

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

(بررسی مدل‌های تعیین نرخ تولید معادن در شرایط عدم قطعیت پارامترهای اقتصادی)

محسن صفری

عضو هیأت علمی گروه مهندسی معدن دانشگاه صنعتی بیرجند، ایران
msafari@birjandut.ac.ir

محسن طاهری مقدر

استادیار گروه مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
Taheri@uk.ac.ir

چکیده

نرخ تولید یکی از مهم‌ترین عواملی است که در طراحی و سودآوری پروژه‌های معدنی تأثیر بسزایی دارد. مطالعات نشان داده است که هر چه نرخ تولید بزرگتر باشد قیمت تمام شده کمتری را برای واحد تولید در بر دارد و به تبع آن میزان درآمد نیز افزایش می‌یابد. اگر چه میزان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی بیشتر شده و طول عمر معدن نیز کوتاه خواهد شد. در مقابل با کوچکتر شدن نرخ تولید، سطح هزینه‌ها و درآمد کاهش یافته و دوره زمانی بهره‌برداری معدن طولانی‌تر خواهد شد. این نوسانات نرخ تولید، اقتصادی بودن یا نبودن پروژه را به شدت کنترل می‌کند. اگر چه در مرحله پیش‌امکان‌سنجی می‌توان توسط قواعد تجربی و یا سایر روش‌ها یک مقدار اولیه برای نرخ تولید در نظر گرفت، اما برای تعیین نرخ تولید بهینه، پارامترهای زیادی همچون میزان ذخیره، عیار متوسط، سرمایه‌گذاری، هزینه‌های عملیاتی، بازار و غیره مورد نیاز است که در این مرحله به طور دقیق در دسترس نمی‌باشد. تحقیقات متعددی در خصوص چگونگی تعیین ظرفیت تولید و یا اندازه معدن و همچنین بهینه‌سازی آن انجام شده و روش‌های جهت تعیین آن ارائه شده‌است اما نقش عدم قطعیت‌های اقتصادی در نظر گرفته نشده‌است. از جمله این روش‌ها، روش‌های مبتنی بر قواعد تجربی و بیشینه‌کردن شاخص‌های اقتصادی پروژه می‌باشند.

واژگان کلیدی: نرخ تولید معادن، عدم قطعیت، پارامترهای اقتصادی، قیمت‌گذاری اختیار.

مقدمه

انتخاب نرخ تولید یکی از بحرانی‌ترین تصمیماتی است که در خلال مطالعات امکان سنجی گرفته می‌شود. این عامل تعیین کننده میزان هزینه‌های سرمایه‌ای، هزینه‌های عملیاتی و عمر معدن است که همگی در اقتصاد پروژه و ضروت اجرایی طرح مؤثر می‌باشد (Smith, 1997). نرخ تولید پیشنهادی معدن باید از نظر فنی و اقتصادی کاملاً مستند و مستدل باشد و نرخ بازگشت مورد انتظار را در یک سطح اطمینان قابل قبول برای سرمایه گذار فراهم آورد. ارزیابی اقتصادی نرخ تولید می‌تواند بر مبنای تحلیل ارزش خالص فعلی یا نرخ بازگشت انجام گیرد که نیازمند تخمین هزینه‌ها و درآمد در طول عمر معدن می‌باشد (Abdel Sabour, 2002). تعیین نرخ نامناسب باعث انتخاب نادرست تجهیزات معدنکاری و فرآوری می‌شود و ممکن است سرمایه‌گذار طرح را در شرایطی قرار بدهد که قادر به تامین هزینه‌ها نباشد (Smith, 1997).

برای محاسبه نرخ تولید بهینه، داشتن انتخاب دقیقی از تناژ و عیار ذخیره (شامل تأثیر تغییرات عیار حد)، تمام هزینه‌ها و نرخ رشد قیمت محصول در بازارهای جهانی، در طول عمر معدن ضروری است، از آنجا که اطلاعات در مطالعات اولیه به‌طور دقیق در دسترس نمی‌باشد، بنابراین با عدم قطعیت در پیش بینی هزینه‌ها و قیمت‌ها مواجه می‌شویم که عدم قطعیت پارامترهای اقتصادی نقش مهمی در ارزیابی نرخ تولید معادن ایفا می‌کنند، با توجه به اینکه انتخاب و تعیین اندازه ماشین آلات معدن و کارخانه فرآوری و همچنین تعداد نیروی انسانی بر اساس میزان ظرفیت تولید صورت می‌گیرد. بدین ترتیب هزینه سرمایه گذاری، هزینه عملیاتی و طول عمر پروژه تابع ظرفیت تولید خواهند بود. بنابراین تلاش‌های زیادی در راستای توسعه روش‌های تخمین نرخ تولید بهینه با ارائه مدل‌های مختلفی در پروژه‌های معدنی جدید صورت گرفت. ساده‌ترین روش تعیین نرخ تولید بهینه محاسبه NPV برای گزینه‌های مختلف است به این صورت که آزمودن برنامه زمان‌بندی برای دسته فرضیات مختلف انجام می‌شود که هر دسته فرضیه بیان کننده نرخ تولید متفاوت به همراه سرمایه گذاری، هزینه‌های متغیر، هزینه‌های ثابت، قابلیت استخراج انتخابی، هندسه پیت و ملزومات زیرساختی است. قواعد تجربی، که یکی از روش‌های تعیین نرخ تولید در شرایط قطعیت قیمت فلز می‌باشد، بر تجارب عملی مبتنی بوده و امکان تعارض و تناقض در آنها وجود دارد. این قواعد می‌توانند دامنه مناسبی از گزینه‌های نرخ تولید را ارائه نمایند. این روش‌ها در مراحل مطالعات پیش امکان سنجی کارایی قابل قبولی دارد. بررسی قواعد تجربی این‌را می‌گوید که به منظور تعیین حداکثر ارزش خالص فعلی، یک نفر می‌بایست وقت و هزینه زیادی را در مطالعات امکان‌سنجی در نرخ‌های تولیدی بالاتر، بدون اینکه حتی مطمئن باشد که راه‌حل بهینه‌ای خواهد یافت، صرف کند. در روش‌های مرتبط با پارامترهای اقتصادی، آن نرخ تولیدی جستجو می‌گردد که با انتخاب آن، شاخص‌های اقتصادی پروژه به حد ماکزیمم خود برسند. همانطور که در توضیح روش‌های مذکور مشخص می‌باشد نقش عدم قطعیت‌ها در تعیین نرخ تولید لحاظ نشده است لذا در این مقاله پس از بیان عوامل مؤثر بر تعیین نرخ تولید به بررسی روش‌های تعیین نرخ تولید در شرایط عدم قطعیت پرداخته می‌شود.

عوامل مؤثر بر نرخ تولید

عوامل مؤثر بر نرخ تولید معادن با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد این صنعت از جمله غیر قابل تجدید بودن ذخیره معادن، اندکی متفاوت می‌باشد. عوامل مؤثر بر نرخ تولید معادن را می‌توان در چهار گروه دسته بندی کرد (جهانبخش و دهقان جان آبادی ۱۳۸۵؛ صیادی و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۳۹۱)

۱- عوامل مرتبط با مشخصات فیزیکی کانسار:

میزان ذخیره، عیار حد و عیار متوسط، خصوصیات ژئومکانیکی

۲- هزینه‌های پروژه:

هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی، هزینه تامین سرمایه پروژه.

۳- اقتصاد بازار:

قیمت محصول، بالانس عرضه و تقاضا، نرخ بهره، نرخ تورم، نرخ تنزیل و مالیات.

۴- مسائل فنی

- دسترسی به امور زیربنایی مورد نیاز

- روش استخراج و محدودیت‌های میزان تولید به ویژه در معادن زیرزمینی

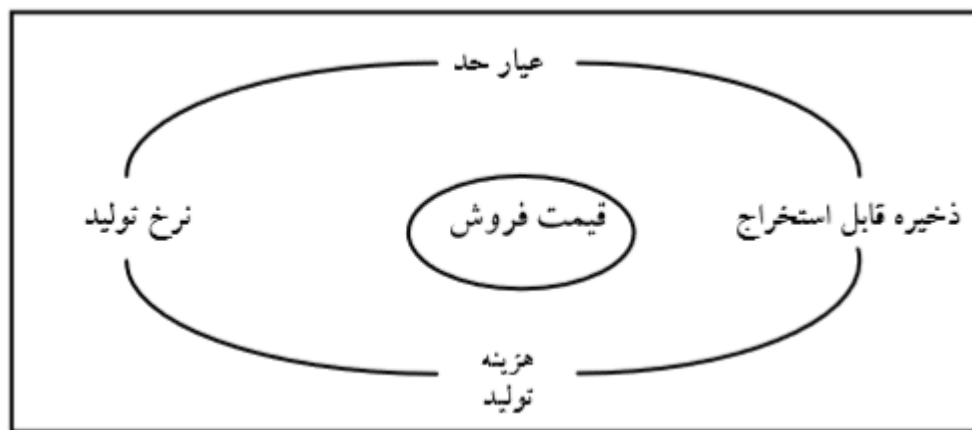
- ابعاد و تعداد سینه کارهای استخراجی

- ابعاد و تعداد ماشین‌آلات استخراجی

- میزان عملیات آماده‌سازی برای رسیدن به ظرفیت مورد نظر

- نرخ متوسط عمیق شدن (متر بر سال) مورد نیاز برای حصول ظرفیت مورد نظر.

از میان این عوامل، پارامترهای میزان ذخیره، عیار متوسط، هزینه تولید (هزینه واحد سرمایه‌گذاری و هزینه واحد عملیاتی) و قیمت فروش اهمیت بیشتری دارند (اصانلو، ۱۳۸۹). علاوه بر این اغلب عوامل ذکر شده نیز خود تابع نرخ تولید بوده و تغییر می‌کنند (شکل ۱). بنابراین لازم است بهترین ترکیب این پارامترها را به منظور بهینه‌سازی ظرفیت تولید و عیار حد و به عبارت دیگر بیشینه کردن سودآوری کانسار تعیین نمود.



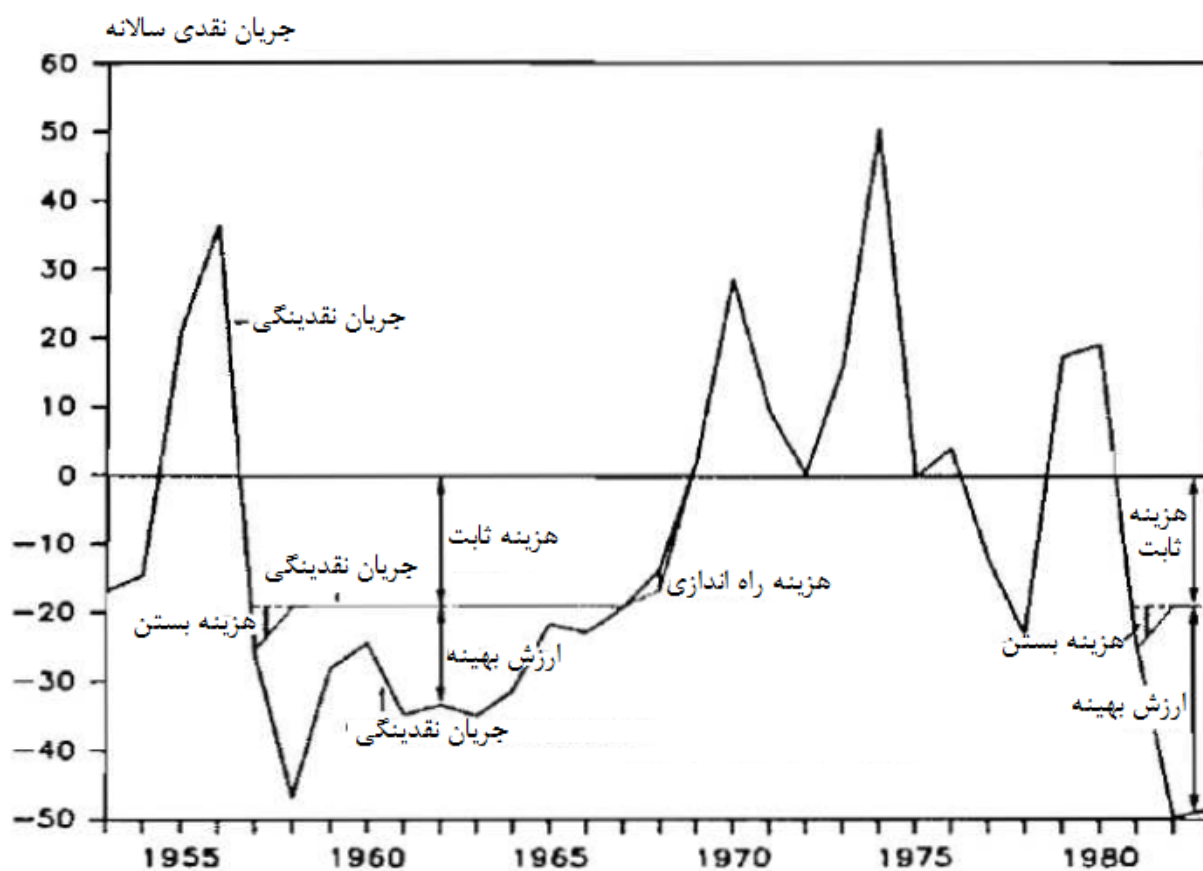
شکل ۱: تأثیر عوامل مؤثر بر نرخ تولید (صیادی و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۳۹۱)

روش‌های تعیین نرخ تولید در شرایط عدم قطعیت قیمت فلز

در شرایط عدم قطعیت قیمت فلز امکان ساختن مدل رفتار کارخانجات در زمان تغییر قیمت فلز، محدود است. تلاشی برای توسعه طراحی معدنی با نوسانات قابل توجه فلز صورت نگرفته است. در عوض، هدف به حداکثر رساندن ارزش طرحی است که با اصلاح رفتار کارخانجات در طی تغییر قیمت ساخته می‌شود.

بررسی مطالعات مربوط به تعیین نرخ تولید در شرایط عدم قطعیت قیمت فلز

اولین بار برنان و شوآرتز (۱۹۸۵) مفهوم اختیارات حقیقی را به عنوان راهی برای ارزیابی سرمایه حقیقی معدن در شرایط عدم قطعیت قیمت فلز ارائه کردند. در این مدل، مدیر معدن این انتخاب را دارد که در صورت پایین بودن قیمت فلز و منفی بودن درآمد هر چه سریع‌تر عملیات معدنکاری را معلق کند. مدیر می‌تواند تصمیم بگیرد که متحمل کاهش سریع قیمت شود و معدن را تا باز شدن دوباره تعطیل کند، بنابراین اگر تصمیم به باز نگه داشتن معدن باشد، مقداری پول از دست می‌رود. تأثیر کلی در این مورد این است که اگر فقط در زمان‌هایی که قیمت فلز بالا باشد معدنکاری انجام شود جریان کل وجوه نقدی در طی عمر معدن بیش‌تر خواهد شد؛ شکل (۲) نشان‌دهنده این مفهوم است.



شکل ۲: تأثیرات بر روی جریان نقدینگی ناشی از گزینه‌های عملیاتی یک معدن (Palm et al, 1986).

دومین مدل توسط مولر (۱۹۹۴) ارائه شده است، این مدل مربوط به توسعه معدن، ذخایر و نرخ تولید است. وی اظهار داشته است که ذخایر در حین تولید، اکتشاف و تنظیم بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده در طی سال به صورت سالانه تغییر می‌کنند (عدم قطعیت زمین شناسی و قیمت). مولر پس از آزمایش آماری تعدادی از مدل‌ها با داده‌هایی از صنعت نفت، به این نتیجه رسید که کارخانه‌ها، هم قیمت فلز و هم زمین شناسی را در نظر می‌گیرند و تلاش می‌کنند تا از حداکثر NPV در مدل ایستا بهره ببرند. بالاخره زمانی که شرایط تغییر کند برنامه‌ای جدید با هدف به حداکثر رساندن NPV بر اساس آخرین مقادیر ساخته می‌شود.

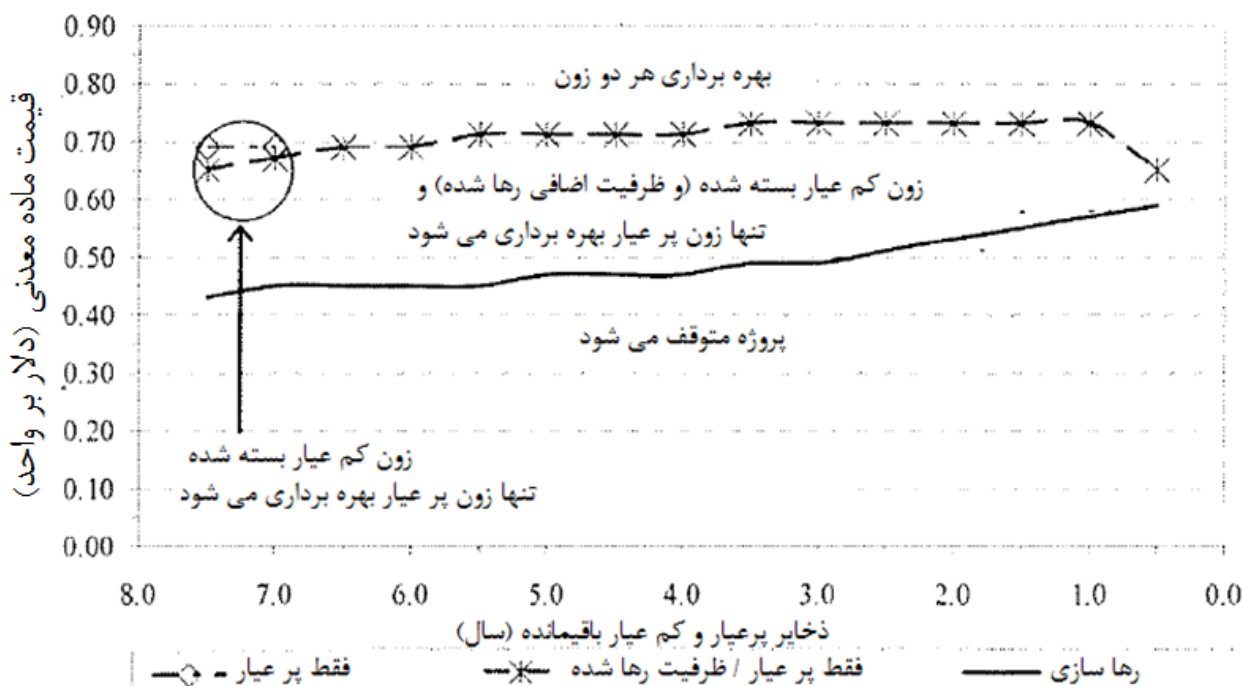
اسلید (۲۰۰۱)، مول و توفانو (۲۰۰۲) نشان می‌دهند که مدیر معادن مس و طلاي آمریکاي شمالی از نتایج برنان و شوآرتز در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ پیروی کرده است.

راجع به تحقیقاتی که سامیس (۲۰۰۰) و سامیس، لافتون و پولین (۲۰۰۲) در مورد معدن با عیار بالا و همچنین معدن با ذخیره زیاد و عیار کم انجام داده‌اند می‌توان سه گزینه زیر را بیان کرد:

معدنکاری عیار بالا تا زمان کاهش ذخیره و بسته شدن آن.

در طی معدنکاری عیار بالا، بخش کم عیار آماده‌سازی می‌شود، افزایش ظرفیت کارخانه و یا هر دو به صورت همزمان؛ یا کاهش عیار بالا و قرار دادن عیار پایین در تولیدات بدون نیاز به افزایش ظرفیت کارخانه.

سامیس، طرح‌های تولید ثابت (FPP) را با تغییرات زیادی در گزینه‌های بالا توسعه داده است، که شامل زمان‌بندی‌های مختلف برای آماده‌سازی مناطق کم عیار در طی زمان معدنکاری مناطق پر عیار می‌باشد. او تمام این تغییرات را به ساختار پروژه تولید انعطاف‌پذیر گسسته (XDFP) ترکیب کرده است. این ساختار ابزاری را توسعه می‌دهد که مدیر معدن می‌تواند با استفاده از گزینه گفته شده در هر نقطه‌ای از عمر معدن بر اساس قیمت روز فلز تصمیم بگیرد. این مسئله در شکل (۳) ارائه شده است. برای مثال اگر قیمت فلز، معادل ۰/۶۰ دلار در هر واحد ماده معدنی باشد با ۵ سال از عمر معدن فقط منطقه عیار بالا باید معدنکاری شود. اگر قیمت بیش از ۰/۷۰ دلار باشد هر دو زون باید بهره‌برداری شوند. به طور خلاصه این ابزار تمام گزینه‌های در دسترس را در شرایط مختلف قیمت فلز آنالیز کرده و بعداً به مدیر معدن اجازه انتخاب نرخ تولید و عیار حد را بر اساس قیمت روز فلز می‌دهد.



شکل ۳: توسعه زون کم عیار و ترک مرز پروژه (Samis et al, 2002).

روش مبتنی بر قیمت گذاری اختیار

در این روش نرخ تولیدی که منعکس کننده اختیار فروش یک دارایی در یک زمان مشخص است، مدنظر می‌باشد. روش قیمت گذاری اختیار از جمله روش‌های مورد استفاده در اقتصاد سنجی است که برای ارزیابی اختیار و فروش سهام در یک فرصت

معین به کار می‌رود. این روش یک ساختار قابل قبول برای تعیین ارزش کمی موضوعات همراه با عدم قطعیت ارائه می‌کند. با توجه به عدم قطعیت همراه قیمت فروش مواد معدنی، این روش در ارزیابی پروژه‌های معدنی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش برنامه‌ای برای ادامه، توقف و یا رها کردن پروژه ارائه می‌کند (Cavender, 1992; Palm et al, 1986; Galli and Armstrong, 1997). تکنیک پیشینه کردن ارزش خالص فعلی در مقایسه با روش مبتنی بر قیمت گذاری اختیار برخی عوامل از جمله امکان یا احتمال تغییر عیار حد، توقف موقتی معدن در زمان تغییرات قیمت مواد معدنی را در نظر نمی‌گیرد. علاوه بر این با در نظر گرفتن قیمت غیر مطمئن، ارزش پروژه با توجه به سهم هزینه‌های ثابت و متغیر، تغییر می‌نماید. اما تکنیک مبتنی بر قیمت گذاری اختیار امکان محاسبه یک ارزش برای اختیار با هدف تغییر یا تعیین نرخ تولید یا عیار و ارزیابی تراز هزینه ثابت و متغیر را فراهم می‌کند (صیادی و همکاران، ۱۳۸۶).

معایب روش مبتنی بر قیمت گذاری اختیار

با وجود کارایی این روش، محدودیت‌های چندی نیز وجود دارد از جمله: نداشتن انعطاف پذیری در معادن برای توقف یا بازگشایی معدن و تولید مجدد، هزینه‌ی بالای بستن معدن و بازگشایی آن، مشکلات استخدام نیروی انسانی معدنی (به ویژه در شرایطی که کارگران می‌دانند که در هر لحظه امکان از دست دادن کار وجود دارد)، مشکلات امتیاز بهره‌برداری معدن (در صورتی که معدن برای مدت زمان طولانی تعطیل شود).

بحث و نتیجه‌گیری

نرخ تولید یکی از مهم‌ترین عواملی است که در طراحی و سود آوری پروژه‌های معدنی تأثیر بسزایی دارد. برای محاسبه نرخ تولید بهینه، داشتن انتخاب دقیقی از تناژ و عیار ذخیره (شامل تأثیر تغییرات عیار حد)، تمام هزینه‌ها و نرخ رشد قیمت محصول در بازارهای جهانی، در طول عمر معدن ضروری است، از آنجا که اطلاعات در مطالعات اولیه به‌طور دقیق در دسترس نمی‌باشد، بنابراین به با عدم قطعیت در پیش بینی هزینه‌ها و قیمت‌ها مواجه می‌شویم که عدم قطعیت پارامترهای اقتصادی نقش مهمی در ارزیابی نرخ تولید معادن ایفا می‌کنند. از آنجا که در روش‌های قبلی نقش عدم قطعیت‌ها در تعیین نرخ تولید لحاظ نشده است در این مقاله به بررسی روش‌های تعیین نرخ تولید در شرایط عدم قطعیت پرداخته می‌شود. نتایج مطالعات مربوط به تعیین نرخ تولید در شرایط عدم قطعیت فلز نشان می‌دهد که به حداکثر رساندن ارزش معدن در شرایط عدم قطعیت قیمت فلز امکان پذیر است، اما هیچ تضمینی برای یافتن راهی برای انتخاب نرخ تولید معدن در این شرایط وجود ندارد. پیشنهادات سامیس تمام گزینه‌های در دسترس را در شرایط مختلف قیمت فلز آنالیز کرده و بعداً به مدیر معدن اجازه انتخاب نرخ تولید و عیار حد را بر اساس قیمت روز فلز می‌دهد. بهینه‌سازی ارزش خالص فعلی از طریق گزینه معلق نگه داشتن طرح معدن وقتی که قیمت فلز پایین و از دست رفتن پروژه بسیار بالاست. وقتی که قیمت فلز دوباره افزایش یابد معدن می‌تواند به بهره‌وری برگردد. مدیران معدن تمرین کرده‌اند که از این گزینه در زمان‌های بد استفاده کنند. فرایند مرتبط با تکنیک بر قیمت گذاری اختیار یک گزینه رقیب برای روش‌های اقتصادی ارائه می‌کند. این روش مزایای متعددی دارد زیرا به پیش بینی دقیق جریان نقدینگی، ریسک نرخ تنزیل و ... نیازی ندارد. عیب این روش این است که انطباق آن با پروژه‌های معدنی مشکل می‌باشد، استفاده از آن در معدنکاری هنوز خیلی رایج نشده است و تعداد معادن بسیار معدودی از آن بهره گرفته‌اند.

منابع

- اصانلو، مرتضی، ۱۳۸۹، روش‌های استخراج معادن سطحی، جلد اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- جهانبخش، کامران، دهقان جان آبادی، حسام، ۱۳۸۵، نرخ تولید بهینه معدن و عوامل تأثیرگذار بر آن، پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، اصفهان
- صیادی، احمدرضا، عطایی، محمد، حسن زاده، حسن زاده، امیر، ۱۳۸۶، ارائه مدلی به منظور تعیین نرخ تولید بهینه معدن، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین
- صیادی، احمدرضا، عطایی، محمد، حسن زاده، امیر، ۱۳۹۱، بهینه‌سازی نرخ تولید معادن با استفاده از پیشینه‌سازی مشروط NPV، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، دوره هفتم، شماره پانزدهم، ص ۸۷-۹۶
- Abdel Sabour, S.A. (2002). Mine size optimization using marginal analysis. *Resources Policy*. Vol. 28: 145-151.
- Samis, M.R. (2000). Multi-zone mine valuation using modern asset pricing (real options) techniques. PhD thesis. University of British Columbia.
- Brennan, M.J. and Schwartz E.D. (1985). Evaluating natural resource investments. *Journal of Business*. Vol. 58. No. 2. April: 135-157.
- Cavender, B. (1992). Determination of optimum lifetime of a mining project using discounted cashflow and option pricing techniques. *MiningEng*. Oct: 1263-1268.
- Galli, A. and Armstrong, M. (1997). option pricing: a new approach to valuing mining projects. *CIM Bulletin*, Vol. 90. Ap.
- Moel, A. and Tufano, P. (2002). When are real options exercised? an empirical study of mine closings. *The Review of Financial Studies*. Vol. 15. No. 1. Spring:35-64.
- Mueller, M.J. (1994). Behaviour of non-renewable natural resource firms under uncertainty: Optimizing or ad hoc. *Energy Economics*. Vol. 16. No. 1:9-21.
- Palm, A.K., Pearson, N.D. and James A. (1986). Option pricing: a new approach to mine valuation. *CIM Bulletin*. Vol. 79. No. 889. May: 61-66.
- Samis, M.R., Loughton, D.G. and Poulin, R. (2002). An example of using real options to model a mine expansion decision at a multi-zone deposit. In *International Symposium on the application of computers and operations research in the mineral industry*. pages 717-727.
- Slade, M.E. (2001). Valuing managerial flexibility: an application of real-option theory to mining investments. *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 41: 193-233.
- Smith, L.D. (1997). A critical examination of methods and factors affecting the selection of an optimum production rate. *CIM Bulletin*. Vol 90, N. 1007.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



نوبت آشنایی
بررسی مقاله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)



PROPOSAL
پروپوزال

نوبت آشنایی
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



نوبت آشنایی
آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو