

مدل‌سازی حداقل ذخیره هدف قابل قبول در پروژه‌های اکتشاف طلا

نوشته: احمدرضا صیادی*، مهدی یآوری** و نرجس سلگی*

* دانشگاه تربیت مدرس، ایران، تهران ** دانشگاه تهران، ایران، تهران

Modeling of Minimum Acceptable Target Reserve in Gold Exploration Projects

By: A. R. Sayadi*, M. Yavari** & N. Solgi*

* Tarbiat Modarres University, Iran, Tehran

** Tehran University, Iran, Tehran

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۷/۲۵

چکیده

انجام پروژه‌های اکتشافی مستلزم صرف مقادیر معتابھی سرمایه گذاری است. این پروژه‌ها با مخاطرات فنی و اقتصادی متعددی همراه بوده و توجه به پارامترهای اقتصادی و میزان جاذبه اکتشافی پروژه‌ها در مراحل اولیه اکتشافی ضروری است. چنانچه در مراحل اولیه اکتشاف مشخص شود که میزان ذخیره ناکافی و غیر اقتصادی است و یا عیار آن پایین تر از حد موردنظر است، می‌توان با اطمینان از ادامه اکتشاف صرف نظر کرد. حداقل هدف اکتشافی یکی از معیارهایی است که به‌وسیله آن می‌توان در آغاز پروژه با توجه به شرایط فنی و اقتصادی محیطی پروژه موردنظر، جذابیت اقتصادی ذخیره را به‌طور مقدماتی برآورد کرد. حداقل ذخیره هدف قابل قبول اکتشافی، در واقع معرف ذخیره‌ای است که با توجه به شرایط پایه تعریف شده، استخراج آن از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه است. در این تحقیق، مدلی برای تعیین حداقل هدف قابل قبول ذخایر طلا بر اساس دو معیار حداقل اندازه و حداقل سوددهی ذخیره ارائه و با بهره‌گیری از اطلاعات معدن طلای زرشوران اجرا و حساسیت نتایج نسبت به پارامترهای بحرانی مختلف ارزیابی شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان الگوی تصمیم‌گیری در پروژه‌های اکتشاف طلا مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: مدل‌سازی، ذخایر هدف اکتشافی، تحلیل حساسیت، طلا

Abstract

Exploration projects need considerable investments. These projects are associated with high techno-economical risks. therefore, Evaluation of exploration potential is necessary. It is determined in primary stages of exploration whether the deposit reserve is not economic or the grade is less than normal grade, and it may be decided to stop the project. The minimum acceptable target reserve is known as a criterion for determining the economic potential of deposit regarding to techno-economical environment of project. In this research a new model is proposed for determining minimum acceptable target reserves in gold projects. This model is verified through the economic filed data from Zarshpran gold mine. The graph of grade versus tonnage and internal rate of return versus tonnage are demon stared through Excel software. The results of this research could be used as powerful decision making tools in gold exploration projects.

Keywords: Modeling, Target reserve, Sensitivity analysis, Gold

مقدمه

اندازه و عیار ذخیره هدفی است که باید کشف شود تا به عنوان یک ذخیره اقتصادی به‌شمار آید. به عبارتی، تعیین بزرگی و عیار ذخیره هدف عامل تعیین‌کننده‌ای در شروع و توسعه پروژه‌های اکتشافی به‌شمار می‌رود. تعیین

ارزیابی اقتصادی ذخایر معدنی با توجه به عدم قطعیت و ریسک بالا در کلیه پروژه‌های اکتشافی اهمیت زیادی دارد. یکی از اولین و مهم‌ترین سؤالاتی که لازم است پیش از آغاز یا توسعه عملیات اکتشافی مطرح شود،

- حداقل اندازه که اندازه کمینه قابل قبول ذخیره را برای تحصیل حداقل درآمد قابل انتظار در مراحل ابتدایی اکتشاف را مشخص می‌سازد.

- حداقل سوددهی، بدین معنا که ذخیره آن قدر سودده باشد تا به یک حداقل بازگشت قابل قبول برسد.

در عمل، ترکیبی از عوامل اندازه ذخیره و شرایط سودآوری ایفای نقش می‌کنند. برای سنجش این عوامل می‌توان از یکی از معیارهای ارزیابی اقتصادی استفاده کرد. از جمله بهترین معیارهای ارزیابی، NPV و IRR و در این میان IRR معیاری است که می‌توان آن را نسبت به حداقل میزان موردنظر مقایسه کرد. لذا، در این تحقیق، برای محاسبه حداقل هدف قابل قبول از معیار IRR استفاده شده است.

۲-۱- شرایط حداقل اندازه

معیار حداقل اندازه، عموماً به شکل بازدهی قابل قبولی مشخص می‌شود که استخراج ذخیره برای سهام‌داران در بر دارد. برای شرکت‌های معدنی، ذخایر با تناژ پایین و سودآوری متوسط نیز قابل قبول است. کنترل هزینه‌ها در هنگام اکتشاف و آماده‌سازی چنین ذخایری، اهمیت بالایی دارد. حداقل اندازه یک ذخیره تنها هنگامی قابل محاسبه است که درآمد کلی موردانتظار تعیین شده باشد (Gain, 1982). به منظور محاسبه حداقل درآمد موردانتظار می‌توان مجموع درآمدهای تنزیل شده سالانه‌ای که حداقل نرخ بازگشت موردنظر را تأمین می‌کند، به دست آورد. برای رسیدن به چنین درآمدی، به یک حداقل عیار نیاز است. این عیار در تناژهای مختلف ذخیره متفاوت است. بنابراین، می‌توان نمودار عیار- تناژ را بر اساس رابطه درآمد پروژه با عیار و تناژ ذخیره رسم کرد. از طرفی در مقایسه ذخایر حداقل قابل قبول با برآوردهای واقعی ذخایر در یک کانسار، یک مشکل عملی مواجه با دسته‌های مختلف ذخایر است. این دسته‌ها عموماً با درجه قطعیت داده‌ها و نتایج ارزیابی شناخته می‌شوند. راه حل این مشکل محاسبه مجموعی وزن‌دار از دسته‌های ذخیره‌های مختلف است، بدین ترتیب ذخایر با درجه قطعیت بالاتر وزن بیشتری نسبت به ذخایر با درجه قطعیت کمتر می‌گیرند (Goct, 1988).

۲-۲- شرایط حداقل سوددهی

این معیار، حاصل ارتباط سطح هزینه‌ها با سطح سرمایه قابل دسترس شرکت است. هزینه تأمین سرمایه که به صورت نرخ تنزیل اعمال می‌شود، معیاری در ارزیابی اعتبار اقتصادی پروژه‌های معدنی و اکتشاف است (Mackenzie, 1994). حداقل نرخ بازگشت قابل قبول موردنیاز برای یک ذخیره اقتصادی با توجه به هزینه تأمین سرمایه و ترجیح ریسک مختلف

حداقل هدف اکتشافی می‌تواند کمک شایانی در رتبه‌بندی پروژه‌های اکتشافی نیز باشد. با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات کافی در مراحل اولیه اکتشافی، حداقل میزان ذخیره لازم برای اقتصادی بودن کانسار مشخص نبوده و مدیریت اکتشافی دچار مشکل می‌شود. بنابراین، مقایسه نتایج ناقص پروژه‌های اکتشافی مورد نظر با حداقل هدف اکتشافی از پیش تعیین شده در منطقه مطالعاتی می‌تواند تصمیم‌گیری در خصوص ادامه یا توقف مرحله بعدی را آسان نماید.

شرایط حداقل قابل قبول می‌تواند تابعی از کانسار و نوع کانسنگ، دسترسی به زیرساختها و تسهیلات، شرایط مالیاتی، قیمت طلا، روش استخراج و فرآوری و ... باشد. حداقل ذخیره هدف، رابطه مستقیمی با سوددهی پروژه دارد و در میان شرکت‌های معدنی مختلف، متفاوت بوده (Mackenzie, 1994) و معمولاً ترکیبی از تناژ و عیار ذخیره است. حداقل تناژ و عیار ذخایر تا اندازه‌ای وابسته به عوامل فنی است اما عوامل اقتصادی مهم‌تر از عوامل فنی هستند. زیرا ذخیره‌ای که اقتصادی تلقی می‌شود، باید در شرایط اقتصادی کنونی با توجه به درآمدهای مورد انتظار و هزینه‌های مختلف پروژه قابل بهره‌برداری باشد (Goct, 1988). به منظور ارزیابی اقتصادی پروژه‌های معدنی، می‌توان از معیارها و شاخصهای اقتصادی مانند ارزش خالص فعلی (NPV)، نرخ بازگشت داخلی (IRR)، شاخص سودآوری، دوره بازگشت سرمایه و نسبت سود به زیان استفاده کرد. برای پذیرش یک پروژه منفرد، NPV باید بزرگ‌تر از صفر باشد (FEE, 2002). این معیار قوی‌ترین و از نظر فنی صحیح‌ترین معیار تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری است (Australian department of treasury and finance, 2002). دومین معیار معروف در ارزیابی IRR است و پروژه‌ای که IRR آن بیشتر از هزینه تأمین سرمایه باشد، مورد قبول است (Rothovius, 1996 Baker, 2000). دیگر شاخصهای ذکر شده اهمیت کمتری دارند و در این تحقیق از آنها استفاده نشده است. در این تحقیق، حداقل ذخیره قابل قبول طلا در قالب دو سناریوی مرتبط با مراحل اولیه و نهایی اکتشاف بررسی شده و مدل مربوط به کمک نمودارهای عیار- تناژ و نرخ بازگشت داخلی - تناژ ارائه شده است. با توجه به تأثیر عوامل هزینه و شرایط و فرضهای پایه، حساسیت مدل نیز نسبت به این عوامل ارزیابی شده است.

۲- برآورد حداقل هدف قابل قبول

به نظر Mackenzie، در تعیین حداقل هدف قابل قبول برای اقتصادی بودن ذخیره، دو شرط زیر را باید در نظر گرفت:

$$Y = W \times G_s \times R_p \times P \quad (3)$$

G_s عیار تأمین کننده حداقل درآمد است. با توجه به رابطه ۳، عیار در شرایط حداقل اندازه به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$(G_s) = \frac{Y}{W_i \times R_E \times R_P \times R_{S\&R} \times P} \quad (4)$$

گام دوم: تغییر تناژ از W_i به W_{i+1} ؛

گام سوم: محاسبه $G_{S(i+1)}$ ؛

گام چهارم: رسم نمودار حداقل عیار قابل قبول در شرایط حداقل اندازه نسبت به تناژ ذخیره (نمودار G_s-W).

۳-۲- مدل‌سازی در شرایط حداقل سود دهی

الگوریتم و نمودار سناریوی عیار- تناژ ذخیره در شرایط حداقل سوددهی قابل قبول در شکل ۲ نمایش داده شده است.

برای رسیدن به ترکیبهای مختلف عیار و تناژ و رسم نمودار مربوط در شرایط حداقل سوددهی، فرضهای اولیه به عنوان شرایط پایه در مدل اعمال شده و فرایندی در قالب گامهای ۱۱ گانه زیر طی شده است. این گامها با توجه به روابط موجود بین متغیرها (نظیر روابط درآمد سالانه، درآمد مشمول مالیات، مالیات، استهلاک، جریان نقدینگی و غیره) در قالب مدلی در صفحه گسترده نرم‌افزار اکسل پیاده شده‌اند. در ادامه، نمودار عیار در شرایط حداقل سوددهی در شرایط مفروض، رسم می‌شود. شرایط پایه در نظر گرفته شده در ساخت مدل بر اساس شرایط فنی و اقتصادی پروژه طلای زرشوران انتخاب شده است که بر اساس شکل ۲ و به شرح زیر است: در این مدل فرض شده که آماده‌سازی در مدت چهارسال انجام می‌شود و تولید معدن در این دوره ۳۵ درصد از ظرفیت نهایی است. محصول فروخته شده به صورت کانسنگ بوده و قیمت فروش آن ۳۰ درصد محتوی فلزی در نظر گرفته شده است. سرمایه‌گذاری نیز به مدت چهارسال و به ترتیب برابر ۸۰، ۱۰، ۵ و ۵ درصد در سالهای اول تا چهارم آماده‌سازی صورت می‌گیرد. تولید در چهارمین سال بهره‌برداری به ظرفیت نهایی خود می‌رسد. در سالهای اول، دوم و سوم بهره‌برداری، میزان تولید به ترتیب برابر ۵۰، ۸۵ و ۹۲ درصد ظرفیت نهایی در نظر گرفته شده است.

گامهایی که برای به دست آوردن عیار در شرایط حداقل سوددهی طی می‌شوند، به شرح زیر است (نمادهای مورد استفاده در فرمولهای زیر در شکل ۲ توضیح داده شده‌اند):

گام اول: محاسبه عمر پروژه (L_{mi})

در صورتی که میزان تولید در سالهای اول، دوم و سوم بهره‌برداری، به ترتیب

شرکتها، متفاوت خواهد بود. شرکتی با هزینه تأمین سرمایه بیشتر، نیازمند نرخ بازگشت بیشتری نسبت به شرکتی با هزینه تأمین سرمایه کمتر خواهد بود (به عنوان مثال ۱۰ درصد در برابر ۸ درصد). شرکت‌های ریسک‌گریز برخلاف شرکت‌های ریسک‌پذیر برای دستیابی به اطمینان بیشتر، حتی در مراحل اولیه برنامه اکتشاف، خواهان نرخ بازگشت بیشتری هستند (برای مثال ۱۵ درصد در برابر ۱۲ درصد یا ۸ درصد) (Mackenzie, 1994). از آنجاکه نرخ بازگشت وابسته به درآمد و درآمد نیز خود تابعی از عیار است؛ بنابراین برای دستیابی به حداقل نرخ بازگشت، به یک عیار حداقل نیز نیاز است. این عیار در تناژهای مختلف ذخیره متفاوت است. نمودار عیار- تناژ در شرایط حداقل سوددهی را می‌توان با استفاده از ترکیبهای مختلف عیار و تناژ رسم کرد.

۳-۱- مدل‌سازی حداقل ذخیره هدف قابل قبول

مدل حداقل ذخیره هدف در قالب روابط عیار- تناژ در شرایط اندازه کمینه قابل قبول و شرایط سوددهی کمینه و در نهایت به صورت مدل IRR - تناژ ارائه شده است.

۳-۱-۱- مدل‌سازی در شرایط حداقل اندازه

الگوریتم و نمودار سناریوی عیار- تناژ ذخیره در شرایط حداقل اندازه قابل قبول با توجه به فرضهای اولیه، در شکل ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که عواملی چون کانسار و نوع کانسنگ، موقعیت جغرافیایی و میزان دسترسی به زیرساخت‌های اصلی و سایر مؤلفه‌های منطقه میزبان پروژه، بسیار مهم بوده و سناریوهای متعددی را فراروی ما قرار می‌دهد. فرضهای مطرح شده در شکل ۱ به ازای یک سناریو پایه قابل طرح هستند. برای محاسبه عیار در شرایط حداقل اندازه، گامهای زیر طی می‌شود. این گامها با توجه به روابط موجود بین متغیرها در قالب مدلی در صفحه گسترده نرم‌افزار اکسل پیاده شده‌اند. پس از آن، نمودار عیار در شرایط حداقل اندازه با توجه به فرضهای اولیه مدل و شرایط پایه‌ای که در نظر گرفته شده، رسم می‌شود.

نمادهای مورد استفاده در فرمولهای زیر در شکل ۱ توضیح داده شده‌اند.

گام اول: محاسبه حداقل عیار در شرایط حداقل اندازه (G_{si})

$$Y \geq TR \quad (1)$$

$$TR = W \times \bar{g} \times R_p \times P \quad (2)$$

که TR درآمد کلی، Y حداقل درآمد مورد انتظار، W تناژ ذخیره، \bar{g} عیار میانگین، R_p راندمان فرآوری و P قیمت است. در شرایط حداقل اندازه داریم:

C_1, C_2, C_3 باشد، عمر پروژه به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$L_{mi} = N_{dm} + 3 + \frac{W_i - (N_{dm} \times C_{dm} + C_1 + C_2 + C_3)}{C} \quad (5)$$

گام دوم: برآورد سرمایه‌گذاری اولیه (I_0)
کل سرمایه‌گذاری برای تجهیز معدن مجموعی از هزینه سرمایه‌ای (I_c) و هزینه سرمایه‌ای پیش از بهره‌برداری (I_{dm}) است.

گام سوم: محاسبه سرمایه در گردش (WC)

سرمایه در گردش در آخرین سال آماده‌سازی سرمایه‌گذاری شده (قلم هزینه منفی در جریان نقدینگی) و در آخرین سال بهره‌برداری به عنوان یک قلم هزینه مثبت تحت عنوان "بازگشت سرمایه در گردش" وارد جریان نقدینگی می‌شود.

گام چهارم: برآورد هزینه عملیاتی سالانه (AOC)؛

گام پنجم: برآورد استهلاک سالانه (DA)

هزینه‌های سرمایه‌ای به صورت زیر پس از آغاز بهره‌برداری شامل استهلاک می‌شوند:

- هزینه‌های مربوط به ساختمانها، محوطه‌سازی، راه‌سازی، تأسیسات قابل استهلاک و هزینه‌های سرمایه‌ای پیش از بهره‌برداری به صورت مستقیم خطی با ارزش اسقاط صفر در طول عمر پروژه مستهلک می‌شوند.

- هزینه‌های مربوط به تجهیزات اصلی معدن شامل شاول، کامیون و تجهیزات حفاری بر اساس قانون استهلاک ۵ ساله مستقیم خطی مستهلک می‌شوند (ساسان‌نژاد، ۱۳۷۵). ارزش اسقاط صفر در نظر گرفته شده است. این تجهیزات در همان سال خرید (پس از آغاز بهره‌برداری) مورد استفاده قرار گرفته و استهلاک آنها نیز از همان سال سرمایه‌گذاری محاسبه می‌شود.

گام ششم: میزان سرمایه‌گذاری مجدد (RE)

از آنجا که ماشین‌آلات اصلی معدن در طول ۵ سال مستهلک می‌شوند؛ لذا پس از هر ۵ سال نیاز به سرمایه‌گذاری مجدد است.

گام هفتم: محاسبه ارزش باقیمانده یا ارزش دفتری (BV)

همان‌گونه که در گام ششم اشاره شد، پس از هر دوره ۵ ساله، سرمایه‌گذاری دوباره برای ماشین‌آلات اصلی انجام می‌گیرد؛ بنابراین، بسته به عمر پروژه ارزش دفتری این ماشین‌آلات در آخرین سال بهره‌برداری محاسبه می‌شود.

گام هشتم: محاسبه عیار در شرایط حداقل سوددهی (G_{pi})

برای محاسبه G_{pi} باید همه هزینه‌ها و درآمدهای پروژه را به سال صفر پروژه با نرخ تنزیلی برابر حداقل نرخ بازگشت داخلی (Z) تنزیل و مساوی صفر قرار داد. از آنجا که مالیات و درآمد سالانه پروژه تابعی از عیار است، G_{pi} به صورت رابطه ۶ قابل محاسبه خواهد بود.

$$\sum_{j=1}^{L_{mi}} \frac{CF_j}{(1+z)^j} = 0 \quad (6)$$

رابطه ۶ را می‌توان به صورت رابطه ۷ بازنویسی کرد.

$$\sum_{j=1}^{L_{mi}} \frac{(AR)_j}{(1+z)^j} - \sum_{j=1}^{L_{mi}} \frac{I_j}{(1+z)^j} - \sum_{j=1}^{L_{mi}} \frac{(RE)_j}{(1+z)^j} - \sum_{j=1}^{L_{mi}} \frac{(AOC)_j}{(1+z)^j} - \sum_{j=1}^{L_{mi}} \frac{T_j}{(1+z)^j} - \sum_{j=1}^{L_{mi}} \frac{(WC)_j}{(1+z)^j} - \sum_{j=1}^{L_{mi}} \frac{(ACR)_j}{(1+z)^j} + \sum_{j=1}^{L_{mi}} \frac{(WC)_j}{(1+z)^j} + \sum_{j=1}^{L_{mi}} \frac{(BV)_j}{(1+z)^j} = 0 \quad (7)$$

که در رابطه ۷:

AR: درآمد سالانه:

$$AR = f(G_p) = C \times G_{pi} \times R_E \times R_p \times R_{S\&R} \times P \quad (8)$$

در این رابطه I میزان سرمایه‌گذاری؛ RE میزان سرمایه‌گذاری مجدد؛ AOC هزینه عملیاتی سالانه، TI درآمد سالانه مشمول مالیات و ACR حقوق دولتی سالانه است.

$$ACR = C \times G_{pi} \times C_R \quad (9)$$

T: مالیات سالانه

$$TI = f(G_p) = AR - (AOC + DA + ACR) \quad (10)$$

$$T = f(G_p) = TI \times x\% \quad (11)$$

WC: سرمایه در گردش؛ (WC)': بازگشت سرمایه در گردش و BV: ارزش دفتری است.

با جای‌گذاری روابط بالا در رابطه ۷ خواهیم داشت:

$$G_{pi} = \sum_{j=1}^{L_{mi}} \left(\frac{I_j + (RE)_j + (1-x)(AOC)_j - x(DA)_j - (WC)_j - (BV)_j + (WC)_j}{(1+z)^j} \right) \div \sum_{j=1}^{L_{mi}} \left(\frac{C_j (1-x)(R_E \times R_p \times R_{S\&R} \times P - C_R)}{(1+z)^j} \right) \quad (12)$$

لازم به ذکر است که هر کدام از اقلام رابطه بالا در همان سال تحقق تنزیل می‌شوند. مالیات از سال ۱۳ کسر شده و در این رابطه از سال اول تا دوازدهم و سالهایی که درآمد سالانه مشمول مالیات رقمی منفی است، میزان نرخ مالیات (x) صفر در نظر گرفته می‌شود.

گام نهم: تغییر تناژ از W_i به W_{i+1} ؛

گام دهم: محاسبه $G_{P(i+1)}$ ؛

گام یازدهم: رسم نمودار حداقل عیار در شرایط حداقل سوددهی نسبت به تناژ ذخیره (نمودار G_p-W)؛

۳-۳- شرایط حداقل هدف قابل قبول

در شرایط حداقل اندازه و حداقل سوددهی به ترتیب حداقل عیارهای G_s و G_p تأمین‌کننده شرایط مطلوب است. اما به دلیل وجود مشکلاتی از قبیل رد نابه‌جای پروژه‌ها، نمی‌توان هریک از شرایط حداقل اندازه و حداقل سوددهی را به تنهایی به کار برد، لذا برای این که هر دو معیار حداقل اندازه و حداقل سودآوری توجیه شوند، باید از بین G_p و G_s ، عیار بزرگ‌تر انتخاب شود.

و در عیارهای بالا منحنی دارای شیب زیاد بوده که به شیب بسیار ملایم در عیارهای پایین ختم می‌شود. شیب زیاد منحنی در عیارهای بالا و تناژهای پایین به علت فرض ثابت در نظر گرفتن ظرفیت تولید سالانه در هر سناریو است. در صورتی که ظرفیت نیز متناسب با تناژ ذخیره تغییر کند، شاید یک نمودار کم‌شیب حاصل شود.

۶- تحلیل حساسیت مدل

مدل ساخته شده براساس شرایط پروژه طلای زرشوران تحلیل حساسیت شد و برای شناسایی متغیرهای بحرانی تأثیرگذار در حداقل هدف قابل قبول، نمودار عنکبوتی نسبت به متغیرهای قیمت طلا، هزینه عملیاتی و سرمایه‌ای، نرخ تسعیر، ظرفیت تولید سالانه و حداقل نرخ بازگشت داخلی قابل قبول در عیار ۳ گرم بر تن رسم شد (شکل ۷). همان‌گونه که مشاهده می‌شود، حداقل تناژ ذخیره قابل قبول نسبت به قیمت بیشترین حساسیت و نسبت به هزینه عملیاتی حداقل حساسیت را نشان می‌دهد.

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدلی برای تعیین حداقل ذخیره هدف قابل قبول در پروژه‌های اکتشافی طلا ارائه و برای اجرای آن از داده‌های اقتصادی معدن طلای زرشوران استفاده شد. نتایج مدل به شکل دو نمودار "عیار- تناژ" با توجه به شرایط حداقل اندازه و حداقل سوددهی و نمودار "نرخ بازگشت داخلی- تناژ" است. پس از آن مدلی که با توجه به شرایط هزینه پروژه زرشوران به دست آمد، نسبت به متغیرهای عیار، حداقل نرخ بازگشت قابل قبول، ظرفیت تولید سالانه، نرخ تسعیر، حداقل درآمد کلی پروژه، هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی تحلیل حساسیت شده و نمودار عنکبوتی در عیار ۳ گرم بر تن به عنوان نمونه برای شرایط حداقل سوددهی رسم شد. نتایج حاصل از نمودارهای عنکبوتی نشان داد که در میان متغیرهای مورد بررسی، قیمت و هزینه‌های سرمایه‌ای، پارامترهای بحرانی در تعیین حداقل هدف قابل قبول هستند و حداقل هدف قابل قبول نسبت به تغییر ظرفیت تولید سالانه و هزینه‌های عملیاتی کمترین حساسیت را نشان می‌دهد.

نمودارهای حداقل هدف قابل قبول نشان می‌دهد که هرچه قیمت افزایش یابد، حداقل هدف قابل قبول به سمت تناژها و عیارهای پایین‌تر تمایل می‌یابد ولی با افزایش هزینه‌های سرمایه‌ای، حداقل هدف قابل قبول به سمت تناژها و عیارهای بالا تمایل یافته و از تعداد اهداف اقتصادی کاسته می‌شود. به همین ترتیب حداقل نرخ بازگشت داخلی قابل قبول و هزینه‌های عملیاتی دارای اثر مستقیم؛ و نرخ تسعیر و ظرفیت تولید سالانه دارای اثر معکوس هستند.

در این مرحله شرایط حداقل اندازه و حداقل سوددهی ترکیب می‌شوند و در نهایت عیاری انتخاب می‌شود که هر دو معیار را برآورده سازد. در حقیقت، در هر تناژ از ذخیره بیشترین مقدار از میان دو مقدار G_s و G_p به عنوان عیار در شرایط حداقل هدف قابل قبول انتخاب می‌شود (شکل ۳).

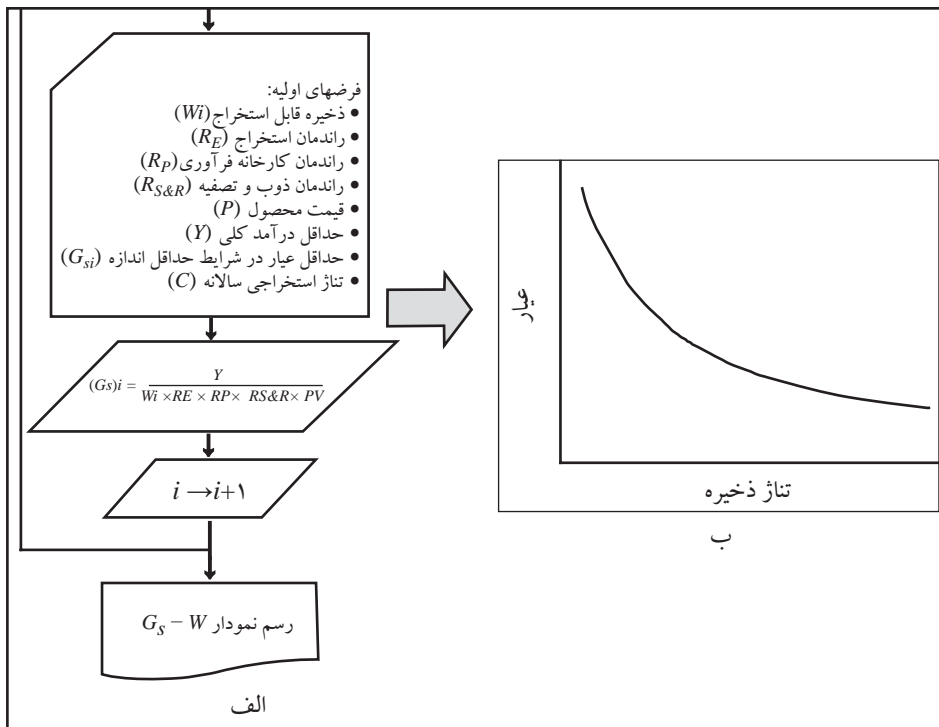
۴- محاسبه حداقل هدف قابل قبول در مراحل نهایی اکتشاف

در مراحل نهایی اکتشاف نیز که برآورد نسبتاً مناسبی از زونهای عیاری ذخیره در دسترس است، می‌توان در عیارهای حد مختلف موردنظر، حداقل تناژ اقتصادی ذخیره را برآورد کرده و زوج مناسب تناژ و عیار حد را به دست آورد. در این حالت، برای به دست آوردن حداقل ذخیره هدف به شکل معکوس عمل می‌شود؛ بدین معنا که نرخ بازگشت داخلی (IRR_i) در تناژهای مختلف ذخیره (W_i) و به ازای یک عیار ثابت موردنظر محاسبه شده و نمودار نرخ بازگشت داخلی به عنوان تابعی از تناژ ذخیره کانسار (نمودار $IRR-W$) رسم می‌شود. الگوریتم سناریوی محاسبه حداقل ذخیره هدف بر اساس رابطه نرخ بازگشت داخلی و تناژ ذخیره در شکل ۴ نشان داده شده است. شرایط پایه مورد استفاده مانند شرایط در نظر گرفته شده برای محاسبه عیار در شرایط حداقل سوددهی است.

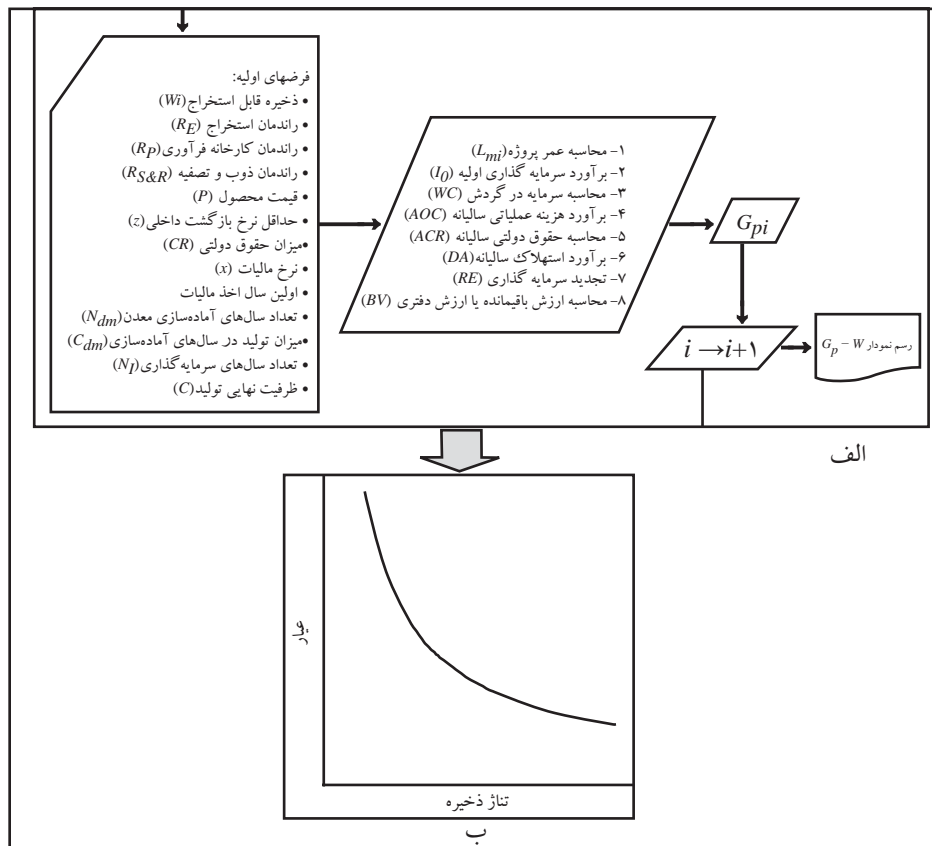
۵- اجرای مدل

مدل ساخته شده به کمک داده‌های هزینه پروژه طلای زرشوران، اجرا گردید. حداقل ذخیره هدف قابل قبول، به صورت نمودارهای عیار- تناژ و نرخ بازگشت داخلی- تناژ به نمایش در می‌آید (شکل‌های ۵ و ۶). برای محاسبه عیار در شرایط حداقل اندازه (G_s)، مجموع درآمدهای تنزیل شده سالانه‌ای که حداقل نرخ بازگشت موردنظر را تأمین می‌کند، به عنوان حداقل درآمد کلی پروژه در نظر گرفته شده است. با توجه به دامنه معمول عمر معدن طلا، حداقل درآمد در ذخیره‌ای با عمر ۱۷ سال تعیین شد.

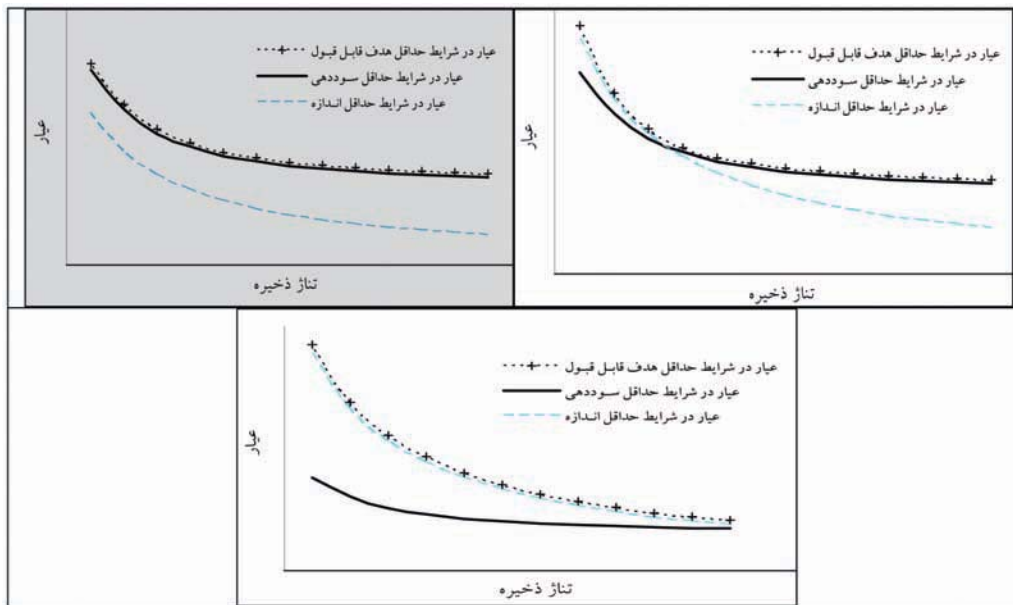
در نمودارهای عیار- تناژ در هر دو شرایط حداقل سوددهی و حداقل اندازه، اثر تغییر هر کدام از متغیرهای مورد بررسی در حداقل تناژ قابل قبول در عیارهای پایین نسبت به عیارهای بالاتر بیشتر است. با توجه به شرایط پایه‌ای که برای ساخت مدل در نظر گرفته شده است و نیز حداقل درآمد کلی مورد استفاده در آزمون مدل، مشاهده شد که منحنیهای عیار- تناژ در شرایط حداقل سوددهی و حداقل اندازه به علت پایین بودن حداقل درآمد موردنظر، تلاقی نداشته و لذا می‌توان شرایط حداقل سوددهی را به عنوان تنها ملاک لازم و کافی برای حداقل هدف قابل قبول مورد توجه قرار داد. شیب منحنی در نمودار حداقل سوددهی حاصل از مدل، در عیارهای مختلف یکسان نبوده



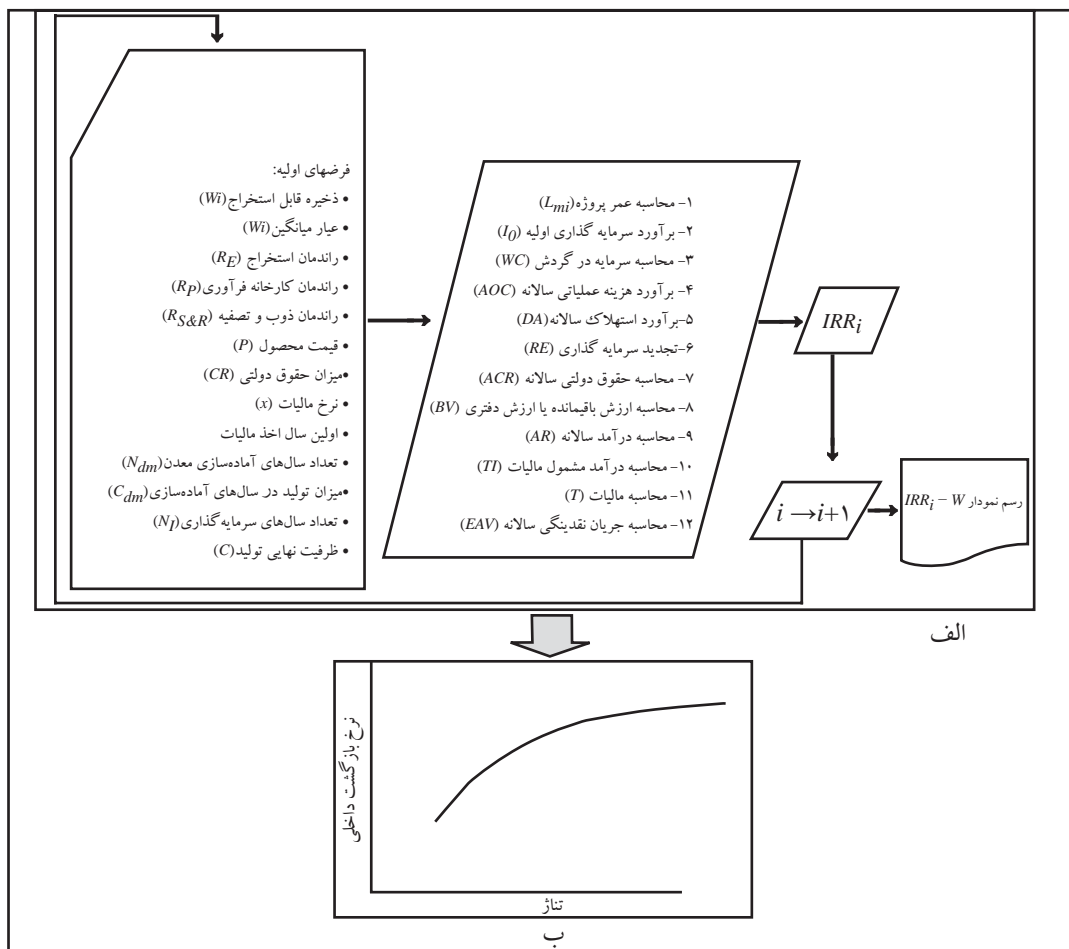
شکل ۱- الگوریتم و نمودار سناریوی عیار- تناژ ذخیره در شرایط حداقل اندازه قابل قبول



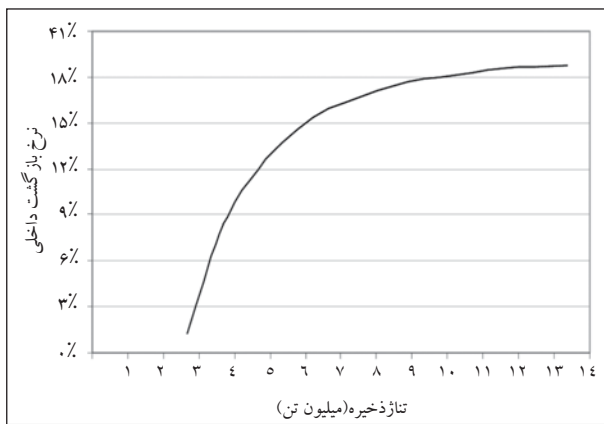
شکل ۲- الگوریتم و نمودار سناریوی عیار- تناژ ذخیره در شرایط حداقل سوددهی قابل قبول



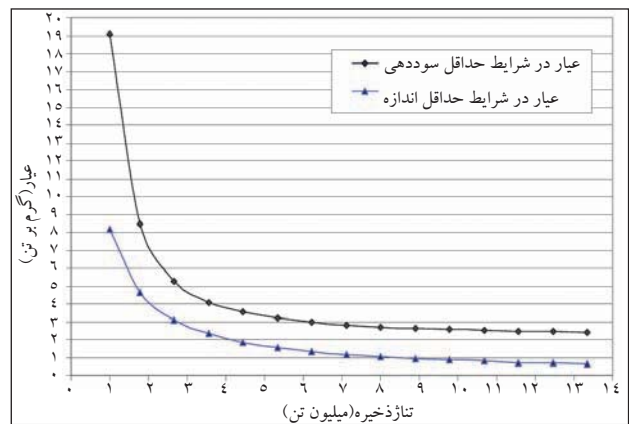
شکل ۳ - حالت‌های مختلف نمودار عیار- تناژ ذخیره در شرایط حداقل هدف قابل قبول با توجه به نمودارهای شرایط حداقل اندازه و حداقل سوددهی قابل قبول



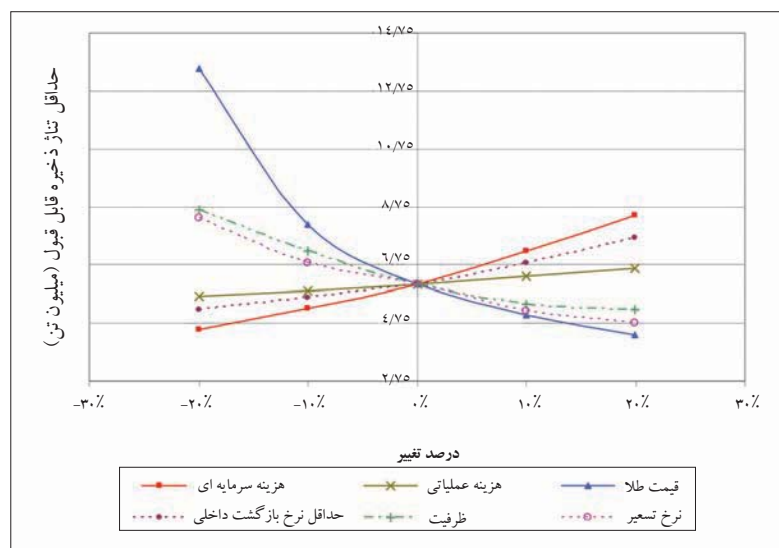
شکل ۴ - الگوریتم و نمودار سناریوی نرخ بازگشت داخلی به عنوان تابعی از تناژ ذخیره



شکل ۶- نمودار نرخ بازگشت داخلی - تناژ



شکل ۵- نمودار عیار - تناژ در شرایط حداقل هدف



شکل ۷- نمودار
عنکبوتی حداقل تناژ
قابل قبول در عیار ۳
گرم بر تن

کتابنگاری

سلگی، ن.، ۱۳۸۵- مدل‌سازی حداقل ذخیره هدف قابل قبول در پروژه‌های طلا، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۶ صفحه
ساسان‌نژاد، ا.، ۱۳۷۵- کامل‌ترین مجموعه قوانین و مقررات مالیاتی «مستقیم و غیر مستقیم»، تهران: انتشارات فردوسی

References

- Australian department of treasury and finance, 2002- Project Evaluation- Guidelines; Available on: www.dtf.wa.gov.au/cms/uploadedFiles/project_evaluation_guidelines2002 و
- Baker, S., I L., 2000- Perils of the Internal Rate of Return, Economics Interactive Tutorial, available on: <http://hspm.sph.sc.edu/COURSES/ECON/invest/invest.html>
- FEE, 2002- Environmental economics and natural resource policy analysis, Pretoria, South Africa, Available on: www.econ4env.co.za/training/front.pdf
- Gocht, W. R., 1988- International Mineral Economics; Berlin Heidelberg, Springer- Verlage
- Gain, S.B, 1982- Minimum Acceptable Target Conditions for a Gold Mine in a Remote Part of Southern Africa; Pretoria: Geological Survey of South Africa
- Harvey, C., 1995- Project Evaluation, Available on: <http://www.duke.edu/~charvey/Classes/ba350/project/project.htm>
- Mackenzie, B. W., 1994 - the economics of mineral exploration, Queen's University, pp 468.
- Rothovius, T., 1996- Why net present, Value leads to better investment decisions than other criteria, McGraw-Hill, Available on: <http://lipas.uwasa.fi/~tr/Chp005.ppt>