصیص آیتم‌ها را نام برد.

فنّاوری BIM شروع به تغییر روش‌هایی کرده است که ساختمان‌ها طراحی، ساخت و بهره‌برداری می‌شوند.[۲۰] تا به امروز انجمن‌ها، سازمان‌ها و افراد متعددی از دید خود به تعریف BIM پرداخته‌اند، اما تعریف پذیرفته‌شده‌ی واحدی از آن وجود ندارد؛[۲۱] ایستمن[۷] در کتاب خود به نام «راهنمای BIM» فنّاوری مذکور را این‌گونه تعریف می‌کند: BIM به عنوان یک تکنولوژی مدل‌سازی و مجموعه‌یی مرتبط از فرایندهای تولید، ارتباط و تجزیه و تحلیل مدل‌های ساختمان است.[۲۱]

BIM به صورت هوشمند عوامل دوبُعدی و سه‌بُعدی را که در طراحی یک ساختمان نقش دارند، به همراه عوامل خارجی، مانند: موقعیت جغرافیایی و شرایط محلی، به‌صورت یک پایگاه اطلاعات ایجاد می‌کند و منبع واحد و یک‌پارچه‌یی را برای کلیه‌ی اطلاعات مربوط به آن ساختمان فراهم می‌کند. «هوشمندی» اطلاق شده به عناصر، شامل اطلاعات گرافیکی غیرگرافیکی می‌شود که به معمار، مهندسان: برق، سازه، تاسیسات و پیمانکاران توانایی نمایش روابط کارکردی و هندسی بین عناصر را می‌دهد. با بهره‌گیری از مدل BIM می‌توان همواره به پارامترهای تعریف شده در طی فرایند طراحی دسترسی داشت و از آن‌ها جهت محاسبات موردنیاز استفاده کرد.[۲۲-۲۹] طبق مطالعات مختلف صورت گرفته در پروژه‌های مختلف، استفاده از BIM باعث ۴۴ تا ۸۰٪ تسریع در برآورد هزینه تا ۶۲٪ صرفه‌جویی در هزینه‌ها، و ۲٫۶ تا ۴۷٫۴٪ کاهش ساعت‌های کاری می‌شود.[۳۰-۳۳] بهترین روش‌ها برای بهبود دقت برآورد، عبارت‌اند از:

۱. اطمینان از کافی‌بودن اطلاعات طرح برای برآورد،

۲. بررسی همه‌ی مفروضات با مشتریان و مشاوران،

۳. اطمینان از مدیریت اسناد و اطلاعات طراحی.

چراکه با اطلاعات و مدارک درست، اطمینان حاصل می‌شود که همه‌ی داده‌های به‌روز شده، به درستی به گروه‌های دیگر تحویل داده خواهند شد. همچنین برای اطمینان از مدیریت صحیح اطلاعات لازم است ارتباطات در بهترین سطح باشند.[۳۴] لذا مطالب و نتایج به‌دست آمده از تجارب اخیر نشان می‌دهند که متره‌ی پروژه به وسیله‌ی ابزارهای BIM، جزئیات بیشتر و دقتی بالاتر از سیستم‌های سنتی دارد و به کاهش هزینه و زمان می‌انجامد. این در حالی است که استفاده‌ی صحیح از ابزارهای مذکور، فقط توسط افراد متخصص و آگاه به ترفندهای آن امکان‌پذیر است.[۳۵]

در بسیاری از مطالعات، استفاده از BIM به‌عنوان ابزاری برای افزایش صرفه‌جویی در هزینه‌ها، کاهش زمان و بهبود همکاری بیان شده است.[۳۶] شاید بتوان این‌گونه عنوان کرد که بزرگ‌ترین حُسن به کارگیری ابزارهای BIM در فرایند ساخت مربوط به فاز تخمین مقادیر (متره) است. در شرایط ذکر شده، مسئول برآورد پروژه می‌تواند مقادیر موردنیاز را به‌طور خودکار از مدل BIM استخراج و آن‌ها را در نرم‌افزارهای مختص برآورد به‌کار گیرد.[۱۸و۳۷]

ایجاد هماهنگی میان ابزارهای BIM و فرایند برآورد پروژه و امکان استخراج مقادیر به‌صورت خودکار، نیازمند آن است که محتوای مدل BIM با سیستم‌ها و فرآیندهای موجود متره و برآورد در سازمان تطبیق داده شود. لذا رعایت دو نکته، از جمله موارد قابل توجه در روند هماهنگ‌سازی دو سیستم ذکر شده است:[۱۸] ۱. مدل BIM، با سطح جزئیات (LOD)[۸] موردنیاز برای اجرای فرایند متره و برآورد مدل‌سازی شود. ۲. ابزارهای BIM باید امکان گروه‌بندی اعضاء مدل براساس WBS تدوین شده را توسط برنامه‌ریز پروژه فراهم آورد.

از قابلیت‌های BIM در کمک به برآورد هزینه‌ی پروژه می‌توان به سرعت برآورد هزینه، برآورد هزینه‌ی راحت‌تر برای طرح‌های مختلف جایگزین، انعکاس مداوم تغییرات طراحی در تمام نقشه‌ها، سهولت در برآورد مقدار هزینه‌ی تغییرات طراحی، کاهش تجدیدنظرهای برآورد در اثر کشف تداخلات و کاهش خطاهای طراحی و تسریع کنترل هزینه‌ها اشاره کرد.[۳۸] از مهم‌ترین راهکارها و مزایای به‌کارگیری BIM در برآورد هزینه‌ها و برطرف کردن ضعف‌ها و چالش‌های آن می‌توان به این موارد اشاره کرد:

۱. طراحی بر روی مدل واحد و در یک فضا،

۲. افزایش سطح جزئیات ترسیمی،

۳. کاهش تغییرات در پروژه،

۴. متره‌ی خودکار،

۵. کاهش ادعاها،

۶. برآورد مستمر و لحظه‌یی.

بررسی قانون (آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌ها) به‌طور خودکار ارزش قابل توجهی از هر دو منظر صنعت و نظارت به صنعت AEC[۹] می‌بخشد. سیستماتیک کردن قوانین به منظور بررسی مناسب و درست دستگاه نظارت امری ضروری است. اتوماسیون بررسی کردن که در آن قوانین به خوبی تعریف شده باشد، می‌تواند به طورخودکار با کمینه‌ی دخالت کاربر اعمال شود، که این نیاز به طور فزاینده‌یی رو به رشد است.[۳۹] نمونه‌یی از تلاش‌های اشاره شده در جدول ۱ قابل مشاهده است.[۱۳-۱۷]

۳. مدل تخمین برآورد هزینه‌ی پروژه بر مبنای BIM

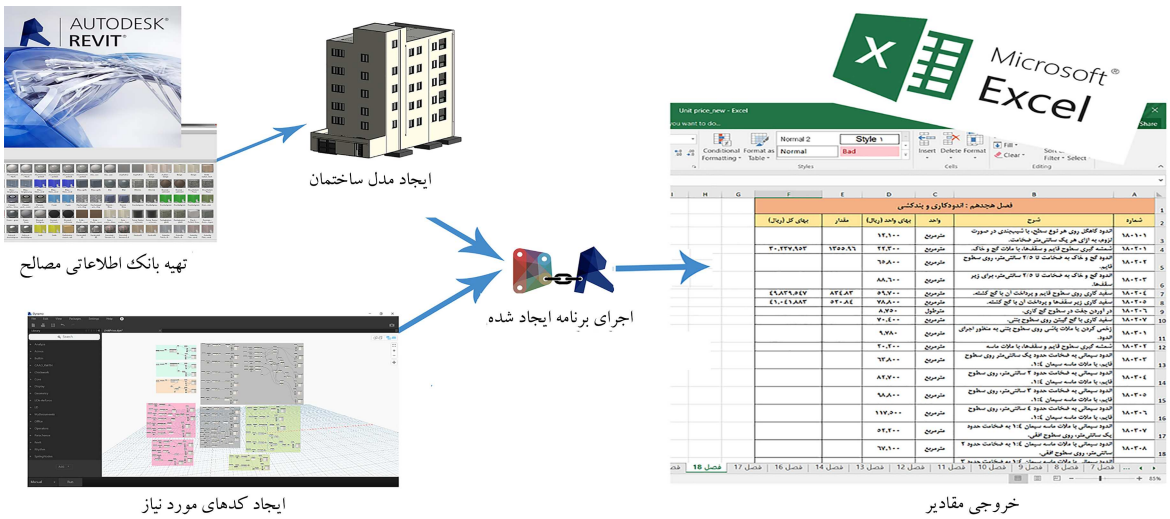
با توجه به چالش‌های مطرح شده در مورد برآورد و مزایای به‌کارگیری BIM در جهت رفع آن‌ها که در قسمت پیش بیان شد و با توجه به اهداف در نظرگرفته شده برای مدل موردنظر که در جدول ۲ ارائه شده است، مدلی جهت برآورد پروژه‌ها براساس

جدول ۱. اقدامات انجام شده در زمینه‌ی خودکارسازی دستورالعمل‌ها در BIM.

محور	پژوهشگر	رویکرد پژوهش	خروجی	محدودیت
بررسی خودکار قوانین	Xang و همکارانش	بررسی خودکار OSHA بر روی مدل	چک کردن امنیت ساختمان در طول ساخت‌وساز	
	Martin	برنامه‌ی کاربردی برای چک کردن خودکار سیستم‌های توزیع آب		
برآورد خودکار	Bing Tong (۲۰۰۵)	با نقشه‌یی دو بعدی و کمک کاربر، یک مدل سه بعدی از پروژه ایجاد کرده و اطلاعات اجزای آن را به یک فایل داده Access انتقال داده	به‌دست آوردن برآورد پروژه در فایل Access از طریق تعامل با اطلاعات هزینه‌یی	دخالت کاربر
	Choi و همکارانش (۲۰۱۵)	مدل سازی شماتیک برای برآورد، بازبینی برای افزایش دقت، بازبینی کیفیت داده‌ها برای برآورد و در نهایت متد برآورد برای استخراج مقادیر از طریق کدگذاری‌های مشخص برای هر عنصر	برآوردی برای سازه‌ی ساختمان در راستای بیم	فقط برآورد سازه
	Plebankiewicz و همکارانش (۲۰۱۵)	استفاده از یک ابزار اندازه‌گیری تخصصی BIM و یک سیستم برآورد هزینه بر بستر یک نرم افزار لهستانی	به دست آوردن لیست مقادیر با استفاده از مدل بیم	مختص کشور لهستان

جدول ۲. مفاهیم مدل مفهومی و اقدامات انجام شده.

ردیف	مفاهیم مدل	رویکرد	اقدامات
۱	کاهش خطاهای برداشت احجام در برآورد	برآورد خودکار (با کمک رایانه)	بهره گیری از نرم‌افزار جهت مدل‌سازی
۲	افزایش سرعت برآورد		
۳	افزایش دقت برآورد	کاهش خطاهای انسانی و افزایش سطح جزئیات مدل شده	بهره‌گیری از مدل های دیجیتالی
۴	کاهش انحراف از برآورد اولیه	کشف تداخلات و حذف آنها	بهره‌گیری از مدل دیجیتالی طراحی در یک فضا
۵	امکان استفاده‌ی کلیه گروه‌های درگیر در پروژه از داده‌های وارد شده به مدل توسط یکی از گروه‌ها	طراحی بر روی مدل واحد	
۶	برآورد برخط با توجه به تغییرات (احجام و قیمت)	اتصال مدل ساختمان و فهرست بها	ایجاد بانک اطلاعاتی مصالح بر بستر داده‌ی هزینه‌یی
۷	فراهم آوردن تخمین‌های چندگانه برای کارفرما جهت مقایسه با هزینه‌ی نهایی و مطلوب	بهره‌گیری از مصالح مختلف	ایجاد بانک اطلاعاتی مصالح
۸	تصویرسازی هزینه‌های نهایی برای گزینه‌های مختلف طراحی و امکان مقایسه‌ی آنها	بهره‌گیری از مصالح مختلف و خروجی مناسب	
۹	فراهم آوردن برنامه‌ی هزینه‌ها برای کارفرما	فراهم آوردن نتایج در قالب های متداول	استخراج برآورد در قالب برنامه اکسل
۱۰	نشان دادن تأثیر ناشی از تغییرات بر روی پروژه در بودجه آن	سرعت بالا و اتصال به بانک اطلاعاتی مصالح	بهره‌گیری از مدل دیجیتالی و اتصال آن به بانک اطلاعاتی مصالح
۱۱	تسهیل نمایش تغییرات پدید آمده در هزینه‌ی پروژه درصورت اعمال تغییرات پیش‌بینی نشده		
۱۲	سازمان‌دهی پایگاه اطلاعاتی با داده‌های هزینه‌یی	اتصال مدل و بانک اطلاعاتی	کدنویسی‌های لازم



شکل ۲. روند اجرای نوشتار حاضر.

فهرست‌بها در بستر BIM ارائه شده است، تا چالش‌های حال حاضر برآورد به روش موجود کاهش یابد و بتوان به مدیریت پروژه‌ی بهتری به‌خصوص در زمینه‌ی مدیریت مالی دست یافت. مدل مفهومی مذکور برای مرحله‌ی قبل از ساخت و برای برآورد اجزاء ساختمان مناسب است. بنابراین روش ساخت، تأثیری در برآورد به دست آمده از طریق روش مذکور نخواهد داشت.[۴۰]

مدل موجود بر بستر نرم‌افزار اتودسک رِویت تهیه شده است. جهت برنامه‌نویسی و پیاده‌سازی مدل مفهومی در نرم‌افزار، یکی از روش‌های ممکن استفاده از پلاگین اتودسک دایناموº است. حُسن به‌کارگیری پلاگین مذکور آن است که علاوه بر بصری[۱۱] و کاربرپسند بودن و ارتباط قوی با نرم‌افزار اتودسک رِویت، در صورت نیاز می‌توان با ایجاد کدهای پایتون[۱۲]، نیازهایی که در برنامه پیش‌بینی نشده است، را برطرف کرد.

برای پیاده‌سازی مدل مفهومی در BIM و به کارگیری برنامه طبق شکل ۲، این اقدام‌ها صورت گرفته است:

۱. ایجاد بانک اطلاعاتی جامع از مواد و مصالح[۱۳] موجود در فهرست بها براساس آیتم‌های آن در رِویت، به‌عنوان مثال برای آیتم ۱۱۰۴۰۲ فهرست بها با عنوان «آجرکاری با بلوک سفالی (آجر تیغه‌یی) به ضخامت ۱۲ تا ۲۲ سانتی‌متر و ملات ماسه سیمان»، مصالحی با عنوان block sofali ۱۲ – ۲۲ cm ba malat mase siman ۱ be ۶ در بانک اطلاعاتی ایجاد شده است. حُسن این کار علاوه بر برآورد سریع و دقیق بر مبنای فهرست بها، آن است که طراح براساس نظر کارفرما می‌تواند از طریق تغییر مصالح موجود در عناصر مدل، سناریوهای مختلفی را برای پروژه تعریف کند در حالی که برآورد پروژه براساس هرکدام از سناریوها را سریعاً در اختیار خواهد داشت. نام هر یک از مصالح براساس آیتم‌های فهرست بها انتخاب شده است، به طوری که در عین اختصار، نزدیک به نام آیتم‌های مرتبط در فهرست بها هستند و برای طراحان و دیگر ذی‌نفعان پروژه، تداعی‌کننده‌ی آن آیتم در فهرست بها هستند، که در نتیجه، استفاده از برنامه‌ی مذکور آسان‌تر خواهد شد. بیشتر آیتم‌های فهرست بها (۶۳۲ مورد) در قالب مصالح و مواد مختلف در کتابخانه ایجاد شده است. فقط آیتم‌هایی، مثل: عملیات‌های تخریب، گودبرداری و حمل و نقل که در بیشتر موارد در مدل ساختمان ایجاد نشده‌اند، و یا امکان مدل کردن آن‌ها در نرم‌افزار وجود ندارد، در کتابخانه‌ی مذکور مدل نشده‌اند.

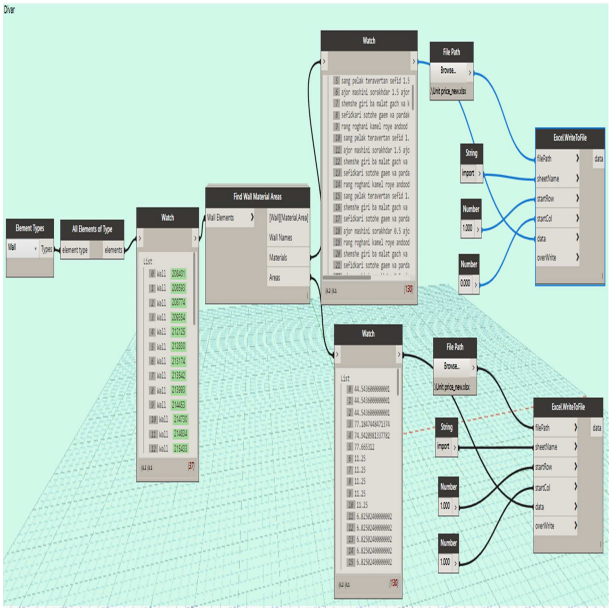
۲. با استفاده از مواد و مصالح موجود در بانک اطلاعاتی تهیه شده، مدل ساختمان، در برنامه‌ی رِویت ایجاد شد.

۳. کدنویسی‌های مرتبط در اتودسک داینامو برای خروج مقادیر عناصر موجود در مدل و اتصال هر یک از موارد اخیر با هزینه‌ی آیتم و یا آیتم‌های اختصاصی آن در فهرست بها، برای به‌دست آوردن برآورد مدل صورت گرفت.

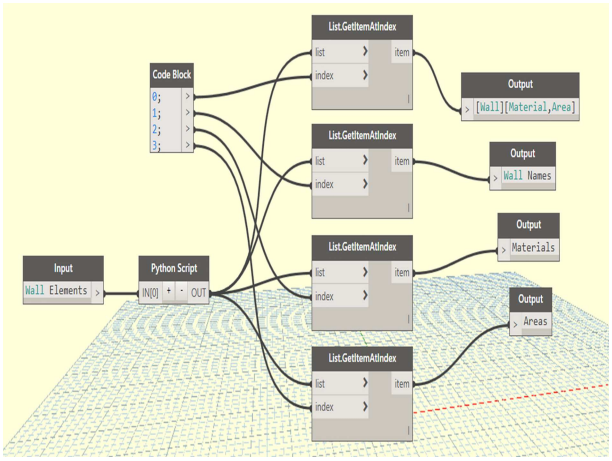
اتودسک داینامو، یک محیط برنامه‌نویسی کاملاً بصری و مستقل است که به طراحان اجازه می‌دهد تا به مرور و بررسی طرح‌های مفهومی پارامتریک[۱۴] خود و همچنین خودکارسازی کارها بپردازند. در واقع داینامو کمک به برطرف کردن سریع‌تر چالش‌ها، با طراحی جریان کاری که از هندسه و رفتار مدل‌های طراحی مشتق شده است، می‌کند. همچنین فراهم کردن امکان توسعه‌ی طرح‌ها به‌صورت جریان کاری سازگار برای مستندسازی، ساخت و تولید، هماهنگی، شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل، از اهداف اصلی ساخت و توسعه این نرم‌افزار پیشرفته محسوب می‌شوند.[۴۱]

به‌عنوان نمونه برای آشنایی با کار برنامه به تشریح نحوه‌ی برآورد دیوارها پرداخته شده است. در ابتدا، تمام دیوارها از طریق گره‌ی Element Types شناسایی می‌شوند. اما داینامو فقط کدهای مربوط به دیوارها را به‌عنوان خروجی می‌دهد. در اینجا به ۲ مورد، احتیاج است: مساحت دیوار و نام لایه‌های تشکیل‌دهنده‌ی دیوارها. بنابراین با اضافه کردن گره جدیدی به نام Find Wall Material Areas، دو مورد اخیر با استفاده ازکدهای جدید برای هر دیوار به‌دست خواهد آمد. پس از آن، مساحت به‌دست آمده و نام اختصاصی هر لایه که در بانک اطلاعاتی به‌صورت منحصر به فرد برای هر یک از مصالح ساخته شده است، از طریق گره‌ی Excel.WriteToFile به فایل اکسل انتقال می‌یابد و پس از انجام عملیات‌های ریاضی موردنیاز با توجه به اسم خاص مصالح استخراج شده در سلول مخصوص به برآورد آن آیتم در فهرست بها قرار خواهد گرفت. گره‌های ایجاد شده برای برآورد مقادیر دیوارها در شکل‌های ۳ تا ۵ مشاهده می‌شوند.

فهرست بها در ایران هر سه ماه بروزسانی خواهد شد، برای برنامه‌ی موردنظر باید اطلاعات هزینه‌یی آیتم‌ها به‌صورت دستی بروزرسانی شوند؛ بانک اطلاعاتی



شکل ۳. گره‌های برآورد مقادیر دیوارها.



شکل ۴. گره Find Wall Material Area.

```
import clr
clr.                    ('RevitAPI')
from Autodesk.Revit.DB import *
from itertools import izip

# Import DocumentManager
clr.                    ("RevitServices")
import RevitServices
from RevitServices.Persistence  import DocumentManager
from RevitServices.Transactions import TransactionManager

doc = DocumentManager.Instance.CurrentDBDocument

TransactionManager.Instance.                    (doc)

walls =                 (IN[0])

ids = []
materials = []
areas = []
comb = []
wallnames = []
output = []
count = 0

for wall in walls:
    materialid = wall.                  (False)
    ids.       (materialid)

#flatids = [item for sublist in ids for item in sublist]

for i in ids:
    comb.      (walls[count].Name)
    wallnames.      (walls[count].Name)
    for area in i:
        matarea = (walls[count].                    (area, False)) * 0.09290304
        areas.      (matarea)
        comb.       ([doc.          (area).Name, matarea])
        materials.          (doc.           (area).Name)
    count += 1

output.     (comb)
output.     (wallnames)
output.     (materials)
output.     (areas)

TransactionManager.Instance.                    ()

OUT = output
```

شکل ۵. شرح کد بدنه‌ی اصلی Find Wall Material Are.

شکل ۶. نحوه‌ی به‌کارگیری برنامه‌ی ایجاد شده.

نیز در صورت نیاز اصلاح و یا مصالح جدید به آن اضافه می‌شوند. در غیر این موارد، تنظیم دیگری برای بهره‌مندی از برنامه نیاز نخواهد بود. کارکرد برنامه طبق مدل گرافیکی شکل ۶ است. لازم به ذکر است که با کوچک‌ترین تغییری در مدل، جدول برآورد اکسل به‌صورت آنی تغییر می‌کند که نشان از پویایی مدل دارد. از ویژگی مدل حاضر و تفاوت آن با کارهای دیگر، می‌توان به بومی بودن آن برای کشور ایران اشاره کرد.

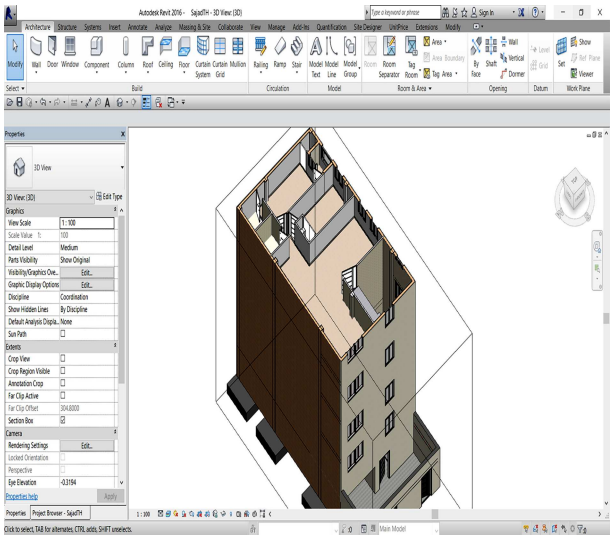
۴. مطالعه‌ی موردی

برای اطمینان از عملکرد برنامه‌ی ایجاد شده، یک ساختمان فرضی مدل و به مقایسه‌ی خروجی برآورد از طریق مدل برآورد خودکار و برآورد دستی آن پرداخته شده است. مدل در نظر گرفته شده برای مطالعه‌ی موردی، یک ساختمان مسکونی ۵ طبقه با متراژ هر طبقه ۹۴ مترمربع است. مدل ذکر شده با استفاده از مواد و مصالح ساخته شده در کتابخانه ایجاد شده است. سطح جزئیات در نظر گرفته شده برای مدل، ۳۰۰ است که با توجه به سطح جزئیات انتخابی، لایه‌های مختلف دیوار و کف و همچنین جزئیات درب‌ها و پنجره‌ها محاسبه شده است. و برای اسکلت ساختمان نیز که فولادی است، شمای کلی از تیرها و ستون‌ها بدون نمایش اتصال‌های آن‌ها ترسیم خواهد شد.

با توجه به ذکر محدودیت‌ها، برآورد به‌دست آمده از پروژه، قیمت کل پروژه نیست. چرا که بعضی از آیتم‌های فهرست‌بها، مانند تخریب، گودبرداری، و حمل و نقل در مدل لحاظ نشده‌اند و همچنین سطح جزئیات در نظر گرفته‌شده برای مدل ۳۰۰ است. بدیهی است هر چه سطح جزئیات ترسیمی مدل بالاتر و دقیق‌تر باشد، قیمت به‌دست آمده، دقیق‌تر و نزدیک‌تر به قیمت واقعی پروژه است. در شکل ۷، تصویری از محیط نرم‌افزار اتودسک رُویت و مدل ساخته شده در آن مشاهده می‌شود.

۵. اعتبارسنجی مدل

برای بررسی صحت متره و برآورد به‌دست آمده از برنامه، اقدام به متره و برآورد دستی



شکل ۷. نمایی از ساختمان مدل شده در اتودسک رویت.

جدول ۳. برآورد حاصل از روش دستی و خودکار و اختلاف آن‌ها.

برآورد	مبلغ (ریال)
دستی	۵٬۰۵۶٬۱۲۹٬۳۰۶
خودکار	۵٬۳۷۴٬۴۶۳٬۷۹۹
درصد اختلاف	۶ درصد

ساختمان شد. پس از مترہ کردن ساختمان و به‌دست آوردن مقادیر به‌صورت دستی، قیمت حاصل از برآورد انجام شده ۵٬۰۵۶٬۱۲۹٬۳۰۶ ریال به دست آمد. لازم به ذکر است که قیمت به‌دست آمده بدون درنظرگرفتن ضرایب بالاسری، منطقه‌یی و طبقات است و شامل برآورد آیتم‌هایی از فهرست بهاست که در BIM نیز مدل شده و برآورد آن‌ها در مدل به‌دست آمده است. در جدول ۳، اعداد به‌دست آمده از دو روش و اختلاف آن‌ها ارائه شده است.

همان‌طورکه در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، مبلغ به‌دست آمده از برآورد خودکار بیشتر از روش سنتی است و این اختلاف برابر با ۳۱۸٬۳۳۴٬۴۹۳ ریال است که نشان‌دهنده‌ی اختلاف ۶ درصدی در برآوردهای به‌دست آمده از دو روش است. همان‌طور که در PMBOK ذکر شده است، دامنه‌ی برآورد با داشتن اطلاعات مناسب از پروژه می‌تواند بین ۱۰- تا ۱۵+ درصد باشد،[۲۲] لذا می‌توان نتیجه گرفت که برنامه‌ی ایجاد شده با ۶٪ اختلاف، از لحاظ صحت مترہ و برآورد در حد قابل قبولی است.

۶. مقایسه‌ی نتایج

نکته‌یی که باقی می‌ماند آن است که برآورد به‌دست آمده از کدام برنامه دقیق‌تر است و به واقعیت و مبلغ نهایی پروژه نزدیک‌تر است؟ از طرفی دیگر، با توجه به آنکه مبلغ فهرست بها نیز معمولاً از قیمت روز بازار کمتر است، مقایسه‌ی اعداد به‌دست آمده با قیمت واقعی پروژه سخت‌تر است. چرا که با وضعیت بازار، قیمتی که بالاتر باشد (در پروژه‌ی حاضر برآورد خودکار در فرایند BIM)، به واقعیت نزدیک‌تر است و دقیق‌تر در نظر گرفته می‌شود. لذا در صورتی می‌توان به دقت برنامه پی برد که این کار در پروژه واقعی صورت گیرد و قیمت‌ها در آن شرایط به دست آیند، که در پژوهش حاضر امکان آن وجود نداشته است. در جدول ۴، به مقایسه‌ی دو به دوی برآورد به‌دست آمده از دو روش دستی و خودکار برای هر فصل فهرست بها به‌صورت جداگانه پرداخته شده است.

با بررسی و مقایسه‌ی دو به دوی عناصر مترہ شده در روش دستی و خودکار می‌توان این نکات را بیان کرد: با توجه به اینکه نرم‌افزار به طور دقیق ابعاد عناصر ترسیم شده را به‌عنوان خروجی می‌دهد، نمی‌توان ایرادی به مترہ‌ی آن گرفت. به طور مثال در محاسبات قرنیز، عدد دستی کمتر از خودکار است که می‌تواند به این دلیل باشد که در روش دستی ممکن است گوشه‌های ستون‌ها یا بیرون‌زدگی‌های دیوار در نظر گرفته نشوند، در حالی که نرم‌افزار کوچک‌ترین برشی را در محاسبات وارد می‌کند. و یا در محاسبه‌ی احجامی مانند وزن پروفیل‌ها و یا سطح مقطع آن‌ها می‌توان به طور حتم بیان کرد که باز هم نرم‌افزار در محاسبات، دقیق‌تر عمل می‌کند، زیرا که نرم‌افزار تمام خم‌ها، طول‌ها و لایه‌های پروفیل را دقیقاً محاسبه می‌کند، در حالی که در روش دستی، ممکن است کارشناس مترہ یک خم را خط راست در نظرگیرد و مترہ و برآورد را تحت‌الشعاع دقت پایین قرار دهد. این دقت پایین در مترہ به روش دستی در مترہ‌ی ابعادی مانند سقف‌ها و دیوارها نیز مشاهده می‌شود، چرا که در روش دستی از نقشه‌های دوبُعدی استفاده می‌شود که اندازه‌گیری‌های ثبت شده بر روی آن، گاه ممکن است از محور تا محور عناصر باشد، یا ممکن است از انتهای عنصری تا محور عنصر دیگر باشد که تمام موارد ذکر شده حتی به مقدار کم باعث کم‌دقتی مترہ‌ی دستی است. این در حالی است که نرم‌افزار این محدودیت را ندارد و ابعاد عناصر ترسیم شده را با دقت در نظر می‌گیرد؛ البته باید دقت کرد که مطلب اخیر همیشه هم مفید نیست و طراح باید در حین طراحی، دقت بسیار زیادی به خرج دهد تا عناصر دقیق ترسیم شوند و ابعادی بیشتر از مدل واقعی ترسیم نشود، به‌عنوان نمونه ممکن است بتن سقف کاملاً زیر دیوارهای پیرامونی ساختمان قرار نگیرد و طراح به اشتباه سقف را به‌طورکامل زیر دیوارهای پیرامونی ترسیم کند که این کار باعث افزایش برآورد پروژه نسبت به حالت واقعی آن خواهد شد.

۷. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، به کمک مکانیزم برآورد خودکار ایجاد شده بر بستر BIMبراساس فهرست‌بهای ابنیه، هزینه‌های پروژه به‌صورت خودکار محاسبه و با برآورد دستی (سنتی) به‌دست آمده از مدل مقایسه شده و این نتایج به‌دست آمده‌اند:

- با توجه به نکات ذکر شده می‌توان اذعان داشت که مترہ‌ی به دست آمده از نرم‌افزار، دقت بیشتری نسبت به روش دستی دارد. البته نزدیک بودن قیمت برآورد و هزینه‌ی تمام شده‌ی ساخت بسیار وابسته به عوامل خارجی، تیم‌های ساخت و غیره است و طبیعتاً فقط به دقت مترہ و برآورد وابسته نیست.
- هر چقدر مدل ساخته شده از پروژه کامل‌تر باشد و میزان توسعه‌ی بالاتری داشته باشد، طبیعتاً مترہ و برآورد به‌دست آمده از آن، دقت بیشتری دارد.
- سرعت مترہ و برآورد در روش خودکار بسیار سریع است، به طوری که با یک کلیک و زمانی در حدود یک دقیقه، بسته به پیچیدگی و حجم مدل، پروژه برآورد خواهد شد که در نوع خود بسیارکارا و مفید است.
- به دلیل کار بر روی بستر BIM و یک‌پارچه عمل کردن مدل و برنامه‌ی

جدول ۴. برآورد روش دستی و خودکار فصل‌های فهرست‌بها و اختلاف آن‌ها.

فصل	شرح	روش		اختلاف	
		خودکار	دستی	مقدار	درصد
۴	عملیات بنایی با سنگ	۲۹٫۳۹۶٫۳۷۸	۳۰٫۰۱۸٫۲۷۵	-۶۲۱٫۸۹۶	۲٫۱۱
۷	کارهای فولادی با میلگرد	۱٫۰۸۰٫۴۳۶٫۲۵۸	۹۶۵٫۰۰۰٫۰۰۰	۱۱۵٫۴۳۶٫۲۵۸	۱۰٫۶۸
۸	بتن درجا	۳۳٫۸۳۸٫۵۶۰	۳۳٫۸۳۸٫۵۶۰	۰	۰
۹	کارهای فولادی سنگین	۸۱۴٫۲۴۰٫۳۶۳	۷۶۸٫۰۲۶٫۴۸۱	۴۶٫۲۱۳٫۸۸۲	۵٫۶۷
۱۰	سقف بتنی	۱۸۷٫۵۰۰٫۹۸۹	۱۹۲٫۳۷۶٫۸۰۰	-۴٫۸۴۵٫۸۱۰	۲٫۶
۱۱	آجرکاری و شفته‌ریزی	۱٫۳۴۱٫۴۷۸٫۲۲۳	۱٫۳۴۲٫۲۶۰٫۶۱۰	-۷۸۲٫۳۸۶	۰٫۰۶
۱۳	عایق‌کاری رطوبتی	۱۸٫۱۴۱٫۱۵۶	۱۹٫۲۶۰٫۶۵۰	-۱٫۱۱۹٫۴۹۳	۶٫۱۷
۱۶	کارهای فولادی سبک	۲۷٫۳۷۱٫۲۶۴	۲۴٫۳۹۱٫۱۸۵	۲٫۹۸۰٫۰۷۸	۱۰٫۸۸
۱۷	کارهای آلومینیومی	۴۸۰٫۰۷۵٫۸۵۴	۴۷۲٫۱۶۰٫۰۰۰	۷٫۹۱۵٫۸۵۴	۱٫۶۵
۱۸	اندودکاری و بندکشی	۱۲۸٫۹۷۲٫۸۴۰	۱۳۶٫۳۱۷٫۸۳۰	-۷٫۳۴۴٫۹۸۹	۵٫۶۹
۱۹	کارهای چوبی	۲۸٫۳۰۹٫۸۴۰	۳۰٫۰۰۵٫۸۴۰	۱٫۶۹۶٫۰۰۰	۵٫۹۹
۲۰	کاشی و سرامیک‌کاری	۱۹۴٫۴۹۴٫۸۱۵	۱۹۳٫۴۲۵٫۷۹۰	۱٫۰۶۹٫۰۲۴	۰٫۵۵
۲۱	فرش موزاییک	۴۰٫۳۹۸٫۶۹۶	۴۱٫۴۴۶٫۵۵۵	-۱٫۰۴۷٫۸۵۸	۲٫۵۹
۲۲	کارهای سنگی با سنگ پلاک	۷۵۳٫۱۷۲٫۳۷۳	۷۵۳٫۷۰۷٫۹۱۵	-۵۳۵٫۵۴۱	۰٫۰۷
۲۳	کارهای پلاستیکی و پلیمری	۶۳۹٫۱۸۷	۶۳۹٫۱۸۷	۰	۰
۲۴	برش و نصب شیشه	۱۱٫۳۴۴٫۰۲۸	۱۱٫۳۴۶٫۰۰۰	-۱٫۹۷۱	۰٫۰۲
۲۵	رنگ‌آمیزی	۲۰۴٫۶۵۲٫۹۷۰	۲۲۱٫۹۰۷٫۶۲۷	-۱۷٫۲۵۴٫۶۵۷	۸٫۴۳
	جمع کل	۵٫۳۷۴٫۴۶۳٫۷۹۹	۵٫۰۵۶٫۱۲۹٫۳۰۶	۳۱۸٫۳۳۴٫۴۹۳	۵٫۹۲

ایجاد شده، با تغییرات در وضع مدل و یا حذف و اضافه کردن عنصری در مدل، به‌صورت لحظه‌یی می‌توان تغییرات برآورد پروژه را مشاهده کرد که ویژگی مذکور بسیار مناسب کارفرمایان و مشاوران است تا با تعریف ویژگی‌های مختلف و به‌کارگیری مواد و مصالح مختلف در پروژه و مقایسه‌ی مالی هم‌زمان، گزینه‌های مختلف بتوانند بهترین و مناسب‌ترین گزینه‌ی موردنیاز خود را انتخاب کنند.

پانوشت‌ها

1. elements
2. computer-aided design (CAD)
3. export
4. building information modeling (BIM)
5. autodesk revit
6. Halpin
7. Eastman
8. level of development (LOD)
9. architecture engineering & construction (AEC)
10. autodesk dynamo
11. visual
12. python script
13. material
14. parametric conceptual designs

منابع (References)

1. Schorr, M. "Employing product data management systems in civil engineering projects: Functionality analysis and assessment", *Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE*, **25**(6), pp. 430-441 (2011).
2. McGraw-Hill, "The business value of BIM in North America: multi-year trend analysis and user ratings (2007-2012)", Smart Market Report, New York (2012).
3. Karamooziyan, A., Shakeri, E. and Amiri, O. "Review causes of delay in construction projects with inade-

quate funding approach", 2ed National Conference on Engineering and Construction Management, Iran, Bandarabas (2012).

4. OCPM Site, "Autodesk Revit end of conventional estimation", Report (http://www.ocpm.ir/tech/autodesk-revit).
5. Rundell, R. and Cadalyst, A. "1-2-3 revit: BIM and cost estimating", Part 2, Cadalyst (2006).
6. Kymmell, W. "Building information modeling, planing and managing construction projects with 4D CAD and simulation", McGraw-hill (2008).
7. Haghighi, A. "BIM Impact assessment in construction cost estimate", MS Thesis, Islamic Azad University, Science Research Branch (2012).
8. Project Management Institute, "A guide to the project management body of knowledge", 5th Edition, Project Management Institute Inc. (2013).
9. Love, P.E.D., Simpson, I., Hill, A. and et al. "From justification to evaluation: Building information modeling for asset owners", *Automation in Construction*, **35**, pp. 208-216 (2013).
10. Ebrahimi. H. and Shakeri, E. "Review of process of building information architecture and its implementation in development projects", *The 1st Annual Conference of the Future Building*, Iran, Sari (2012).
11. Akmal Adillah Ismail, N., Utiome, E., Owen, R. and et al. "Exploring accuracy factors in cost estimating practice towards implementing building information modeling (BIM)", *Proceedings of the 6th EPPM*, pp. 364-374 (2015).
12. Smith, D. "An introduction to building information modeling (BIM)", *Journal of Building Information Modeling (BIMJ)* (Fall, 2007).
13. Zhang, S., Teizer, J., Lee, J.-K. and et al. "Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules", *Automation in Construction*, **29**, pp. 183-195 (2013).
14. Martins, J.P. and Monteiro, A. "LicA: a BIMbased automated code-checking application for water distribution systems", *Automation in Construction*, **29**, pp. 12-23 (2013).
15. Bing, T. "A 3D modeling for detailed quantity take-off for building projects", MS Thesis, Concordia University in Canada, The Department of Building Civil & Environmenetal Engineering (2005).
16. Plebankiewicz, E., Zima, K. and Skibniewski, M. "Analysis of the first polish BIM-based cost estimation application", *Procedia Engineering*, **123**, pp. 405-414 (2015).
17. Choi, J., Kim, H. and Kim, I. "Open BIM-based quantity take-off system for schematic estimation of building frame in early design stage", *Journal of Computational Design and Engineering*, **2**(1), pp. 16-25 (2015).
18. Halpin, D.W. "Construction management", John Wiley and Sons Ltd, ISBN: 978-0-470-44723-9 (2006).
19. Trelda, N. "Integrated data and process control during BIM design", MS Thesis, Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering (Feb., 2008).
20. Hooper, M. "BIM anatomy an investigation into implementation prerequisites, design methodology", Department of Construction Sciences, Lund University, Faculty of Engineering (2012).
21. Lahdou, R. and Zetterman, D. "BIM for project managers: How project managers can utilize BIM in construction projects", MS Thesis, Chalmers University of Technology, 2011.
22. Eastman, C. "Building product models: Computer environments supporting design and construction", CRC Press (July, 1999).
23. Laiserin, J. "The Laiserin Letter", Report (2013) (http://www.laiserin.com/features/bim/index.php#2).
24. Eastman, C. "General purpose building description systems", *Computer Aided Design*, **8**(1), pp. 17-26 (1976).
25. Schueter, A. and Thessling, F. "Building information modeling based energy/exergy performance assessment in early design Stages", *Automation in Construction*, **18**(2), pp. 153-163 (2009).
26. Autodesk, Inc. "Improving building industry results through integrated project delivery and building information modeling", (2012) (www.autodesk.com).
27. Safonov, M. "Stability margins of diagonally perturbed multivariable feedback systems", IEEE Proceedings, Part D, pp. 251-256 (1982).
28. Roginski, D. "Quantity take off process for bidding stage using BIM tools in danish construction industry", MS Thesis, Technical University of Denmark (2011).
29. Sadiq Altaf, M. "Integration occupational indoor air quality with building environmental engineering", MS Thesis, University of Alberta (2011).
30. Azhar, S., Khalfan, M. and Maqdood, T. "Building information modeling (BIM): Now and beyond", *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, **12**, pp. 15-28 (2012).
31. Bylund, C. and Magnusson, A. "Model based cost estimation: An international comparison", Faculty of Engineering, Lund University (2011).
32. Gallaher, M.P., O'Connor A.C., Dettbarn J.L. and et al. "Cost analysis of inadequate interoperability in the U.S. capital facilities industry", National Institute of Standards and Technology (2004) (http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build04/art022.html).
33. Eastman, C., Teicholz ,P., Sacks, R. and et al., *BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons, 688 p. (2011).
34. Bukhary, R., Taihairan, R. and Zulhabri, I. "BIM: Integrating cost estimates at initial/design stage", *International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology*, **6**(1), pp. 62-74 (2015).
35. Banki, M.T. "Project management For construction", Tehran University Press, ISSN, 827 P. (1994).
36. Hartmann, T., Gao, J., Fischer, M. "Areas of application for 3D and 4D models on construction projects", *Journal of Construction Engineering and management*, **134**(10), pp. 776-785 (2008).

37. Meerveld, H., Van, Hartman ,T. and Vermeij, C. "Reflection on estimating-the effects of project complexity and use of BIM on the estimating process", University of Twente, The Netherlands (2009).

38. Fung, W.P., Salleh, H., Azli, F. and et al. "Capability of Building Information Modeling Application in Quantity Surveying Practice", *J. Surv. Constr. Prop.*, **5**(1), pp. 1-13 (2014).

39. 40. Nawari, N. "The challenge of computerizing building codes in BIM environment", *Proceedings of the 2012 Asce International Conference on Computing in Civil Engineering, Clearwater Beach, Florida* (Jun. 17-20, 2012).

40. Taheri Jebelli, S. "Estimation cost of construction projects using BIM, based on the unit price of buildings", MS Thesis, Amirkabir University of Technology (2017).

41. Autodesk, Graphical programming interface for computational design, (https:// www.autodesk.com/ products/dynamo-studio/features/all/list-view).

42. Zahraei, B. "PMBOK guide", Parsa Press, 3ed Edition (2008).