دوفصلنامه اقتصاد پولی، مالی(دانش وتوسعه سابق) دوره جدید، سال بیست و یکم، شمارۀ۷، بهار و تابستان ۱۳۹۳

بررسی اثر بازدهی آسایش بر استخراج نفت در میدان نفت شنی:کاربرد اختیارات واقعی

محسن ابراهیمی[۱]
دانشیار دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه بوعلی سینا همدان
عزت‌الله عباسیان[۲]
دانشیار دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه بو علی سینا همدان
محمد مزرعتی[۳]
دانشیار موسسه مطالعات انرژی
عظیم نظری[۴]
دانشجوی دکتری علوم اقتصادی دانشگاه بوعلی سینا همدان

تاریخ دریافت : ۱۳۹۲/۷/۲۱ تاریخ پذیرش : ۱۳۹۲/۱۱/۲۸

چکیده

در طی سالیان اخیر بازار انرژی نه تنها به عنوان بزرگترین بازار کالا، بلکه با تعریف مشتقات کالایی به یک بازار مالی پیشرفته در جهان تبدیل گردیده است. بنابراین در بررسی بازار انرژی می‌توان از تکنیک‌های مورد استفاده در بازارهای مالی به ویژه تکنیک‌های ارزش‌گذاری بهره گرفت. یکی از تکنیک‌های ارزش‌گذاری، روش قیمت‌گذاری اختیارات در بازارهای مالی است که تحت عنوان اختیارات واقعی برای ارزش‌گذاری دارایی‌های حقیقی می‌تواند استفاده شود. تئوری اختیارات در ارزش‌گذاری دارائی مالی از معادله دیفرانسیل تصادفی قیمت دارائی استفاده می‌نماید. چون ماهیت کالا و دارائی متفاوت است، بنابراین بایستی این معادلات تغییر یابند. یکی از این تغییرات وجود بازدهی آسایش است که باعث ایجاد انحراف از سطح بلندمدت قیمت کالا می‌شود.

1- ebrahimimo@yahoo.com
2- abbasian@basu.ac.ir
3- mo_mazraati@yahoo.com
۴- نویسنده مسئول: az.nazari61@gmail.com

در یک میدان نفتی بر اساس قیمت تصادفی نفت ممکن است سه اختیار باز کردن، تعطیلی موقت و تعطیلی دائم به وجود آید. هدف این مقاله بررسی اثرات بازدهی آسایش تصادفی و غیر تصادفی بر ارزش اختیارات در یک میدان نفتی بر اساس پارامترهای تخمین زده شده، اطلاعات فیزیکی و اقتصادی میدان نفت شنی در کانادا است.

یافته‌های تحقیق بیانگر آن است در حالتی که بازدهی آسایش تصادفی است ارزش میدان نفتی کاهش می‌یابد و هم‌چنین در قیمت‌های بالاتری نسبت به حالت ثابت، ارزش اختیارات موجود صفر می‌شود و ارزش میدان نفتی با روشهای ارزش فعلی و اختیارات با هم برابر می‌گردند. هم‌چنین بازه قیمت تغییر حالت تغییر می‌کند. در نهایت با افزایش ضریب همبستگی بین قیمت نقدی و بازدهی آسایش ارزش میدان نفتی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: فیلتر کالمن، قیمت نقدی نفت، بازدهی آسایش ، اختیارات واقعی و قیمت‌گذاری اختیارات

طبقه‌بندی JEL: *Q4, C13 and C15*

Investigation of Convenience Yield Effects on Oil Extraction in Sandy Oil Field: Application of Real Option

Mohsen Ebrahimi
Associate Professor, Faculty of Economic and Social Science, Bu-Ali Sina University
EzatollahAbbasian
Associate Professor, Faculty of Economic and Social Science, Bu-Ali Sina University
Mohammad Mazraati
Associate Professor, Faculty of International Institute of Energy Economics Review
AzimNazari
Ph.D Student of Economic Bu-Ali Sina University

Received: 13 Oct 2013 **Accepted:** 17 Feb 2013

Abstract

During recent years, energy market has become the largest commodity market. On the other hand with the definition of commodity derivatives, it has become advanced financial markets in the world. Therefore, we must utilize the techniques used in financial markets, especially the valuation

techniques. One of valuation techniques in financial markets is options pricing method that can be used for real asset as real option. Options theory use stochastic differential equations of price for valuation of financial asset. Because the nature of the goods and assets is different so this equation should be changed.
Based on stochastic crude oil spot price, it is possible that there are three options such as opening, temporary closure and abandonment in oil field. The purpose of this paper is investigation effects of constant and stochastic convenience yield on value of options in the oil field based on the estimated parameters, physical and economic data of sandy oil field and the extraction of switching price for switch from one option to another.
Research findings show when the convenience yield is stochastic, value of oil field decrease and also value of options is zero in higher spot price than constant convenience yield. In other words, the value of oil field by present value and options are equal in higher spot price. Also the interval of switching price changes whit moving of constant to stochastic convenience yield. Finally with increasing of correlation coefficient of spot price and convenience yield, value of oil field reduced.

Key Words: Kalman Filter, Oil Spot Price, Convenience Yield, Real Options and Option Pricing

JEL Classification: Q4, C13 and C15

۱. مقدمه

از سال ۱۹۳۸ بازدهی آسایش نقش مهمی را در توضیح رابطه بین قیت نقـدی و آتـی در بـازار کالا بازی می‌نماید. بنابراین یکی از تفاوت‌های دارایی مالی و فیزیکی (کالا) در مدل‌سازی قیمـت نقدی، بحث بازدهی آسایش است. بازدهی آسایش [۱] یک متغیر مرکـزی در تئـوری ذخیـره اسـت که اطلاعات انتقال‌یافته توسط قیمت آتی و عملکرد کشف‌شده از بـازار مشـتقات کـالا را بررسـی می‌نماید. وجود بازدهی آسایش باعث ایجاد تفاوت میـان قیمـت آتـی و نقـدی مـی‌شـود، بنـابراین نمی‌توان از قیمت آتی به عنوان یک جایگزین [۲] در بازار کالا به جای قیمت نقدی استفاده کرد [۳]. بر اساس قیمت نقدی نفت خام، در یک میدان نفتی ممکن اسـت یـک سـری اختیـارات ماننـد بسـتن

1- Convenience Yield
2- Proty

۳- زیرا قیمت نقدی به صورت مستقیم قابل مشاهده نیست

پروژه، باز کردن و رها کردن به وجود آید. بنابراین برای ارزیابی صحیح اقتصادی از میدان نفتی، اختیارات فوق باید ارزش‌گذاری شوند.

از طرف دیگر روش‌های سنتی ارزیابی سرمایه‌گذاری، مبتنی بر جریان نقدی تنزیل شده هستند و ارزش پروژه توسط روش ارزش فعلی انجام می‌شود. طبق قاعده سرمایه‌گذاری بهینه، سرمایه‌گذاری زمانی انجام می‌گیرد که ارزش فعلی پروژه مثبت باشد. روش جریان نقدی تنزیل‌شده دارای معایبی است. اول این‌که، برآورد جریان نقدی آتی به آسانی صورت نمی‌گیرد. زیرا قیمت محصول و مقدار تولید و هزینه سرمایه‌گذاری معمولاً به صورت تصادفی می‌باشند. دوم این‌که، روش جریان نقدی تنزیل شده از نرخ تنزیلی استفاده می‌کند که منعکس‌کننده ریسک جریان‌های نقدی است و این نرخ تنزیل به طور اجتناب‌ناپذیر دارای خطای برآورد است. در نهایت، روش جریان نقدی تنزیل شده انعطاف‌پذیری مدیریتی موجود در پروژه را در بر نمی‌گیرد. این انعطاف‌پذیری‌ها تحت عنوان اختیارات یاد می‌شوند و دارای ارزش می‌باشند و بایستی ارزش‌گذاری شوند. این مسئله تحت عنوان ارزش‌گذاری کمتر از حد شناخته می‌شود. بنابراین تصمیم‌گیرنده، یک پروژه خوب را رد می‌کند و یک تصمیم گیری نادرست تحت این روش انجام می‌دهد.

حال با توجه به نقائص فوق در روش‌های سنتی، باید به دنبال روش دیگر بود تا ارزش‌گذاری درست انجام گیرد. یکی از این روش‌ها، روش اختیارات واقعی[1] است[2]. این روش مبتنی بر تئوری قیمت‌گذاری اختیارات است.

در بازار سرمایه (مالی) اختیاراتی به سرمایه‌گذار داده می‌شود تا به واسطه آن ریسک سرمایه‌گذاری کاهش یابد یعنی در صورت وجود نوسانات نامطلوب زیان مالی را کاهش دهد. اختیارات در واقع یک زیر مجموعه‌ای از مشتقات مالی هستند که بایستی قیمت‌گذاری شوند.

در بازارهای مالی، یک اختیار برای دارنده دارایی یک ***حق*** در خرید یا فروش یک مقدار مشخص از یک دارائی با یک قیمت مشخص در یک تاریخ انقضا یا قبل از آن تاریخ انقضا فراهم

1- Real Option Method

۲- روش دیگر آنالیز تصمیم گیری می باشد که مبتنی بر برنامه ریزی تصادفی است.

می‌کند و ***هیچ اجباری*** در اجرای آن نیست. این قیمت مشخص، قیمت توافق[1] یا قیمت اعمال[2] نامیده می‌شود. بنابراین اختیار یک حق است و در اجرای آن هیچ اجباری نیست یعنی نگهدارنده آن می‌تواند حق را اعمال نکند و اجازه بدهد آن منقضی شود. اختیارات مالی برای دارائی‌های مالی کاربرد دارد، اما برای دارائی‌های فیزیکی مانند کالا و انرژی باید ویژگی‌هایی فیزیکی کالا نیز به شمار آید، بدین منظور از اختیارات واقعی استفاده می‌شود. منشا اختیارات واقعی از اختیارات مالی است، بنابراین می‌توان از تکنیک‌های موجود برای ارزش‌گذاری اختیارات و اعمال سیاست بهینه برای اختیارات واقعی استفاده کرد.

در کاربرد اولیه، روش اختیارات واقعی برای ارزیابی طرح‌هایی به کار می‌رود که دارای سرمایه‌گذاری اولیه بالا و برگشت‌ناپذیر هستند. ثانیاً برای کالاهایی کاربرد دارد که ویژگی‌های بازار آتی آن به خوبی توسعه‌یافته باشد. هم‌چنین کاربرد اصلی اختیارات طبیعی برای کالا یا دارایی فیزیکی می‌باشد.

از آنجا که صنعت انرژی دارای سرمایه‌گذاری اولیه بالا و برگشت‌ناپذیر است، بنابراین باید در این حوزه تصمیمات قابل اعتماد و ارزش‌گذاری‌هایی صحیح انجام شود. هم‌چنین مقررات‌زدایی‌های انجام شده در این بازار و خروج آن از انحصار طبیعی باعث شده است که مشتقات زیادی در این بازار تعریف شوند. در طی سالیان اخیر بازار انرژی به بزرگترین بازار کالا در سطح جهان تبدیل شده است و از فعالیت کالای فیزیکی اولیه به بازار مالی پیشرفته تبدیل شده است. بنابراین باید از تکنیک‌های مورد استفاده در بازارهای مالی بهره گرفت تا اینکه ریسک را در این بازارها کاهش داد و زمینه افزایش سرمایه‌گذاری را فراهم کرد. در نهایت چون خروجی این صنایع به صورت کالا می‌باشد، بنابراین در این صنایع از اختیارات واقعی می‌توان استفاده کرد.

بعضی از میادین نفتی در ایران برای بهبود[3] یا تولید پایدار نیاز به تزریق گاز دارند، بنابراین می‌توان این مطالعه را برای این گونه میادین به کار برد اما از انجا که مشخصات فیزیکی و اقتصادی این میادین در دسترس نمی‌باشد، برای این منظور از یک میدان نفت شنی در کانادا

1- Strike Price
2- Exercise Price
3- Recovery

استفاده می‌شود.

هدف این مقاله ارزیابی اختیارات یا انعطاف‌پذیری موجود در یک میدان نفتی با توجه به تصادفی یا غیر تصادفی بودن بازدهی آسایش است. بر اساس قیمت تصادفی نفت خام ممکن است سه اختیار باز کردن یا رها کردن یک میدان نفتی بسته، اختیار بستن یا رها کردن میدان نفتی باز و بسته به وجود اید. هر یک از این اختیارات دارای ارزش می‌باشند که بایستی ارزش‌گذاری شوند.

چهار چوب مقاله به این صورت است که در بخش بعدی ابتدا به بررسی ادبیات تجربی پرداخته می‌شود و در مرحله بعدی مدل‌های مورد استفاده و نحوه تخمین آن بررسی می‌شود سپس به بررسی روش ارزش‌گذاری پرداخته خواهد شد و در نهایت با استفاده از پارامترهای به‌دست آمده در مرحله قبلی و تکنیک اختیارات واقعی به ارزش‌گذاری پروژه مورد نظر می‌پردازیم و پس از ارزیابی نتایج بحث می‌شوند.

۲. ادبیات تجربی

مهم‌ترین و اولین مطالعه در زمینه‌ی به کارگیری روش یا رویکرد تئوری قیمت‌گذاری اختیارات در منابع طبیعی و پروژه‌های تجاری به مطالعه برینیان و شوارتز (۱۹۸۵) بر می‌گردد. این مطالعه موثرترین مطالعه در به کار گیری روش اختیارات مالی برای دارایی حقیقی است. به عبارت ساده با مطالعه‌ای که آنها انجام داده‌اند می‌توان روش قیمت‌گذاری بلک-شولز در قیمت‌گذاری اختیارات برای ارزش‌گذاری پروژه‌ها به کار برد. آنها در ابتدا مدلی را برای ارزش‌گذاری جریان‌های نقدی حاصل از سرمایه‌گذاری منابع طبیعی استخراج می‌کنند. مطالعه موردی آنها ارزیابی معدن مس می‌باشد. آنها برای ساختن مدل فرض می‌کنند که در معدن کالای همگن تولید می‌شود و قیمت نقدی توسط بازار رقابتی تعیین می‌شود. هم‌چنین فرض می‌شود که قیمت نقدی آن به صورت برون‌زا از فرآیند تصادفی پیروی می‌کند. بر مبنای این فرض‌ها و فرضیات دیگر در ارتباط با هزینه‌ها، بازدهی آسایش[1]، نرخ‌های استخراج و غیره، آنها به یک سری از معادلات

۱- مقدار منفعتی که یک فرد از نگهداری یک واحد اضافی دارایی به صورت ذخیره نسبت به خرید دارائی از بازارهای آتی به‌دست می‌آورد.

می‌رسند که مدل عمومی برای ارزش‌گذاری معدن است. آنها بیان می‌کنند که ارزش معدن نه تنها به فعال و یا غیر فعال بودن بستگی دارد؛ بلکه به سیاست‌های بهینه برای فعال، غیر فعال و تعطیل کردن معدن و مجموعه‌ای از نرخ‌های تولید نیز بستگی خواهد داشت. سپس با یک مثال عددی، مدل عمومی استخراج شده را برای معدن مس بررسی می‌کنند. در ادامه زمان‌بندی بهینه‌ی سرمایه‌گذاری در منابع طبیعی را مطرح می‌نمایند. در پایان نیز کاربرد مدل برای تحلیل قراردادهای خرید بلندمدت با قیمت ثابت را مطرح می‌کنند.

گیسبون و شوارتز[1] (۱۹۹۰) مدل دو عاملی[2] را توسعه می‌دهند و به صورت تجربی مدل دو عاملی را برای قیمت‌گذاری دارائی‌های مالی و دارائی‌های حقیقی (فیزیکی) با استفاده از داده‌های نفت خام بررسی می‌نمایند. این مدل که مبتنی بر مدل شوارتز و برینیان (۱۹۸۵) است، دارای دو عامل تصادفی است. یک عامل تصادفی قیمت نفت می‌باشد و فرض می‌شود رفتار قیمت نفت از فرآیند تصادفی برآونی پیروی می‌کند و عامل تصادفی دیگر، بازدهی آسایش است که فرض می‌شود از یک فرآیند تصادفی برگشت به میانگین پیروی می‌نماید. آنها از داده‌های نفت در بازه‌ی زمانی ژانویه ۱۹۸۴ تا نوامبر ۱۹۸۸ استفاده می‌کنند. پارامترهای مدل را با استفاده قیمت‌های قرارداد آتی هفتگی نفت در بازه‌ی زمانی فوق تخمین می‌زنند و عملکرد مدل را با استفاده از نمونه‌ای از قراردادهای آتی در بازه‌ی زمانی نوامبر ۱۹۸۸ تا می۱۹۹۹ ارزیابی می‌کنند. نتایج تجربی آنها نشان می‌دهد که مدل دو عاملی قادر است تفاوت ذاتی نوسانات میان قیمت نقدی و قراردادهای آتی را به خوبی توضیح دهد. آنها در مطالعه‌شان به ارزش‌گذاری نمی‌پردازند.

کورتزار و شوارتز[3] (۱۹۹۸) یک مدل برای ارزش‌گذاری میدان نفتی توسعه نیافته و یافتن زمان‌بندی بهینه سرمایه‌گذاری به کار می‌گیرند. آنها از روش مونت-کارلو برای پیدا کردن زمان بهینه‌ی سرمایه‌گذاری در میدان نفتی با نرخ‌های کاهشی تولیدبه صورت نمایی و با هزینه‌های بهره‌برداری متفاوت اما غیر تصادفی در بازه زمانی ۱۹۹۶-۱۹۹۳ استفاده می‌کند. آنها از مدل دو عاملی، استفاده می‌نمایند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که قیمت نفت از یک فرآیند تصادفی

1- Gibson and Schwartz
2- Two Factors
3- Cortazar and Schwartz

برگشت به میانگین همراه با بازدهی آسایش برگشت‌پذیر به میانگین پیروی می‌کند و بانرخ‌های تولیدی غیر تصادفی، ارزش میدان نفتی به صورت تابعی از قیمت نفت در می‌آید.

ایکرن[1](۱۹۸۸) از روش قیمت‌گذاری اختیارات برای ارزیابی پروژه‌های نفتی استفاده می‌کند. وی بیان می‌کند که اختیارات واقعی در یک پروژه‌ی نفتی شامل توسعه و بهره‌برداری از میدان‌های satellite است. وی، فرمول بلک-شولز را برای قیمت نفت به‌کار می‌برد و با استفاده از مدل دو جمله‌ای به ارزش‌گذاری اختیارات واقعی موجود می‌پردازد. نتایج به دست آمده از قیمت‌گذاری اختیارات با نتایج حاصل از روش‌های سنتی و درخت تصمیم‌گیری متفاوت است. هرچند این مطالعه دارای نوآوری است، اما به خاطر اینکه در این مدل تنها از یک عامل تصادفی (قیمت) استفاده می‌کند برای تصمیم‌گیری نمی‌توان به آن اعتماد کرد.

پادوک و همکاران[2](۱۹۸۸) از تئوری ارزش‌گذاری اختیارات برای ارزش‌گذاری میدان نفتی داخل دریا[3] استفاده می‌کنند. آنها از داده‌های بخش مرکزی و غربی خلیج مکزیک در بازه زمانی ۱۹۸۸-۱۹۸۰ استفاده می‌کنند آنها با بسط تئوریکی، چندین مشکل تئوریکی و عملی را پاسخ داده‌اند. آنها لزوم ترکیب تکنیک‌های قیمت‌گذاری اختیارات با مدل تعادلی بازار برای دارائی مورد نظر را نشان داده‌اند. روش جدید آنها دارای چندین مزیت نسبت به تکنیک‌های جریان نقدی تنزیل شده است؛ اولاً به داده کمتری نیاز دارد زیرا به صورت کارا از تمامی اطلاعات موجود استفاده می‌کند. ثانیاً هزینه‌ی محاسباتی کمتری مورد نیاز است. ثالثاً راهنمایی برای زمان‌بندی بهینه توسعه فراهم می‌کند. در نهایت بینش مهمی برای هر دو سیاست دولت و رفتار شرکت فراهم می‌کند.

لوند[4] (۱۹۹۹) بیان می‌کند که ذخایر نفتی کشف شده در فلات قاره‌ای نروژ در حال کاهش است؛ در نتیجه استخراج از این میادین اقتصادی نیست. بنابراین استراتژی‌های جدید و انعطاف‌پذیر مورد نیاز هستند. لوند برای ارزیابی پروژه تحت نااطمینانی با تأکید بر استراتژی‌های انعطاف‌پذیر (شامل آغاز، شروع/توقف و پایان) و ارزش آنها ، مدل برنامه‌ریزی پویایی تصادفی را ارایه

1- Ekern
2- Paddock et al.,
3- Offshore Petroleum Leases
4- Lund

می‌نماید و ریسک ذخایر و ریسک بازار (قیمت) را در نظر می‌گیرد. لوند نیز به تبعیت از مطالعات قبلی فرض می‌نماید که قیمت از حرکت براونی هندسی پیروی کرده و برای ارزش‌گذاری از مدل ارزش‌گذاری درختی دو جمله‌ای استفاده می‌کند. نتایج مطالعه موردی، معناداری ارزش انعطاف‌پذیری را آشکار می‌نماید و کاستی روش‌های ارزیابی رایج را نشان می‌دهد؛ به ویژه اینکه زمانی که نااطمینانی ذخایر وجود دارد، نبایستی انعطاف‌پذیری ظرفیت در توسعه آتی را نادیده گرفت.

الکساندروف و ایس‌پی‌نوزا [1] (۲۰۱۱) به مطالعه‌ی استخراج بهینه‌ی نفت به عنوان یک اختیار واقعی چندگانه می‌پردازند. در زمانی که قیمت نفت پایین و نوسان بالا است. استخراج هر بشکه نفت همانند اعمال اختیار خرید است و استراتژی‌های بهینه منجر به تعویق تولید می‌شود، برای این منظور آنها از داده‌های برزیل و امارات متحده عربی استفاده می‌کنند. بازه‌ی زمانی داده‌ها از سال ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۷ می‌باشد. آنها از روش مونت کارلو برای مسئله بهینه‌سازی استفاده می‌کنند؛ زیرا با انتخاب این روش امکان افزایش ظرفیت و در نظر گرفتن چندین متغیر حالت وجود دارد. آنها نشان می‌دهند اگر تصمیمات تولید مشروط به قیمت‌های نفتی باشند و ارزش فعلی ذخایر نفتی به طور معناداری افزایش می‌یابد.

استین اریک فلیتن و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اختیارات واقعی به صورت تجربی برای حالت‌های تعطیلی موقت[2]، شروع[3] و تعطیلی کامل[4] می‌پردازند. آنها از مجموعه داده‌های ۱۱۲۱ طرح مجزا در دوره زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۱ استفاده می‌کنند و دو مجموعه داده تابلویی و داده‌های کلان را در نظر می‌گیرند. آنان با استفاده از رگرسیون داده‌های تابلویی در می‌یابند که اختیار واقعی برای تصمیمات تعطیلی موقت و تعطیلی کامل مؤثر است ولی برای تصمیم شروع فاقد اثر است.

1- Aleksandrov and Espinoza
2- shutdown
3- startup
4- abandon

۳. مدل

در این مطالعه از قیمت قرارداد آتی برای استخراج قیمت نقدی در قالب مدل فضای حالت استفاده می‌شود. چون بازدهی آسایش ارتباط دهنده قیمت نقدی و قیمت آتی قراردادهای نفت در بازار مشتقات کالا است، بنابراین در این مدل لحاظ می‌شود تا اثرات آن بر ارزش اختیارات در میدان نفتی مورد نظر مطالعه شود. بنابراین مدل به دو صورت مدل تک عاملی و مدل دو عاملی بیان می‌شود؛ در مدل تک عاملی که برای قیمت نفت به کار می‌رود فرض می‌شود بازدهی آسایش ثابت است ولی در مدل دوم فرض می‌شود که علاوه بر قیمت بازدهی آسایش نیز تصادفی است. هم‌چنین فرض می‌شود که رفتار دینامیکی بازدهی از یک معادله دیفرانسیل تصادفی برگشت به میانگین پیروی می‌نماید که به صورت خلاصه در ادامه بیان می‌شود.

۳-۱. مدل تک عاملی با بازدهی آسایش ثابت:

در این مدل قیمت نقدی نفت خام (S) به عنوان تنها عامل ریسک در نظر گرفته می‌شود. اکثر مطالعاتی که برای مدل‌سازی قیمت نقدی نفت خام به کار می‌روند فرض می‌کنند که قیمت نقدی نفت خام از حرکت براونی هندسی[1] پیروی می‌کنند. وجود بازدهی آسایش (δ) باعث پیدایش انحراف از سطح بلندمدت (μ) نرخ بازدهی قیمت نقدی نفت خام می‌شود. در این مدل معادله دیفرانسیل تصادفی قیمت نقدی نفت خام به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$dS(t) = (\mu - \delta)S(t)dt + \sigma_S S(t)dW_S^1(t) \qquad (3-1)$$

که $S(t)$ بیانگر قیمت نقدی نفت در زمان t و σ_s بیانگر انحراف معیار قیمت نقدی، μ بیانگر سطح بلندمدت قیمت نقدی، δ بیانگر بازدهی آسایش، $W_S^1(t)$ بیانگر حرکت وینر[2] و dx بیانگر دیفرانسیل متغیر x است. حال با استفاده از قضیه ایتو[3] داریم:

$$dLn(S(t)) = (\mu - \delta - \frac{\sigma_S^2}{2})dt + \sigma_S dW_S^1(t) \qquad (3-2)$$

1- Geometric Brownian Motion (GBM)
2- Wiener
3- Ito's Theorem

هم‌چنین فرض می‌شود که قیمت نقدی نفت مستقیماً قابل مشاهده نیست.

با فرض اینکه ارزش میدان نفتی بر اساس فرض ریسک خنثی و پیوسته بودن زمان است. بنابراین نیاز است تا پارامترهای ریسکی در معادله قیمت‌گذاری وارد شوند. برای این منظور در معادله (۲) μ به صورت $\mu - r + r$ نوشته می‌شود، بنابراین با مرتب سازی داریم:

$$\begin{aligned} dLn(S(t)) &= (\mu - r + r - \delta - \frac{\sigma_S^2}{2})dt + \sigma_S dW_S^1(t) \\ &= (r-\delta)dt + \sigma_S(R_m\,dt + dW_S^1(t)) \qquad (3-3) \\ &= (r-\delta)dt + \sigma_S dW_S(t) \end{aligned}$$

که در معادله فوق، r بیانگر نرخ بهره و $R_m = \frac{\mu - r}{\sigma_S}$ قیمت بازاری ریسک معرفی می‌شود[۱].

یک روش برای تخمین پارامترهای فوق این است که از رابطه موجود بین قیمت آتی($F(t,T)$)[۲] و قیمت نقدی نفت خام استفاده شود که در اکثر مطالعات از این روش استفاده می‌شود[۳]. با داشتن رابطه فوق(۳-۳) و بیان رابطه بین قیمت نقدی و آتی به یک مدل فضای حالت می‌رسیم که با داشتن مدل فضای حالت و به کارگیری فیلتر کالمن می‌توان پارامترها و متغیرهای حالت (غیر قابل مشاهده) را تخمین زد.

از ادبیات اقتصاد مالی می‌دانیم قیمت قرارداد آتی در زمان t با سررسید T معادل با قیمت مورد انتظار نقدی برای زمان T تحت اندازه ریسک-خنثی است. بنابراین داریم:

$$F(t,T) = E(S(T)) \qquad (3-4)$$

بنابراین نیاز است که از رابطه (۳-۳) $S(t)$ را استخراج شود و در رابطه فوق قرار داده شود. در این صورت داریم:

$$F(t,T) = S(t)\exp\{(r-\delta)\Delta t\} \qquad (3-5)$$

که Δt معادل با $T-t$ است. حال با لگاریتم گرفتن از رابطه فوق داریم:

۱- به علت اعمال فرض ریسک خنثی پارامتر μ حذف می شود و قابل تخمین نیست.

2- Future Price

۳- روش دیگر برای استخراج معادله اندازه گیری در فیلتر کالمن این است که فرض نماییم قیمت مشاهده شده برای نفت خام معادل قیمت اسپات نفت خام به علاوه خطای اندازه‌گیری است.

$$Ln(F(t,T)) = Ln(S(t)) + (\mathrm{r} - \delta)\Delta t \qquad (3-6)$$

بنابراین رابطه بین قیمت قرارداد آتی و قیمت نقدی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Ln(F(t,T)) = Ln(S(t)) + (\mathrm{r} - \delta)\Delta t + \nu(\mathrm{t}) \qquad (3-7)$$

در معادله فوق فرض می‌شود که $v(t)$ دارای توزیع نرمال با میانگین و واریانس σ_v باشد. در این مطالعه از قرارداد آتی با سررسید یک ماهه برای استخراج قیمت نقدی استفاده می‌شود.

مدل فضای حالت شامل دو معادله انتقال[1] و اندازه‌گیری[2] است. معادله اولی دینامیک مجموعه متغیرهای حالت را توضیح می‌دهد و معادله دومی متغیرهای غیر قابل مشاهده را به متغیرهای قابل مشاهده ربط می‌دهد. در معادلات فوق، قیمت نقدی ($S(t)$) غیر قابل مشاهده و $F(t,T)$ متغیر قابل مشاهده می‌باشد. بنابراین معادله (۳) و معادله (۷) به ترتیب بیانگر معادله انتقال و اندازه‌گیری می‌باشند. بنابراین مدل فضای حالت به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{cases} dLn(S(t)) = (r - \delta - \dfrac{\sigma_S^2}{2})dt + \sigma_S dW_S(t) \\ Ln(F(t,T)) = Ln(S(t)) + (r - \delta)dt + v(t) \end{cases} \qquad (3-8)$$

در سیستم معادله فوق، مجموعه پارامترهای $\Omega = \{\delta, \sigma_S, \sigma_v\}$، با استفاده از فیلتر کالمن تخمین زده می‌شوند. جهت تخمین با استفاده از فیلتر کالمن، ابتدا سیستم معادله فوق به صورت گسسته نوشته می‌شود. بنابراین داریم:

$$\begin{cases} Ln(S(t)) = (r - \delta - \dfrac{\sigma_S^2}{2})\Delta t + Ln(S(t-\Delta t)) + \xi(t) \\ Ln(F(t,T)) = Ln(S(t)) + (r - \delta)\Delta t + v(t) \end{cases} \qquad (3-9)$$

که $\xi(t)$ جمله خطا می‌باشد که معادل با $\sigma_S dW_S(t)$ است، بنابراین دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس $\sigma_S^2 \Delta t$ است. در نهایت با استفاده از فیلتر کالمن و گسسته سازی فوق و تشکیل تابع حداکثر درست نمایی می‌توان پارامترها و متغیر حالت را تخمین زد.

1- Transition Equation
2- Measurement Equation

۳-۲. مدل دو عاملی

همانطور که در مقدمه بیان شد یکی از اهدف مطالعه بررسی اثرات دینامیکی بازدهی آسایش (ثابت و تصادفی) بر ارزش میدان نفتی است. با ارائه مدل دو عاملی می‌توان اثرات دینامیکی بازدهی آسایش و وابستگی قیمت نقدی نفت خام و بازدهی آسایش بر ارزش پروژه را بررسی نمود. در این بخش بازدهی آسایش به عنوان یک عامل تصادفی با فرایند تصادفی برگشت به میانگین در نظر گرفته می‌شود. بنابراین مدل دو عاملی با فرض ریسک خنثی به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\begin{cases} dS(t) = (\mathrm{r} - \delta(\mathrm{t}))S(t)dt + \sigma_S S(t)dW_S(t) \\ d\delta(\mathrm{t})(t) = k(\alpha - \delta(\mathrm{t}))dt + \sigma_\delta dW_\delta^*(t) \end{cases} \qquad (3-10)$$

در معادله فوق S بیانگر قیمت نقدی برای نفت است. هم‌چنین k بیانگر سرعت برگشت به میانگین و α بیانگر سطح بلندمدت بازدهی آسایش است و $dW_i(\mathrm{t})$ بیانگر دیفرانسیل جز وینر برای $i = S, \delta$ است. فرض می‌شود که اجزا وینر دارای همبستگی می‌باشند. بنابراین داریم

$$E(dW_S^1 . dW_\delta^*) = \rho dt \qquad (3-11)$$

ρ ضریب همبستگی است. $E(.)$ بیانگر امید ریاضی است. بازدهی آسایش دارای قیمت(ω_t) بازاری است که بایستی در نظر گرفته شود. برای این امر باید در معادله دیفرانسیل بازدهی آسایش، $\omega_t dt$ را اضافه و کم نمود[۱] که معادله مربوط به بازدهی آسایش به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned} d\delta(\mathrm{t}) &= (k(\alpha - \delta(\mathrm{t}) - \omega)dt + \sigma_\delta(\frac{\omega}{\sigma_\delta}dt + dW_\delta^*(t)) \\ &= k(\alpha - \frac{\omega}{k} - \delta(\mathrm{t}))dt + \sigma_\delta dW_\delta(t)) \qquad (3-12) \\ &= k(\alpha^* - \delta(\mathrm{t}))dt + \sigma_\delta dW_\delta(t)) \end{aligned}$$

با به‌کارگیر لم ایتو برای معادله دیفرانسیل قیمت نقدی نفت خام داریم:

$$dLn(S(t)) = (r - \delta(\mathrm{t}) - \frac{\sigma_S^2}{2})dt + \sigma_S dW_S(t) \qquad (3-13)$$

۱- این امر با استفاده از تئوری Grisanov قابل بررسی است.

بنابراین سیستم معادلات دیفرانسیل تصادفی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\begin{cases} dLn(S(t)) = (r - \delta(\mathrm{t}) - \frac{\sigma_S^2}{2})dt + \sigma_S dW_S(t) \\ d\delta(t) = k(\alpha^* - \delta(t))dt + \sigma_\delta dW_\delta(t) \end{cases} \qquad (3-14)$$

همانند بخش قبلی فرض می‌شود که قیمت نقدی نفت خام و بازدهی آسایش به صورت مستقیم قابل مشاهده نیست، بنابراین با استفاده از فیلتر کالمن باید متغیرهای حالت (غیر قابل مشاهده) را به همراه سایر پارامترهای موجود تخمین زد. برای این امر ابتدا مدل فضای حالت را به‌دست می‌آوریم. همان‌طور که بیان شد مدل فضای حالت داری دو معادله است یکی معادله انتقال است که با گسسته سازی و مرتب سازی سیستم معادلات (۱۴) در فرم ماتریسی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{bmatrix} Ln(S(t)) \\ \delta(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r - \frac{\sigma_S^2}{2})\Delta t \\ k\alpha^*\Delta t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -\Delta t \\ 0 & 1 - k\Delta t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ln(S(t-\Delta t)) \\ \delta(t-\Delta t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1(\mathrm{t}) \\ \xi_2(\mathrm{t}) \end{bmatrix} \qquad (3-15)$$

که

$$\xi_1(\mathrm{t}) = \sigma_S(W_S(t) - W_S(\mathrm{t}-\Delta t))$$
$$\xi_2(\mathrm{t}) = \sigma_\delta(W_\delta(t) - W_\delta(t-\Delta t))$$

در فرم خلاصه به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\Psi(\mathrm{t}) = \mathrm{A} + \mathrm{B}\Psi(\mathrm{t}-\Delta\mathrm{t}) + \Pi\xi(\mathrm{t})$$

که $\xi(\mathrm{t})$ ماتریس جملات خطا می‌باشد که داری توزیع نرمال با میانگین صفر و ماتریس واریانس-کوواریانس به شکل زیر می‌باشد:

$$Cov(\xi(\mathrm{t})) = \mathrm{E}(\xi(\mathrm{t}) - E(\xi(\mathrm{t})))^2 = \begin{bmatrix} \sigma_S^2\Delta t & \sigma_S\sigma_\delta\rho\Delta t \\ \sigma_S\sigma_\delta\rho\Delta t & \sigma_\delta^2\Delta t \end{bmatrix} \qquad (3-16)$$

معادله دوم در مدل فضای حالت معادله اندازه‌گیری است که برای استخراج این معادله از رابطه

بین قیمت آتی و نقدی نفت خام و سیستم معادلات دیفرانسیل (۱۴) استفاده می‌گردد. ابتدا سیستم معادلات (۱۴) با استفاده از تکنیک‌های حل معادلات دیفرانسیل تصادفی حل می‌شود سپس در رابطه (۴) قرار داده می‌شود[۱] که در نهایت معادله زیر به‌دست می‌آید[۲]:

$$F(\mathrm{S},\delta,t,T)=E(S(T))$$

$$=S(t)\exp\{(\mathrm{r}-\alpha^{*}+\frac{\sigma_{\delta}^{2}}{2k^{2}}-\frac{\rho\sigma_{S}\sigma_{\delta}}{k})\Delta t+ \qquad (3-17)$$

$$\frac{1}{4k^{3}}\sigma_{\delta}^{2}(1-\mathrm{e}^{-2k\Delta t})+(1-\mathrm{e}^{-k\Delta t})(k\alpha^{*}-\frac{\sigma_{\delta}^{2}}{k}+\rho\sigma_{S}\sigma_{\delta})-\frac{(1-\mathrm{e}^{-k\Delta t})}{k}\delta\}$$

با لگاریتم گرفتن از طرفین برای قیمت‌های آتی مشاهده شده داریم:

$$Ln(F(t,T))=Ln(S(t))+(\mathrm{r}-\alpha^{*}+\frac{\sigma_{\delta}^{2}}{2k^{2}}-\frac{\rho\sigma_{S}\sigma_{\delta}}{k})\Delta t+ \qquad (3-18)$$

$$\frac{1}{4k^{3}}\sigma_{\delta}^{2}(1-\mathrm{e}^{-2k\Delta t})+(1-\mathrm{e}^{-k\Delta t})(k\alpha^{*}-\frac{\sigma_{\delta}^{2}}{k}+\rho\sigma_{S}\sigma_{\delta})-$$

$$\frac{(1-\mathrm{e}^{-k\Delta t})}{k}\delta$$

در فرم خلاصه ماتریس به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\Upsilon(\mathrm{t})=C+Z\Psi(\mathrm{t})+\Sigma\zeta(\mathrm{t})$$

که $\zeta(\mathrm{t})$ جمله خطا است و دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس $\sigma_{v_1}^{2}$ می‌باشد.

بنابراین با داشتن معادله انتقال و اندازه‌گیری و با استفاده از فیلتر کالمن مجموعه پارامترها $\Theta=\{\alpha,\kappa,\omega,\sigma_{v_1},\sigma_{S},\sigma_{\delta},\rho\}$ و متغیرهای حالت تخمین زده می‌شوند. در این قسمت هدف تخمین پارامترها است تا از آنها برای شبیه‌سازی مسیر قیمت نقدی نفت و بازدهی آسایش جهت ارزش‌گذاری پروژه استفاده کرد.

۱- استخراج این رابطه طولانی و حجیم است؛ برای جزئیات بیشتر به پایان نامه دکتری نویسنده مسئول مراجعه شود.

۲- در سایر منابع این معادله از طریق معادلات دیفرانسیل متناهی و لم ایتو استخراج شده است

٤. مدل ارزش‌گذاری

مدلی که برای ارزش‌گذاری استفاده می‌شود مبتنی بر روش شاکیلتون و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد. که در زیر به صورت خلاصه و با ساده سازی و تغییراتی ارائه می‌شود.

فرض می‌شود که یک تولید کننده نفت در فضای رقابتی به تولید نفت با نرخ q بشکه از یک میدان با موجودی Q بشکه می‌پردازد. فرض می‌شود که q بهینه و مشخص است. بنابراین تغییرات برای موجودی نفت در بازه زمانی t و $t+dt$ به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$dQ = -qdt \qquad (4-1)$$

q متعلق به بازه $[\underline{q},\overline{q}]$ است.

بهره‌برداری در صورتی که قیمت نقدی کالا پایین باشد می‌تواند موقتاً به تاخیر بیفتد و در صورتی که قیمت نقدی افزایش یابد. مجدداً بهره برداری شود زمانی که پروژه به تعویق می‌افتد دو نوع هزینه را باید اعمال کرد اول هزینه نگهداری M_o پروژه در زمان تعطیلی است و دومی هزینه تغییر بهره برداری از حالت باز بودن به حالت تعویق افتادن است که با $K_0^{O\to C} = K_0^C$ نشان می‌دهیم اندیس K بیانگر زمان $t=0$ است. زمانی که از حالت تعویق به حالت تولید حرکت می‌کنیم فرض می‌شود که متحمل یک هزینه تغییر حالت می‌شویم که به صورت $K_0^{C\to O} = K_0^O$ نشان داده می‌شود. هم‌چنین فرض می‌شود که تغییر حالت از تعویق یا تعطیلی موقت و باز بودن به حالت تعطیلی دائم پروژه هیچ هزینه را در بر نمی‌گیرد. بنابراین سه اختیار باز نمودن(O)، بستن (C)، تعطیلی دائم(a) وجود دارند.

برای نرخ بهره برداری q و موجودی فیزیکی Q در بازه زمانی بسیار کوچک Δt تعداد حالت‌های ممکن موجودی کالا(N) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N = \frac{Q}{q\Delta t} \qquad (4-2)$$

بنابراین سطح موجودی در حالت $i = 0,1,2,...,N$ به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Q_i = (N-i)q\,\Delta t \qquad (4-3)$$

برای $i=N$، $Q_N = 0$ و برای $i=0$، $Q_0 = Q$ می‌باشد.

فرض کنید که m حالت اختیار باشد، بنابراین $m \in \{O,C,a\}$ است. در این صورت زوج

$z=(m,Q_i)$ بیانگر حالت کلی بهره‌برداری پروژه است.

بنابراین در زمان t_n جریان نقدی حالت بهره برداری m به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\Pi^m(t_n,S_{t_n})=\begin{cases}q(S_{t_n}-cost_{t_n})-T(S_{t_n}) & if \quad m=o\\ -M_{t_n} & if \quad m=c\\ 0 & if \quad m=a\end{cases} \qquad (4-4)$$

که $cost_{t_n}=cost_{t_0}e^{\pi n\Delta t}$ و $M_{t_n}=M_{t_0}e^{\pi n\Delta t}$ است. هم‌چنین π بیانگر نرخ تورم است. $T(S_{t_n})$ بیانگر مالیات است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T(S_{t_n})=\tau_1 qS_{t_n}+max\{\tau_2 q(S_{t_n}(1-\tau_1)-cost_{t_n}),0\} \qquad (4-5)$$

که τ_1 و τ_2 نرخ‌های مالیات می‌باشند. همان طور که در بالا ذکر شد انتقال از یک حالت بهره برداری به حالت دیگر دارای هزینه است، بنابراین جریان هزینه‌های تغییر حالت در زمان t_n به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$K(t_n)=\begin{cases}K_0^o e^{\pi n\Delta t} & if \quad c\to o\\ K_0^c e^{\pi n\Delta t} & if \quad o\to c\\ 0 & if \quad c,o,a\to a\end{cases} \qquad (4-6)$$

در این مدل ارزش‌گذاری فرض می‌شود که هزینه‌ها به موجودی Q بستگی ندارد[۱].

در این مطالعه با توجه به اینکه اختیارات از نوع فروش آمریکایی است، فرض بر این است قبل از تاریخ انقضا یعنی $t_n=N$ می‌توان اختیار موجود را اعمال کرد مبنی بر اینکه در کدام حالت دارای حداکثر ارزش است. هم چنین فرض می‌شود که اختیار موجود فقط یک بار اعمال می‌شود[۲].

چون اختیارهای موجود دارای ارزش هستند اینکه در ابتدا پروژه باز باشد یا بسته، ارزش‌های متفاوتی ایجاد می‌شود. فرض می‌شود که ارزش پروژه در حالت باز، V و در حالت بسته، W

۱- برای مطالعات اینده پیشنهاد می شود برای واقعی شدن مدل این فرض برداشته شود.

۲- برای مطالعات آینده پیشنهاد می شود که این مدل سازی برای حالتی که اختیار آمریکا می‌تواند در چندین نوبت اعمال شود بررسی شود.

باشد. اگر یک پروژه در ابتدا باز باشد با توجه به سودآوری پروژه سه اختیار را می‌توان اعمال کرد که در جدول زیر خلاصه شده است.

برای حالت باز بودن می‌توان ارزش پروژه (V) را با استفاده از اختیار آمریکایی به صورت زیر تعریف کرد:

ارزش پروژه در حالت باز بودن(V)، معادل ماکزیمم ارزش جریان نقدی در حالت ادامه باز بودن، بستن و رها کردن می‌باشد.

جدول(۱)- جریان نقدی در حالت اولیه بازبودن

	نوع اختیار	جریان نقدی در زمان t		ارزش فعلی پروژه در زمان $t+1$
ارزش در حالت باز بودن پروژه	ادامه باز بودن	معادل سودی است که از باز بودن پروژه به‌دست می‌آورد		ارزش فعلی مورد انتظار در حالتی که باز است (وجود این ارزش باعث می‌شود که از روش شبیه سازی عددی استفاده شود)
	بستن	در این حالت جریان نقدی معادل هزینه نگهداری پروژه+هزینه بستن پروژه		ارزش فعلی مورد انتظار در حالتی که بسته است
	رها کردن	۰		۰

مأخذ: گردآوری تحقیق

شاکیلتون و همکاران (۲۰۱۰) به صورت زیر تعریف می‌کنند:

$$V(X_{t_n},Q,t_n)=$$

$$\max\begin{cases} q(S_{t_n}-cost_{t_n})-T(S_{t_n}) \\ \quad +e^{-(r+\tau)\Delta t}E(V(X_{t_n+\Delta t},Q-q\Delta t,t_n+\Delta t)) \quad if\ stay\ open \\ -M_{t_n}-K_0^c e^{\pi n\Delta t} \\ \quad +e^{-(r+\tau)\Delta t}E(W(X_{t_n+\Delta t},Q-q\Delta t,t_n+\Delta t)) \quad if\ close \\ 0 \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad if\ abandoned \end{cases} \qquad (4-7)$$

که $E(.)$ بیانگر امید ریاضی است.

حال اگر یک پروژه در ابتدا بسته باشد با توجه به سود آوری پروژه سه اختیار را می‌توان اعمال کرد که در جدول زیر خلاصه شده است.

جدول (۲)- جریان نقدی در حالت اولیه بسته بودن

	نوع اختیار	جریان نقدی در زمان t	ارزش فعلی پروژه در زمان $t+1$
ارزش در حالت بسته بودن پروژه	باز کردن	معادل سودی است که از بازشدن پروژه به‌دست می‌آورد+ هزینه باز کردن	ارزش فعلی مورد انتظار در حالتی که باز است (وجود این ارزش باعث می‌شود که از روش شبیه سازی عددی استفاده شود)
	ادامه بستن	در این حالت جریان نقدی معادل هزینه نگهداری پروژه	ارزش فعلی مورد انتظار در حالتی که بسته است
	رها کردن	۰	۰

مأخذ: گردآوری تحقیق

بنابراین ارزش پروژه در حالت بسته بودن طبق اختیارات خرید آمریکایی به صورت زیر تعریف می‌شود:

ارزش پروژه در حالت بسته بودن(W)، معادل ماکزیمم ارزش جریان نقدی در حالت بازشدن، ادامه بستن و رها کردن می‌باشد

$$W(X_{t_n},Q,t_n)=$$

$$\max\begin{cases} q(S_{t_n}-cost_{t_n})-T(S_{t_n})-K_0^o e^{\pi n\Delta t} \\ \quad +e^{-(r+\tau)\Delta t}E(V(X_{t_n+\Delta t},Q-q\Delta t,t_n+\Delta t)) \quad if\ \ reopen \\ -M_{t_n}+e^{-(r+\tau)\Delta t}E(W(X_{t_n+\Delta t},Q-q\Delta t,t_n+\Delta t)) \quad if\ \ stay close \\ 0 \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad if\ \ abandoned \end{cases} \qquad (4-8)$$

دو معادله فوق که برای ارزش‌گذاری در حالت باز یا بسته بودن بیان شدند از نوع معادلات بلمن هستند و فاقد جواب تحلیلی می‌باشند. بنابراین باید از روش‌های عددی مانند روش درختی، معادلات دیفرانسیل متناهی و روش حداقل مربعات مونت کارلو حل نمود. در این مطالعه چون کارایی و صحت بالای روش مونت کارلو نسبت به سایر روش‌ها اثبات شده است، از این روش استفاده می‌شود[۱].

جدول(۳)- پارامترهای و مقادیر آنهابرای ارزش‌گذاری[۲]

	پارامتر	مقادیر
مشخصات فیزیکی میدان	نرخ استخراج	۵ میلیون بشکه در سال
	میزان ظرفیت	۲۵۰ میلیون بشکه
هزینه‌ها	هزینه ثابت	۴۱ میلیون دلار
	هزینه متغیر غیر تصادفی	۶/۸ میلیون به ازای هر بشکه
	هزینه نگهداری در صورت تعطیلی	۶ میلیون به ازای هرسال
	هزینه تغییر حالت از باز به بسته بودن	۲ میلیون دلار[۳]
	هزینه تغییر حالت از بسته بودن به باز نمودن	۲ میلیون دلار[۴]
مالیات	نرخ مالیات	٪۱
	مالیات درامدی	٪۲۹
تورم	نرخ تورم	٪۲/۵

۵. داده‌ها:

در این مطالعه از دو طبقه داده استفاده شده است، اولی مربوط به قیمت قرار دادهای آتی نفت

۱- به مطالعه شاکیلتون ۲۰۱۰ مراجعه شود

۲- این داده‌ها مربوط به گزارش ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ می باشد.

۳- این عدد به صورت فرضی است می توان برای سادگی از آنها چشم پوشی کرد و جهت استخراج قیمت‌ها تغییر حالت فرض می‌شود که مخالف صفر باشد.

۴- این عدد به صورت فرضی است می توان برای سادگی از آنها چشم پوشی کرد و جهت استخراج قیمت‌ها تغییر حالت فرض می‌شود که مخالف صفر باشد

خام است و دیگری مرتبط با مشخصات فیزیکی و هزینه‌ها استخراج نفت از یک میدان نفت شنی در کانادا است.

در این مطالعه از داده‌های ماهانه قیمت قراردادهای آتی نفت خام مبادله شده در بازار بورس نیویورک (NYMEX) در بازه زمانی ۲۰۱۱-۱۹۹۴ جهت تخمین پارامترهای مدل فضای حالت با استفاده از فیلتر کالمن استفاده می‌شود[۱]. سپس از پارامترهای به‌دست آمده و داده‌های جدول (۳) به ارزش‌گذاری میدان نفتی پرداخته می‌شود این داده ها از موسسه مطالعات انرژی کانادا استخراج شده‌اند[۲] و به صورت خلاصه در جدول زیر بیان شده‌اند.

٦. نتایج

با استفاده از فیلتر کالمن، قیمت قرارداد آتی با سررسیدهای متفاوت و نرم‌افزار متلب پارامترهای $\Omega = \{\delta, \sigma_S, \sigma_v\}$ از مدل تک عاملی با بازدهی ثابت آسایش تخمین زده می‌شود[۳]. بهینه سازی با استفاده از روش‌های تکراری انجام می‌گیرد که نتایج به صورت زیر می‌باشد:

```
*************************************************************************
Number of observations:     228.0000
Value log of likelihood         204.5241
Number of parameters          3.0000
*************************************************************************
      parameter        beta        stderr     t-student       p-value
            1        0.0270        0.0899        0.3005        0.7641
            2        0.3380        0.0320       10.5693        0.0000
            3        0.0040        0.0014        2.9284        0.0038
```

جدول(٤)-پارمترهای مدل تک عاملی با بازدهی آسایش ثابت

منبع: محاسبات محقق[٤]

همان‌طور که مشاهده می‌شود پارامترهای‌دوم و سوم معنادار هستند. پارامتر یک، دو و سه به

۱- چهار قرارداد آتی برای نفت با سررسیدهای متفاوت استفاده شده است.

۲- این داده‌ها از سایت www.ceri.ca قابل دسترسی است.

۳- در صورت نیاز به کدها با نویسندگان مقاله تماس گیرید

۴- لگاریتم تابع حداکثر درست‌نمایی به صورت مثبت گزارش شده است.

ترتیب بیانگر δ، واریانس قیمت نقدی نفت خام و واریانس قیمت قرارداد آتی با سررسید یک ماهه می‌باشند.

برای مدل دوم از قیمت قراردادهای آتی با چهار سررسید متفاوت استفاده می‌شود که نتایج تخمین مجموعه پارامترهای $\Theta = \{\kappa, \alpha, \omega, \rho, \sigma_S, \sigma_\delta, \sigma_{\nu_1}, \sigma_{\nu_2}, \sigma_{\nu_3}, \sigma_{\nu_4}\}$ در جدول (۵) ذکر شده‌اند.

از جدول سه مشاهده می گردد که تمامی پارامترها به‌جز پارامتر دوم که سطح بلندمدت بازدهی آسایش می‌باشد، معنادار هستند. پارامتر سوم(ω) بیانگر قیمت بازاری بازدهی آسایش است که مقدار آن منفی می‌باشد و با تئوری سازگاری دارد.

```
*************************************************************************
Number of observations:     228.0000
Value log of likelihood       1546.7031
Number of parameters          10.0000
*************************************************************************
      parameter       beta        stderr     t-student      p-value
            1       1.1619        0.0634       18.3200       0.0000
            2       0.0471        0.0390        1.2066       0.2289
            3      -0.0720        0.0374       -1.9229       0.0558
            4       0.4048        0.1165        3.4741       0.0006
            5       0.3373        0.0241       13.9791       0.0000
            6       0.1823        0.0350        5.2123       0.0000
            7       0.0100        0.0007       13.8412       0.0000
            8       0.0010        0.0001       12.0951       0.0000
            9       0.0010        0.0001       15.7708       0.0000
           10       0.0010        0.0001       12.2840       0.0000
```

جدول(۵)-پارمترهای مدل دو عاملی[۱]

منبع: محاسبات محقق

در مرحله بعدی با استفاده از تکنیک مونت کارلو، پارامترهای تخمین زده شده و اطلاعات اقتصادی و فیزیکی میدان نفتی مورد نظر معادلات (۸-۴) و (۷-۴) حل می‌شود. برای مدل تک عاملی و دو عاملی در قالب روش ارزش فعلی و روش اختیارات واقعی ارزش میدان نفتی را ارزیابی می گردد که برای انجام این هدف از نرم افزار متلب استفاده می شود[۲].

۱- در صورت نیاز به کدها با نویسندگان مقاله تماس گیرید

۲- در صورت نیاز به کدها با نویسندگان مقاله تماس گیرید

در ابتدا ارزش میدان نفتی برای مدل تک عـاملی در دو حالـت بـدون اختیـارات (روش ارزش فعلی) و با اختیارات (باز، بستن و رها کردن) محاسبه می‌گردد که این ارزش‌ها در جدول زیر بیـان می‌شود.

جدول(٦)- ارزش میدان نفتی با استفاده از روش مونت کارلو

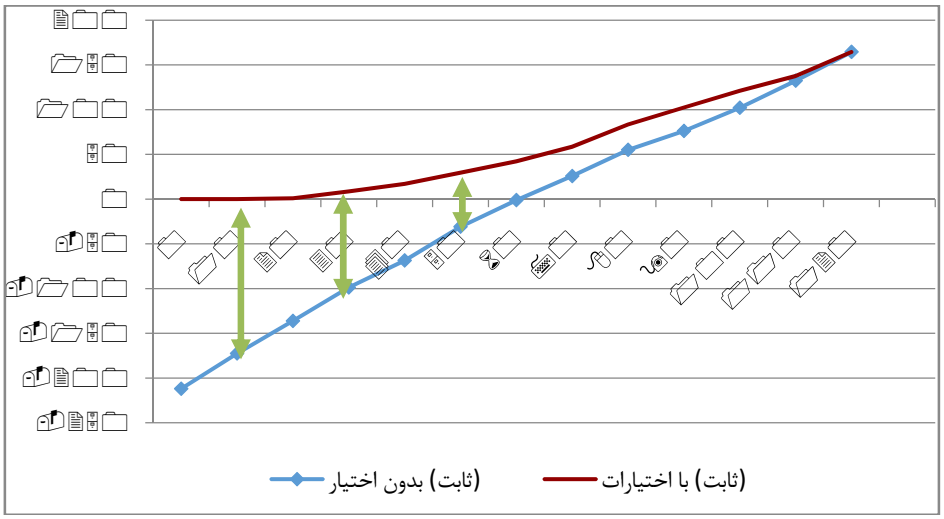
	ستون ۱	ستون ۲	ستون ۳
قیمت نقدی هر بشکه نفت خام(بر حسب دلار)	ارزش میدان در حالت بدون اختیار(ضربدر 10^9)	ارزش میدان در حالت باز بودن(ضربدر 10^9)	ارزش میدان در حالت بسته بودن(ضربدر 10^9)
0	−2120000000	0	0
10	−1730000000	0	0
20	−1360000000	6926600	8926600
30	−987000000	83558000	85558000
40	−686000000	168000000	170000000
50	−309000000	295000000	295000000
60	−11600000	423000000	421000000
70	257000000	584000000	582000000
80	550000000	834000000	832000000
90	761000000	1020000000	1020000000
100	1020000000	1210000000	1210000000
110	1320000000	1380000000	1370000000
120	1640000000	1640000000	1640000000

منبع: یافته‌های محقق

نمودار (۱) ارزش میدان نفتی در حالت با اختیارات و بدون اختیارات برای مدل تک عـاملی بـا بازدهی ثابت نشان می‌دهد. همانطور که نمودار نشان می‌دهد ارزش میدان نفتی با اختیـارات بـالاتر از ارزش میدان نفتی بدون اختیارات(روش ارزش فعلـی) اسـت. در قیمتهـای بـالاتر چـون ریسـک قیمت کاهش می‌یابد بنابراین ارزش این دو روش یکسان می‌شود. اگرچـه مجمـوع هزینـه‌هـای ۵۱ دلار است اما در این مورد برای قیمت‌های ۳۰ دلار به بالا اعمال اختیار سودآور است. در حالی که در روش ارزش فعلی تقریباً در ۶۰ دلار به بعد پروژه سود آور خواهد بود. بنابراین فاصـله عمـودی دو منحنی ابی رنگ و قرمز در نمودار (۱) بیانگر ارزش اختیارات است. در قیمتهـای پـایین‌تـر ایـن ارزش بالاست ولی با افزایش قیمت به صفر میل می‌نماید.

برای استخراج قیمت‌های تغییر اختیار از نمودار (۲) می‌توان استفاده کرد. این قیمت‌هـای تغییـر اختیار به هزینه تغییر حالت یعنی K^{CO} و K^{OC} بستگی دارند. در این مطالعه فرض شده است کـه

$K^{CO} = K^{OC} = 2 \times 10^6$ باشد[۱]. از نمودار زیر پیدا است که برای قیمت‌های تقریبا بزرگتر از ۷۰ اختیار بازکردن پروژه انتخاب می‌شود. برای قیمت‌ها در بازه ۲۰ و ۳۰ اختیار بستن موقتی انتخاب می‌شود. برای سطح قیمت‌های کمتر از ۲۰ ارزش پروژه در هر دو اختیار باز کردن و بستن معادل صفر است. بنابراین برای قیمت‌های کمتر از ۱۰ بایستی پروژه رها شود.

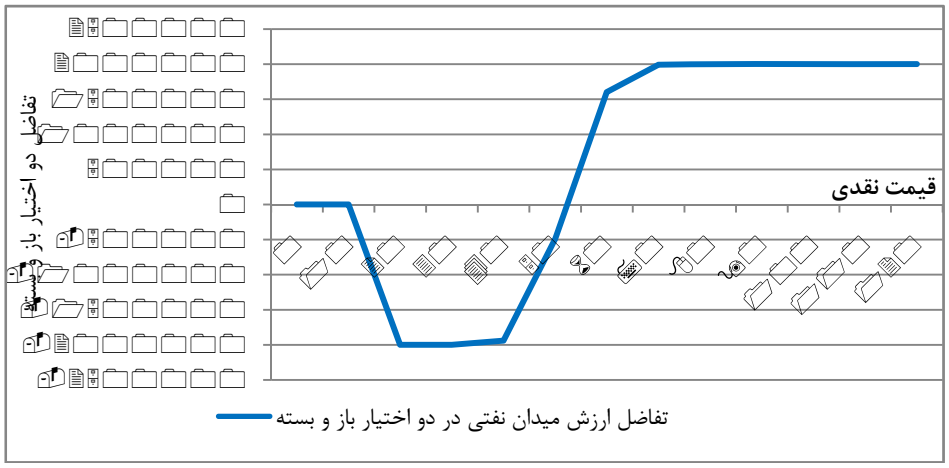


نمودار(۱)- ارزش میدان نفتی با اختیارات و بدون اختیاراتدر حالت بازدهی آسایش ثابت بر حسب قیمت نقدی

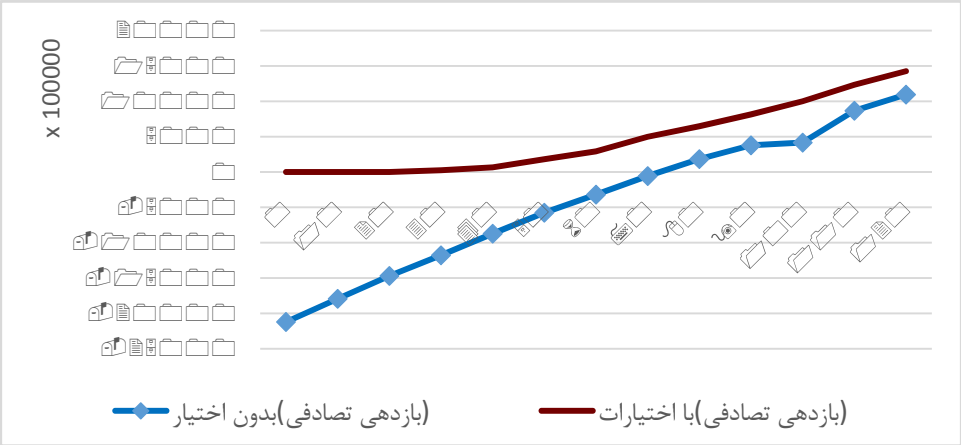
منبع: یافته‌های محقق

در نمودار (۳) ارزش میدان نفتی در دو حالت با اختیار و بدون اختیار برای مدل دو عاملی رسم شده است. در این مدل بازدهی آسایش تصادفی است. از مقایسه این نمودار و نمودار (۱) می‌توان دریافت که در قیمت‌های بالاتر از ۱۲۰ ارزش اختیارات در میدان نفتی صفر می‌گردد زیرا دو منحنی در نمودار (۳) در قیمت‌های بالاتر از ۱۲۰ بر یکدیگر مماس می‌گردند. این تاخیر در مماس شدن به علت بازدهی آسایش تصادفی است که ایجاد ریسک می‌نماید.

۱- انتخاب این عدد در این مطالعه اختیاری است



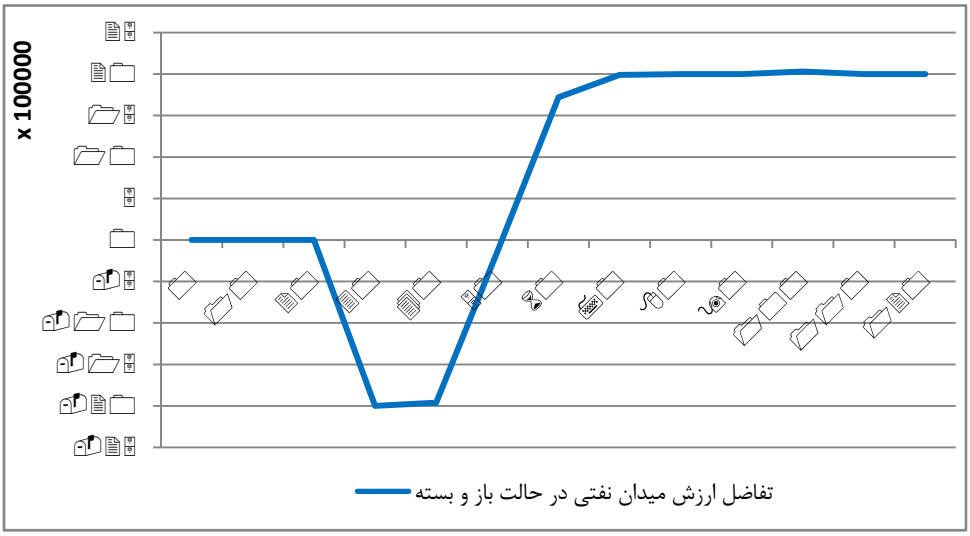
نمودار(۲)- تفاضل دو اختیار باز و بستن بر حسب قیمت نقدی در حالت بازدهی آسایش ثابت
منبع: یافته‌های محقق



نمودار(۳)- ارزش میدان نفتی با اختیارات و بدون اختیارات در حالت بازدهی آسایش تصادفی بر حسب قیمت نقدی
منبع: یافته‌های محقق

برای استخراج قیمت‌های تغییر اختیار در مدل دو عاملی از نمودار (۴) می‌توان استفاده کرد. این قیمت‌های تغییر اختیار به هزینه تغییر حالت یعنی K^{CO} و K^{OC} بستگی دارند. در این مطالعه

فرض شده است که $K^{CO} = K^{OC} = 2 \times 10^6$ باشد[۱]. از نمودار (۴) مشخص می‌شود که برای قیمت‌های تقریبا بزرگتر از ۷۰ دلار اختیار بازکردن پروژه انتخاب می‌شود. برای قیمت‌ها در بازه ۳۰ دلار و ۴۰ دلار اختیار بستن موقتی انتخاب می‌شود. برای سطح قیمت‌های کمتر از ۳۰ دلار ارزش پروژه در هر دو اختیار بازکردن و بستن معادل صفر است بنابراین برای قیمت‌های کمتر از ۳۰ دلار بایستی پروژه رها شود.



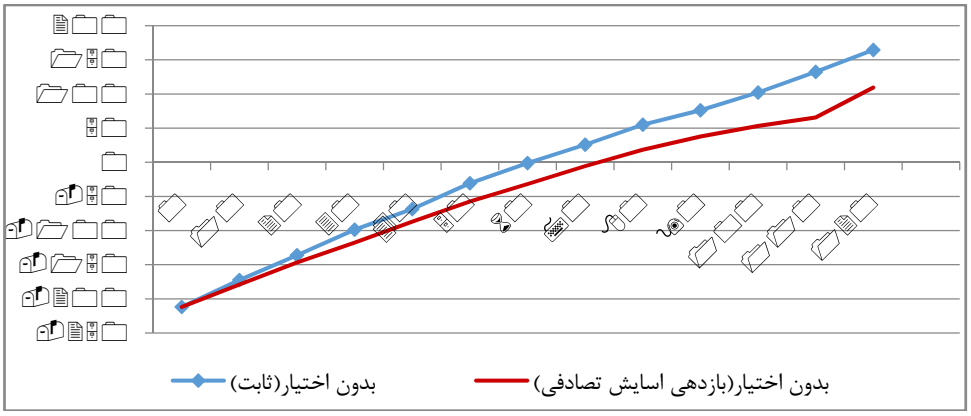
نمودار(٤)-تفاضل دو اختیار باز و بستن بر حسب قیمت نقدی در حالت بازدهی آسایش تصادفی

منبع: یافته‌های محقق

یکی دیگر از اثرات بازدهی آسایش بر قیمت تغییر اختیار است. در مقایسه با مدل تک عاملی با بازدهی آسایش ثابت، قیمت باز کردن تغییر نمی کند ولی بازه قیمت بستن در بازه ۳۰ دلار تا ۴۰ دلار قرار می‌گیرد در حالی که برای بازدهی ثابت بین ۲۰ دلار تا ۳۰ دلار قرار دارد و قیمت رها کردن نیز از ۱۰ دلار به ۲۰ دلار افزایش می‌یابد.

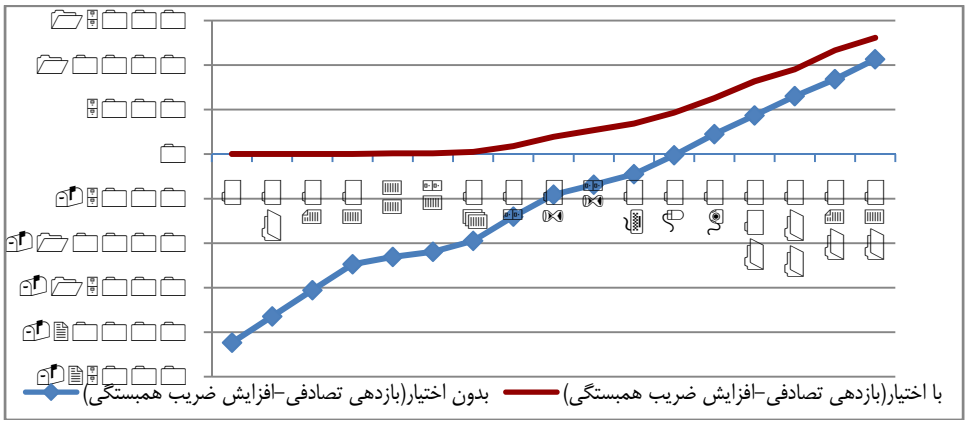
۱- انتخاب این عدد در این مطالعه اختیاری است

از مقایسه منحنی‌های ارزش میدان نفتی بدون اختیار در دو حالت بازدهی آسایش ثابت و تصادفی در نمودار (۵) مشاهده می‌شود که وجود بازدهی آسایش تصادفی باعث می‌شود که ارزش میدان نفتی در حالت بدون اختیار کاهش یابد، زیرا وجود بازدهی آسایش تصادفی به معنای افزایش عامل‌های ریسکی است. هر چه محیط اقتصادی ریسکی‌تر باشد باید قیمت‌های بالاتری پرداخت شود که این مسئله خود را به صورت کاهش ارزش پروژه نشان می‌دهد. این تفاوت ارزش با افزایش قیمت افزایش می‌یابد ولی در قیمت‌های بالا تقریبا به یک ثبات می‌رسد.



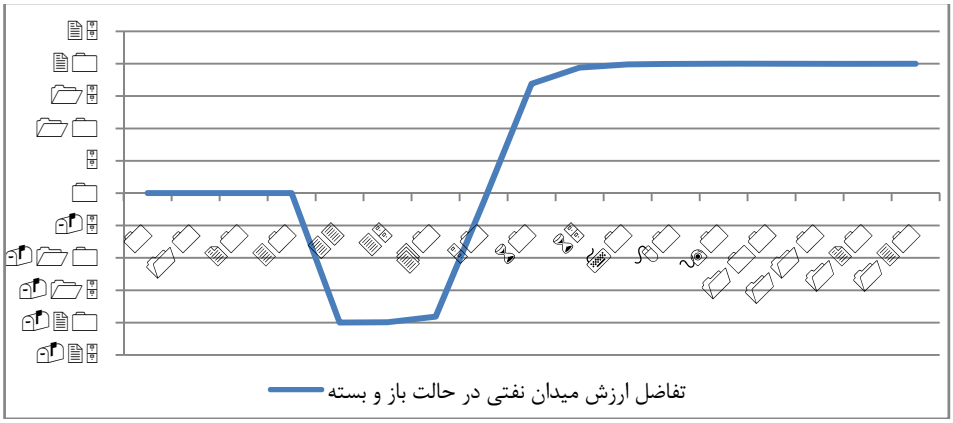
نمودار(۵)- مقایسه ارزش پروژه بدون اختیار در دو حالت بازدهی ثابت و تصادفی بر حسب قیمت نقدی

منبع: یافته‌های محقق



نمودار(٦)- مقایسه ارزش پروژه در حالت بدون اختیار بر حسب قیمت نقدی

منبع: یافته‌های محقق



نمودار(۷)-تفاضل دو اختیار باز و بستن بر حسب قیمت نقدی در حالت بازدهی آسایش تصادفی

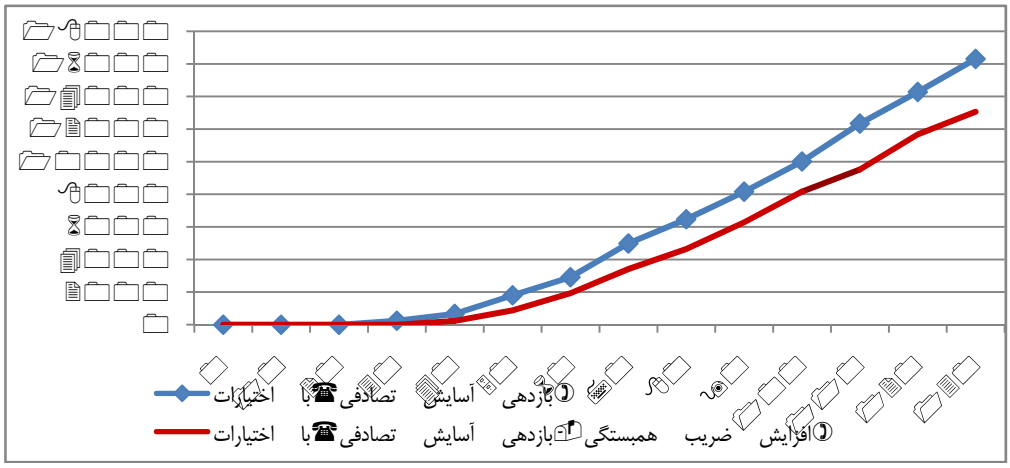
منبع: یافته‌های محقق

یکی از پارمترهای مهم در مدل دو عاملی ضریب همبستگی میان قیمت نقدی و بازدهی آسایش تصادفی است. مقدار به‌دست آمده برای این عامل در مدل تقریباً معادل۰/۴ است. در ادامه می‌خواهیم اثرات این پارامتر را مطالعه نماییم. برای این منظور ضریب همبستگی را تقریباً دو برابر نموده سپس با استفاده از روش مونت کارلو به ارزیابی میدان نفتی در حالت بدون اختیار و با اختیار می‌پردازیم که نتایج به‌دست آمده در نمودار (۶) به تصویر کشیده شده‌اند که رفتاری مشابه سایر موارد قبلی که بیان شد دارد با این تفاوت که ارزش فعلی در قیمت ۸۰ دلار صفر می‌شود و هم‌چنین از قیمت‌های ۴۰ دلار به بالا اختیار قابل اعمال است. هم‌چنین از نمودار (۷) رفتار قیمت‌های تغییر حالت استخراج می‌شود. از این نمودار مشخص می‌شود که قیمت باز نمودن پروژه تقریبا معادل ۶۵ دلار است و بازه قیمت بستن پروژه به صورت موقت بین ۳۳ دلار و ۳۵ دلار است که نسبت به حالت قبل کاهش یافته است و که این امر به معنای افزایش بازه رها کردن پروژه است.

از نمودار (۸) و نمودار (۹) می‌توان دریافت که افزایش ضریب همبستگی میان قیمت نقدی و بازدهی آسایش باعث می‌شود که ارزش میدان نفتی در حالت بدون اختیار و با اختیار کاهش یابد.

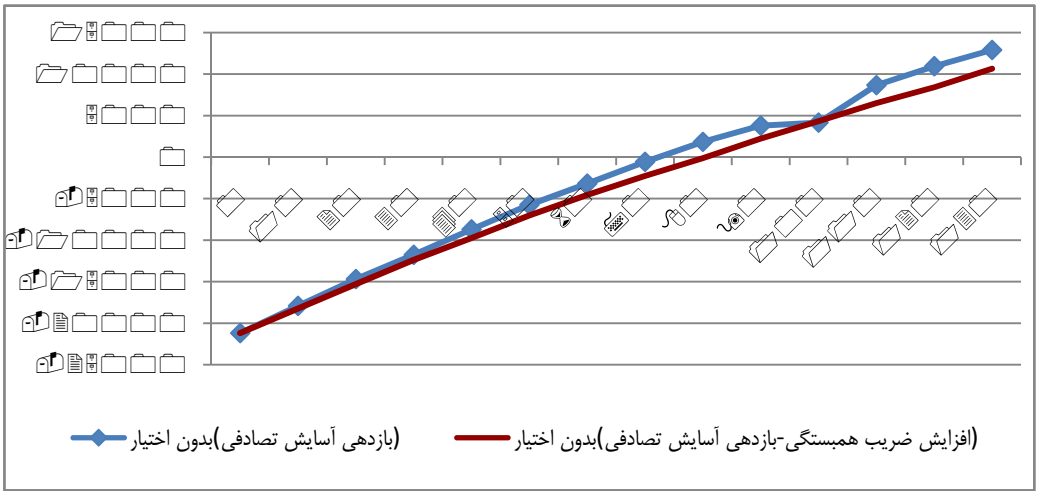
بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اختیارات دارای ارزش هستند و مدیر پروژه بر اساس رفتار عوامل ریسکی (قیمت نقدی و بازدهی آسایش) تصمیم گیری نماید. چون زمانی که تنها عامل ریسک قیمت نقدی نفت خام است و بازدهی آسایش ثابت است قیمت‌های اعمال اختیارات با

حالتی که قیمت و بازدهی آسایش تصادفی هستند متفاوت می‌باشند.



نمودار(۸)- مقایسه ارزش پروژه‌ها در حالت با اختیار بر حسب قیمت نقدی

منبع: یافته‌های محقق



نمودار(۹)- مقایسه ارزش پروژه‌ها در حالت بدون اختیاربر حسب قیمت نقدی

منبع: یافته‌های محقق

References:

[1] Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. The journal of political economy, 637-654.

[2] Brennan, M. J., & Schwartz, E. S. (1985). Evaluating natural resource investments. Journal of business, 135-157.
[3] Carmona, R., &Ludkovski, M. (2004). Spot convenience yield models for the energy markets. Contemporary Mathematics, 351, 65-80.
[4] Cortazar, G., & Schwartz, E. S. (2003). Implementing a stochastic model for oil futures prices. Energy Economics, 25(3), 215-238.
[5] Dixit, A. K. and Pindyck, R. S. (1994), "Investment under Uncertainty", Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
[6] Ekern, S. (1988). An option pricing approach to evaluating petroleum projects. Energy Economics, 10(2), 91-99.
[7] Gamba, A. (2003). Real options valuation: A Monte Carlo approach. Faculty of Management, University of Calgary WP, (2002/3).
[8] Hull, J. C. (2002), "Options, Futures and Other Derivatives", Fifth Edition, Prentice Hall, USA.
[9] Lautier, D. (2009). Convenience yield and commodity markets.
[10] McDonald, R. L., & Siegel, D. R. (1985). Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down. International Economic Review, 26(2), 331-349.
[11] Øksendal, B. (2003). Stochastic differential equations (pp. 65-84). Springer Berlin Heidelberg.
[12] Richardson, M. (2010). "Numerical Methods for Option Pricing", working paper.
[13] Schwartz, E. S. (1997). The stochastic behavior of commodity prices: Implications for valuation and hedging. The Journal of Finance, 52(3), 923-973.
[14] Seydel, R. u. (2009). "Tools for computational Finance", Fourth Edition, Springer.
[15] Tsekrekos, A. E., Shackleton, M. B., &Wojakowski, R. (2012). Evaluating natural resource investments under different model dynamics: Managerial insights. European Financial Management, 18(4), 543-575.