

طراحی و تهیه پایگاه داده و نرم‌افزار تخمین هزینه ماشین‌آلات پروژه‌های معدنی

احمدرضا صیادی^{۱*}، محمدحسین بصیری^۲ و سید امید گیلانی^۲

۱. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش معدن، sayadi@modares.ac.ir
۲. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش معدن،

(دریافت ۱۲ اسفند ۱۳۸۵، پذیرش ۱۵ بهمن ۱۳۸۶)

چکیده

تخمین هزینه یکی از فعالیت‌های اصلی در تصمیمات تجاری و مهندسی بوده که در پروژه‌های معدنی نیز از جایگاه خاصی برخوردار است. فرایند تخمین هزینه در طی مطالعات پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی، به دفعات تکرار شده و این امر بر زمان‌بر بودن و دشواری آن می‌افزاید. روش‌های متعددی جهت تخمین هزینه ارائه شده که استفاده از آن‌ها به نوع پروژه و انطباق‌پذیری آن‌ها با شرایط کشور میزبان بستگی دارد. در این تحقیق نرم‌افزاری جهت تخمین هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی ماشین‌آلات معدنی تهیه شده است. در این راستا ابتدا با بررسی و مقایسه روش‌های موجود، مدلی جهت تخمین هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی ماشین‌آلات پروژه‌های معدنی در کشور تهیه و بر اساس آن پایگاه داده‌ای ایجاد گردید که در ساخت نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفت. این پایگاه داده به کمک برخی از اطلاعات منتشره در راهنمای تخمین هزینه یکی از مؤسسات وابسته به انجمن مهندسی هزینه آمریکا تهیه شده است. جهت اجرای نرم‌افزار، داده‌های مربوط به مطالعات امکان‌سنجی معدن مس سونگون مورد استفاده قرار گرفت. ارزیابی انجام شده بیانگر صحت نتایج تخمین و انطباق نرم‌افزار با شرایط محیطی ایران می‌باشد. این نرم‌افزار همچنین ابزاری مفید جهت سهولت فرایند انتخاب ناوگان ماشین‌آلات نیز می‌باشد.

کلمات کلیدی

روش‌های تخمین هزینه، نرم‌افزارهای تخمین هزینه، ماشین‌آلات معدنی، پایگاه داده

۱- مقدمه

مدیریت موفقیت‌آمیز هزینه در پروژه‌های معدنی، به عنوان یک پارامتر کلیدی در مدیریت پروژه محسوب می‌شود. نیل به این هدف اساسی مستلزم یک تخمین هزینه دقیق و قابل اعتماد بوده به طوری که مواردی چون تعریف و طبقه‌بندی اقلام هزینه‌بر، تعیین و تحلیل روابط بین داده‌های هزینه‌ای و در نهایت برآورد هزینه بر اساس روابط در نظر گرفته شود [۱].

انتخاب روش تخمین هزینه به مرحله پیشرفت پروژه و اهداف از قبل تعیین شده برای مرحله جاری پروژه، بستگی دارد. بنابراین لازم است که داده‌های مورد استفاده و روش تخمین هزینه با دقت مورد نظر در هر مرحله پروژه مطابقت داشته باشد. روش‌های مختلفی جهت تخمین هزینه ارائه شده که در حالت کلی می‌توان با توجه به کلاسیک و نوین بودن آن‌ها چهار دسته تحلیل‌های رگرسیونی چندگانه (MRA)، سیستم‌های هوشمند به ویژه شبکه‌های عصبی (NNS) و استدلال قیاسی بر مبنای اطلاعات پروژه‌های مشابه (CBR) و روش تخمین هزینه مستقیم را نام برد [۲،۱].

مدل‌های تخمین هزینه آماری و رگرسیونی به ویژه رگرسیون چندمتغیره در سال ۱۹۷۰ ارائه شده و توسعه یافتند [۳]. این مدل‌ها، ابزار آماری قدرتمندی بوده که می‌تواند هم به عنوان یک تکنیک تحلیلی و هم یک تکنیک پیشگو در تعیین اقلام پنهان هزینه به کار برده شود. MRA با استفاده از رابطه زیر نشان داده می‌شود:

(۱)

$$Y = C + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

Y، تخمین نهایی میزان هزینه و x_1, x_2, \dots, x_n مقادیر متمایز متغیرها، C ثابت تخمین و b_1, b_2, \dots, b_n ضرایبی هستند که با استفاده از تحلیل‌های رگرسیونی و داده‌های مشخص پروژه‌های قبلی به دست می‌آیند. در صورت غیرخطی بودن روابط، این مدل مناسب نمی‌باشد. برخی از محققین، اشکالاتی را برای این مدل ارائه داده‌اند که عبارت‌اند از [۴]:

- مدل‌های رگرسیونی راهنمایی لازم جهت انتخاب مدل با بهترین برازش بر روی داده‌های موجود را ارائه نمی‌کنند.
- نوع خاصی از معادلات چندگانه و داده‌های آن، در معادلات رگرسیون فرض شده‌اند.
- متغیرهای متعدد موثر در تخمین باید بررسی شوند که این امر در صورت تعدد ورودی‌ها، مشکلاتی به همراه دارد. با این وجود MRA به دلیل بهره‌مندی از پایه‌های ریاضی

مناسب در تعیین منحنی سازگار با داده‌های موجود، کاربرد فراوانی داشته است. برای توسعه این مدل از تکنیک‌های گام به گام SPSS استفاده شده است [۲]. مدل‌های رگرسیونی تک‌متغیره متعددی جهت تخمین هزینه پروژه‌های معدنی ارائه شده که معمولاً از روش تخمین رگرسیون هزینه-ظرفیت استفاده می‌کنند.

مدل‌های USBM (1984) Gentry & Neill، (1984) CANMET (1986) O'Hara، (1988) AusIMM، (1993) MULAR (1998) مثال‌هایی از این نوع هستند [۵].

مدل شبکه عصبی، یک سیستم کامپیوتری بوده که بر اساس فرایند یادگیری مغز انسان شبیه‌سازی شده است و به طور گسترده‌ای در بخش‌های زیادی از صنعت مانند عمران، معدن و ... مورد استفاده قرار گرفته‌است [۶]. استفاده از شبکه‌های عصبی در مهندسی هزینه و تخمین هزینه از سال ۱۹۹۳ شروع شده و نتایج مطلوبی را به همراه داشته است [۲]. نرم‌افزارهایی چون Neurosolution، Neuroshell2 و Matlab در تهیه شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزایای شبکه‌های عصبی در امر تخمین هزینه عبارت‌اند از: حذف نیاز به یافتن یک رابطه تخمین هزینه خوب که از نظر ریاضی همانند تابعی از متغیرها در به دست آوردن جواب مناسب عمل نماید، عدم وجود محدودیت در رابطه با تعداد متغیرهای هزینه، عدم نیاز به تعیین تابع تخمین به صورتی مشخص قبل از آموزش. معایب این روش در رابطه با طراحی پیچیده شبکه و پارامتر نشانی آن می‌باشد که در زمان‌بری و دشواری مدل تأثیرگذارند [۷].

از دیگر سیستم‌های هوشمند که در زمینه تخمین هزینه مورد استفاده قرار گرفته‌اند می‌توان روش الگوریتم ژنتیک و منطق فازی را نام برد [۸].

CBR، یک روش استدلال قیاسی بر مبنای پروژه‌های قبلی بوده که مسائل جدید را با اتخاذ راه‌حل‌های مورد استفاده در مسائل قدیمی حل می‌کند. این سیستم در سالیان اخیر در موارد متعددی از جمله برآورد زمان لازم جهت انجام فعالیت‌ها، تخمین هزینه، پیشنهاد مناقصه، انتخاب روش‌های کار، مدیریت، طراحی، برنامه‌ریزی و تشخیص عیوب مورد استفاده قرار گرفته است. سیستم CBR، از چهار زیرفرایند تشکیل شده است [۹]:

- ذخیره اطلاعات پروژه‌های قدیمی در یک پایگاه پروژه که حاوی تجارب مورد نیاز سیستم است؛

هزینه‌های سرمایه‌ای WMEI مربوط به مدل‌های خاص و استاندارد تجهیزات بوده و هزینه‌های عملیاتی مربوطه نیز بر اساس مجموعه‌ای از روابط محاسباتی مناسب استوار بوده که دقت لازم را در تخمین اولیه مهندسی فراهم می‌کنند [۱۲]، [۱۳]. در ساخت مدل MME از اطلاعات راهنمای WMEI (نسخه ۲۰۰۵) استفاده گردید [۱۲]. در این راستا تمامی پارامترهای دخیل در محاسبات WMEI با استفاده از تحلیل برگشتی به دست آورده شد و با استفاده از آن‌ها و روابط موجود، مدل مناسب با شرایط ایران تهیه گردید. سپس پایگاه داده‌ای بر اساس آن ایجاد شد که از آن در تهیه نرم‌افزار MME Cost Estimator استفاده گردید.

۲- مدل تخمین هزینه ماشین‌آلات معادن و کارخانه‌های فرآوری (MME)

جهت تخمین هزینه نیاز به یک روش و مدل تخمین هزینه است که اولاً از دقت خوبی برخوردار بوده و ثانیاً سازگاری آن با شرایط کشور میزبان مناسب باشد. همان‌طور که اشاره شد روش CBR به طور نسبی نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد. راهنمای WMEI با توجه به همخوانی با روش CBR و نیز امکان انطباق آن با شرایط ایران برای تهیه مدل MME انتخاب گردید. ساخت مدل بر اساس راهنمای مذکور در سه مرحله صورت گرفت. اولین مرحله، شامل شناسایی ساختار راهنمای WMEI و تجزیه و تحلیل آن می‌باشد. در مرحله دوم جهت افزایش دقت تخمین و نیز انطباق راهنما با شرایط کشور میزبان پروژه مورد بررسی، تغییراتی در آن اعمال گردید. تغییرات در حالت کلی تغییر در ساختار مدل و یا تغییر در خروجی و ورودی آن را شامل می‌شود. مرحله سوم، تهیه ساختاری جدید با روابط جدید می‌باشد که بتواند عمل تخمین هزینه را با توجه به شرایط پروژه موجود انجام دهد. در راهنمای WMEI هر یک از اقلام هزینه‌های عملیاتی توسط رابطه‌ای به دست می‌آید که شامل ضرایبی مربوط به مسائل فنی ماشین‌آلات و نیز شرایط معدنکاری و ... می‌باشد.

با استفاده از تحلیل‌های برگشتی، ضرایب مربوطه محاسبه و با استفاده از آن‌ها، روابطی تهیه گردید که قادر به برآورد هزینه‌های عملیاتی با توجه به شرایط خاص مکانی و زمانی پروژه می‌باشد و در نهایت مدل تخمین هزینه MME تهیه شد [۱۵]. اقلام اطلاعاتی و هزینه‌ای مدل MME مربوط به ماشین‌آلات پروژه‌های روباز، زیرزمینی و کارخانه‌های فرآوری بوده و به سه گروه اصلی قیمت‌های واحد، مشخصات فنی،

با ارائه یک پروژه جدید، سیستم CBR یک یا چند پروژه مشابه را بر اساس درجه شباهت آن‌ها بازمی‌اندازد؛
 - کاربران با مقایسه پروژه جدید با پروژه‌های قدیمی درصد حل آن برمی‌آیند؛
 - راه حل جدید در پایگاه داده ذخیره می‌شود.

بعد از محاسبه درصد شباهت پروژه‌های موجود، داده‌های هزینه‌ها در پایگاه پروژه‌ها مرتب شده و داده با بالاترین درصد شباهت به عنوان هزینه پروژه جدید انتخاب می‌شود [۹].

روش تخمین هزینه مستقیم، عبارت است از یک فرایند بسیار ریزشده تخمین هزینه که بر مبنای تجزیه هزینه‌ها و تخمین جزء به جزء آن‌ها عمل می‌کند که معمولاً برای تخمین نهایی پروژه با هدف تأمین اعتبار و بودجه به کار می‌رود و شامل یک ارزیابی کامل از تمام هزینه‌های سرمایه‌ای، مواد مصرفی، انرژی و غیره برای هر سال عملیاتی می‌باشد. دقت این روش می‌تواند تا ۱۰ درصد نیز برسد [۱۰]. این روش زمانی به کار می‌آید که اکثر طراحی‌ها تکمیل شده باشد و استفاده از آن در مراحل اولیه پروژه امکان‌پذیر نیست [۱۱].

از نقطه نظر کارایی و دقت روش‌های NNs، CBR و MRA به ترتیب ترجیح داده می‌شوند. با این وجود ایجاد بهترین مدل NNs به دلیل زمان گیر و دشوار بودن تعیین پارامترهای لازم دشوار می‌باشد. از نظر قابلیت به‌روزرسانی و تشریح، روش CBR نسبت به بقیه روش‌ها موفق‌تر بوده و کاربر به راحتی می‌تواند آن را درک و نتایج آن را تشریح نماید. از نظر توانایی شرکت در مناقصات نیز روش CBR کاملاً موفقیت آمیز بوده است [۲]. بر این اساس، روش CBR جهت ادامه تحقیقات انتخاب و بر اساس آن مدل تخمین هزینه MME^۴ تهیه گردید. تهیه مدلی بر این مبنای مستلزم تهیه مجموعه اطلاعات لازم در خصوص دامنه گسترده‌ای از ماشین‌آلات معادن روباز، زیرزمینی و کارخانه‌های فرآوری می‌باشد. مؤسسه WMEI^۵ به طور مستمر اطلاعات متنوع و مستندی را در این خصوص در قالب ساختار راهنمای تخمین هزینه منتشر می‌کند [۱۲، ۱۳ و ۱۴]. این راهنما تا حدودی با روش CBR همخوانی دارد و کارایی آن با شرایط ایران در تحقیقات قبلی بررسی و تأیید شده است [۵]. راهنمای تخمین هزینه WMEI، مجموعه‌ای از هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی تجهیزات مورد استفاده در معادن و کارخانه‌های فرآوری بوده که هزینه‌های سرمایه‌ای موجود در آن حاصل بررسی‌های سالانه از کارخانه‌های تولیدکننده ماشین‌آلات، عرضه‌کنندگان انرژی، سوخت، تاپر و روغن و نیز شرکت‌های معدنی ایالات متحده می‌باشد. اکثر

۳-۱- طراحی و ساخت پایگاه داده

طراحی این پایگاه طی مراحل زیر صورت گرفت: جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های لازم جهت ساخت پایگاه داده، طراحی اولیه، تجزیه و تحلیل، نرمال‌سازی و پیاده‌سازی پایگاه داده نرمال‌شده، انتظاراتی چون پردازش سریع داده‌ها، قابلیت کار با حجم وسیع داده‌ها، قابلیت به‌روزرسانی آسان و قابلیت کار به صورت شبکه و در نهایت انعطاف‌پذیری مناسب در خصوص مجاز بودن کاربر در ورود اطلاعات جدید از جمله دلایل انتخاب نرم افزار SQL Server جهت ایجاد پایگاه داده می‌باشد. جهت ساخت پایگاه داده از مدل رابطه‌ای^۷ استفاده شد به طوری که اطلاعات ماشین‌آلات مورد استفاده در معادن روباز، زیرزمینی و فرآوری در گروه‌های متعددی آورده شده و هر گروه نیز بسته به گستردگی ماشین‌آلات به چندین زیرگروه تقسیم‌بندی شده است.

به ازای هر کدام از ماشین‌آلات، صرف نظر از تقسیمات نرم‌افزاری، هزینه ماشین برای دامنه نسبتاً گسترده‌ای از ظرفیت دستگاه نظیر قطر چال در ماشین‌آلات چالزنی، تناژ حمل در کامیون‌ها، حجم جام در شاول و... آورده شده است. این امر امکان بررسی همبستگی هزینه و مولفه تصمیم و همچنین ترسیم نمودارهای «هزینه-ظرفیت» ماشین‌آلات را میسر می‌سازد.

در ساخت پایگاه داده از ۷ جدول استفاده شده که می‌توان آن‌ها را به سه دسته کلی جداول مربوط به اطلاعات پایه پایگاه داده (جدول ۱)، جداول مربوط به اطلاعات ورودی توسط کاربر، جداول مربوط به اطلاعات خروجی مدل تقسیم نمود.

مشخصات هزینه‌ای تقسیم می‌شوند. قیمت‌های واحد در محاسبه برخی از هزینه‌های عملیاتی دخیل بوده که شامل قیمت سوخت، انرژی، روغن‌کاری و نرخ میانگین دستمزد تعمیر و نگهداری کشور میزبان پروژه می‌باشد.

مشخصات فنی شامل ظرفیت‌های مختلف تجهیزات، وزن، نوع موتور و قدرت موتور مربوطه می‌باشد. مشخصات هزینه‌ای دربر گیرنده هزینه سرمایه‌ای، بازیافت سرمایه یا هزینه استهلاک، هزینه بالاسری و هزینه‌های عملیاتی است.

هزینه سرمایه‌ای، قیمت تخمینی خرید تجهیزات بوده که با ارزش واقعی آن‌ها در بازار مقداری اختلاف دارد. این اختلاف می‌تواند ناشی از اختلاف ویژگی‌ها، حق انتخاب‌های اضافه شده، نتایج مذاکرات و تغییر شرایط بازار باشد. هزینه‌های استهلاک، بالاسری و عملیاتی با استفاده از قیمت‌های واحد و هزینه‌های سرمایه‌ای و بر اساس روابط به‌دست آمده تخمین زده می‌شوند. هزینه‌های عملیاتی خود شامل هزینه‌های تعمیرات اساسی (قطعات و دستمزد)، تعمیر و نگهداری (قطعات و دستمزد)، سوخت، روغن‌کاری، تابر و قطعات فرسوده شونده است.

۳- نرم‌افزار تخمین هزینه MME Cost Estimator

این نرم‌افزار مشتمل بر یک پایگاه داده و سیستمی جهت محاسبه هزینه‌ها است. پایگاه داده بر اساس مدل MME طراحی و با استفاده از زبان برنامه نویسی SQL در نرم‌افزار SQL Server ایجاد شده است. نرم‌افزار مربوطه نیز با استفاده از زبان برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک تهیه گردید و در محیط ویندوز NT، 98، XP و 2000 نیز قابل اجرا می‌باشد. در واقع نرم‌افزار در دو مرحله ساخت پایگاه داده و ساخت یک تراکنش^۸ و سیستم مدیریت پایگاه داده تهیه شده است [۱۵].

جدول ۱: تعداد فیلدها و رکوردهای جداول دسته اول از پایگاه داده

نام جدول	کاربری	تعداد فیلد	تعداد رکورد	تعداد سلول
<i>tblEqu</i>	اسامی کلیه ماشین‌آلات معدنی	۵	۳۰۰	۱۵۰۰
<i>tblMain</i>	نوع پروژه، انواع مختلف هر یک از ماشین‌آلات، مشخصات کلی ماشین‌آلات، ضرایب مربوط به محاسبه هزینه‌های عملیاتی	۲۰	۵۰۰	۱۰۰۰۰
<i>tblEquCosts</i>	مشخصات فنی ماشین‌آلات، ضرایب مربوط به محاسبه هزینه‌های عملیاتی، پارامترهای اصلی انتخاب ماشین‌آلات، هزینه سرمایه‌ای	۳۰	۴۰۰۰	۱۲۰۰۰۰

اندازه‌گیری) بوده که با توجه به شرایط مکانی و زمانی توسط کاربر انتخاب می‌گردد. علاوه بر منوها و گزینه‌ها، جعبه‌متن‌هایی جهت ورود اطلاعات در صفحات اولیه قرار داده شده‌اند که در تخمین هزینه‌های عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۳- روش کار نرم افزار MME Cost Estimator

به طور معمول ابتدا باید مراحل نصب نرم‌افزار طی شود. علاوه بر نصب نرم‌افزار در ابتدا نیاز است که نرم‌افزار SQL Server 2000 بر روی کامپیوتر نصب شده و فایل مربوط به پایگاه داده بازیابی گردد. برنامه در زمان کوتاهی بارگذاری شده و قابل اجرا می‌باشد. برنامه طوری طراحی شده که امکان ذخیره‌سازی پروژه‌ها جهت ویرایش مجدد آن‌ها وجود داشته باشد. با توجه به این که نرم‌افزار برای تمامی پروژه‌های معدنی اعم از معدنکاری روباز، زیرزمینی و کارخانه فرآوری طراحی شده است لذا در همان ابتدا برای جلوگیری از سردرگمی کاربر در هنگام مواجهه با تعداد زیادی تجهیزات، از کاربر خواسته می‌شود که نوع پروژه، پارامترهای مربوط به شرایط خاص زمانی و مکانی، شاخص‌های هزینه جهت به روزآوری هزینه‌های سرمایه‌ای و نیز پارامترهای موردنیاز در تعیین هزینه‌های عملیاتی را وارد نماید (شکل ۲). پارامترهای ورودی به دو دسته کلی پارامترهای مربوط به کل پروژه با توجه به شرایط خاص زمانی و مکانی و پارامترهای خاص مربوط به هر یک از انواع خاص تجهیزات تقسیم می‌شوند. در مرحله بعد، گروه‌های اصلی ماشین‌آلات به کاربر نشان داده شده و کاربر با توجه به نیازهای پروژه، نوع طراحی و پارامترهای مربوط به انتخاب ماشین‌آلات، ابتدا زیرگروه‌های اصلی و سپس تجهیزات مورد نیاز را تک‌تک انتخاب می‌نماید (شکل ۳).

علی‌رغم وجود پارامترهای متعدد در امر انتخاب ماشین‌آلات و با توجه به اهمیت ظرفیت تولیدی معدن، سعی شده است که تا حد امکان پارامتر اصلی انتخاب در قالب ظرفیت ماشین‌آلات لحاظ گردد. همان‌گونه که اشاره شد فرایند انتخاب مرحله‌ای بوده، بدین ترتیب که در ابتدا نوع ماشین‌آلات، سپس گونه‌های مختلف ماشین انتخاب شده و در نهایت بر اساس یک پارامتر اصلی و با توجه به خصوصیات فنی و هزینه‌ای، کاربر اقدام به انتخاب وسیله مطلوب می‌نماید. نمودارهای «هزینه- ظرفیت» نیز در اختیار کاربر قرار داده می‌شود تا به عنوان یک راهنما در فرایند انتخاب ماشین‌آلات مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۴).

جداول دسته دوم، اطلاعات ورودی توسط کاربر مانند نام پروژه، نام شرکت، نام کاربر، قیمت واحد مواد مصرفی، شاخص هزینه، نوع واحد پول، نرخ برابری ارز و دیگر اطلاعات لازم جهت تعیین هزینه‌های عملیاتی را در بر می‌گیرند. جداول دسته سوم، جهت ذخیره پروژه‌های انجام گرفته و ذخیره اطلاعات قابل چاپ در نظر گرفته شده‌اند. یک جدول کمکی نیز هنگام گزارش‌گیری توسط نرم‌افزار ایجاد می‌گردد که اطلاعات مورد نیاز جهت چاپ به آن منتقل می‌گردد.

۳-۲- طراحی تراکنش و سیستم مدیریت پایگاه داده

بعد از ایجاد پایگاه داده، نوبت به ایجاد برنامه‌ای می‌رسد که داده‌های پایگاه داده را خوانده، پردازش نموده و سپس اطلاعات لازم جهت امر تخمین را با یک سری عملیات ریاضی (در قالب دستورات و زبان برنامه نویسی SQL) آماده نموده و در اختیار کاربر قرار می‌دهد. بر این اساس الگوریتم برنامه (شکل ۱) تهیه شده و طراحی و ساخت رابط کاربرها^۱ و منوها و نوشتن فرامین لازم در قالب کد روتین صورت گرفت.

پس از تولید برنامه مقدماتی^۲ به تدریج برنامه نویسی نرم‌افزار تکمیل شد. بدین منظور از دستورات و فرامین برنامه نویسی ویژوال بیسیک استفاده گردید. در طراحی صفحات و منوها از استانداردهای طراحی استفاده شده تا بدین وسیله از پیچیده بودن نرم‌افزار کاسته و کاربر بتواند به راحتی با آن کار کند. برای سهولت بیشتر در استفاده از برنامه و جهت جلوگیری از سردرگمی کاربر در هنگام برخورد با طیف وسیعی از داده‌ها، نرم‌افزار به صورت مرحله‌ای و گام به گام طراحی شده است. بدین صورت که در ابتدا کاربر نوع پروژه معدنی را انتخاب نموده (شکل ۲) و نرم‌افزار کلیه ماشین‌آلات مربوط به آن پروژه را در یک صفحه (صفحه اصلی برنامه) به کاربر ارائه می‌کند (شکل ۳). در مراحل بعدی ماشین‌آلات بر اساس پارامترهای فنی طبقه‌بندی شده و کاربر با توجه به نیازمندی‌های پروژه، تجهیزات موردنظر را انتخاب می‌نماید.

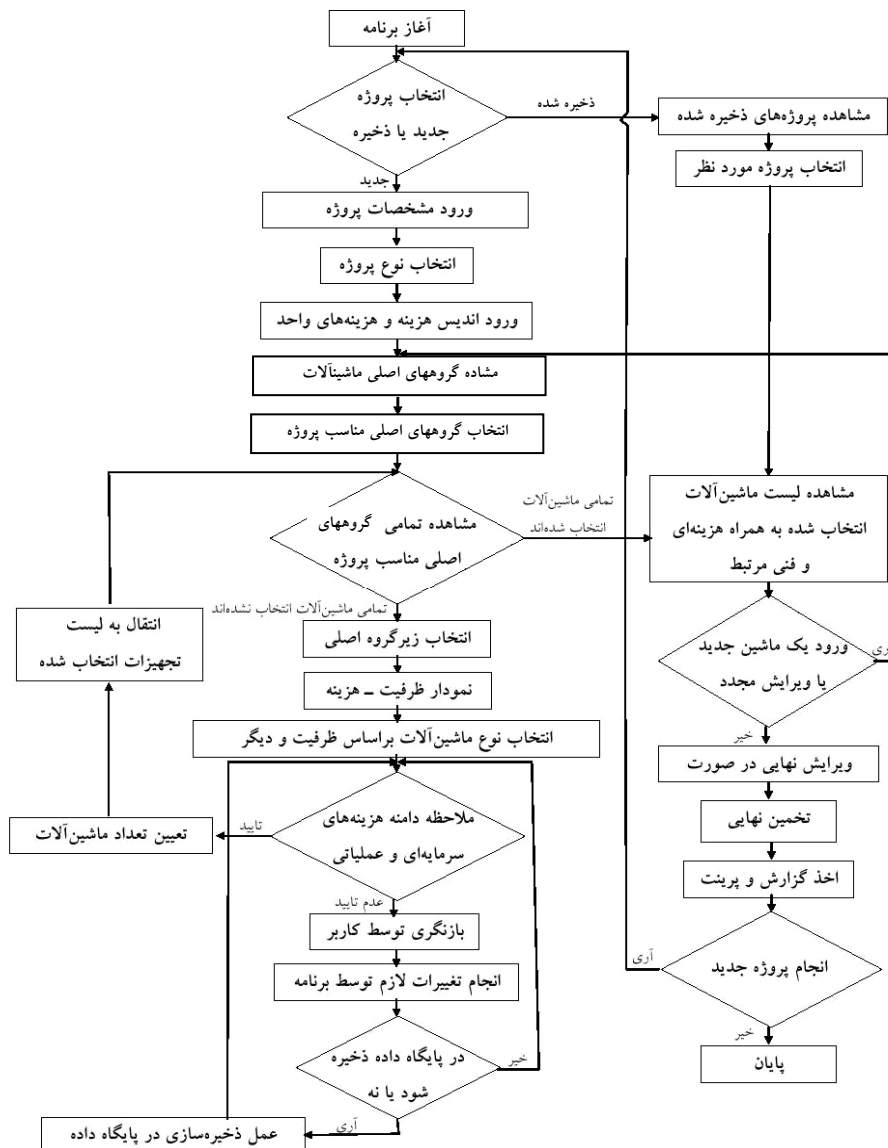
صفحه اصلی برنامه، مربوط به انتخاب ماشین‌آلات بوده که کاربر با توجه به نیاز پروژه ماشین‌آلات موردنیاز را انتخاب می‌کند (شکل ۳). منوها و گزینه‌های اصلی قبل از ورود به صفحه اصلی قرار داده شده‌اند و کاربر با ایجاد یک پروژه جدید و یا انتخاب پروژه‌های ذخیره شده و تکمیل اطلاعات خواسته شده به صفحه اصلی وارد می‌شود.

گزینه‌های نرم‌افزار بیشتر در مورد نوع واحدها (ارزی و

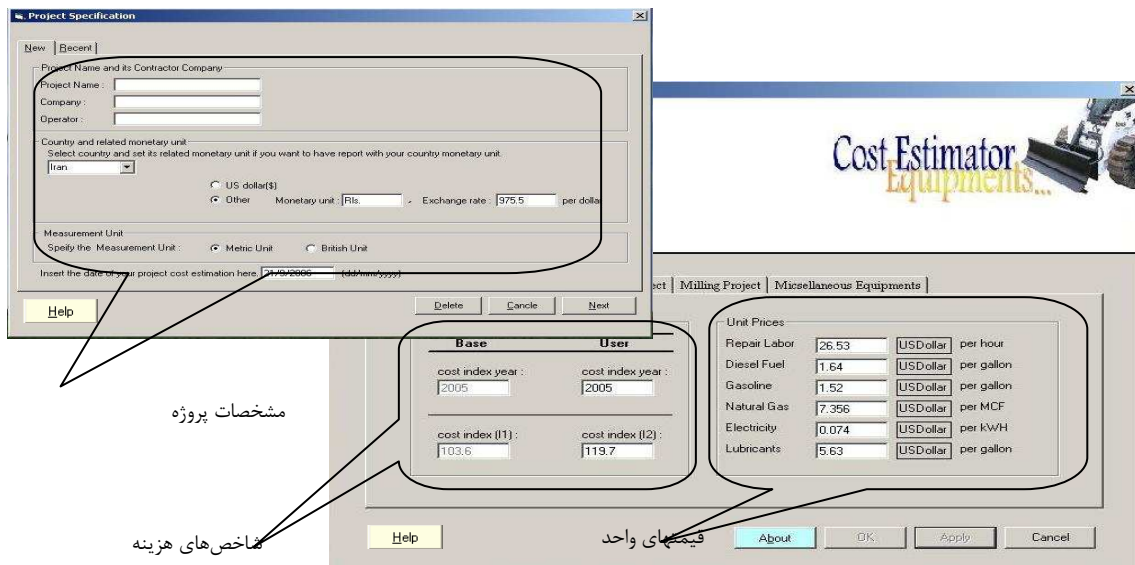
تهیه کرده و به عنوان رکوردی جدید در پایگاه داده وارد نماید. فرآیند عملکرد نرم افزار به این صورت است که بعد از ورود اطلاعات مورد نیاز توسط کاربر، داده های مورد نیاز از پایگاه داده بازخوانی شده و با استفاده از یکسری روابط جبری هزینه های پروژه برآورد می شود. ورودی های نرم افزار شامل اطلاعاتی در مورد شرایط خاص زمانی و مکانی پروژه، قیمت های واحد و ... می باشد و به طور اختصار در جدول ۲ نشان داده شده است.

در نهایت اطلاعاتی شامل نام و گونه های مختلف تجهیزات، مشخصات، تعداد مورد نیاز، هزینه سرمایه ای کل و هزینه عملیاتی کل در یک شبکه داده^۱ نمایش داده می شود. برای اینکه برنامه از انعطاف پذیری بیشتری برخوردار باشد در این مرحله که در واقع مرحله پایانی است می توان در صورت نیاز، یک یا چند مورد از ماشین آلات را حذف و یا مجدداً ماشین آلات دیگری را انتخاب نمود (شکل ۵).

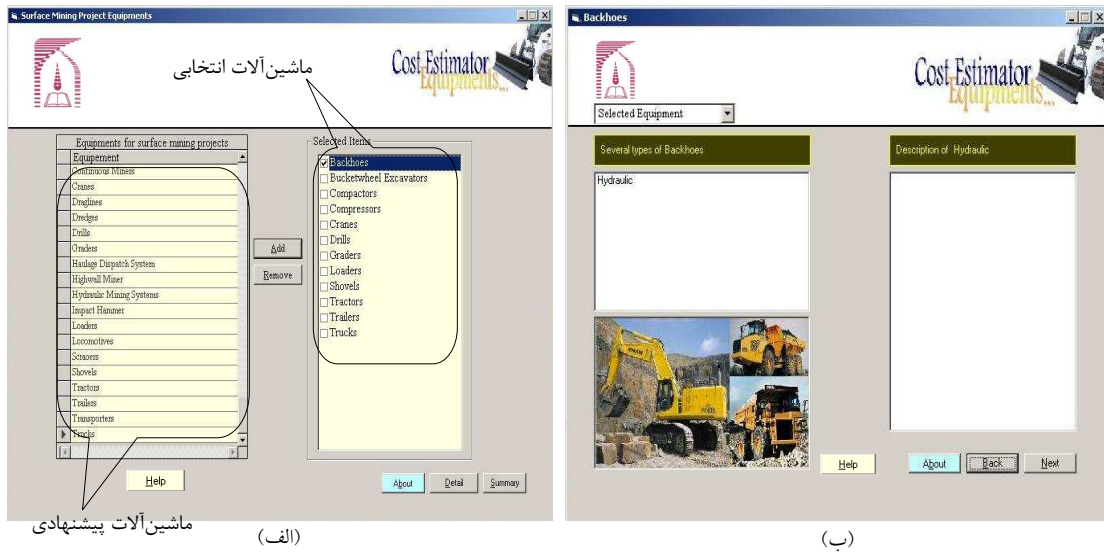
کاربر می تواند قیمت مورد نظر خود را از سایر منابع اطلاعاتی



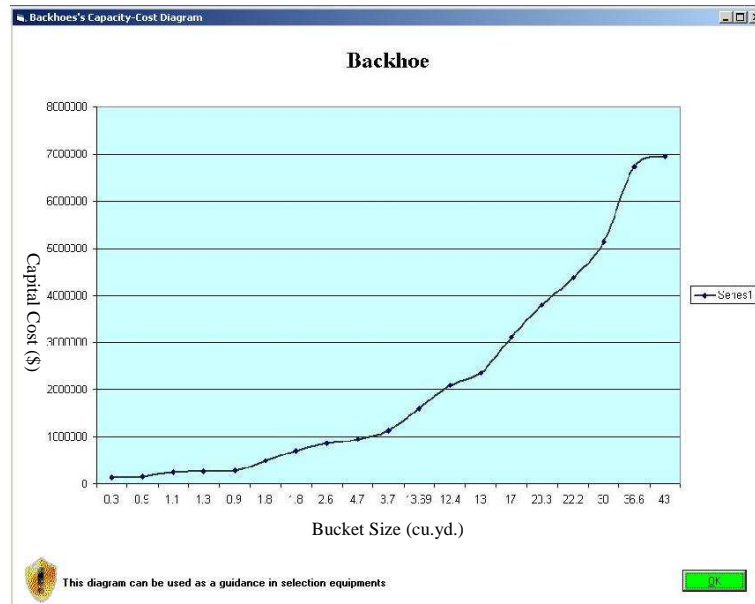
شکل ۱: فلوچارت نرم افزار طراحی شده



شکل ۲: صفحات مربوط به ورود پارامترهای لازم



شکل ۳: صفحات مربوط به نمایش ماشین آلات انتخابی (الف) و انواع مختلف آن (ب)



شکل ۴: نمودار ظرفیت - هزینه سرمایه‌های Backhoe

(الف)

(ب)

شکل ۵: صفحات مربوط به مشخصات فنی و هزینه‌های تجهیزات (الف) و خلاصه گزارشی از تجهیزات انتخاب شده (ب)

۴-۳- مزایای نرم‌افزار MME Cost Estimator

نرم‌افزار MME Cost Estimator، جهت کمک به حل دو مشکل اساسی در پروژه‌های معدنی از جمله تخمین هزینه ماشین‌آلات مورد استفاده در پروژه‌های معدنی و کمک به انتخاب ماشین‌آلات تهیه شده است. این نرم‌افزار نسبت به نمونه‌های انگشت‌شمار قبلی مزایایی داشته که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

جدول ۲: ورودی‌ها و خروجی‌های نرم‌افزار

خروجی نرم‌افزار	ورودی نرم‌افزار
۱- نوع و ظرفیت ماشین	۱- قیمت‌های واحد مواد مصرفی
۲- هزینه سرمایه‌ای	۲- قیمت‌های واحد دستمزد
۳- هزینه‌های عملیاتی	۳- شاخص‌های هزینه
۴- هزینه استهلاک	۴- نرخ تبدیل پول
۵- هزینه بالاسری	۵- واحد اندازه‌گیری
۶- نمودار هزینه - ظرفیت	۶- نوع پروژه
۷- برخی مشخصات اقتصادی و فنی ماشین‌آلات	۷- نوع و تعداد ماشین‌آلات

۴- آزمون و اجرای نرم‌افزار

جهت آزمون نرم‌افزار، هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی ماشین‌آلات معدن مس سونگون برآورد شده است [۱۶]. در این راستا فهرست و تعداد ماشین‌آلات از گزارش امکان‌سنجی معدن استخراج و هزینه‌های ناوگان با استفاده از نرم‌افزار برآورد گردید. جدول ۳ نتایج تخمین هزینه را برای برخی از ماشین‌آلات نشان می‌دهد. جهت مقایسه نتایج تخمین نرم‌افزار و تخمین‌های صورت گرفته در مطالعات امکان‌سنجی، تفاوت نسبی هزینه‌های سرمایه‌ای در ستون مربوطه آورده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، تفاوت‌های نسبی در حد مطلوبی قرار دارند و این نشانگر دقت مناسب تخمین است (جدول ۳).

- ماشین‌آلات کلیه پروژه‌های معدنی مربوطه را در برمی‌گیرد؛
 - قابلیت کار به صورت شبکه را دارد؛
 - حجم وسیعی از اطلاعات را دربر گرفته و لذا کاربرد با محدودیت اطلاعات نسبتاً کمی مواجه است؛
 - با توجه به طراحی خاص خود، دارای انعطاف‌پذیری مناسبی می‌باشد؛
 - از نظر امنیتی در سطح خوبی قرار دارد؛
 - عملیات به روزرسانی آن نسبتاً راحت است؛
 - کاربرد در زمان کمی می‌تواند عمل تخمین را انجام دهد.
- مزایای ذکر شده با آزمون و اجرای نرم‌افزار و مقایسه با مدل‌ها و نرم‌افزارهای مشابه سنجیده شده است.

جدول ۳: مقایسه نتایج تخمین نرم‌افزار MME Cost Estimator و تخمین‌های صورت گرفته در مطالعات امکان‌سنجی

تخمین هزینه			تعداد	ماشین‌آلات	
تفاوت نسبی هزینه‌های سرمایه‌ای (%)	MPE Cost Estimator			پارامتر انتخاب	نام
	هزینه عملیاتی (Rls/hour)	هزینه سرمایه‌ای (M Rls)	هزینه سرمایه‌ای (M Rls)		
۷	۶۹۶۰	۱۲۷/۱۶۱	۱۱۷/۷۲	۶	Compressor ۷۵۰cfm دی: .
۱۳/۹	۱۰۰۲۰	۳۴۱/۳۸۸	۲۹۴	۳	Excavator ۰/۸ cu.yd. حجم جام:
-۱/۴	۲۴۶۶۰	۶۸۶/۱۰۶	۷۱۴	۳	Grader ۱۴ ft. عرض تیغه:
-۳۰	۱۹۹۲۰	۴۸۴/۹۴۴	۶۳۰	۹	Loader ۴ cu. yd. حجم جام:
۲۶	۲۱۱۲۰	۵۴۳/۶۱۵	۴۰۰	۳	Low-bed Trailer ۶۳ ton ظرفیت:
۸/۷	۱۲۳۳۰	۱۲۲۶/۱۳	۱۱۲۰	۳	Mobile Crain ۷۵ ton ظرفیت:
-۹/۶	۳۷۱۱۰	۳۶۶/۷۰۵	۳۶۹	۶	Pneumatic Drill ۳-۴ in. قطر چال:
-۴۰	۱۴۹۵۸۰	۱۰۳۲۱/۵۳	۱۴۴۵۴	۸	Shovel ۲۰ cu.yd. حجم جام:
۶/۶	۸۳۱۳۰	۳۸۵۵/۴۶۸	۳۶۰۰	۵۱	Truck ۱۵۰ ton ظرفیت:
۲۴	۷۴۱۶۰	۱۶۲۸/۴۵۴	۱۲۳۰	۱۱	WheelDozer ۱۵ ft. عرض تیغه:

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

[۵] احمدرضا صیادی و همکاران، ۱۳۸۳، طراحی و تهیه نرم‌افزاری جهت تخمین هزینه‌های سرمایه‌ای ماشین‌آلات معدن روباز، کنفرانس مهندسی معدن.

[6] Bode J., 2000, "Neural networks for cost estimation: simulations and pilot application", International Journal of Production search, 38(6):1231-54.

[7] Hegazy T, Ayed A., "Neural network model for parametric cost estimation of highway projects", Journal of Construction Engineering and Management 1998, 124(3):210-8.

[8] Gwang- Hee K. et al, 2004, "Neural network model incorporating a genetic algorithm in estimating construction costs", Building and Environment 39, 1333 -1340.

[9] Chen D, Burrell P., "Case-based reasoning system and artificial neural networks: a review. Neural Computing and Applications", 2001, 10(4):264-76.

[۱۰] صیادی، احمدرضا و صادق بیگی، مریم، ۱۳۸۲، "تحلیل روش‌های برآورد هزینه حفاری در مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی"، نخستین همایش علمی- تخصصی حفاری در معدن، یزد.

[11] Wender Yu, et al, 2006, "A WICE approach to real-time construction cost estimation, Automation in Construction", 15, 12 - 19.

[12] WMEI, 2005, "Western mining engineering institute, mine and mill equipment an estimator guide", Aventurine, USA.

[13] WMEI, 1995, "Western mining engineering institute, mine and mill equipment an estimator guide", Aventurine, USA, 1995.

[14] www.westernmine.com

[۱۵] گیلانی، سید امید، ۱۳۸۵، "طراحی و تهیه نرم‌افزار تخمین هزینه پروژه‌های معدنی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

[۱۶] شرکت مجتمع معدن مس سونگون، ۱۳۷۵، "مطالعه امکان‌پذیری نهایی کانسار مس سونگون.

- تخمین هزینه یک فعالیت اصلی و موثر در تصمیمات تجاری و مهندسی بوده و استفاده از مدل‌ها و نرم‌افزارهای مرتبط، این امر را تا حد قابل توجهی آسان می‌نماید.
- روش تخمین هزینه استدلال قیاسی بر مبنای اطلاعات پروژه‌های مشابه در مقایسه با روش‌های رگرسیونی چندگانه و شبکه‌های عصبی به دلیل داشتن قابلیت به‌روزرسانی آسان، تشریح خوب و دقت بالا برتری دارد.
- مدل تهیه شده به کمک راهنمای تخمین هزینه WMEI، امکان تهیه پایگاه داده و نرم‌افزار MME Cost Estimator را فراهم نمود.
- نرم‌افزار تهیه شده امکان تخمین هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی ماشین‌آلات معدنی را با دقت و صحت مناسب و مطابق با شرایط محیطی مهیا می‌سازد.
- در این نرم‌افزار فرایند انتخاب مرحله‌ای بوده، بدین ترتیب که در ابتدا نوع ماشین‌آلات سپس گونه‌های مختلف انتخاب شده و در نهایت بر اساس یک پارامتر اصلی و با توجه به خصوصیات فنی و هزینه‌ای وسیله مطلوب انتخاب می‌گردد.
- کارایی و دقت این نرم‌افزار در تخمین هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی ماشین‌آلات پروژه‌های معدنی با آزمون آن به کمک داده‌های معدن روباز مس سونگون تأیید شده است.
- تکمیل و توسعه این نرم‌افزار جهت تخمین دیگر اقسام هزینه‌های پروژه‌های معدنی و نیز طراحی ناوگان ماشین‌آلات در مطالعات بعدی مفید خواهد بود.

۶- منابع

- [1] Genry, W. et al, 1984, "Mine Investment Analysis", SME, New York.
- [2] Gwang H. et al, 2004, "Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning", Building and Environment 39, 1235 - 1242.
- [3] Trost SM, Oberlender GD. 2003, "Predicting accuracy of early cost estimates using factor analysis and multivariate regression", Journal of Construction Engineering and Management; 129 (2):198-204.
- [4] Smith AE, Mason AK., 1997, "Cost estimation modeling: regression versus neural network", Engineering Economist, 42(2):137-61.

¹ - Multiple Regression Analysis

² - Neural Networks

³ - Case-Based Reasoning

⁴ - Mine & Mill Equipment

⁵ - Western Mining Engineering Institute

⁶ - Transaction

⁷ - Relational model

⁸ - User Interface

⁹ - Prototype

¹⁰ - Data Grid