

## ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی معدنی از دیدگاه نظریه‌ی اختیارات حقیقی

محمود رضا فانی پاکدل<sup>۱</sup>؛ محمد حسین بصیری<sup>۲\*</sup>؛ احمد رضا صیادی<sup>۳</sup>؛ حامد قدوسی<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد، مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس؛ [mfanipakdel@yahoo.com](mailto:mfanipakdel@yahoo.com)

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس؛ [mhbasiri@modares.ac.ir](mailto:mhbasiri@modares.ac.ir)

۳- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس؛ [sayadi@modares.ac.ir](mailto:sayadi@modares.ac.ir)

۴- دانشجوی دکتری دانشگاه وین اتریش

(دریافت ۱۸ مهر ۱۳۸۹، پذیرش ۲۹ خرداد ۱۳۹۰)

### چکیده

سال‌هاست که روش رایج در ارزشیابی اقتصادی پروژه‌ها و از جمله پروژه‌های معدنی، روش جدول جریان وجوه تنزیل شده (DCF) است. در این مقاله از روشی مبتنی بر نظریه‌ی اختیارات حقیقی (RO) در ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی معدنی استفاده شده است. حدود سه دهه است که دیدگاهی جدید به نام اختیارات حقیقی وارد دنیای ارزیابی مالی پروژه‌های سرمایه‌گذاری شده است. مزیت‌های این دیدگاه و یا نظریه نسبت به روش DCF، در نظر گرفتن اثر انعطاف-پذیری مدیریتی در ارزش پروژه و عدم استفاده از نرخ ریسک پروژه در تنزیل ارزش‌های آتی است. این در حالی است که در پروژه‌های دارای عدم قطعیت بالا مانند پروژه‌های معدنی، انعطاف‌پذیری مدیریتی نقش بسیار پررنگی در بالا بردن ارزش پروژه دارد که در روش DCF به سادگی از آن صرف نظر می‌شود و همچنین یکی از چالش‌های روش DCF انتخاب نرخ ریسک مناسب در تنزیل ارزش‌های آتی است. در این مقاله سعی شده است تا یکی از کاراترین روش‌های RO در شرایط پیچیده، به نام روش مونت کارلوی حداقل مربعات (LSM) در ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی معدنی به کار رود. در میان روش‌های ارزشیابی RO، روش LSM از محدود روش‌هایی است که قادر است طرح‌های واقع بینانه‌ی معدنی را ارزشیابی کند. در این مقاله ضمن ارائه‌ی یک الگوریتم ارزشیابی، معدن طلای لایه‌پیر کشور استرالیا با استفاده از برنامه‌ای که در محیط نرم افزار MATLAB کدنویسی شده ارزشیابی شده است و نتایج نشان می‌دهد که روش DCF در مقابل روش LSM حدود ۴۴٪ ارزش این پروژه را کمتر تخمین می‌زند.

### کلمات کلیدی

ارزشیابی، اختیارات حقیقی، مونت کارلوی حداقل مربعات.

\* نویسنده مسئول مکاتبات

## 1- مقدمه

پروژه‌های آماده‌سازی، مجموعه عملیاتی هستند که پس از اتمام موفقیت‌آمیز مرحله‌ی اکتشاف، انجام دادن آن‌ها منجر به بهره‌برداری از ذخیره می‌شود. عملیات آماده‌سازی، پرهزینه‌ترین مرحله از عمر معدن است (10 تا 500 میلیون دلار). مدت زمان این مرحله 2 تا 5 سال است [۱].

ارزشیابی ابزاری برای ارزیابی و ارزیابی بخشی از فرآیند تصمیم‌گیری است. نتیجه‌ی ارزشیابی مالی، مقادیری کمی است و بر اساس یک رویه‌ی ارزشیابی مشخص، تصمیم‌گیرندگان اقدام به ارزیابی و رتبه‌بندی چند پروژه می‌کنند. ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی معدنی در واقع ارزشیابی ذخیره‌ی معدنی قابل استخراج، قبل از انجام دادن عملیات آماده‌سازی است. این ارزش به نوعی بازتاب‌کننده‌ی میزان سود حاصل از صرف هزینه‌های عملیات آماده‌سازی و عملیات استخراج است. تصمیم بر سرمایه‌گذاری و اجرای پروژه‌ی آماده‌سازی بر اساس ارزش و میزان جذابیت آن انجام می‌شود. با در نظر گرفتن حجم سرمایه‌گذاری در مرحله‌ی آماده‌سازی تصمیم درست در این مرحله نقش به‌سزایی در موفقیت کل پروژه‌ی معدنی دارد. بنابراین برآورد ارزش پروژه‌های آماده‌سازی معدنی و میزان دقت تخمین آن در مطالعات امکان‌سنجی و ارزیابی طرح‌های معدنی اهمیت زیادی دارد.

در تقسیم‌بندی‌هایی که در روش‌های ارزیابی پروژه‌ها به کار می‌رود، به طور کلی این روش‌ها به دو دسته‌ی روش‌های سنتی و روش‌های جدید تقسیم می‌شوند [۲]. روش جدول جریان وجوه تنزیل شده یا  $DCF^1$  یکی از رویکردهای پر کاربرد در انجام دادن برآوردهای مالی است و شاخص‌های مالی متعددی را ارائه می‌کند که هر یک به عنوان یک ابزار ارزشیابی مطرح هستند و در تقسیم‌بندی روش‌های ارزشیابی مالی، در گروه روش‌های سنتی قرار می‌گیرند. از مهم‌ترین این شاخص‌ها می‌توان به ارزش خالص فعلی  $NPV^2$ ، نرخ بازگشت داخلی  $IRR$  و دوره‌ی بازگشت سرمایه  $PP$  اشاره کرد. تصمیم‌گیرندگان بر اساس منفی و یا غیر منفی بودن شاخص  $NPV$  اقدام به عدم اجرا و یا اجرای پروژه می‌کنند. به دلیل تنزیل ارزش‌های آتی با استفاده از نرخ تنزیل تطبیق یافته با ریسک پروژه، یکی از تأثیرگذارترین متغیرها در مقدار و علامت  $NPV$ ، نرخ ریسک مفروض در محاسبات مالی است. بنابراین انتخاب نرخ ریسک مناسب برای پروژه یکی از مراحل مهم این روش است. یکی از

مهم‌ترین روش‌های تعیین نرخ ریسک مناسب پروژه، روش مدل قیمت‌داری سرمایه‌ای ( $CAPM^3$ ) است. در این روش نرخ ریسک پروژه به دو بخش نرخ بدون ریسک و نرخ ریسک ذاتی ناشی از پروژه تقسیم می‌شود. نرخ بدون ریسک می‌تواند همان نرخ بهره‌ی بانک‌های دولتی و یا اوراق قرضه در اقتصاد محیط بر پروژه باشد [۳]. نرخ ریسک ذاتی پروژه با استفاده از نرخ ریسک پروژه‌های انجام شده و مشابه پروژه‌ی مورد نظر، تخمین زده می‌شود.

تحقیقات آماری رایان [۴]، گراهام و هاروی [۵] در بین شرکت‌های سرمایه‌گذاری آمریکایی، شینودا در ژاپن [۶] و وایکووسکی و دیگران [۷] در فنلاند نشان می‌دهد که روش‌های بر مبنای  $DCF$  از جمله  $NPV$  و  $IRR$  در سال‌های اخیر به عنوان روش‌ها و یا به بیان بهتر شاخص‌های غالب در دنیای ارزشیابی مالی پروژه‌ها مطرح هستند. در این نوع تحقیقات پرسش‌نامه‌هایی در بین شرکت‌های سرمایه‌گذاری توزیع می‌شود که در آن‌ها از میزان کاربرد روش‌های مختلف ارزشیابی در تصمیمات سرمایه‌گذاری سوال می‌شود. میزان کاربرد به دسته‌های: به ندرت، کم و همیشه تقسیم بندی می‌شود. به عنوان نمونه در جدول 1 نتایج تحقیقات رایان [۴] در دسته‌ی استفاده‌ی همیشگی از روش، نشان داده شده است. در این مطالعه مشخص شده است که از میان شرکت‌های مورد مطالعه، 85.1 درصد آن‌ها همیشه از شاخص  $NPV$  در ارزشیابی‌های سرمایه‌گذاری خود استفاده می‌کنند.

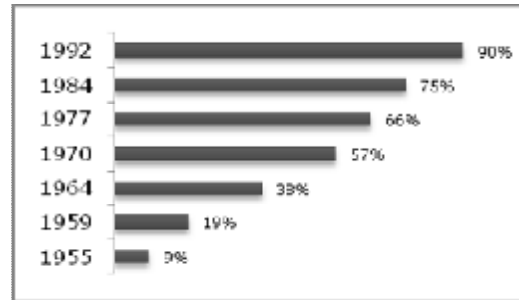
جدول 1. میزان کاربرد روش‌های رایج ارزشیابی مالی بر اساس آمار [6]

روش	درصد شرکت‌هایی که از روش مورد نظر همیشه استفاده می‌کنند
ارزش خالص فعلی $NPV$	85.1
نرخ بازگشت داخلی $IRR$	76.7
دوره‌ی بازگشت ساده $SPP$	52.6

در نمودار 1 روند استفاده‌ی روش  $NPV$  در شرکت‌های آمریکایی نشان داده شده است به طوری که می‌توان از آن، به چگونگی فراگیر شدن استفاده از روش  $NPV$  در شرکت‌های سرمایه‌گذاری، پی‌برد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که امروزه روش  $DCF$  و شاخص‌ها و ابزارهای تصمیم‌گیری آن به طور گسترده مبنای تصمیم در طیف وسیعی از شرکت‌ها سرمایه‌گذاری جهان است.

در دنیای مالی علاوه بر توسعه‌ی روش‌های رایجی مانند روش DCF، حدود سه دهه است که ارزشیابی مالی پروژه‌ها از دیدگاه نظریه‌ی جدیدی به نام نظریه‌ی اختیارات حقیقی ( $RO^4$ ) نیز بررسی شده است. تحقیقات و مقالات پیشین در زمینه ارزشیابی پروژه‌ها نشان داده است که روش‌های مبتنی بر این نظریه قادر هستند ضعف‌های پیش‌گفته در روش DCF را پوشش دهند. رویکرد RO دارای دو ویژگی مهم است که مبنای روش‌های RO را تشکیل داده و موجب تمایز این روش نسبت به دیگر روش‌های رایج و سنتی شده است. اولین ویژگی روش‌های مبتنی بر RO این است که در آن به بررسی اثر انعطاف‌پذیری پروژه (و یا اختیارات سیستم مدیریتی) بر ارزش نهایی پروژه می‌پردازد. دومین ویژگی این رویکرد استفاده از نرخ تنزیل بدون ریسک در تبدیل ارزش‌های آتی به ارزش فعلی است. از سوی دیگر تحقیقات پیشین بیانگر آن است که روش DCF به طور کلی همواره ارزش پروژه‌ها را کم تر از میزان واقعی آن‌ها تخمین می‌زند. تخمین دست پایین باعث می‌شود که برخی پروژه‌های آماده‌سازی، علی‌رغم ارزش اقتصادی بالقوه‌ی قابل‌توجه، از فهرست طرح‌های تدوین استراتژی‌های معدنی، حذف شوند.

از آنجا که انعطاف‌پذیری مدیریتی و عدم قطعیت بسیار بالای پروژه‌های معدنی واقعیاتی هستند که در روش‌های سنتی در نظر گرفته نمی‌شوند، ادعا می‌شود که روش‌های مبتنی بر RO با در نظر گرفتن فرضیاتی واقعی‌بینانه‌تر نسبت به روش‌های رایج سنتی، قادرند ارزش پروژه‌ها را دقیق‌تر و نزدیک‌تر به واقعیت تخمین بزنند. بنابراین، در طول سه دهه‌ی اخیر، محققان با آگاهی از این مهم، با طرح موضوعاتی مختلف، به ارزشیابی پروژه‌های معدنی با استفاده از دیدگاهی که این نظریه در اختیار قرار می‌دهد، اقدام کرده‌اند. با وجود تلاش‌های گسترده‌ی دانشمندان در سال‌های اخیر، برای معرفی RO و مزایای آن نسبت به روش DCF، تحقیقات میدانی نشان می‌دهد، به طور کلی در پروژه‌های سرمایه‌گذاری، هنوز مدیران مالی شرکت‌ها نسبت به استفاده از دیدگاهی که این روش ارائه می‌دهد، تمایل چندانی از خود نشان نمی‌دهند. یکی از این تحقیقات میدانی [8] در انگلستان نشان می‌دهد، با وجود این که برخی از مدیران، از اهمیت انعطاف‌پذیری مدیریتی آگاه هستند اما به‌طور کامل از کاربردهای عملی نظریه‌ی RO در ارزشیابی انعطاف‌پذیری آگاه نیستند و علاوه بر این حتی در میان مدیرانی که با کاربردهای عملی این نظریه آشنایی دارند،



نمودار 1. درصد شرکت‌های آمریکایی در کاربرد روش NPV [8]

در بیان نقاط مثبت شاخص‌های حاصل از روش DCF، می‌توان به سادگی، مطرح بودن آن‌ها به عنوان شاخص‌های مالی مشترک بین المللی و قابلیت اعمال ریسک دلخواه و اثر زمانی پول در ارزشیابی‌ها اشاره کرد. علی‌رغم این مزایا که باعث فراگیر شدن استفاده از شاخص‌های DCF در دنیا شده است، منتقدان معایب مهمی را برای این روش بیان نموده‌اند که این معایب به شرح زیر هستند:

**الف-** در روش DCF پاسخ پروژه به عدم قطعیت حاکم بر آن و یا به عبارت دیگر انعطاف‌پذیری واقعی پروژه و ارزش اضافی که بر پروژه ایجاد می‌کند در نظر گرفته نمی‌شود. در دنیای واقعی همواره مدیریت کارآمد پروژه از اختیارات خود و انعطاف‌پذیری پروژه به گونه‌ای استفاده می‌کند که ارزش پروژه در برابر شرایط نامطمئن پیش‌رو، افت نکرده و بلکه افزایش یابد.

**ب-** ضعف دیگر روش DCF مشکل بودن انتخاب و یا تخمین نرخ ریسک مناسب برای پروژه است. زیرا ممکن است که پروژه‌های مشابه پروژه‌ی مورد نظر وجود نداشته باشد. با فرض وجود پروژه‌های مشابه نیز این مشکل همچنان با برجاست. زیرا در روش CAPM نرخ ریسک متوسطی که به نرخ بدون ریسک اضافه می‌شود، حاصل از میانگین‌گیری از نرخ ریسک پروژه‌هایی است که معمولاً به اتمام رسیده است به طوری که اکنون نرخ ریسک آن‌ها متأثر از اختیاراتی است که مدیریت در راستای افزایش ارزش پروژه به کار برده است.

**ج-** در روش DCF به طور معمول از یک نرخ ریسک برای تنزیل انواع درآمد و هزینه‌ای استفاده می‌شود در صورتی که در واقع، جنس اقلام درآمدی و هزینه‌ای از حیث میزان ریسک ذاتی آن‌ها در بازار واقعی متفاوت است و نباید همه‌ی آن‌ها را با یک نرخ ریسک مشابه کاهش داد.

تنها 50 درصد آن‌ها به کاربرد آن در تصمیم‌سازی‌های خود تمایل نشان می‌دهند.

از سوی دیگر در راستای کاربرد RO محققان با چالش‌هایی مواجه بوده‌اند. مهم‌ترین چالشی که این محققان تا سال‌های اخیر با آن روبرو بوده‌اند، پیچیدگی زیاد پروژه‌های واقعی است به طوری که این پیچیدگی‌ها مانعی بزرگ در بکارگیری روش‌های مبتنی بر RO در ارزشیابی طرح‌هایی با فرض‌های واقع-بینانه محسوب می‌شود. اما در سال 2001 روشی در ارزشیابی مسائل مطرح در RO ارائه شد که توانست تا حد بسیار قابل-قبولی این مانع را از مسیر به‌کاربردن RO در ارزشیابی طرح-های معدنی واقعی از بین ببرد. این روش به روش مونت کارلوی حداقل مربعات یا LSM موسوم است.

هدف این مقاله این است که با در نظر داشتن نقش پر اهمیت ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی در طول مطالعات امکان‌سنجی و ارزیابی پروژه‌های معدنی و آگاهی از ضعف روش رایج در این زمینه یعنی روش DCF، یک نوع الگوی ارزشیابی برای پروژه‌های آماده‌سازی ارائه شود تا ضمن دارا بودن مبنای RO از امکاناتی که روش LSM برای ایجاد روشی متناسب با ماهیت پروژه‌های معدنی ارائه می‌دهد، نیز بهره‌مند باشد.

## 2- نظریه‌ی اختیارات مالی و اختیارات حقیقی 2-1-2- نظریه‌ی اختیارات مالی

نظریه‌ی اختیارات مالی برای اولین بار در سال 1973 توسط بلک<sup>5</sup> و شولز<sup>6</sup> [9] و مرتون<sup>7</sup> [10] مطرح شد. این نظریه سعی در ارزشیابی ابزارهایی مالی به نام اختیارات مالی را دارد. اختیارات مالی، قراردادهای مشتق شده از سهام هستند که به هدف کاهش ریسک سرمایه‌گذاری به بازار بورس وارد شدند و خود نیز مانند سهام، دارای بازار داد و ستد و قیمت هستند. مهم‌ترین و ابتدایی‌ترین تقسیم‌بندی برای اختیارات مالی تقسیم بندی آن‌ها به دو گروه اختیارات فروش و اختیارات خرید است. چنانچه سهامی دارای اختیار فروش است، یک سرمایه‌گذار می‌تواند با خرید آن اختیار، سهام خود را در صورت کاهش قیمت، با قیمتی بالاتر از قیمت بازار که از پیش تعیین شده است، به فروش برساند. به طور عکس یک سرمایه‌گذار بازار بورس در صورتی که اختیار خرید یک سهام را خریداری کند می‌تواند در صورت افزایش قیمت سهام در بازار، آن سهام را با قیمتی زیر قیمت بازار که از پیش تعیین شده است، خریداری کند. اختیارات مالی دارای زمان سر رسید<sup>8</sup> هستند

که بعد از آن تاریخ، اختیار فاقد اعتبار است. برخی اختیارات به سرمایه‌گذار این اجازه را می‌دهد تا هر زمان قبل از زمان سر رسید اختیار خود را عملی کند، این نوع اختیارات به اختیارات آمریکایی<sup>9</sup> موسوم هستند. برخی اختیارات دیگر تنها در زمان سر رسید قابل عملی کردن هستند که این نوع اختیارات به اختیارات اروپایی موسوم هستند [11]. در جدول 2 مشخصات پایه‌ای اختیارات مالی معرفی شده است و همچنین در جدول 3 چهار نوع اختیار پایه به‌طور خلاصه ارائه شده است.

### 2-2- نظریه‌ی اختیارات حقیقی

در همان دهه‌ی 70، پس از اختیارات مالی بحث اختیارات حقیقی به وجود آمد. نظریه‌ی RO بر گرفته از نظریه‌ی اختیارات مالی است. اختیارات حقیقی در واقع اختیاراتی هستند که همواره در دنیای واقعی وجود داشته‌اند و در پروژه‌ها مانند اختیارات مالی موجب کاهش ریسک پروژه می‌شوند.

جدول 2. متغیرهای پایه‌ای در تحلیل اختیارات مالی

متغیر	اندیس	توضیح
قیمت سهام	S	ارزش سهام در بازار رقابتی.
قیمت عملی کردن اختیار	E	قیمتی است که در قرارداد اختیار قید شده است و سهام در صورت عملی کردن اختیار با آن قیمت به فروش می‌رسد.
تاریخ انقضاء یا زمان سر رسید	T	تاریخی است که قرارداد اختیار حداکثر تا آن روز اعتبار دارد و یا زمان عملی کردن اختیار در آن روز است.
نرخ بدون ریسک	rf	نرخ بدون ریسک مانند نرخ بهره بانکی و یا نرخ های فاقد ریسک دیگر.
واریانس	$S^2$	واریانس ارزش بازار سهام.

جدول 3. چهار نوع اختیار مالی پایه [11]

اختیار اروپایی	اختیار آمریکایی
یک اختیار اروپایی تنها در زمان سر رسید قابل عملی کردن است.	یک اختیار آمریکایی در هر زمانی قبل از زمان سر رسید قابل عملی کردن است.
European Call	American Call
اختیار خرید یک دارایی در زمان سر رسید.	اختیار خرید یک دارایی در هر زمانی بین امروز تا زمان سر رسید.
European Put	American Put
اختیار فروش یک دارایی در زمان سر رسید.	اختیار فروش یک دارایی در هر زمانی بین امروز تا زمان سر رسید.

نظریه‌ی اختیارات مالی در واقع نوعی دیدگاه را در ذهن مدیران و ارزیابان مالی پروژه‌ها به وجود آورد که با استفاده از آن و معادل‌سازی اختیارات حقیقی با اختیارات مالی می‌توان ارزش اضافی که اختیارات حقیقی برای پروژه به وجود می‌آورند را اندازه‌گیری کرد [12].

## 3-2- رابطه‌ی ارزش اختیارات و عدم قطعیت

وجود اختیارات در زمان وجود عدم شناخت و به بیان بهتر عدم قطعیت توجیه دارد و هر چه عدم قطعیت بیشتر باشد، ارزش اختیارات و یا انعطاف‌پذیری نیز بیشتر است. به بیان دقیقتر، ارزش ناشی از انعطاف‌پذیری با میزان عدم قطعیت متغیرهای تابع ارزش پروژه، رابطه‌ی مستقیم دارد. این امر باعث بروز تفاوت میان دیدگاه RO و دیدگاه سنتی در مواجهه با عدم قطعیت می‌شود. در نگاه سنتی، عدم قطعیت زیاد به معنای ریسک بیشتر است و ریسک بیشتر به زبان مالی در شکل نرخ تنزیل تطبیق یافته با ریسک، سبب کم‌تر شدن ارزش خالص فعلی پروژه می‌شود. در حالی که در یک پروژه با سیستم مدیریتی انعطاف‌پذیر در برابر عدم قطعیت‌های ممکن، با نگاه RO، افزایش عدم قطعیت به معنای افزایش دامنه‌ی بخش خوش‌بینانه‌ی نمودار توزیع احتمال ریسک است. به زبان ساده- تر، برای یک معدن فعال، همان طور که افزایش نوسان قیمت، احتمال رخ دادن قیمت‌های بسیار کمتر را در آینده بیشتر می‌کند، به همان نسبت احتمال رخ دادن قیمت‌های بسیار بیشتر را نیز افزایش می‌دهد که این اتفاق به معنای فرصت بهره‌بری از ارزش‌های بالاتر و دور نگه‌داشتن پروژه از ضرر در قیمت‌های پایین‌تر، توسط سیستم مدیریت فرصت طلب است.

## 4-2- نظریه‌ی اختیارات حقیقی و پروژه‌های معدنی

ایده‌های برگرفته از اختیارات مالی برای اولین بار در پروژه‌های معدنی، به عنوان یکی از انواع دارایی‌های فیزیکی به کار برده شد و این نقطه‌ی آغازی برای توسعه‌ی نظریه‌ی RO بود.

## جدول 4. مهم‌ترین مطالعات پیشین در حوزه کاربرد RO در پروژه‌های معدنی

موضوع مورد مطالعه	محققین
ارزشیابی پروژه‌های اکتشافی	کورتازار و شوارتز و کاساسوس 2001
ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی، زمانبندی سرمایه‌گذاری	برنان و شوارتز 1985، مک دونالد و سیگل 1986، کلی 1998
ارزشیابی معدن آماده‌سازی شده دارای اختیار ورود و خروج منعطف	برنان و شوارتز 1985، دیکسیت 1989، مارگارت اسلید 1999، سکرکاس و شاکلتون و وجاکوفسکی 2003، کورتازار و گراوت و اورزاو 2005، عبدالصویر و پاولین 2005، لمیلن و عبدالصویر و پاولین 2006، عبدالصویر و دیمیتراکوپولوس 2007
ارزشیابی اختیار توسعه‌ی معدن	هی و پیندیک 1992، کورتازار و کاساسوس 1998

## 5-2- روش‌های ارزشیابی در نظریه‌ی اختیارات

نظریه‌ی اختیارات مالی سعی در ارزشیابی اختیارات مالی را دارد. در این رابطه در ابتدا رابطه‌ی ریاضی همزمان توسط بلک و شولز [9] و مرتون [10] ارائه شد که قادر بود اختیاراتی از نوع اروپایی را ارزشیابی کند. این رابطه به فرمول بلک و شولز معروف است و به این نوع روش‌ها در ارزشیابی و یا حل مسائل

می‌توان ادعا کرد که در طول زمان، همواره توسعه‌ی نظریه‌ی RO و کاربرد اختیارات مالی در پروژه‌های حقیقی با کاربرد آن در پروژه‌های معدنی همراه بوده است. نظریه‌ی اختیارات حقیقی با مقاله‌ی برنان و شوارتز [14] وارد پروژه‌های معدنی شد. در این مقاله اختیار ورود به عملیات معدنکاری و خروج موقت و یا دائمی از آن در یک مدل معدن فرضی در حال عملیات ارزشیابی شد. در واقع مدلی که در این مقاله برای یک معدن در حال عملیات ارائه شد مدلی جامع است که تا به امروز همواره مبنای مقالاتی با موضوع ارزشیابی معادن فعال بوده است. به‌طور کلی می‌توان تحقیقات پیشین در رابطه با RO و پروژه‌های معدنی را در سه دسته‌ی کلی ارزشیابی پروژه‌های اکتشافی، ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی و ارزشیابی پروژه‌های بهره‌برداری بر اساس نوع پروژه، تقسیم کرد.

انواع انعطاف‌پذیری که در پروژه‌های معدنی مطرح شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است عبارت‌اند از: اختیار درنگ در سرمایه‌گذاری و یا اختیار صبر، اختیار خروج از پروژه و رها کردن آن، اختیار توسعه، اختیار خروج موقت از پروژه و ورود مجدد به آن، اختیار مرکب از انواع اختیار دیگر.

در جدول 4 محققان تأثیرگذار در حوزه‌ی کاربرد RO در پروژه‌های معدنی، بر اساس نوع پروژه‌ی معدنی و علاوه بر آن مقاله‌های مرتبط با اختیار توسعه، معرفی و در چهار گروه دسته‌بندی شده‌اند.

اختیارات، روش‌های تحلیلی و یا فرم بسته<sup>10</sup> می‌گویند [12]. بر خلاف اختیارات اروپایی، برای ارزشیابی اختیارات آمریکایی تا به حال به جز در چند مورد بسیار ساده، فرمولی تحلیلی و کلی مانند فرمول بلک و شولز ارائه نشده است [14]. از دید ارزیابان مالی پروژه‌ها، ارزشیابی اختیارات آمریکایی بسیار مهم‌تر از ارزشیابی اختیارات اروپایی است، زیرا بسیاری از اختیارات شناخته شده در پروژه‌ها معادل اختیارات آمریکایی هستند.

بنابراین بیشتر تلاش‌هایی که تا به امروز برای ارزشیابی اختیارات حقیقی صورت گرفته است معادل با ارائه روش‌هایی عددی برای تخمین ارزش اختیارات آمریکایی است. به طور کلی روش‌های عددی تخمین اختیارات آمریکایی و اروپایی را می‌توان به سه دسته‌ی کلی تقسیم بندی کرد [۱۵]

ا. حل معادلات مشتقات جزئی<sup>۱۱</sup> ارزش اختیار به روش تفاضل محدود<sup>۱۲</sup>

ب. روش درختی (دودویی<sup>۱۳</sup>، تری نومیال<sup>۱۴</sup>)

ج. روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی

انتخاب روش مناسب برای ارزشیابی به ماهیت مسئله و میزان پیچیدگی آن بستگی دارد. پیچیدگی مسائل را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. بخش اول مربوط به تعداد و چگونگی ارتباط اختیارات موجود در سیستم مدیریت سرمایه است. مسائل تک اختیاره و از نوع دارای اختیار فروش و یا خرید صرف، ساده‌ترین مسائل می‌باشند. مسائل دیگر، شامل ترکیبی از اختیار فروش و خرید و یا اختیار سویچ<sup>۱۵</sup> و غیره، دارای پیچیدگی بیشتری هستند. تعداد منابع عدم قطعیت پیش روی سیستم مدیریت سرمایه نیز نوع دیگری از پیچیدگی را به وجود می‌آورند که با عنوان چند بعدی بودن و یا متغیرهای حالت چندگانه‌ی مسئله مطرح می‌شوند.

در روش تفاضل محدود میدان متغیرهای تابع ارزش اختیار به شبکه‌هایی با فواصل مشخص تقسیم‌بندی و تغییرات حدی معادله‌ی دیفرانسیل با ابعاد ششگانه، جایگزین می‌شود. به این ترتیب به روش عددی، ارزش اختیار تخمین زده می‌شود. این روش اولین بار توسط برنان و شوارتز [۱۶] برای ارزشیابی اختیار آمریکایی ارائه شد و بعدها در حل معادلات دیفرانسیل تابع ارزش معدن در مقاله برنان و شوارتز [۱۳] مورد استفاده شد.

روش‌های درختی به خوبی در مسائل چند اختیاره کاربرد دارند؛ با افزایش بعد یا تعداد متغیرهای حالت مسئله از یک متغیر به بیش از دو متغیر، این روش در ارزشیابی غیرکارا خواهد شد. روش درخت دودویی اولین بار توسط کاکس و دیگران [۱۷] و رندلمن و بارتز [۱۸] برای ارزشیابی اختیارات آمریکایی ارائه شد و کلی [۱۹] آن را در ارزشیابی پروژه‌های سرمایه‌گذاری معدنی (آماده‌سازی) به کار برد.

در روش شبیه‌سازی تحقق‌هایی از ارزش سهام و یا دارایی موردنظر شبیه‌سازی می‌شود و سپس در طول هر یک مانند آنچه که در یک سیستم مدیریت سرمایه واقعی رخ می‌دهد عملیات بیشینه‌سازی سود خالص سرمایه‌گذاری به صورت پیشرو انجام می‌شود و ارزش خالص فعلی کلی برابر با میانگین هر یک از ارزش‌های بهینه شده خواهد بود. نسل جدیدی از روش‌های شبیه‌سازی موسوم به روش حداقل مربعات مونت کارلو ( $LSM^{16}$ ) علاوه بر قابلیت کاربرد در مسائل چند اختیاره، بسیار انعطاف‌پذیر بوده و به خوبی در شرایط وجود چندین بعد عدم قطعیت و یا چندین متغیر حالت نیز کارا است. مسائل معدنی به شرط طراحی واقع‌بینانه، از جمله پیچیده‌ترین مسائل چند اختیاره و چند بعدی در RO است که تحقیقات رو به رشد اخیر نشان داده است که این روش به خوبی قابلیت سازگاری با این نوع پیچیدگی‌ها را دارد [۲۰]. صبری ای عبدالصبور و دیگران [۲۱] دقت روش LSM را در ارزشیابی دو معدن مس و طلا با فرض وجود انعطاف‌پذیری مدیریتی بررسی کردند. کارهای دیگر نظیر مقالات سکرکاس و دیگران [۲۲] کورتازار و دیگران [۲۳] عبدالصبور و دیگران [۲۴] و لمیلن و دیگران [۲۵] که همگی به کاربرد و ارزیابی دقت و کارایی این روش در ارزشیابی پروژه‌های بهره‌برداری از معادن انعطاف‌پذیر پرداخته‌اند، نشان می‌دهد این روش با ایجاد امکان به کاربردن RO در حوزه‌های وسیع‌تری از پروژه‌های واقعی، به احتمال زیاد تنها روشی خواهد بود که در ارزشیابی پروژه‌های واقعی معدنی به‌برده خواهد شد. جدول 5 روش‌های حل مسائل اختیارات مالی و حقیقی را به‌طور خلاصه با یکدیگر مقایسه می‌کند.

مسئله‌ی ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی به سبکی که در این‌جا مطرح و مدل‌سازی می‌شود، در مطالعات پیشین با عنوانین مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است. مک دونالد و سیگل [۲۶] در مقاله‌ی خود مسئله پیش مطرح شده در این مقاله را در قالب موضوع زمان‌بندی سرمایه‌گذاری در پروژه‌های معدنی ارزشیابی کرد که ماهیت روش ارزشیابی همان روش برنان و شوارتز [۱۳] بود. کلی [۱۹] در مقاله‌ی خود این مسئله را در قالب موضوع ارزشیابی پروژه‌های سرمایه‌گذاری معدنی مورد مطالعه قرار داد که در ارزشیابی آن از روش درخت دودویی استفاده کرد. دلیل به کاربرد این عنوان‌ها در ارزشیابی مسئله‌ی ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی این است که در طرح‌های معدنی، انجام عملیات آماده‌سازی در واقع به

ای و عملیاتی و تا حدی عدم قطعیت در شناخت ویژگی‌های ذخیره و بسیاری از عوامل دیگر همه متغیرهای نامطمئنی هستند که بر ارزش کلی پروژه تأثیرگذار بوده و لذا لحاظ کردن آن‌ها در برآوردها، مهم است. بنابراین در این مقاله، با توجه به قابلیت‌های پیش‌گفته در مورد کارایی روش LSM، از این روش در ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی معدنی استفاده شده است.

معنای شروع سرمایه‌گذاری در پروژه‌ی بهره‌برداری از ذخیره به شکل معدن و یا کارگاه استخراج است.

اما همانگونه که اشاره شد، در شرایط واقع بینانه‌تر نمودن فرض‌های مسئله، روش‌های درخت دودویی و به خصوص تفاضلات محدود قادر به حفظ سازگاری و کارایی خود نیستند. در دنیای واقعی پروژه‌های آماده‌سازی معدنی علاوه بر قیمت ماده معدنی، نرخ ارزهای خارجی، نرخ تورم، هزینه‌های سرمایه-

جدول 5. مقایسه‌ی کارایی روش‌های حل مسائل اختیارات

روش / نوع مسئله	اختیارات اروپایی	اختیارات آمریکایی	مسائل چند اختیاره	یک متغیر حالت	دو متغیر حالت	ن متغیر حالت
فرمول بلک و شولز	کارا	غیر کارا	غیر کارا	تا حدی کارا	غیر کارا	غیر کارا
درخت دودویی	کارا	کارا	کارا	کارا	تا حدی کارا	غیر کارا
روش تفاضلات محدود	کارا	کارا	تا حدی کارا	کارا	تا حدی کارا	غیر کارا
روش شبیه سازی	کارا	کارا	کارا	کارا	کارا	کارا

مدیریت سرمایه‌گذاری در پروژه‌های آماده‌سازی، معمولاً این اختیار وجود دارد تا مدت معینی بر اساس تشخیص سیستم تصمیم‌گیرنده، سرمایه‌گذاری را تا زمانی مناسب به تعویق انداخت. در این مقاله برای سرمایه‌گذاری فرصتی مجاز در نظر گرفته می‌شود که پس از آن سرمایه‌گذار فرصت سرمایه‌گذاری را از دست خواهد داد. این فرصت زمانی در صورت مدیریت صحیح، می‌تواند با ارزش باشد و ارزشی اضافی را نسبت به عدم وجود آن ایجاد کند. در این‌جا فرض می‌شود قیمت ماده معدنی متغیری تصادفی است. در واقع با دانش بر متغیر بودن قیمت، چنانچه تحلیل‌ها بیانگر احتمال افزایش قیمت در آینده باشند، امید آن است که در آینده میزان NPV افزایش یابد بنابراین سرمایه‌گذار این اختیار را دارد تا سرمایه‌گذاری را به تعویق اندازد. البته میزان افزایش NPV به میزان همبستگی  $I$  و  $V$  به یکدیگر در شرایط نوسان قیمت بستگی دارد. در نظریه‌ی اختیارات مالی این امر بسیار شبیه به مدیریت سرمایه در بازار بورس در زمان تصمیم‌گیری برای خرید یک سهام با در اختیار داشتن یک قرارداد اختیار خرید است که با چنین ویژگی‌هایی، همان اختیار خرید آمریکایی است (جدول 5). به‌طور متناظر،  $V$  حاصل از ذخیره، معادل قیمت سهامی در بازار بورس است که در آن به سرمایه‌گذار این اختیار داده شده است که در زمان

### 3- ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی معدنی به روش LSM

#### 3-1- طرح مسئله و مدل‌سازی آن در چهارچوب RO

همان‌طور که در مقدمه‌ی این مقاله نیز به آن اشاره شد، یک پروژه‌ی آماده‌سازی مجموعه عملیاتی است که انجام آن منجر به آماده شدن ذخیره برای بهره‌برداری به شکل معدن می‌شود. برای انجام پروژه‌ی معدنی نیاز به هزینه‌ی سرمایه‌گذاری است که میزان آن در یک زمان مشخص به کمیت و ویژگی‌های ذخیره بستگی دارد. در این‌جا هزینه‌ی سرمایه‌گذاری با  $I(Q,S)$  نشان داده می‌شود که در آن  $Q$  تناژ ذخیره و  $S$  قیمت فروش واحد ماده معدنی در بازار می‌باشد. اگر ارزش فعلی درآمدهای مورد انتظار از ذخیره‌ی قابل استخراج پس از بهره‌برداری در طول عمر استخراج معدن  $V(Q,S)$  باشد، آنگاه ارزش فعلی حاصل از پروژه‌ی سرمایه‌گذاری در زمان اتخاذ تصمیم، به صورت رابطه‌ی 1 تعریف می‌شود:

$$NPV = V - I \quad (1)$$

اگر با مفروضات روش DCF اقدام به ارزشیابی پروژه با استفاده از فرمول 1 کنیم، آنگاه در زمان اتخاذ تصمیم چنانچه مقدار NPV مثبت باشد، سرمایه‌گذاری انجام می‌شود و در غیر این صورت سرمایه‌گذاری انجام نمی‌شود. اما در سیستم

برآورد ارزش اضافی است که فرصت تصمیم‌گیری و اختیار درنگ ناشی از این فرصت، ایجاد می‌کند. مدل تصمیم‌گیری در این نوع اختیار به صورت رابطه‌ی 2 تعریف می‌شود:

(2)

$$NPV = \max \{ \text{ارزش سرمایه گذاری، ارزش سرمایه گذاری آنی} \}$$

بنابراین در نقطه‌ی تصمیم‌گیری، حداقل ارزشی که سرمایه‌گذار بدست می‌آورد صفر است و در نتیجه بر خلاف روش DCF، NPV حاصل از روش RO هیچ‌گاه منفی نیست.

مناسب، سهام را با قیمت از پیش تعیین شده‌ی I خریداری نماید به طوری که I از V کوچکتر است. در غیر این صورت سرمایه‌گذار این اختیار را دارد که سهامی نخرد که در نتیجه سود وی در استفاده از اختیار خرید، صفر خواهد بود. در بازار اختیارات مالی این نوع اختیار به اختیار درنگ در سرمایه‌گذاری موسوم است. این اختیار مدیریتی و یا انعطاف‌پذیری یک مقدار اضافی را بر مقدار NPV پایه که با روش DCF برآورد می‌شود، اضافه می‌کند. بنابراین در ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی بر اساس دیدگاه RO، هدف اصلی از ارزشیابی،

جدول 6. معادل سازی متغیرهای مالی پروژه‌ی آماده سازی معدنی با اختیار خرید آمریکایی

اختیار خرید در بازار سهام		اختیار حقیقی در معدن	
$S$	ارزش فعلی ذخیره در زمان ارزشیابی	$V$	قیمت جاری سهام
$E$	ارزش فعلی هزینه‌ی سرمایه‌ای آماده سازی و هزینه استخراج سالیانه برای هر اونس طلا	$I$	قیمت سهام در قرارداد اختیار
$T$	زمان حداکثری فرصت سرمایه گذاری	$T$	زمان سر رسید و یا اعتبار اختیار
$S$	عدم قطعیت ارزش پروژه	$S$	عدم قطعیت قیمت سهام
$rf$	نرخ جذابیت بدون ریسک	$rf$	نرخ جذابیت بدون ریسک
$d$	سود ناشی از اختیار داشتن ذخیره	$d$	سود سهام

سرمایه گذاری همان مقدار V-I در زمان اتخاذ تصمیم بر سرمایه‌گذاری است و بنابراین مقدار آن به راحتی قابل محاسبه است.

اما محاسبه‌ی ارزش مورد انتظار از درنگ در سرمایه‌گذاری قسمت مشکل مسئله است و در واقع کوشش برای ارزشیابی آن، نقطه‌ی ورود RO و روش‌های مختلفی است که در نظریه‌ی RO تا به حال برای ارزشیابی توسعه یافته‌اند. تا به اینجا مسئله‌ای که در این مقاله مورد نظر است، مطرح و در قالب RO مدل‌سازی و در نهایت خواسته‌ی اصلی آن که منجر به حل مسئله می‌شود، مشخص شد.

برای ارزشیابی اختیار درنگ در سرمایه‌گذاری به دلیل پیوسته بودن نقاط تصمیم‌گیری، تا کنون روشی انتزاعی، مانند فرمول بلک و شولز ارائه نشده است و هر گونه تلاشی در این راستا در ارائه‌ی روشی عددی و تقریبی بوده است. روش‌های درخت دودویی و تفاضلات محدود نیز دارای محدودیت‌های هستند که به طور مفصل به آن‌ها پرداخته شده است. بنابراین در ادامه، هدف، استفاده از روش LSM در ارزشیابی اختیار درنگ در سرمایه‌گذاری پروژه‌ی آماده‌سازی معدنی قرار می‌گیرد.

### 3-2- قالب بندی مسئله در روش LSM

در واقع ارزش حاصل از DCF را می‌توان بخشی از یک ارزش کلی دانست که در ارزشیابی به روش DCF بخش دیگر این ارزش کلی صفر در نظر گرفته می‌شود. عدم توانایی DCF در برآورد این ارزش اضافه در واقع به دلیل چشم‌پوشی این روش از انعطاف‌پذیری مدیریتی است. بنابراین دیدگاه RO آشکار می‌سازد که NPV واقعی یک پروژه، شامل مقداری بزرگتری نسبت NPV ایست که روش DCF ارائه می‌دهد و در نتیجه نیاز است که برای تخمین دقیق‌تر، یک رابطه‌ی جامع‌تری را برای NPV پروژه‌ی آماده سازی به صورت رابطه-ی 3 بنویسی کرد.

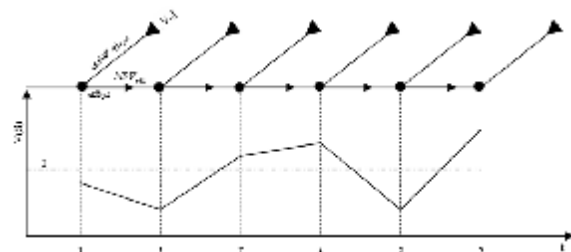
$$NPV_t = NPV_{DCF} + NPV_{option} \quad (3)$$

که در آن،  $NPV_{DCF}$  ارزش خالص فعلی حاصل از روش DCF است که به NPV پایه نیز موسوم است،  $NPV_{option}$  ارزش خالص فعلی حاصل از اختیار درنگ در سرمایه‌گذاری است و  $NPV_t$  ارزش خالص فعلی کل پروژه‌ی سرمایه‌گذاری آماده‌سازی است. بر این اساس NPV حاصل از رابطه‌ی 2 همان  $NPV_t$  در رابطه‌ی 3 است. زیرا هر دو بر اساس فرمول‌بندی شده‌اند. بنابراین برای محاسبه‌ی  $NPV_t$  بر اساس رابطه‌ی 2 نیاز است ارزش سرمایه‌گذاری آنی و ارزش مورد انتظار از درنگ در سرمایه‌گذاری یک به یک برآورد شود و مقدار بیشینه به عنوان  $NPV_t$  در نظر گرفته شود. ارزش آنی



همان طور که در قسمت پیشین گفته شد، مسئله‌ی تصمیم سرمایه‌گذاری در شرایط وجود اختیار درنگ با سه ارزش متفاوت مواجه است که یکی از این سه مقدار، ارزش مورد انتظار از درنگ در سرمایه‌گذاری است. در شکل 1 مدلی ساده شده برای تصمیم سرمایه‌گذاری ارائه شده است که به خوبی فرآیند تصمیم‌گیری بهینه را برای داشتن NPV بیشینه نشان می‌دهد. در این شکل سرمایه‌گذار در نقطه یک تصمیم‌گیری (دایره توپر) قرار دارد و در این نقطه دو مسیر مجزا پیش رو دارد، مسیری که به سرمایه‌گذاری آنی در زمان یک می‌انجامد (مثلث توپر) و مسیر دیگری که به انتقال به نقطه‌ی تصمیم‌گیری بعدی منجر می‌شود.

با فرض قرار داشتن در نقطه‌ی تصمیم‌گیری یک، سرمایه‌گذار این اختیار را دارد که به‌طور آنی سرمایه‌گذاری. اما برآورد ارزش مورد انتظار از درنگ  $C_2$  در نقطه‌ی یک چگونه است؟ پس از نقطه تصمیم‌گیری یک، در صورت موکول سرمایه‌گذاری به آینده حالت‌های متعددی وجود دارد که تصمیم سرمایه‌گذاری می‌تواند انجام گیرد (سرمایه‌گذاری در نقطه‌ی 2 یا 3 ... و یا 6 و یا سرمایه‌گذاری در هیچ یک از نقاط). انتخاب نقطه‌ی بهینه سرمایه‌گذاری در صورت وجود یک سناریوی مشخصی از مقادیر  $V_j$  و  $I_j$ ، بر اساس انتخاب NPV بیشینه انجام می‌گیرد. به عبارت بهتر تصمیم سرمایه‌گذاری در نقطه‌ای از میان نقاط 2 تا 6 بهینه خواهد بود که در آن نقطه بیشترین مقدار NPV آید سرمایه‌گذار شود. اما در زمان‌های بعد از نقطه‌ی یک سرمایه‌گذاری، مقادیر  $V_j$  و  $I_j$  هر مقداری تصادفی را می‌تواند به خود بگیرد و تعیین یک مقدار مشخص و قطعی برای ارزش مورد انتظار از درنگ غیر ممکن خواهد بود. لانگ استف و شوارتز [28] پیشنهاد دادند که برای تعیین مقدار ارزش مورد انتظار از درنگ از امید ریاضی این ارزش در فضای احتمالی آن در آینده استفاده شود. روشی که آنها ارائه کردند به روش مونت کارلوی حداقل مربعات و یا LSM موسوم است.



شکل 1. مدل ساده شده برای مسئله تصمیم سرمایه‌گذاری در یک پروژه‌ی آماده‌سازی با اختیار درنگ

ارزشیابی یک پروژه‌ی سرمایه‌گذاری با اختیار درنگ با روش LSM شامل سه مرحله‌ی اصلی می‌باشد:

**الف - ابتدا** تحقق‌هایی مجازی از قیمت‌های ممکن شبیه‌سازی می‌شود. برای نزدیک شدن به واقعیت لازم است تعداد بسیار زیادی مسیر قیمت ( $p$  عدد) برای دوره‌ی  $T$  شبیه‌سازی شود. هر مسیر با  $w_i (i = 1, 2, \dots, p)$  نشان داده می‌شود.

**ب - تصمیم** بهینه در هر یک از مسیرهای قیمت با توجه به مقادیر دوگانه  $NV(S_{ij})$  و  $C_{ij+1}$  انجام می‌شود و NPV بیشینه‌ی پروژه‌ی سرمایه‌گذاری در هر یک از مسیرهای قیمت تعیین می‌شود.

**ج - میانگین** NPV های بیشینه به عنوان امید ریاضی NPV پروژه‌ی سرمایه‌گذاری محاسبه می‌شود.

مبنای روش LSM بر این اساس است که می‌توان ارزش مورد انتظار از درنگ در سرمایه‌گذاری را تابعی از قیمت فعلی ماده معدنی دانست. به عبارت دیگر  $C_{ij+1} = f(S_{ij})$ . شکل این تابع ناشناخته است و در روش LSM این تابع با استفاده

طبق فرضی که در این مقاله در نظر گرفته شده است، قیمت ماده معدنی متغیر تصادفی است و بنابراین در هر نقطه‌ی تصمیم‌گیری قیمت مقداری تصادفی و مستقل از مقادیر گذشته و آینده دارد. در نتیجه توابع  $V$  و  $I$  نیز فرآیندی تصادفی خواهند داشت. در این جا برای ساده‌سازی فرض می‌شود که تنها  $V$  تابعی از  $S$  بوده و  $I$  مستقل از  $S$  است، بنابراین در شکل 1 تابع  $V$  به صورت تصادفی و  $I$  به شکل خط ثابتی در طول زمان نشان داده شده است. مدت اعتبار فرصت سرمایه‌گذاری  $T$  است و در بازه زمانی  $[0, T]$  شش نقطه‌ی مجاز با فاصله‌های زمانی یکسان، برای تصمیم‌گیری تعریف شده است. متغیر مربوط به شماره‌ی نقاط تصمیم‌گیری با  $j$  نمایش داده می‌شود. در یک نقطه‌ی تصمیم‌گیری مانند  $j$ ، با فرض اینکه هزینه سرمایه‌گذاری  $I_j$  و ارزش ذخیره معدنی  $V_j$  باشد آنگاه  $NV(S_j)$  ارزش آنی سرمایه‌گذاری  $NV(S_j) = V_j - I_j$  خواهد بود. با فرض اینکه ارزش مورد انتظار سرمایه‌گذار از درنگ و سرمایه‌گذاری در آینده  $C_{j+1}$  باشد، آنگاه تصمیم‌گیری بهینه منجر به انتخاب مقداری بیشینه از میان دو مقدار  $NV(S_j)$  و  $C_{j+1}$  خواهد شد.

در این بخش الگوریتمی بر مبنای روش LSM ارائه می‌شود که به منظور ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی حالتی کلی داشته و قابلیت برنامه‌نویسی رایانه‌ای را نیز دارا باشد.

#### 1- شبیه‌سازی عدم قطعیت به روش مونت کارلو

در روش LSM ابتدا مسیرهایی از متغیر دارای عدم قطعیت با استفاده از مدل تصادفی متناسب با ماهیت متغیر به روش مونت کارلو شبیه‌سازی می‌شود. در این مقاله، متغیر دارای عدم قطعیت قیمت ماده معدنی است. تعداد نقاط شبیه‌سازی در طول هر مسیر به تعداد نقاط مجاز برای تصمیم‌گیری ( $n$ ) بستگی دارد. در مورد اختیارات آمریکایی تعداد نقاط مجاز برای تصمیم‌گیری به سمت بینهایت میل می‌کند، بنابراین هر چه تعداد نقاط مجاز تصمیم‌گیری بیشتر باشد دقت تخمین بیشتر خواهد بود. چنانچه فواصل نقاط تصمیم‌گیری از یکدیگر  $\Delta t$  باشد آنگاه تعداد نقاط تصمیم‌گیری (به غیر از نقطه‌ی صفر تصمیم‌گیری) برابر خواهد بود با

$$n = \frac{T}{\Delta t} + 1$$

شبیه‌سازی در  $n$  نقطه به تعداد  $p$  انجام می‌شود که متغیر معرف شماره‌ی هر مسیر شبیه‌سازی شده با  $i$  نشان داده می‌شود.

#### 2- انتخاب مسیره‌ای دارای $NV(S_j)$ مثبت در نقطه‌ی

$$j = n$$

در این مرحله مسیرهایی از قیمت‌های شبیه‌سازی شده  $I_j$  (که در آن در زمان سررسید  $T$ ) مقدار  $V_j$  از  $I_j$  بیشتر است، مشخص و برای محاسبه‌ی مقدار  $NV(S_{in})$  انتخاب می‌شود.

#### 3- انتخاب مسیره‌ای دارای $NV(S_j)$ مثبت در نقطه‌ی

$$j = n - 1$$

در این مرحله به اندازه‌ی یک گام تصمیم‌گیری یعنی مقدار  $\Delta t$  به عقب حرکت کرده و دوباره مانند مرحله‌ی قبل مسیره‌ای دارای  $NV(S_j)$  مثبت این بار در نقطه- $T - \Delta t$  مشخص می‌شود و مقادیر  $NV(S_{in-1})$  محاسبه می‌شود.

#### 4- تخمین ارزش مورد انتظار از درنگ در نقطه‌ی $j = n$

از ترکیبی خطی از چند جمله‌ای‌ها تقریب زده می‌شود. در واقع با توجه به نظریه‌ی فضای هیلبرتی در ریاضیات، هر تابعی مانند  $f(x)$  را می‌توان به صورت ترکیب خطی از یک سری بردارهای پایه بیان کرد:

$$g(x) = \sum_{k=0}^{\infty} b_k f_k(x) \quad (4)$$

که در آن:  $f_k(x)$  توابع پایه،  $b_k$  ضرایب ثابت می‌باشند.

نوع توابع پایه‌ای که برای مدل کردن  $f(x)$  می‌تواند استفاده شوند عبارت‌اند از: چند جمله‌ای‌های لاگرانژ، چند جمله‌ای‌های هرمیت، چند جمله‌ای‌های لژندر، چند جمله‌ای‌های چیشف، چند جمله‌ای‌های گِجن بائر و چند جمله‌ای‌های ژاکوبی [۹].

در عملیات تخمین معمولاً از تعداد محدودی از جملات پایه ( $l$  جمله) برای تقریب زدن تابع  $f(x)$  استفاده می‌شود.

بنابراین در هر لحظه‌ی تصمیم‌گیری دو مقدار  $NV(S_{ij})$  و  $f(S_{ij})$  مقایسه می‌شوند.  $f(S_{ij})$  به صورت یک چند جمله‌ای با ضرایب مجهول است که ضرایب آن باید برای تخمین  $C_{ij+1}$  محاسبه شود. تخمین ضرایب در روش LSM با استفاده از روش حداقل مربعات انجام می‌گیرد. بر این اساس باید مقادیری شهودی از  $C_{ij+1}$  وجود داشته باشد تا بتوان با بکاربردن روش حداقل مربعات بر آن‌ها، امید ریاضی مقادیر  $C_{ij+1}$  را تخمین زد. به جز در نقطه‌ی تصمیم‌گیری آخر و یا نقطه‌ی  $T$ ، در هیچ کدام از لحظات تصمیم‌گیری، مقادیر شهودی و یا واقعی  $C_{ij+1}$  مشخص نیست. در زمانی که اعتبار فرصت سرمایه‌گذاری پایان می‌یابد، ارزش حاصل از درنگ صفر است، زیرا بعد از آن زمان فرصت سرمایه‌گذاری از سرمایه‌گذار صلب می‌شود. بنابراین با انجام عملیات بهینه‌سازی NPV سرمایه‌گذاری، در هر مسیر قیمت به طور پسرو، می‌توان داده‌های شهودی  $C_{ij+1}$  را محاسبه کرد و روش حداقل مربعات مونت کارلو را در عرض داده‌های شبیه‌سازی شده به کار برد.

#### 3-3 الگوریتم ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی معدنی به

روش LSM

بهینه ارزش‌های بیشینه برای سرمایه‌گذاری، مقادیر  $C_{in}$  و یا  $C_{in-1}$  در زمان  $T$  و یا  $T - \Delta t$  خواهد بود.

#### 6- تکرار مراحل 3 تا 5 برای نقاط تصمیم‌گیری $j = 1$ تا $j = n - 2$

با تکرار مراحل 3 تا 5 برای نقاط تصمیم‌گیری ماقبل نقطه-ی  $j = n - 1$  در هر سناریوی قیمت مانند  $i$ ، به صورت پسر و تا نقطه‌ی  $j = 1$ ، تصمیم‌گیری در طول کل نقاط تصمیم‌گیری  $j = 1 : n$  در هر سناریو، اتخاذ و ارزش بیشینه و بهینه‌ی پروژه‌ی سرمایه‌گذاری محاسبه می‌شود (جدول).

#### 7- تخمین امید ریاضی ارزش خالص فعلی سرمایه‌گذاری

چنانچه مقادیر بهینه و بیشینه در هر سناریوی قیمت  $i$  با  $COPT_{ij}$  (بیانگر نقطه‌ی تصمیم بهینه برای انجام سرمایه‌گذاری در سناریوی قیمت  $i$  است) نمایش داده شود آنگاه در این مرحله مقادیر  $COPT_{ij}$  محاسبه شده در هر سناریوی قیمت به سال صفر تنزیل داده می‌شود و از این مقادیر بر اساس تعداد کل شیبی سازی‌ها یعنی مقدار  $p$ ، میانگین‌گیری می‌شود و بنابراین مقدار حاصل امید ریاضی ارزش خالص فعلی پروژه‌ی سرمایه‌گذاری است.

جدول 7. تصمیم بهینه و مقدار بیشینه با توجه به حالت‌های ممکن در تصمیم‌گیری

حالت‌های ممکن در تصمیم-گیری		تصمیم بهینه	ارزش بیشینه
$f_{ij} < V(S_{ij-1}) - I$	سرمایه‌گذاری در زمان $t_{ij}$	$NPV_{ij} = V(S_{ij-1}) - I$	$NPV_{ij} = 0$
$f_{ij} > V(S_{ij-1}) - I$	درنگ در سرمایه‌گذاری در زمان $t_{ij-1}$	$NPV_{ij-1} = 0$	$NPV_{ij}$ بدون تغییر

در این مرحله با توجه به اینکه یک گام تصمیم‌گیری به عقب برداشته شده و نقطه‌ی تصمیم‌گیری زمان  $T - \Delta t$  و یا نقطه‌ی  $n-1$  است باید در مسیرهایی که در مرحله‌ی 3 انتخاب شده است ارزش مورد انتظار از موکول کردن سرمایه‌گذاری به زمان  $T$ ، یعنی مقادیر  $C_{in}$  تخمین زده شود و به عبارت دیگر مقادیر  $f(S_{in-1})$  محاسبه شود. محاسبه‌ی مقادیر  $f(S_{in-1})$  به روش حداقل مربعات (LS) است. داده‌های شهودی برای اجرا کردن روش LS مقادیر کاهش شده‌ی  $C_{in}$  در نقطه‌ی  $T$  و قیمت‌های شبیه‌سازی شده در نقطه‌ی  $T - \Delta t$  می‌باشد. مقادیر با استفاده از نرخ بهره‌ی بدون ریسک به اندازه‌ی یک دوره تنزیل می‌شوند.

#### 5- اتخاذ تصمیم بهینه در نقطه‌ی $j = n - 1$

مقادیر  $NV(S_{in-1})$  و  $f(S_{in-1})$  در مراحل قبل محاسبه شده است. در این مرحله چنانچه مقدار مقدار  $f(S_{in-1})$  از  $NV(S_{in-1})$  بزرگتر باشد تصمیم بهینه عدم سرمایه‌گذاری آنی در زمان  $T - \Delta t$  و موکول آن به زمان آینده یعنی  $T$  است. اگر مقدار  $NV(S_{in-1})$  از  $f(S_{in-1})$  بزرگتر باشد آنگاه تصمیم بهینه سرمایه‌گذاری آنی در زمان  $T - \Delta t$  و عدم موکول آن به آینده است. به این ترتیب بسته به تصمیم

#### 4- ارزشیابی پروژه‌ی آماده‌سازی ذخیره‌ی طلای لایه‌پیر

در این مقاله پروژه‌ی سرمایه‌گذاری معدن طلای شرکت استرالیایی لایه‌پیر در کشور گینه‌ی نو به عنوان یک پروژه‌ی واقعی، با استفاده از روش ارائه شده، مورد تحلیل قرار گرفته است. اطلاعات این پروژه برگرفته از مقاله کلی [۱۹] است. در سال 1995 این ذخیره‌ی طلا به مدت 40 سال به اجاره‌ی شرکت لایه‌پیر درآمد. عمر معدن 36 سال تخمین زده شد و دو سال زمان نیز برای آماده‌سازی آن پیش‌بینی شد. بنابراین برای شرکت 2 سال اضافی باقی می‌ماند که در این 2 سال

مدیریت اختیار آن را دارد که در صورت لزوم عملیات آماده‌سازی خود را به تعویق بیندازد. در مقاله‌ی کلی [۱۹] پروژه‌ی آماده‌سازی این معدن طلا به روش درخت دودویی ارزشیابی شده است. در این مقاله نیز مانند مقاله کلی [۱۹] در هر سال 4 نقطه برای اتخاذ تصمیم سرمایه‌گذاری فرض می‌شود.

برای استفاده از الگوریتم ارائه شده، ابتدا لازم است تا مدلی مناسب برای شبیه‌سازی قیمت انتخاب استفاده شود. علاوه بر آن لازم است تا نوع توابع پایه و تعداد جملات آن در تشکیل

به دست خواهد داد و ما نیز در این جا از چهار جمله اول توابع توانی استفاده می کنیم:

$$C_{ij+1} \cong f(S_{ij}) = b_0 + b_1(S_{ij}) + b_2(S_{ij})^2 + b_3(S_{ij})^3 \quad (7)$$

متغیرهای فنی و اقتصادی لازم و مقادیر آن برای مسئلهی ارزشیابی ذخیره ی لایه یی در جدول 8 ارائه شده است.

جدول 8. متغیرهای اقتصادی پروژه سرمایه گذاری ذخیره ی لایه یی و مقادیر عددی آن

متغیر	V	I	T	S	rf	d
مقدار	\$365	\$320	2 سال	%21/41	%4/00	%3/88

در این مطالعه الگوریتم ارزشیابی ارائه شده با استفاده از نرم افزار MATLAB در ساختار ماتریسی برنامه نویسی شده و با اطلاعات ذخیره ی لایه یی اجرا شده و در نهایت نتایج آن در نمودارهای 2 تا 5 ارائه شده است.

### 3-4- تحلیل نتایج

در نمودار 2 تعداد 40 سناریوی قیمت شبیه سازی شده برای قیمت طلا به صورت فصلی (4 ماهه) در طی 2 سال نمایش داده شده است. قیمت طلا در سال صفر 365 دلار بر اونس فرض شده است. همان طور که مشاهده می شود، واریانس قیمت با افزایش فاصله ی زمانی نسبت به سال صفر، افزایش می یابد.

در این جا قبل از شروع تحلیل نتایج، یک سری از عباراتی که در تحلیل ها به کار برده خواهد شد، تعریف می شود.

ا. ارزش خالص فعلی بدون اختیارات یا NPVwithoutoptions: ارزش خالص فعلی

پروژه به روش DCF.

ب. ارزش خالص فعلی با اختیارات یا NPVwithoption: ارزش خالص فعلی پروژه

به روش LSM.

ج. سیگما یا Sig: نوسان داده های تاریخی قیمت.

د. قیمت سر به سری یا Cut Off Price: قیمتی

است که در آن مقدار ارزش خالص فعلی از پروژه -

ی بهره برداری یعنی V با هزینه سرمایه گذاری در

مدل رگرسیونی مورد استفاده در تخمین ارزش های مورد انتظار از درنگ  $(C_{ij+1})$ ، تعیین شود.

### 1-4- مدل سازی قیمت طلا

مطالعات پیشین نشان می دهد که رفتار قیمت واقعی شده-ی طلا در طول زمان تصادفی بوده و از مدل های معادلات دیفرانسیلی GBM تبعیت می کند. بنابراین در این مقاله شبیه سازی قیمت طلا با به کار بردن روش مونت کارلو بر مدل GBM انجام می شود. مدل GBM یک معادله ی دیفرانسیل تصادفی است که شامل دو بخش روند دار و تصادفی است. یکی از انواع معادله GBM با در نظر گرفتن روند در رابطه ی 5 ارائه شده است. این نوع مدل GBM در مدل سازی قیمت طلا استفاده می شود.

$$dS = (rf - d)Sdt + sSdZ \quad (5)$$

ds: تغییرات جزئی قیمت، rf: نرخ بهره ی بدون ریسک،

S: نوسانات تغییر قیمت، dZ: تغییرات جزئی متغیر تصادفی Z که از یک فرآیند تصادفی که نوعی از قدم زدن تصادفی<sup>18</sup> است پیروی می کند، d: بیان گر سود ناشی از در اختیار داشتن ذخیره ی از فلز است. در توضیح ماهیت متغیر d<sup>19</sup> به عبارت دیگر سود ناشی فرصت در اختیار داشتن ذخیره ی از فلز بحث بسیار مفصلی وجود دارد و برای مطالعه-ی آن به منبع [13] مراجعه شود.

چنانچه تغییرات جزئی زمان را به فواصل زمانی  $\Delta t$  تبدیل کنیم، آنگاه رابطه ی قیمت جاری فلز به صورت رابطه ی 6 خواهد بود.

$$S_j = [1 + (rf - d)\Delta t]S_{j-1} + S_{j-1}s\sqrt{\Delta t}e_i \quad (6)$$

### 2-4- انتخاب مدل رگرسیونی مناسب

همان طور که در بخش 3-2 به آن اشاره شد، در مدل رگرسیونی که برای تخمین تابع ارزش مورد انتظار از درنگ در سرمایه گذاری استفاده می شود از توابعی پایه استفاده می شود. کورتازار [23] نشان داد که نوعی از توابع پایه به نام توابع کاهش یافته، ضمن داشتن دقت قابل قبول در تخمین، سرعت بسیار بالایی را نیز در همگرایی دارا هستند. توابع کاهش یافته در واقع همان توابع توانی هستند که او نشان داد تنها به کار بردن چهار جمله ی اول آن ها، دقت قابل قبولی را در تخمین

آماده‌سازی ذخیره برابر است و در نتیجه NPV در این قیمت برابر صفر است.

یکی از نمودارهای کلاسیک تحلیل‌های RO، نمودار تغییرات NPV بر حسب تغییرات قیمت است. در نمودار 3 تغییرات مقدار NPV پروژه به ازای هر اونس طلای استخراج شده بر حسب تغییرات قیمت طلا نشان داده شده است. مقدار NPV به روش DCF در قیمتی بین قیمت 310 تا 320 دلار بر اونس از مقداری منفی به مقداری مثبت تبدیل می‌شود و به صورت خطی مستقیم از مقدار 300- به حدود +500 دلار بر اونس می‌رسد. بنابراین قیمت سر به سری NPV در روش DCF برای پروژه‌ی سرمایه‌گذاری ذخیره، مقداری بین 310 تا 320 دلار بر اونس است. نقاط مربع تو پر در نمودار 3 بیانگر تغییرات مقدار NPV به روش LSM با فرض نوسان معادل 21/41% است. همان طور که مشاهده می‌شود در تمامی مقادیر قیمت، مقدار NPV روش حاصل از LSM از NPV حاصل از روش DCF بیشتر است. در مقادیری که NPV به روش DCF منفی می‌باشد، NPV روش LSM که از روش‌های RO می‌باشد، مقدار صفر و یا مثبت به خود گرفته است. این تفاوت در مقادیر دو روش از ارزش اضافی اختیارات که به ارزش پایه‌ی پروژه می‌افزاید، ناشی می‌شود. این نتیجه مویبد این مهم است که NPV واقعی پروژه بزرگتر از NPV حاصل از روش DCF بوده و شامل دو بخش است (رابطه‌ی 2). قیمت سر به سری در حالت نوسان 21/41% به روش LSM بین 100 تا 110 دلار بر اونس قرار دارد که در مقایسه با روش DCF نشان می‌دهد در واقعیت، در صورت وجود انعطاف‌پذیری در سیستم مدیریتی، پروژه در قیمت‌هایی بسیار پایین تر از آنچه که روش DCF پیش‌بینی می‌کند، توجیه اقتصادی پیدا می‌کند. در قیمت سر به سری به روش LSM، مقدار NPV روش DCF حدود 100- دلار بر اونس است. با توجه با این که مقدار ذخیره‌ی طلای خالص قابل استخراج ذخیره‌ی لایه‌ی 23/6 میلیون اونس است، در زمانی که پروژه از نگاه RO توجیه اقتصادی دارد، ارزشی که با استفاده از روش DCF قابل تخمین زده شدن نیست، معادل 2360 میلیون دلار است.

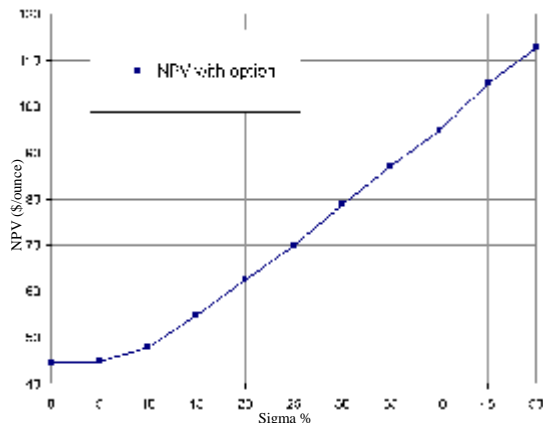
نقاط مثلث تو خالی در نمودار 3 بیانگر تغییرات NPV به روش LSM با نوسان 50% است. همان‌طور که مشاهده می‌شود به ازای قیمت‌های ثابت مقادیر NPV نسبت به مقادیر

آن با فرض نوسان 21/41% افزایش پیدا کرده است. این نتیجه تأییدکننده‌ی اثر مثبت افزایش واریانس (عدم قطعیت) بر بیشتر ارزش یافتن اختیارات و یا انعطاف‌پذیری و در نتیجه افزایش NPV کلی پروژه است.

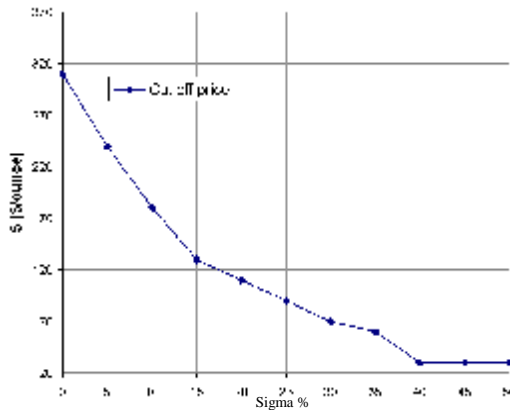
تأثیر مثبت افزایش واریانس قیمت بر ارزش پروژه در نمودار 4 و 5 به طور اختصاصی تر نشان داده شده است. در نمودار 4 با در نظر گرفتن قیمت 365 دلار بر اونس در سال صفر تغییرات NPV پروژه به روش LSM نسبت به تغییرات نوسان قیمت نشان داده شده است. در این نمودار نیز مشاهده می‌شود با افزایش سیگما (واریانس) NPV پروژه به ازای هر اونس طلا افزایش می‌یابد.

در نمودار 5 با فرض قیمت 365 دلار بر اونس طلا در سال صفر تغییرات قیمت سر به سری به روش LSM بر حسب تغییرات نوسان قیمت نشان داده شده است. بر اساس این نمودار با افزایش سیگما قیمت سر به سری کاهش پیدا کرده است.

با کمی دقت در مطالعه‌ی رفتار حدی NPV روش LSM در نمودارهای 3، 4 و 5 می‌توان به نتایج مهم دیگری نیز دست یافت که همگی مبنایی نظری در RO دارند. در نمودار 3 مشاهده می‌شود که در حد، با افزایش قیمت طلا از مقداری به بعد، NPV در هر سه نمودار به یکدیگر و به مقداری خطی مربوط به NPV روش DCF میل می‌کنند. مفهوم این رفتار آن است که چنانچه قیمت‌ها از حدی بالاتر روند، انتظار می‌رود که سیستم مدیریتی پروژه، انعطاف و یا تغییر سیاستی از خود بروز ندهد زیرا که طبیعی است که در قیمت‌های بالا، سیاست بهینه در جهت بیشینه کردن NPV سرمایه‌گذاری آنی است و مخاطره‌ی مالی به حدی پایین می‌آید که دیگر انعطاف‌پذیری نقش چندانی پیدا نمی‌کند و ارزش آن به سمت صفر میل می‌کند. بنابراین باید انتظار داشت که با توجه به رابطه‌ی 3 در قیمت‌های حدی و بسیار بالا، NPV کلی پروژه و یا NPV روش RO، با هر واریانس دلخواهی به سمت NPV حاصل از روش DCF میل کند. از سوی دیگر همان‌طور که در نمودار 3 مشاهده می‌شود، با کاهش مقدار واریانس قیمت، نمودار NPV روش LSM به NPV روش DCF میل می‌کند اما با این تفاوت که وجود اختیار عدم سرمایه‌گذاری در قیمت‌های پایین باعث می‌شود که NPV روش LSM مانند هر روش RO دیگر منفی نشود. در توضیح این



نمودار 4. NPV پروژه ی آماده سازی معدن لایه‌بیر به روش LSM به عنوان تابعی از نوسان قیمت طلا.



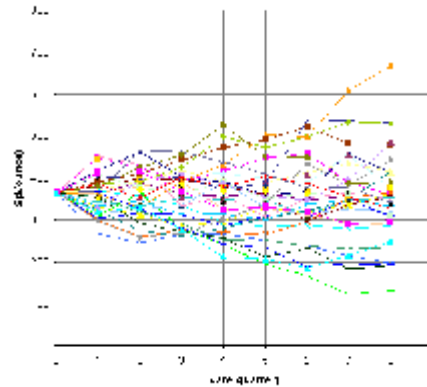
نمودار 5. قیمت سربه سری روش LSM در پروژه ی آماده‌سازی معدن لایه‌بیر به عنوان تابعی از نوسان قیمت طلا.

### 5- نتیجه‌گیری

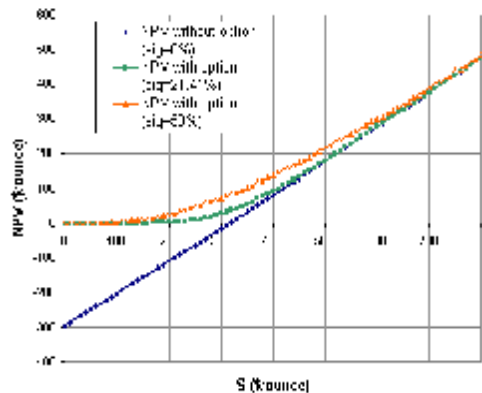
روش‌های ارزشیابی بر مبنای RO روش‌هایی هستند که قادرند ارزش طرح‌های اقتصادی از جمله طرح‌های آماده‌سازی معدنی را با فرض‌هایی واقع بینانه‌تر نسبت به روش‌های سنتی مانند DCF تخمین زنند. در این مقاله سعی شد روشی در ارزشیابی طرح‌های آماده‌سازی با دیدگاه RO ارائه شود که بیشترین سازگاری را با شرایط واقعی طرح‌های معدنی داشته باشد. این روش، روش LSM است که در این مقاله ضمن ارائه الگوریتمی برای کاربرد آن در ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی، سعی شد تا یک پروژه‌ی حقیقی نیز توسط برنامه‌ای نوشته شده به زبان MATLAB ارزشیابی شود.

در طرح‌های آماده‌سازی معدنی گاهی مدت زمان واگذاری ذخیره به بهره‌برداران به گونه‌ای است که بهره‌بردار این اختیار

رفتار می‌توان گفت که کاهش واریانس به معنای کاهش عدم قطعیت است و در حالت کم بودن عدم قطعیت انعطاف‌پذیری ارزش کمی دارد و در عدم قطعیت صفر اصلاً ارزشی ندارد، بنابراین با توجه به رابطه‌ی 3 مقدار NPV روش LSM در شرایط عدم قطعیت صفر برابر با مقدار NPV روش DCF است. این به معنای آن است که شرایط کاربرد روش‌های RO وجود عدم قطعیت و شرایط کاربرد روش DCF وجود قطعیت است.



نمودار 2. شبی سازی قیمت طلا به روش مونت کارلو با استفاده از مدل GBM (سال 1996 و 1997).



نمودار 3. NPV پروژه ی آماده‌سازی معدن لایه‌بیر به عنوان تابعی از قیمت طلا به دو روش LSM و DCF.

آماده‌سازی معدنی نیست به ویژه آن که طرح‌های آماده‌سازی معدنی و به‌طور کلی طرح‌های معدنی عدم قطعیت بسیار زیادی دارند.

همچنین همان‌طور که مشاهده شد در فرآیند ارزشیابی به روش LSM که یکی از روش‌های مبتنی بر RO است از مسئله‌ی تخمین نرخ ریسک (نرخ تنزیل) مناسب برای پروژه خبری نیست و در تمام محاسبات تنها از نرخ تنزیل بدون ریسک استفاده شده است که تخمین آن بسیار ساده‌تر از تخمین نرخ ریسک پروژه می‌باشد. علاوه بر این روش DCF قادر نیست تا اثر تغییرات واریانس قیمت را بر مقدار NPV پروژه منعکس نماید در حالی که در دنیای واقعی، واریانس و نوسانات قیمت یکی از عوامل مهم موفقیت و یا شکست پروژه است.

بنابراین پیشنهاد می‌شود که در طرح‌های توجیه اقتصادی پروژه‌های آماده‌سازی معدنی و به‌طور کلی پروژه‌های معدنی به دلایل ذکر شده از روش‌های مبتنی بر RO و به خصوص روش LSM استفاده شود و نتایج آن با روش DCF مقایسه شود و تنها شاخص‌های حاصل از روش DCF مبنای تصمیم‌گیری قرار نگیرد. این امر به ویژه در زمانی که قیمت ماده معدنی به حدی است که مقدار NPV روش DCF منفی و یا صفر است، مهم است.

را پیدا می‌کند تا چند سال عملیات آماده‌سازی معدن را به تعویق بیندازد. این نوع اختیار در فرهنگ نظریه‌ی RO دارای ارزش است و به نام اختیار صبر و یا درنگ در سرمایه‌گذاری موسوم است. در مطالعه‌ی موردی این مقاله که برگرفته از ذخیره‌ای واقعی از مقاله‌ی کلی [۱۹] است نشان داده شد که چنانچه سرمایه‌گذار دو سال فرصت تعویق عملیات آماده‌سازی را داشته باشد و قیمت طلا در سال ارزشیابی (قبل از شروع دو سال) 365 دلار بر اونس و نوسان تخمین زده شده برای آن دو سال، برابر 21/41% باشد آنگاه NPV تخمینی پروژه‌ی آماده‌سازی با دیدگاه RO حدود 65 دلار برای هر اونس طلای استخراجی خواهد بود. این در حالی است چنانچه در ابتدای شروع 2 سال به طور آنی اقدام به آماده‌سازی شود و توجهی به وجود اختیار درنگ در سرمایه‌گذاری نشود، آنگاه مقدار NPV در روش DCF با فرض قیمت 365 دلار بر اونس در سال سرمایه‌گذاری، حدود 45 دلار برای هر اونس طلای استخراجی خواهد بود. این به معنای افزایش بیش از 44% ارزش پروژه در صورت در نظر گرفتن اختیار درنگ در آماده‌سازی است. این اختلاف تا حدی زیاد است که نادیده گرفتن آن ممکن است باعث رد توجیه‌پذیری اقتصادی پروژه شود. بنابراین روش DCF به خصوص در شرایط وجود انعطاف-پذیری مدیریتی و همزمان با آن عدم قطعیت بالا، روشی مطمئن در اتخاذ تصمیم سرمایه‌گذاری و ارزشیابی طرح‌های

## منابع

- [6]. Tomonari Shinoda (2010): "Capital Budgeting Management Practices in Japan : A Focus on the Use of Capital Budgeting Methods", Economic Journal of Hokkaido University.
- [7]. Eva Liljebloom and Mika Vaihekoski (2004): "Investment Evaluation Methods and Required Rate of Return in Finnish Publicly Listed Companies", Finnish Journal of Business Economics, No. 1, 9-24.
- [8]. T.J Smit and Lenos Trigeorgis (2004): "Strategic Investment: Real Options and Games". Princeton: Princeton University Press. ISBN .
- [9]. F. Black and M. Scholes (1973) "The Pricing of Options and Corporate Liabilities," Journal of Political Economy, 81(May/June 1973), 637-659;
- [10]. R. C. Merton (1973) "Theory of Rational Option Pricing," Bell Journal of Economics and Management Science, 4 (Spring 1973), 141-83.
- [1]. Howard L. Hartman, Jan M. Mutmansky, (2002) "Introductory Mining Engineering-2nd ed", Publisher: Wiley.
- [2]. Ralph W. Adler, Strategic Investment Decision Appraisal Techniques: The Old and the New, Business Horizons 2000.
- [3]. John C. Hull (2006) "OPTIONS, FUTURES & OTHER DERIVATIVES", Pearson Prentice Hall, Fifth Edition.
- [4]. P. A. Ryan and G. P. Ryan (2002) "Capital Budgeting Practices of the Fortune 1000: How have things changed?" Journal of Business and Management, 8(4), pp.355-364.
- [5]. J. R. Graham and C. R. Harvey, (2001) "The Theory and Practice of Corporate Finance: Evidence from the Field," Journal of Financial Economics, 60 (1-2), pp.187-243.

- [14]. M. MORENO AND J. F. NAVAS (2003). "On the Robustness of Least-Squares Monte-Carlo for Pricing American Derivatives, Review of Derivatives Research", 6, 2, 107-128.
- [15]. A. Gamba (2003) "Real Options Valuation: a Monte Carlo Approach". University of Verona.
- [16]. M. Brennan ; E. Schwartz (September 1978). "Finite Difference Methods and Jump Processes Arising in the Pricing of Contingent Claims: A Synthesis". Journal of Financial and Quantitative Analysis (University of Washington School of Business Administration) 13 (3): 461 – 474.
- [26]. R. McDonald and D. Siegel (1986). "The Value of Waiting to Invest," Quarterly Journal of Economics 101,4: 707-727.
- [27]. F. Longstaff, E. Schwartz (2001) "Valuing american options by simulation: A simple least-squares approach." The Review of Financial Studies 14, 113-147.
- [11]. L. ANDERSEN (2002) " How Options Analysis Can Enhance Managerial Performance" European Management Journal Vol. 20, No. 5, pp. 505-511, 2002.
- [12]. J. Mun (2002) " Real options analysis : tools and techniques for valuing strategic investments and decisions " p. cm. (Wiley finance series) ISBN 0-471-25696-X.
- [13]. M.J. Brennan, E.S. Schwartz, (1985) "Evaluating natural resource investments". J. Bus. 58 (2), 135-157.
- [17]. John C. Cox, A. Ross. Stephen and Mark Rubinstein. 1979. "Option Pricing: A Simplified Approach." Journal of Financial Economics 7: 229-263.
- [18]. Richard J. Rendleman, Jr. and Brit J. Bartter. 1979. "Two-State Option Pricing". Journal of Finance 24: 1093-1110.
- [19]. S. Kelly (1998). A binomial lattice approach for valuing a mining property IPO. Quart. Rev. Econom. Finance 38, 693-709.
- [20]. Phelim P. Boyle, (1977): "Options: A Monte Carlo Approach". Journal of Financial Economics 4, 4, 323-338.
- [21]. S. A. A. Sabour, R. Poulin, (2005) "Accuracy of least-squares Monte Carlo in valuing mineral properties" MPES 2005 and CAMI 2005.
- [22]. A. E. Tskrekos, M. B. Shackleton, R. Wojakowski (2003) "Evaluating Natural Resource Investments Using the Least-Squares Monte Carlo Simulation Approach."
- [23]. G. Cortazar, M. Gravet and J. Urzua (2005) "The valuation of multidimensional American real options using computer-based simulation". The 9th Annual Real Options Conference.
- [24]. S. A. A. Sabour, R. G. Dimitrakopoulos (2007) "Evaluating mine plans under uncertainty: Can the real options make a difference?" Resources Policy 32 (116-125).
- [25]. B. Lemelin, S. A. A. Abdel Sabour, R. Poulin. (2006). Valuing mine 2 at raglan using real options. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 20(1):46-56.

- 
- 1 . Discounted Cash Flow.
  - 2 . Net Present Value.
  - 3 . Capital Asset Pricing Model.
  - 4 . Real Options.
  - 5 . Black.
  - 6 . Scholes.
  - 7 . Merton.
  - 8 . Time to expiration.
  - 9 . American options.
  - 10 . Closed form.
  - 11 . Partial differential equations (PDE).
  - 12 . Finite differential.
  - 13 . Binomial tree.
  - 14 . Trinomial tree.
  - 15 . Switching option.
  - 16 . Least Squares Monte-Carlo.
  - 17 . Kelly.
  - 18 . Random Walk.
  - 19 . Convenience yield.