مهندسی عمران شریف (زمستان ۱۳۹۷)
دوره‌ی ۲ - ۳۴، شماره‌ی ۴/۱، ص. ۱۴۵-۱۵۲، (یادداشت فنی)

Research Note

بررسی دقت متره و برآورد در نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

عرفان شفقت (مربی)
دانشکده‌ی فنی، دانشگاه مهر اراک
حسین تقدس * (استادیار)
بهنام شرافت (دانشجوی کارشناسی ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه تهران

متره و برآورد مصالح در پروژه‌های ساختمانی، اهمیت زیادی دارد. شرکت‌ها قبل از شروع به فعالیت در پروژه و در حین پیشبرد آن مایل‌اند که میزان مصالح موردنیاز پروژه را برای شرکت در مناقصه‌ها و خرید مصالح با دقت پیش‌بینی کنند. از این‌رو استفاده از نرم‌افزارهای مختلف مدل‌سازی اطلاعات ساختمان جهت متره و برآورد مصالح و سایر کاربردهای مهندسی و مدیریت ساخت به تازگی مورد توجه ذی‌نفعان پروژه‌ها قرارگرفته است. از پرکاربردترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌توان از Autodesk Revit و Tekla Structure به منظور مدل‌سازی و نیز از Autodesk Navisworks Manage جهت مدیریت سایت نام برد. در پژوهش حاضر، دقت متره و برآورد خودکار مصالح با استفاده از نرم‌افزارهای مذکور بررسی شده است. بدین منظور، ابتدا المان‌های فلزی و بتنی از طریق نرم‌افزار Revit و افزونه‌ی آن و سپس یک سازه‌ی بتنی و فلزی در دو نرم‌افزار Tekla و Revit بررسی شده‌اند. درنهایت، نقاط ضعف هر یک از نرم‌افزارهای ذکرشده مشخص و پیشنهادهایی برای ارتقاء فرایند متره و برآورد مصالح مطرح شده است.

واژگان کلیدی: مدیریت ساخت، متره و برآورد، تخمین مصالح، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان.

e.shafaghat@ihemehr.ac.ir
htaghaddos@ut.ac.ir
sherafat@ut.ac.ir

۱. مقدمه

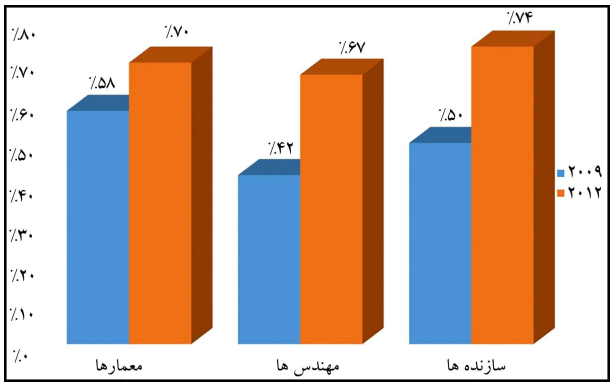
اصطلاح مدل ساختمان (BM)[1] اولین بار در سال ۱۹۸۶ ارائه شد، اما مفهوم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)[2] در دهه‌ی گذشته توسط شرکت Autodesk متداول شد.[۱و۲] طبق برخی نظریه‌ها، BIM از رقابت بین طراحان سامانه‌های نرم‌افزاری در کشورهای شرق اروپا، اتحادیه‌ی جماهیر شوروی و کشور آمریکا برای مهندسان معمار به‌وجود آمده است. مفهوم BIM برای ارائه‌ی راه‌حلی جهت رفع مشکلات نرم‌افزاری در طراحی‌های دو بُعدی که با نرم‌افزارهای طراحی رایانه‌محور (CAD)[3] صورت می‌گرفت، ارائه شد. شکل ۱، میزان گرایش و پیشرفت، استقبال معماران، مهندسان، و پیمانکاران از BIM را نشان می‌دهد که میزان استقبال بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ به ترتیب ۲۴٪، ۲۵٪ و ۱۲٪ افزایش پیدا کرده است.[۳]

BIM یک متدولوژی برای طراحی و مدیریت خودکار اطلاعات مبتنی بر یک مدل مجازی از ساختمان است که برخی از مفیدترین نرم‌افزارهای موجود در صنعت معماری ـ مهندسی ـ ساخت (AEC)[4] از آن پشتیبانی می‌کنند. نرم‌افزارهای پشتیبان BIM، داده‌های موردنیاز در چرخه‌ی حیات سازه (طراحی، ساخت و نگهداری) را به صورت خودکار یا نیمه خودکار به مدل متصل می‌کنند تا اطلاعات مفیدی را در اختیار ذی‌نفعان پروژه قرار دهد.[۴و۵] در سال‌های اخیر، BIM در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، تأثیر به‌سزایی گذاشته است. به‌عنوان نمونه، از سال ۲۰۱۶ مدل‌سازی BIM در تمامی پروژه‌های دولتی بریتانیا و دبی الزامی شده است. بسیاری از کشورهای دیگر، همچون آمریکا، کشورهای اسکاندیناوی (هلند، دانمارک، فنلاند و نروژ) و سنگاپور ملزم به رعایت اصول BIM در پروژه‌های با بودجه‌ی دولتی هستند. کشور ژاپن نیز استفاده‌ی قابل توجهی از اصول BIM در مدیریت زنجیره‌ی تأمین، رباتیک مدل‌محور، و فعالیت‌های پس از ساخت دارد.[۶]

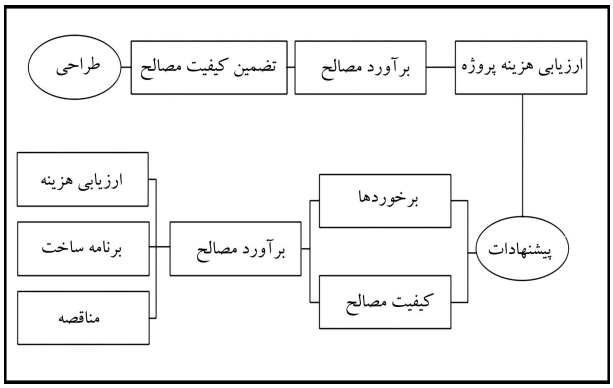
نحوه‌ی کاربرد BIM در طول یک پروژه به این شرح است: ۱. در مراحل اولیه جهت مطالعات امکان‌سنجی، ساخت‌پذیری، برنامه‌ریزی و برآورد هزینه‌ی پروژه؛ ۲. در مرحله‌ی مناقصه و قبل از شروع به ساخت جهت برنامه‌ریزی و برآورد هزینه‌ی دقیق‌تر و ۳. در طول ساخت و ساز جهت کنترل پروژه، ارتقاء هماهنگی‌ها و ایمنی درکارگاه استفاده می‌شود.

از جمله چالش‌های BIM می‌توان دشواری مدیریت حقوق معنوی و نحوه‌ی

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۸/۲۵، اصلاحیه ۱۳۹۵/۱۱/۲۳، پذیرش ۱۳۹۵/۱۲/۱۵.
DOI:10.24200/J30.2019.1437



شکل ۱. مقایسه‌ی استفاده‌کنندگان BIM بین سال‌های ۲۰۰۹ الی ۲۰۱۲.[۳]



شکل ۲. ارتباط تخمین هزینه با دیگر وظایف عمده در چرخه‌ی حیات پروژه.[۹]

سازمان‌دهی اطلاعات در طول چرخه‌ی حیات سازه را نام برد. لیکن مزایای BIM، از جمله: رسم دقیق مدل، اصلاح سریع و استفاده‌ی مجدد از اطلاعات، خودکارسازی و کنترل هزینه در طول چرخه‌ی حیات سازه، خدمات بهتر به خریداران و کاهش هزینه‌ی ساخت قابل ملاحظه است.[۶] از مزایای خودکارسازی در BIM برای مدیران پروژه و ساخت، می‌توان به سامان‌دهی برنامه‌ی زمانی، هزینه‌ی پروژه و ارتباط آن با تیم طراحی نام برد.[۷] نرم‌افزارهای مختلف پشتیبان BIM، وظایف خاص منحصر به خود را عهده‌دار هستند. به‌عنوان مثال از Autodesk Revit (۲۰۱۶) و یا Tekla Structure (۲۰۱۶) برای طراحی و مدل‌سازی و از نرم‌افزار Autodesk Navisworks Manage (۲۰۱۶) برای رندر کردن[۵]، ساخت مدل چهاربُعدی و پیمایش در مدل استفاده می‌شود. ارتباط نرم‌افزارهای مذکور به یکی از این دو صورت ممکن است: ۱. یک نرم‌افزار قادر به ورودی گرفتن از فرمت نرم‌افزار دیگر باشد که مستقیماً ارتباط بین آن‌ها برقرار می‌شود، ۲. در صورت اینکه نرم‌افزارها از فرمت‌های متفاوتی استفاده کنند، عمل جابه‌جایی با تبدیل داده‌ها به فرمت رایج کلاس‌های بنیادین صنعت (IFC)[۶] انجام می‌شود.[۸]

IFC یک ساختمان داده‌ی استاندارد موقت برای تعریف، طبقه‌بندی و سازمان‌دهی داده‌های AEC است که با وجود طیف گسترده‌یی از برنامه‌های کاربردی در زمینه‌ی BIM، نمی‌توان برنامه‌یی را پیدا کرد که داده‌های IFC نرم‌افزار دیگر را بدون تغییر و یا حذف بخواند.[۸] برآورد هزینه، یکی از وظایف کلیدی صنعت ساخت و ساز است، چرا که اساس چند وظیفه‌ی دیگر است. ابتدا عناصر ساختمان اندازه‌گیری و سپس مقادیر مذکور در برآورد هزینه و حجم‌کاری مرتبط با آن‌ها به‌کار می‌رود. تخمین هزینه برای پیمانکاران مهم است و همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، تخمین هزینه در طول روند ساخت و ساز نیز مجدداً انجام می‌شود.[۹] در همین راستا، یکی از وظایف اصلی BIM، برآورد احجام و هزینه است که به‌صورت خودکار و نیمه‌خودکار انجام می‌شود. برآورد مصالح (QTO)[۷] به‌صورت خودکار موجب کاهش زمان، هزینه و خطا می‌شود.[۷و۹]

در نوشتار حاضر سعی بر آن است که به بررسی نرم‌افزارهای متداول BIM همچون Revit، Tekla و Navisworks جهت برآورد احجام و کنترل هزینه پرداخته و خطاهای موجود در آن‌ها ارزیابی و کمّی‌سازی شود. این تذکر لازم است که از این پس از نام اختصاری نرم‌افزارها یعنی Revit، Tekla و Navisworks استفاده شده است.

۲. ضرورت انجام پژوهش

متره‌ی مصالح و برآورد قیمت، از جمله موارد مهم موردنظر پیمانکاران و کارفرمایان جهت به‌دست‌آوردن هزینه‌ی ساخت و ساز در مناقصات و تخمین قیمت تمام‌شده‌ی ساختمان است. مطابق برخی پژوهش‌های تبیین‌شده‌ی مختلف،[۹-۱۲] خطاهایی در برآورد مصالح در هنگام محاسبه‌ی حجم و وزن عناصر در نرم‌افزارهای رایج BIM وجود دارد، ولی در پژوهش‌های پیشین نه فقط خطاهای مذکور کمّی‌سازی نشده‌اند، بلکه علت و ریشه‌ی بروز چنین خطاهایی نیز ذکر نشده است. به همین علت در پژوهش حاضر، نرم‌افزارهای رایج جهت برآورد مصالح در صنعت BIM بررسی شده است، تا بتوان خطاهای موجود برآورد مصالح به‌صورت دقیق بررسی و سپس کمّی‌سازی شوند. در همین راستا، نرم‌افزارهای رایج BIM از جمله نرم‌افزارهای شرکت Autodesk برای مدل‌سازی و مدیریت ساخت می‌توان Revit Structure (۲۰۱۶) و Navisworks Manage (۲۰۱۶) و از نرم‌افزارهای مرتبط با BIM شرکت Tekla می‌توان نرم‌افزار Tekla Structure (۲۰۱۶) را اشاره کرد که در این پژوهش مورد بررسی قرار داده شده است و در همین راستا به شرح خطاها پرداخته شده است.

۳. بررسی ادبیات پژوهش

مفهوم BIM در طی سال‌های پیشین، آثار فراوانی در صنعت ساخت داشته است. مهندسان، معماران و مدیران از قابلیت‌های آن برای مهندسی، طراحی و کنترل پروژه استفاده کرده‌اند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای BIM، متره و برآورد مصالح ساخت است. به عبارت دیگر، BIM سرعت و دقت متره و برآورد را افزایش و گزارش‌گیری از مصالح را تسهیل کرده است. شایان ذکر است که معمولاً برآورد مصالح مبتنی بر BIM، کاری است که به کارشناسان BIM اختصاص دارد و نیاز به درک جامعی از ورودی ـ خروجی نرم‌افزار دارد.[۱۳]

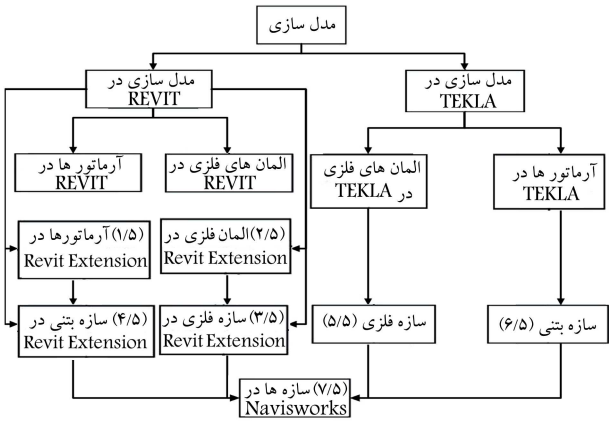
ابزارهای BIM می‌توانند مقادیر یک شی را به فرم متر، مترمربع و مترمکعب استخراج کنند.[۱۴و۱۵] اما نکته‌ی مهمی که باید به آن اشاره کرد این است که فرمت گزارش‌گیری چنین ابزارهایی برای کارشناسانی که به روش‌های سنتی عادت کرده‌اند، کمی ناملموس است. از طرفی، اطلاعات استخراجی ابزارهای ذکرشده بعضاً قابل اعتماد نیستند.[۱۰و۱۶] مثلاً در پژوهشی به بررسی برآورد مصالح داخلی ساختمان‌ها در کره‌ی جنوبی پرداخته و برآورد مصالح در حالت خودکار و در حالت دستی بررسی و مشخص شده است که برآورد مصالح به‌صورت دستی در مقایسه با حالت خودکار، خطاهای بیشتری داشته و پیشنهاد شده است که برآورد مصالح به‌صورت خودکار انجام شود.[۱۰]

بیشتر ابزارهای BIM شامل روش‌هایی برای انجام محاسبات خودکار درخصوص برآورد مصالح از طریق خواص هندسی عناصر، مانند مساحت و حجم هستند. اما خطاهایی درخصوص مساحت و حجم وجود دارد.[۱۰و۱۱] در یک نمونه‌ی ساختمانی مدل‌سازی‌شده، پس از اجرای هر مرحله شروع به اصلاح وضعیت رایانه‌یی مدل موردنظر شد که پس از بررسی مدل اجراشده با مدل تهیه‌شده مشخص شد که اختلاف در جزئیات برآورد مصالح، بزرگ‌تر از جزئیاتی است که در مدل تهیه می‌شود که این امر باعث بروز خطا می‌شود.[۱۲]

نرم‌افزارهای Revit و Tekla، دو ابزار متداول برای طراحی پارامتریک یا سه بُعدی مبتنی بر BIM هستند.[۱۷و۱۸] نرم‌افزارهای مذکور، شامل روش‌هایی برای استخراج خودکار مقادیر متره و برآورد از مدل هستند،[۹] که در ادامه به مزایا و معایب آن‌ها اشاره شده است. از دیگر نرم‌افزارهای رایج صنعت BIM، مجموعه نرم‌افزارهای Autodesk Revit است. نرم‌افزارهای شرکت در گذشته به‌صورت جداگانه Revit Structure، Revit Architecture و Revit MEP عرضه می‌شد. در سال‌های اخیر، تمامی نرم‌افزارهای مذکور در قالب محصولی یکپارچه Revit Suit شامل محصولات ذکرشده وارد بازار شده است. از محصولات اصلی مجموعه‌ی Revit Suit، نرم‌افزار Revit Architecture است که در سال ۲۰۰۲ توسط شرکت Autodesk خریداری و به بازار معرفی شد. نرم‌افزار Revit Architecture از لحاظ پایه‌یی و کلی، ساختاری متفاوت با AUTO-CAD دارد. نرم‌افزار Revit Architecture، محیطی ساده با کارایی بالا دارد. نرم‌افزار Revit Suit، علاوه بر بخش معماری، در بخش‌های دیگر، همچون: سازه، تأسیسات، مدیریت انرژی، شبیه‌سازی و مدیریت تجهیزات، توانمندی بالایی دارد.[۱۹]

با وجود ظرفیت عظیم مفهوم BIM و فراهم‌ساختن مزایای فراوان برای دست‌اندرکاران پروژه‌های ساخت، همچنان یکی از مشکلات پیش روی کارشناسان متره و برآورد، ناسازگاری[۸] نسبی نرم‌افزارهای مختلف آن با یکدیگر است.[۱۹] یکی از ظرفیت‌های BIM، شخصی‌سازی نرم‌افزارهای مرتبط با آن است که از طریق رابط برنامه‌نویسی نرم‌افزار (API)[۹] قابل انجام است. API یا به‌صورت خلاصه رابط برنامه‌نویسی، رابط بین یک کتابخانه یا سیستم عامل و برنامه‌هایی است که از آن تقاضای سرویس می‌کنند. در نوشتارهای مختلف در خصوص API پژوهش‌هایی انجام شده است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به نوشتاری اشاره کرد که در آن از API برای به‌دست آوردن برنامه‌ی زمان‌بندی به‌صورت خودکار برای ساخت پانلی[۱۰] استفاده شده است.[۱۳] در نوشتار دیگری مرتبط با موضوع نوشتار اخیر، از API برای خودکار کردن متره و برآورد مصالح با استفاده از مکعب محاطی[۱۱] و اصلاح تخمین استفاده شده است. API توسعه داده‌شده در نوشتار مذکور به‌صورت خودکار، تمامی المان‌های مربوط به یک بخش (مثل معماری، تأسیسات و برق) و همچنین یک محدوده‌ی کاری[۱۲] را فیلتر کرده و به‌صورت سیستماتیک، متره و برآورد را در محیط‌های کاری میسر ساخته است.[۲۰]

متره و برآورد از جمله موارد مهم جهت به‌دست آوردن هزینه‌ی ساخت و ساز در ساختمان است. در نوشتارهای ذکرشده، به خطاهایی در برآورد مصالح در هنگام محاسبه‌ی حجم و وزن عناصر در نرم‌افزارهای رایج BIM اشاره شده است، ولی در آن‌ها نه فقط خطاهای ذکرشده کمّی‌سازی نشده‌اند، بلکه علت و ریشه‌ی بروز چنین خطاهایی نیز ذکر نشده است. لذا در پژوهش حاضر، ریشه‌ی خطاهای متره و برآورد در نرم‌افزارهای اشاره‌شده، بررسی و کمّی‌سازی شده است.



شکل ۳. مراحل انجام پژوهش.

۴. روش پژوهش

جهت پیدا کردن خطا در برآورد مصالح مطابق شکل ۳، ابتدا آرماتورها و المان‌های فلزی در زوایا و طول‌های مختلف در نرم‌افزار Revit و افزونه‌ی[۱۳] آن و سپس در نرم‌افزار Tekla مدل شدند که مشاهده شد با تغییر پارامترهای مذکور، خطا تغییر نمی‌کند. لذا از آنجایی که طول و زوایا، تأثیری در خطاها ندارند به یک مدل ساده‌ی فلزی و بتنی بسنده شده است تا تأثیر خطاهای سطح مقطع در سازه با ابعاد بزرگ‌تر بررسی شود. نکته‌ی مهمی که باید به آن توجه شود این است که چنانچه آرماتورها و پروفیل‌های فلزی توسط نرم‌افزار Revit مدل شوند، کاری زمان‌بر است؛ ولی اگر از طریق افزونه‌های نرم‌افزار Revit انجام شود، متداول‌تر است و با سرعت بیشتری انجام می‌شود.

در مرحله‌ی بعدی، برای بررسی بیشتر خطاهای ذکرشده، مدل‌های تهیه‌شده توسط دو نرم‌افزار مدل‌سازی Revit و Tekla، وارد نرم‌افزار Navisworks شدند و از لحاظ دقت برآورد مصالح با دو نرم‌افزار مذکور مقایسه شدند. خطاهای به‌دست آمده در محیط نرم‌افزار Revit با فرمول‌نویسی قابل برطرف کردن هستند، ولی هنگام انتقال داده‌ها از نرم‌افزار Revit به نرم‌افزار Navisworks، خطا همچنان باقی خواهد ماند. ضمن اینکه اگر اطلاعات[۱۴] مربوط به المان‌ها در نرم‌افزار Revit توسط اپراتور تغییر کند، به علت دستی بودن فرایند و امکان بروز خطاهای انسانی، می‌تواند در پروژه باعث ایجاد خطا در برآورد مصالح شود. نکته‌ی دیگر اینکه فرمت IFC انتقالی از نرم‌افزار Tekla به نرم‌افزار Navisworks حاوی تمامی اطلاعات مدل نیست. همچنین در پایان نوشتار حاضر، کمینه و بیشینه‌ی میزان خطاها در المان‌های فلزی و آرماتورها مشخص شد تا با داشتن خطاهای مذکور در برآورد مصالح، دقت بیشتری اعمال شود.

۵. بررسی نتایج

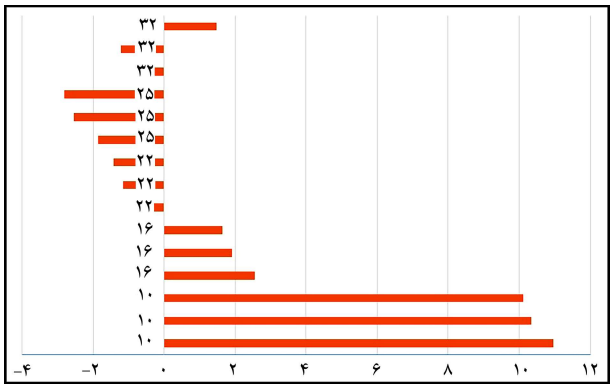
۱.۵. بررسی آرماتورهای افزونه در نرم‌افزار Revit

در پژوهش حاضر، مطابق جدول ۱ به بررسی آرماتورها با سایزهای ۱۰، ۱۶، ۲۲، ۲۵ و ۳۲ به‌عنوان بخشی از متغیرهای پژوهش و با طول‌های ۳، ۶ و ۱۰ متر بررسی شدند، تا میزان خطا از لحاظ حجم یا وزن با مقدار واقعی آن مقایسه شود.

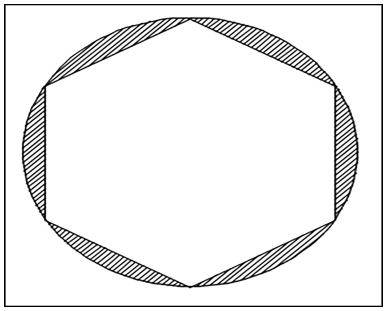
همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، محور افقی به درصد خطا و محور عمودی به سایز آرماتورها در طول‌های ذکرشده اختصاص یافته است. ستون‌های

جدول ۱. مشخصات آرماتورها.

آرماتور		
طول آرماتور (m)		قطر (mm)
تا	از	
۱۰	۳	۱۰
۱۰	۳	۱۶
۱۰	۳	۲۲
۱۰	۳	۲۵
۱۰	۳	۳۲



شکل ۴. میزان خطا در آرماتورها در طول‌های ۳، ۶ و ۱۰ متر.



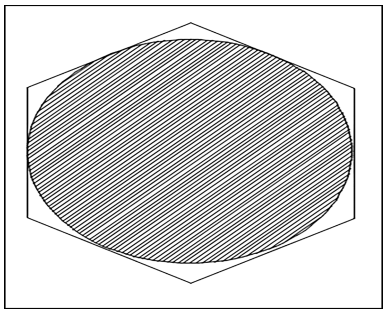
شکل ۵. شش ضلعی در آرماتور محاط شده است.

سمت راست محور عمودی معرف آن است که میزان برآوردشده در نرم‌افزار کمتر از مقدار واقعی و ستون‌های سمت چپ محور عمودی معرف آن است که برآورد نرم‌افزار بیشتر از مقدار واقعی آن است. همچنین مشخص شد سایز آرماتور هر چه کوچک‌تر می‌شود، میزان خطای آن بیشتر است؛ و هر چه سایز آرماتورها بیشتر شود، خطا کاهش می‌یابد، که درصد آن بین ۱۰٫۹۸ تا ۲٫۸- متغیر است.

علت خطای ذکرشده آن است که نرم‌افزار به جای محاسبه‌ی مساحت دایره، مساحت یک شش ضلعی را در نظر می‌گیرد که این کار باعث بروز چنین خطایی می‌شود. شش ضلعی مذکور برای آرماتورهای ۲۲ و ۲۵ میلی‌متر مطابق شکل ۵ محیط است و برای آرماتورهای با قطر ۱۰ و ۱۶ میلی‌متر، مطابق شکل ۶ محاط است. این تذکر لازم است که با تغییر طول آرماتور، میزان خطا به مقدار ناچیزی تغییر می‌کند که از بررسی علت آن به دلیل ناچیز بودن صرف‌نظر شد.

۲.۵. بررسی پروفیل‌های فولادی افزونه در نرم‌افزار Revit

با استفاده از افزونه‌ی مدل‌سازی، پروفیل‌های فلزی یا یک سازه‌ی فلزی، سرعت



شکل ۶. شش ضلعی دور آرماتور محیط شده است.

جدول ۲. متغیرهای افزونه‌های بررسی‌شده در نرم‌افزار Revit.

قوطی	نبشی	IPE (I شکل)	HEA (شکل بال‌پهن)
ناودانی	دایره‌یی	IPN (I شکل)	HEB (I شکل بال‌پهن)

جدول ۳. پروفیل‌ها و طول‌های مدل‌شده در نرم‌افزار Revit.

پروفیل‌های فلزی			
طول (m)		نوع مقطع	
تا	از	تا	از
۱۰۰	۳	CAE۱۲۰ × ۱۵	CAE۱۰۰ × ۷
۱۰۰	۳	HEA۲۴۰	HEA۱۰۰
۱۰۰	۳	HEB۲۴۰	HEB۱۰۰
۱۰۰	۳	IPE۲۲۰	IPE۸۰
۱۰۰	۳	IPN۲۴۰	IPN۸۰
۱۰۰	۳	TCAR۱۸۰ × ۱۲	TCAR۱۵۰ × ۵
۱۰۰	۳	TRON۱۶۸ × ۱۲٫۵	TRON۱۳۹ × ۶٫۳
۱۰۰	۳	UPN۲۲۰	UPN۱۰۰

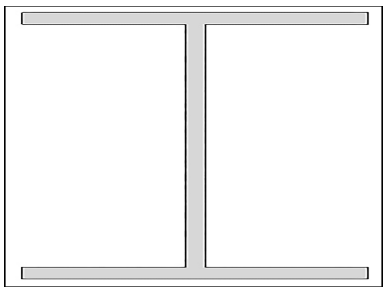
بیشتری دارند، ولی از لحاظ برآورد مصالح همان‌طور که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود، خطاهایی دارد. به همین علت با استفاده از افزونه‌ی نرم‌افزار Revit، المان‌های فلزی به‌صورت جداگانه و سپس به‌صورت سازه‌های یک دهانه، دو دهانه و درنهایت در قالب یک سازه‌ی اسکلت فلزی مدل شده و به بررسی آن پرداخته شده است. مطابق جدول ۲ به معرفی پروفیل‌های استفاده‌شده به‌عنوان بخش دیگری از متغیرهای پژوهش افزونه‌ی نرم‌افزار Revit پرداخته‌شده و ۸ پروفیل در سایزهای مختلف بررسی شده است.

به همین منظور پروفیل‌های مختلف در حالت‌های تیر و ستون و عضو مایل (بادبند) در سایزهای مختلف در طول‌های مختلف در نرم‌افزار Revit مدل شده است، تا خطاهای موجود در خصوص حجم و وزن با دقت بیشتری در حالت‌های مختلف بررسی شود. پروفیل‌های ذکرشده در جدول ۳ در حالت ستون، تیر، و بادبند به طول‌های ۳، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ متر بررسی شده‌اند.

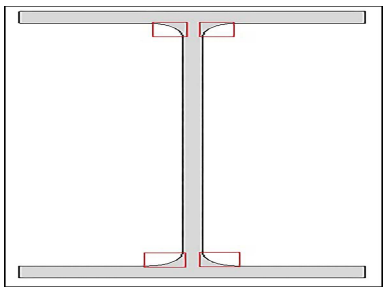
پس از بررسی مشخص شد که نرم‌افزار Revit، طول، حجم و تعداد را به‌صورت خودکار ارائه می‌دهد و سطح مقطع و وزن هر مترمربع را از قسمت اطلاعات المان‌های

نرم‌افزار که داده‌های آن به‌صورت دستی وارد می‌شود، داخل جدول گزارش برآورد مصالح قرار می‌دهد که اگر اطلاعات توسط اپراتور تغییر کند، برآورد مصالح نسبت به مقادیری واقعی با خطا مواجه می‌شود. همچنین در محاسبه‌ی حجم مشخص شد که از حاصل‌ضرب سطح مقطع که شکل واقعی متغیر است، در طول که در جدول گزارش برآورد مصالح ارائه شده است، استفاده نمی‌کند. در واقع نرم‌افزار سطح مقطع را مطابق شکل ۷ در نظر می‌گیرد و مطابق شکل ۸ قسمت‌های منحنی را در نظر نمی‌گیرد که این باعث به وجود آمدن خطا در محاسبه‌ی حجم و یا وزن نسبت به مقادیر واقعی پروفیل‌های فلزی می‌شود.

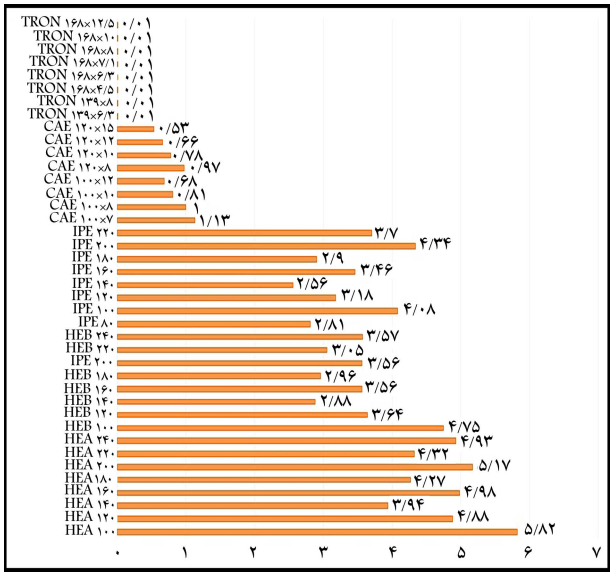
المان‌هایی که در شکل ۹ هستند، وزن یا حجم آن‌ها از مقدار واقعی بیشتر و



شکل ۷. محاسبه‌ی مساحت توسط نرم‌افزار.



شکل ۸. بخش‌هایی که در نرم‌افزار محاسبه نمی‌شوند.



شکل ۹. المان‌هایی که حجم یا وزن ارائه‌شده توسط نرم‌افزار بیشتر از مقدار واقعی آن‌هاست.

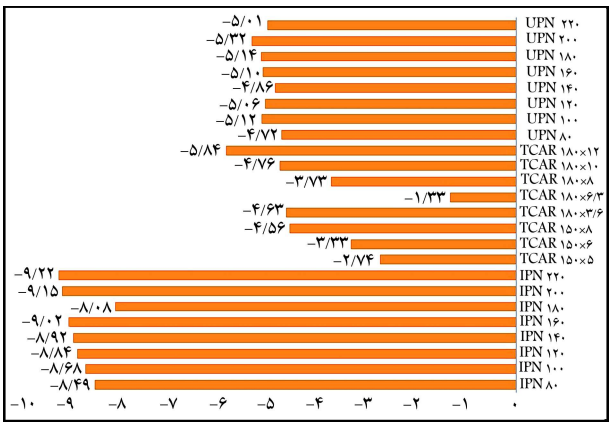
المان‌هایی که در شکل ۱۰ هستند، وزن یا حجم آن‌ها کمتر از مقدار واقعی است. به‌عنوان نمونه، پروفیل IPN۸۰ به طول ۳ متر و وزن واقعی ۱۷٫۸۲ کیلوگرم است که در محاسبه‌ی وزن همین پروفیل که با استفاده از افزونه‌ی نرم‌افزار Revit مدل شده است، برابر ۱۶٫۳۰ کیلوگرم است. درصد خطای وزن یا حجم پروفیل‌ها نسبت به مقدار واقعی آن‌ها در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشخص شده است. این تذکر لازم است که محور Y نوع و سایز پروفیل و محور X درصد خطا را نشان می‌دهد.

۳.۵. بررسی سازه‌ی فلزی مدل‌شده در نرم‌افزار با افزونه‌ی Revit

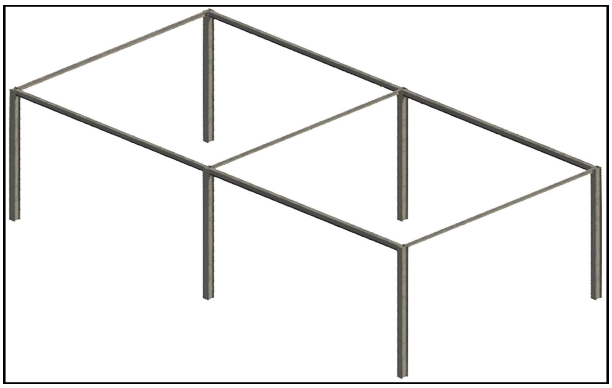
جهت بررسی برآورد مصالح یک سازه‌ی فلزی به‌صورت کلی و مطابق شکل ۱۱ مدل شده است که وزن ارائه‌شده توسط نرم‌افزار که از جمع ستون آخر جدول ۴ به‌دست آمده است، برابر ۱۸۹۷ kg و وزن واقعی ۱۸۳۷ kg بوده است، که معادل ۶۰ kg، یعنی بیش از ۳٪ در یک سازه‌ی ساده اختلاف وجود دارد. ضمن اینکه در سازه‌ی مذکور از پروفیل IPE استفاده شده است، چنانچه از پروفیل‌هایی مانند IPN که خطاهای زیادتری به نسبت IPN دارند، استفاده شود، خطاهای به‌دست آمده در برآورد مصالح بسیار بیشتر خواهد بود.

۴.۵. بررسی سازه‌ی بتنی مدل‌شده در نرم‌افزار با افزونه‌ی Revit

یک نمونه سازه‌ی بتنی برای بررسی برآورد مصالح در نرم‌افزار Revit مدل شده است. در جدول ۵، وزن ارائه‌شده‌ی آرماتورها در نرم‌افزار Revit گزارش شده است.



شکل ۱۰. المان‌هایی که حجم یا وزن ارائه‌شده توسط نرم‌افزار کمتر از مقدار واقعی آن‌هاست.



شکل ۱۱. مدل تهیه‌شده در نرم‌افزارهای Revit و Tekla.

جدول ۴. برآورد مصالح توسط نرم‌افزار **Revit**.

نوع مقطع	نوع المان	وزن ارائه‌شده نرم‌افزار (Kg/m)
IPE۱۸۰	ستون	۱۱۲۲
IPE۱۲۰	تیر	۱۲۵
IPE۱۴۰	تیر	۸۲
IPE۲۰۰	تیر	۲۶۱
IPE۲۲۰	تیر	۳۰۷

جدول ۵. برآورد مصالح تیر بتنی در نرم‌افزار **Revit**.

وزن		حجم آرماتور	طول	قطر آرماتور
کل (Kg)	واحد (Kg)	(Cm^3)	(Cm)	(Cm)
۱۹۵۸/۳۳	۳/۹۲	۲۵۳۳/۵۴	۵۰۰	۲/۵

جدول ۶. برآورد مصالح توسط نرم‌افزار **Tekla**.

نوع مقطع	نوع المان	وزن ارائه‌شده نرم‌افزار (Kg/m)
IPE۱۸۰	ستون	۱۱۲۲
IPE۱۲۰	تیر	۱۲۵/۵
IPE۱۴۰	تیر	۸۲
IPE۲۰۰	تیر	۲۶۲
IPE۲۲۰	تیر	۳۰۷/۵

آرماتورها از لحاظ وزن و حجم بررسی شدند و نرم‌افزار Revit نیز قطر، طول و حجم آرماتورها را محاسبه می‌کند و همان‌طورکه مشاهده می‌شود حجم آرماتورها ۲۵۳۳/۵۴ مترمکعب است و در مقایسه با حجم واقعی که ۲۴۵۴/۳۶ مترمکعب است، اختلاف ناچیزی دارند. همچنین از آنجا که معمولاً در برآورد وزن آرماتورها از ضرب وزن هر متر در طول آن استفاده می‌شود، چندان اختلافی در حجم ایجاد نمی‌شود.

۵.۵. بررسی سازه‌ی فلزی مدل‌شده در نرم‌افزار Tekla

برای بررسی مدل تهیه‌شده در نرم‌افزار Revit، همان سازه در نرم‌افزار Tekla دوباره مدل و بررسی شده است. همان‌طورکه در جدول ۶ درگزارش برآورد مصالح نرم‌افزار Tekla مشاهده می‌شود، وزن برآوردشده توسط نرم‌افزار Tekla برابر ۱۸۴۰ کیلوگرم و وزن واقعی که در بخش برآورد سازه توسط نرم‌افزار Revit محاسبه شده است، برابر ۱۸۳۷ کیلوگرم است که فقط $3\ kg$ (۰/۰۶٪) اختلاف دارد.

۶.۵. بررسی سازه‌ی بتنی مدل‌شده در نرم‌افزار Tekla

سازه‌ی بتنی مدل‌شده در بخش (۴.۵) برای بررسی برآورد مصالح در نرم‌افزار Tekla مدل شد. مطابق جدول ۷، برآورد آرماتورو مدل بتنی تهیه‌شده به‌صورت قابل قبول است.

۷.۵. بررسی مدل‌ها در نرم‌افزار Navisworks

پس از انتقال مدل فلزی از نرم‌افزار Revit به نرم‌افزار Navisworks مشخص شد تمام اطلاعاتی که توسط نرم‌افزار Revit ارائه می‌شود، نرم‌افزار Navisworks نیز ارائه می‌دهد و همان خطای محاسبه‌ی وزن و یا در حقیقت عدم محاسبه‌ی وزن

جدول ۷. برآورد آرماتور مدل بتنی تهیه‌شده در نرم‌افزار **Tekla**.

وزن		حجم آرماتور	طول	قطر آرماتور
کل (Kg)	واحد (Kg)	(Cm^3)	(Cm)	(Cm)
۱۹۵۸/۳۳	۳/۹۲	۲۵۳۳/۵۴	۵۰۰	۲/۵

Item	Length	Unit	Volume	Unit2	Weight	Unit3	Count
IIPE 180	5.000	m	0.023	m³	0.000	kg	1.000
IIPE 180	5.000	m	0.023	m³	0.000	kg	1.000
IIPE 180	5.000	m	0.023	m³	0.000	kg	1.000
IIPE 180	5.000	m	0.023	m³	0.000	kg	1.000
IIPE 180	5.000	m	0.023	m³	0.000	kg	1.000
IIPE 180	5.000	m	0.023	m³	0.000	kg	1.000
IIPE 180	5.000	m	0.023	m³	0.000	kg	1.000
IIPE 180	5.000	m	0.023	m³	0.000	kg	1.000
IIPE 180	5.000	m	0.023	m³	0.000	kg	1.000
IPE 180	6.000	m	0.014	m³	0.000	kg	1.000
IPE 180	6.000	m	0.014	m³	0.000	kg	1.000
IPE 200	6.000	m	0.016	m³	0.000	kg	1.000
IPE 200	6.000	m	0.016	m³	0.000	kg	1.000
IPE 220	6.000	m	0.019	m³	0.000	kg	1.000
IPE 220	6.000	m	0.019	m³	0.000	kg	1.000
IPE 160	6.000	m	0.011	m³	0.000	kg	1.000
IPE 160	6.000	m	0.011	m³	0.000	kg	1.000
IPE 100	6.000	m	0.006	m³	0.000	kg	1.000
IPE 140	6.000	m	0.009	m³	0.000	kg	1.000
IPE 140	6.000	m	0.009	m³	0.000	kg	1.000
IPE 120	6.000	m	0.007	m³	0.000	kg	1.000
IPE 120	6.000	m	0.007	m³	0.000	kg	1.000
IPE 80	8.485	m	0.006	m³	0.000	kg	1.000
IPE 80	8.485	m	0.006	m³	0.000	kg	1.000

شکل ۱۲. خروجی متره‌ی پروفیل‌های فولادی انتقال داده‌شده از نرم‌افزار Revit به نرم‌افزار Navisworks.

Item	Length	Units	Volume	Units2	Weight	Units3	Count
10M	0.000	m	0.000	m³	0.000	kg	1.000
10M	0.000	m	0.000	m³	0.000	kg	1.000
10M	0.000	m	0.000	m³	0.000	kg	1.000
10M	0.000	m	0.000	m³	0.000	kg	1.000
10M	0.000	m	0.000	m³	0.000	kg	1.000

شکل ۱۳. خروجی متره‌ی آرماتور انتقال داده‌شده از نرم‌افزار Revit به نرم‌افزار Navisworks.

مطابق شکل ۱۲ در نرم‌افزار مذکور نیز وجود دارد و باعث خطا در محاسبه‌ی حجم و وزن می‌شود.

ضمن اینکه پس از انتقال مدل بتنی تهیه‌شده در نرم‌افزار Revit به نرم‌افزار Navisworks مشخص شد، نرم‌افزارNavisworks قادربه نمایش مدل واطلاعات المان‌هاست، ولی هیچ اطلاعاتی در خصوص آرماتورها در بخش گزارش متره و برآورد به‌جز تعداد آن‌ها مطابق شکل ۱۳ ارائه نمی‌دهد.

با توجه به قسمت‌های پیشین مشخص شد نرم‌افزار Navisworks قادر به نمایش مدل و اطلاعات المان‌هاست، ولی در برآورد مصالح و ارائه‌ی گزارش از فایل IFC واردشده، دچار نواقص است و فقط قادر به نمایش تعداد المان‌هاست.

۶. نتیجه‌گیری

پس از مطالعات انجام‌شده در مدل‌های مختلف بتنی و فلزی در پژوهش حاضر، این نتایج مشخص شد:

۱. از جمله مزایای نرم‌افزار Tekla، مدل‌سازی سازه‌یی، تولید نقشه و برآورد مصالح

جدول ۸. خطاهای آرماتورها در افزونه نرم‌افزار Revit.

آرماتور			
توضیحات	درصد خطا (درصد)	طول (m)	قطر (mm)
بیشتر از مقدار واقعی	۱۱ تا ۱۰	۱۰ تا ۳	۱۰
بیشتر از مقدار واقعی	۲٫۵۶ تا ۱٫۶۴	۱۰ تا ۳	۱۶
کمتر از مقدار واقعی	-۱٫۴۶ تا -۰٫۴۶	۱۰ تا ۳	۲۲
کمتر از مقدار واقعی	-۲٫۸۱ تا -۱٫۸۵	۱۰ تا ۳	۲۵
بخشی بیشتر و بخشی کمتر از مقدار واقعی	۱٫۴۸ تا -۰٫۵	۱۰ تا ۳	۳۲

و احجام برای آرماتور، و پروفیل‌های فولادی قابل قبول است، ولی از نقاط ضعف آن می‌توان به ضرورت اصلاح و بازبینی نقشه‌های اسمبلی[15] تولیدشده اشاره کرد. همچنین نرم‌افزار مذکور قابلیت یکپارچگی همه‌ی بخش‌های BIM را ندارد و فقط در بخش سازه‌یی کاربرد دارد.

۲. از جمله مزایای نرم‌افزار Revit، برآورد مصالح و احجام برای آرماتورها و پروفیل‌های فولادی و همچنین تهیه‌ی مدل‌های معماری، مکانیکی، و برقی سازه‌یی است. از نقاط ضعف نرم‌افزار Revit در برآورد مصالح این است که چنانچه تولید المان‌ها از طریق محیط family در نرم‌افزار Revit انجام شود، برآورد مصالح قابل قبول، ولی بسیار زمان‌بر است. از دیگر ضعف‌های نرم‌افزار Revit، نداشتن توانایی در تولید نقشه است.

۳. مزایا و معایب مدل‌سازی سازه‌یی براساس افزونه‌ی نرم‌افزار Revit:

-- مزایا:

- اگر از افزونه‌های آماده‌ی شرکت Autodesk استفاده شود، این کار بسیار سریع انجام می‌شود و از طرفی المان‌های آماده‌ی زیادی جهت مدل‌سازی دارد.

-- معایب:

- میزان خطا در محاسبه‌ی حجم و وزن آرماتورها به علت چندضلعی محاسبه کردن سطح مقطع آرماتور به جای شکل واقعی آن (دایره)، باعث بروز خطا می‌شود. خطاهای مذکور در بعضی مقاطع بیشتر و در بعضی دیگر کمتر از میزان واقعی وزن و حجم آرماتور است (جدول ۸).
- میزان خطا در محاسبه‌ی وزن و حجم پروفیل‌های فولادی به علت عدم تشخیص صحیح سطح مقطع پروفیل (بخش‌هایی از سطح مقطع که انحنا دارند) است. خطاهای مذکور در بعضی مقاطع کمتر و در بعضی دیگر بیشتر از مقدار واقعی است (جدول ۹).

۴. متره‌ی فایل‌های انتقالی از نرم‌افزار Tekla به نرم‌افزار Navisworks: فرمت IFC خروجی از مدل نرم‌افزار Tekla حاوی تمامی اطلاعات مدل نیست و فقط اطلاعات محدودی از مدل را شامل می‌شود. به عبارت دیگر، نرم‌افزار Navisworks قادر به نمایش فایل Tekla است، ولی قادر به دادن اطلاعات از قبیل برآورد مصالح و احجام نیست.

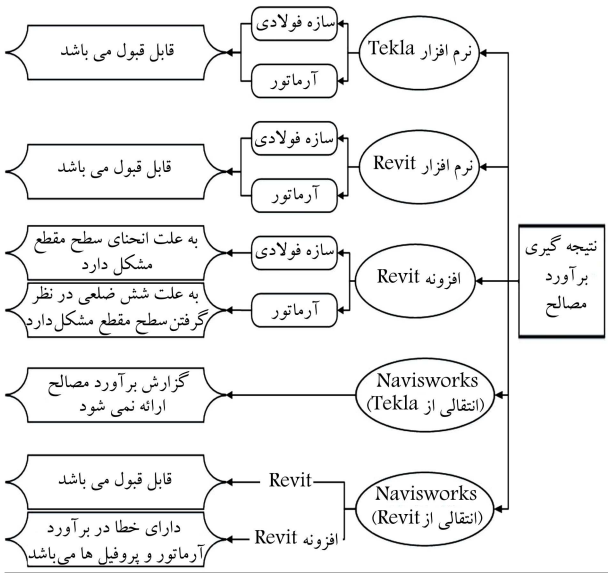
۵. متره‌ی فایل‌های انتقالی از نرم‌افزار Revit به نرم‌افزار Navisworks:

-- در گزارش‌گیری از آرماتورهای سازه‌ی بتنی طول، سطح مقطع و حجم نمایش داده نمی‌شود و فقط تعداد آرماتورها از هر سایز نمایش داده می‌شود.

-- در گزارش‌گیری پروفیل‌ها تمامی پارامترها، از جمله: تعداد، طول و حجم نمایش داده می‌شود و فقط سطح مقطع و وزن پروفیل‌ها نمایش داده نمی‌شود.

جدول ۹. خطاهای پروفیل‌ها در افزونه نرم‌افزار Revit.

پروفیل‌های فلزی			
توضیحات	درصد خطا	طول (m)	المان
کمتر از مقدار واقعی	۵٫۸۲ تا ۳٫۹۳	۱۰ تا ۳	HEA
کمتر از مقدار واقعی	۴٫۷۵ تا ۲٫۸۸	۱۰ تا ۳	HEB
کمتر از مقدار واقعی	۴٫۳۴ تا ۲٫۸۰	۱۰ تا ۳	IPE
کمتر از مقدار واقعی	۱٫۱۳ تا ۰٫۵۳	۱۰ تا ۳	CAE
کمتر از مقدار واقعی	۰٫۰۱ تا ۰٫۰	۱۰ تا ۳	TRON
بیشتر از مقدار واقعی	-۵٫۲ تا -۴٫۶	۱۰ تا ۳	UPN
بیشتر از مقدار واقعی	-۵٫۵ تا -۱٫۱	۱۰ تا ۳	TCAR
بیشتر از مقدار واقعی	-۹٫۱ تا -۸٫۱	۱۰ تا ۳	IPN



شکل ۱۴. خلاصه‌ی نتایج برآورد مصالح از نرم‌افزارهای رایج BIM در ایران.

۶. این تذکر لازم است که نرم‌افزار Navisworks فرمت‌های csi-۱۶ ، csi-۴۸ و Uniformat را پشتیبانی می‌کند، به همین علت تمامی نرم‌افزارهای شرکت Autodesk قابلیت نوشتن و خواندن[16] فایل‌های خروجی و ورودی از یکدیگر را دارند. از طرف دیگر، نرم‌افزارهایی همچون Tekla که محصول شرکت‌های دیگری هستند، چنین قابلیتی ندارند.

در پایان نتیجه‌گیری، برآورد مصالح که موضوع اصلی پژوهش حاضر است، در شکل ۱۴ به‌صورت خلاصه ارائه شده است.

پانوشت‌ها

1. building model
2. building information modeling
3. computer-aided design
4. The architecture, engineering, and construction
5. render
6. industry foundation classes
7. quantity take-off
8. interoperability
9. application programming interface
10. panelized construction
11. boundary box
12. work area
13. extension
14. properties
15. assembly
16. interoperability

منابع (References)

1. Ruffle, S. "Architectural design exposed: From computer-aided drawing to computer-aided design", *Environment and Planning B: Planning and Design*, **13**(4), pp. 385-389 (1986).
2. Rafael, S. "Building information modelling", Autodesk Inc., White Paper, CA. Autodesk, B.I.S. (2002).
3. Kassem, M., Succar, B. and Dawood, N.N. "A proposed approach to comparing the BIM maturity of countries", *30th International Conference on the Applications of IT in the AEC Industry*, At Beijing, China (Oct., 2013).
4. Fanny, F., Taherkhan, R. and Sabzeh parvar, M. "Applications for building information modeling (BIM) in the management of construction projects", The 1st Congress of the New Technologies to Achieve Sustainable Development, Tehran, Center Strategies to Achieve Sustainable Development, Higher Education Institutions Mehrarvand.
5. Sacks, R., Eastman, C.M. and Lee, G. "Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete", *Automation in Construction*, **13**(3), pp. 291-312 (2004).
6. Mohseni, S.M., Mehdi Soltani, M. and Galinous, A. "Building information modeling, advanteges and disadvantages", The Congress Structure, Architecture and Urban Development (1394).
7. Bryde, D., Broquetas, M. and Volm, J.M. "The project benefits of building information modelling (BIM)", *International Journal of Project Management*, **31**(7), pp. 971-980 (2013).
8. Zhiliang, M., Zhenhua, W., Wu, S. and et al. "Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China", *Automation in Construction*, **20**(2), pp. 196-204 (2011).
9. Tiwari, S., Odelson, J., Watt, A. and et al. "Model based estimating to inform target value design", AECbytes (Aug., 2009).
10. Kim, S.A., Chin, S., Yoon, S.W. and et al. "Automated building information modeling system for building interior to improve productivity of BIM-based quantity take-off", Information and Computational Technology, International Symposium on Automation and Robotics in Construction (2009).
11. Wijayakumar, M. and Jayasena, H.S. "Automation of BIM quantity take-off to suit QS's requirements", In The 2ed World Construction Symposium, Socio-Economic Sustainability in Construction, pp. 14-15 (June, 2013).
12. Firat, C.E., Arditi, D., Hamalainen, J.P. and et al. "Quantity take-off in model-based systems", Paper: w78-2010-112 (2010).
13. Liu, H., Lei, Z., Li, H. and et al. "An automatic scheduling approach: building information modeling-based onsite scheduling for panelized construction", In Proceedings of the Construction Research Congress, pp. 1666-1675 (2014).
14. Watt, S. "Challenges in estimating costs using building information modeling", AACE International Transactions, IT11 (2007).
15. McCuen, T.L. "Scheduling, estimating, and BIM: A profitable combination", AACE International Transactions, BIM11 (2008).
16. Hannon, J.J. "Estimators' functional role change with BIM", AACE International Transactions, IT31 (2007).
17. Eastman, C.M., Eastman, C., Teicholz, P. and et al., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, John Wiley & Sons (2011).
18. Lu, N. and Korman, T. "Implementation of building information modeling (BIM) in modular construction: Benefits and challenges", In Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice, pp. 1136-1145 (2010).
19. Demchak, G., Dzambazova, T. and Krygiel, E., *Introducing Revit Architecture 2009: BIM for Beginners*, John Wiley and Sons (2009).
20. Taghaddos, H., Mashayekhi, A. and Sherafat, B. "Automation of construction quantity take-off: Using building information modeling (BIM)", In Construction Research Congress, pp. 2218-2227 (2016).