



بررسی روش های مختلف بر آورد هزینه پروژه های ساختمانی براساس فهرست آحاد بها مبتنی بر مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM)

مقداد محمدیان^{۱*}، امیر شهبازی^۲

*۱- نویسنده مسوول: دانشجوی دکتری، مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
Mohammadian.m@ut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
shahbazi.amir@ut.ac.ir

چکیده

یکی از مراحل اولیه در هر پروژه ساخت، برآورد و تخمین هزینه های ساخت است. این مرحله که می تواند تاثیر به سزایی در ادامه فرآیند پروژه داشته باشد به صورت سنتی با استفاده از نقشه های دو بعدی و توسط متخصصین متره و برآورد انجام می شود. استفاده از نقشه های سه بعدی و مدل های مبتنی بر BIM می تواند در بهبود دقت و تسریع زمان انجام این مرحله کمک شایانی کند. به همین دلیل در این پژوهش سه شیوه رایج در بین متخصصین مدل سازی اطلاعات ساختمان که شامل استفاده از افزونه ها، استفاده از یادگیری ماشین و همچنین استفاده از فایل های IFC هستند در این رابطه مورد مطالعه قرار گرفته اند. نتیجه این پژوهش نشان می دهد که با توجه به هدف کاربر استفاده از هر کدام از این روش ها می تواند مزایا و معایبی داشته باشد که به شکل مفصل به آن ها پرداخته شده است. این پژوهش می تواند کمک شایانی به پژوهشگران و صنعتگران این حوزه در انتخاب شیوه و روش پیشبرد مطالعاتشان داشته باشد. همچنین این پژوهش نشان می دهد که استفاده از روش های مبتنی بر BIM می تواند با دقت مطلوبی جایگزین روش های سنتی متره و برآورد پروژه های ساختمانی شده و استفاده از این حوزه را بین متخصصین گسترش دهد.

واژگان کلیدی: مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، برآورد هزینه، فهرست بها، API، یادگیری ماشین، IFC



۱- مقدمه:

برآورد دقیق هزینه های ساخت یکی از عوامل قابل توجه در راستای موفقیت به ویژه در پروژه های بزرگ و پیچیده ساخت است (لی و همکاران ، ۲۰۱۲). تهیه برآورد هزینه دقیق و کارآمد به شکل قابل توجهی به عناصری مانند زمان کافی برای مسئول تهیه برآورد، تجربه شخص برآوردگران هزینه و سطح مفروضات پروژه متکی است (جرید و الکاس، ۲۰۰۷). برآورد هزینه هر فعالیت در ساختار شکست کار پروژه به طور کلی شامل سه بخش است: (۱) دسته بندی و نوع مصالح و اقلام مورد استفاده (۲) میزان مواد، نیروی انسانی و تجهیزات که در تکمیل آن فعالیت نقش دارند، و (۳) محاسبه هزینه اجرای فعالیت (ما، وی و ژنگ، ۲۰۱۳). همچنین طبق فرم تجزیه بهای آیتم های فهرست بها، قیمت هر ردیف از فهرست بها براساس چهار دسته: نیروی انسانی، ماشین آلات، مصالح و حمل قابل محاسبه است.

در رویکرد های سنتی برآورد هزینه، نقشه های دو بعدی ساختمان توسط متخصص متره آنالیز شده و مقدار هر بخش بدست می آید. در مرحله بعد با استفاده از مقادیر بدست آمده و همچنین تطبیق ردیف های فهرست بها منضم به پیمان، برآورد هزینه ساختمان بدست می آید. این رویکرد نه تنها زمان و هزینه زیادی می طلبد، بلکه به دلیل حجم زیاد محاسبات دستی و همچنین تفاسیر شخصی، در معرض خطاهای انسانی قرار می گیرد. علاوه بر این، نقشه های دو بعدی همواره در برآورد هزینه در مقایسه با مدل های سه بعدی مشکلات زیادی ایجاد کرده است (سابل، ۲۰۰۸). در صورت وقوع تغییرات در نقشه ها، فرآیند کند و وقت گیر برورسانی نقشه های دو بعدی منجر به تکرار فرآیند متره و برآورد می شود. همه مشکلات ذکر شده می توانند منجر به مجموعه ای از فرآیند های خسته کننده و ناکارآمدی در روند برآورد هزینه شوند (رجبی، بیگا و بارتل ، ۲۰۱۵).

طی دهه های گذشته، فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان پیشرفت چشم گیری داشته است و نرم افزارهای متعددی در زمینه برآورد هزینه بوجود آمده است (ما، وی و ژنگ، ۲۰۱۳). علیرغم پژوهش های انجام شده و توسعه ابزارهای مختلف، برآورد هزینه هنوز هم برای مهندسان یک فرآیند زمان بر و هزینه بر است. مشکلات مربوط به فرآیند طولانی و پر هزینه برآورد هزینه مختص به پروژه های داخل کشور نیست. الفکی و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که با وجود پیشرفت های اخیر، فرآیند برآورد هزینه از فقدان تکنیک های خودکار و به ویژه عدم وجود سیستم های هوشمند رنج می برد. بنابراین، مدیران پروژه به برخی از ابزارهای برآورد هزینه نیاز دارند که فرآیند برآورد هزینه را تسهیل کرده، در زمان و هزینه صرفه جویی شود، از خطاها جلوگیری کرده و با تغییرات طراحی مطابقت داشته باشد.

مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) یکی از تحولات امیدوار کننده در صنعت معماری، مهندسی و ساختمان است (ازهر، ۲۰۱۱). BIM یک رویکرد جامع است که به فعالان صنعت ساخت این امکان را می دهد تا اطلاعات طراحی و ساخت را با مدل سازی دقیق، یکپارچه سازی و ادغام دیسیپلین های مختلف در طول چرخه حیات پروژه با موفقیت مدیریت کنند (کوساوقلو، ساکین و آرایچی، ۲۰۱۸). از زمان پیدایش مفهوم اولیه BIM، این تکنولوژی به سرعت گسترش یافته و توسط بسیاری از کارفرمایان و پیمانکاران مورد استفاده قرار گرفته است. کارایی ها و قابلیت های فرآیند BIM به طور گسترده ای توسط متخصصین پذیرفته شده و در زمینه های مختلف مدیریت ساخت استفاده شده است. بسیاری از کشورها از جمله استرالیا ،



چهارمین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساخت

انگلستان، چین و ترکیه به دلیل مزیت های قابل توجه فناوری BIM استفاده از آن را آغاز کرده اند. با این حال پذیرش BIM در صنعت ساخت ایران بطور قابل ملاحظه ای کمتر از پتانسیل های کنونی است. اگرچه، آگاهی متخصصان ساخت ایرانی در مورد فناوری BIM در چند سال گذشته بطور قابل توجهی افزایش یافته است (فاضلی و همکاران، ۲۰۲۰).

با استفاده از فناوری BIM می توان برآورد هزینه قابل قبولی را برای سناریوهای مختلف طراحی پروژه های ساختمان ارائه کرد. مطالعات تحقیقاتی متعددی در زمینه اجرای روش BIM برای برآورد هزینه انجام شده است. با این حال، پژوهش های بسیار محدودی در راستای تطبیق داده های استخراج شده از مدل BIM و ردیف ها و آیتم های فهرست بها در راستای اتوماتیک سازی فرآیند متره و برآورد هزینه ساخت انجام شده است. هدف از این پژوهش مقایسه چندین روش جهت ایجاد چنین مدل یکپارچه ای جهت تطبیق ردیف های فهرست بها و داده های مدل BIM است.

۲- پیشینه پژوهش:

در طول سالیان گذشته مطالعات زیادی در زمینه استفاده از روش های مبتنی بر BIM برای برآورد هزینه در پروژه های ساختمانی انجام شده است. کارشناس (۲۰۰۵) یک سیستم برآورد شی گرا مبتنی بر BIM را پیشنهاد کرد که فرآیند متره احجام را خودکار می کند. با وجود مزایای سیستم پیشنهادی، مقدار قابل توجهی از داده ها باید توسط کاربر وارد شود. شن و ایسا (۲۰۱۰) عملکرد رویکردهای برآورد دقیق با کمک BIM را با روشهای برآورد دستی در تخمین هزینه مجموعه ای از نمونه های آزمایشی با سطوح پیچیدگی متفاوت را مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که رویکردهای مبتنی بر BIM عملکرد بهتری برای کاربران مبتدی دارد.

ژیلیانگ و همکاران (۲۰۱۱) مدلی مبتنی بر BIM برای برآورد هزینه پروژه های ساخت جهت استفاده در فرآیند مناقصات در کشور چین توسعه داده اند. آنها با تمرکز بر استانداردهای داخلی کشور چین، امکانات و روش های بکارگیری استاندارد IFC را در جهت تخمین هزینه مورد بررسی قرار دادند. در همین راستا، ما و همکاران (۲۰۱۳) یک سیستم برآورد هزینه نیمه خودکار بر اساس داده های IFC از BIM برای مرحله مناقصه پروژه های ساختمانی توسعه داد. روش پیشنهادی با مشخصات اجباری ملی چین مطابقت دارد. لی و همکاران (۲۰۱۳) یک چارچوب برای خودکارسازی فرآیند جستجوی مناسب ترین اقلام کاری در برآورد هزینه ارائه دادند. اگرچه این رویکرد نیاز به مداخله برآوردگر هزینه را کاهش می دهد، اما فقط به فعالیت کاشی کاری محدود می شود. لارنس و همکاران (۲۰۱۴) روشی برای برآورد هزینه با تطبیق اشیاء موجود در مدل BIM به داده های هزینه ارائه دادند. این رویکرد از زبان های Query استفاده می کند، که پارامترهای طراحی را به برآورد هزینه متصل می کند. وو و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر استفاده از روش مبتنی بر BIM را در فرآیندهای برآورد هزینه در انگلستان را بررسی کردند. تبادل اطلاعات، کیفیت مدل و استانداردهای انگلستان در این پژوهش به عنوان مهمترین چالش ها معرفی شده است. در همین راستا آباندا و همکاران (۲۰۱۵) یک روش ارتباطی با استفاده از روش استاندارد اندازه گیری بریتانیا برای برآورد هزینه ارائه داده اند.

چا و لی (۲۰۱۴) یک ساختار پایگاه داده BIM عمومی برای تجزیه و تحلیل هزینه در پروژه نوسازی خانه سالمندان ایجاد کردند. این رویکرد موارد کار را مشخص کرده و روابط بین فعالیتها را تشخیص می دهد. با این حال، فقط تخریب و کارهای سازه ای برای عناصر ساختمان را در نظر می گیرد. لیو و همکاران (۲۰۱۶) با تمرکز بر شیوه ساختمان سازی با قاب سبک یک چارچوب روش شناختی برای برداشتن مقادیر و احجام از یک مدل BIM پیشنهاد کردند. ما و همکاران (۲۰۱۶) با بهره گیری



چهارمین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی اطلاعات ساخت

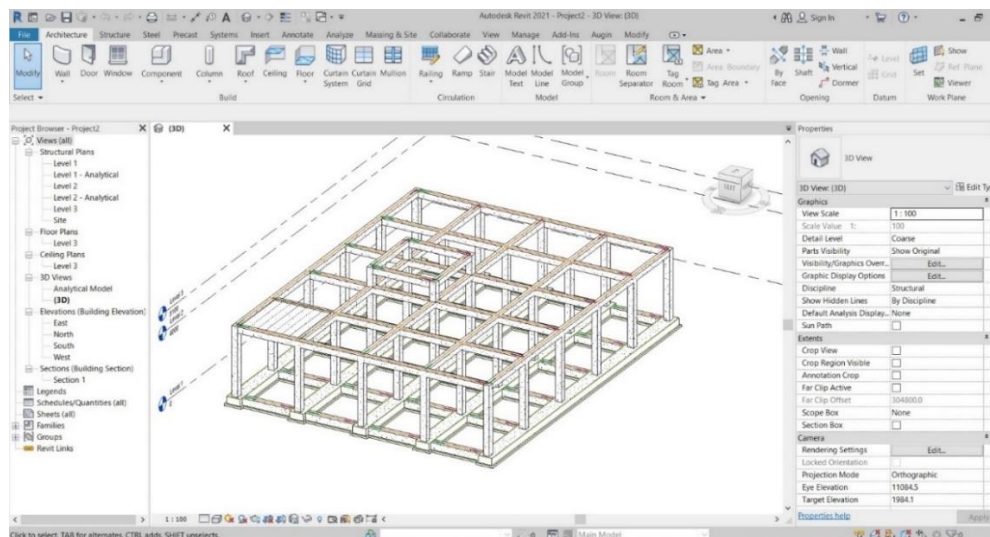
از همان شیوه، روشی برای دسته‌بندی مشخصات برآورد هزینه ساخت در چین توسعه داده‌اند. آنها نتیجه گرفتند که از روش پیشنهادی می‌توان برای طبقه‌بندی اجزای ساختمان برای تسریع برآورد هزینه استفاده کرد. ژو و همکاران (۲۰۱۶) یک چارچوب مبتنی بر وب برای گرفتن داده از مدل‌های BIM و استفاده از آن برای تولید اقلام مورد نیاز برای یک صورت‌مقادیر در جهت سهولت برآورد هزینه معرفی کرد. در همین راستا کیم و همکاران (۲۰۱۹) مقادیر استخراج شده از دو نوع مختلف مدل BIM را مقایسه کرده و مشکلات را بررسی کرده تا از کارایی و قابلیت اطمینان مقادیر برداشت شده از مدل BIM اطمینان حاصل شود. خوساکیتچالرت و همکاران (۲۰۱۹) یک روش مبتنی بر BIM را برای بهبود دقت استخراج مقادیر امان‌های ترکیبی ناقص یا نادرست پیشنهاد کردند. مقادیر دقیق مصالح و همچنین ظمان کوتاه مورد نیاز جهت ویرایش مدل BIM، مزایای اصلی روش پیشنهادی هستند. با این حال، اجرای آن محدودیت‌هایی برای برخی از اجزای تشکیل‌شده از مصالح مختلف دارد. همچنین خوساکیتچالرت و همکاران (۲۰۲۰) یک چارچوب خودکار برای اصلاح عناصر مرکب در مدل‌های BIM ایجاد کرد که در برآورد دقیق کمیت مصالح کمک می‌کند.

در یکی از جدیدترین پژوهش‌های انجام شده در این زمینه فاضلی و همکاران (۲۰۲۰) یک روش برآورد هزینه مبتنی بر BIM نیمه خودکار، که از طریق آن ردیف‌های فهرست بها با مقادیر برداشت شده از مدل‌های BIM پیوند داده می‌شود را توسعه دادند. چارچوب کلی پیشنهاد شده استانداردهای طبقه‌بندی UniFormat و MasterFormat را به فهرست بها متصل می‌کند. در این پژوهش یک افزونه مبتنی بر BIM در محیط Revit برای خودکارسازی و تسهیل فرآیند برآورد هزینه توسعه یافته است. همانطور که از پژوهش‌های پیشین مشخص است، خودکارسازی فرآیند برداشتن کمیت دقیق از مدل‌های پارامتری سه بعدی، رویکردهای مبتنی بر BIM را در بین متخصصین برآورد هزینه محبوب کرده است. با این حال، تطبیق مناسب مقادیر برداشته شده به ردیف‌های هزینه نقش مهمی در برآورد دقیق هزینه بر اساس BIM دارد.

۳- استفاده از افزونه رابط برنامه نویسی برنامه (API) و کد نویسی:

در طول سالیان، توسعه نرم‌افزارها به عنوان یک کار سخت و پیچیده تلقی می‌شود و فعالیت‌های زیادی را می‌طلبد. بنابراین، توسعه دهندگان به طور مداوم در حال کشف نوآوری‌هایی هستند که به روند توسعه نرم‌افزار کمک کند (افویدا و بوتانگ و ایفاه، ۲۰۱۹). رابط‌های برنامه نویسی برنامه (که از اینجا به بعد API خوانده می‌شود) یکی از این نوآوری‌ها در حوزه توسعه نرم‌افزار است. API‌ها جزء لاینفک اکوسیستم نرم‌افزار را تشکیل می‌دهند (مینکاس، ۲۰۱۶). این اکوسیستم‌های نرم‌افزاری به راهی ایده آل برای ساخت راه حل‌های نرم‌افزاری بزرگ بر روی یک پلتفرم نرم‌افزاری مشترک تبدیل شده‌اند (مینکاس و هانسن، ۲۰۱۳). از لحاظ تاریخی، API‌ها از زمان ظهور رایانه‌های شخصی وجود داشته‌اند. API‌ها عمدتاً برای تبادل اطلاعات بین دو یا چند برنامه وجود داشتند (آی بی ام، ۲۰۱۶). در حوزه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، استفاده از API‌ها بسیار متداول است و محققان برای اهداف مختلف از قابلیت‌های آن استفاده می‌کنند. یکی از راهکارها جهت برآورد هزینه ساخت در مدل‌های BIM استفاده از قابلیت‌های API‌ها و همچنین پایگاه‌های داده در جهت شناسایی آیتم‌های مرتبط با هر بخش از سازه مورد نظر است. به عنوان مثال، برای برآورد هزینه ساخت اسکلت ساختمان با استفاده از ابعاد و مشخصات هر عضو و همچنین با استفاده از یک API می‌توان برآورد مرتبط را استخراج کرد. در ادامه جهت شرح ساختار مورد اشاره به شرح یک مطالعه موردی جهت برآورد هزینه اجرای اسکلت بتنی می‌پردازیم. در این مطالعه موردی ابتدا مدل اسکلت مورد نظر در نرم‌افزار Revit

به همراه کلیه جزئیات سازه‌ای ساخته شده است (شکل شماره ۱). در جهت سهولت استفاده از API و همچنین مدیریت بهتر روی المان‌های سازه، مدل ساخته شده به نرم‌افزار Navisworks منتقل و باقی عملیات در آن محیط انجام شد.

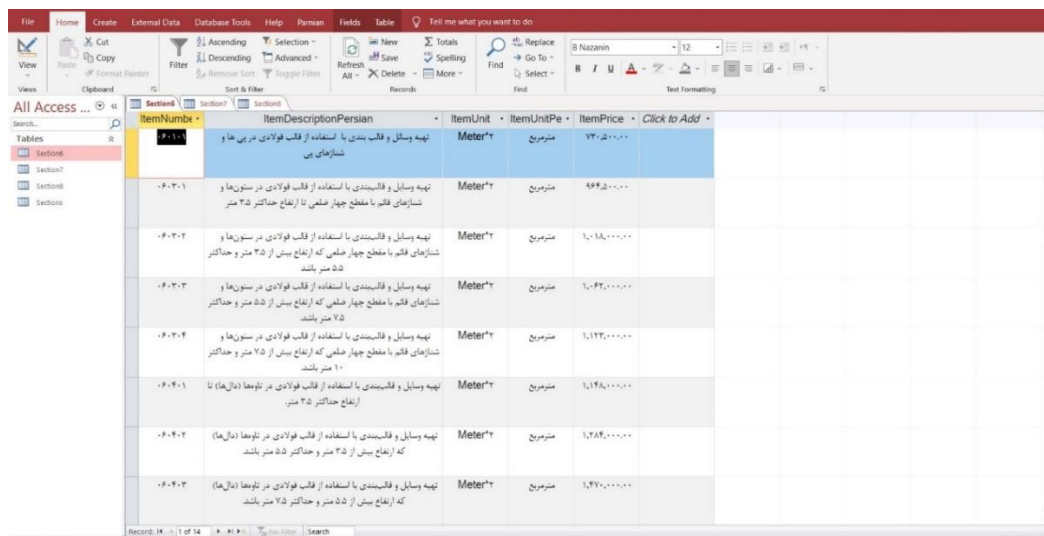


شکل شماره ۱: تصویری از مدل نمونه ساخته شده در نرم‌افزار Revit

استفاده از پایگاه داده جهت ایجاد فضایی برای ذخیره اطلاعات مربوط به فصول و آیتم‌های فهرست بها در نرم‌افزارهای مختلف رایج است. بطور مثال در نرم‌افزارهای مربوط به تهیه صورت وضعیت و یا برآورد مانند تکسا و یا تدبیر از همین شیوه جهت ذخیره سازی اطلاعات مربوط به فهرست بها استفاده می‌شود. در این پژوهش از پایگاه داده ایجاد شده در نرم‌افزار Access جهت ذخیره سازی اطلاعات مربوط به فصول مختلف فهرست بهای ابنیه ۱۴۰۰ استفاده شده است. یکی از ویژگی‌های استفاده از پایگاه داده امکان گسترش آن با توجه به فراخر استفاده است. به این صورت که میتوان در ابتدا با چند بخش کوچک پایگاه داده ساخته و در ادامه گسترش یابد. با توجه به نوع سازه در این مطالعه موردی تنها به ذخیره سازی اطلاعات و آیتم‌های مربوط به فصول ششم (قالب بندی فولادی)، هفتم (کارهای فولادی با میلگرد) و هشتم (بتن درجا) اکتفا شده است (شکل شماره ۲) ولی تکمیل پایگاه داده برای باقی فصول بنا به فراخر مدل کاملاً میسر است.



چهارمین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساخت



ItemNumber	ItemDescriptionPersian	ItemUnit	ItemUnitPe	ItemPrice	Click to Add
۰۶۰۳۰۱	تهیه وسایل و قالب بندی با استفاده از قالب فولادی در ستون ها و ششای قائم با مقطع چهار ضلعی تا ارتفاع حداکثر ۳.۵ متر	Meter ^۲	مترمربع	۷۳,۵۰۰,۰۰۰	
۰۶۰۳۰۲	تهیه وسایل و قالب بندی با استفاده از قالب فولادی در ستون ها و ششای قائم با مقطع چهار ضلعی که ارتفاع بیش از ۳.۵ متر و حداکثر ۵.۵ متر باشد	Meter ^۲	مترمربع	۱,۰۱۸,۰۰۰,۰۰۰	
۰۶۰۳۰۳	تهیه وسایل و قالب بندی با استفاده از قالب فولادی در ستون ها و ششای قائم با مقطع چهار ضلعی که ارتفاع بیش از ۵.۵ متر و حداکثر ۷.۵ متر باشد	Meter ^۲	مترمربع	۱,۰۴۲,۰۰۰,۰۰۰	
۰۶۰۳۰۴	تهیه وسایل و قالب بندی با استفاده از قالب فولادی در ستون ها و ششای قائم با مقطع چهار ضلعی که ارتفاع بیش از ۷.۵ متر و حداکثر ۱۰ متر باشد	Meter ^۲	مترمربع	۱,۱۲۳,۰۰۰,۰۰۰	
۰۶۰۴۰۱	تهیه وسایل و قالب بندی با استفاده از قالب فولادی در تونلها (دالها) تا ارتفاع حداکثر ۳.۵ متر	Meter ^۲	مترمربع	۱,۱۴۸,۰۰۰,۰۰۰	
۰۶۰۴۰۲	تهیه وسایل و قالب بندی با استفاده از قالب فولادی در تونلها (دالها) که ارتفاع بیش از ۳.۵ متر و حداکثر ۵.۵ متر باشد	Meter ^۲	مترمربع	۱,۲۸۰,۰۰۰,۰۰۰	
۰۶۰۴۰۳	تهیه وسایل و قالب بندی با استفاده از قالب فولادی در تونلها (دالها) که ارتفاع بیش از ۵.۵ متر و حداکثر ۷.۵ متر باشد	Meter ^۲	مترمربع	۱,۴۲۰,۰۰۰,۰۰۰	

شکل شماره ۲: تصویری از پایگاه داده نمونه ساخته شده در نرم افزار Access

برای قسمت اصلی که ایجاد رابط کاربری و API جهت ارتباط مدل سه بعدی ساخته شده و آیتم های فهرست بها است، از فضای کد نویسی VB.Net استفاده شده و افزونه ای برای برنامه Navisworks نوشته شده است که بصورت کاملا خودکار متره و برآورد قسمت مورد نظر کاربر را محاسبه کرده و برای کاربر این امکان را فراهم میکند تا با انتخاب هر قسمت (یک و یا چند عضو) در سازه و اجرا کردن API به صورت کاملا خودکار به متره و برآورد قسمت مورد نظر دسترسی داشته باشد. برای کدنویسی این افزونه، از یک بدنه اصلی و چندین زیر مجموعه استفاده شده است. در بدنه اصلی شرایط کلی بررسی شده و هر زیربخش مربوط به یکی از فصول فهرست بها می شود که در آن آیتم های مربوط به عضو انتخاب شده محاسبه می شود. در بدنه اصلی با استفاده از مشخصات اصلی هر عضو مانند جنس مصالح سازنده، زیربخش های مربوطه به آن فراخوانی می شوند. بطور مثال: اگر جنس عضو از بتن باشد زیربخش های مربوط به فصول قالب بندی و بتن ریزی فراخوانی می شود.

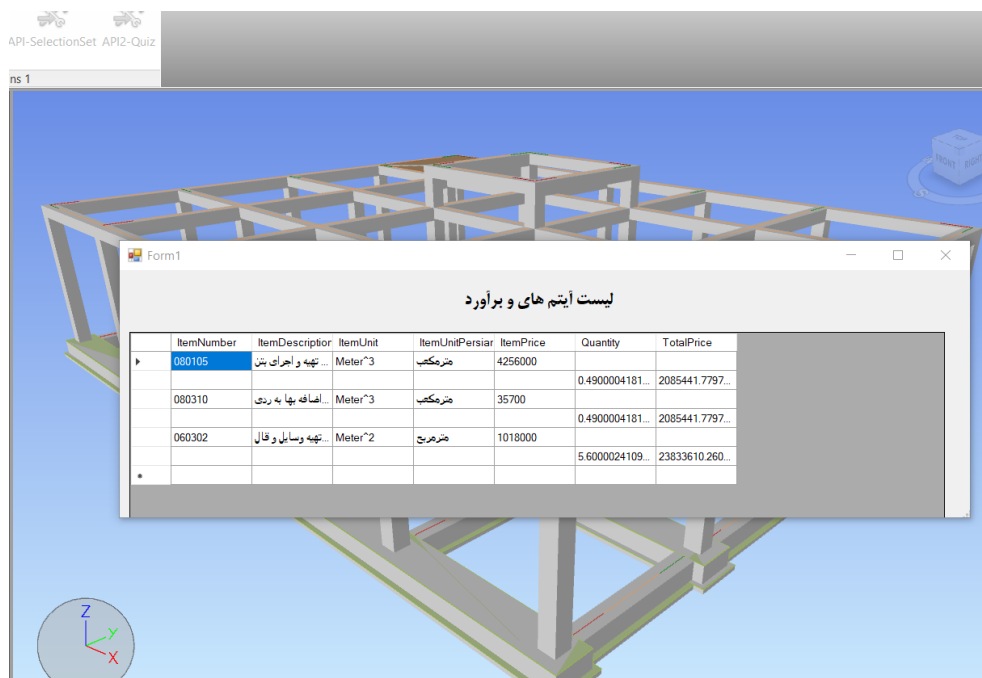
در فرآیند کدنویسی هر زیربخش با توجه به شرح آیتم های فهرست بها و همچنین با توجه به اطلاعات قابل حصول از مدل سه بعدی ساخته شده نیاز به استفاده از روش هایی داریم که بتوانیم آیتم ها مربوطه را شناسایی کنیم. در ادامه به چند مورد از این پیچیدگی ها و روش های حل آن اشاره خواهیم کرد.

۱- یکی از پیچیدگی های برآورد اعضا با استفاده از فهرست بها به صورت خودکار با آن روبرو هستیم، تطبیق آیتم های مربوط به اضافه بها و یا کسر بها است. یک راهکار در این موارد می تواند استفاده از صفحات ارتباط با کاربر و در واقع پرسش از خود کاربر باشد. در این صورت خود کاربر باید تشخیص دهد که اضافه بها مربوطه به عضو تعلق میگیرد و یا خیر. نمونه این موارد آیتم شماره ۰۸۰۱۱۱ مربوط به اضافه بها استفاده از سنگ شکسته کوهی است که بدون دخالت کاربر و یا تعریف خانواده ای از مصالح با توجه به شرح آیتم های فهرست بها در برنامه ساخت مدل سه بعدی، نمی توان با توجه به مشخصات مدل آن را محاسبه کرد. در برخی موارد می توان از راهکارهای خودکار برای تشخیص این آیتم ها استفاده کرد. بطور مثال در مورد آیتم شماره ۰۸۰۳۱۰ مربوط به استفاده از ردیف های بتن ریزی در صورت استفاده در بتن مسلح، می توان با توجه به Bounding

Box عضو نتخاب شده و همچنین جستجوی آن محدوده برای پیدا کردن هرگونه آرماتور و یا خاموت، تعلق گرفتن و یا نگرفتن آیتم مربوطه را به صورت خودکار بررسی کرد.

۲- یکی دیگر از این پیچیدگی ها محاسبه ارتفاع اعضا از روی کف طبقه متناظر است که برای آیتم های قالب بندی تیر ها و تاوه ها به آن نیاز داریم. در این موارد می توان با پیدا کردن شماره طبقه عضو مربوطه و محاسبه ارتفاع طبقه زیرین آن، به اندازه گیری ارتفاع عضو از کف متناظر مبادرت ورزید.

ایجاد راه حل برای اینگونه پیچیدگی ها بدون استفاده از API ها و تنها با استفاده از قابلیت های نرم افزار ها تقریباً غیر ممکن است و به همین سبب استفاده از API ها تنها راه ایجاد ارتباط بین مدل سه بعدی و ریدف های فهرست بها می باشد. در قدم انتهایی با ایجاد ارتباط بین کد نوشته شده و همچنین پایگاه داده، اطلاعات مربوط به ریدف بهرست بها استخراج شده و با استفاده از ابعاد و احجام هر عضو که توسط API از مدل استخراج می شود میتوان به لیست متره و برآورد آن قسمت دسترسی داشت. در شکل شماره ۳ نمونه خروجی برنامه قابل مشاهده است.



شکل شماره ۳: تصویری از خروجی متره و برآورد برای یک عضو انتخابی

۴- استفاده از روش های یادگیری ماشین:

هوش مصنوعی در حال ایجاد تغییرات رادیکال در بسیاری از فعالیت هایی است که به طور سنتی توسط انسان انجام می شود (Rics، ۲۰۱۷). یادگیری ماشین یکی از مجموعه های هوش مصنوعی می باشد که بر ایجاد الگوریتم ها و یا برنامه هایی



چهارمین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساخت

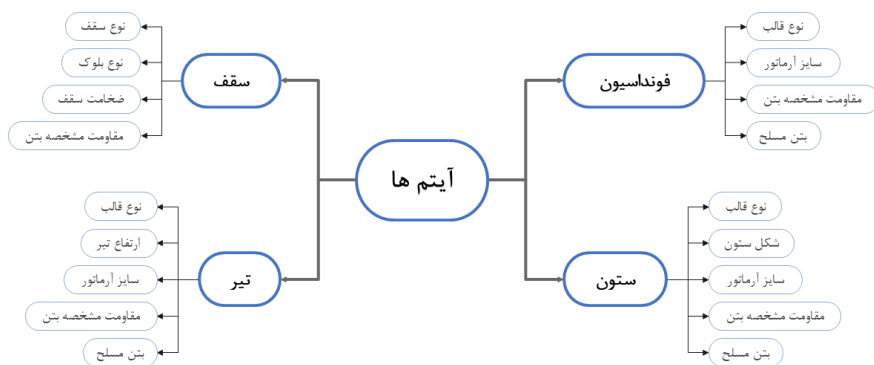
تمرکز دارد که سیستم های محاسباتی را قادر می سازد تا از داده ها به صورت خودکار یاد بگیرند. یک سیستم یادگیری ماشین به طور معمول دارای سه مولفه اصلی داده ها، مدل ها، و یادگیری است (میچل و مک گرا، ۱۹۹۷). الگوریتم درخت تصمیم یکی از رویکردهای مدل سازی پیش بینی کننده ای است که در آمار، داده کاوی و یادگیری ماشین مورد استفاده قرار می گیرد. از یک درخت تصمیم برای رفتن از مشاهدات در مورد یک آیتم به نتیجه گیری در مورد ارزش هدف آیتم یا دسته آن استفاده می کنند (وو و همکاران، ۲۰۰۸).

استفاده از الگوریتم درخت تصمیم در یادگیری ماشین برای ما این امکان را فراهم خواهد ساخت تا بتوان ساختارهای دارای شرط های تودرتو را که در کدنویسی برای طبقه بندی اشیاء مورد استفاده قرار می گیرد با دستورات ساده تر جایگزین نماییم که این امر موجب انعطاف پذیری بیشتر و کاهش حجم کار خواهد گردید اما لازمی استفاده از این الگوریتم وجود نمونه هایی جهت آموزش آن می باشد. در این پژوهش از الگوریتم درخت تصمیم با هدف تعیین دسته اشیاء موجود در مدل های BIM و همچنین تعیین قیمت واحد آنها استفاده شده است. برای استفاده از این الگوریتم از زبان برنامه نویسی پایتون و کتابخانه scikit-learn بهره گرفته شده. جهت استفاده از این الگوریتم نیاز به ایجاد نمونه هایی متناسب با فهرست بها وجود دارد اما یکی از چالش های موجود در ایجاد نمونه ها، آیتم های موجود در فهرست بها می باشند زیرا آیتم های موجود در فهرست بها دارای دو گروه آیتم های شیء محور و آیتم های فعالیت محور می باشند که با توجه به این موضوع نیاز است نمونه های ایجاد شده شامل هزینه های مربوط به هر دو گروه آیتم ها باشند. به این منظور جهت مطالعه موردی بانک اطلاعاتی از اشیاء مرتبط با اسکلت بتنی یک ساختمان (مانند ستون، تیر و فونداسیون) ایجاد گردید که شامل تمامی حالات معرفی شده در فهرست بها برای آن شیء و ویژگی های تعیین کننده آن می باشد و هر نمونه دارای یک برچسب قیمت واحد می باشد. برای مثال در شکل شماره ۴ آیتم های مربوط به یک ستون بتنی قابل مشاهده است که بر اساس مشخصه هایی همچون مقاومت مشخصه، قطر آرماتور و مقطع ستون تعیین میگردند و با تغییر در هر یک از این ویژگی ها نمونه ای دیگر با شماره آیتم های متفاوت از نمونه قبل ساخته می شود و در نهایت برای هر نمونه قیمت واحد آن بر اساس شماره آیتم های مرتبط تعیین می گردد.



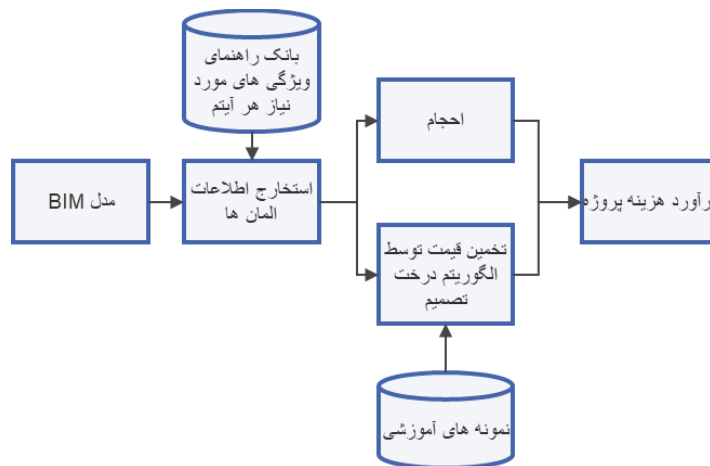
شکل شماره ۴: آیتم های تعیین کننده قیمت واحد ستون بتنی

ویژگی های تعیین کننده برای هر گروه از اشیاء که بر اساس آن نمونه های آموزشی ایجاد گردیده و برای ایجاد تخمین به مقادیر مربوط به آن ویژگی ها نیاز است با دیگر اشیاء متفاوت می باشد. به عنوان مثال ویژگی های تعیین کننده برای چهار گروه در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. از این رو نیاز به ایجاد API متناسب با نمونه های ایجاد شده در مرحله قبل جهت استخراج اطلاعات از مدل BIM وجود دارد. اما با توجه به تعداد قابل توجه اشیاء موجود در فهرست بها ایجاد مجموعه کد برای هر شیء فرآیندی زمانبر خواهد بود به همین دلیل API ایجاد شده به گونه ای است که اطلاعات هر المان را بر اساس ویژگی های معرفی شده در بانک اطلاعاتی استخراج می نماید و برای معرفی اشیاء جدید نیازی به تغییر در کد API وجود ندارد و صرفاً ثبت گروه پارامترهای تعیین کننده و نام آن آنها در جداول راهنمای موجود در دیتابیس کافی می باشد.



شکل شماره ۵: ویژگی های تعیین کننده اجزای سازه بتنی

در نهایت با توجه به تخمین قیمت واحد ارایه شده توسط الگوریتم درخت تصمیم و احجام استخراج شده به کمک API هزینه پروژه به صورت کل و همچنین به تفکیک هر دسته از المان ها ارایه می گردد و در شکل شماره ۶ روند کار روش معرفی شده ارایه گردیده است.



شکل شماره ۶: روند استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین برای برآورد هزینه پروژه

۵- استفاده از اطلاعات موجود در فایل های IFC:

فرمت IFC، به عنوان جامع ترین و محبوب ترین فرمت تبادل داده های BIM در صنعت ساخت شناخته میشوند که یک استاندارد تبادل اطلاعات عمومی برای BIM میباشند و توسط بسیاری از نرم افزار BIM در صنعت AEC پشتیبانی می شوند (گروگر و همکاران، ۲۰۱۲ و دنگ و چنگ، ۲۰۱۶).

بزرگترین مزیت فایل های IFC پشتیبانی اکثر نرم افزارهای مدلسازی BIM از آنها می باشد و در صورت ایجاد مدلی جهت استخراج اطلاعات از فایل های IFC برای متره و برآورد پروژه ها، امکان استفاده از مدل های ساخته شده در اکثر نرم افزارها برای انجام برآورد ایجاد خواهد شد. از مهمترین چالش های موجود در استفاده از اطلاعات موجود در فایل های IFC میتوان به دو چالش از دست رفتن اطلاعات و فقدان ابزارهای قدرتمند متن باز (Open Source) اشاره نمود. به هنگام تبدیل مدل های BIM ساخته شده در نرم افزارها به فرمت های IFC موجود و بالعکس، گاهی بخشی از اطلاعات موجود در مدل ها به درستی تبدیل نشده و یا از بین می روند که این موضوع موجب نقص در برآورد نهایی خواهد شد. همچنین ابزارهای متن باز موجود برای استخراج اطلاعات از فایل های IFC مانند کتابخانه IfcOpenShell که برای زبان برنامه نویسی پایتون ساخته شده است امکانات زیادی جهت استخراج و پردازش اطلاعات در اختیار کاربران قرار نمی دهند. به عنوان مثال برای محاسبه احجام و ساخت مدل های سه بعدی به کمک فایل های IFC نیاز است تا اطلاعات هندسی المان ها به صورت نقاط در فضای سه بعدی استخراج شده و مجدداً به کمک محاسبات ریاضی اشکال هندسی و موقعیت آن ها تعیین گردد. با وجود چالش های ذکر شده باید بیان داشت که فایل های IFC اطلاعات غنی از مدل های BIM را در خود جای می دهند که برای انجام بسیاری از امور کافی می باشد. اطلاعات موجود در فایل های IFC به صورت سطریهایی از رشته ها می باشد که هر رشته براساس داده ذخیره شده در آن از قالب نگارش مشخصی پیروی می کند و تمامی داده ها در ارجاع و ارتباط با یکدیگر ذخیره می گردند و برای یافتن داده های مربوط به هر المان نیاز است تا ارجاعات موجود در رشته ها به صورت رفت و برگشت جستجو شود.

در این پژوهش به کمک زبان برنامه نویسی پایتون و کتابخانه IfcOpenShell برنامه‌ای نوشته شد که به کمک آن می‌توان اطلاعات مربوط به ویژگی‌ها (مانند جنس مصالح و مقاومت مشخصه) و مقادیر (مانند وزن و قطر) را صرفاً با تعیین کلاس اشیاء مورد نظر استخراج نمود. ویژگی‌های مربوط به المان‌ها در فایل‌های IFC به صورت IfcPropertySet و مقادیر نیز به صورت IfcElementQuantity ذخیره می‌گردند و برای یافتن آن‌ها نیاز است تا تمامی ارتباطاتی که به صورت IfcRelDefinesByProperties برای شیء مورد نظر تعریف شده اند بررسی شده و در صورتی که روابط به ویژگی یا مقادیر ختم شوند آن‌ها را ذخیره نمود. دستورات لازم جهت استخراج داده‌های ذکر شده برای ستون‌ها به کمک زبان برنامه نویسی پایتون و کتابخانه IfcOpenShell در شکل شماره ۷ درج شده است. برنامه ایجاد شده در نهایت اطلاعات استخراج شده را به صورت فایل اکسل به کاربر ارائه می‌نماید که در صورت نیاز می‌توان برنامه ایجاد شده را به روش‌های آرایه شده در مراحل قبل متصل نموده و متره و برآورد را به کمک آن‌ها انجام داد اما با توجه به نقایص در داده‌های موجود در فایل IFC ممکن است برآورد نهایی از دقت کافی برخوردار نباشد.

```
import ifcopenshell
ifc = ifcopenshell.open('file path.ifc')
columns = ifc.by_type('IfcColumn')
lstC = []
c1 = 1
for column in columns:
    lstC.append("C" + str(c1))
    c1 = c1 + 1
    for z in column.IsDefinedBy:
        if z.is_a("IfcRelDefinesByProperties"):
            c = z.RelatingPropertyDefinition
            if c.is_a("IfcElementQuantity"):
                tmp1 = c.Quantities
                for p in tmp1:
                    lstC.append(p.get_info())
            if c.is_a("IfcPropertySet"):
                tmp2 = c.HasProperties
                for m in tmp2:
                    lstC.append(m.get_info())
```

شکل شماره ۷: دستورات لازم جهت استخراج داده‌های ستون‌ها از فایل IFC

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان یکی از جدیدترین شیوه‌ها در مدیریت ساخت و سازها می‌باشد. استفاده از این تکنولوژی در فرآیند متره و برآورد هزینه ساختمان می‌تواند به افزایش دقت و سرعت این فرآیند کمک شایانی نماید. علیرغم پژوهش‌های بسیاری که در این راستا در اکثر نقاط دنیا شکل گرفته، به دلیل تفاوت ماهوی ردیف‌های فهرست‌آحاد بها مورد استفاده در کشور و استاندارد‌های بین‌المللی، این حوزه در کشور مورد توجه قرار نگرفته است. به همین سبب پژوهش حاضر تلاش می‌کند شیوه‌ها و روش‌های مختلف جهت برآورد هزینه ساخت مبتنی بر مدل‌های BIM را بررسی و مقایسه کرد و نقاط ضعف و قوت هر کدام را مشخص نماید.

استفاده از API‌ها یکی از روش‌هاییست که می‌توان قابلیت‌های نرم‌افزارهای مرتبط با BIM را با توجه به مقصود و اهداف خود تغییر داد. با توجه به قابلیت‌های گسترده API‌ها، استفاده از آن‌ها برای برآورد هزینه ساخت با توجه به فهرست



چهارمین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساخت

آحاد بها می تواند یکی از اولین گزینه ها باشد. در این پژوهش API و پایگاه داده ای ساخته شده که کاربر به راحتی می تواند با استفاده از مدل سه بعدی در نرم افزار Navisworks برآورد ردیف ها و تخمین هزینه اسکلت یه سازه را محاسبه نماید. از جمله مزیت های این روش، سرعت بالا و عدم نیاز دخالت کاربر در تعیین ردیف های مربوطه است. البته باید توجه داشت که ایجاد تغییر در معماری برنامه با توجه به حجم بالای کدنویسی لازم، نیاز به تغییرات کلی است.

روش دوم مورد استفاده در این پژوهش، استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین می باشد. در این شیوه با استفاده از یک افزونه تمامی اطلاعات مدل در یک پایگاه داده ذخیره شده و مدل ساخته شده با استفاده از داده های آموزشی که در اختیار دارد اقدام به برآورد هزینه می نماید. از مزیت های این روش، عدم نیاز به کدنویسی زیاد و عدم نیاز به ایجاد تغییر در معماری برنامه جهت انجام تغییرات است. همچنین استفاده از این روش برای تخمین هزینه کلی بدون توجه و نیاز به ردیف های مربوطه می تواند گزینه مطلوب تری محسوب شود.

روش آخر استفاده از فایل های استاندارد IFC است. اخیراً این روش با توجه به کاربردهای بسیاری که در ارتباط دادن بین نرم افزارهای مختلف مبتنی بر BIM دارد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. البته با توجه به این نکته که تمامی اطلاعات مورد نیاز در این فایل ها به راحتی قابل دسترسی نبوده و همچنین در دسترس نبودن فایل های و کتابخانه های آموزشی زیاد، در این مرحله استفاده از این روش نمی تواند گزینه مطلوبی و راحتی ارزیابی شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند که مراتب قدردانی خود را از زحمات و توجهات جناب آقای دکتر تقدس که با راهنمایی ها و رهنمودهای خود موجبات انجام این پژوهش را فراهم نمودند، اعلام نمایند.

منابع و مراجع:

1. Abanda, F.H., Kamsu-foguem, B. and Tah, J.H.M. (2015), "Towards an intelligent ontology construction cost estimation System: using BIM and new rules of measurement techniques", International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering, Vol. 9 No. 1, pp. 294-299.
2. Azhar, S. (2011), "Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry", Leadership and Management in Engineering, Vol. 11 No. 3, pp. 241-252.
3. Cha, H.S. and Lee, D.G. (2014), "A case study of time/cost analysis for aged-housing renovation using a pre-made BIM database structure", KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 19 No. 4, pp. 841-852.
4. Deng, Y.; Cheng, J.C.; Anumba, C. Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. Autom. Constr. 2016, 67, 1-21.
5. Elfaki, A.O., Alatawi, S. and Abushandi, E. (2014), "Using intelligent techniques in construction project cost Estimation: 10-year survey", Advances in Civil Engineering, Vol. 2014, doi: 10.1155/2014/107926.



6. Fazeli, A., Dashti, M.S., Jalaei, F. and Khanzadi, M. (2020), "An integrated BIM-based approach for cost estimation in construction projects", *Engineering, Construction and Architectural Management*, <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2020-0027>
7. Gröger, G.; Kolbe, T.; Nagel, C.; Häfele, K. OGC City Geography Markup Language (Citygml) Encoding Standard v2. 0. OGC Doc, 12-019; Open Geospatial Consortium: Wayland, MA, USA, 2012.
8. IBM. (2016). Innovation in the API economy: Building winning experiences and new capabilities to compete.
9. Jrade, A. and Alkass, S. (2007), "Computer-integrated system for estimating the costs of building projects", *Journal of Architectural Engineering*, Vol. 13, pp. 205-223.
10. Karshenas, S. (2005), "Cost estimating in the age of 3-D CAD software and object databases", *Construction Research Congress 2005*, American Society of Civil Engineers, San Diego, California, pp. 1-8.
11. Khosakitchalert, C., Yabuki, N. and Fukuda, T. (2019), "Improving the accuracy of BIM-based quantity takeoff for compound elements", *Automation in Construction*, Vol. 106, p. 102891.
12. Khosakitchalert, C., Yabuki, N. and Fukuda, T. (2020), "Automated modification of compound elements for accurate BIM-based quantity takeoff", *Automation in Construction*, Vol. 113, p. 103142.
13. Kim, S., Chin, S. and Kwon, S. (2019), "A discrepancy analysis of BIM-based quantity take-off for building interior components", *Journal of Management in Engineering*, Vol. 35 No. 3, 05019001.
14. Koseoglu, O., Sakin, M. and Arayici, Y. (2018), "Exploring the BIM and lean synergies in the Istanbul Grand Airport construction project", *Engineering Construction and Architectural Management*, Vol. 25 No. 10, pp. 1339-1354.
15. Lawrence, M., Pottinger, R., Staub-French, S. and Nepal, M.P. (2014), "Creating flexible mappings between Building Information Models and cost information", *Automation in Construction*, Vol. 45, pp. 107-118.
16. Lee, G., Park, H.K. and Won, J.S. (2012), "3D City project-Economic impact of BIM-assisted design validation", *Automation in Construction*, Vol. 22, pp. 577-586.
17. Lee, S., Kim, K. and Yu, J. (2013), "BIM and ontology-based approach for building cost estimation", *Automation in Construction*, Elsevier B.V., Vol. 41, pp. 96-105.
18. Liu, H., Lu, M. and Al-hussein, M. (2016), "Ontology-based semantic approach for construction-oriented quantity take-off from BIM models in the light-frame building industry", *Advanced Engineering Informatics*, Elsevier, Vol. 30 No. 2, pp. 190-207.
19. Ma, Z., Wei, Z. and Zhang, X. (2013), "Semi-automatic and specification-compliant cost estimation for tendering of building projects based on IFC data of design model", *Automation in Construction*, Vol. 30, pp. 126-135.
20. Ma, Z., Liu, Z. and Wei, Z. (2016), "Formalized representation of specifications for construction cost estimation by using ontology", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 31 No. 1, pp. 4-17.
21. Manikas, K. (2016). Revisiting software ecosystems Research: A longitudinal literature study. *Journal of Systems and Software*, 117, 84–103. doi:10.1016/j.jss.2016.02.003.



22. Manikas, K., and Hansen, K. (2013). Software ecosystems – A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 86(5), 1294–1306. doi:10.1016/j.jss.2012.12.026.
23. foeda, J., and Boateng, R., and Effah, J., (2019). Application Programming Interface (API) Research: A Review of the Past to Inform the Future. *International Journal of Enterprise Information Systems*. Volume 15. Issue 3. July-September 2019.
24. Rajabi, M., Bigga, T. and Bartl, M.A. (2015), “Cloud based BIM solution for tender estimation regarding mechanical electrical and plumbing (MEP) trades”, 5th International/11th Construction Specialty Conference, Vancouver, British Columbia.
25. Rics (2017), “The future of valuations”, available at: <https://www.rics.org/globalassets/rics-website/media/knowledge/research/insights/future-of-valuations-insights-paper-rics.pdf> (accessed 4 December 2019).
26. Sabol, L. (2008), *Challenges in Cost Estimating with Building Information Modeling, Design and Construction Strategies*, LLC, Washington, DC, available at: <http://www.dcstrategies.net>.
27. Shen, Z. and Issa, R.R.A. (2010), “Quantitative evaluation of the BIM-assisted construction detailed cost estimates”, *Journal of Information Technology in Construction*, Vol. 15, pp. 234-257.
28. T. Mitchell, *Machine Learning*, McGraw-Hill, 1997.
29. Wu, S., Wood, G., Ginige, K. and Jong, S.W. (2014), “A technical review of bim based cost estimating in UK quantity surveying practice, standards and tools”, *Journal of Information Technology in Construction*, Vol. 19, pp. 534-562.
30. Wu, X., Kumar, V., Ross Quinlan, J. et al. Top 10 algorithms in data mining. *Knowl Inf Syst* 14, 1–37 (2008).
31. Xu, S., Liu, K., Tang, L.C.M. and Li, W. (2016), “A framework for integrating syntax, semantics and pragmatics for computer-aided professional practice: with application of costing in construction industry”, *Computers in Industry*, Elsevier B.V., Vol. 83, pp. 28-45.
32. Zhiliang, M., Zhenhua, W., Wu, S. and Zhe, L. (2011), “Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China”, *Automation in Construction*, Elsevier B.V., Vol. 20 No. 2, pp. 196-204.



Analyzing different methodologies for BIM-based cost estimation

Abstract

One of the first steps in any construction project construction costs estimation. This step, which can have a significant impact on the continuation of the project process, traditionally is done by estimation experts using two-dimensional drawings. The use of 3D models and BIM-based models can help to improve the accuracy and speed up the execution of this step. For this reason, in this study, three common methods among BIM specialists, which include the use of plugins, the use of machine learning and also the use of IFC files have been studied and compared. The result of this study shows that according to the purpose of user, each of these methods can have advantages and drawbacks that are addressed in a related way. This research can be of great help to researchers and practitioners in this field of construction in choosing the methodology of their work. This research also shows that using BIM-based methods could be a good replacement for oldfashioned ways of cost estimation and quantity takeoffs.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Cost estimation, Fehrest Baha, API, Machine learning, IFC

Meghdad Mohammadian*, Amir Shahbazi