

(پژوهشی)

اصلاح و به‌روزرسانی تخمین‌گر هزینه معادن زیرزمینی بر اساس شرایط اقتصادی جهان و ایران (اعتبارسنجی: معدن سرب و روی عمارت شاهین)

افشین اکبری دهخوارقانی^{۱*}، آرمین آزاد^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی نفت، معدن و مواد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی معدن، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(دریافت: دی ۱۳۹۸، پذیرش: تیر ۱۳۹۹)

چکیده

با توجه به سیاست‌های زیست‌محیطی جهان، معادن زیرزمینی اهمیت زیادی در عرصه معدنکاری یافته‌اند زیرا معادن زیرزمینی آسیب کمتری نسبت به روش‌های سطحی در محیط زیست ایجاد می‌کنند. محاسبه و تخمین حدود سود و سرمایه در مرحله امکان‌سنجی و پیش‌امکان‌سنجی یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین محاسبات در زمان شروع پروژه است. قطعاً پروژه با سود بالاتر، موجب تمایل به مشارکت سرمایه‌گذاران خواهد شد. در بررسی فنی و اقتصادی یک پروژه، محاسبه سود و زیان از طریق تخمین هزینه قابل محاسبه است. یکی از روش‌های مورد توجه مهندسان برای تخمین مخارج پروژه، تخمین‌گرهای هزینه است. مدل‌های مذکور بر مبنای اطلاعات کسب شده از پروژه‌های مشابه در بازه‌های زمانی طولانی و تشکیل یک پایگاه داده هزینه وسیع و تحلیل آماری این داده‌ها به منظور توسعه معادلات تخمین هزینه بدست می‌آیند. از جمله این مدل‌های تخمین هزینه معدن کاری می‌توان به تخمین‌گر هزینه سوبولسکی اشاره نمود. این تخمین‌گر هزینه در دومین ویرایش کتاب SME به چاپ رسیده است. این مدل مختص معادن زیرزمینی است که در سال ۱۹۸۸ تدوین و توسعه داده شده است. اصولاً تخمین‌گرهای هزینه باید با دقتی در حدود بیست و پنج درصد هزینه‌ها را در مرحله پیش‌امکان‌سنجی محاسبه کنند. بخش‌های گوناگون این مدل همچون هزینه تهویه، نگهداری، ساخت و اجرا، آبکشی و زهکشی، بارگیری و حمل، هزینه‌های روزانه کارگاه‌ها، هزینه سرمایه‌ای تجهیزات، هزینه تامین نیروی انسانی بر اساس داده‌های ورودی میزان تولید، هزینه هر بخش را تخمین می‌زند. در این پژوهش با استفاده از ضرایب تعدیل محاسبه شده بر مبنای آحاد بهای خدمات مهندسی در ایران، معادلات سوبولسکی برای تخمین هزینه در معادن زیرزمینی، برای سال ۲۰۱۹ به روز و برای شرایط خاص ایران بومی‌سازی گردیده است. برای محقق شدن این امر ابتدا با یک مطالعه جامع، شاکله‌های هزینه هر معادله بر اساس طبقه‌بندی آحاد هزینه فعالیت‌های مهندسی شناخته شده در ایران مشخص گردید. سپس ضرایب تعدیل مورد نیاز بر اساس تغییرات شاخص هزینه در هر یک از شاکله‌ها و در نظر داشتن ضرایب وزنی مربوطه برای هر معادله محاسبه شد. برای حصول اطمینان از صحت این معادلات، نتایج آنها با داده‌های هزینه پروژه‌ای در دست اجرا مطابقت داده شد که در تمامی موارد خطای هزینه محاسبه شده کمتر از بیست درصد بود. با استفاده از این معادلات می‌توان با تقریب بالا هزینه‌های یک معدن زیرزمینی را در ایران (دلار و ریال) و جهان (دلار ۲۰۱۹) محاسبه نمود. معادلات مذکور ابتدا با توجه به میزان تولید پیش‌بینی شده، تجهیزات موردنیاز را تخمین زده و سپس با استفاده از معادلات هزینه را نیز محاسبه می‌نمایند. تمامی ضرایب اصلاحی برای معادلات با استفاده از داده‌ها و اطلاعات سازمان برنامه و بودجه کشور و سازمان آمار ایران و بانک مرکزی محاسبه گردیده است.

کلمات کلیدی

تخمین هزینه‌های معدن، مدل تخمین هزینه سوبولسکی، معدنکاری زیرزمینی، بررسی فنی - اقتصادی، تخمین‌گر هزینه

*عهده‌دار مکاتبات: afshinkr@gmail.com

۱- مقدمه

آبکشی، هزینه سیستم آبرسانی، هزینه سنگ‌شکن اولیه نصب شده در زیرزمین، هزینه تعمیرگاه معدن زیرزمینی، هزینه سیستم کمپرسور، هزینه توزیع آب و هوای فشرده، هزینه سیستم پرکردن کارگاه کند و آکند، هزینه توزیع برق زیرزمینی، هزینه عملیاتی معدن زیرزمینی، هزینه آماده‌سازی کارگاه، و سایر هزینه‌ها مانند بالاسری و سنگ‌شکنی هستند. مدل سوبولسکی مربوط به سال ۱۹۸۸ است و برای محاسبه هزینه حال حاضر نیاز است تا این فرمول‌ها به‌روزرسانی گردند [۸، ۹].

۲- به‌روزرسانی روابط

برای به‌روزرسانی روابط هر بخش، ابتدا زیر مجموعه هر یک از روابط هزینه استخراج می‌شود. بدین منظور از کتابچه دفتر معادن ایالات متحده زیرمجموعه هزینه هر بخش تعیین شد [۱۰]. برای به‌روزرسانی در هر بخش درصد تاثیر هر یک از زیر مجموعه‌ها (مانند: نیروی انسانی و تجهیزات) با استفاده از حل معادلات آن و جداول مربوط محاسبه شدند. هر یک از زیر مجموعه‌های مذکور نیز به چند زیربخش تقسیم می‌شوند. برای مثال زیربخش تجهیزات شامل کالاهای مصرفی (مانند: لاستیک و روغن) است. در این بخش یکی از روابط را برای نمونه به زیر بخش‌های خود شکسته و درصد تاثیر هر یک محاسبه گردید. در شکل ۱ تمامی زیر مجموعه‌های هزینه حفر چاه دسترسی نشان داده شده‌است.

هزینه سرمایه‌ای حفر چاه دسترسی^۷ مطابق جدول ۱ شامل سه بخش اصلی است:

جدول ۱: درصد تاثیر اجزای هزینه سرمایه‌ای حفر چاه دسترسی [۱۰، ۱۱]

شاخص	درصد تاثیر
نیروی انسانی	۴۱
وسایل و موارد مورد نیاز	۱۳
تجهیزات	۴۶

در مورد هزینه نیروی انسانی^۸ نیاز به شاخص مالی و حقوق دستمزد کارگران برای هر سال مالی است تا از سال مبنا (۱۹۸۸ یا ۱۳۶۷)^۹ به سال جاری تبدیل گردد. اما هزینه وسایل و ملزومات مورد نیاز^{۱۰} خود شامل چندین زیر بخش است. بخش‌های مختلف این قسمت در جدول ۲ ارائه شده است.

توجه به معدنکاری زیرزمینی در جهان به سبب ملاحظات زیست‌محیطی رو به افزایش است. با توجه به روند رو به رشد تولید معادن زیرزمینی، محاسبه هزینه برای این معادن اهمیت فوق‌العاده‌ای یافته است. برآورد هزینه مهمترین بخش کار تیم مهندسی است که قبل از آغاز پروژه باید مقدار بودجه مورد نظر را با تقریبی مطلوب محاسبه نمایند. بدین منظور، روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی سود و زیان پروژه‌ها وجود دارند. از جمله این روش‌ها، استفاده از هزینه واقعی پروژه مشابه که در برخی موارد همراه با به‌روز در آوردن این هزینه‌ها است، یا روش تفصیلی محاسبه هزینه و مدل‌های آماری برآورد هزینه هستند. از جمله این مدل‌ها مدل نیل و جنتری^۱، مدل موسسه معدن و متالورژی استرالیا^۲، مدل مولار^۳، مدل دفتر معادن ایالات متحده^۴، مدل مرکز کانادایی فناوری معدنی و انرژی^۵، مدل اوهارا و سوبولسکی^۶ را می‌توان نام برد [۱-۵]. این مدل‌ها پاسخگوی تخمین کامل و دقیق تجهیزات معدنی نیستند. بسیاری از آن‌ها جامع نبوده و یا از دقت کافی و لازم برخوردار نیستند [۶]. اما این مدل‌ها به مهندسان در تخمین هزینه بخش‌های مختلف معادن زیرزمینی کمک می‌کنند. در میان این مدل‌ها، مدل سوبولسکی جزء یکی از روش‌های قابل قبول در جهان است. علت این امر تعداد داده‌های اولیه برای به دست آوردن تخمینگر سوبولسکی است [۷]. هرچه تعداد داده‌ها در مدل آماری بیشتر باشد تخمینگر از پذیرش بالاتری برخوردار است. از طرفی مدل مذکور برای گذشته بوده و نیاز است تا به‌روزرسانی گردد. لذا این مدل با توجه به ضرورت و کاربرد، در مقاله حاضر برای سال ۲۰۱۹ به‌روزرسانی شده است. همچنین تمامی روابط برای شرایط خاص ایران نیز تغییر داده شده‌اند. با توجه به اینکه واحد پول مورد محاسبه این روابط دلار آمریکا است، نوسان‌های اخیر در نرخ برابری ریال ایران در برابر دلار آمریکا به هیچ وجه از دقت این روابط نخواهد کاست. مدل مذکور شامل: هزینه پاکسازی سایت، هزینه سرمایه‌ای حفر چاه دسترسی [شفت]، هزینه بالابر محصور، هزینه سرمایه‌ای سر چاه یا دکل حفاری، هزینه آماده‌سازی و تجهیز کارگاه استخراج، هزینه حفاری، بارگیری و حمل، هزینه سیستم تهویه معدن، هزینه سیستم



شکل ۱: هزینه حفر چاه دسترسی و زیر مجموعه‌های هزینه حفر چاه [۱۰]

جدول ۲: درصد تاثیر وسایل و موارد مورد نیاز هزینه سرمایه‌ای حفر چاه دسترسی [۱۰، ۱۱]

نوع شاخص	درصد تاثیر	ضریب شاخص
مته حفاری	۳۷	۱۶۴/۶۹
کارهای چوبی	۱۸	۸۸/۹۶
انفجار و مواد ناریه	۳۰	۶۳/۷۳
برق	۴	۸۹/۸۳
تهویه و فن و غیره	۳	۸۶/۹۴
نگهداری کارهای بتنی و فولادی	۷	۵۳/۵۷
متفرقه	۱	۶۲/۷۴
شاخص کل		۱۰۶/۶۴
شاخص با پایه دلار		۲/۸۴

با محاسبه هر کدام از زیر مجموعه‌های مذکور جدول ۱ به جدول ۴ تبدیل می‌گردد:
جدول ۴: درصد تاثیر کل بخش هزینه سرمایه‌ای حفر چاه دسترسی [۱۰، ۱۱]

شاخص	درصد تاثیر	عدد شاخص	عدد شاخص پایه بر حسب دلار
نیروی انسانی	۴۱	۲۲۷/۲۰	۶/۰۵
وسایل و موارد مورد نیاز	۱۳	۲/۸۴	۲/۸۴
تجهیزات	۴۶	۲/۵۳	۲/۵۳
کل			۴/۰۱

حال با استفاده از ضرایب تعدیل به دست آمده در این بخش می‌توان رابطه مورد نظر را به‌روز نمود.

درصد تاثیر هر زیر مجموعه از طریق حل معادلات کتابچه تخمین هزینه دفتر معادن بر حسب تناژهای مختلف و میانگین گرفتن از نتایج اخذ شده به دست آمده است. استخراج و ضریب شاخص بهای همان زیر مجموعه نیز از مجموعه فهرست بهای پایه خاص همان مجموعه از سال مینا به سال جاری تعدیل شده و شاخص مربوط به آن در جدول نهاده شده است. همین امر برای بخش تجهیزات فنی مورد نیاز^{۱۱} نیز صورت پذیرفته است. در جدول ۳ این بخش با درصدهای وزنی مربوطه به‌روز شده است.
جدول ۳: درصد تاثیر تجهیزات هزینه سرمایه‌ای حفر چاه دسترسی [۱۰، ۱۱]

نوع شاخص	درصد تاثیر	ضریب شاخص	ضریب شاخص با پایه دلار
قطعات تعویضی	۸۸	۲/۲۲	۲/۲۲
روغن و سوخت	۷	۲۵۰	۶/۶۶
لاستیک	۵	۲/۲۲	۲/۲۲
کل			۲/۵۳

۱-۲- محاسبه شاخص‌ها

پولی در سال ۱۹۸۸ با سال جاری مقایسه شود. سایت‌های محاسبه‌گر زیادی هستند که با استفاده از شاخص اصلی C.P.I.^{۱۲} ارزش مالی دلار را به‌روز می‌کنند. اما اگر به تعریف شاخص تورمی مصرف کننده مراجعه شود مشخصاً می‌دانیم که این شاخص کاربرد زیادی در مهندسی نداشته و بیشتر مربوط به کالاهای مصرفی در جامعه است. برای حل این معضل و به‌روزرسانی دقیق‌تر قیمت‌ها برای رابطه‌های مذکور، شاخص‌هایی تعریف شده‌است [۱۳]. [۱۴]. در این پژوهش از شاخص تورم مؤثر یا E.I.I. استفاده شده است که مطابق رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$EII = \frac{(CPI)\left(\frac{40}{100}\right) + (ECI)\left(\frac{20}{100}\right) + (NII)\left(\frac{10}{100}\right) + (PPI)\left(\frac{20}{100}\right) + (GDP)\left(\frac{5}{100}\right) + (GNP)\left(\frac{5}{100}\right)}{100} \quad (1)$$

ناخالص داخلی، (GNP (Gross National product) - شاخص تولید ناخالص ملی. در محاسبه این شاخص باید از شاخص‌های فوق‌الذکر نیز استفاده کرد تا مقدار آن مرتبط با مسائل اقتصاد مهندسی باشد. برای این امر از جدول ۵ بهره گرفته می‌شود [۱۵]:

جدول ۵: شاخص‌های تورمی ایالات متحده آمریکا بر اساس اعلام بانک مرکزی [۱۶-۲۲]

شاخص‌های اقتصادی	آمریکا (سال ۱۹۸۸)	آمریکا (سال ۲۰۱۹)
CPI (Consumer Price Index) [شاخص بهای مصرف کننده]	۱۱۸/۳	۲۵۷/۲
ECI (Employee Cost Index) [شاخص بهای نیروی انسانی]	۱۰۰	۲۴۷/۴۷
NII (NASA Inflation Index) [شاخص بهای مرکب کالا و خدمات ناسا]	۱	۲/۴۱
PPI (Producer Price Index) [شاخص بهای تولید کننده]	۱۰۰	۲۹۹/۳۳
GDP (Gross Domestic Product) [شاخص تولید ناخالص داخلی]	۱	۱/۴۶
GNP (Gross National product) [شاخص تولید ناخالص ملی]	۸۳۳۰ B\$	۱۹۴۰۹ B\$

رشد شاخص‌های به کار رفته در محاسبه EEI را در کنار وزن این شاخص‌ها مطابق با تعریف EEI نشان می‌دهد که از اعداد این جدول برای محاسبه EEI مورد نیاز طی رابطه (۲) استفاده شده است. EEI به دست آمده از رابطه (۲) ضریب تعدیل مناسب برای اصلاح اقتصادی (تورمی) روابط مالی تخمینگر سوبولسکی برای شرایط نرم جهانی (کشورهای صنعتی) است.

مشخصاً پول در هر زمانی ارزش خاص خود را داراست. واضح است که برای به‌روزرسانی هزینه‌های تخمینی نیاز است تا تأثیر تورم را بر ضریب رابطه‌ها محاسبه کنیم. این رابطه‌ها بر اساس دلار آمریکا در سال ۱۹۹۲ منتشر شد. لازم به یادآوری است که رابطه‌ها در سال ۱۹۸۸ با دلار آمریکا نوشته و توسط سوبولسکی در ۱۹۹۲ ارائه شد [۱۲]. پس تاریخ مبداء برای به‌روزرسانی این رابطه‌ها سال ۱۹۸۸ است.

برای به دست آوردن قدرت خرید واحد پولی این تخمینگر هزینه [دلار آمریکا]، باید قدرت خرید این واحد

که در رابطه (۱):
CPI (Consumer Price Index) - شاخص بهای مصرف کننده،
ECI (Employee Cost Index) - شاخص بهای نیروی انسانی،
NII (NASA Inflation Index) - شاخص بهای مرکب کالا و خدمات ناسا،
PPI (Producer Price Index) - شاخص بهای تولید کننده،
GDP (Gross Domestic Product) - شاخص تولید

اعداد در جدول ۵ نمی‌توانند بدون ضرایب وزنی مناسب مورد استفاده قرار گیرند. برای به دست آوردن عدد شاخص تورمی مناسب، اعداد شاخص‌های تورمی مندرج در جدول ۵ نمی‌توانند مستقل و بدون ترکیب شدن با احتساب ضرایب وزنی مناسب مورد استفاده قرار گیرند. برای به دست آوردن عدد شاخص تورمی مناسب برای کارهای مهندسی معدن از ضرایب وزنی مطابق تعریف EEI که در رابطه (۱) بیان شده است، استفاده می‌شود. جدول ۶ اعداد

با توجه به جدول ۵ و اوزان در جدول ۶ می‌توان از سال ۱۹۸۸ به سال جاری استفاده کرد: رابطه میانگین وزنی برای محاسبه یک ضریب تورمی برای

$$EII = \frac{(40)(2.17) + (20)(2.47) + (20)(2.99) + (10)(2.41) + (5)(1.46) + (5)(2.33)}{100} = \frac{239.05}{100} = 2.39 \quad (2)$$

جدول ۶: میزان تاثیر (وزن) شاخص‌های تورمی در مقدار تورم

شاخص	CPI	ECI	PPI	NI	GDPI	GNPI
رشد	۲/۱۷	۲/۴۷	۲/۲۹	۲/۴۱	۱/۴۶	۲/۳۳
وزن شاخص	%۴۰	%۲۰	%۲۰	%۱۰	%۵	%۵

روابط وابسته به تکنولوژی بوده و با تغییر در تکنولوژی، تغییر می‌کنند. روابط مذکور در جدول ۷ نمایش داده شده است [۲۳]. دسته دوم، روابط تخمین هزینه هستند؛ که پس از انجام فرآیند به‌روزرسانی در جدول ۹ و جدول ۱۰ ارائه می‌شوند.

۳- روابط سوبولسکی^{۱۳}

روابط کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول تنها برای تخمین ماشین‌آلات و تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز برای عملیات معدن کاری زیرزمینی به کار می‌روند. این

جدول ۷: رابطه‌های تفکیک شده تجهیزات و ماشین‌آلات از میان روابط سوبولسکی

رابطه	واحد	پارامتر مورد محاسبه
$A = 0.011T^{(0.7)}$	آکر (۴۳۵۶۰ فوت مربع)	سطح مورد نیاز برای پاکسازی جهت بالابری در معادن زیرزمینی یک چاه مرکزی به همراه ساختمان‌های مورد نیاز سرویس‌ها
$A = 24T^{(0.3)}$	فوت مربع	مساحت سطح مقطع آن وابسته است و برای چاه‌هایی با مقطع مستطیلی و باربری بیش از ۵۰۰۰ تن در روز
$D = 5.5T^{(0.15)}$	فوت	چاه‌های دایره ای با باربری کمتر از ۵۰۰۰ تن در روز و حمل کارگران، تجهیزات
$D = 4.13T^{(0.3)}h^{(0.14)}$	اینچ	قطر طبلک بالابر (h ارتفاع بالابری به فوت)
$H_p = 0.5(D/100)^{(2.4)} S$	اسب بخار	قدرت موتور مورد نیاز بالابر (D قطر طبلک بالابر به اینچ)
$S = 1.6T^{(0.4)}$	فوت در دقیقه	سرعت کابل بالابر
$H = 8.0T^{(0.3)} + 1.2S^{(0.5)}$	فوت	ارتفاع دکل
$W = 0.12H^3(D/100)^2$	تن کوچک	وزن سازه فولادی دکل
$H_p = 0.88T^{(0.9)}$	اسب بخار	قدرت دستگاه تهویه مورد نیاز در معدن
$P_h p = 88T^{(0.5)}$	اسب بخار	قدرت موتور مورد نیاز سیستم آبکشی برای معادن با جریان کم و خشک و معادن با عمق کمتر از ۱۰۰۰ فوت
$P_h p = 32T^{(0.5)}$ و $P_h p = 26T^{(0.5)}$	اسب بخار	قدرت موتور مورد نیاز سیستم آبکشی برای معادن با جریان متوسط و عمق ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ فوت
$P_h p = 62T^{(0.5)}$	اسب بخار	قدرت موتور مورد نیاز سیستم آبکشی برای معادن با شدت جریان زیاد
$A = 29T^{(0.5)}$	اینچ مربع	مساحت دهانه سنگ شکن فکی
$C = 170T^{(0.5)}$	فوت مکعب در دقیقه	C ظرفیت مورد نیاز هوای فشرده معادن زیرزمینی که چال حفاری کوچک و کارگاه انباره ای و کند و اکنند است.
$C = 230T^{(0.5)}$	فوت مکعب در دقیقه	C ظرفیت مورد نیاز هوای فشرده معادن زیرزمینی بزرگ که از چاهای کوچک و کمپرسور هوای فشرده اسلاشر و لودر در کارگاه‌های کوچک باریک استفاده می‌کند

ادامه جدول ۷: رابطه‌های تفکیک شده تجهیزات و ماشین‌آلات از میان روابط سوبولسکی

رابطه	واحد	پارامتر مورد محاسبه
$C = 130T^{(0.5)}$	فوت مکعب در دقیقه	C ظرفیت مورد نیاز هوای فشرده معدن زیرزمینی بزرگ که از چاهای بزرگ و کارگاه استخراج وسیع از تجهیزات مکانیکی دیزلی برای بارگیری استفاده می‌کند
$L = 1276T^{(0.6)} / W^{(0.4)}$	فوت	طول بازکننده افقی
$P_l = 165T^{(0.5)}$	کیلووات در روز	اوج قدرت برق برای سنگ‌شکن‌ها معدن زیرزمینی
$P_l = 24.7T^{(0.5)}$	کیلووات در روز	اوج قدرت برق برای تجهیزات معدن زیرزمینی

- رابطه‌های جدول ۷، ماهیتی غیر از هزینه و واحد پولی دارند و تنها به تخمین تجهیزات می‌پردازند. بخش دوم این روابط که برای محاسبه هزینه در معدن مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل موارد زیر هستند:
- هزینه پاکسازی سایت
- هزینه سرمایه‌ای حفر چاه دسترسی [شفت]
- هزینه بالابر و قفس حمل و نقل
- هزینه سرمایه‌ای سر چاه یا دکل حفاری
- هزینه آماده‌سازی و تجهیز کارگاه استخراج
- هزینه حفاری، بارگیری و حمل
- هزینه سیستم تهویه معدن
- هزینه سیستم آبکشی
- هزینه سیستم آبرسانی
- هزینه سنگ‌شکن اولیه نصب شده در زیرزمین
- هزینه تعمیرگاه معدن زیرزمینی
- هزینه سیستم کمپرسور
- هزینه توزیع آب و هوای فشرده
- هزینه سیستم پرکردن کارگاه کند و آکند

۴- روش استفاده از روابط اقتصادی برای شرایط خاص ایران

روابط سوبولسکی بر اساس میزان تولید ماده معدنی و برنامه‌ریزی بلند مدت معدن می‌توانند تجهیزات و هزینه هر بخش از معدن را محاسبه نمایند. بدین منظور ابتدا به تعریف ورودی‌های مدل پرداخته می‌شود. همان گونه که در جدول ۸ مشخص شده است پنج ورودی اصلی برای مدل سوبولسکی نیاز است.

جدول ۸: پارامترهای ورودی در روابط سوبولسکی

پارامتر	تعریف
T_o	کانی استخراج شده در یک روز بر حسب تن (Ton/Day)
T_w	باطله برداشت شده در یک روز بر حسب تن (Ton/Day)
T_p	کل ماده استخراج شده و برداشت شده در یک روز بر حسب تن (Ton/Day)
T_c	کانی عبور کرده از سنگ شکن در یک روز بر حسب تن (Ton/Day)
T	کانی سنگ‌شکن شده یا پروسه شده در یک روز بر حسب تن (Ton/Day)

پارامترهای ورودی نوبت به محاسبه تجهیزات می‌رسد. بدین منظور از روابط جدول ۷ استفاده می‌شود. پس از محاسبه این بخش نوبت به تخمین هزینه هر بخش از معدن می‌رسد. جدول ۹ روابط سوبولسکی را پیش و پس از

این پارامترها با استفاده از طول عمر معدن و میزان ذخیره کلی معدن و نحوه استخراج و برنامه‌ریزی در معدن قابل پیش‌بینی و محاسبه هستند. شایان ذکر است که تمامی پارامترهای مندرج در جدول ۸ بر حسب تن کوچک^{۱۴} هستند. پس از محاسبه نرخ تولید و تعیین سایر

به‌روزرسانی نمایش می‌دهد که وظیفه محاسبه هزینه را بر عهده دارند.
جدول ۹: روابط هزینه‌های معدنکاری زیرزمینی سوبولسکی شرایط ایران^{۱۵}

ردیف	رابطه (۱۳۹۸) خاص شرایط ایران (ریال)	رابطه (۱۳۶۷)	توضیح
هزینه روزانه عملیاتی معدن زیرزمینی			
۱	$610.2T^{0.6}$	$\$146T^{0.6}$	هزینه استخراج معدن زیرزمینی به روش انبارهای
۲	$925T^{0.6}$	$\$185T^{0.6}$	هزینه روش کند و آکند
۳	$81.4T^{0.7}$	$\$22T^{0.7}$	هزینه مواد پرکننده
۴	$736T^{0.7}$	$\$160T^{0.6}$	هزینه روش چال بلند
۵	$44.4T^{0.7}$	$\$12T^{0.7}$	توزیع پرکننده برای کارگاه‌های چال بلند
۶	$575T^{0.6}$	$\$125T^{0.6}$	هزینه کارگاه VCR
۷	$369.2T^{0.6}$	$\$130T^{0.6}$	هزینه روش اتاق و پایه در سنگ سخت
۸	$241.4T^{0.6}$	$\$85T^{0.6}$	هزینه روش اتاق و پایه در سنگ نرم
۹	$442.7T^{0.6}$	$\$115T^{0.6}$	هزینه روش تخریب در طبقات فرعی
۱۰	$389.5T^{0.6}$	$\$105T^{0.6}$	هزینه روش تخریب بلوکی
هزینه روزانه آماده سازی کارگاه			
۱۱	$355.3T^{0.48}W^{0.2}$	$\$85T^{0.48}W^{0.2}$	روش انبارهای
۱۲	$48T^{0.7}W^{0.5}$	$\$9.60T^{0.7}W^{0.5}$	روش کند و آکند
۱۳	$54.5T^{1.06}W^{0.6}$	$\$19.20T^{1.06}W^{0.6}$	روش چال انفجاری
۱۴	$133.5T^{1.04}W^{0.6}$	$\$29.04T^{1.04}W^{0.6}$	روش VCR
۱۵	$8.1T^{0.6}H^{0.2}$	$\$2.200T^{0.6}H^{0.2}$	تخریب بلوکی
سایر هزینه‌های عملیاتی روزانه			
۱۶	$5.02T^{0.8}$	$\$2T^{0.8}$	هزینه سنگ‌شکن
۱۷	$10.3T^{0.8}$	$\$4.7T^{0.8}$	هزینه بالابر
۱۸	$259.5T^{0.8}$	$\$75T^{0.8}$	هزینه خدمات عمومی در معدن
۱۹	$57T^{0.7}$	$\$12T^{0.7}$	هزینه نظارت بر معدن
هزینه تأمین برق روزانه			
۲۰	$764.2T^{0.56}$	$\$164T^{0.56}$	هزینه تأمین برق روزانه
هزینه خدمات سطحی			
۲۱	$942N_{sv}$	$\$157N_{sv}$	هزینه روزانه تعمیر و نگهداری و خدمات عمومی
۲۲	$5213.04T^{0.4}$	$\$14600T^{0.4}$	هزینه تجهیزات نگهداری و تعمیرگاه
۲۳	$7430.08H_p^{0.7}$	$\$1400H_p^{0.7}$	هزینه سیستم آبکشی بر اساس مقدار آب ورودی کم متوسط و زیاد
	$18044.4H_p^{0.7}$	$\$3400H_p^{0.7}$	
۲۴	$30781.764H_p^{0.7}$	$\$5800H_p^{0.7}$	هزینه سیستم حمل و حفاری و بارگیری شامل دستگاه چالزنی و تراک و شاول و بیل
	$58794T^{0.8} / W^{0.3}$	$\$24600T^{0.8} / W^{0.3}$	

جدول ۱۰: روابط هزینه‌های معدنکاری زیرزمینی مورد استفاده جهانی

ردیف	رابطه به‌روز شده (۲۰۱۹)	رابطه (۱۹۸۸)	توضیح
هزینه روزانه عملیاتی معدن زیرزمینی			
۱	$348.94T^{0.6}$	$146T^{0.6}$	هزینه استخراج معدن زیرزمینی به روش انبارهای
۲	$442T^{0.6}$	$185T^{0.6}$	هزینه روش کند و آکند
۳	$52.58T^{0.7}$	$22T^{0.7}$	هزینه مواد پرکننده
۴	$382.4T^{0.6}$	$160T^{0.6}$	هزینه روش چال بلند
۵	$28.68T^{0.7}$	$12T^{0.7}$	توزیع پر کننده برای کارگاه‌های چال بلند
۶	$298.75T^{0.6}$	$125T^{0.6}$	هزینه کارگاه VCR
۷	$310.7T^{0.6}$	$130T^{0.6}$	هزینه روش اتاق و پایه در سنگ سخت
۸	$203.15T^{0.6}$	$85T^{0.6}$	هزینه روش اتاق و پایه در سنگ نرم
۹	$274.85T^{0.6}$	$115T^{0.6}$	هزینه روش تخریب در طبقات فرعی
۱۰	$250.95T^{0.6}$	$105T^{0.6}$	هزینه روش تخریب بلوکی
هزینه روزانه آماده سازی کارگاه			
۱۱	$203.15T^{0.48}W^{0.2}$	$85T^{0.48}W^{0.2}$	روش انبارهای
۱۲	$22.94T^{0.7}W^{0.5}$	$9.60T^{0.7}W^{0.5}$	روش کند و آکند
۱۳	$45.88T^{1.06}W^{0.6}$	$19.20T^{1.06}W^{0.6}$	روش چال انفجاری
۱۴	$70.26T^{1.04}W^{0.6}$	$29.04T^{1.04}W^{0.6}$	روش VCR
۱۵	$5258T^{(0.6)}H^{(0.2)}$	$2200T^{(0.6)}H^{(0.2)}$	تخریب بلوکی
سایر هزینه‌های عملیاتی روزانه			
۱۶	$4.78T^{0.8}$	$2T^{0.8}$	هزینه سنگ‌شکن
۱۷	$11.23T^{0.8}$	$4.7T^{0.8}$	هزینه بالابر
۱۸	$179.25T^{0.8}$	$75T^{0.8}$	هزینه خدمات عمومی در معدن
۱۹	$28T^{0.7}$	$12T^{0.7}$	هزینه نظارت بر معدن
هزینه تأمین برق روزانه			
۲۰	$391T^{0.56}$	$164T^{0.56}$	هزینه تأمین برق روزانه
هزینه خدمات سطحی			
۲۱	$375.2N_{sv}$	$157N_{sv}$	هزینه روزانه تعمیر و نگهداری و خدمات عمومی
۲۲	$34894T^{0.4}$	$14600T^{0.4}$	هزینه تجهیزات نگهداری و تعمیرگاه
۲۳	$3346H_p^{0.7}$	$1400H_p^{0.7}$	هزینه سیستم آبکشی بر اساس مقدار آب ورودی کم متوسط و زیاد ^{۱۶}
	$8126H_p^{0.7}$	$3400H_p^{0.7}$	
	$13862H_p^{0.7}$	$5800H_p^{0.7}$	
۲۴	$5879T^{0.8} / W^{0.3}$	$24600T^{0.8} / W^{0.3}$	هزینه سیستم حمل و حفاری و بارگیری شامل دستگاه چالزنی و تراک و شاول و بیل

با استفاده از جدول ۱۰ می‌توان مقدار هزینه بخش‌های مختلف معدن را با توجه به تجهیزات و نرخ تولید محاسبه نمود. این محاسبه می‌تواند میزان هزینه مورد نیاز را در مرحله پیش امکان‌سنجی مشخص نماید.

۴-۱- اعتبارسنجی روابط در ایران

برای سنجش اعتبار روابط در شرایط خاص ایران از هزینه‌های یک پروژه معدنی واقعی کمک گرفته شد که معدن سرب و روی زیرزمینی عمارت در سال ۱۳۴۷ صادر گردید، معدن سرب و روی عمارت در سال ۱۳۴۷ صادر گردید، سپس پروانه بهره‌برداری معدن عمارت در همان سال و

- طبقه فرعی اول: ۱۹۹۴
- طبقه فرعی دوم: ۱۹۸۳
- طبقه فرعی سوم: ۱۹۷۵
- طبقه فرعی چهارم: ۱۹۶۴
- طبقه فرعی پنجم: ۱۹۵۱
- آخرین ارتفاع رمپ: ۱۹۴۵

در بعضی طبقات هنوز بخشی از کار باقی مانده است. از ارتفاع ۱۹۹۴ یک رمپ فرعی به ارتفاع ۱۹۸۳ حفر شده است. همچنین برای داشتن یک راه فرعی در شرایط اضطراری و برخورداری از تهویه بهتر، یک دوپل در سنگ درونگیر آهکی نیز حفر شده است که ارتفاع آن کمتر از ۲ متر است. هنگام استخراج کل سقف خرد می‌شود طوری که بتوان از ارتفاع‌های پائین نیز آخرین سقف را مشاهده کرد.

برای اعتبار سنجی روابط اصلاح شده در این پژوهش، سه بخش از هزینه‌ها در معدن سرب و روی عمارت شاهین با استفاده از روابط اصلاح شده محاسبه گردید. این محاسبه با هزینه واقعی تجهیزات و ادوات مورد نیاز مقایسه و فرض بر آن شد که قصد بر تهیه این ماشین‌آلات در معدن مذکور است. همان‌گونه که بیان شد این معدن از شیوه تخریب طبقات فرعی بهره می‌برد. بر این اساس بخش‌های زیر مورد بررسی قرار گرفت:

- هزینه سیستم آبکشی
- هزینه سیستم حفاری، بارگیری و حمل
- هزینه تعمیرگاه ماشین‌آلات

نتایج حاصل از محاسبه هر کدام از بخش‌ها با توجه به لیست اقلام واقعی هزینه و تخمین مدل پیش امکان‌سنجی به شرح جدول ۱۱ است. جدول ۱۱ مقایسه هزینه واقعی و هزینه تخمینی در سه بخش از معدن شاهین عمارت را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است مقادیر تخمین زده شده با توجه به دقت، کاملاً مناسب به کارگیری در بخش پیش امکان‌سنجی هستند. در بخش سیستم آبکشی به علت ضعف در طراحی و اطلاعات ضعیف در مرحله اکتشاف مقدار دبی ورودی آب کم در نظر گرفته شده که پس از بهره‌برداری این مورد تصحیح شده و همین امر موجب تفاوت ۲۸ درصدی در این بخش از هزینه با مقدار تخمین زده شده است که قطعاً بخشی از آن به علت هزینه ناشی از دوباره کاری است.

برای مدت ۲۰ سال با حداقل استخراج ۳ سال اول به ترتیب به میزان ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ تن صادر شد، سرانجام در سال ۱۳۴۲ با تصویب شورای عالی معادن، پروانه بهره‌برداری معدن عمارت به شرکت شاهین واگذار گردید. با ادامه عملیات اکتشافی، ذخیره معدن عمارت به ۱۰/۵ میلیون تن گالین (سولفید سرب) و آسفالریت (سولفید روی) افزایش یافت. پس از تمام شدن ذخیره سرب و روی معدن لکان واقع در جنوب خرم‌آباد که تأمین کننده خوراک کارخانه تغلیظ احداث شده در آن معدن بود، در سال ۱۳۵۵ بهره‌برداری از ذخیره معدن عمارت با احداث ۲ کارگاه استخراج زیرزمینی شماره ۱ و ۲ و کارگاه روباز موچان آغاز شده است. عملیات بهره‌برداری از کارگاه‌های فوق تا سال ۱۳۶۴ کماکان ادامه داشته که در این سال به علت پایین بودن قیمت فروش کنسانتره سرب و روی و اتمام ذخایر در معدن روباز موچان، عملیات بهره‌برداری از معدن متوقف گردید. از سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۷۴ شرکت با مجوز بهره‌برداری از وزارت معادن و فلزات ادامه فعالیت داد و در سال ۱۳۷۴ آخرین مجوز بهره‌برداری ۸ ساله به نام شرکت معدنی و صنعتی شاهین لغایت سال ۱۳۸۲ آخذ گردید؛ در نهایت در سال ۱۳۸۳ کارخانه سرب و روی لکان به شرکت برونر^{۱۷} ترکیه واگذار شد.

از نظر موقعیت جغرافیایی این معدن در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۳ دقیقه و ۲۶ ثانیه و در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵ ثانیه و در منطقه ای به ارتفاع ۲۱۸۰ متر از سطح آب دریا قرار دارد. دسترسی به کارخانه فرآوری از طریق جاده اراک_ بروجرد امکان‌پذیر است. که پس از طی ۱۸ کیلومتر در جاده فوق، وارد جاده شازند شده و از محل دو راهی قدمگاه وارد روستایی به نام هفته عمارت و کرک شده که پس از چند کیلومتر به معدن سرب و روی رسیده و کارخانه تغلیظ سرب و روی لکان در فاصله ۲۷ کیلومتری جنوب شرق معدن واقع شده است. این کانسار در زون سنندج سیرجان واقع است. زون سنندج سیرجان فعالیت‌های کوهزایی زیادی را پشت سر گذاشته است و مجموعه ای از سنگ‌های دگرگونی شامل آمفیبولیت‌ها و شیست‌ها را تشکیل می‌دهد. در این معدن، روش استخراج، تخریب طبقات فرعی است و در حال حاضر طبقات فرعی کار شده بدین صورت هستند:

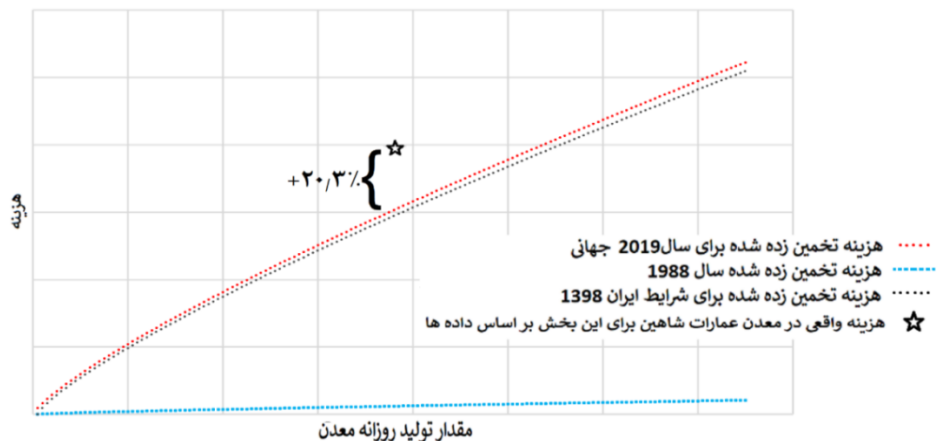
- دهانه: ۲۰۰۱

جدول ۱۱: مقایسه هزینه واقعی و تخمینی توسط تخمینگر

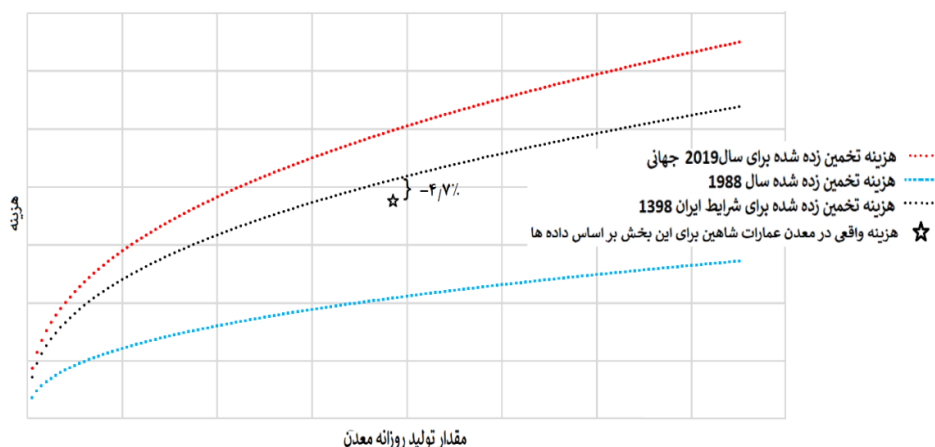
بخش	مقدار تخمین زده شده با استفاده از فرمول (بر حسب میلیارد ریال)	مقدار هزینه واقعی برای پروژه (بر حسب میلیارد ریال)	مقدار خطا به درصد
تعمیرگاه تونل	۲۰/۱	۱۹/۲	-۴/۷
سیستم آبکشی	۷۳/۶	۹۴/۲	+۲۸
تجهیزات حفاری و بارگیری و حمل	۱۸۸/۱	۲۲۶/۱	+۲۰/۳

برای مرحله پیش‌امکان‌سنجی در اختیار کارشناسان قرار دهند. لازم به یادآوری است که این روابط پیش از شروع سرمایه‌گذاری در بخش معدن برای محاسبه و شناخت تقریبی هزینه‌ها است تا کارشناسان و سرمایه‌گذاران با ردیف هزینه‌ها و مقدار آنها آشنا بوده و سود و زیان پروژه را برای مراحل بعدی در نظر بگیرند. در محاسبه و مقایسه صورت گرفته در این مقاله، ۳ بخش از ردیف‌های هزینه معدن مقایسه شد.

بر این اساس تخمین هزینه با نسبت خوبی صورت گرفته و با خطای کمتر از بیست درصد می‌توان در مراحل اولیه مقدار هزینه را محاسبه نمود. در شکل ۲ مقادیر هزینه محاسبه شده بر اساس روابط اصلاح شده تخمین هزینه سرمایه‌ای تجهیزات حفاری، بارگیری و حمل، و رابطه اولیه مدل سوبولسکی در کنار مقدار واقعی آن در یک معدن زیرزمینی در ایران نشان داده شده‌اند. همان گونه که از شکل ۲ و ۳ مشخص است، روابط می‌تواند تخمینی مناسب



شکل ۲: مقایسه هزینه بخش تجهیزات حفاری، بارگیری و حمل (هزینه سرمایه‌ای) در سال مینا با شرایط ایران و جهان در سال ۲۰۱۹ همراه با مقدار واقعی این هزینه در معدن زیرزمینی شاهین عمارت^{۱۸}



شکل ۳: مقایسه هزینه بخش تجهیز و راه اندازی تعمیرگاه معدن (هزینه سرمایه‌ای) در سال مینا با شرایط ایران و جهان در سال ۲۰۱۹ همراه با مقدار واقعی این هزینه در معدن زیرزمینی شاهین عمارت

International Journal of Mining, Reclamation and Environment, pp. 1-13, 2018.

[6] Y. Yihdego, "Engineering and environment management value of radius of influence estimate from mining excavation," Journal of Applied Water Engineering and Research, vol. 6, no. 4, pp. 329-337, 2018.

[7] X. Zeng, J. A. Mathews, and J. Li, "Urban mining of e-waste is becoming more cost-effective than virgin mining," Environmental science & technology, vol. 52, no. 8, pp. 4835-4841, 2018.

[8] A. D. Akbari, M. Osanloo, and M. A. Shirazi, "Reserve estimation of an open pit mine under price uncertainty by real option approach," Mining Science and Technology (China), vol. 19, no. 6, pp. 709-717, 2009.

[9] A. Akbari and M. Osanloo, "An updated an modified O'Hara cost estimating model based on world and Iran economic condition," 32nd APCOM, pp. 3-18, 2005.

[10] G. K. Clement, Capital and operating cost estimating system manual for mining and beneficiation of metallic and nonmetallic minerals except fossil fuels in the United States and Canada. Bureau of Mines, US Dept. of the Interior, 1980.

[11] S. A. Stebbins, Cost estimation handbook for small placer mines. US Department of the Interior, Bureau of Mines, 1987.

[12] M. Paricheh and M. Osanloo, "A simulation-based framework for estimating probable open-pit mine closure time and cost," Journal of cleaner production, vol. 167, pp. 337-345, 2017.

[13] C. B. Carter and M. G. Norton, Ceramic materials: science and engineering. Springer, 2007.

[14] R. Lamm, B. Psarianos, and T. Mailaender, Highway design and traffic safety engineering handbook. 1999.

[15] B. Roberson, "Fuel Conservation Strategies: cost index explained," Boeing Aero Quarterly, vol. 2, no. 2007, pp. 26-28, 2007.

[16] F. Brayton, T. Laubach, and D. L. Reifschneider, "The FRB/US Model: A tool for macroeconomic policy analysis," Board of Governors of the Federal Reserve System (US)2014.

[17] L. P. Hansen and R. Jagannathan, "Assessing specification errors in stochastic discount factor models," The Journal of Finance, vol. 52, no. 2, pp. 557-590, 1997.

[18] U. Gov. (1990-2019). <https://www.federalreserve.gov/>. Available: <https://www.federalreserve.gov/>

در شکل ۳ همین مقایسه برای هزینه سرمایه‌های تجهیز و راه‌اندازی تعمیرگاه معدن مشاهده می‌شود. همان گونه که از شکل مشخص است؛ این بخش تخمینی خوب در جهت پیش‌بینی هزینه‌ها در اختیار مهندسان قرار می‌دهد.

۵- نتایج

- تفاوت میان ضرایب اصلاح و به‌روزرسانی هزینه برای ایران و سایر نقاط جهان در روابطی که صد در صد به ارز خارجی وابسته نیستند بسیار با معنی است که حاکی از رشد کمتر آحاد بهای خدمات مهندسی در ایران و اقلام مصرفی تولید داخل در مقایسه با جهان است.
- برخی از بخش‌های هزینه معدن در ایران با مقدار جهانی آن برابر است. این بخش از هزینه‌ها به علت وابستگی به صنایع غیر ملی و واردات کاملاً مستقیم به قیمت دلار وابسته است. تجهیزات حمل و حفاری و بارگیری مثالی از این دست هستند.
- از معادلات بخش‌های مختلف این تخمینگر در معادن ایران و جهان می‌توان استفاده نمود. این تخمینگر با تخمین در محدوده بیست درصد هزینه را تخمین می‌زند.
- این تخمینگر تمامی بخش‌های معادن زیرزمینی را در محاسبه هزینه پوشش می‌دهد.

منابع

- [1] O. L. Schumacher, "Western mine engineering," Mine Cost Services, Spokane, Washington: Western Mine Engineering, 1998.
- [2] R. Pascoe, "Capital and operating costs of minerals engineering plants-a review of simple estimation techniques," Minerals engineering, vol. 5, no. 8, pp. 883-893, 1992.
- [3] K. Shedd, "Minerals yearbook, 1992: Cobalt. Annual report," Bureau of Mines, Washington, DC (United States). Div. of Mineral Commodities1993.
- [4] H. Nourali and M. Osanloo, "A New Cost Model for Estimation of Open Pit Copper Mine Capital Expenditure," International Journal of Engineering, vol. 32, no. 2, pp. 346-353, 2019.
- [5] H. Nourali and M. Osanloo, "A regression-tree-based model for mining capital cost estimation,"

- [19] nasa.gov. (1996-2019). www.nasa.gov/. Available: <https://www.nasa.gov/offices/ocfo/sid/publications>
- [20] U. gov. (1965 - 2018). <https://www.bls.gov> (1 ed.). Available: <https://www.bls.gov/bls/news-release/eci.htm>
- [21] R. A. Magnuson and R. G. Shires, "Central tire inflation system," ed: Google Patents, 1988.
- [22] I. Kitov, "Exact prediction of inflation in the USA," Available at SSRN 916060, 2006.
- [23] H. L. Hartman and S. G. Britton, SME mining engineering handbook. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Denver, 1992.

¹ Neil & Gentry

² AusIMM (Australasian Institute of Mining and Metallurgy)

³ Mular

⁴ US.B.M. (United States Bureau of Mines)

⁵ CANMENT (Canada Center for Mineral and Energy Technology)

⁶ O'Hara & Subolski

⁷ Capital Cost of Shaft Sinking

⁸ Labor Cost

⁹ توضیح: تمامی روابط در سال ۱۹۸۸ نوشته شده و برای تبدیل آن‌ها به روابط روز شاخص دستمزد کارگران در ایران از سال ۱۳۶۷ به عنوان مبنا در نظر گرفته شده است.

¹⁰ Supply Cost

¹¹ Purchased Equipment Cost

¹² Consumer Price Index

¹³ برخی از روابط این جدول از روابط توسعه داده شده توسط تی. ال. اوهارا (T. Alan O'Hara) گرفته شده است.
Short ton (Ton)¹⁴: برابر با ۲۰۰۰ پوند که برابر ۹۰۷/۱۹ کیلوگرم است.

¹⁵ این روابط بر اساس دلار محاسبه شده و سپس با ضرب آن در نرخ برابری ارز مقدار ریال آن برای ایران محاسبه می‌شود. علت این موضوع نوسان نرخ برابری ارز است.

¹⁶ در این فرمول ابتدا مقدار توان سیستم آبکشی محاسبه شده و سپس هزینه تخمین زده می‌شود.

¹⁷ Brunner

¹⁸ علت برابری مقدار هزینه ایران با هزینه جهانی در این ردیف، خرید و وابستگی به صنایع وارداتی در کشور ایران است.