

توسعه نرم افزار برای انتخاب تجهیزات عملیات تولیدی در معدن کاری روباز

سید مرتضی حسینی^{۱*}؛ مهدی یآوری^۲؛ سید محمد مهدی میرعابدی^۳

۱- کارشناس ارشد مهندسی استخراج معدن، دانشگاه زنجان، seyedmorteza@engineer.com

۲- مربی دانشکده مهندسی معدن دانشگاه تهران، myavary@ut.ac.ir

۳- کارشناس ارشد مهندسی استخراج معدن، شرکت مهندسی معدن داده پرداز mirabedi@gmail.com

(دریافت ۱۶ آبان ۱۳۸۶، پذیرش ۱۱ خرداد ۱۳۸۷)

چکیده

نرم افزار کاربردی SPE برای انتخاب تجهیزات عملیات تولیدی شامل عملیات چالزنی، آتشیاری، بارگیری و باربری (سیستم شاول- کامیون) و سنگ شکنی اولیه در معادن روباز توسعه داده شده است. مدل نرم افزار بر انتخاب قطر چال به منظور انتخاب تجهیزات چالزنی استوار است. با توجه به تأثیر قطر چال بر خردشوندگی توده حاصل از آتشیاری و برای تعیین ضریب پرشوندگی، الگوی آتشیاری طراحی شده و سپس ظرفیت بارگیری و باربری ماشین آلات براساس روابط کلاسیک و تأثیر ضریب پرشوندگی تعیین و سنگ شکن اولیه بر مبنای ابعاد بار ورودی انتخاب می شود. در نهایت، تجهیزات عملیات تولیدی با محاسبه هزینه های این عملیات به گونه ای انتخاب می شود که مجموع هزینه ها کمینه شود. این نرم افزار توانایی انتخاب قطر چال، طراحی الگوی آتشیاری، محاسبه خردشدگی، انتخاب روش و دستگاه چالزنی، انتخاب و محاسبه تعداد ماشین بارگیری و کامیون، انتخاب سنگ شکن اولیه، محاسبه هزینه های عملیات تولیدی و در نهایت مقایسه هزینه ها و انتخاب قطری که کمترین هزینه های عملیات معدن کاری موجب می شود را دارد. دقت این نرم افزار در انتخاب ماشین آلات در حد مطالعات امکان سنجی اولیه و حداکثر امکان سنجی می باشد.

کلمات کلیدی

قطر چال، چالزنی، آتشیاری، بارگیری، باربری، سنگ شکنی، هزینه عملیات تولیدی، معدن روباز

* عهده دار مکاتبات

۱- مقدمه

در معدن کاری سنگ‌های سخت به روش استخراج روباز، مواد معدنی تحت عملیات متعدد چرخه اصلی تولید شامل چالزنی، آتشباری، بارگیری و باربری قرار می‌گیرد. این مواد پس از سنگ‌شکنی اولیه، که امروزه به دلایل اقتصادی در محدوده عملیات معدنی قرارداد، به کارخانه فرآوری منتقل می‌شود. اولین مرحله در این فرایند کندن سنگ بوده و چالزنی اولین گام این مرحله است. مسائل مطرح در این مرحله، انتخاب دستگاه چالزنی و اجزای الگوی آتشباری می‌باشد. انتخاب تجهیزات و ماشین آلات چالزنی به مشخصات توده سنگ و هندسه چال حفاری بستگی دارد. در طراحی الگوی آتشباری، با توجه به قطر چال، فاصله ردیفی چال‌ها تعیین شده و سپس سایر اجزا با توجه به این فاصله انتخاب می‌شوند. از طرفی پارامترهای وابسته به چالزنی نظیر قطر، فاصله‌داری و آرایش چال‌ها، عملیات بعدی یعنی آتشباری و نتایج آن را متأثر می‌سازد و نتایج آتشباری مانند خردشدگی، شکل توده حاصل از آتشباری، اختلاط و... بر فرایندهای بعدی و هزینه‌های هرکدام از این فرایندها تأثیر می‌گذارد.

خردشدگی با تأثیر بر ضریب پرشوندگی در تعداد بارکننده و باربر مورد نیاز برای انتقال مواد خردشده اثر می‌گذارد. سنگ‌شکن اولیه نیز با توجه به خردشدگی توده آتشباری شده یعنی ابعاد بار ورودی انتخاب می‌شود. در صورتی که انفجار به خوبی انجام شده و سنگ به درجه خردایش مطلوب برسد، بازدهی سیستم بارگیری، باربری و سنگ‌شکنی اولیه و در نتیجه تولید معدن افزایش می‌یابد. اما یک انفجار نامناسب، علاوه بر لرزش زمین، لرزش هوا و پرتاب سنگ، قله‌سنگ‌های بزرگی ایجاد می‌کند که تولید سیستم بارگیری را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. بنابراین همه مراحل به نحوی با خردشدگی مرتبط هستند و از آن تأثیر می‌پذیرند. با مطالعه این نتایج و کمی کردن تأثیرات آن‌ها بر مراحل بعدی، می‌توان هزینه‌های عملیات ذکر شده را تخمین زد و از آن طریق دستیابی به ماشین‌آلات عملیات تولیدی و الگوی چالزنی‌ای که کمترین هزینه را در مجموع عملیات چرخه اصلی تولید و سنگ‌شکنی اولیه موجب می‌شود، میسر ساخت.

۲- الگوریتم کلی نرم‌افزار

نرم‌افزار انتخاب تجهیزات عملیات تولیدی معادن روباز با عنوان ¹SPE قابلیت‌های زیر را دارا می‌باشد:

- پیشنهاد دستگاه‌های چالزن به کاربر با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر انتخاب چالزن

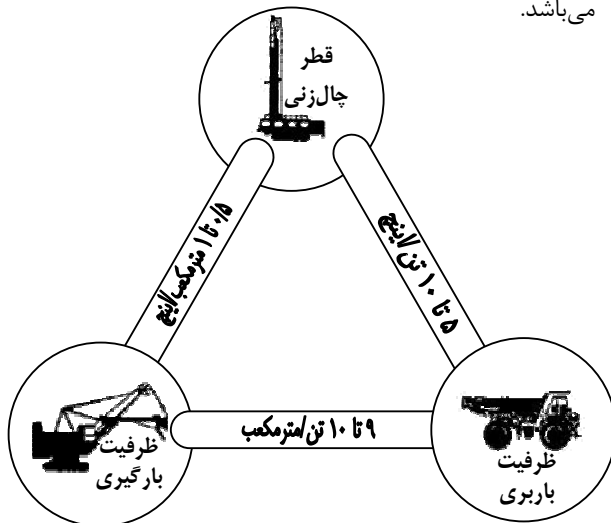
- طراحی اجزای الگوی آتشباری
- فراهم آوردن امکان انتخاب نوع و محاسبه تعداد ماشین‌های بارگیری، باربری و سنگ‌شکنی اولیه
- محاسبه هزینه‌های هر بخش و انتخاب ترکیب دارای هزینه کمینه

نرم‌افزارهای موجود معدن کاری صرفاً هزینه را برای مراحل مختلف به صورت مجزا و بدون در نظر گرفتن تأثیر آنها بر هم برآورد می‌کنند. از نظر نگارندگان و بر مبنای تحقیقات انجام‌شده، نرم‌افزاری که قادر باشد تجهیزات را متناسب با هم در کل عملیات تولیدی انتخاب کند و در عین حال امکان استفاده از قابلیت‌های آن برای عملیات مختلف معدن کاری به صورت مجزا وجود داشته باشد، توسعه داده نشده است.

مطابق الگوریتم شکل ۱، نرم‌افزار با دریافت ورودی‌های اولیه شامل مشخصات توده سنگ، ماده منفجره، ظرفیت تولید و نیروی انسانی مورد نیاز و نرخ‌های بهره، بیمه و مالیات، ابتدا محدوده قطر چال‌ها را تعیین می‌کند و از کاربر می‌خواهد که برای ادامه عملیات یک قطر را انتخاب کند. برای قطر انتخاب شده الگوی آتشباری طراحی و خردشدگی حاصل محاسبه می‌شود. بر مبنای قطر انتخاب شده و مشخصات توده سنگ از بانک اطلاعاتی، دستگاه‌های چالزنی به کاربر پیشنهاد شده و هزینه چالزنی و آتشباری برآورد می‌شود. سپس نرم‌افزار بر مبنای اطلاعات ورودی و با در نظر گرفتن تأثیر خردشدگی بر بارگیری و باربری، بارکننده‌ها و کامیون‌های مناسب را از بانک اطلاعاتی انتخاب می‌کند و بعد از محاسبه تعداد آن‌ها، هزینه بارگیری و باربری را برآورد می‌کند. سنگ‌شکن اولیه نیز به همین ترتیب از بانک اطلاعاتی انتخاب شده و هزینه این بخش نیز محاسبه می‌شود. پس از انتخاب دستگاه‌های متناسب با قطر انتخاب‌شده، با محاسبه هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی برای هر انتخاب، دستگاه‌های منجر به کمترین هزینه در هر مرحله (چالزنی، بارگیری، باربری و سنگ‌شکنی اولیه) تعیین و برای قطر مورد نظر ثبت می‌شوند. با انتخاب قطر دیگر توسط کاربر، مراحل فوق برای قطر جدید تکرار می‌شود و در نهایت با مقایسه هزینه‌های ثبت شده برای هر قطر، قطری که کمترین هزینه را در مجموع عملیات موجب می‌شود، انتخاب می‌گردد.

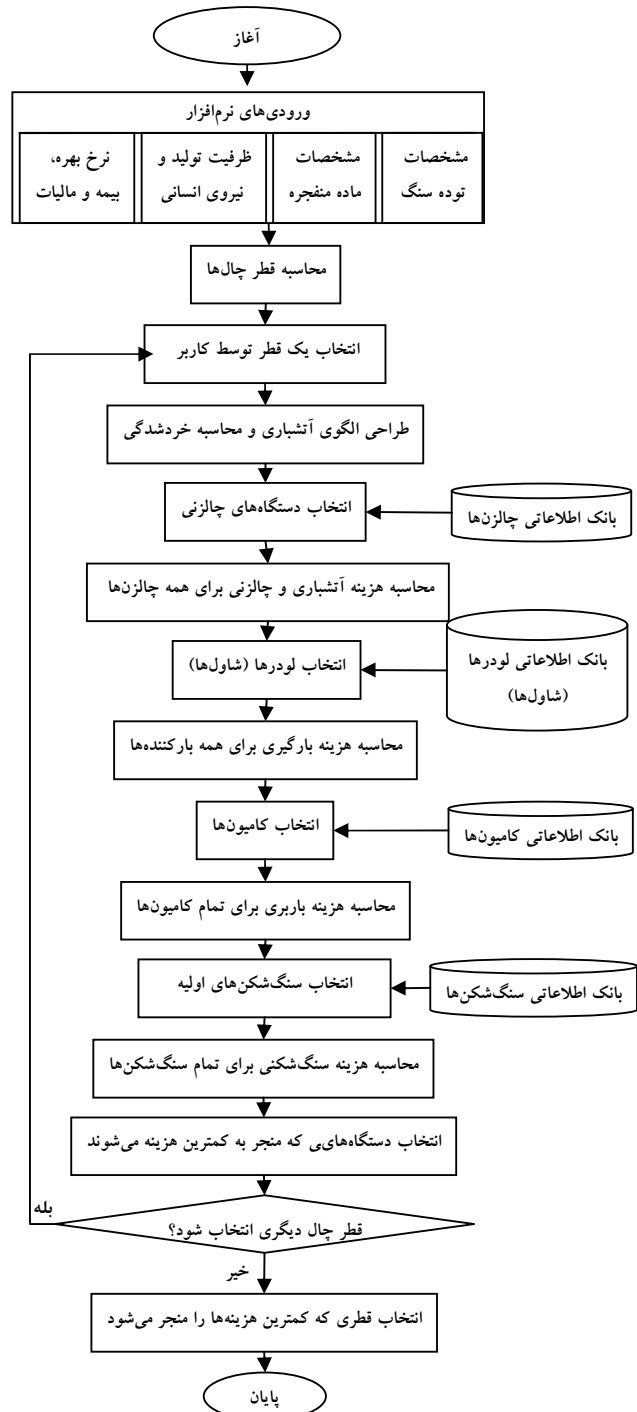
اساس ارتفاع پله یا ظرفیت متوسط تولید در ساعت و یا ظرفیت جام بارکننده و ظرفیت صندوقه کامیون انتخاب کرد. برای محاسبه قطر چال با توجه ارتفاع پله از روابط ارائه شده توسط ناپوری^۲ سال ۱۹۸۸، شرکت اطلس پودر^۳ سال ۱۹۸۷، اداره معدن کاری ذغال استرالیا^۴ سال ۱۹۸۶، استوار سال ۱۳۸۱ و ادیکیری^۵ سال ۱۹۹۹ استفاده شده است. [۱] و [۲]

برای انتخاب قطر چال با توجه به ظرفیت تولید و مقاومت سنگ، از جداول ارائه شده توسط لویز^۶ استفاده شده است. مسأله دیگر در انتخاب قطر چال با توجه به ظرفیت تولید، رعایت تناسب بین ماشین آلات چالزنی، بارگیری و باربری می باشد. شکل ۲ انتخاب قطر چال با توجه به حجم جام شاول و شکل ۳ ارتباط بین قطر سرتمه، حجم جام ماشین بارگیری و ظرفیت صندوقه ماشین باربری را نشان می دهد. در این شکل D_{sh} قطر سرتمه دستگاه چالزنی بر حسب اینچ، C_{sh} ظرفیت شاول بر حسب مترمکعب و C_1 ظرفیت کامیون بر حسب تن می باشد.



شکل ۲: رابطه بین چالزنی، ماشین بارگیری و باربری در معدن روباز [۳]

روابط و جداول اشاره شده قطر چال واحدی را نتیجه نمی دهند بلکه دامنه ای از قطرها برحسب شرایط مختلف را پیشنهاد می دهند. ابتدا با توجه به دوری یا نزدیکی به مناطق مسکونی و یا عوامل بازدارنده دیگر در صورت وجود، محدوده قطر چال های ممکن با توجه به فاصله محدودیت پرتاب سنگ و طبق رابطه ۱ اصلاح می شود.

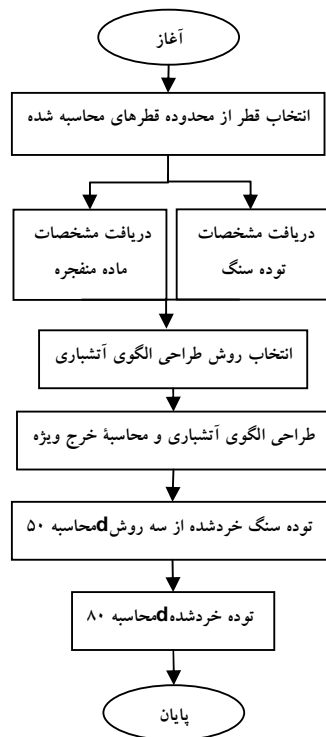


شکل ۱: الگوریتم کلی نرم افزار SPE

۳- انتخاب قطر چال

انتخاب قطر چال در معادن روباز متأثر از عوامل متعددی از قبیل خصوصیات توده سنگ، ارتفاع پله، نوع و اندازه تجهیزات بارگیری، هزینه چالزنی، مقیاس عملیات، درجه خردشدگی مورد نیاز، عوامل محیطی و ... است. [۱] قطر چال را می توان بر

چال‌ها، طول چال، اضافه‌حفراری، طول گل‌گذاری و خرج ویژه) محاسبه می‌شود.



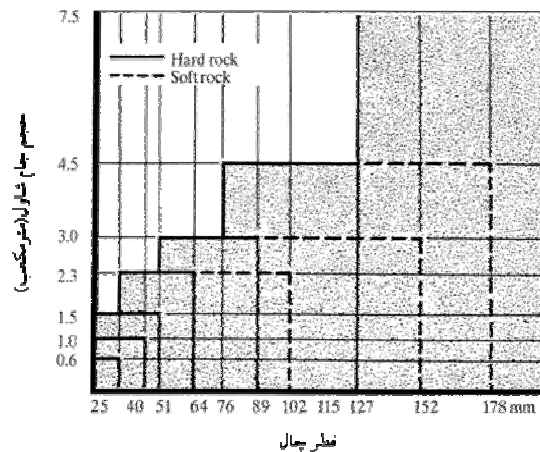
شکل ۴: الگوریتم طراحی الگوی آتشباری و محاسبه خردشدگی

در ادامه d_{50} توده خردشده به صورت پیش فرض با مدل اصلاح شده کوز-رام^{۱۹} (رابطه ۲) [۳]، محاسبه می‌شود. امکان محاسبه خردشدگی با روش‌های اوسدوفو^{۱۰} و کوو^{۱۱} نیز وجود دارد. در رابطه ۲، PF خرج ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)، Q وزن خرج داخل چال (کیلوگرم)، S_{ANFO} قدرت وزنی ماده منفجره نسبت به آنفو و F_r ثابت سنگ می‌باشد که بر اساس ضریب پروتودیاکنوف^{۱۲} تعیین می‌شود.

$$d_{50} = F_r \cdot PF^{-1/8} Q^{1/6} \left(\frac{115}{S_{ANFO}} \right)^{19/30} \quad (2)$$

جدول ۱: تعیین ثابت سنگ با توجه به ضریب پروتودیاکنوف [۴]

F_r	ضریب Protodyaknow	توصیف سنگ
۳	۵ تا ۳	خیلی نرم
۷	۱۰ تا ۸	نرم
۱۰	۱۴ تا ۱۰	سخت و دارای درزه و شکاف
۱۳	۱۶ تا ۱۲	سخت و همگن



شکل ۳: حجم شاول نسبت به قطر چال [۴]

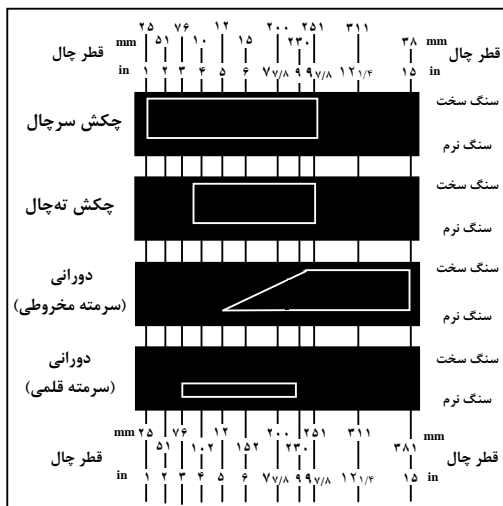
$$D_{max} = 25 \sqrt{\left(\frac{L_{max}}{260} \right)^3} \quad (1)$$

در این رابطه D_{max} حداکثر اندازه قطر قابل قبول بر حسب میلی‌متر و L_{max} حداکثر فاصله پرتاب مجاز سنگ بر حسب متر می‌باشد؛ سپس قطرهای محاسبه شده مطابق با اندازه قطرهای استاندارد موجود در بازار انتخاب می‌شوند. این قطرهای مبنای عمل نرم‌افزار در مراحل بعدی می‌باشد که در نهایت از بین آنها، قطر چالی که کمترین هزینهٔ مجموع عملیات را موجب گردد، انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است که می‌توان محدودهٔ قطرها را بر اساس چند عامل موثر در اندازهٔ قطر که بدان اشاره شد، محاسبه کرد. در این شرایط نرم‌افزار از مجموعه قطرهای محاسبه شده، اندازه قطرهای مشترک را انتخاب می‌کند.

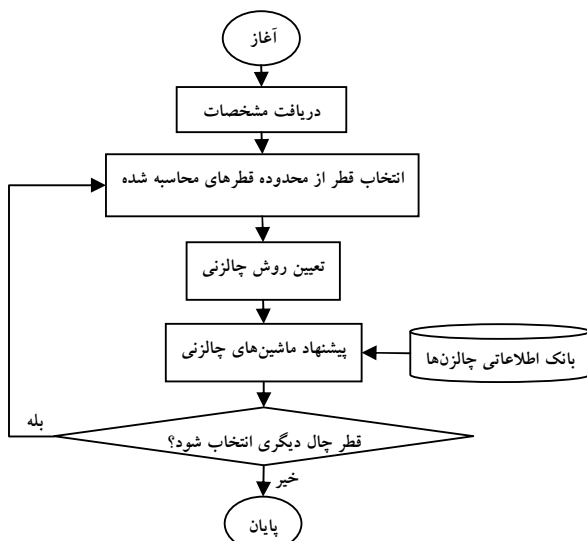
۴- طراحی الگوی آتشباری و محاسبه خردشدگی

در نرم‌افزار SPE امکان طراحی الگوی آتشباری با سه روش اش^۷، کونیا^۸ و لوپز وجود دارد (روابط مورد استفاده در نرم‌افزار از منبع شماره ۵ اخذ شده است). ابتدا کاربر طبق الگوریتم طراحی الگو و محاسبه خردشدگی (شکل ۴)، یک قطر از محدوده قطرهای محاسبه شده را انتخاب کرده و روش طراحی الگوی آتشباری را مشخص می‌کند. سپس با توجه به مشخصات توده سنگ از قبیل چگالی سنگ، مقاومت فشاری تک‌محوره، وضعیت و فاصله‌داری درزه‌ها، سختی سنگ، سرعت موج انفجار در سنگ و مشخصات ماده منفجره مانند سرعت انفجار، نوع انفجار، چگالی ماده منفجره و قدرت نسبی آن، بر حسب روش انتخاب شده، اجزای الگوی آتشباری (فاصله ردیفی و جناحی

پس از تعیین روش چالزنی، نرم افزار با استفاده از بانک اطلاعاتی و با توجه به نوع چالزن (براساس روش چالزنی) و محدوده قطر چالزنی هر دستگاه، نوع و مدل تجهیزات مناسب را پیشنهاد می دهد (الگوریتم شکل ۶). دستگاه های چالزنی شرکت های تامراک و اطلس کوپکو بر اساس مشخصه هایی همچون محدوده قطر چالزنی، قطر میله مته مورد استفاده، روش چالزنی، نوع نیروی محرکه دستگاه و نوع هیدرولیکی یا پنوماتیکی، نیروی فشاری پشت مته، سرعت دوران و نوع بازو در قالب بانک اطلاعاتی ذکر شده جمع آوری شده اند.



شکل ۵: روش های چالزنی و محدوده کاربرد آن ها [۴]



شکل ۶: الگوریتم انتخاب چالزن

با توجه به این که دهانه سنگ شکن اولیه بر مبنای d_8 توده خرد شده انتخاب می شود، قبل از خروج از این مرحله شاخص d_8 با توجه به d_8 محاسبه شده، تعیین می شود.

۵- انتخاب دستگاه چالزنی

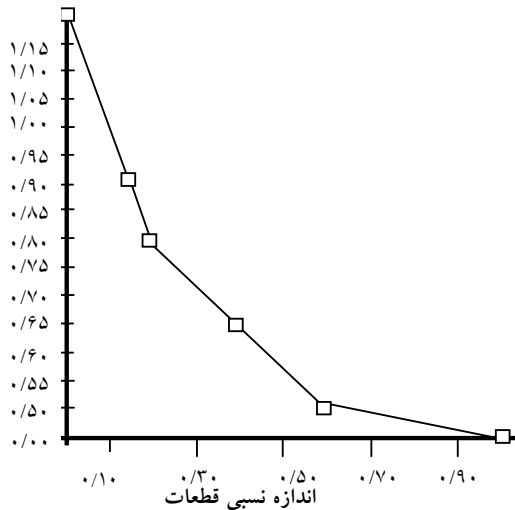
در انتخاب چالزن برای یک کاربرد خاص، باید عوامل متعددی را در نظر گرفت. از جمله عوامل مذکور می توان به این موارد اشاره کرد [۶]: مشخصات سنگ نظیر مقاومت فشاری، استحکام و درزه داری، محدودیت های زیست محیطی، اندازه یا قطر چال، هندسه محل کار یا نوع کاربرد نظیر معدن کاری کواری، حفر ترانشه یا چالزنی پیش برشی، مواد منفجره در دسترس، برنامه زمانی، خردشدگی مورد نیاز و ظرفیت تولید مورد نیاز. در نرم افزار SPE انتخاب چالزن بر مبنای قطر چال و مقاومت سنگ صورت می گیرد. بدین صورت که پس از انتخاب قطر چال توسط کاربر، روش چالزنی تعیین می شود. مبنای عمل در انتخاب روش چالزنی جدول ۲ و شکل ۵ می باشد که به صورت روابط قابل استفاده در نرم افزار تبدیل شده اند. شکل ۵ روش های چالزنی و محدوده قطر کاربرد آن ها را به همراه مقاومت سنگ (سخت/ نرم) نشان می دهد.

جدول ۲: کاربرد روش های چالزنی و نفوذ برای انواع مختلف سنگ [۷]

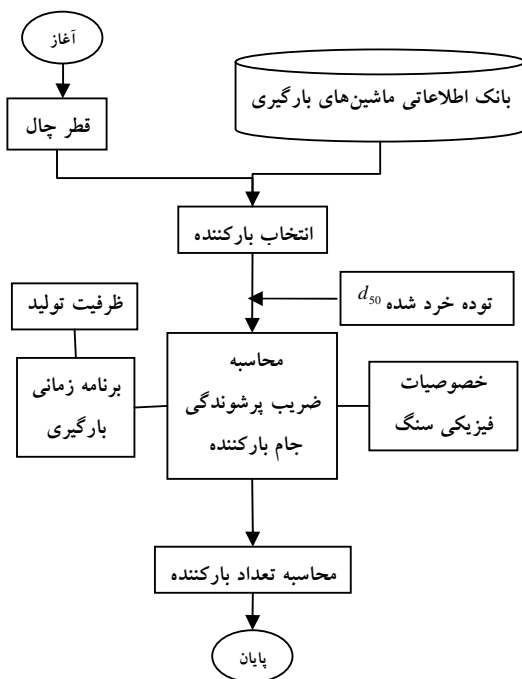
روش چالزنی	نوع سنگ / قابلیت چالزنی			
	(۱) نرم	(۲) متوسط- سخت	(۳) سخت	(۴) خیلی سخت
جت هیدرولیکی	×	×		
دورانی سرسته قلمی	×	×		
دورانی سرسته غلتشی	×	×	×	
ضربه ای- دورانی		×	×	×
ضربه ای		×	×	×

جدول ۲، بسته به نوع سنگی که در آن چالزنی صورت می گیرد، می تواند در انتخاب دستگاه حفار کمک کننده باشد. رده بندی به کار گرفته شده در این جدول، مقیاس نسبی قابلیت چالزنی سنگ را نشان می دهد. به طور کلی، خارج از بحث فنی، کمترین هزینه چالزنی در سنگ های نرم با روش دورانی سرسته قلمی، در سنگ های متوسط-سخت با روش دورانی سرسته غلتشی و ضربه ای- دورانی و در سنگ های بسیار سخت با روش ضربه ای به دست می آید [۷].

نیاز برای یک معدن روباز با تقسیم تولید سالانه معدن (بر حسب تن) بر حاصل ضرب توان تولید شاول (بر حسب تن در ساعت) در ساعات کاری مفید در یک سال محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است تولید سالانه معمولاً در مرحله طراحی، از پیش تعیین می‌شود [۹].



شکل ۷: ضریب پشوندگی جام به صورت تابعی از اندازه نسبی قطعات [۸]



شکل ۸: الگوریتم انتخاب و محاسبه تعداد ماشین بارگیری

۶- محاسبه تعداد چالزن

برای محاسبه تعداد چالزن ابتدا سرعت چالزنی مورد نیاز بر حسب متر بر ساعت با توجه به ظرفیت تولید سالیانه و اجزای الگوی آتشیاری محاسبه شده (ظرفیت به مترمکعب در ساعت تقسیم بر حاصلضرب فاصله جناحی و ردیفی چال‌ها) و سپس سرعت نفوذ با توجه به روش چالزنی انتخاب شده بر حسب متر بر ساعت برآورد می‌شود. رابطه ۳ برای محاسبه سرعت نفوذ در روش ضربه‌ای- دورانی و رابطه ۴ برای روش دورانی مورد استفاده قرار گرفته است. در رابطه ۳، VP سرعت چالزنی در گرانتیت Barre بر حسب متر بر دقیقه، POT انرژی جنبشی خروجی در چکش بر حسب کیلووات و D قطر چال بر حسب میلی‌متر می‌باشد. سرعت به دست آمده از این رابطه باید در قابلیت چالزنی سنگ مورد نظر ضرب شود. برای راهنمایی کاربر قابلیت چالزنی سنگ‌های مختلف در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار موجود می‌باشد. در رابطه ۴، VP سرعت چالزنی بر حسب فوت در ساعت، RC مقاومت فشاری سنگ بر حسب 1000 پوند بر اینچ مربع، E نیروی فشاری پشت سرمته بر حسب 1000 پوند، D قطر چال بر حسب اینچ و N_r سرعت دوران بر حسب دور در دقیقه می‌باشد. [۳]

$$VP = 31 \frac{POT}{D^{1/4}} \quad (3)$$

$$VP = [61 - 28 \log_{10} RC] \times \frac{E}{D} \times \frac{N_r}{300} \quad (4)$$

سرعت چالزنی متوسط با منظور کردن زمان‌های غیرتولیدی و با توجه به زمان حفر یک چال به دست می‌آید و با ضرب آن در ضریب دسترسی چالزن، سرعت تولید بر حسب متر بر ساعت محاسبه می‌شود. تعداد چالزن، از تقسیم زمان یا متر چال مورد نیاز بر زمان یا متر چال واقعی حفاری یک دستگاه به دست می‌آید.

۷- انتخاب و محاسبه تعداد شاول

بر مبنای قطر چال انتخابی، نرم‌افزار با به کارگیری شکل ۲، از بانک اطلاعاتی، بارکننده‌ها را انتخاب می‌کند. در بانک اطلاعاتی با توجه به ظرفیت جام شاول و شکل ۲ برای هر شاول بازه قطری تعریف شده است. با تقسیم d_{50} توده خرد شده بر ریشه سوم اندازه جام بر حسب متر مکعب، اندازه نسبی قطعات محاسبه شده [۸] و با استفاده از شکل ۷ ضریب پشوندگی جام به دست می‌آید و بر اساس آن تعداد شاول محاسبه می‌شود. الگوریتم شکل ۸ نحوه عملکرد نرم‌افزار را در انتخاب و محاسبه تعداد شاول نشان می‌دهد. تعداد شاول مورد

همیشه در حال کار باشد. LCT زمان چرخه ماشین باربری،
STL زمان استقرار یا مانور در کنار بارکننده و LT زمان
بارگیری یک ماشین باربری می باشد. [۱۰]

۹- انتخاب سنگ شکن اولیه

برای انتخاب سنگ شکن، ابتدا باید نوع سنگ شکن اولیه (فکی یا ژیراتوری) مشخص شود و این کار از طریق محاسبه ظرفیت بخش سنگ شکنی و ابعاد دهانه مورد نیاز برای سنگ شکن انجام می شود. اگر ۱۶۱ برابر دهانه ورودی به متر به توان ۲ بزرگتر از ظرفیت بخش سنگ شکنی بر حسب تن بر ساعت باشد، نوع سنگ شکن ژیراتوری و در غیر این صورت فکی خواهد بود؛ [۱۱] سپس اندازه گلوگاه سنگ شکن بر مبنای ۸۵ درصد ابعاد بار ورودی تعیین شده و با دریافت نسبت خرد کردن از کاربر، توان لازم برای سنگ شکن از رابطه ۶ محاسبه می شود. با در اختیار داشتن اندازه دهانه، گلوگاه و توان مورد نیاز برای سنگ شکن، مدل مناسب سنگ شکن از بانک اطلاعاتی انتخاب می گردد [۱۲].

$$W = 11w_i \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right) \quad (6)$$

که: W: کار مصرف شده (کیلو وات ساعت بر تن)

w_i : اندیس کار (کیلو وات ساعت بر تن)

P: ابعاد محصول خرد شده (میکرون)

F: ابعاد بار اولیه (میکرون)

روند انتخاب سنگ شکن در الگوریتم شکل ۱۰ نشان داده شده است.

۱۰- محاسبه هزینه

روش های متعددی برای تخمین هزینه های معدن روباز وجود دارد. روشی که در این نرم افزار استفاده شده، روش تخمین هزینه مستقیم است که عبارت است از فرآیند تفصیلی تخمین هزینه ها که بر مبنای تجزیه هزینه ها و تخمین جز به جز عمل می کند و شامل ارزیابی کامل هزینه های سرمایه ای، مواد مصرفی، انرژی و غیره برای هر سال عملیاتی است.

۱۰-۱- هزینه چالزنی

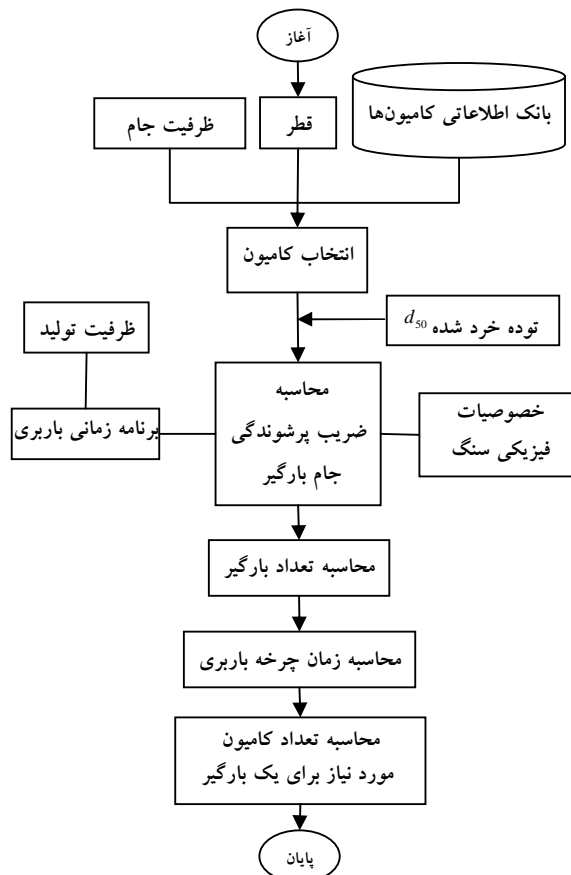
معمولاً هزینه های چالزنی بر حسب هزینه بر هر متر چال بیان می شود و از رابطه ۷ محاسبه می شود [۳].

$$C_T = \frac{C_A + C_I + C_M + C_O + C_E + C_L + C_B}{V_M} \quad (7)$$

که در آن هزینه های غیر مستقیم شامل موارد زیر است:

۸- انتخاب و محاسبه تعداد کامیون

انتخاب کامیون و محاسبه تعداد بر طبق الگوریتم شکل ۹ انجام می شود. ظرفیت کامیون می تواند با توجه به انتخاب کاربر هم بر مبنای قطر چال و یا براساس ۴ تا ۷ برابر جام شاول انتخابی برای عملیات، از بانک اطلاعاتی انتخاب شود. برای محاسبه تعداد، همانند نحوه عمل در تعداد شاول از شکل ۶ برای محاسبه ضریب پرشوندگی استفاده می شود. تعداد کامیون به ازای هر ماشین بارگیری باید به نحوی تعیین شود که شاول به طور کامل مشغول باشد تا به تولید مورد نظر بتوان دست یافت. نرم افزار SPE تعداد کامیون را از روش سیکل زمانی و با استناد به روابط منبع شماره ۱۰ محاسبه می کند. در این روش تعداد کامیون به ازای یک شاول از رابطه ۵ تعیین می شود.



شکل ۹: الگوریتم انتخاب و محاسبه تعداد کامیون

$$N = \text{Int} \left[\frac{LCT}{STL + LT} \right] \quad (8)$$

در رابطه ۵، N به سمت عدد بزرگتر گرد می شود و بیانگر تعداد کامیون برای یک شاول می باشد به طوری که شاول

۲- هزینه بیمه و بهره سالیانه (خرج ثابت): اکثر دستگاه‌های چالزنی با پول قرضی خریداری می‌شوند، بنابراین هزینه‌های مرتبط با بهره، مالیات و بیمه نیز باید محاسبه شود [۳]. برای محاسبه این هزینه از رابطه ۹ استفاده می‌شود [۶]:

$$C_I = \frac{N+1}{2N} \left[\frac{\text{(بهره + بیمه + مالیات) × قیمت تحویل}}{\text{ساعات کاری در سال}} \right] \quad (9)$$

که N عمر دستگاه بر حسب سال می‌باشد. جمع هزینه بیمه و بهره سالیانه، هزینه مالکیت را تشکیل می‌دهد.

۳- تعمیرات و نگهداری: هزینه‌های تعمیر و نگهداری از هزینه وسایل یدکی، مواد و مصالح تعمیر و نگهداری و افراد تعمیرکار تشکیل می‌شود. مقدار این هزینه برای چالزنی‌های دورانی از حاصل ضرب قیمت دستگاه در 5×10^{-5} برای دستگاه‌های الکتریکی و 6×10^{-5} برای انواع دیزلی تخمین زده می‌شود [۳].

۴- دستمزد: براساس دستمزد ساعتی یا روزانه چالزن به علاوه حقوق بیمه اجتماعی و بیکاری و غیره محاسبه می‌شود. دستمزد کمک حفار نیز در صورت لزوم در نظر گرفته می‌شود [۳].

۵- سوخت یا انرژی: هزینه سوخت یا انرژی را می‌توان از روی مشخصات موتورها و کمپرسورها که می‌توانند دیزلی یا الکتریکی باشند محاسبه نمود.

۶- روغن، گریس و فیلترها
این هزینه به صورت درصدی از هزینه انرژی تخمین زده می‌شود و مقدار آن معمولاً از ۱۰ تا ۲۰ درصد، و بسته به نوع دستگاه‌ها تغییر می‌کند [۳].

۷- هزینه ابزار چالزنی: هزینه ابزار چالزنی به عمر مفید مواد مصرفی و قیمت قطعات بستگی دارد. هزینه کلی ابزار چالزنی شامل روغنکاری دنده‌ها و تیزکردن سرته‌ها نیز می‌شود. برای محاسبه این هزینه از رابطه کلی ۱۰، استفاده می‌شود [۴].

$$(10) \quad \text{عمر مفید ابزار به متر} \div \text{قیمت خرید ابزار} = \text{هزینه ابزار به متر}$$

۸- هزینه‌های انفجار: هزینه‌های انفجار، ارتباط تنگاتنگی با هزینه‌های چالزنی دارند و شامل هزینه‌های مواد منفجره، سیستم آتشباری، تجهیزات خرج گذاری (در صورتی که استفاده شود)، نیروی کار، هزینه چاشنی، پرایمر و یا بوستر می‌شود.

C_A : استهلاک ($\$/h$)

C_I : هزینه بیمه و نرخ‌های بهره ($\$/h$)

و هزینه‌های مستقیم از اجزای زیر تشکیل می‌شود:

C_M : هزینه تعمیر و نگهداری ($\$/h$)

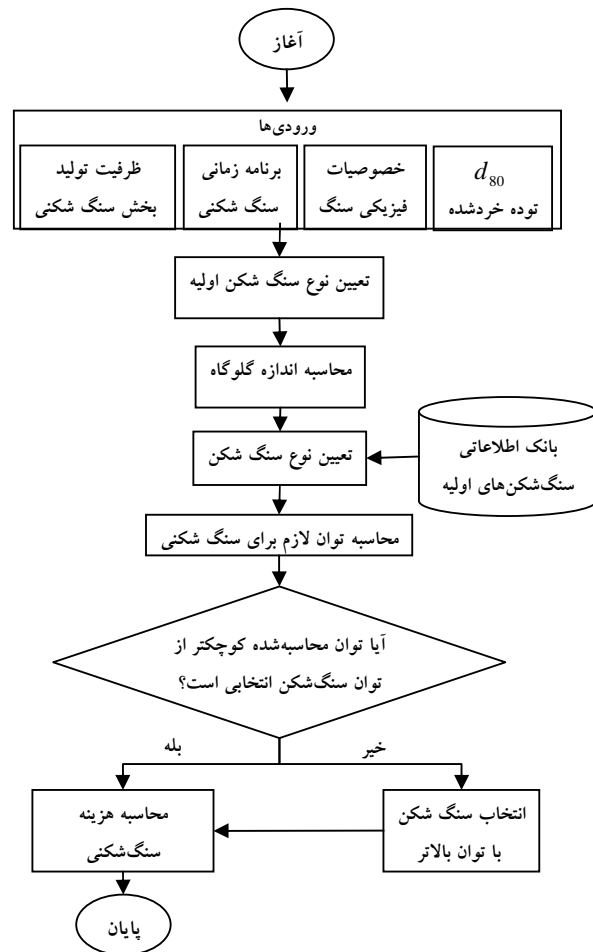
C_O : هزینه دستمزد کارگران ($\$/h$)

C_E : هزینه سوخت یا انرژی ($\$/h$)

C_L : هزینه روغن، گریس و فیلترها ($\$/h$)

C_B : هزینه ابزار چالزنی (سرته، میله مت و ...) ($\$/m$)

و V_M سرعت چالزنی متوسط دستگاه (m/h) می‌باشد.



شکل ۱۰: الگوریتم انتخاب سنگ شکن

۱- استهلاک: استهلاک به طور مستقیم از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$(8) \quad \text{ساعات عمر دستگاه} \div (\text{ارزش اسقاط-قیمت تحویل}) = C_A$$

ظرفیت کامیون برحسب کیلووات بر تن کوچک در نظر گرفته می شود. مصرف سوخت برحسب گالن بر اسب بخار- ساعت (لیتر بر کیلووات- ساعت) بر مبنای شرایط اجرایی انتخاب می گردد.

ه- روغن کاری: حدود یک درصد مصرف سوخت در نظر گرفته می شود. برای کامیون بر مبنای هزینه سوخت تعیین می شود.

و- نیروی انسانی (دستمزد): بر مبنای نرخ های دستمزد برای راننده، روغنکار و دستیار تعیین می شود. هزینه کل از مجموع هزینه های عملیاتی و مالکیت به دست می آید. هزینه واحد از تقسیم هزینه کل در ساعت بر تولید در ساعت به دست می آید.

۱۰-۳- هزینه سنگ شکن اولیه

هزینه های مالکیت بخش سنگ شکنی شامل هزینه بهره سالیانه و هزینه استهلاک سالیانه می باشد که براساس همان روابط ارائه شده در بخش چالزنی و بارگیری و باربری محاسبه می شود. هزینه بهره سالیانه بر مبنای نرخ های بهره، بیمه و مالیات و قیمت تحویل و هزینه استهلاک نیز از رابطه ۸، محاسبه می شود. هزینه عملیاتی شامل هزینه نیروی انسانی، تعمیر و نگهداری، انرژی الکتریکی و روغنکاری می باشد. هزینه نیروی انسانی بر اساس دستمزد اپراتور دستگاه در ساعت محاسبه می گردد. برای محاسبه مابقی هزینه های عملیاتی بخش سنگ شکنی از دستورالعمل های شرکت WME^{۱۳} که براساس ظرفیت و اندازه سنگ شکن ها ارائه شده، استفاده گردیده است و مبنای محاسبه مانند محاسبه هزینه های بخش چالزنی، بارگیری و باربری می باشد. روند محاسبه هزینه در نرم افزار به طور کلی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

۱۱- نرم افزار انتخاب تجهیزات عملیات تولیدی

نرم افزار SPE با زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک ۶ و برای انتخاب قطر چال و دستگاه چالزنی و طراحی الگوی آتشباری و انتخاب تجهیزات بارگیری، باربری و سنگ شکنی اولیه از طریق محاسبه هزینه های عملیات معدن کاری روباز تهیه شده است. نرم افزار متشکل از حدود ۵۰ فرم و تقریباً ۶ هزار خط کد می باشد. برنامه شامل یک فرم اصلی مادر به عنوان فرم اصلی نرم افزار می باشد (شکل ۱۲). کلیه فرم های نرم افزار از این فرم آغاز شده و در حقیقت مدیریت فرم های نرم افزار به عهده فرم اصلی مادر است.

مصرف مواد منفجره، تابع خرج ویژه و مقدار سنگی است که باید حفاری شود. هزینه آتشباری شامل هزینه نیروی کار، هزینه خرج گذاری چال و بستن آن به مدار آتشباری است.

۱۰-۲- هزینه تجهیزات بارگیری و باربری

این هزینه ها شامل موارد زیر است: [۷]

۱- استهلاک

الف- قیمت خرید: قیمت خرید شاول برحسب ظرفیت جام و در مورد کامیون برحسب ظرفیت کامیون برحسب دلار بر تن برآورد می شود.

ب- ارزش اسقاط: قابل بازیابی است، در حدود ۱۵ درصد قیمت خرید برآورد می شود.

ج- قیمت تحویل: قیمت خرید منهای ارزش اسقاط.

د- دوره عملیاتی یا کاری: براساس روزهای کاری در هر سال و تعداد و ساعت هر شیفت در روز برحسب ساعت در سال محاسبه می گردد.

ه- عمر اقتصادی: بر مبنای نوع ماشین و نوع خدمات برحسب ساعت تعیین می شود.

و- استهلاک: از قیمت تحویل و عمر اقتصادی برحسب دلار بر سال محاسبه می شود.

۲- بهره، مالیات، بیمه و انبارداری

الف- نرخ: مجموع نرخ های ثابت برآورد شده (بهره بر مبنای هزینه یا نرخ متعارف وام) به کار گرفته می شود.

ب- سرمایه گذاری متوسط سالیانه: با استفاده از قیمت تحویل و نرخ سرمایه گذاری متوسط سالیانه و نرخ ثابت (بهره، مالیات و غیره) محاسبه می گردد. هزینه های مالکیت مجموع ارقام استهلاک و خرج ثابت می باشد.

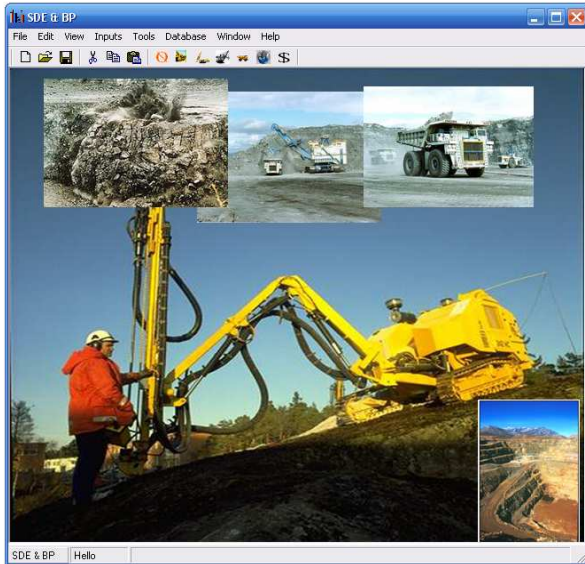
۳- هزینه های عملیاتی

الف- تعویض تایر: برای شاول وجود ندارد ولی در مورد کامیون هزینه تایر ۵ درصد قیمت خرید کامیون در نظر گرفته می شود.

ب- مرمت تایر: برای شاول وجود ندارد ولی برای کامیون بر مبنای هزینه تایر و شرایط اجرایی تعیین می شود.

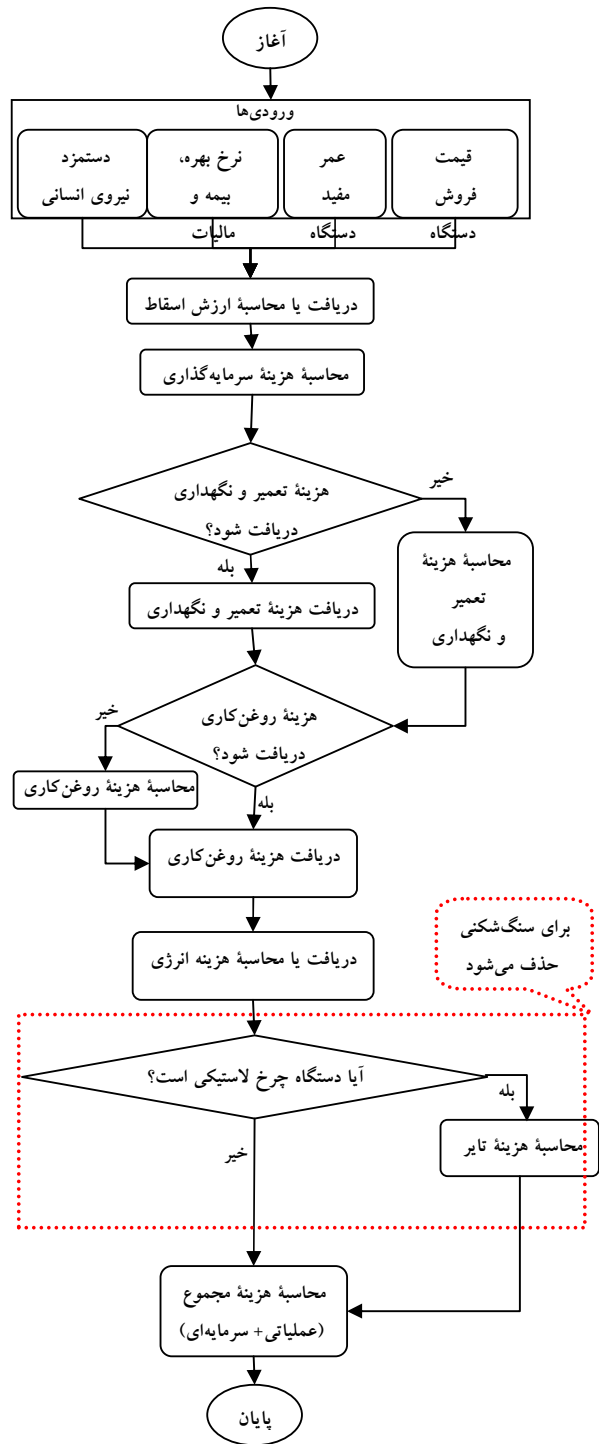
ج- تعمیر و نگهداری: هزینه تعمیر و نگهداری به صورت درصدی از هزینه استهلاک است.

د- سوخت یا انرژی: بیشتر شاول های معدنی برقی هستند، بنابراین این محاسبات در مورد هزینه واحد برق مصرفی انجام می شود که از توان شاول، ضریب بار و هزینه واحد انرژی یا توان به دست می آید. انرژی مصرفی هر ماشین باربری معادل



شکل ۱۲: فرم اصلی نرم افزار SPE

این نرم افزار قابلیت انتخاب قطر چال، طراحی الگوی آتشیاری، انتخاب دستگاه چالزنی و ماشین بارگیری و باربری، محاسبه هزینه های چالزنی، آتشیاری، بارگیری، باربری و سنگ شکنی اولیه را از طریق منوی Tools در اختیار کاربر قرار می دهد. منوی Inputs برای دریافت ورودی های اولیه طراحی شده است. بانک اطلاعاتی این نرم افزار Access و با حجم تقریبی ۶ مگابایت می باشد و دارای اطلاعاتی در مورد سنگ های مختلف با چگالی و مقاومت فشاری آنها، دستگاه های چالزنی شامل محدوده قطر چالزنی، قطر میله مته مورد استفاده، نوع نیروی محرکه دستگاه و نوع هیدرولیکی یا پنوماتیکی، نیروی فشاری پشت مته، سرعت دوران و نوع بازوی دستگاه، ماشین های بارگیری و هزینه های آنها (عملیاتی و سرمایه ای)، مشخصات و هزینه های عملیاتی و سرمایه ای کامیون ها و سنگ شکن اولیه می باشد. بانک اطلاعاتی به گونه ای طراحی شده است که امکان اضافه و حذف کردن اطلاعات قبلی وجود دارد دسترسی به بانک اطلاعاتی از طریق منوی Database امکان پذیر است. شکل ۱۳، نحوه نمایش کامیون های موجود در بانک اطلاعاتی را نشان می دهد.



شکل ۱۱: الگوریتم محاسبه هزینه

تعیین می‌شود. فرم مربوط به انتخاب روش چالزنی در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

شکل ۱۵: فرم طراحی الگوی آتشیاری و محاسبه خردشدگی

شکل ۱۶ - فرم انتخاب روش چالزنی

با کلیک بر دکمه OK نرم افزار به بانک اطلاعاتی دستگاه‌های چالزنی وصل شده و چالزن‌ها را با توجه به قطر چال و روش چالزنی در فرم شکل ۱۷ نشان می‌دهد. در این فرم تعداد مورد نیاز همه چالزن‌ها با دریافت زمان‌های غیرتولیدی، سرعت نفوذ و ضریب دسترسی محاسبه می‌شود. در صورت در دسترس نبودن سرعت چالزنی با کلیک بر دکمه روبروی کادر متن^{۱۴} سرعت نفوذ، نرم افزار با دریافت ورودی‌های مورد نیاز و با استفاده از رابطه ۴، آن را محاسبه می‌کند.

نوع و تعداد بارکننده با کلیک بر زیر منوی انتخاب ماشین بارگیری در منوی Tools تعیین می‌شود، بدین طریق که نرم افزار با توجه به قطر چال انتخابی، بارکننده‌ها را از بانک اطلاعاتی انتخاب می‌کند و در فرم نشان داده شده در شکل ۱۸ نمایش می‌دهد. برای ادامه کار تعداد بارکننده‌ها در این فرم با دریافت اطلاعات مورد نیاز محاسبه می‌شود.

Record	Company Name	Truck Name	Gross Vehicle Weight (GVW)	Vehicle Weight (GV)	Maximum Pa
41	KOMATSU	KOMATSU 530M	249.48	100.46	149.02
42	KOMATSU	KOMATSU 730E	324.32	138.03	186.29
43	KOMATSU	KOMATSU 830E	385.95	154.4	231.45
44	KOMATSU	KOMATSU 930E-2	458.95	202.32	256.64
45	LIEBHERR	LIEBHERR T262	331	129	202
46	LIEBHERR	LIEBHERR T262	386	152	234
47	LIEBHERR	LIEBHERR T272	442	151	291
48	LIEBHERR	LIEBHERR T282	527	203	324
49	BELAZ	BELAZ 7540D	51.75	21.75	30
5	CATERPILLAR	cat 777d	146.96	60.84	86.1
50	BELAZ	BELAZ 7540C	71.48	29.48	42
51	BELAZ	BELAZ 75553	92	37	55
52	BELAZ	BELAZ 75305	340	140	200
6	CATERPILLAR	CAT 789C	249.48	95.72	153.76
7	CATERPILLAR	CAT 789C	317.52	130.94	186.58
8	CATERPILLAR	CAT 793C	376.49	144.65	231.84
9	CATERPILLAR	CAT 797	555.99	229.46	326.53

شکل ۱۳: فرم نمایش کامیون‌های موجود در بانک اطلاعات نرم افزار

برای کار با نرم افزار کاربر باید ابتدا از طریق منوی Input ورودی‌های مورد نیاز را مشخص کند. منوی Input شامل زیرمنوهای مشخصات سنگ، مشخصات ماده منفجره، شیفیت و ظرفیت تولید، نیروی انسانی و دستمزد و نرخ می‌باشد، سپس از منوی Tools دستور مورد نظر را به نرم افزار بدهد. اولین زیرمنو در منوی Tools انتخاب قطر چال می‌باشد. با کلیک بر این زیر منو، نرم افزار با در نظر گرفتن عوامل موثر در انتخاب قطر چال که توسط کاربر تعیین شده است، محدوده قطر چال‌ها را محاسبه می‌کند. شکل ۱۴ فرم محاسبه قطر چال را نشان می‌دهد.

شکل ۱۴: فرم مربوط به محاسبه قطر چال

با انتخاب یک قطر توسط کاربر در فرم محاسبه قطر چال و با کلیک بر زیر منوی طراحی الگو، الگوی آتشیاری و d_0 توده خردشده محاسبه می‌شود (شکل ۱۵).

با کلیک بر زیر منوی انتخاب چالزن ابتدا روش چالزنی با توجه به قطر انتخابی و مشخصات توده سنگ در فرم روش چالزنی

شکل ۱۹: فرم مربوط به نمایش کامیون ها و محاسبه تعداد

شکل ۱۷: فرم مربوط به نمایش چالزن های انتخاب شده

شکل ۲۰: فرم انتخاب سنگ شکن

شکل ۱۸: نمایش بارکننده ها و محاسبه تعداد

پس از انتخاب ماشین آلات، هزینه هر بخش به تفکیک ماشین آلات محاسبه می شود. این امکان از طریق منوی Tools و زیر منوی تخمین هزینه در اختیار کاربر قرار می گیرد. شکل ۲۱ فرم محاسبه هزینه چالزنی و آتشیاری را نشان می دهد که با کلیک بر زیرمنوی هزینه چالزنی و آتشیاری از زیرمنوی تخمین هزینه فعال می شود.

در بالای این فرم مدل دستگاهی که برای آن محاسبه هزینه صورت می گیرد، ثبت می شود و با دریافت ورودی های مورد نیاز از کاربر و استفاده از روابط موجود برای محاسبه هزینه و بانک اطلاعاتی نرم افزار، هزینه هر دستگاه محاسبه می شود. پس از محاسبه هزینه آخرین دستگاه انتخاب شده و همزمان با خروج از فرم، نرم افزار دستگاهی که کمترین هزینه را داشته است انتخاب و به فرم نمایش نتایج ارسال می کند. محاسبه هزینه برای بخش بارگیری، باربری و سنگ شکنی نیز شبیه عملکرد نرم افزار در محاسبه هزینه چالزنی و آتشیاری می باشد. شکل ۲۲ فرم محاسبه هزینه بارگیری را نشان می دهد.

با کلیک بر زیر منوی Make a general report فرم مربوط به نمایش نتایج نشان داده می شود. در این فرم ابتدا کلیه اطلاعات ورودی و سپس نتایج محاسبات برای قطر انتخابی، نمایش داده می شود. با کلیک بر دکمه Print نتایج نمایش داده شده، برای چاپ فرستاده می شود.

با انتخاب زیر منوی انتخاب کامیون، نرم افزار از کاربر سوال می کند که کامیون بر مبنای قطر چال انتخاب شود یا بر مبنای ظرفیت جام بارکننده ای که کمترین هزینه را دارد. با تعیین روال انتخاب کامیون نرم افزار از بانک اطلاعاتی کامیون ها را انتخاب و در فرم شکل ۱۹ نمایش می دهد و با دریافت زمان های چرخه بارگیری و باربری تعداد کامیون ها را محاسبه می کند.

یکی دیگر از زیرمنوهای Tools، زیرمنوی انتخاب سنگ شکن اولیه می باشد. با فعال شدن این فرم و با تعیین ابعاد خروجی مورد نیاز توسط کاربر و با توجه به ابعاد بار ورودی به سنگ شکن و همچنین ظرفیت این بخش نوع و مدل سنگ شکن انتخاب می شود (شکل ۲۰).

۱۲- حل یک مثال

برای اجرای نرم افزار در قالب یک مثال، داده های زیر به عنوان ورودی های اولیه در نظر گرفته شده است:

خصوصیات سنگ

چگالی: ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مقاومت فشاری: ۱۰۰ مگا پاسکال، انرژی سطحی مخصوص: ۱/۱ مگا ژول بر متر مربع، توده سنگ: نسبتاً همگن، جهت درزه ها: به سمت داخل جبهه کار، فاصله داری درزه ها: ۰/۴ متر.

خصوصیات ماده منفجره

چگالی: ۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، انرژی ویژه: ۰/۶ مگا ژول بر کیلوگرم، قدرت نسبی: ۱۰۰، سرعت انفجار: ۳۰۰۰ متر بر ثانیه، نوع انفجار: تاخیری.

ظرفیت و برنامه زمانی کار

تولید سالیانه ۵۰۰۰۰۰۰ مترمکعب، روز کاری: ۲۸۵ روز در سال، ۳ شیفت در روز، ۶ ساعت در شیفت.

دستمزد نیروی انسانی

چالزن: ۱۲/۵ دلار در ساعت، کمک چالزن: ۸ دلار در ساعت، راننده شاول: ۱۲/۵ دلار در ساعت، کمک راننده: ۸ دلار در ساعت، راننده کامیون: ۱۲/۵ دلار در ساعت، کمک راننده: ۸ دلار در ساعت، خرج گذار: ۱۲/۵ دلار در ساعت، کمک خرج گذار: ۸ دلار در ساعت.

نرخ بهره: ۱۵ درصد

قطرهای ۸۹ و ۱۰۰ میلی متر بر اساس اطلاعات وارد شده در فرم شکل ۱۳، انتخاب شدند. برای قطر ۸۹ میلی متر نتایج به شرح زیر است (اعداد و عبارات داخل پرانتز برای قطر ۱۰۰ میلیمتر می باشد):

طراحی الگوی آتشیاری بر اساس روش لویز:

فاصله ردیفی چال ها: ۳/۲۹ (۳/۷) متر، فاصله جناحی: ۴/۱۸ (۴/۷) متر، طول گل گذاری: ۳/۰۲ (۳/۴) متر، اضافه حفاری: ۰/۹۷ (۱/۱) متر، عمق چال: ۹/۹۷ (۱۰/۱) متر، خرج ویژه: ۰/۲۹ (۰/۲۸) کیلوگرم بر مترمکعب.

با انتخاب روش چالزنی چکش ته چال، نرم افزار چالزن های زیر را معرفی کرد:

AtlasCopco Roc 460 PC, AtlasCopco Roc 203 PC, AtlasCopco Roc F6, AtlasCopco ROC 203 PC, AtlasCopco ROC F6, AtlasCopco ROC 460 PC, AtlasCopco Roc L6H, AtlasCopco ROC L6, TAMROCK TITTON, TAMROCK TITTON 100, TAMROCK TITTON 300, 200, TAMROCK TITTON (400)

شکل ۲۱: فرم محاسبه هزینه چالزنی و آتشیاری

شکل ۲۲: فرم محاسبه هزینه بارگیری

نرم افزار SPE با مقایسه هزینه ها، چالزن، بارگیر و باربری که کمترین هزینه را موجب می شوند انتخاب کرده و مجموع هزینه های آنها را با افزودن هزینه آتشیاری و سنگ شکنی برای قطر انتخابی ثبت می کند. این کار برای قطرهای دیگر نیز انجام می شود و در پایان نرم افزار هزینه های مرتبط با قطرها را با یکدیگر مقایسه کرده و قطر چال و به تبع آن الگوی چالزنی و دستگاه چالزنی که منجر به کمترین هزینه می شود را انتخاب و با کلیک بر زیر منوی Minimum Costs به کاربر گزارش می دهد.

با توجه به هزینه‌های کمترین برای هر قطر (۸۹ میلی‌متر: ۶/۷۷۳ دلار بر تن، ۱۰۰ میلی‌متر: ۴/۳۲۷۴ دلار بر تن)، قطر ۱۰۰ میلی‌متر موجب کمترین هزینه عملیات معدن کاری و سنگ‌شکنی اولیه می‌شود.

۱۳- نتیجه‌گیری

- نرم‌افزار SPE با ۶ هزار خط کد، ۵۰ فرم و بانک اطلاعاتی به حجم ۶ مگابایت توسعه داده شده است.
- این نرم‌افزار توانایی انتخاب قطر چال بر مبنای شرایط تعیین شده، طراحی الگوی آتشیاری و محاسبه خردشدگی، انتخاب روش چالزنی، دستگاه چالزنی و محاسبه تعداد، انتخاب ماشین بارگیری و محاسبه تعداد مورد نیاز، انتخاب کامیون و محاسبه تعداد، انتخاب سنگ‌شکن اولیه و محاسبه هزینه‌های چالزنی، آتشیاری، بارگیری، باربری و سنگ‌شکنی اولیه و در نهایت مقایسه هزینه‌ها و انتخاب ماشین‌آلاتی که منجر به کمترین هزینه برای یک قطر می‌شود و همچنین انتخاب قطر بر اساس کمترین هزینه‌های عملیات معدن کاری و سنگ‌شکنی اولیه را دارد.
- در بین نرم‌افزارهای معدنی اولین نرم‌افزاری است که تاثیر مراحل مختلف عملیات معدن کاری را بر هم منظور کرده، تجهیزات را متناسب با این تاثیرات انتخاب کرده و در نهایت هزینه را برآورد می‌کند.

منابع

- [1] Adhikari, G.R.; 1999; *Selection of blasthole diameter for given bench height at surface mines*; International Journal of Rock Mechanics and Mining Science; Volume 36; Page 843-847.
- [۲] استوار، رحمت‌الله؛ ۱۳۷۷؛ *آتشیاری در معادن*؛ جلد دوم؛ جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر؛ صفحه ۹۳.
- [3] Lopez, Jimeno C.; 1995; *Drilling and blasting of rocks*; Rotterdam; A.A. Balkema; Page 30-35, 60-63, 180-181.
- [4] Jukka, Naapuri [Editor]; 1988; *Surface Drilling and Blasting*; TamRock.
- [۵] حدادی، محمدرضا؛ ۱۳۷۹؛ *تهیه نرم‌افزار جهت ارزیابی الگوهای آتشیاری در معادن روباز سنگ آهن ایران مرکزی (چغارت، گل‌گهر، چادرملو)*؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد

برای محاسبه تعداد چالزن‌ها، زمان‌های غیر تولیدی ۴۵۰ ثانیه، سرعت نفوذ ۵۰ متر بر ساعت و ضریب دسترسی ۷۵ درصد در نظر گرفته شد. تعداد مورد نیاز برای همه مدل‌ها، (۳)۴ دستگاه به دست آمد.

شاول‌های پیشنهادی عبارت‌اند از:

P&H 1400، تعداد: ۴، P&H 1500، تعداد: ۳، P&H 1600، تعداد: ۳، MEC 4600، تعداد: ۲، BE 190b، تعداد: ۳، 151M، تعداد: ۲، BE 195b، تعداد: ۲ (P&H 1600)، تعداد: ۳، MEC 4600، تعداد: ۲، BE 190B، تعداد: ۳، 151M، MARION، تعداد: ۲، BE 195B، تعداد: ۲، 182M، MARION، تعداد: ۲، P&H 1900، تعداد: ۲، BE 280B، تعداد: ۲.

برای محاسبه تعداد شاول‌ها فرضیات زیر در نظر گرفته شد:

ضریب بار: ۰/۴، ضریب چرخش: ۱، ضریب دسترسی: ۷۵ درصد، زمان چرخه شاول: ۳۰ ثانیه.

کامیون‌های OK-K100، TEREX TR100، Unit rig MT-300، CAT HD785-5، Komatsu 330M، UNIT RIG MT-3000، TEREX TR100، OK-K100، CAT 777d، KOMATSU HD785-5، توسط نرم‌افزار انتخاب شدند و با فرض سرعت متوسط ۳۰ کیلومتر در ساعت و زمان چرخه شاول برابر ۳۰ ثانیه، برای شاولی که کمترین هزینه را داشت تعداد کامیون‌ها به ترتیب برابر ۵، ۴، ۵، ۵، ۵، ۴، ۵، ۵، ۵، ۵ محاسبه شد.

با توجه به ابعاد ورودی به سنگ‌شکن و خروجی مورد نیاز به ابعاد ۶ سانتی‌متر، سنگ‌شکن فکی با دهانه ۲۵۰ میلی‌متر، وزن ۶ تن، سرعت دوران ۲۷۵ دور در دقیقه و قدرت ۱۰ کیلووات انتخاب شد (برای قطر ۱۰۰ میلی‌متر نیز همین سنگ‌شکن انتخاب شد).

ماشین‌آلاتی که موجب کمترین هزینه برای قطر ۸۹ میلی‌متر می‌شوند:

چالزن AtlasCopco Roc F6، با موتور دیزلی و از نوع هیدرولیکی با هزینه ۵۳۱۶/۰ دلار بر تن، شاول MEC 4600 با ظرفیت جام ۵/۳۵ مترمکعب و هزینه ۰/۱۱۰۶ دلار بر تن و کامیون Komatsu 330M با ظرفیت ۶۰ تن و هزینه ۵/۹۸۶ دلار بر تن (چالزن AtlasCopco Roc F6، با موتور دیزلی و از نوع هیدرولیکی با هزینه ۰/۳۱۸۶ دلار بر تن، شاول MEC 4600 با ظرفیت جام ۵/۳۵ مترمکعب و هزینه ۰/۰۸۸ دلار بر تن و کامیون Komatsu 330M با ظرفیت ۶۰ تن و هزینه ۲/۹۹۳ دلار بر تن).

- Proc. of FRAGBLAST 4, Fragmentation by blasting; Page 273-280.
- [9] Crawford, C.D.; Hustrulid, W.A.; 1979; *Open Pit Mine Planing and Design*; AIME.
- [10] Kennedy, B.A.; 1990; *Surface Mining*; 2nd Ed.; Society for mining, metallurgy and exploration Inc. (SME); Littelton; Colorado.
- [11] Wills, Barry A.; 1997; *Mineral Processing Technology*; 6th ed.; Butterworth-Henemann; Page 126.
- [۱۲] نعمت الهی، حسین؛ ۱۳۸۱؛ **کانه آرایه**؛ جلد اول؛ انتشارات دانشگاه تهران.
- دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه امیرکبیر؛ صفحه ۲۱-۲۶.
- [۶] دریک، رابرت [ویراستار]؛ یآوری، مهدی [مترجم]؛ ۱۳۸۳؛ **فنون چالزنی پله‌ای و راهنمای انتخاب تجهیزات**؛ شرکت اینگرسول‌رند؛ انتشارات دانشگاه صنایع و معادن ایران؛ صفحه ۶۷-۶۸.
- [۷] هارتمن، هوارد ال؛ یآوری، مهدی [مترجم]؛ ۱۳۸۱؛ **اصول مهندسی معدن**؛ انتشارات دانشگاه صنایع و معادن ایران؛ صفحات ۱۲۹-۱۳۰ و ۲۹۲-۲۹۸.
- [8] Dagamma, Dinis; Lopez, Jimeno C.; 1993; *Rock fragmentation control for blasting cost minimization and environmental impact abatement*;

زیرنویس‌ها

-
- ¹ - Selection of Pit Equipments
² - Naapuri
³ - Atlas Powder Company
⁴ - Australian Coal Mining Practice
⁵ - Adhikiari
⁶ - C.Lopez
⁷ - Ash
⁸ - Konya
⁹ - Kuz-Ram
¹⁰ - Svedefo
¹¹ - Kou
¹² - Protodyaknov
¹³ - Western Mine Engineering
¹⁴ - Text Box