



ارائه روش برآورد هزینه‌های چرخه عمر ساختمان در مرحله طراحی مفهومی بر پایه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان با استفاده از فهرست‌بهای ملی ایران

فرزاد جلائی^{۱*}، محمد امین حامدی راد^۲، علی اکبر شیرزادی جاوید^۳

^۱ استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۱۱-۰۳

بازنگری: ۱۳۹۸-۰۲-۱۴

پذیرش: ۱۳۹۸-۰۳-۰۵

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸-۰۴-۱۳

کلمات کلیدی:

هزینه‌های چرخه عمر،

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

مرحله طراحی مفهومی

فهرست‌بها

خلاصه: هزینه‌های در بازه چرخه عمر ساختمان با عنوان هزینه‌های چرخه عمر آن شناخته می‌شوند. در روند طراحی یک ساختمان استفاده از شاخص هزینه اولیه کمتر برای انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های با عملکرد یکسان، ممکن است صرفاً به انتخابی بهینه از نظر اقتصادی منجر نشود. لذا امروزه طراحان ساختمان و سرمایه‌گذاران برای انتخاب گزینه مقرون به صرفه نیازمند چارچوبی برای تخمین هزینه‌های چرخه عمر در مراحل اولیه طراحی می‌باشند. هدف از انجام این پژوهش، ارائه چارچوبی برای برآورد هزینه‌های چرخه عمر در فازهای اولیه طراحی ساختمان بر پایه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان با استفاده از بانک اطلاعات هزینه‌ای فهرست‌بهای ایران است. برای این منظور هزینه‌های چرخه عمر یک ساختمان شامل هزینه‌های اولیه (هزینه تهیه و نصب و هزینه حمل)، هزینه‌های تعمیر و نگهداری، هزینه‌های ناشی از بهره‌برداری (مصرف انرژی) و ارزش پسماند در انتهای عمر مفید ساختمان در برآورد هزینه‌های چرخه عمر آن در نظر گرفته شده است. کاربرد چارچوب ارائه شده برای طراحی یک ساختمان مسکونی در شهر تهران مورد سنجش و تأیید قرار گرفت و نتایج نشان داد با افزایش ۷۵ درصدی هزینه‌های اولیه، هزینه‌های سالانه بهره‌برداری آن به مقدار ۵۴ درصد و مجموع هزینه‌های چرخه عمر پس از ۱۸ سال به میزان ۸ درصد کاهش یافته است. بدین ترتیب طراحان ساختمان می‌توانند در مراحل اولیه طراحی، هزینه‌های چرخه عمر ساختمان را برآورد نمایند و طراحی ساختمان را بهبود بخشند.

۱- مقدمه و تاریخچه تحقیقات

۱-۱- تعریف

چرخه عمر یک ساختمان، عبارت است از لحظه شروع ساخت آن ساختمان تا اتمام عمر آن و هزینه‌های در بازه چرخه عمر مانند هزینه‌های بهره‌برداری (انرژی و منابع مصرفی)، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و ارزش پسماند^۱، با عنوان هزینه‌های چرخه عمر (LCC^۲) شناخته می‌شوند [۱]. آنالیز هزینه‌های چرخه عمر (LCCA^۳)، یک روش برای ارزیابی هزینه‌های چرخه عمر است. فرض اساسی این

روش آن است که به مالک یا سرمایه‌گذار، تمامی هزینه‌های ناشی از سرمایه‌گذاری را در طول چرخه عمر ساختمان ارائه دهد. مطابق این روش، مجموع هزینه‌های در یک بازه زمانی مشخص بر اساس ارزش خالص فعلی ارائه خواهند شد [۲].

در روند طراحی یک ساختمان، ممکن است طراح از گزینه‌های دارای هزینه اولیه کمتر نسبت به سایر گزینه‌های دارای عملکرد یکسان استفاده کند که در آن صورت، اگر چه هزینه اولیه آن گزینه کمتر از سایرین بوده، لکن این امکان وجود خواهد داشت که مجموع هزینه‌های چرخه عمر ناشی از انتخاب آن گزینه، بیش از سایرین باشد و به همین علت در نظر گیری معیار هزینه اولیه ممکن است نهایتاً به انتخاب یک گزینه با عدم صرفه اقتصادی در بازه چرخه عمر

1 Salvage Value

2 Life Cycle Costs

3 Life Cycle Cost Analysis

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: farzadjalaei@iust.ac.ir



آن ساختمان داشته اند و همچنین در صورتی که چرخه عمر در نظر گرفته شده بیش از ۳۰ سال باشد، هزینه بهره برداری بیش از هزینه اولیه خواهد شد. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد، در صورتی که چرخه عمر های متفاوتی برای ساختمان در نظر گرفته شود، ترکیب بهینه در طراحی نیز متفاوت خواهد بود. چارچوب ارائه شده در این پژوهش مبتنی بر اطلاعات ورودی کاربر بوده و این موجب پیچیدگی و خطا در امر محاسبه LCC می شود.

در پژوهش دیگری که توسط حمید الاسلام و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۵ انجام شد [۶]، چارچوبی برای بهینه سازی LCC و اثرات زیست محیطی ساختمان های معمولی در استرالیا ارائه شد. برای این منظور اثرات زیست محیطی و هزینه های چرخه عمر چند نوع المان از نوع دیوار، سقف و کف شناسایی شد. سپس برای تخمین LCC و اثرات زیست محیطی دو تابع هدف تعیین شد و ترکیب بهینه اجزا برای رسیدن به کمترین میزان LCC و اثرات زیست محیطی با استفاده از روش برنامه ریزی خطی (LP^۵) بدست آمد. در این پژوهش برای تخمین هزینه های اولیه و تعمیر و نگه داری از بانک اطلاعات هزینه ای موجود کشور استرالیا (Rawlinsons) استفاده شده است. عملکرد چارچوب ارائه شده در این پژوهش بر روی یک مورد مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان داده است که با استفاده از چارچوب فوق و ترکیب بهینه اجزا، با یک LCC ثابت میتوان اثرات زیست محیطی ساختمان را تا ۲۰ درصد کاهش داد. در این پژوهش هزینه های بهره برداری در نظر گرفته نشده اند و همچنین اطلاعات مورد نیاز جهت تخمین اجزای LCC توسط کاربر محاسبه و وارد شده است.

در پژوهشی که برای مقایسه چندین ابزار توسط ایوا کواچیچ^۶ و ورونیکا زولر^۷ در سال ۲۰۱۵ انجام شد [۳]، ابزار DGNB/BNB [۹-۷]، ABK LEKOS [۱۰] و LEGEP [۱۱] از نظر عملکرد برای محاسبه هزینه های چرخه عمر در مراحل اولیه طراحی مورد بررسی قرار گرفتند. در این ابزارها برای محاسبه هزینه های چرخه عمر، از دیتابیس های هزینه ای موجود sirAdos-Baudaten [۱۲]، BNB [۸]، Okobau.dat [۱۳] و VDI ۲۰۶۷ [۱۴] استفاده شده است. همچنین برای محاسبه میزان انرژی مصرفی در این پژوهش

ساختمان منجر شود [۲]. هزینه های چرخه عمر یک ساختمان، گاه می تواند تا چند برابر هزینه های اولیه آن باشد [۳].

به دلیل هزینه های بالای تغییرات طراحی و کاهش امکان آن در هر یک از فازهای پس از طراحی ساختمان، فازهای اولیه طراحی برای در نظرگیری هزینه های چرخه عمر و کاهش آن بهترین وقت و بازه زمانی است. مراحل اولیه طراحی می تواند تا ۸۰ درصد هزینه های از این رو طراحان ساختمان در همان فازهای اولیه طراحی نیازمند ابزاری جهت تخمین هزینه های چرخه عمر ساختمان برای تلاش در راستای کاهش آن می باشند [۳]. چیزی که امروزه به دلیل فقدان اطلاعات کافی قابل اعتماد، روش و ابزار مناسب به یکی از مشکلات صنعت معماری، مهندسی و ساخت و ساز^۱ در کشورمان بدل شده است [۳].

۱-۲- مرور پژوهش های پیشین

پژوهش های مختلفی به منظور ارائه یک چارچوب برای تخمین هزینه های چرخه عمر انجام شدند. در پژوهشی که توسط گویان هان و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۴ انجام شد [۵]، چارچوبی برای یافتن بهینه ترکیب اجزا برای رسیدن به کمترین میزان LCC ارائه شده است. در این پژوهش برای یافتن بهترین ترکیب بر اساس تابع هدف کمترین میزان LCC از الگوریتم ژنتیک بهره برده شده است. هزینه های چرخه عمر شامل هزینه اولیه، هزینه بهره برداری و هزینه تعمیر و نگه داری در نظر گرفته شده است. هزینه اولیه و هزینه تعمیر و نگه داری بر اساس بانک اطلاعات هزینه ای موجود در کشور آمریکا (R.S.Means) بدست آمده است. برای تخمین هزینه های بهره برداری نیاز به تخمین میزان مصرف سالانه انرژی بوده است و به همین منظور در این پژوهش از یکی از ابزار شبیه سازی مصرف انرژی با نام انرژی پلاس^۳ استفاده شده است و پس از تخمین میزان مصرف، بر اساس نرخ انرژی ایالت محل پروژه در کشور آمریکا این هزینه برآورد شده است. عملکرد چارچوب ارائه شده در این پژوهش برای طراحی یک ساختمان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که هزینه های اولیه و بهره برداری (انرژی) بیشترین سهم را در LCC

4 Hamidul Islam et al.
5 Linear Programming
6 Iva Kovacic
7 Veronika Zoller

1 Architecture, Engineering and Construction (AEC)
2 Guiyuan Han et al.
3 Energy Plus

۱-۴- اهمیت موضوع

مطابق آنچه در بخش مرور پژوهش های پیشین گفته شد ، چارچوب هایی برای تخمین LCC ساختمان در مراحل اولیه طراحی در برخی کشور های توسعه یافته مانند آمریکا و استرالیا ارائه شده است که در این چارچوب ها هزینه ها بر اساس بانک اطلاعات هزینه ای همان کشور برآورد شده است. برای این امر، اطلاعاتی از ساختمان طراحی شده مانند برآورد مقادیر مصالح و انرژی مصرفی سالانه مورد نیاز خواهد بود که بایستی توسط طراح به صورت دستی برآورده می شدند و به دلایل زیر این چارچوب ها برای تخمین LCC در مراحل اولیه طراحی مناسب نبوده اند:

عدم وجود اطلاعات قابل اعتماد از جزئیات طراحی ساختمان
عدم هماهنگی میزان اطلاعات در دسترس در مراحل اولیه طراحی و اطلاعات لازم برای تخمین LCC
فقدان وجود اطلاعات هزینه ای برای تخمین هزینه های چرخه عمر از طرفی، بر اساس مرور پژوهش های پیشین، تاکنون چارچوبی که بتوان با استفاده از آن در مراحل اولیه طراحی ساختمان ها در ایران، هزینه های چرخه عمر را با استفاده از فهرست بهای ملی ایران برآورد نمود، ارائه نشده است.

مفهوم BIM، میتواند در فراهم آوردن اطلاعات ساختمان با دقت بالا برای تخمین LCC کمک کند و از این رو میتوان با استفاده از ابزار بر پایه این مفهوم، مقادیر اولیه مصالح مصرفی ساختمان را برآورد نمود. همچنین با استفاده از ابزار شبیه سازی مصرف انرژی بر پایه این مفهوم میتوان مقدار مصرف سالانه انرژی ساختمان را با دقت مناسبی تخمین زد .

هدف این پژوهش، ارائه چارچوبی برای تخمین LCC ساختمان در مراحل اولیه طراحی در ایران است. برای این منظور برای هر یک از مشکلاتی که تا کنون در چارچوب های پیشین وجود داشته ، راهکاری در نظر گرفته شده است:

برای بدست آوردن اطلاعات قابل اعتماد از جزئیات طراحی ساختمان شامل برآورد دقیق مصالح مصرفی و انرژی مصرفی ساختمان از ابزار بر پایه مفهوم BIM استفاده شده است.

به دلیل طراحی یکپارچه سه بخش سازه، تاسیسات و معماری ساختمان در محیط ابزار BIM و ذخیره شدن تمامی اطلاعات در بانک اطلاعاتی این ابزار، امکان دسترسی لحظه ای به اطلاعات آن

از ابزار Archiphysik ، TAS و Dialux استفاده شده است. در نتیجه مقایسه و ارزیابی این ابزار ها، به موضوع عدم وجود اطلاعات قابل اعتماد، عدم تطابق استانداردهای مختلف با یکدیگر و همچنین عدم هماهنگی بین اهمیت مرحله طراحی با اطلاعات طراحی در دسترس به عنوان مهم ترین مشکلات آنالیز هزینه های چرخه عمر با این ابزار ، به عنوان یک سیستم تصمیم گیری اشاره شده است. تمامی این ابزار برای محاسبه هزینه های چرخه عمر در مراحل اولیه طراحی نیازمند تطابق و سفارشی سازی بوده اند و در حالت کلی جهت این عمر مناسب تشخیص داده نشده اند [۳].

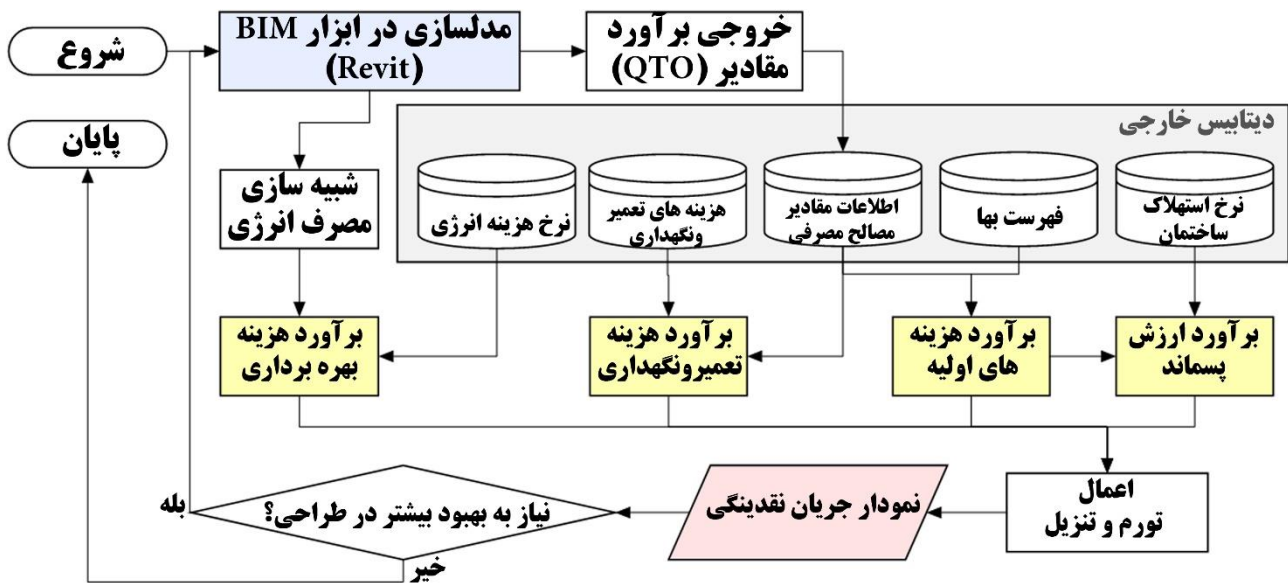
بنابراین علاوه بر عدم وجود ابزار مناسب برای تخمین هزینه های چرخه عمر یک ساختمان در مراحل اولیه طراحی، یکی دیگر از مشکلات اصلی برای آنالیز هزینه های چرخه عمر در صنعت معماری، مهندسی و ساخت و ساز، فقدان وجود اطلاعات کافی و قابل اعتماد در مورد هزینه های چرخه عمر از جمله هزینه های اولیه، تعمیر و نگهداری و بهره برداری است [۱۵].

۱-۳- مدل سازی اطلاعات ساختمان

اخیراً در معماری، مهندسی و صنعت ساخت برای طراحی ساختمان ها از مفهوم مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM^۱) استقبال شده است [۱۶]. مفهوم BIM شامل فرآیند تولید، مرتب سازی ، مدیریت ، تبادل و اشتراک گذاری اطلاعات به صورت متقابل و باقابلیت استفاده مجدد تعریف می شود [۱۷]. با استفاده از ابزار BIM طراحان می توانند از اطلاعات ذخیره شده در بانک اطلاعاتی آن برای مقاصد مختلفی همچون متره و برآورد مقادیر مصالح مصرفی (QTO^۲) ، شبیه سازی و تخمین مصرف انرژی ساختمان استفاده کنند [۱۶]. پژوهش های مختلفی در زمینه تخمین هزینه های اولیه (ساخت و ساز) بر پایه BIM انجام شده است [۱۸-۲۲]. از جمله مزایای کلیدی تخمین هزینه بر مبنای BIM میتوان به ارزیابی سریع و موثرتر هزینه و صحت بیشتر برآورد مقادیر اشاره کرد. مزیت عمده این روش دقت بالای آن در مراحل اولیه طراحی می باشد در حالی که در تخمین هزینه بر اساس روش سنتی در ابتدای کار تا حدود ۴۰ درصد خطا خواهیم داشت و پژوهش ها حاکی از آن است که تنها ۳ درصد از تخمین هزینه های روش سنتی در مراحل اولیه طراحی صحیح و قابل قبول بود اند [۱۹].

1 Building Information Modeling

2 Quantity Take-Off



شکل ۱. فلوچارت چارچوب تخمین LCC برپایه BIM با استفاده از فهرست بهای ملی ایران

Fig. 1. Flowchart of LCC estimation framework based on BIM using Iran price list code

ساختمان، یعنی سازه، معماری و تأسیسات، برای ایفای یک عملکرد یکسان، می‌توان از بین گزینه‌های مختلف یکی را انتخاب نمود که مهندسين طراح، بر اساس تجربیات پیشین و معمولاً بر اساس حداقل هزینه، یک نوع از آن گزینه‌های موجود برای تأمین یک عملکرد یکسان را انتخاب می‌کنند. طراحی هر سه بخش ساختمان یعنی سازه، معماری و تأسیسات ساختمان در هزینه‌های چرخه عمر شامل هزینه‌های اولیه، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری مؤثر خواهند بود که بایستی در مرحله طراحی در نظر گرفته شوند. شکل (۱) نشان‌دهنده فلوچارت چارچوب ارائه شده این پژوهش برای تخمین هزینه‌های چرخه عمر، در مراحل اولیه طراحی ساختمان‌ها در ایران است.

ابزار ارائه شده بر پایه چارچوب پیشنهادی این پژوهش به‌صورت یکپارچه با ابزار BIM، که در این پژوهش نرم افزار Revit می‌باشد، مرتبط بوده و به‌صورت یک افزونه در این نرم‌افزار تولید شده است. علت استفاده از این نرم‌افزار، علاوه بر قابلیت توسعه توسط توسعه‌دهندگان، استفاده مرسوم از آن در معماری، مهندسی و صنعت ساختمان است. مدل ساختمانی تولید شده با این ابزار، شامل تعدادی از المان‌های مختلف خواهد بود که هر یک از آن‌ها، برحسب نوع آن، دارای یک UniqueId، یک UniFormat و همچنین یک یا چند MasterFormat می‌باشند [۲۳]. UniFormat اطلاعات ساختمانی را بر اساس نوع کاربری المان دسته‌بندی کرده است و

ها وجود خواهد داشت و به همین دلیل هماهنگی بیشتری بین این اطلاعات با اطلاعات لازم برای تخمین LCC وجود دارد. بنابراین تخمین LCC با دقت، سهولت و سرعت بیشتری انجام می‌گیرد.

برای تخمین هزینه هر یک از اجزای LCC در ایران اطلاعات هزینه ای قابل اعتماد و منطبق با هزینه های کشور مورد نیاز است و نمیتوان از بانک های اطلاعات هزینه ای کشور های دیگر استفاده نمود، بنابر این برای تخمین هر یک از اجزای LCC در ادامه این پژوهش راهکاری ارائه شده است. تخمین هزینه های اولیه ساخت و ساز، شامل هزینه تهیه و نصب مصالح، بر اساس بانک اطلاعات هزینه ای فهرست بهای ملی ایران انجام شده است.

بنابر این در این پژوهش از مفهوم BIM به عنوان یک بانک اطلاعاتی از جزئیات کامل ساختمان و از ابزار آن برای برآورد مقادیر و شبیه سازی مصرف انرژی ساختمان در راستای رفع مشکلات چارچوب های تخمین LCC پیشین و افزایش دقت در این راستا استفاده شده است.

۲- روش تحقیق

همان‌گونه که در بخش قبل ذکر شد، هدف اصلی این پژوهش ارائه یک چارچوب مبتنی بر BIM برای تخمین LCC در مراحل اولیه طراحی ساختمان در ایران است. در طراحی سه بخش کلی یک

دیتابیس هزینه‌ای، به دست خواهد آمد. فواصل حمل و نقل برای تأمین هر یک از انواع المان یا مصالح به صورت متغیر در نظر گرفته شد و هزینه‌های حمل و نقل آن‌ها نیز بر اساس این فواصل حمل و نرخ جاری هزینه وسایل نقلیه برآورد شد. در نهایت هزینه کل اولیه بر مبنای هزینه اولیه هر یک از المان‌ها به دست آمد.

۱-۲- هزینه‌های بهره‌برداری

در فاز بهره‌برداری یک ساختمان، هزینه‌های مصرف انرژی مورد توجه خواهد بود. برای تخمین میزان مصرف انرژی یک ساختمان در بازه چرخه عمر، می‌توان از ابزار شبیه‌سازی مصرف انرژی بر پایه BIM استفاده نمود. نرم‌افزارهای مختلفی برای شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان ارائه شده‌اند [۲۶]. یکی از این نرم‌افزارها، GBS است. علت انتخاب این نرم‌افزار علاوه بر قابلیت تطابق بیشتر با مدل‌های ساختمان تهیه شده با نرم‌افزار Revit، کارکرد سریع و آسان‌تر نسبت به دیگر نرم‌افزارهای این امر بوده است. برای انجام شبیه‌سازی مصرف انرژی توسط این نرم‌افزار، می‌توان پس از انجام مدل‌سازی ساختمان، با استفاده از امکانات ابزار Revit خروجی XML از مدل تهیه نمود و پس از ورود به سایت این نرم‌افزار، آن را بارگذاری نمود و شبیه‌سازی را آغاز نمود [۲۷]. در نهایت پس از انجام شبیه‌سازی، می‌توان علاوه بر مشاهده نتایج تحلیل حاصل از شبیه‌سازی، فایل خروجی CSV حاوی مصرف سالانه انرژی ساختمان را دریافت نمود. با ورود به ابزار تخمین LCC توسعه داده شده در این پژوهش، می‌توان خروجی CSV را برای مدل بارگذاری نمود تا میزان مصرف سالانه انرژی، شامل انرژی‌های گاز طبیعی و برق، در دیتابیس خارجی ثبت شود. با توجه به میزان نرخ جاری هزینه‌های کشور که در دیتابیس موجود خواهد بود، هزینه‌های مصرف انرژی در چرخه عمر یک ساختمان توسط ابزار توسعه داده شده، برآورد خواهد گردید.

۱-۳- هزینه‌های تعمیر و نگهداری

در بازه چرخه عمر یک ساختمان، ممکن است اجزاء ساختمان در اثر استهلاک، دچار خرابی شوند؛ بنابراین نیاز به تعمیرات دوره‌ای خواهند داشت. طبق تعریف، تعمیر و نگهداری ساختمان برای این که همواره بتواند در حالت کارایی و بهره‌برداری مطلوب باقی بماند،

MasterFormat یک دسته‌بندی سلسله‌مراتبی است که برای سازماندهی لیست مصالح ارائه شده است. هردوی این روش‌های دسته‌بندی در سیستم OmniClass ارائه شده‌اند که خود یک سیستم دسته‌بندی در صنعت ساختمان است [۲۴]. UniqueId به‌عنوان یک عبارت شناساگر ثابت برای هر المان به شکلی کاملاً واحد در محدوده اطلاعات مدل معرفی شده است که می‌توان از آن برای شناسایی المان‌ها در دیتابیس‌ها به‌عنوان یک Primary Key استفاده کرد [۲۵].

اطلاعات مورد نیاز برای برآورد هزینه‌های چرخه عمر، مانند مقادیر مصالح، با استفاده از امکانات ابزار BIM برآورد شده و در یک جدول از دیتابیس خارجی ذخیره می‌گردند. اطلاعات پایه مورد نیاز که با توجه به نوع کاربری ساختمان، نرخ هزینه‌های انرژی و محل ساخت و طول مدت چرخه عمر در نظر گرفته شده، توسط کاربر تعیین خواهند شد، نیز در جدولی دیگر در این دیتابیس ذخیره می‌گردند.

۱-۱- هزینه‌های اولیه

در فاز ساخت و ساز، هزینه تهیه مصالح مورد نیاز، حمل تا محل پروژه و هزینه نیروی انسانی جهت ساخت و ساز مورد توجه خواهد بود. مجموع هزینه‌های فوق، با عنوان هزینه‌های اولیه شناخته می‌شوند. برای برآورد هزینه‌های اولیه، همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، مقادیر مصرفی از المان‌های مختلف، با استفاده از ابزار BIM درون دیتابیس خارجی ذخیره خواهند شد. هر المان که به‌عنوان یک Family در نرم‌افزار Revit شناخته می‌شود، دارای یک UniFormat و همچنین یک یا چند MasterFormat یا Keynote است که درون دیتابیس ذخیره می‌گردد. دیتابیس هزینه‌ای فهرست‌بها برای تخمین هزینه تأمین مصالح و نیروی انسانی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. برای این منظور برای هر ردیف هزینه‌ای فهرست‌بها که برای المان‌های مختلف ارائه شده، یک UniFormat و یک MasterFormat اختصاص داده شد. بر اساس این UniFormat و MasterFormat ها پس از برآورد مقادیر مصالح در مدل ساختمانی، هزینه واحد هر المان که ممکن است شامل یک یا چند ردیف از فهرست‌بها گردد محاسبه شد؛ بنابراین هزینه واحد هر یک از المان‌های بکار رفته در مدل ساختمان و نیروی انسانی مورد نیاز جهت ساخت و ساز آن، با تطابق این شاخص از المان‌های مدل و

جدول ۱. جزئیات انواع ساختمان و طول عمر مفید آن‌ها

Table 1. Details of building types and their useful life

عمر مفید ساختمان (سال)		نوع سازه
در کانادا و آمریکا [۳۸]	در ایران (بر اساس نظرسنجی)	
۳۰	۱۸	سازه اسکلت فلزی
۴۵	۲۶	سازه اسکلت بتن مسلح

۲-۴- ارزش پسماند

طبق تعریف، ارزش پسماند مقدار ارزشی است که یک محصول در انتهای یک مدت‌زمان در نظر گرفته شده خواهد داشت. هر ساختمان با توجه به نوع اسکلت آن، دارای یک مقدار عمر مشخص خواهد بود که در انتهای آن، ارزش پسماند ساختمان ساخته شده به صفر خواهد رسید. در این پژوهش از روش استهلاک خطی برای محاسبه ارزش پسماند یک ساختمان استفاده شده چراکه این روش محاسبه برای ارزیابی استهلاک در ساختمان‌ها مرسوم است [۳۵]. طبق این روش با توجه به طول عمر مفید ساختمان و طول چرخه عمر در نظر گرفته شده برای آن، مقدار ارزش پسماند در انتهای طول عمر در نظر گرفته شده ساختمان، برآورد خواهد شد و سپس براساس ارزش خالص فعلی در محاسبات هزینه‌های چرخه عمر اعمال خواهد شد. اگرچه مراجعی برای تخمین عمر مفید ساختمان براساس نوع اسکلت آن برای برخی کشور های توسعه یافته وجود دارد، ولی در ایران هنوز مرجع معتبری برای این عمر وجود نداشته و برخی مراجع تنها یک بازه برای عمر ساختمانها در ایران (معادل ۲۵ الی ۳۵ سال) ارائه داده اند [۳۶،۳۷]. به همین دلیل در این پژوهش برای تخمین میزان عمر مفید ساختمان‌ها بر اساس نوع اسکلت آن‌ها یک نظرسنجی از ۲۸ خبره معماری، مهندسی و صنعت ساختمان انجام شد. نتایج نظرسنجی برای ساختمان‌های ساخته شده در ایران برای دو نوع اسکلت فولادی و اسکلت بتن مسلح در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین این نتایج با اعداد ارائه شده مراجع کشور های آمریکا و کانادا، بر اساس مرجع مدیریت تسهیلات R.S.Means [۳۸]، در ستون آخر جدول مقایسه شده است که نشان دهنده عمر کمتر ساختمان‌ها در ایران نسبت به این دو کشور می باشد.

۲-۵- تورم، تنزیل و نمودار جریان نقدینگی

کلیه هزینه‌های چرخه عمر، برای امکان مقایسه در جریان

انجام می‌گردد [۲۸]؛ به عبارت دیگر، تعمیر و نگهداری ساختمان، در حقیقت مجموعه‌ای از امور اجرایی و فنی انجام شده بر روی ساختمان و اجزای آن است به‌منظور این که آن‌ها بتوانند عملکردشان را مطابق طراحی انجام شده ایفا نمایند [۲۹]. تعمیر و نگهداری دوره‌ای ساختمان، نوعی از تعمیر و نگهداری است که در دوره‌های زمانی مشخص، پس از کنترل حالت یا عملکرد ساختمان، انجام می‌شود [۳۰]. علت انتخاب این نوع از تعمیر و نگهداری، امکان استفاده از داده‌های تاریخی و پیش‌بینی ساده‌تر هزینه‌های تعمیر و نگهداری هر یک از المان‌ها در ساختمان بوده است [۳۱-۳۴].

هزینه‌های تعمیر و نگهداری، باتوجه به این‌که هر یک از المان‌های مختلف در یک ساختمان، می‌توانند از مصالح مختلف و توسط تولیدکنندگان مختلف تولید شوند، بسیار متفاوت خواهند بود. به نظر میرسد تاکنون مرجع معتبری برای تخمین این هزینه‌ها در کشور ارائه نشده است و به همین منظور برای در نظر گرفتن هزینه‌های تعمیر و نگهداری، در این پژوهش از جمع‌آوری نظر خبرگان استفاده شد. به این صورت که برای هر یک از المان‌های یک ساختمان، بر اساس نظر خبرگان، هزینه متوسط سالانه ای برای تعمیر و نگهداری اختصاص داده شد. جمع‌آوری اطلاعات هزینه و نوع تعمیر و نگهداری المان‌های مختلف از بین ۴۳ نفر از مالکین ساختمان‌های مسکونی انجام شد. برای این منظور، پس از محاسبه هزینه تعمیر و نگهداری سالانه متوسط برای هر یک از المان‌ها، این هزینه‌ها به‌عنوان هزینه‌های تعمیر و نگهداری دوره‌ای، بر اساس UniFormat های مختلف در یک جدول جداگانه در دیتابیس خارجی ذخیره شد. با توجه به این‌که المان‌های استفاده شده در مدل، بر اساس UniFormat در دیتابیس خارجی ذخیره می‌گردند، می‌توان هزینه واحد تعمیرات هر یک از المان‌ها را برای هر سال، بر اساس این اطلاعات هزینه‌ای محاسبه نمود؛ بنابراین می‌توان هزینه مجموع تعمیر و نگهداری را با توجه به مقادیر مصرفی هر المان (بر اساس واحدهای تعداد، مترمربع، مترمکعب و غیره) برآورد نمود.

در این پژوهش ابزاری جهت تخمین هزینه‌های چرخه عمر بر اساس مفاهیم فلوچارت با استفاده از رابط کاربری نرم‌افزار^۳ توسعه داده شد که در نهایت این رابط کاربری در نرم‌افزار مدل‌سازی Revit به صورت یک افزونه^۴ مطابق شکل (۲) مورد استفاده قرار گرفت. برای اعتبار سنجی این ابزار، عملکرد آن با بررسی یک مدل ساختمان مسکونی تحت طراحی سه طبقه واقع در کشور ایران و شهر تهران مورد سنجش قرار گرفت. مساحت کل سایت ساخت‌وساز ۱۴۵ مترمربع بوده که مساحت خالص زیربنای آن معادل ۵۶۵ مربع و نوع اسکلت آن از نوع فولادی با اتصالات ساده و دارای مهاربندی در دو جهت X و Y بوده است. خاک محل پروژه از نوع تیپ سوم فرض شده و سقف آن نیز به صورت عرشه فولادی طراحی شده است. بارگذاری این سازه بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران و آیین‌نامه طرح لرزه ای سازه (موسوم به ۲۸۰۰) و طراحی آن بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان انجام گرفته است. در این پژوهش پیاده سازی روش تخمین LCC صرفاً برای ستون (به عنوان یک جزء سازه ای) و دیوار (به عنوان یک جزء معماری) انجام گردیده است و صرفاً هزینه چرخه عمر این دو جزء محاسبه خواهد شد.

برای مدل‌سازی ساختمان، از نرم‌افزار Revit استفاده شد و با جایگذاری تعدادی المان از گروه ستون، تیر و کف مدل اولیه سازه‌ای تهیه شد و پس از آن با جایگذاری اجزای معماری نظیر دیوار، در و پنجره مدل مطابق شکل (۳) توسعه داده شد. این گروه‌بندی‌ها در نرم‌افزار Revit تحت عنوان Family ها شناخته می‌شوند. Family ها یک مجموعه از المان‌ها هستند که خواص و نمای گرافیکی مشابه یکدیگر دارند. برای هر نوع Family پارامترهای مربوط به همان نوع اختصاص داده شده است که به‌طور جامع بیانگر جزئیات آن Family خواهد بود. هر یک از خواص این Family ها تحت عنوان پارامتر شناخته می‌شوند. از جمله پارامترهای مهم می‌توان به UniqueID، UniFormat و MasterFormat اشاره کرد. کاربر برای طراحی و مدل‌سازی یک ساختمان، به‌مرور و با انتخاب المان‌های مختلف، به توسعه مدل خود خواهد پرداخت.

۳-۱- اطلاعات اولیه و برآورد مقادیر

همان‌گونه که در فلوچارت شکل (۱) مشخص است، برای تخمین هر یک از اجزا LCC نیاز به اطلاعات اولیه‌ای هست که بایستی در

نقدینگی، بایستی بر اساس ارزش خالص فعلی محاسبه گردند. برای این منظور ابتدا بایستی ارزش آینده (FV^1) هزینه های تخمین زده شده در زمان حال بدست آید (تورم) و سپس آن را به ارزش خالص فعلی (NPV^2) تبدیل کرد (تنزیل) [۳۹]. اگر هزینه سالانه تخمین زده شده هر یک از اجزای هزینه های چرخه عمر (مانند هزینه سالانه بهره برداری) به مقدار C و نرخ تورم معادل j باشد، ارزش آتی آن در سال n معادل FV_n بوده و بر اساس رابطه (۱) بدست خواهد آمد و در نهایت مجموع ارزش خالص فعلی هزینه های چرخه عمر بر اساس نرخ تنزیل i مطابق رابطه (۲) بدست خواهد آمد:

$$FV_n = C(1 + j)^n \quad (1)$$

$$NPV = \sum_0^n \left(\frac{FV_n}{(1 + i)^n} \right) \quad (2)$$

پس از محاسبه هزینه‌های اولیه، تعمیر و نگهداری، بهره‌برداری و ارزش پسماند، مجموع آن‌ها در طول چرخه عمر در نظر گرفته شده به‌عنوان هزینه‌های چرخه عمر یک ساختمان، ارائه خواهد شد. برای طراحی یک ساختمان، نیاز است که طراح در همان مراحل اولیه طراحی، هزینه‌های چرخه عمر را به شکلی ملموس مشاهده کند و بتواند از بین گزینه‌های مختلف طراحی سازه، معماری و تأسیسات، بهترین گزینه را با توجه به فاکتورهای تأثیرگذار در تصمیم‌گیری مانند هزینه‌های چرخه عمر، زیبایی، قابلیت و امکان تهیه در محل پروژه و دیگر فاکتورهای مدنظر طراحان، انتخاب کند؛ بنابراین، برای امکان مقایسه بین گزینه‌های مختلف، نیاز به یک ابزار جهت نمایش هزینه‌ها در طول بازه چرخه عمر خواهد بود که برای این منظور در این پژوهش از ابزار جریان نقدینگی استفاده شده است. این ابزار با توجه به این که یک ابزار نموداری است از قابلیت فهم و سادگی بالایی برخوردار بوده و طراحان می‌توانند در هر لحظه به راحتی امکان مقایسه بین گزینه‌های مختلف را دارا باشند.

۳- پیاده‌سازی مدل

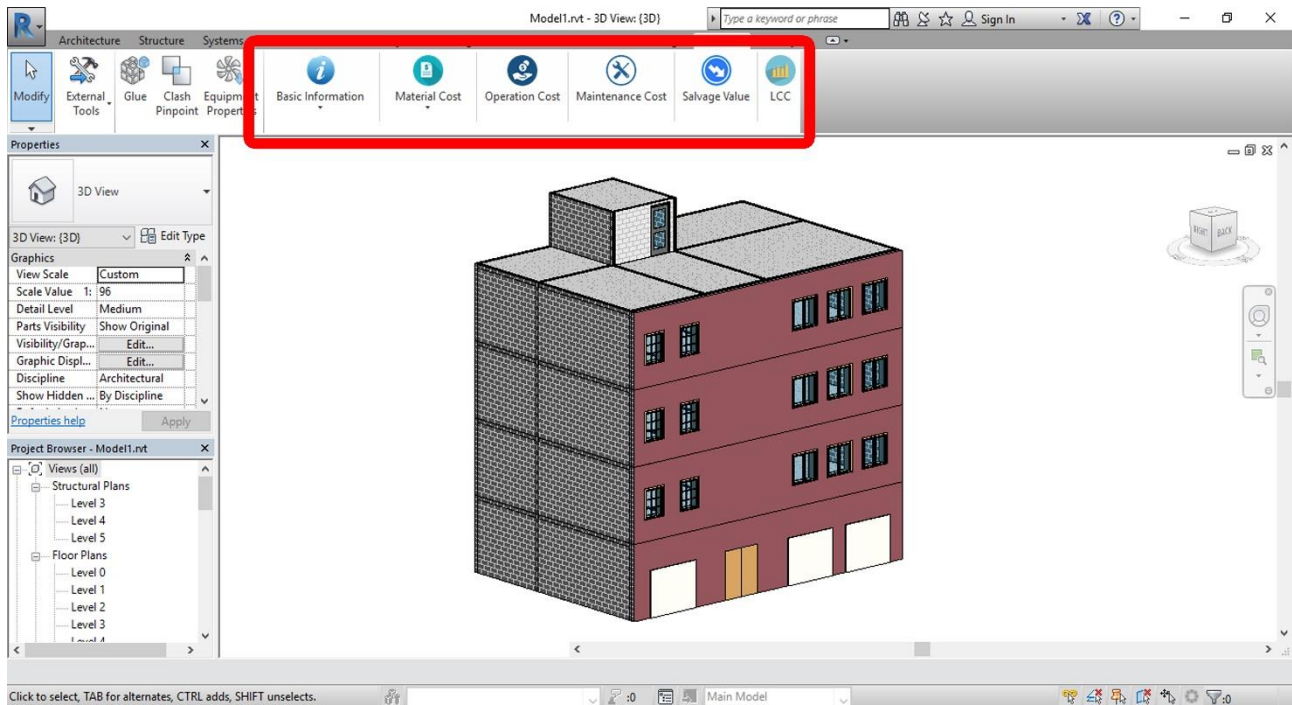
روش مفهومی توسعه داده شده در این پژوهش برای تخمین هزینه‌های چرخه عمر یک ساختمان مطابق فلوچارت شکل (۱) نشان داده شد. این فلوچارت با انجام مدل‌سازی یک ساختمان با استفاده از ابزار BIM که در این پژوهش نرم‌افزار Revit بوده، آغاز می‌شود.

3 Application programming interface (API)

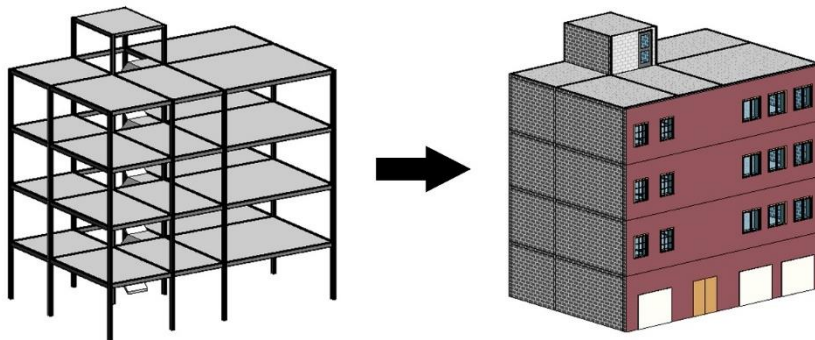
4 Add-In

1 Future Value

2 Net Present Value



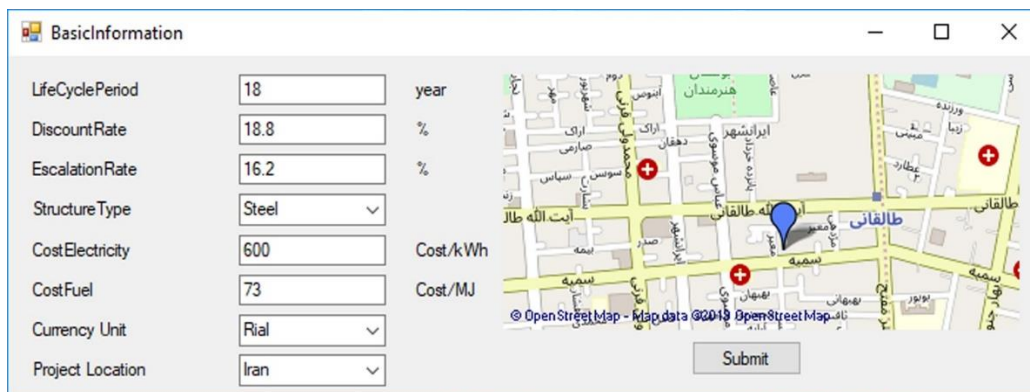
شکل ۲. نمای کلی نوار ابزار توسعه یافته در محیط Revit بر پایه روش پیشنهادی این پژوهش
 Fig. 2. Toolbar overview developed in REVIT area based on the proposed method of this study



شکل ۳. روند توسعه مدل ساختمانی از سازه به معماری در Revit
 Fig. 3. Development process of building model in REVIT

پروژه در دیتابیس ثبت خواهد گردید. برای تعیین موقعیت محل پروژه و ثبت مختصات، در ابزار توسعه داده شده از رابط کاربری نرم افزار بخصوص با عنوان GMap بهره برده شده است. محل پروژه مسکونی مورد مطالعه در شهر تهران در نظر گرفته شد. در صورتی که کاربر میزان چرخه عمری بیش از مقدار عمر مفید مطابق جدول (۱) برای آن نوع ساختمان را وارد کرده باشد، نرم افزار به صورت هوشمند به کاربر هشدار داده و مقدار طول چرخه عمر را

ابتدا توسط کاربر تکمیل شوند. کاربر در مرحله اول اطلاعاتی از جمله طول چرخه عمر در نظر گرفته شده برحسب سال، نرخ تنزیل و تورم جاری کشور برحسب درصد، نوع اسکلت ساختمان، نرخ جاری هزینه انرژی برق و گاز در منطقه و واحد پولی را مطابق شکل (۴) در ابزار وارد خواهد نمود. همچنین برای محاسبه هزینه های حمل و نقل مصالح، کاربر با کلیک کردن بر روی نقشه انتهای فرم موقعیت دقیق پروژه را وارد خواهد نمود که پس از آن مختصات جغرافیایی محل



شکل ۴. نمایشی از پنجره اطلاعات اولیه در ابزار توسعه یافته
 Fig. 4. View of the basic information in the developed tool box

ساختمان است. خوشبختانه در حال حاضر ابزار BIM برون آوری مستقیم برآورد مقادیر مصرفی در یک مدل ساختمانی را با استفاده از ابزار اتصال باز بانک اطلاعاتی^۲ درون یک دیتابیس از پیش طراحی شده مانند اکسس^۳ ویا اکسل^۴ تولید شده توسط شرکت ماکروسافت را پشتیبانی می‌کنند؛ بنابراین برون آوری مقادیر مصرفی در مدل ساختمانی، با ایجاد یک دیتابیس و جداول از پیش طراحی شده و توسعه رابط کاربری نرم‌افزار در محیط Revit مکان‌پذیر شد.

طراحی هر دیتابیس در چهار مرحله کلی انجام می‌گیرد: اول ایجاد جداول، دوم پیدا کردن ارتباط بین جداول، سوم وارد کردن مقادیر ورودی جداول و مرحله چهارم گرفتن اطلاعات از جداول (Query ها). در مدل توسعه داده شده در این پژوهش، تعداد ۱۱ جدول برای ثبت اطلاعاتی از جمله اطلاعات کلی اولیه، برآورد مقادیر ستون‌ها، برآورد مقادیر دیوارها، ثبت انواع المان‌ها، ثبت انواع مصالح استفاده شده در المان‌ها، جزئیات مقادیر لایه‌های دیوارها، فهرست‌بهای هزینه اولیه، فهرست‌بهای هزینه تعمیر و نگهداری سالانه، جدول ثبت اطلاعات مصرف انرژی سالانه، انواع وسایل نقلیه جهت حمل مصالح اولیه و طول عمر مفید انواع ساختمان‌ها بر اساس نوع اسکلت آن‌ها در دیتابیس ایجاد شد.

برای ذخیره اطلاعات المان‌های استفاده شده، مانند حجم، سطح، MasterFormat، UniFormat و UniqueID در این پژوهش مطابق شکل (۵) از یک دیتابیس خارجی تحت نرم‌افزار اکسس استفاده شده است. پس از اعمال درخواست به‌روزرسانی با کلیک کردن

به حداکثر مقدار قابل قبول (برابر عمر مفید آن) کاهش خواهد داد. همچنین اگر هر یک از این فیلدها توسط کاربر وارد نشوند و یا خالی گذاشته شوند، دکمه ارسال برای ثبت در جدول دیتابیس غیرفعال خواهد شد. برای مطالعه موردی مدل ساختمانی مسکونی فوق، چرخه عمر معادل حداکثر عمر مفید ساختمان های اسکلت فلزی و برابر با ۱۸ سال در نظر گرفته شد، بنابر این فرض بر این است که مالک در انتهای چرخه عمر ساختمان، آن را تخریب خواهد نمود. نرخ تورم جاری کشور ایران، بر اساس آمار رسمی بانک مرکزی و به صورت میانگین ۵ سال اخیر معادل ۱۶٫۲ درصد در نظر گرفته شد [۴۰]. همچنین نرخ تنزیل جاری کشور بر اساس میانگین حداقل نرخ سود مورد انتظار تسهیلات در عقود مشارکتی بانک مرکزی در ۵ سال اخیر معادل ۱۸٫۸ درصد در نظر گرفته شد [۴۱]. نرخ هزینه هر کیلووات ساعت انرژی الکتریسیته معادل ۶۰۰ ریال و هزینه گاز طبیعی مصرف خانگی معادل ۷۳ ریال برای هر مگاژول انرژی بر اساس متوسط نرخ جاری کشور در نظر گرفته شدند.

در هر یک از مراحل اولیه طراحی و مدل‌سازی ساختمان، کاربر می‌تواند از ابزار تخمین هزینه‌های چرخه عمر برای انتخاب گزینه به‌صرفه‌تر استفاده کند، بدین منظور ابتدا بایستی با کلیک بر روی آیکن به‌روزرسانی^۱ در نوار ابزار، اطلاعات المان‌های استفاده شده در مدل ساختمان خود را در دیتابیس خارجی تعبیه شده، بروز رسانی کند. این اطلاعات شامل برآورد مقادیر مصالح و المان مصرفی در مدل ساختمانی و همچنین انواع المان یا مصالح مصرفی (هر نوع المان یا مصالح ممکن است در المان‌های مختلفی از سازه بکار رفته باشد) در

2 Open database connectivity (ODBC)

3 Microsoft Access

4 Microsoft Excel

1 Refresh

UNIFORMAT	Uniqueid	Name	Width	LayerNo	Area	Volume
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	45.789805041599	6.86847074579976
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	31.3251253255715	4.69876879169361
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	31.8051253239336	4.77076879133847
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	45.789805041599	6.86847074579976
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	31.3251253253928	4.69876879166681
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	46.2698050401398	6.94047074547144
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	31.3251253253928	4.69876879166681
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	46.2698050401398	6.94047074547144
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	31.3251253253928	4.69876879166681
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	8.68999997358239	1.30349999405604
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	7.25999997792959	1.0889999503416
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	8.35999997458559	1.2539999428175
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 15cm- Masonr	15	1	4.79477438542388	0.719216156720371
B2010156	2a07726a-7bbe-4580-b5b6-af51	Exterior - Brick on CMU	40	7	27.3072604577859	10.9229041665115
B2010156	2a07726a-7bbe-4580-b5b6-af51	Exterior - Brick on CMU	40	7	39.1007861819336	15.6403144490001
B2010156	2a07726a-7bbe-4580-b5b6-af51	Exterior - Brick on CMU	40	7	39.1007861819336	15.6403144490001
B20101091340	f5ed0bf4-ca9e-44b5-a804-dea01	Generic - 15cm- Masonr	15	1	30.045125329284	4.50676879254231
B20101091340	2f7cd8cf-63ee-4e1c-b584-8f2b9	Generic - 15cm- Masonr	15	1	30.045125329284	4.50676879254231
B2010156	472716ee-1536-41ca-88a8-4a9d5	Exterior - Brick on CMU	40	7	38.6207861833928	15.4483144498757
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 30cm- Masonr	30	1	32.2851253226531	9.68553758207389
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 30cm- Masonr	30	1	45.7898050415989	13.7369414915995
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 30cm- Masonr	30	1	31.3251253255715	9.3975375838715
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 30cm- Masonr	30	1	32.2851253224744	9.68553758202029
B20101091340	9982913a-27f9-4bba-be8b-5f4a4	Generic - 30cm- Masonr	30	1	45.7898050415989	13.7369414915995

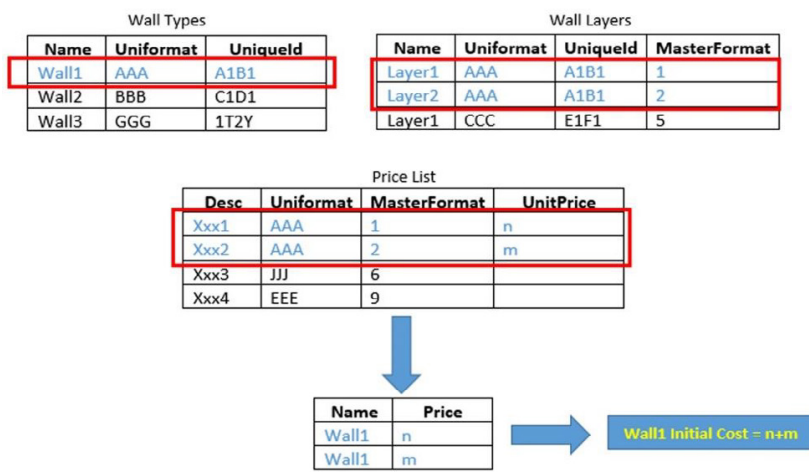
شکل ۵. بانک اطلاعاتی ایجادشده برای ذخیره اطلاعات در محیط اکسس
 Fig. 5. Database created to save information in the ACCESS area

جداگانه برای هر یک از این پارامترها در دیتابیس خارجی ذخیره گردید.

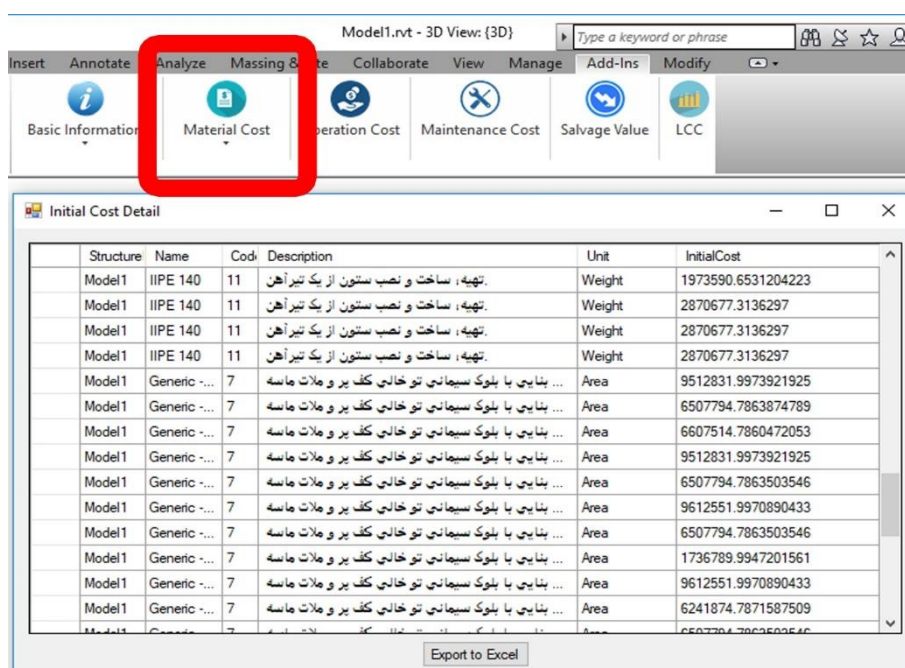
۳-۲- هزینه‌های اولیه

دیتابیس هزینه‌های ساخت‌وساز ایران یعنی فهرست‌بها، هزینه‌های آیتم‌های کاری مختلف را به‌صورت فصول جداگانه دسته‌بندی کرده است. هر آیتم کاری یک شماره ردیف ۶ رقمی دارد که دو رقم ابتدایی آن مربوط به شماره فصل است. برای هر ردیف یک واحد و هزینه به ازای آن واحد اختصاص یافته است. این دیتابیس به‌عنوان مبنا برای تخمین هزینه‌های اولیه مورد استفاده قرار گرفت بدین‌صورت که برای هر آیتم فهرست‌بها، با توجه به شرح آن، یک UniFormat بر اساس المان و یک MasterFormat بر اساس مصالح مورد استفاده در آن ردیف برای المان، اختصاص پیدا کرد و سپس به‌عنوان یکی از جداول در دیتابیس خارجی ذخیره شد. ممکن است برای محاسبه هزینه اولیه هر المان (شامل هزینه تهیه و نصب) چند ردیف از دیتابیس فهرست‌بها در نظر گرفته شوند. برای محاسبه هزینه هر یک از المان‌ها، از دستورات Query استفاده شد. دستورات Query بر مبنای کلید

بر روی آیگون به‌روزرسانی، اطلاعات المان‌های موجود در مدل به دیتابیس خارجی ارسال خواهد شد. به‌عنوان مثالی از اجزای معماری ساختمان، برای المان دیوار، اطلاعات در دو جدول جداگانه شامل اطلاعات انواع دیوار و اطلاعات لایه‌های مختلف هر دیوار، در دیتابیس ثبت خواهد شد. جدول اطلاعات انواع دیوار شامل ستون‌های از پیش طراحی‌شده برای ثبت نام مدل به‌عنوان آی دی شناسایی ساختمان، UniFormat، UniqueID، نام المان، ضخامت دیوار، تعداد لایه‌ها، مساحت و حجم در دیتابیس بوده است. هر یک از انواع دیوار، تعداد و جنس لایه‌های مخصوص به خود را خواهد داشت. اطلاعات لایه‌های دیوار در یک جدول جداگانه با ستون‌هایی برای اطلاعات نام مدل به‌عنوان آی دی شناسایی ساختمان، UniFormat، UniqueID، MasterFormat، ضخامت لایه و تعداد لایه ثبت خواهد شد. به‌عنوان مثالی از اجزای سازه‌ای ساختمان، برای المان ستون سازه‌ای اطلاعات در یک جدول جداگانه ذخیره شدند. اطلاعاتی از جمله نام مدل به‌عنوان آی دی شناسایی ساختمان، UniFormat، UniqueID، MasterFormat، نام المان، مساحت مقطع ستون، حجم ستون، طول ستون و وزن مخصوص مصالح ستون از مدل ساختمان و نرم‌افزار Revit گرفته شد و در یک جدول با ستون‌های



شکل ۶. نحوه محاسبه هزینه‌های اولیه هر المان با استفاده از دستورات Query دیتابیس
 Fig. 6. Calculation process of the initial cost of each element using QUERY commands database



شکل ۷. نمایی از جدول جزئیات هزینه خرید و نصب المان‌های مختلف در ابزار توسعه یافته
 Fig. 7. View a detailed table of the cost of purchasing and installing various elements in the developed tool box

برای تخمین هزینه حمل‌ونقل جهت تأمین مصالح مختلف ساختمان، بایستی در همان ابتدا نوع مصالح و فاصله حمل آن مشخص شود. وابسته به نوع مصالح ساختمانی، به‌طور کلی به ۴ صورت می‌توان آن‌ها را تأمین نمود که شامل ETO^2 ، MTO^3 ، ATO^4 و MTS^5 است. محصولات ETO از قبل و بر اساس توجیهات فنی و طراحی

اصلی تعریف شده یعنی UniFormat و همچنین چند کلید فرعی^۱ یعنی MasterFormat ها، هزینه‌های آیتم‌های مختلف مرتبط با آن المان را انتخاب می‌نمایند و سپس همگی آن‌ها را جمع می‌کنند و بر این اساس هزینه واحد هر المان مطابق شکل (۶) به دست خواهد آمد. در نهایت کاربر می‌تواند جدول جزئیات محاسبه هزینه خرید و نصب المان‌های مختلف بکار گرفته شده در مدل را بر اساس آیتم‌های کاری فهرست‌بها مطابق شکل (۷) در یک جدول مشاهده کند.

2 engineered-to-order (ETO)
 3 made-to-order (MTO)
 4 Assembled-to-order(ATO)
 5 made-to-stock (MTS)

1 Foreign Key

با کلید اصلی‌های UniFormat و MasterFormat ارتباط پیدا می‌کنند تا هزینه حمل‌ونقل مجموع المان‌های تشکیل‌دهنده و یا مصالح برآورد شود و در نهایت جدول جزئیات هزینه حمل‌ونقل بر اساس انواع وسایل نقلیه به کاربر ارائه می‌شود. این امکان در ابزار پیش‌بینی‌شده که در صورتی که وسایل حمل‌ونقل و همچنین محل مبدأ حمل دو المان یا مصالح مختلف یکسان باشند، بر اساس ظرفیت حجمی‌های تعریف‌شده، بتوان دو مصالح یا المان را با یک وسیله حمل‌ونقل، جابجا نمود تا از ظرفیت باقی‌مانده احتمالی استفاده شود. روند تعیین محل تامین کننده (شهر اصفهان) بر روی نقشه و تخمین میزان فاصله حمل در شکل (۸) نمایش داده شده است.

۳-۳- هزینه‌های بهره‌برداری

برای محاسبه هزینه‌های انرژی سالانه یک ساختمان، نیاز است که مقدار مصرف سالانه آن مشخص شود. برای این منظور همان‌گونه که در قسمت روش تحقیق بیان شد، از ابزار GBS استفاده شد، بدین‌صورت که پس از مدل‌سازی ساختمان و به‌خصوص المان‌های معماری و پوشش ساختمان، از مدل ساختمان توسط نرم‌افزار Revit یک خروجی XML تهیه می‌شود. این خروجی در ابزار GBS بارگذاری خواهد شد و شبیه‌سازی مصرف انرژی توسط آن انجام می‌گردد. پس از اتمام شبیه‌سازی، نتایج حاصل از آن را می‌توان به شکل یک فایل CSV خروجی گرفت. این فایل CSV محتوی اطلاعاتی از جمله نام پروژه، مقدار مساحت کف و مصرف سالانه انرژی (برق و گاز) هست که مطابق شکل (۹) درون ابزار تخمین هزینه‌های چرخه عمر بارگذاری خواهد شد. یک جدول شامل ستون‌های نام مدل به‌عنوان آی دی شناسایی ساختمان، میزان مصرف برق و میزان مصرف گاز در دیتابیس خارجی طراحی شد. ابزار تخمین هزینه‌های چرخه عمر با خواندن این اطلاعات از فایل خروجی و ثبت آن در جدول تعبیه‌شده در دیتابیس خارجی، بر مبنای اطلاعات اولیه‌ای که در بخش نخست توسط کاربر وارد شده بود، هزینه‌های سالانه انرژی ساختمان را محاسبه خواهد کرد.

۳-۴- هزینه‌های تعمیر و نگهداری

نحوه محاسبه هزینه‌های تعمیر و نگهداری از نظر پیاده سازی، مشابه هزینه‌های اولیه است. همان‌طور که در روش تحقیق نیز گفته

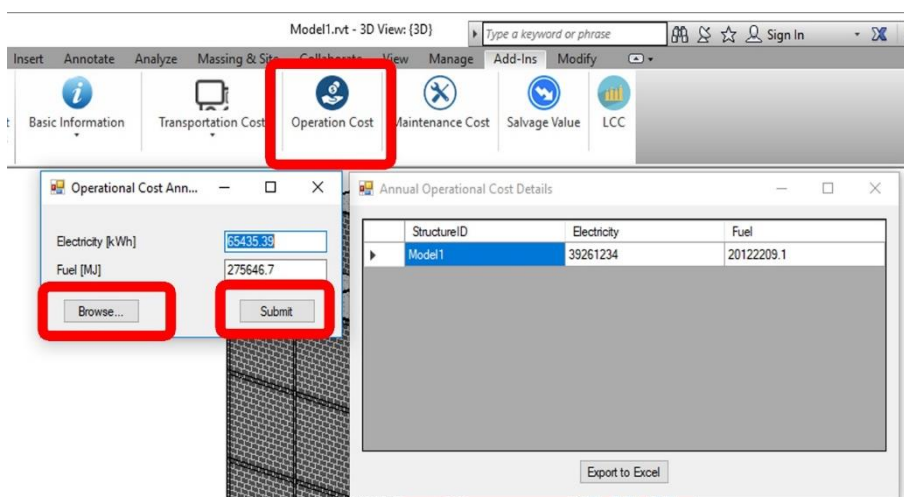
مهندسی ساخته می‌شوند (مانند ستون‌های فلزی پیش‌ساخته). این محصولات معمولاً با جنس مصالح، کارخانه سازنده، مدل و نقشه‌شان قابل تشخیص هستند. محصولات MTO محصولاتی هستند که عموماً به‌صورت ساخت کارخانه‌ها قابل خریداری‌اند (مانند بتن‌های آماده و یا پنل‌های پیش‌ساخته). این محصولات معمولاً با جنس مصالح، کارخانه سازنده و مدل‌شان قابل تشخیص هستند. محصولات ATO معمولاً پس از خریداری در محل پروژه نصب می‌شوند و معمولاً بر اساس استانداردها ساخته می‌شوند (مانند در و پنجره). در محیط BIM این محصولات با پارامتر یا کارخانه سازنده‌شان شناخته می‌شوند. در نهایت MTS ها محصولاتی هستند که در مدت کوتاهی مشخص می‌شوند. این محصولات صرفاً بانام کارخانه سازنده‌شان شناسایی می‌شوند هرچند که مشخصات آن‌ها متناظر با منابع تعریف‌شده است (مانند مصالح گچ، بلوک آخر) [۴۲].

به دلیل این که هر یک از این ۴ نوع مصالح ساختمانی، ممکن است تأمین‌کننده مخصوص به خود را داشته باشد، در ابزار توسعه داده شده، کاربرد قادر خواهد بود که برای هر یک از انواع Family ها با یک UniFormat خاص خود و یا هر یک از مصالح تشکیل‌دهنده آن یعنی هر MasterFormat تشکیل‌دهنده یک UniFormat، موقعیت دقیق تأمین‌کننده را مشخص کند. برای محاسبه فاصله حمل محل تأمین‌کننده تا محل پروژه، در ابزار توسعه داده شده از رابط کاربری نرم‌افزاری بخصوص با عنوان GMap بهره برده شده است. بدین‌صورت که پس از تعیین موقعیت تأمین‌کننده آن المان یا مصالح، بر اساس موقعیت پروژه که مختصات آن در فرم اطلاعات پایه با استفاده از همین رابط کاربری نرم‌افزار در دیتابیس ذخیره‌شده بود، فاصله حمل جاده‌ای به دست خواهد آمد. جدولی در دیتابیس حاوی اطلاعات هر المان یا مصالح ایجادشده که پس از تعیین فاصله حمل هر یک از آن‌ها، این فاصله در این جدول ذخیره می‌گردد. کاربر می‌تواند وسایل نقلیه مختلفی را در ابزار تعریف نموده و برای هر یک هزینه به ازای واحد فاصله جداگانه‌ای تعریف نماید (که می‌تواند بر اساس هزینه‌های حمل ارائه شده در فهرست بها تخصیص یابد) و به هر یک از المان یا مصالح یک وسیله نقلیه به همراه ظرفیت حمل برای آن المان یا مصالح برحسب واحد حجم تعریف نماید. سپس فاصله حمل، وسیله نقلیه اختصاص یافته و ظرفیت آن برای هر یک از انواع Family ها یا مصالح تشکیل‌دهنده آن‌ها با جدول برآورد مقادیر



شکل ۸. نمای کلی روند تعیین فاصله حمل مصالح در ابزار توسعه یافته

Fig. 8. Overview of the process of determining the distance of material transport in the developed tool box

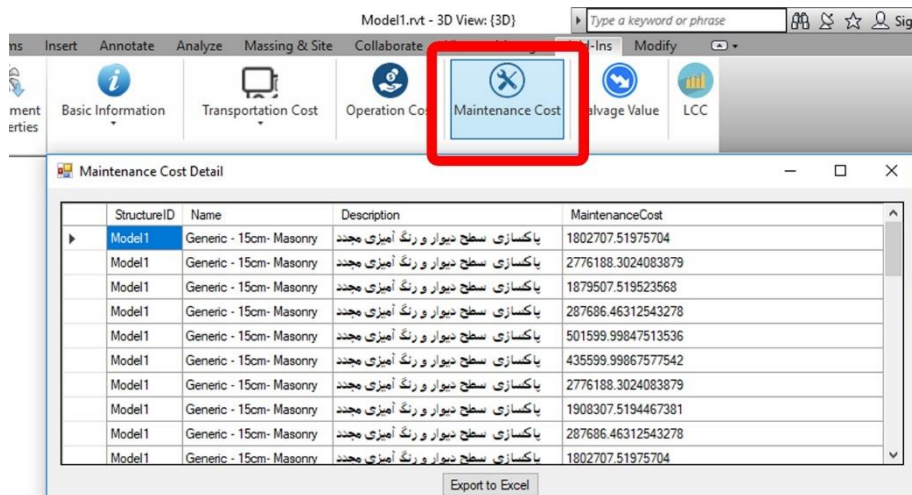


شکل ۹. نمای کلی روند تخمین هزینه‌های بهره‌برداری در ابزار توسعه یافته

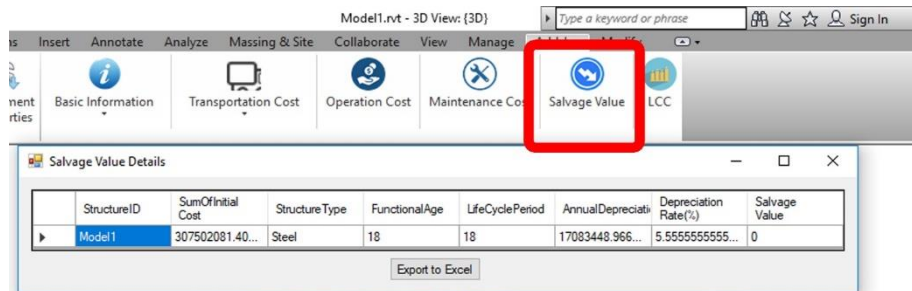
Fig. 9. Overview of the process of estimating operational costs in the developed tool box

جدول برآورد مقادیر دیتابیس با اجرای فرمان به‌روزرسانی ذخیره شده‌اند، برای هر المان بر اساس UniFormat و MasterFormat به ترتیب به‌عنوان کلید اصلی و کلید فرعی آن، با استفاده از دستورات Query هزینه‌های تعمیر و نگهداری برای مقدار واحد از دیتابیس هزینه‌های تعمیر و نگهداری به دست آمد. پس از آن با ضرب کردن این مقدار در مقدار کل آن المان (سطح، حجم، وزن و ...)، هزینه تعمیر و نگهداری سالانه آن المان همانند روند شکل (۶) به دست آورده شد. بر این اساس جزئیات هزینه‌های تعمیر و نگهداری سالانه هر المان توسط ابزار تخمین هزینه‌های چرخه عمر به صورت یک جدول همانند شکل (۱۰) ارائه شدند.

شد، هزینه‌های تعمیر و نگهداری برای هر المان به صورت تعمیر و نگهداری دوره‌ای سالانه در نظر گرفته شده است؛ بنابراین برای ایجاد یک دیتابیس هزینه‌ای، برای هر المان بر اساس UniFormat و MasterFormat آن، می‌توان هزینه تعمیر و نگهداری سالانه در نظر گرفت. هر المان می‌تواند چند نوع هزینه تعمیر و نگهداری سالانه داشته باشد. هزینه‌های تعمیر و نگهداری هر المان بر اساس نظرسنجی خبرگان تعیین شدند و سپس جدولی در دیتابیس خارجی برای هزینه‌های تعمیر و نگهداری با اطلاعاتی از جمله توضیح نوع تعمیرات، MasterFormat، UniFormat، واحد و هزینه واحد تعمیرات سالانه ایجاد شد. بر اساس اطلاعات المان‌های موجودی که قبلاً در



شکل ۱۰. نمای کلی تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری ساختمان در ابزار توسعه یافته
 Fig. 10. Overview of estimated building maintenance costs in developed tool box



شکل ۱۱. نمای کلی نمایش جزئیات ارزش پسماند در ابزار توسعه یافته
 Fig. 11. Overview of representing waste value details in the developed tool box

که در یکی از جداول دیتابیس ذخیره شده‌اند، با فرمان Query فراخوانی شده و ارزش پسماند ساختمان بر اساس ارزش خالص فعلی برآورد می‌گردد. مطابق شکل (۱۱) کاربر با کلیک بر روی آیکون ارزش پسماند علاوه بر ارزش پسماند ساختمان در انتهای چرخه عمرش، از جزئیات کامل نحوه محاسبه آن مانند درصد استهلاک سالانه، مقدار کاهش ارزش سالانه، طول عمر مفید و چرخه عمر در نظر گرفته شده و دیگر پارامترها مطلع می‌گردد. به دلیل در نظر گرفتن مقدار چرخه عمر برابر با عمر مفید در این ساختمان، ارزش پسماند آن صفر است.

۳-۶- اعمال تورم، تنزیل و ارائه نمودار جریان نقدینگی

تا به اینجا، نحوه پیاده‌سازی روش پیشنهادی برای تخمین هزینه‌های چرخه عمر یک مدل ساختمانی گفته شد. آنچه مهم است

۳-۵- ارزش پسماند

ارزش پسماند ساختمان در این پژوهش بر مبنای هزینه اولیه آن محاسبه شده است. همان طور که در بخش روش تحقیق نیز گفته شد، مبنای محاسبه ارزش پسماند، روش استهلاک خطی بوده است. یکی از پارامترهایی که کاربر در مرحله اول، در اطلاعات پایه وارد نمود، مقدار چرخه عمر در نظر گرفته شده برای ساختمان است که برای پروژه ساختمان مسکونی مورد مطالعه برابر با عمر مفید آن در نظر گرفته شد. در این مرحله کاربر نمی‌توانست مقدار عددی بیش از طول عمر مفید ساختمان بر اساس نوع اسکلت آن مطابق جدول (۱) در کادر وارد نماید چراکه مطابق روش استهلاک خطی، ارزش پسماند ساختمان پس از طول عمر مفیدش، معادل صفر است. این اطلاعات



شکل ۱۲. نمای کلی انتخاب اجزای هزینه‌های چرخه عمر نمودار جریان نقدینگی در ابزار توسعه یافته
Fig. 12. Overview of life cycle cost selection components of cash flow chart in the developed tool box

تنزیل لحاظ شده است؛ بنابراین کاربر پس از طراحی یک مدل جدید، امکان مقایسه هزینه‌های چرخه عمر آن را با مدل‌های قبلی خواهد داشت. طراح برای مشاهده نمودار جریان نقدینگی، امکان انتخاب اجزای هزینه‌های چرخه عمر را همانند شکل (۱۲) به صورت دلخواه خواهد داشت و بنابراین ابزار برای ارائه این نمودار می‌تواند برخی از این اجزا همانند ارزش پسماند را در مجموع هزینه‌های چرخه عمر محسوب نکند. نکته مهم و قابل توجه آن است که برای وجود امکان مقایسه بین مدل‌های مختلف، اطلاعات اولیه در نظر گرفته شده برای محاسبه هزینه‌های چرخه عمر، یعنی همان اطلاعاتی که کاربر در اولین مرحله وارد نمود شامل نرخ تنزیل، مدت طول چرخه عمر و ...، برای تمامی مدل‌ها ثابت خواهد بود و تنها اطلاعات مربوط به امان‌های به‌کاررفته در مدل ساختمانی و سپس اطلاعات تحلیل انرژی و فواصل حمل مصالح در هر مدل تغییر خواهد یافت.

در صورتی که طراح پس از مشاهده جریان نقدینگی مدل جاری و مدل‌های قبل (در صورت وجود) تشخیص دهد که همچنان می‌تواند گزینه بهتری را به لحاظ کاهش هزینه‌های چرخه عمر طراحی کند، این کار با ذخیره اطلاعات مدل فعلی و ایجاد یک مدل جدید و بانام جدید، امکان‌پذیر خواهد بود. همچنین در هر مرحله از طراحی که کاربر در مدل تغییراتی به وجود آورد می‌تواند با کلیک کردن بر روی

این است که کاربر یا طراح بتواند پس از تخمین هزینه‌های چرخه عمر ساختمان، طراحی خود را سنجیده و آن را بهبود ببخشد. کاهش هزینه‌های چرخه عمر ساختمان، ممکن است با افزایش هزینه‌های اولیه همراه شود که در آن صورت در نظرگیری حالتی بهینه توسط طراح الزامی خواهد بود؛ بنابراین طراح نیازمند ابزاری است که بتواند از بین گزینه‌های مختلف، بهترین آن را انتخاب کند.

ابزار توسعه داده شده در این پژوهش، اطلاعات تخمین هزینه هر مدل ساختمانی را درون دیتابیس ذخیره خواهد کرد تا طراح در انتها بتواند از بین گزینه‌های موجود، آن که مجموع LCC کمتری دارد را انتخاب کند. به عنوان مثال در پروژه ساختمان مسکونی مورد مطالعه، اطلاعات هزینه‌های چرخه عمر هر دو مدل ساختمانی با امان‌های ارزان‌تر و گران‌تر (مدل اول و مدل دوم) در دیتابیس هزینه‌ای ذخیره شده است. پس از انتخاب گزینه LCC در نوار ابزار، جدولی شامل جزئیات هزینه‌های چرخه عمر هر مدل (هزینه اولیه، هزینه بهره‌برداری، هزینه تعمیر و نگهداری و ارزش پسماند) به صورت تجمعی برای هر سال ارائه می‌شود. ابزاری که بتواند به طراح در جهت تصمیم‌گیری بهینه یاری دهد، نمودارهای جریان نقدینگی هزینه‌های چرخه عمر هستند. این نمودار در محور افقی نشانگر زمان و در محور عمودی نشانگر مجموع هزینه چرخه عمر می‌باشند که در آن تورم و

جدول ۲. جزئیات انواع ساختمان همراه طول عمر مفید
Table 2. Details of various types of buildings costs with their useful life

هزینه ها در پایان چرخه عمر (ریال)						نام مدل
مجموع هزینه ها	ارزش پسماند	تعمیر و نگهداری	بهره برداری	حمل مصالح	تهیه و نصب مصالح	
۱۹۱۴۵۶۵۱۲۰	۰	۸۷۹۴۱۷۰۰۰	۷۱۷۷۱۵۵۰۰	۹۹۳۰۴۲۰	۳۰۷۵۰۲۰۸۰	مدل اول
۱۷۶۵۹۲۲۵۶۰	۰	۸۷۹۴۱۷۰۰۰	۳۳۱۷۸۵۲۰۰	۱۹۱۵۲۶۳۰	۵۳۵۵۶۷۶۷۰	مدل دوم

بیشتر مصالح مصرفی در مدل دوم است. هزینه سالانه بهره برداری (مصرف انرژی) در مدل دوم کمتر از مدل اول است که به دلیل اتلاف کمتر حرارت در ساختمان بوده است و بر اساس شبیه سازی مصرف انرژی، مقدار مصرف انرژی به دلیل کاربرد دیوارهای ضخیم تر در این مدل کمتر بوده است. هزینه تعمیر و نگهداری دیوارهای ساختمان به دلیل سطح و جنس یکسان ثابت بوده است. آن گونه که از این نتایج می توان دریافت، در مدل دوم اگرچه هزینه اولیه نسبتاً بیشتری جهت ساخت و ساز صرف شده است ولی در انتهای چرخه عمر مجموع هزینه کمتری را بر دوش مالک ساختمان گذاشته است؛ بنابراین می توان این گونه نتیجه گرفت که در مدل دوم از المان های مناسب تری نسبت به مدل اول استفاده شده است.

۴-۱- سهم اجزا از مجموع هزینه های چرخه عمر

در ابتدای این پژوهش، بدین موضوع اشاره شد که در روند طراحی ممکن است طراح بر اساس هزینه های اولیه انتخابی را انجام دهد، حال آنکه دیگر هزینه های چرخه عمر ممکن است بسیار بیشتر از هزینه اولیه اهمیت داشته باشند. نمودارهای شکل (۱۳) نشان دهنده درصد سهم هر یک از اجزا در مجموع هزینه های چرخه عمر می باشد. همان گونه که از نمودار نیز مشخص است، سهم هزینه های اولیه در مدل اول ۱۷ درصد و در مدل دوم ۳۱ درصد از مجموع هزینه های چرخه عمر بوده است. در پژوهش های پیشین نیز میزان سهم هزینه های اولیه از مجموع هزینه های چرخه عمر در حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد عنوان شده است [۳،۴۳].

۴-۲- نمودار جریان نقدینگی

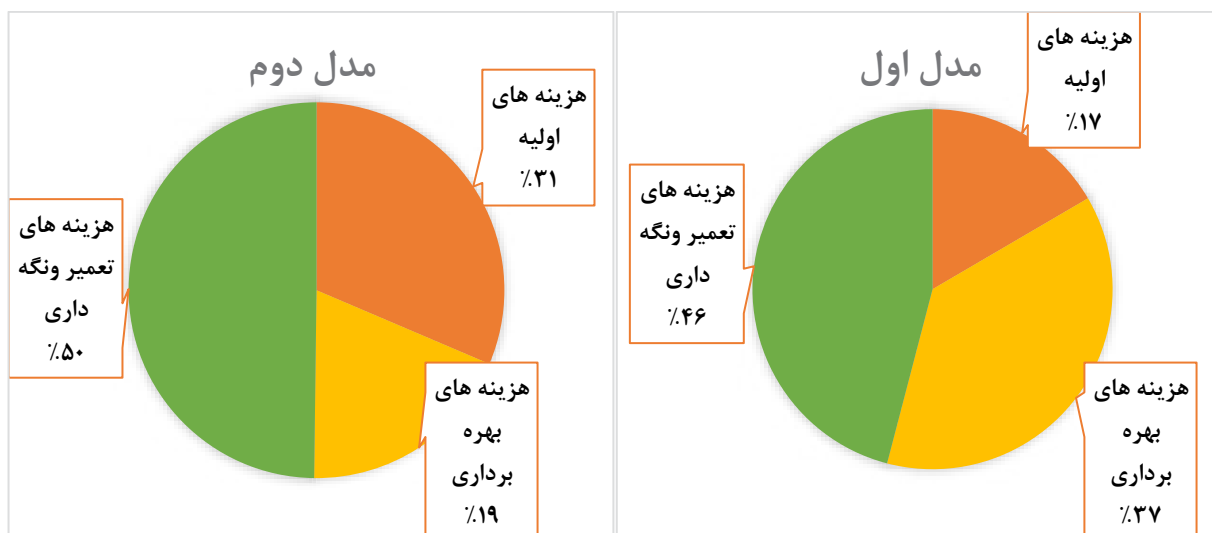
اگرچه مطابق نتایج جدول (۲) در پایان چرخه عمر، مدل دوم

گزینه به روزرسانی اطلاعات موجود در دیتابیس و هزینه های چرخه عمر را بروزرسانی کند. در صورتی که طراح بخواهد اطلاعات مدل های قبلی که در دیتابیس خارجی ذخیره شده اند را حذف کند، می تواند با کلیک بر روی گزینه حذف کلیه اطلاعات در تمام جداول دیتابیس مربوط به مدل های انتخابی را حذف کند.

۴- تفسیر نتایج و اعتبار سنجی

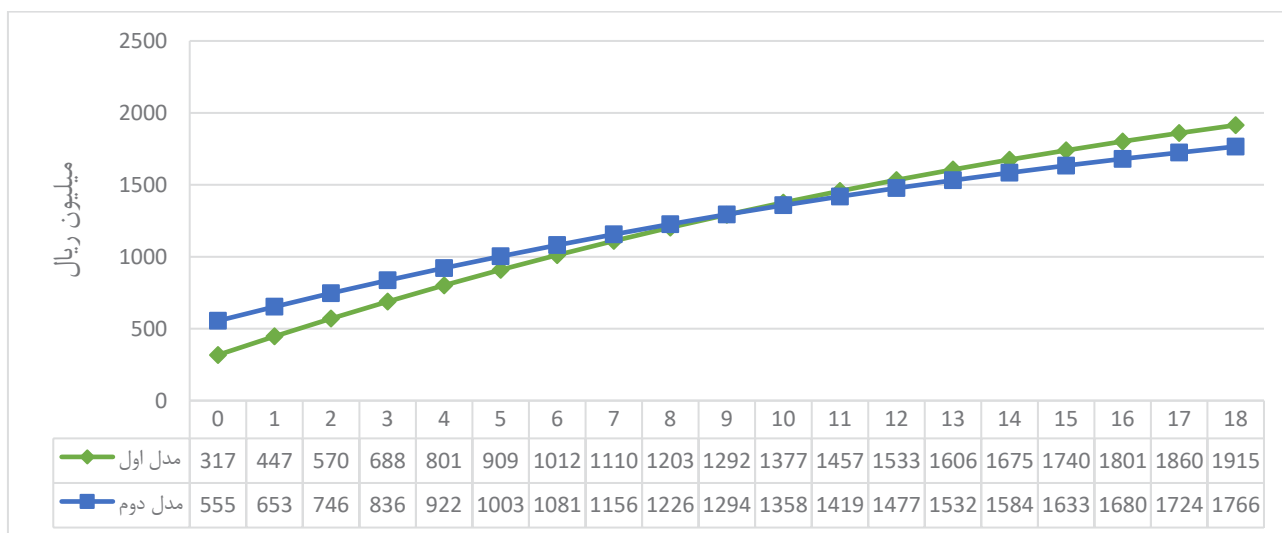
برای پروژه ساختمان مسکونی مورد مطالعه، دو مدل با المان های دیوار نازک تر و ضخیم تر و همچنین اجزای سازه ای ضعیف تر و قوی تر (به ترتیب مدل اول و مدل دوم) در ابزار BIM تولید شد که در نهایت با اجزاء معماری یکسان دیگری همچون در و پنجره تکمیل گردید؛ بنابراین هزینه اولیه تهیه و نصب مصالح دیوار و ستون در دو مدل با یکدیگر تفاوت داشته است. نتایج مصرف انرژی سالانه ساختمان پس از شبیه سازی در GBS حاکی از مصرف انرژی کمتر در مدل دوم بوده است از طرفی با توجه به ثابت بودن سطح دیوارها هزینه تعمیر و نگهداری آن ها یکسان خواهد بود. ارزش پسماند دو مدل نیز به دلیل مساوی بودن طول چرخه عمر با طول عمر مفید ساختمان برابر صفر است. جدول (۲) نشان دهنده جزئیات مجموع LCC دو مدل در پایان چرخه عمر در نظر گرفته شده است.

مطابق نتایج جدول (۲) می توان دریافت که با افزایش ۷۵ درصدی هزینه های اولیه در مدل دوم نسبت به مدل اول، هزینه های سالانه بهره برداری آن به مقدار ۵۴ درصد و مجموع هزینه ها در پایان چرخه عمر به میزان ۸ درصد کاهش یافته است. هزینه اولیه مدل دوم بیش از مدل اول بوده است و این به دلیل المان های دیوار ضخیم تر و همچنین المان های سازه ای قوی تر بوده است. هزینه حمل مصالح در مدل دوم همچنان بیش از مدل اول بوده است و این به دلیل حجم



شکل ۱۳. سهم هر یک از اجزای هزینه های چرخه عمر بر حسب درصد

Fig. 13. The percentage of life cycle costs component



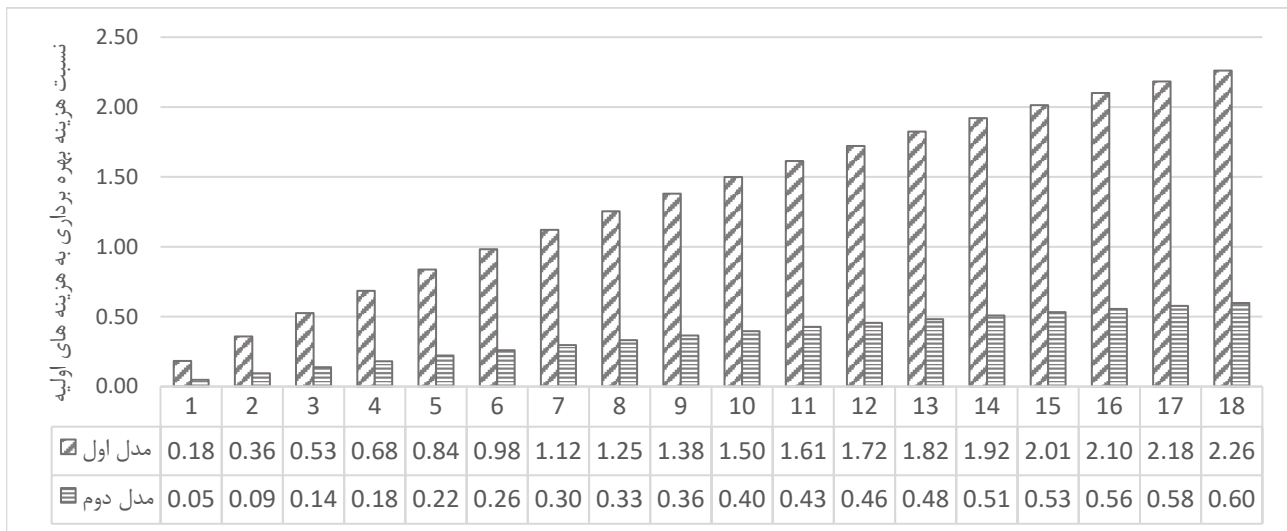
شکل ۱۴. نمودار جریان نقدینگی مدل های اول و دوم

Fig. 14. Cash flow charts of the first and second models

اول عملکرد اقتصادی بهتری را در نیمه دوم چرخه عمر ارائه داده است. باتوجه به یکسان بودن هزینه تعمیر و نگه داری ساختمان ها، شیب بیشتر در نمودار جریان نقدینگی مدل اول نسبت به مدل دوم به دلیل هزینه های بهره برداری بیشتر آن است، لذا میتوان نتیجه گرفت که اگرچه در مدل دوم نسبت به مدل اول هزینه بیشتری صرف تهیه، حمل و نصب مصالح ساختمان شده است، ولی این هزینه به مرور زمان و در مدت حدود ۹ سال جبران شده و پس از آن با توجه به هزینه های کمتر بهره برداری، در مجموع هزینه کمتری بر دوش مالک گذاشته است.

عملکرد اقتصادی بهتری را نسبت به مدل اول ارائه داده است، ولی نمیتوان از روی این اعداد عملکرد این مدل را در بازه عمر سنجید و بنابراین نیاز به ابزاری برای نمایش عملکرد آن در سنین مختلف خواهد بود. مقایسه مجموع LCC مدل های طراحی شده در بازه چرخه عمر با استفاده از نمودار های جریان نقدینگی امکان پذیر است. شکل (۱۴) نشان دهنده نمودار مجموع هزینه های چرخه عمر برای دو مدل طراحی شده پس از اعمال تورم و تنزیل است:

آنگونه که از نمودار نیز میتوان دریافت، مدل دوم نسبت به مدل



شکل ۱۵. نمودار نسبت هزینه بهره برداری به هزینه های اولیه در دو مدل
 Fig. 15. Graph of the ratio of operational costs to initial costs in two models

یافته در این پژوهش متفاوت است و این میزان بیش از مقادیر تخمین زده شده توسط ابزار می باشد. علت این میزان اختلاف، همان گونه که در دیگر پژوهش ها بدان اشاره شده، محاسبات دقیق تر ابزار BIM در برآورد مقادیر مصالح است به گونه ای که نتایج حاصل از تخمین هزینه به شیوه سنتی را گاه تا ۴۰ درصد دچار خطا دانسته اند [۱۹]. بنابراین صحت برآورد مقادیر توسط ابزار BIM و تخمین هزینه های اولیه توسط ابزار LCC مورد تایید قرار گرفت و با توجه به این که این مقادیر در دیگر اجزا LCC نیز مورد استفاده قرار میگیرد، میتوان صحت کلیه نتایج مرتبط با مقادیر مصالح را تایید نمود.

۵- نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف ارائه یک چارچوب برای محاسبه هزینه های چرخه عمر در مراحل اولیه طراحی ساختمان ها بر پایه BIM و با استفاده از فهرست بهای ملی ایران انجام شده است که در نهایت برای اعتبار سنجی آن، هزینه چرخه عمر یک ساختمان مسکونی سه طبقه در شهر تهران با دو نوع طراحی مدل برآورد شد. این پژوهش در تلاش بوده است تا از فناوری BIM به عنوان یک محیط یکپارچه به منظور انتقال اتوماتیک اطلاعات طراحی و حتی الامکان بدون نیاز به ورود دستی اطلاعات توسط کاربر، استفاده نماید. در حال حاضر، با توجه به ساختار فهرست بهای ایران برای تخمین هزینه (که معمولاً در مرحله بعد از کامل شدن فاز طراحی تفصیلی و یا آغاز

۳-۴- نسبت هزینه های بهره برداری به هزینه های اولیه

نمودار شکل (۱۵) نسبت هزینه های بهره برداری به هزینه اولیه هر مدل را نشان می دهد. بر اساس این نمودار، میتوان دریافت که هزینه بهره برداری در مدل اول پس از گذشت حدود ۶ سال به مقداری برابر با هزینه های اولیه و پس از گذشت ۱۵ سال به بیش از دو برابر هزینه های اولیه آن رسیده است، در صورتی که در مدل دوم هزینه های بهره برداری پس از گذشت ۱۸ سال همچنان کمتر از مقدار هزینه های اولیه آن است. در پژوهشی که توسط Guiyuan Han و همکاران در سال ۲۰۱۴ انجام شد [۵]، هزینه بهره برداری ساختمان مورد مطالعه پس از گذشت ۳۰ سال به مقداری معادل با هزینه اولیه آن رسیده است.

۴-۴- اعتبار سنجی

برای اعتبار سنجی اعداد بدست آمده، هزینه تهیه و نصب مصالح هر یک از مدل های ساختمانی به صورت دستی و بر اساس فهرست بها، متره و برآورد شدند. نتایج این متره و برآورد دستی بر اساس فهرست بها برای مدل های اول و دوم به همراه میزان اختلاف آن با نتایج ابزار توسعه یافته در این پژوهش در جدول (۳) ارائه شده است: بر اساس نتایج بدست آمده، همان گونه که در جدول (۳) ملاحظه می شود، نتایج حاصل از متره و برآورد دستی برای این پروژه به میزان ۴ الی ۵ درصد با برآورد های انجام شده توسط ابزار LCC توسعه

جدول ۳. جزئیات مقایسه نتایج متره و بر آورد دستی با نتایج ابزار LCC

Table 3. Details of comparison of manual estimation with the developed LCC model results

نام مدل	هزینه بر آورد شده متره دستی (ریال)	هزینه بر آورد شده توسط ابزار (ریال)	اختلاف نتایج (%)
مدل اول	۳۲۳۰۶۵۱۸۹	۳۰۷۵۰۲۰۸۰	۵/۰۶
مدل دوم	۵۵۷۲۸۶۶۷۲	۵۳۵۵۶۷۶۶۶	۴/۰۵

بخصوص هماهنگ سازی و یکپارچه سازی فهرست بهای ابنیه ایران با استاندارد بین المللی دسته بندی مصالح (UNIFORMATII و Masterformat) که نرم افزار BIM بر اساس آن توسعه داده شده اند، جزو نوآوری های این تحقیق بوده و تمام هدف آن گرایش هر چه بیشتر به سمت اتوماتیک کردن انتقال داده و اطلاعات از محیط طراحی و به محیط طراحی و ایجاد یک سیستم یکپارچه پشتیبان تصمیم گیری برای تیم پروژه می باشد. در حال حاضر بدون استفاده از فناوری BIM موارد ذکر شده به نحوی که بیان شد قابل انجام نخواهد بود.

برای این منظور برای بر آورد هزینه های اولیه المان های مختلف ساختمان از دیتابیس هزینه های فهرست بهای ملی ایران استفاده شده است. برای تخمین هزینه های تعمیر و نگهداری در ساختمان، نوع آن به صورت دوره ای در نظر گرفته شد و طول دوره هر یک از انواع تعمیر و نگهداری و هزینه هر یک بر اساس نظر خبرگان به دست آمد. هزینه های حمل و نقل مصالح مختلف نیز بر اساس فواصل حمل و نرخ جاری هزینه حمل و نقل بر آورد گردید. انرژی مصرفی ساختمان در طول مدت بهره برداری با استفاده از ابزار شبیه سازی مصرف انرژی بر پایه BIM با نام GBS به دست آمد که در نهایت با اعمال نرخ هزینه جاری انرژی در کشور، هزینه انرژی سالانه مصرفی ساختمان به دست آمد. ارزش پسماند ساختمان بر اساس نوع اسکلت آن، عمر مفید ارائه شده برای آن نوع اسکلت و چرخه عمر در نظر گرفته شده توسط کاربر بر اساس تئوری استهلاک خطی محاسبه شد. برای بدست آوردن عمر مفید انواع اسکلت، از نظرسنجی خبرگان استفاده شد. برای ساختمان مورد مطالعه، دو نوع مدل با هزینه های اولیه کمتر و بیشتر ارائه شد که در مدل اول (هزینه اولیه کمتر) از دیوارهای نازک تر و المان های سازه ای ضعیف تر و در مدل دوم (هزینه اولیه بیشتر) از دیوارهای ضخیم تر و المان های سازه ای قوی تر استفاده شد. مقایسه نتایج تخمین LCC با استفاده از ابزار توسعه داده شده برای

مرحله اجرا انجام می شود)، امکان لازم برای تصمیم گیری در مورد اعمال تغییرات در طراحی برای تیم پروژه بسیار چالش برانگیز است. همچنین با توجه به تغییرات قیمت ها و عوامل مختلف دخیل در پیش بینی هزینه در فازهای مختلف پروژه (طراحی، ساخت، بهره برداری، نگهداری و پایان حیات)، نیاز به پیش بینی هزینه ها در مراحل مختلف چرخه عمر برای تیم پروژه بسیار ضروری به نظر می رسد. این ضرورت زمانی به بهترین نحو پاسخ داده خواهد شد که تیم پروژه بتوانند این تخمین هزینه چرخه عمر پروژه را از زمان طراحی مفهومی پروژه پیش بینی کنند تا بتوانند برای رسیدن به حالت بهینه از نظر المان های هزینه ای، تغییرات لازم را در طراحی اعمال نمایند. بنابراین روش پیشنهادی در این پژوهش، نه تنها برای حل یک مساله خاص، بلکه برای حل یک سلسله مساله های مشابه و به جهت ایجاد یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری برای طراح برای تخمین هزینه های چرخه عمر در مرحله طراحی مفهومی ارائه شده است. فناوری BIM محیط مناسب را برای این منظور به جهت قابلیت های مختلف آن فراهم می سازد. از مهمترین این قابلیت ها می توان به انتقال اتوماتیک اطلاعات متره پروژه از طراحی سه بعدی، قابلیت مدل سازی پارامتریک در ابزار BIM به منظور لینک شدن با فهرست بهای ابنیه ایران و انتقال داده های هزینه ای به مدل طراحی به صورت پارامتریک (shared parameter)، قابلیت اتوماتیک انتقال مدل سه بعدی از محیط BIM به محیط آنالیز انرژی برای بدست آوردن هزینه های مرتبط با مصرف انرژی، قابلیت یکپارچه شدن با نرم افزارهای مکان یابی به منظور استخراج اطلاعات موقعیت مکانی تامین کننده ها و تخمین فاصله حمل به محل پروژه و استخراج هزینه های مربوط به حمل و نقل و در نهایت ایجاد محیط یکپارچه ردو بدل کردن اطلاعات بین محیط طراحی سه بعدی و سایر نرم افزارها به دلیل وجود امکان دسترسی به API نرم افزار BIM اشاره کرد. همه موارد ذکر شده

جدول ۴. مقایسه نتایج تخمین LCC با استفاده از ابزار توسعه داده شده

Table 4. Comparison of the developed LCC estimation model in various building types

عنوان	هزینه اولیه	هزینه های سالانه بهره برداری	مجموع LCC در پایان چرخه عمر
اختلاف هزینه مدل دوم نسبت به مدل اول	+۰.۷۵٪	-۰.۵۴٪	-۰.۸٪

جدول ۵. سهم هر یک از اجزا نسبت به کل LCC

Table 5. The percentage of each component ratio to the total LCC cost

نام مدل	هزینه اولیه	هزینه تعمیر و نگهداری	هزینه بهره برداری
مدل اول	۱۷٪	۴۶٪	۳۷٪
مدل دوم	۳۱٪	۵۰٪	۱۹٪

دو مدل در جدول (۴) ارائه شده است.

بر اساس نتایج تخمین LCC، سهم هر یک از اجزا نسبت به کل LCC در پایان چرخه عمر محاسبه و در جدول (۵) ارائه شده است. این نتایج نشان دهنده اهمیت در نظرگیری هزینه های دیگری مانند هزینه بهره برداری و تعمیر و نگه داری علاوه بر هزینه های اولیه در طراحی ساختمان ها است. نتایج بررسی نمودار جریان نقدینگی هزینه های چرخه عمر برای دو مدل نشان داد در مدل دوم اگرچه از مصالح با هزینه اولیه بیشتری نسبت به مدل اول استفاده شده است ولی به دلیل هزینه های بهره برداری کمتر (ناشی از مصرف انرژی کمتر) اختلاف هزینه اولیه آن با مدل اول در مدت حدود ۹ سال جبران شده است به گونه ای که در مدل اول هزینه بهره برداری به مرور و پس از گذشت حدود ۶ سال به یک برابر و پس از گذشت ۱۵ سال به بیش از دو برابر هزینه های اولیه آن رسیده است، حال آن که در مدل دوم، هزینه های بهره برداری در پایان چرخه عمر ساختمان (۱۸ سال) حدود ۶۰ درصد هزینه اولیه آن بوده است.

نتایج تخمین هزینه های اولیه (شامل تهیه و نصب مصالح) با استفاده از ابزار توسعه داده شده با نتایج متره و برآورد دستی دو مدل ساختمانی بر اساس فهرست بهای ملی ایران مقایسه شد و اختلاف نتایج آن در حدود ۵ درصد بدست آمد که این میزان اختلاف به دلیل دقت کمتر برآورد دستی مقادیر مصالح مصرفی نسبت به برآورد با استفاده از ابزار BIM بوده است. ابزار تهیه شده بر پایه این چارچوب، به صورت یک افزونه برای استفاده در محیط ابزار BIM با عنوان Revit توسعه داده شده است که می تواند به طراحان ساختمان در مراحل اولیه طراحی هزینه های

چرخه عمر مدل توسعه داده شده را ارائه دهد تا آن ها بتوانند طراحی را در جهت کاهش هزینه های چرخه عمر ساختمان بهبود بخشند. در این پژوهش هزینه اولیه شامل هزینه های تهیه و ساخت بوده و هزینه های تهیه و تملک زمین، تجهیز کارگاه و غیره در نظر گرفته نشده اند. همچنین برای پیاده سازی چارچوب پیشنهادی، صرفاً اجزا دیوار و ستون در ساختمان در نظر گرفته شدند. هزینه های بهره برداری شامل هزینه های انرژی برق و سوخت فسیلی (گاز طبیعی) بوده و دیگر هزینه ها مانند هزینه آب مصرفی را در بر نخواهد گرفت. ارزش پسماند ساختمان صرفاً شامل ارزش آن پس از گذشت چرخه عمر در نظر گرفته شده بوده و با توجه به عدم در نظرگیری ارزش تهیه و تملک زمین در این پژوهش، در صورتی که ساختمان به انتهای عمر خود رسیده باشد، ارزش پسماند آن معادل صفر تلقی خواهد شد. هزینه های دیگری که در اتمام عمر ساختمان متوجه مالک خواهند بود مانند هزینه تخریب در این پژوهش در نظر گرفته نشده اند. هزینه های مصرف گاز شهری و برق که به صورت پلکانی در ایران محاسبه می گردد، در این پژوهش به صورت میانگین در نظر گرفته شدند.

نویسندگان در پژوهش های آتی بر روی سیستم های تصمیم گیری چند معیاره بر اساس هزینه های چرخه عمر در طراحی ساختمان ها تحقیق خواهند نمود و تلاش خواهند کرد که محدودیاتی این پژوهش را در چارچوب های توسعه داده شده آتی لحاظ کنند.

مراجع

[1] V.R. Reddy, M. Kurian, R. Ardakanian, Life-cycle cost

- from: <https://www.nachhaltigesbauen.de/de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>.
- [14] VDI - Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI Guideline - VDI -1/2067 Economic efficiency of building installations; Fundamentals and economic calculation. United Kingdom, 2012.
- [15] L. Wang, W. Shen, H. Xie, J. Neelamkavil, A. Pardasani, Collaborative conceptual design—state of the art and future trends, *Computer-Aided Design*, 996-981 (2002) (13)34.
- [16] F. Jalaei, A. Jrade, Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings, *Sustainable Cities and Society*, 107-95 (2015) 18.
- [17] R. Vanlande, C. Nicolle, C. Cruz, IFC and building lifecycle management, *Automation in Construction*, (1)18 78-70 (2008).
- [18] Z. Ma, Z. Wei, X. Zhang, Semi-automatic and specification-compliant cost estimation for tendering of building projects based on IFC data of design model, *Automation in Construction*, 135-126 (2013) 30.
- [19] D. Forgues, I. Iordanova, F. Valdivesio, S. Staub-French, Rethinking the Cost Estimating Process through 5D BIM: A Case Study. *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*, 2012, pp. 786-778.
- [20] P.A. Zhao, C.C. Wang, A Comparison of Using Traditional Cost Estimating Software and BIM for Construction Cost Control. Y. Wang, H. Ye, G.Q.P. Shen, Y. Bai (Eds.) *International Conference on Construction and Real Estate Management (ICCREM)*, Kunming, China, 2014, pp. 264-256.
- [21] P. Smith, BIM & the 5D Project Cost Manager, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 484-475 (2014) 119.
- [22] E. Plebankiewicz, K. Zima, M. Skibniewski, Analysis of the First Polish BIM-Based Cost Estimation Application, *Procedia Engineering*, 414-405 (2015) 123.
- [23] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Hoboken, 2011.
- [24] K. Afsari, C. M. Eastman, A comparison of construction approach for management of environmental resources, Springer, Cham, 2015.
- [2] ASTM, ASTM E13 - 917: Standard practice for measuring life-cycle costs of buildings and building systems, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- [3] I. Kovacic, V. Zoller, Building life cycle optimization tools for early design phases, *Energy*, 419-409 (2015) 92.
- [4] U. Bogenstätter, Prediction and optimization of life-cycle costs in early design, *Building Research & Information*, 386-376 (2010) (6-5)28.
- [5] G. Han, J. Srebric, E. Enache-Pommer, Variability of optimal solutions for building components based on comprehensive life cycle cost analysis, *Energy and Buildings*, 231-223 (2014) 79.
- [6] H. Islam, M. Jollands, S. Setunge, Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42 140-129 (2015).
- [7] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB eV [in German]. 2018; Available from: <https://www.dgnb.de/de>.
- [8] B.a.C. Federal Ministry of the Interior. Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB): Büro und Verwaltungsgebäude [in German]. 2013; Available from: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de>.
- [9] B.a.C. Federal Ministry of the Interior. Assessment System for Sustainable Building (BNB)- Making Sustainability Measurable [in German]. 2015; Available from: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/en/assessment-system/>.
- [10] ABK LEKOS. 2015; Available from: http://www.abk.at/fileadmin/user_upload/Dateienabk.at/Download/ABK-Downloads/Prodblt/projektmanagement/ABK-Lebenszykluskosten.pdf.
- [11] LEGEP -Die Software für Lebenszyklusplanung e Weka Media [in German]. 2015; Available from: <https://www.weka-bausoftware.de/legep>.
- [12] sirAdos-Baudaten [in German]. 2015; Available from: <https://www.sirados.de>.
- [13] Informationsportal Nachhaltiges Bauen: Baustoff- und Gebäudedaten - Ökobau.dat [in German]. 2018; Available

- of Facilities Management, 395-380 (2002) (4)1.
- [35] O.S.D. Alshamrani, Evaluation of School Buildings Using Sustainability Measures and Life-Cycle Costing Technique [dissertation], Concordia University, Montréal, Québec, Canada, 2012.
- [36] R. Dehghani, A. Gorgin Karaji, Factors affecting the life duration of a building in Iran: Challenges and solutions [in Persian]. The First National Conference on the Future of Engineering and Technology, Tehran, Iran, 2016.
- [37] H. Poodineh, Z. Rakhshina, M. Poodineh, F. Assadollahzadeh, Examining the reasons for reducing the life of buildings in Iran and providing executive solutions [in Persian]. National Conference on Applied Civil Engineering and New Achievements, Karaj, Iran, 2013.
- [38] Facility Management-RSMeans Reference Books. 2018; Available from: <https://www.rsmeans.com/products/books/reference-books/facilities-management.aspx>.
- [39] S. Fuller. Life-cycle cost analysis (LCCA)-National Institute of Standards and Technology (NIST). 2016 [updated September 2016 ,19]; Available from: <https://www.wbdg.org/resources/life-cycle-cost-analysis-lcca>.
- [40] Central Bank of the Islamic Republic of Iran. Inflation and price index for consumer goods and services [in Persian]. 2019; Available from: https://www.cbi.ir/Inflation/Inflation_FA.aspx.
- [41] Central Bank of the Islamic Republic of Iran. Bank interest rates [in Persian]. 2019; Available from: <https://www.cbi.ir/simplelist/1515.aspx>.
- [42] J. Irizarry, E.P. Karan, F. Jalaei, Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management, Automation in Construction, 31 254-241 (2013).
- [43] J.L. LaSalle, Green Building-Nachhaltigkeit und Bestanderhalt in der Immobilienwirtschaft [in German], 2008.
- classification systems used for classifying building product models. 52nd Annual International Conference of the Associated Schools of Construction, Brigham Young University, Provo, Utah, 2016.
- [25] Understanding the use of the UniqueId. 2018; Available from: <https://forums.autodesk.com/t5/revit-api-forum/understanding-the-use-of-the-uniqueid/td-p/5474167>.
- [26] Building Energy Software Tools. 2018; Available from: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/>.
- [27] Green Building Studio. Available from: <https://gbs.autodesk.com/GBS>.
- [28] British Standards Institution, BS -3811:1984Glossary of maintenance management terms in terotechnology British Standards Institution, 1974.
- [29] ISO, ISO 1:2011-15686: Buildings and constructed assets-Service life planning- Part 1: General principles and framework, The International Organization for Standardization, 2011.
- [30] I. Flores-Colen, J. de Brito, V. Freitas, Discussion of criteria for prioritization of predictive maintenance of building façades: Survey of 30 experts, Journal of Performance of Constructed Facilities, 344-337 (2010) (4)24.
- [31] R.D. Palmer, Maintenance Planning and Scheduling Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 2004.
- [32] B.H. Hertlein, Predictive maintenance - what should be in a condition database, in: M.A. Lacasseand, D.J. Vanier (Eds.) Durability of Building Materials and Components, Institute for Research in Construction, Ottawa ON, Canada, 1999, pp. 1212-1203.
- [33] G. Morcous, Z. Lounis, Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms, Automation in Construction, 142-129 (2005) (1)14.
- [34] A. Straub, Using a condition-dependent approach to maintenance to control costs and performances, Journal

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

F. Jalaei, M.A. Hamedirad, A.A. Shirzadijavid, BIM-based approach for Estimating life cycle costs of building in conceptual design phase using Iran's national price list, Amirkabir J. Civil Eng., 52(7) (2020) 1853-1874.

DOI: 10.22060/ceej.2019.15688.6000

