فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال شانزدهم / شماره ۶۵/ تابستان ۱۳۹۹/ صفحات ۲۶۳-۲۲۱

ارزیابی اقتصادی پروژه‌های خورشیدی در شرایط عدم اطمینان با رویکرد اختیار واقعی فازی - مطالعه موردی: نیروگاه برق فتوولتاییک ۲ مگاواتی جنوب اصفهان

محمد مشهدیزاده[۱]
استادیار، گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه، اصفهان،
moh.msh49@gmail.com

محسن دستگیر
استاد، گروه حسابداری، دانشگاه آزاد واحد خوراسگان، اصفهان،
mdastgir@hatmail.com

سهیل سلحشور
استادیار، گروه ریاضی، دانشگاه آزاد، واحد مبارکه اصفهان
soheilsalahshour@mau.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۴۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰

چکیده

سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی با توجه به افزایش پویایی حاکم بر شرایط اقتصادی و مالی آنها درگیر عدم قطعیت‌های فراوانی بوده که بیشتر بازگشت‌ناپذیر است، لذا پرداختن به روش‌های نوین ارزیابی اقتصادی این پروژه‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این پژوهش چارچوبی فراهم گردید تا در قالب آن از نظریه اختیار واقعی در ارزیابی یک نیروگاه فتوولتاییک ۲ مگاواتی در جنوب استان اصفهان (به‌عنوان مطالعه موردی)، در مقایسه با روش‌های سنتی، استفاده گردد. ابتدا به روش پیمایشی از دیدگاه یک نمونه ۳۶ نفری از خبرگان، نقش این اختیارات بر ارزش پروژه مورد آزمون قرار گرفت. ابزار جمع‌آوری اطلاعات در این آزمون پرسشنامه‌ای محقق ساز با ۹ گویه بود که پایایی آن با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ تأیید گردید. نتایج حاکی از وجود رابطه معنی‌دار بین به‌کارگیری اختیارات و افزایش ارزش سرمایه‌گذاری، در صورت لحاظ کردن اختیارهای گسترش، واگذاری و صبر بود. سپس اختیارات شناسایی شده مناسب با نیروگاه با روش اختیار واقعی به کمک درخت دو جمله‌ای فازی (جهت پوشش بهتر عدم اطمینان‌ها)، ارزش‌گذاری و مشخص شد که رویکرد اختیار واقعی فازی ضمن افزایش ارزش سرمایه‌گذاری از انعطاف بیشتری نسبت به روش‌های سنتی برخوردار است.

طبقه‌بندی JEL: C02, G31, G11, Q20

کلید واژه‌ها: نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک، عدم اطمینان، اختیار واقعی، منطق فازی، درخت دوجمله‌ای

---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

بشر در آینده نه چندان دور با دو بحران بزرگ آلودگی محیط‌زیست در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی و شتاب فزاینده در جهت به پایان رسیدن این منابع، روبرو خواهد بود. بحران‌های سیاسی، اقتصادی و مسائلی نظیر محدودیت ذخایر فسیلی، نگرانی‌های زیست‌محیطی، ازدحام جمعیت، رشد اقتصادی و ضریب مصرف، اندیشمندان را به یافتن راهکارهای مناسب، از جمله استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، برای حل معضلات انرژی جهان وادار کرده است. امروزه بیشتر کشورهای جهان به اهمیت و نقش منابع انرژی به‌ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر[1] پی برده و به‌طور گسترده برای بهره‌برداری از این منابع، تحقیقات وسیع و سرمایه‌گذاری‌های اصولی انجام داده‌اند. به‌طوری‌که اروپا تا سال ۲۰۵۰ قبل از اینکه سوخت‌های فسیلی به پایان برسد، ۲۰ درصد از انرژی مورد نیاز خود را از طریق سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌دست خواهد آورد.[2]

از میان انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید انرژی برق از منبع بی‌پایان خورشید، از جایگاه ویژه‌ای در تمام کشورها علی‌الخصوص کشورهای قرار گرفته روی کمربند طلایی خورشید جهان (مانند کشورهای آسیایی از جمله کشور ایران) برخوردار است. لازم به ذکر است در کشور ما توجه خاصی به این پروژه‌ها در قالب نیروگاه‌های فتوولتاییک[3] در ظرفیت‌ها و مصارف مختلف در دستور کار دولت جمهوری اسلامی ایران قرار گرفته است.

سیستم‌های فتوولتاییک سیستم‌هایی هستند که انرژی حاصل از نور خورشید را به‌طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند و با مزایایی چون کاهش آلودگی‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای[4]، سهولت نصب و راه‌اندازی و استقرار پراکنده در مناطق مختلف، مورد توجه کارشناسان انرژی قرار گرفته‌اند (رحمانی فر،۱۳۹۰).

جمهوری اسلامی ایران در برنامه پنجم توسعه ۵۰۰۰ مگاوات انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته است، هر چند تاکنون تنها نزدیک به ۱۰۰ مگاوات نیروگاه برق تجدیدپذیر اعم از بادی و خورشیدی در کشور نصب و راه‌اندازی شده است. جالب اینجاست که در

1. Renewable Energy
2. www.shana.ir
3. Photovoltaic Plant
4. Green House Gases(GHG)

برنامه چهارم توسعه هم ۲۰۰۰ مگاوات برق تجدیدپذیر پیش‌بینی شده بود که به‌دلایلی محقق نشد. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین منابع می‌باشد. میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین به بیشترین مقدار خود می‌رسد. کشور ایران نیز در نواحی پرتابش واقع است و مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مناسب بوده و می‌تواند بخشی از انرژی مورد نیاز کشور را تأمین نماید[1]. ایران کشوری است که به گفته متخصصان این فن با وجود ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم مساحت آن و متوسط تابش ۵/۵ – ۴/۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز، یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی محسوب می‌شود. تعداد روزهای ابری پشت سرهم در سراسر کشور کمتر از ۵ روز در سال و همچنین شفافیت هوا در اکثر نقاط ایران بیش از ۶۰ درصد می‌باشد. علاوه بر این با توجه به آنکه در نقاط مرتفع، میزان تابش خورشید بیشتر بوده و سرزمین ما نیز کوهستانی است و اکثر نقاط آن ارتفاعی بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا دارند، لذا همه این موارد مزایا و ویژگی‌های مهم و مؤثری در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی محسوب می‌شوند. برخی از کارشناسان انرژی خورشیدی گام را فراتر نهاده و در حالتی آرمانی ادعا می‌کنند که ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی، می‌تواند انرژی مورد نیاز بخش‌های گسترده‌ای از منطقه را نیز تأمین و در زمینه صدور انرژی برق نیز فعال شود (ساتکین، ۱۳۸۰).

از نظر کارشناسان در میان مناطق مختلف کشور، استان اصفهان با توجه به شرایط اقلیمی مناسب، به‌عنوان یکی از مستعدترین مناطق برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی شناسایی شده است. طبق آمار منتشره ظرفیت نصب شده انرژی خورشیدی تا پایان سال ۱۳۹۴ در استان اصفهان معادل ۱۴/۲ درصد از کل ظرفیت نصب شده کشور است. کارشناسان این حوزه، این استان را با توجه به پتانسیل‌های موجود و همچنین سوابق طولانی در تولید برق، یکی از مناطق مستعد بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌دانند. بهره‌برداری از یک نیروگاه ۱۳۵ کیلو واتی در سال ۱۳۹۴ و یک نیروگاه ۵۰ کیلوواتی انرژی خورشیدی و توربین بادی با قدرت ۶۶۰ کیلووات ساعت با

1. www.shana.ir

وزش باد با سرعت ۵ تا ۲۵ متر بر ثانیه در سال ۱۳۹۵ در کوهستان صفه، دلیل بر این ادعا است. همچنین در دستور کار قرار گرفتن ساخت ۴۷ مگاوات نیروگاه بادی و ۲۶۴ مگاوات نیروگاه خورشیدی در نواحی مختلف استان اصفهان در سال‌های آتی و احداث هفت ایستگاه پتانسیل سنجی باد، همگی حاکی از اهمیت موضوع برای دولت در استان اصفهان بوده و این خود لزوم مطالعات فنی و اقتصادی بیشتر در این منطقه از کشور را نمایان می‌سازد.[1]

مهم‌ترین مزایای انرژی خورشیدی نسبت به سایر منابع تجدیدپذیر، امکان استفاده درگستره وسیع‌تری از کشور، امکان نصب در توان دلخواه و هزینه تعمیرات و نگهداری پایین است. انرژی خورشیدی از نظر محیط‌زیست بی‌خطر و با شرایط فرهنگی متفاوت به‌خوبی در پیوند است؛ اما محدودیت‌های اقتصادی و فنی زیادی وجود دارند که سرمایه‌گذاری در حوزه این انرژی‌ها را با مشکل روبرو ساخته‌اند. از جمله، محدودیت‌های فنی شامل: شدت انرژی کم، ابرها و هوای نامنظم؛ محدودیت‌های بنیادی نظیر تغییرپذیری برنامه‌های تشویقی دولت؛ محدودیت‌های فرهنگی-اجتماعی شامل: تغییر در روش زندگی برای حداکثر استفاده از منابع انرژی نو؛ محدودیت‌های آموزشی به دلیل ضعف دانش و تجربیات محدود متخصصین؛ محدودیت‌های اقتصادی و مالی شامل: قیمت ارزان برای سوخت‌های محلی، هزینه‌های سرمایه‌ای زیاد برای سیستم‌های خورشیدی، هزینه بالا برای حمل و نقل انرژی برق یا حرارتی حاصل از انرژی خورشیدی، هزینه ساخت و تجهیز بالا در مقایسه با ارزش انرژی (معینی پناه و مددی، ۱۳۹۰).

ماهیت سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی خورشیدی به‌گونه‌ای است که سرمایه‌گذاران با عدم قطعیت فراوانی روبرو هستند. با این حساب، افزایش پویایی شرایط حاکم بر فعالیت‌های اقتصادی و مالی در این حوزه نیازمند وجود یک روش تحلیلی مناسب و کارآمد است تا نقایص روش‌های متعارف تنزیل جریان‌های نقدی[2] (DCF) از جمله‌ایستا بودن را نداشته باشد. بر این اساس، در حدود سه دهه گذشته، پیشرفت‌های چشمگیری برای توسعه روش‌های کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در قالب نظریه اختیارات

1. www.erec.co
2. Discounted Cash Flows (DCF)

واقعی[1] (ROT) در حوزه انرژی‌های مختلف صورت گرفته است و تفکر نوینی را در ارتباط با ارزیابی طرح‌های سرمایه‌گذاری ارائه می‌نماید. با توجه به ماهیت پروژه‌های انرژی (فسیلی و تجدیدپذیر) استفاده از روش اختیارات واقعی نسبت به روش‌های سنتی بودجه‌بندی سرمایه‌ای[2] و ارزیابی اقتصادی در اولویت قرار می‌گیرد. علت اصلی این موضوع آن است که:

(۱) بسیاری از سرمایه‌گذاری‌های حوزه انرژی در صورت عدم موفقیت، غیرقابل برگشت است. (۲) اگر مدیران در استفاده از حرکت‌های مطلوب تولید، تقاضا و قیمت در جهت مثبت، از انعطاف‌پذیری و اختیارات مدیریتی مناسبی برخوردار باشند، احتمال عدم قطعیت در آینده، می‌تواند باعث افزایش ارزش پروژه گردد.

به‌طورکلی روش‌های ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها به دو دسته روش‌های سنتی و جدید تقسیم می‌شوند. روش جریان وجوه تنزیل شده یا (DCF) یکی از رویکردهای پر کاربرد در انجام برآوردهای مالی است و شاخص‌های متعددی را ارائه می‌کند که هر یک به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی مطرح بوده و در تقسیم‌بندی روش‌های ارزیابی مالی در گروه روش‌های سنتی قرار می‌گیرند. از مهم‌ترین این شاخص‌ها می‌توان به خالص ارزش فعلی[3] (NPV)، نرخ بازگشت داخلی[4] (IRR) و دوره بازگشت سرمایه[5] (PP) اشاره کرد. در بیان نقاط مثبت شاخص‌های مذکور می‌توان به‌سادگی، مطرح بودن آنها به‌عنوان شاخص‌های مالی مشترک بین شرکت‌ها و لحاظ کردن ارزش زمانی پول در ارزیابی اشاره نمود. علیرغم این مزایا، معایب بسیار مهمی را نیز می‌توان بر این روش‌ها بیان نمود. از جمله‌اینکه روش‌های سنتی مبتنی بر ایجاد تصویر ثابتی از وقایع آینده هستند و در برخورد با عدم قطعیت بالا و پیچیدگی زیاد محیط و پارامترهای اقتصادی و سرمایه‌گذاری، کفایت لازم ندارند. دیگر اینکه، در این روش‌ها برای توجیه‌پذیری سرمایه‌گذاری به عدم اطمینان حاکم بر محیط پروژه و انعطاف‌پذیری مدیریت در تصمیم‌گیری‌ها و در نهایت ارزش اضافی حاصل از آن، توجه نمی‌شود. به عبارت بهتر،

1. Real Options Theory (ROT)
2. Capital Budgeting
3. Net Present Value (NPV)
4. Internal Rate of Return (IRR)
5. Payback Period (PP)

در روش‌های سنتی، بررسی یک طرح مبتنی بر تنزیل جریان‌های نقد می‌باشد که ضمن شناسایی و اندازه‌گیری این جریان‌ها در مقاطع مختلف زمانی و سپس تنزیل و تجمیع آن، یک مقدار مشخص به‌عنوان شاخصی برای تصمیم‌گیری، به‌دست می‌آید؛ بنابراین روش‌های سنتی به‌دلیل ایستا بودن، فاقد انعطاف‌پذیری لازم برای موقعیت‌های با عدم اطمینان بالا بوده و از پویایی لازم جهت برخورد با موقعیت‌های پیچیده برخوردار نیستند (فانی و همکاران، ۱۳۹۱).

برخلاف روش‌های سنتی، در رویکرد اختیار واقعی، مسیرهای مختلفی برای تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود که انعطاف‌پذیری کافی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در محیط‌های نامطمئن را فراهم می‌آورد. به‌طورکلی مزیت این رویکرد نسبت به روش‌های سنتی به هنگام تحلیل تصمیمات استراتژیک سرمایه‌گذاری در شرایط عدم اطمینان خود را نشان می‌دهد. مطالعات زیادی ثابت کرده‌اند که رویکرد اختیار واقعی به علت در نظر گرفتن انعطاف در ارزیابی پروژه، باعث بالا رفتن ارزش پروژه می‌شود (دیویس و اون[1]، ۲۰۰۳: مایرز[2]، ۱۹۷۷).

وجود اختیار واقعی می‌تواند منجر به ایجاد انگیزه برای ورود به طرح‌هایی شود که تا قبل از این دارای توجیه نبوده‌اند. به عبارت بهتر آزادی و اختیار در سرمایه‌گذاری، ارزش سرمایه‌گذاری را بالا می‌برد. بدین ترتیب، روش اختیار واقعی که بر پایه تنزیل جریان وجوه آتی ایجاد شده، ضمن اضافه نمودن اختیارات مدیریتی و استفاده از نرخ تنزیل بدون ریسک در تبدیل ارزش‌های آتی به ارزش فعلی و با در نظر گرفتن اثر انعطاف‌پذیری بر پروژه با فروض واقع‌بینانه‌تر، ارزش افزوده حاصل از این تغییرات را دقیق‌تر و نزدیک‌تر به واقعیت محاسبه و برآورد می‌کند. این ویژگی بارز تا حد زیادی مشکل ایستایی روش‌های سنتی را برطرف نموده است (دستگیر، ۱۳۹۳).

با توجه به موارد گفته شده، این مقاله به‌دنبال نقد و بررسی روش‌های معمول ارزیابی و معرفی روشی بهینه برای با رویکرد جدیدی تحت عنوان اختیار واقعی است. بدین ترتیب هدف اصلی این پژوهش کاربرد نظریه اختیارات واقعی در ارزیابی تصمیمات

1. Davis and Owens
2. Myers

سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های فتوولتاییک در شرایط عدم اطمینان است و مطابق با این هدف سؤال‌های پژوهش به‌صورت زیر مطرح می‌شوند:

سؤال اول: اختیارات و انعطاف‌های مدیریتی در رابطه با پروژه‌های فتوولتاییک، چگونه تصمیمات سرمایه‌گذاری را تحت تأثیر قرار می‌دهند؟ کدام نوع از این اختیارات مناسب با پروژه فتوولتاییک مورد مطالعه است؟

سؤال دوم: چگونه رویکرد اختیار واقعی به کمک منطق فازی می‌تواند به‌عنوان یک معیار مناسب و مکمل برای مدل‌های تنزیل جریان‌های نقدی مطرح گردد؟ تفاوت نتایج روش‌های سنتی با نتایج روش موجود در این پژوهش چه میزان است؟ آیا وجود اختیار واقعی می‌تواند منجر به ایجاد انگیزه برای ورود به پروژه‌هایی شود که تا قبل از این دارای توجیه اقتصادی نبوده‌اند؟

نوآوری پژوهش حاضر را می‌توان در به‌کارگیری روش درخت دوجمله‌ای با رویکرد فازی در ارزش‌گذاری اختیارات واقعی برای نیروگاه‌های فتوولتاییک خورشیدی و برای اولین بار در ایران، قلمداد نمود.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

اختیار واقعی رویکردی سیستماتیک مبتنی بر تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان و پیچیده است، که در آن تعیین انتظارات از تغییرات آتی با در نظرگرفتن عدم اطمینان‌های موجود نقش اساسی را ایفا می‌نماید. در این رویکرد با استفاده از نظریه اختیار، تحلیل اقتصادی، تحقیق در عملیات، نظریه تصمیم، علم آمار و مدل‌سازی اقتصادسنجی، در فضای تصمیم‌گیری پویا و محیط‌های تجاری نامطمئن و در قالب تصمیم‌گیری استراتژیک سرمایه‌گذاری، ارزش‌گذاری دارایی‌ها اعم از فیزیکی و مالی و ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها، کاربرد می‌یابد (اکبری و کیمیاگری، ۱۳۹۰).

وجود اختیارات واقعی در شرایط عدم قطعیت توجیه دارد و هر چه عدم قطعیت بیشتر باشد، ارزش اختیارات و انعطاف‌پذیری بیشتر است. به بیان بهتر، ارزش ناشی از انعطاف‌پذیری با میزان عدم قطعیت پروژه، رابطه مستقیم دارد. این امر باعث بروز تفاوت میان دیدگاه اختیار واقعی و دیدگاه سنتی در مواجهه با عدم قطعیت می‌شود. انواع انعطاف‌پذیری رایج در پروژه‌های سرمایه‌گذاری عبارتند از: اختیار درنگ در

سرمایه‌گذاری یا اختیار صبر[۱]، اختیار خروج از پروژه و رها کردن[۲] آن، اختیار توسعه[۳] و اختیار مرکب[۴] که ترکیبی است از انواع دیگر اختیار (فانی و همکاران، ۱۳۹۱).

نظریه اختیار واقعی برگرفته از نظریه اختیارات مالی[۵] است. اختیارات واقعی در حقیقت اختیاراتی هستند که همواره در دنیای واقعی وجود داشته‌اند و در پروژه‌ها مانند اختیارات مالی موجب کاهش ریسک پروژه می‌شوند. نظریه اختیارات مالی که برای اولین بار در سال ۱۹۷۳ توسط بلک و شولز و مرتون[۶] مطرح شد، سعی در ارزشیابی ابزارهایی مالی به نام اختیارات مالی یا قراردادهای مشتق شده از سهام با هدف کاهش ریسک سرمایه‌گذاری را دارد.

مهم‌ترین تقسیم‌بندی برای اختیارات مالی تقسیم‌بندی آنها به دو گروه اختیار فروش[۷] و اختیار خرید[۸] است. اختیار عبارت است از حق و نه تعهد خرید (فروش) یک دارایی به قیمت مشخص در یا تا تاریخ مشخصی. در قراردادهای اختیار مالی، دارایی پایه معمولاًسهام است ،درحالی‌که یک اختیار واقعی حق مربوط به اتخاذ تصمیمات سرمایه‌گذاری در مورد دارایی‌های واقعی است. این حق شامل حق به تعویق انداختن، ساختن، واگذاری و تغییر وضعیت و مواردی از این قبیل می‌باشد (دیکست و پیندیک[۹]،۱۹۹۴).

اختیارات مالی دارای زمان سررسید هستند که بعد از آن تاریخ، اختیار فاقد اعتبار است. اختیاراتی که به سرمایه‌گذار اجازه می‌دهند تا هر زمان قبل از زمان سررسید اختیار خود را اعمال کند، به اختیارات آمریکایی[۱۰] معروف بوده و اختیاراتی که تنها در زمان سررسید قابل اعمال هستند را اختیارات اروپایی[۱۱] گویند. از دید کارشناسان ارزیابی مالی پروژه‌ها، ارزش‌گذاری اختیارات آمریکایی بسیار مهم‌تر از ارزشیابی

1. Option to Defer
2. Abandonment Option
3. Expansion Option
4. Compound Option
5. Financial Options Theory
6. Black, Scholes and Merton
7. Put Option
8. Call Option
9. Dixit and Pindyck
10. American Options
11. European Options

اختیارات اروپایی بوده و بسیاری از اختیارات واقعی شناخته شده معادل اختیارات آمریکایی هستند. نظریه 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 واقعی با اختیارات مالی، می‌توان ارزش اضافی که این اختیارات برای پروژه به وجود می‌آورند را اندازه‌گیری کرد (مون[1]، ۲۰۰۶). این اختیارات واقعی اغلب در زمینه تصمیم‌گیری‌های زمان‌بندی سرمایه‌گذاری، تعطیل و توقف تولید، واگذاری، گسترش و یا انعطاف در طراحی تولید واقع می‌شوند (دستگیر، ۱۳۹۰).

بیشتر تلاش‌هایی که تا به امروز برای ارزش‌گذاری اختیارات واقعی صورت گرفته است معادل با ارائه روش‌هایی عددی برای تخمین ارزش اختیارات آمریکایی است. به‌طورکلی روش‌های عددی تخمین اختیارات آمریکایی و اروپایی را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم‌بندی کرد (مون، ۲۰۰۶؛ فانی و همکاران، ۱۳۹۱):

۱- حل معادلات دیفرانسیل جزیی[2] و ارزش‌گذاری اختیار به روش تفاضل محدود[3]

۲- فرم بسته بلک- شولز[4]

۳- روش‌های شبکه‌ای[5] (دوجمله‌ای و سه‌جمله‌ای)

۴- روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی مونت کارلو[6] (الگوریتمGVW[7]، روش حداقل مربعات مونت کارلو[8] LSM)

به‌طورکلی استفاده از اختیار واقعی وقتی سرمایه‌گذاری بازگشت ناپذیر است و در مورد وضعیت آینده عدم اطمینان زیادی وجود دارد، مناسب می‌باشد. استفاده از تکنیک اختیار واقعی زمانی مناسب است که ارزش دارایی پایه از عدم قطعیت بالا و مدیریت از انعطاف‌پذیری بالایی برای تغییر دوره عمر اختیار برخوردار بوده و این‌که مدیریت بتواند اختیار را در زمان مناسب، اعمال نماید (مون، ۲۰۰۶). در این راستا طی چند سال گذشته، رشد زیادی در مورد استفاده از مدل‌های اختیار سرمایه‌گذاری رخ داد. به‌عنوان

1. Mun
2. Partial differential equations (PDE)
3. Finite differential
4. Black- Schols Closed form
5. lattice Model (Binomial & Trinomial)
6. Mont-Carlo Simulation
7. Grant-Vora & weeks Algorithm (GVW)
8. Least square Mont-Carlo method (LSM)

مثال کولان[1] و همکاران (۲۰۰۹) در دانشگاه فنلاند یک مدل فازی برای ارزشیابی اختیار واقعی با تأکید بر روش درآمدی ارائه نمودند. بر اساس این مدل، استفاده از منطق و اعداد فازی می‌تواند به ارزشیابی این اختیار در صنایع، کمک قابل ملاحظه‌ای بنماید. کاهرمان و اوکال[2] (۲۰۰۹) از دانشگاه استانبول ترکیه، پس از حل مدل بلک-شولز با رویکرد قطعی اختیار واقعی و همچنین رویکرد فازی آن، برای سرمایه‌گذاری در یک میدان نفتی، اختلاف قابل توجهی را بین ارزش اختیار واقعی در حالت قطعی و حالت فازی شده آن گزارش کردند و پیوند عمیق بین نظریه اختیار واقعی و منطق فازی را نشان دادند. از آن زمان به بعد مطالعات فازی در پروژه‌های تحقیق و توسعه، فناوری اطلاعات، نفت و گاز، وسعت یافت. لی و فان[3] (۲۰۱۰) مدل اختیار واقعی و کاربرد آن را در تصمیمات سرمایه‌گذاری خارجی روی صنعت نفت چین به‌کار بردند و با توسعه یک مدل اختیار واقعی، بیان کردند که چگونه یک سرمایه‌گذار می‌تواند تحت عدم قطعیت‌های قیمت نفت، نرخ معاوضه و محیط سرمایه‌گذاری، تصمیم‌گیری کند. هو و لیائو[4] (۲۰۱۱) روش درخت دوجمله‌ای فازی را جهت ارزش‌گذاری اختیار تأخیر، رهاسازی و مرکب برای تولید محصولات جدید در صنایع بیوتکنولوژی تایوان به‌کار گرفتند. نتیجه تحقیق آنها ارزش بیشتر رویکرد اختیار واقعی فازی نسبت به روش‌های قطعی بود که دلیل این امر را پوشش بهتر عدم قطعیت‌های موجود در پروژه عنوان کردند. وانگ[5] و همکاران (۲۰۱۴) مدل نوظهوری را بر مبنای رویکرد اختیار واقعی برای ارزیابی پروژه‌های ذخیره‌سازی و نگهداری کربن (CCS) در شرایط عدم اطمینان به کمک مدل درخت سه‌جمله‌ای و به سفارش مرکز تحقیقات انرژی و سیاست‌گذاری محیط‌زیست کشور چین (به‌عنوان مدلی کاربردی در قیمت‌گذاری CCS) ارائه نمودند.

همان‌طور که قبلاً گفته شد پروژه‌های سرمایه‌گذاری مربوط به احداث نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر نیازمند مخارج سرمایه‌گذاری بالا و اغلب بازگشت ناپذیر و دارای عدم‌اطمینان بالایی هستند. همه این ویژگی‌ها سبب می‌شود که نظریه اختیار واقعی

1. Collan
2. Kahraman and Ucal
3. Lei and Fan
4. Ho and Liao
5. Wang

رویکرد مناسبی در ارزیابی این پروژه‌ها به حساب آید. بدین ترتیب در سال‌های گذشته، بررسی کاربرد اختیار واقعی در ارزیابی پروژه‌های نیروگاهی نیز موضوع چندین مطالعه مختلف قرار گرفت.

ونتسانس[1] و همکاران (۲۰۰۲) از مدل اختیار واقعی برای ارزیابی پروژه‌های مربوط به تولید برق تجدیدپذیر بادی استفاده کردند، این محققان در ابتدا عدم قطعیتی که در رابطه با منابع تولید انرژی وجود داشت را شناسایی و سپس اختیاری متناسب با پروژه را انتخاب نموده و برای ارزش‌گذاری اختیار از مدل بلک شولز استفاده نمودند و نتایج حاصل از مدل خود را با تکنیک خالص ارزش فعلی مقایسه و دریافتند که در پروژه مورد بررسی ارزش اختیار مثبت، درحالی‌که ارزش فعلی خالص پروژه منفی بود. کجارلند[2] (۲۰۰۷) در تحقیقی از نظریه اختیار واقعی برای ارزیابی فرصت‌های سرمایه‌گذاری مربوط به تولید برق آبی در نروژ استفاده نمود و به این نتیجه رسید که بین سطح قیمت برق و زمان‌بندی بهینه سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های برق آبی رابطه وجود دارد. مونوز[3] و همکارانش (۲۰۰۹) مدلی را برای ارزیابی سرمایه‌گذاری در بخش تولید برق با استفاده از انرژی بادی توسعه دادند، این محققان از یک مدل تصادفی برای پارامترهای متأثر از روش تنزیل جریان نقدی و تکنیک اختیار واقعی برای ارزیابی احتمالات مربوط به سرمایه‌گذاری، انتظار یا واگذاری پروژه استفاده نمودند. مارتینز[4] (۲۰۱۲) در رساله دکتری خود تحت عنوان "کاربرد نظریه اختیار واقعی در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر" در دانشگاه منچستر ضمن معرفی انواع انرژی‌های تجدیدپذیر به ارزشیابی سرمایه‌گذاری در این انرژی‌ها به کمک مدل‌های دو جمله‌ای، بلک – شولز و شبیه‌سازی به تفکیک هر نوع انرژی پرداخته و به‌طور خلاصه نشان داد که نظریه اختیار واقعی در این پروژه‌ها سبب افزایش قابل توجه در ارزش اختیارهای مختلف در سرمایه‌گذاری و انعطاف در تصمیمات سرمایه‌گذاری خواهد شد. لوئیز[5] و همکارانش (۲۰۱۲) از رویکرد اختیار واقعی برای ارزیابی اقتصادی مزارع بادی در اسپانیا استفاده

1. Venetsanos
2. Kjaerland
3. Munoz
4. Martinez
5. Luiz Abadie

کردند. قیمت برق و یارانه‌های دولتی را تابع یک فرآیند تصادفی در نظر گرفته و به کمک روش شبیه‌سازی مونت کارلو و درخت دوجمله‌ای، اختیاری از نوع اختیار خرید آمریکایی را ارزش‌گذاری و عوامل عدم قطعیتی چون یارانه‌های دولتی، نوسان قیمت برق و زمان انقضا اختیارات را جزو مهم‌ترین پارامترهای غیرقطعی مؤثر بر اختیار واقعی در نیروگاه‌ها (مزارع) بادی اسپانیا، شناسایی کردند. شین[1] (۲۰۱۴) از رویکرد اعداد فازی برای ارزش‌گذاری اختیار واقعی در شرایط عدم اطمینان برای نیروگاه‌های بادی تایوان استفاده نمود. وی متغیرهای عدم قطعیت را به‌صورت فازی وارد مدل بلک- شولز کرد و ضمن ارزیابی اختیار واقعی نتیجه گرفت که منطق فازی به‌خوبی می‌تواند عدم قطعیت محیط سرمایه‌گذاری این پروژه‌ها را پوشش داده و ارزش بیشتری را نسبت به ارزش‌گذاری در حالت غیرفازی، فراهم سازد. چان ونگ[2] و همکارانش (۲۰۱۵) با ترکیب مدل‌های اختیار واقعی و پویایی سیستم‌ها[3]، روابط پیچیده بین سرمایه‌گذاران و سیاست‌گذاران نیروگاه‌های فتوولتاییک در کره جنوبی را در شرایط عدم اطمینان مورد مطالعه قرار داده و روشی را برای بهینه‌سازی یارانه‌های مالی[4] دولتی و حذف یارانه‌های غیرضروری پیشنهاد کرده و اختیار گسترش این نیروگاه‌ها را با استفاده از مدل بلک- شولز ارزش‌گذاری نموده و نشان دادند که این ارزش بیشتر از خالص ارزش فعلی پروژه می‌باشد. کیم[5] و همکارانش (۲۰۱۶) نیز پروژه‌های برق فتوولتاییک کره جنوبی را با رویکرد اختیار واقعی تحت شرایط عدم اطمینان مورد ارزیابی قرار داده و با استفاده از مدل درخت دوجمله‌ای اختیار واگذاری این نیروگاه‌ها را ارزش‌گذاری و نتیجه گرفتند که لحاظ کردن اختیارات مدیریتی در ارزیابی این پروژه‌ها، نتایج ارزیابی را جذاب‌تر و سرمایه‌گذاران را علیرغم عدم قطعیت‌های فراوان آینده، به سرمایه‌گذاری مشتاق‌تر می‌نماید. تیان[6] و همکاران (۲۰۱۷) یک نیروگاه فتوولتائیک در چین را تحت شرایط بازار معاملات کربن با استفاده از نظریه اختیار واقعی به روش شبیه‌سازی مربعات حداقل مونت کارلو ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که مدل ارائه شده در تحقیق آنها برای

1. Sheen
2. Chanwoong
3. System dynamics
4. Financial subsidies
5. Kim
6. Tian

ارزیابی پروژه تولید انرژی فتوولتائیک و تعیین تصمیمات سرمایه‌گذاری مرتبط، مفید خواهد بود. لی، هو و لی[1] (۲۰۱۸) تصمیمات سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر چین تحت شرایط بازار معاملات کربن را با رویکرد اختیار واقعی مورد تحلیل قرار داده و نتیجه گرفتند که مدل پیشنهادی آنها به سرمایه‌گذاران در شناخت نوسان‌ها و ریسک پروژه‌های تجدیدپذیر در برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری در این بخش از انرژی‌های نوین کمک شایانی خواهد نمود. لی[2] و همکارانش (۲۰۱۸) سرمایه‌گذاری یک پروژه نیروگاهی فتوولتاییک در صحرای گابی چین را با استفاده از نظریه اختیار واقعی و با در نظر گرفتن قیمت برق به‌عنوان یک متغیر تصادفی شبیه‌سازی شده با فرآیند برآونی هندسی، به کمک یک مدل درخت دوجمله‌ای مورد ارزیابی قرار داده و پیشنهاد می‌کنند که دولت چین باید با تدوین یک خط مشی حمایتی مدون برای کمک به آغاز سرمایه‌گذاری در این پروژه‌ها و با طرح‌های یارانه‌ای مؤثر جهت افزایش ارزش سرمایه‌گذاری پروژه‌های فتوولتاییک اقدام نماید.

در مورد تحقیقات داخلی نیز می‌توان به مطالعه بکی و داودی (۱۳۹۴) اشاره کرد که در تحقیق خود امکان‌سنجی یک طرح نیروگاهی ۵۰۰ مگاواتی را مورد بررسی قرار داده و با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، ارزیابی اقتصادی طرح مذکور را با روش سنتی و روش اختیار واقعی انجام دادند و نتیجه گرفتند که کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و افزایش بازدهی این نیروگاه در شرایط استفاده از رویکرد اختیار واقعی برتری قابل‌ملاحظه و معنی‌داری را نسبت به روش‌های سنتی ارزیابی اقتصادی، از خود نشان می‌دهد. در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر نیز اصانلو و همکارانش (۱۳۹۴) در مطالعه خود با در نظر گرفتن قیمت برق به‌عنوان یک متغیر تصادفی و استفاده از روش شبیه‌سازی حداقل مربعات ارزش اختیار درنگ را محاسبه و نشان دادند که رویکرد اختیار واقعی منجر به افزایش ارزش نیروگاه بادی مورد مطالعه می‌گردد. جنتی پور و همکارانش (۱۳۹۶) نیز در تحقیقی با عنوان ارزیابی اقتصادی پروژه‌های بالادستی نفت و گاز با رویکرد اختیارات واقعی، اختیارات تعطیلی پروژه، کوچک‌سازی و واگذاری بخشی از پروژه توسعه پروژه و همچنین اختیارات مرکب برای پروژه میدان گازی آغار در استان

1. Li,Wu & Li
2. Li

فارس را در نظر گرفته و تأثیر آنها را بر ارزش پروژه با استفاده از روش درخت دوجمله‌ای بررسی و با ارزش‌ترین اختیار را اختیار گسترش تشخیص دادند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ گردآوری داده‌ها از نوع پیمایشی و از نظر ماهیت توصیفی- تحلیلی است. لذا پژوهشی که مقاله از آن استخراج گردیده است از لحاظ هدف پژوهش توصیفی، از لحاظ فرآیند اجرا پژوهش کیفی و از لحاظ نتایج پژوهشی کاربردی می‌باشد. ازآنجاکه تحقیقات مربوط به بودجه‌بندی سرمایه‌ای یا ارزیابی اقتصادی مستلزم بررسی یک پروژه سرمایه‌گذاری واقعی است، لذا به‌عنوان مطالعه موردی یک نیروگاه برق فتوولتاییک ۲ مگاواتی در جنوب استان اصفهان (به‌عنوان یکی از مناطق فوق‌العاده مستعد تولید برق خورشیدی در ایران) را مورد بررسی قرار می‌دهیم. جامعه آماری این پژوهش شامل ۳۶ کارشناس خبره در زمینه انرژی خورشیدی در سراسر ایران است. برای گردآوری داده‌های مورد نیاز ابتدا از روش مصاحبه ساخت‌مند با خبرگان این حوزه، استفاده و سپس پرسشنامه‌ای شامل ۹ گویه در ارتباط با انعطاف‌ها و اختیارات مدیران نیروگاه فتوولتاییک و نقش آنها بر تصمیمات سرمایه‌گذاری تهیه و پس از تأیید روایی و پایایی مقدماتی برای اعضا نمونه ارسال شد. پس از شناسایی تأثیر اختیارات بر تصمیمات سرمایه‌گذاری در این حوزه، در ادامه پروژه سرمایه‌گذاری نیروگاه برق فتوولتاییک جنوب اصفهان به‌وسیله روش‌های سنتی و رویکرد اختیار واقعی با استفاده از منطق اعداد فازی مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس نتایج با هم مقایسه شده است. در پژوهش حاضر برای پوشش بهتر عدم اطمینان‌های حاکم بر محیط سرمایه‌گذاری از منطق و اعداد فازی مثلثی استفاده خواهد شد.

در مدل‌های تصمیم‌گیری جهت برخورد با عدم قطعیت می‌توان به‌جای هر عدد قطعی، با استفاده از منطق فازی، یک عدد فازی مثلثی را مورد استفاده قرار داد. این اعداد قابلیت نمایش یک عدد قطعی را در سه وضعیت کمترین، محتمل‌ترین و بیشترین مقدار دارا هستند. در این شرایط مدل تصمیم‌گیری از حالت ایستا خارج شده هر چند که نتایج نهایی، به جای اعداد قطعی، به‌صورت اعداد فازی خواهند بود و در این شرایط، به روش مناسب، باید نتایج از حالت فازی به اعداد قطعی تبدیل شوند (عباسی و

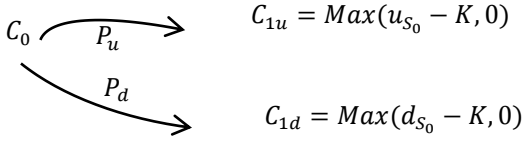
همکاران، ۱۳۹۴). در ادامه الگوریتم مورد استفاده جهت ارزیابی اقتصادی نیروگاه مورد مطالعه، طبق مدل پیشنهادی پژوهش حاضر، توضیح داده خواهد شد.

ارزیابی اقتصادی نیروگاه فتوولتاییک مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Ret Screen

جهت ارزیابی اقتصادی این نیروگاه با استفاده از معیارهای سنتی از نرم‌افزار RetScreen، نرم‌افزاری برتر در زمینه تصمیم‌گیری در رابطه با انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌شود. این نرم‌افزار برای تحلیل پروژه انرژی‌های پاک و برای به‌کارگیری رویکردی یکپارچه در رابطه با تغییرات آب و هوایی و کاهش آلودگی تهیه و به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا به‌صورت سریع و با هزینه اندک، عملی بودن پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی، باد، موج، آب، گرمای زمین و ...)، بهره‌وری انرژی و تولید همزمان برق و حرارت را از لحاظ فنی و مالی بررسی کنند. دسترسی به بانک‌های اطلاعاتی آب و هوا، هیدرولوژی، داده‌های ماهواره ناسا و همچنین نقشه‌های منابع انرژی در دنیا، کاربری ساده در محیط Excel از ویژگی‌های بارز و منحصر به فرد این نرم‌افزار است. از جمله مزایای بهره‌گیری از این نرم‌افزار برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها این است که ارزیابی مراحل گوناگون پروژه را برای تصمیم‌گیری ساده می‌کند. کاربرگ خلاصه وضعیت مالی در این نرم‌افزار با پارامترهای ورودی نظیر هزینه اجتناب شده انرژی، نرخ تنزیل، میزان وام، نرخ تورم و ... و پارامترهای خروجی محاسبه شده اقتصادی نظیر نرخ بازده داخلی، زمان بازگشت سرمایه، خالص ارزش فعلی، میزان صرفه‌جویی حاصل از کاهش آلاینده‌ها به تصمیم گیران پروژه امکان می‌دهد که پارامترهای مالی گوناگون را بررسی کنند. به کمک این نرم‌افزار تمام مراحل ارزیابی فنی (محاسبه تعداد پنل ها، تخمین میزان تابش نور خورشید در شرایط مختلف آب و هوایی، محاسبه جریان‌های نقدی حاصل از درآمد و هزینه‌های نیروگاه، برآورد منافع ناشی از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ...) و مراحل ارزیابی اقتصادی (تنزیل جریان‌های نقدی و محاسبه شاخص‌های ارزیابی) برای نیروگاه فتوولتاییک در منطقه مورد مطالعه، انجام خواهد شد.

ارزش‌گذاری اختیارات واقعی[1] به کمک درخت دوجمله‌ای فازی

ارزش‌گذاری اختیار واقعی پروژه‌ها با روش درخت دوجمله‌ای بر اساس مدل پیشنهادی کاکس راس[2] و همکاران (۱۹۷۹) می‌باشد. فرض کنید اختیار خرید دارایی پایه با ارزش فعلی S_0 و قیمت اعمال K مدنظر باشد و ارزش دارایی پایه با احتمال P_u به uS_0 افزایش یا با احتمال P_d به dS_0 در دوره بعد کاهش یابد. پارامترهای u و d به‌ترتیب جهش به سمت بالا و جهش به سمت پایین (بهتر و بدتر شدن) ارزش دارایی پایه را ارائه می‌دهند. اختیار معامله درصورتی‌که ارزش دارایی پایه پس از یک دوره بیشتر ازK باشد اعمال می‌شود و درصورتی‌که کمتر از K باشد از اعمال آن صرف‌نظر می‌شود. شکل (۱) ارزش‌گذاری یک دوره با استفاده از درخت دو جمله‌ای را نشان می‌دهد.



شکل (۱) ارزش‌گذاری اعمال اختیار طی یک دوره با استفاده از درخت دوجمله‌ای

اگر اختیار فروخته شود، قیمت فروش C_0 بر اساس معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$C_0 = \frac{1}{(1+r)}[P_u C_{1u} + P_d C_{1d}] \quad (۱)$$

در این رابطه P_d, P_u و r نشان‌دهنده احتمالات و نرخ بهره بدون ریسک بوده که با روابط زیر برآورد می‌شوند:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = \frac{1}{u} \quad (۲)$$

در این روابط σ نوسان‌پذیری جریان‌های نقدی و Δt تعداد گام‌های زمانی است. بدین ترتیب:

$$P_u = \frac{(1+r)-d}{u-d}, P_d = \frac{u-(1+r)}{u-d} = 1 - P_u \quad (۳)$$

بنابراین قیمت یا ارزش فعلی اختیار خرید، مقدار تنزیل شده ارزش‌های C_{1u} و C_{1d} با احتمال‌های بدون ریسک[3] بوده، به شرطی که: $0 < d < 1 < 1 + r < u$.

1. Real Option Valuation (ROV)
2. Cox Ross
3. Risk-neutral probablities

با فرض عدم وجود فرصت آربیتراژی، بازده مورد انتظار می‌بایست صفر باشد، پس:

$$P_u\left(\frac{uS_0}{1+r}-S_0\right)-P_d\left(\frac{uS_0}{1+r}-S_0\right)=0 \quad (۴)$$

بنابراین معادله‌های زیر برای احتمال‌های بدون ریسک برقرار می‌باشد:

$$\begin{cases} P_u+P_d=1 \\ \frac{uP_u}{1+r}+\frac{dP_d}{1+r}=1 \end{cases} \quad (۵)$$

معادله‌های فوق نشان می‌دهند که، پارامترهای جهش u و d مؤثر برارزش اختیار بوده که برای ارزش‌گذاری در شرایط عدم اطمینان، تخمین آنها ساده نمی‌باشد. همان‌طورکه پیش از این گفته شد در این پژوهش از اعداد فازی مثلثی به‌صورت $\tilde{u}=(u_1,u_2,u_3)$ و $\tilde{d}=(d_1,d_2,d_3)$ برای نشان دادن پارامترهای جهش قیمت دارایی پایه استفاده شده است.

بنابراین معادلات احتمال بدون ریسک به‌صورت زیر باز نویسی می‌شوند (لیائو و هو، ۲۰۱۰؛ هو و لیائو، ۲۰۱۱):

$$\tilde{u}=e^{\tilde{\sigma}\sqrt{\Delta t}},\tilde{d}=e^{-\tilde{\sigma}\sqrt{\Delta t}}=\frac{1}{\tilde{u}} \quad (۶)$$

$$\tilde{P}_u=\frac{(1+r)-\tilde{d}}{\tilde{u}-\tilde{d}}\quad ,\tilde{P}_d=\frac{\tilde{u}-(1+r)}{\tilde{u}-\tilde{d}}=1-\tilde{P}_u \quad (۷)$$

$$\begin{cases} \tilde{P}_u\oplus\tilde{P}_d=\tilde{1} \\ \frac{\tilde{u}\otimes\tilde{P}_u}{1+r}\oplus\frac{\tilde{d}\otimes\tilde{P}_d}{1+r}=\tilde{1} \end{cases} \quad (۸)$$

در این پژوهش فرض می‌کنیم که نرخ بهره بدون ریسک نیز جهت پوشش بهتر عدم اطمینان موجود در بازار، یک عدد فازی به‌صورت $\tilde{r}=(r_1,r_2,r_3)$ در نظر گرفته شود.

در این‌صورت اگر $\tilde{P}_u=(P_{u_1},P_{u_2},P_{u_3})$ و $\tilde{P}_d=(P_{d_1},P_{d_2},P_{d_3})$ باشند، خواهیم داشت:

$$\begin{cases} (P_{u_1},P_{u_2},P_{u_3})\oplus(P_{d_1},P_{d_2},P_{d_3})=(1,1,1) \\ \left(\frac{u_1P_{u_1}+d_1P_{d_1}}{1+r_3},\frac{u_2P_{u_2}+d_2P_{d_2}}{1+r_2},\frac{u_3P_{u_3}+d_3P_{d_3}}{1+r_1}\right)=(1,1,1) \end{cases} \quad (۹)$$

بنابراین دو معادله زیر را می‌توان نوشت:

$$P_{u_i}=\frac{(1+r_i)-d_i}{u_i-d_i}\quad ,P_{d_i}=\frac{u_i-(1+r_i)}{u_i-d_i}=1-P_{u_i} \quad (۱۰)$$

اختیار معامله درصورتی‌که ارزش دارایی پایه پس از یک دوره $t=1$ بیشتر از K باشد اعمال می‌شود و درصورتی‌که کمتر از K باشد از اعمال آن صرف‌نظر می‌شود. بدین ترتیب:

$$\tilde{C}_{1d} = \mathrm{Max}(\tilde{d}_{S_0} - K, \tilde{0}) \text{ و } \tilde{C}_{1u} = \mathrm{Max}(\tilde{u}_{S_0} - K, \tilde{0}) \quad (۱۱)$$

همان‌طورکه ملاحظه شد ارزش اختیار معامله به اعداد فازی تبدیل شده و برای مقایسه دو عدد فازی خواهیم داشت:

$$\begin{cases} \tilde{A} = (a_1, a_2, a_3), \tilde{B} = (b_1, b_2, b_3) \\ \mathrm{Max}(\tilde{A}, \tilde{B}) = [\mathrm{Max}(a_1, b_1), \mathrm{Max}(a_2, b_2), \mathrm{Max}(a_3, b_3)] \end{cases} \quad (۱۲)$$

بدین ترتیب فرمول ارزش‌گذاری فازی اختیار خرید عبارتند از:

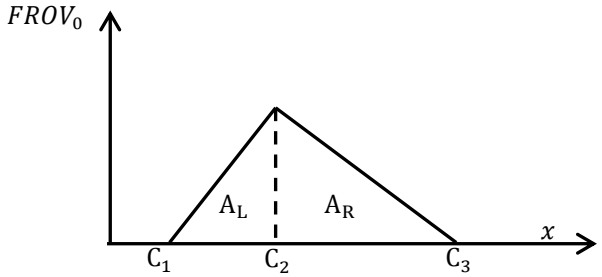
$$\tilde{C}_0 = [\tilde{P}_u \otimes \tilde{C}_{1u} \oplus \tilde{P}_d \otimes \tilde{C}_{1d}] \oslash (1 + \tilde{r}) \quad (۱۳)$$

برخلاف اعداد قطعی، نمی‌توان به راحتی دو عدد فازی را با یکدیگر مقایسه نمود؛ از این رو یکی از مهم‌ترین مباحث در تصمیم‌گیری فازی، رتبه‌بندی اعداد فازی است. تاکنون مدل‌های بسیار زیادی جهت رتبه‌بندی اعداد فازی ارائه شده است که هر یک مزایا و معایبی داشته و برخی برای کاربردهای خاص مناسب‌تر هستند. در این پژوهش جهت رتبه‌بندی اعداد فازی از روش یوشیدا[1] و همکارانش (۲۰۰۶) به شرح زیر استفاده می‌شود:

فرض کنیم که $\tilde{C} = [C_1(\alpha), C_3(\alpha)]$ یک عدد فازی و λ شاخص خوش بینانه-بدبینانه به‌طوری‌که $\lambda \in [0,1]$ باشد، در نتیجه ارزش میانگین فازی عدد مذکور به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$E(C) = \int_0^1 [(1-\lambda)C_1(\alpha) + \lambda C_3(\alpha)]\, d\alpha \Rightarrow \lambda = \frac{AR}{AR+AL} \quad (۱۴)$$

که در آن AL, AR به ترتیب نشان‌دهنده مساحت سمت راست و چپ توزیع $FROV_0$ طبق شکل (۲) می‌باشند.



شکل ۲. شکل توزیع امکان ارزش اختیار واقعی فازی $FROV_0$

1. Yoshida

بنابراین میانگین ارزش $FROV_0$ به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$E(FROV_0) = ROV_0 = \frac{(1-\lambda)C_1+C_2+\lambda C_3}{2} \quad (۱۵)$$

در نهایت ارزش سرمایه‌گذاری از رابطه زیر محاسبه خواهد شد (دستگیر، ۱۳۹۳):

$$\text{ارزش سرمایه گذاری} = V_{\text{without Option}} + V_{\text{with Option}} = NPV + ROV_0 \quad (۱۶)$$

مهم‌ترین عملگرهای اعداد فازی مثلثی $\widetilde{A}_1 = (a_1, b_1, c_1)$ و $\widetilde{A}_2 = (a_2, b_2, c_2)$ که نتیجه آنها یک عدد فازی مثلثی است و در مدل مذکور مورد استفاده قرار گرفته، در جدول (۱) آمده است (عطایی، ۱۳۸۹).

جدول ۱. مهم‌ترین عملیات جبری روی دو عدد فازی

عملگر	نحوه عمل
جمع دو عدد فازی	$\widetilde{A}_1 \oplus \widetilde{A}_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$
تفریق استاندارد دو عدد فازی	$\widetilde{A}_1 \ominus \widetilde{A}_2 = (a_1 - c_2, b_1 - b_2, c_1 - a_2)$
ضرب دو عدد فازی	$\widetilde{A}_1 \otimes \widetilde{A}_2 = (a_1.a_2, b_1.b_2, c_1.c_2) \quad \widetilde{A}_1 > 0, \widetilde{A}_2 > 0$
تقسیم دو عدد فازی	$\widetilde{A}_1 \oslash \widetilde{A}_2 = (a_1/c_2, b_1/b_2, c_1/a_2) \quad \widetilde{A}_1 > 0, \widetilde{A}_2 > 0$
معکوس یک عدد فازی	$0 \notin \text{Supp } A_1 \Rightarrow \ \widetilde{A}_1^{-1} = (\frac{1}{c_1}, \frac{1}{b_1}, \frac{1}{a_1})$

۴- یافته‌های پژوهش

شناسایی اختیارات و تأثیر آن بر تصمیمات سرمایه‌گذاری

جهت پاسخ به سؤال اول پژوهش باید تأثیر اختیارات و انعطاف‌های مدیریتی در رابطه با تصمیمات سرمایه‌گذاری نیروگاه فتوولتاییک مورد مطالعه، آزموده شود. همچنین باید نوع اختیار مناسب با نیروگاه فتوولتاییک از دید خبرگان این حوزه شناسایی گردد. جهت انجام این آزمون و همچنین تشخیص نوع اختیار مورد نظر، پرسشنامه‌ای حاوی ۹ گویه بر اساس طیف لیکرت پس از تأیید روایی ظاهری و محتوایی برای ۳۶ نفر از خبرگان نیروگاه فتولتاییک ارسال و با پیگیری مکرر ۳۰ پرسشنامه (با نرخ بازگشت ۸۳ درصد) عودت داده شد. جهت بررسی پایایی پرسشنامه از آزمون آلفای کرونباخ استفاده گردید که مقدار ضریب مزبور برای کل گویه‌های پرسشنامه ۰/۷۱۸ و بالاتر از ۷۰ درصد قرار داشته و بنابراین پایایی و قابلیت اعتماد پرسشنامه تأیید شد. جهت اطمینان از نرمال بودن متغیرها، از آزمون کلموگروف-

اسمیرنوف استفاده که با P-Value=۰/۳۰۶ (بزرگ‌تر از ۵ درصد)، نرمال بودن متغیرها تأیید گردید. برای پاسخ به این سؤال از آزمون t تک نمونه‌ای با نماد آماری ($\mu_0 = 3$) به‌عنوان میانگین امتیازات طیف لیکرت (همچنین میانگین مطالعه مقدماتی)، استفاده و فرض زیر آزمون شد:

$\begin{cases} H_0: \mu \leq 3 \rightarrow . & \text{عدم تأیید تأثیر اختیارات واقعی بر انعطاف تصمیمات‌پذیری از سوی خبرگان} \\ H_1: \mu > 3 \rightarrow . & \text{تأیید تأثیر اختیارات واقعی بر انعطاف تصمیمات‌پذیری از سوی خبرگان} \end{cases}$

تحلیل نتایج جدول (۲) بر اساس محاسبات نرم‌افزار SPSS نشان می‌دهد که با توجه به سطح معنی‌داری (Sig) کمتر از ۵ درصد فرض صفر و با توجه به مقدار بحرانی (۱/۶۹۹) فرض صفر رد شده و بدین ترتیب میانگین پاسخ‌های خبرگان به کل گویه‌ها، اختلاف معنی‌داری با عدد ۳ دارد؛ بنابراین با ۹۵ درصد اطمینان می‌توان ادعا کرد که خبرگان حوزه انرژی خورشیدی، به‌کارگیری اختیارات واقعی را جهت انعطاف‌پذیری تصمیمات در این نیروگاه مثبت ارزیابی می‌کنند.

جدول ۲. نتایج حاصل از آزمون سؤال اول

متغیر	آماره آزمون	سطح معنی‌دار Sig	فرض صفر $t_{0.05}$ =۱/۶۹۹, df =۲۹
کل گویه‌ها	۱۵/۶۶۶	۰/۰۰۰	رد

منبع: یافته‌های تحقیق

اکنون این سؤال مطرح می‌شود که خبرگان حوزه انرژی خورشیدی، کدام نوع از اختیارات واقعی را مناسب با نیروگاه‌های فتوولتاییک تشخیص می‌دهند؟ برای پاسخ به این سؤال نیز با توجه به آزمون کلموگروف- اسمیرنوف با ۵ درصد < P-Value و نرمال بودن متغیرهای مورد مطالعه، از آزمون t تک نمونه‌ای استفاده و فرضیه زیر را برای چهار متغیری که نماد انواع مختلف اختیارات واقعی در نیروگاه فتوولتاییک مورد مطالعه بوده و در مصاحبه‌های مقدماتی به تأیید خبرگان نیز رسیده بودند، مورد آزمون قرار می‌دهیم:

$\begin{cases} H_0: \mu \leq 3 \rightarrow & \text{عدم اتفاق نظر خبرگان بر به‌کارگیری اختیار } Q_i \text{ در نیروگاه فتوولتاییک} \\ H_1: \mu > 3 \rightarrow & \text{اتفاق نظر خبرگان بر به‌کارگیری اختیار } Q_i \text{ در نیروگاه فتوولتاییک} \end{cases}$

جدول (۳) خلاصه نتایج حاصل از این آزمون، نشان می‌دهد که با توجه به سطح معنی‌داری (Sig) کمتر از ۵ درصد فرض صفر با توجه به مقدار بحرانی (۱/۶۹۹) برای اختیار گسترش، واگذاری و صبر رد شده و میانگین پاسخ‌های خبرگان به این متغیرها، اختلاف معنی‌داری با عدد ۳ دارد. همچنین در فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای میانگین عدد ۳ در حد بالا و پایین قرار نداشته و میانگین این متغیرها برابر ۳ نیز نمی‌باشد.

جدول ۳. نتایج حاصل از آزمون متغیرهای نشان‌دهنده نوع اختیارات سرمایه‌گذاری نیروگاه

متغیر	نوع اختیار	P-Value آزمون کلموگروف-اسمیرنوف	آماره آزمون	سطح معنی‌دار Sig	فرض صفر $t_{0.05}$ =۱/۶۹۹ df =۲۹	فاصله اطمینان ۹۵٪	
Q6	گسترش	۰/۱۶۵	۵/۴۱۳	۰/۰۰۰	رد	۰/۵۸۰۷	۱/۲۸۶۰
Q7	مرحله‌ای	۰/۰۸۷	-۴/۱۸۸	۰/۰۰۰	قبول	-۱/۰۴۱۸	-۰/۳۵۸۲
Q8	واگذاری	۰/۱۵۴	۴/۹۵۵	۰/۰۰۰	رد	۰/۵۲۸۵	۱/۲۷۱۵
Q9	صبر (درنگ)	۰/۱۲۳	۶/۲۲۷	۰/۰۰۰	رد	۰/۶۴۹۲	۱/۲۸۴۲
Q5	اختیار ترکیبی	۰/۱۷۹	۷/۹۹۹	۰/۰۰۰	رد	۰/۸۴۳۵	۱/۴۲۳۱
Q9→6	درنگ- گسترش	۰/۶۶۴	۶/۳۳۸	۰/۰۰۰	رد	۰/۶۳۲۲	۱/۲۳۴۵
Q9→8	درنگ- واگذاری	۰/۷۲۷	۶/۶۶۵	۰/۰۰۰	رد	۰/۶۵۸۵	۱/۲۴۱۵

منبع: یافته‌های تحقیق

بدین ترتیب با ۹۵ درصد اطمینان می‌توان ادعا کرد که خبرگان حوزه انرژی خورشیدی، با به‌کارگیری اختیارات واقعی از نوع گسترش، واگذاری و صبر و همچنین اختیارات ترکیبی درنگ – گسترش و درنگ – واگذاری موافق بوده و استفاده از این اختیارات را جهت انعطاف‌پذیری تصمیمات سرمایه‌گذاری در این نیروگاه مثبت ارزیابی می‌کنند؛ اما فرض صفر برای اختیار سرمایه‌گذاری مرحله‌ای[1] در سطح معنی‌داری کمتر از ۵ درصد قبول شده پس با میانگین کمتر از عدد ۳ و در سطح اطمینان ۹۵ درصد ادعا می‌شود که خبرگان، با به‌کارگیری این نوع از اختیار موافق نبوده و استفاده از آن را جهت انعطاف‌پذیری تصمیمات سرمایه‌گذاری در این نیروگاه مثبت ارزیابی نمی‌کنند.

1. Stage Option

ارزیابی معیارهای سنتی (DCF) برای ارزیابی نیروگاه فتوولتاییک مورد مطالعه

در این پژوهش از نرم‌افزار RetScreen برای محاسبه میزان انرژی دریافتی و ضریب ظرفیت، همچنین برآورد هزینه‌های اولیه و دوره‌ای، محاسبه میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای و ارزیابی مالی یک نیروگاه فتوولتاییک با توان ۲ مگاوات برق در جنوب استان اصفهان استفاده می‌شود. جدول (۴) خلاصه‌ای از مفروضات مالی پروژه را نشان می‌دهد.

جدول ۴. خلاصه‌ای از مفروضات مالی نیروگاه فتوولتاییک جنوب اصفهان

ردیف	موضوع	میزان	واحد
۱	هزینه سرمایه اولیه (نحوه تأمین سرمایه: ۶۰ درصد مشارکت دولتی[۱] و ۴۰ درصد آورده متقاضی)	۹۱۵۶۸	میلیون ریال
۲	هزینه‌های سالانه اجاره زمین، تعمیرات و نگهداری بعد از بهره‌برداری	۲۰۴۸	میلیون ریال
۳	تعرفه خرید تضمینی برق[۲] سال پایه	۴۹۰۰	ریال
۴	نرخ افزایش قیمت خرید برق	۰	درصد
۵	میزان دسترس‌پذیری مولد	۹۷	درصد
۶	توان نامی مولد	۲	مگاوات
۷	نرخ مؤثر مالیات بر درآمد[۳]	۰	درصد
۸	نرخ افزایش بهای سوخت	۰	درصد
۹	عمر پروژه	۲۰	سال
۱۰	ارزش باقیمانده دارایی (ارزش دفتری)	۷۵	میلیارد ریال
۱۱	ارزش اسقاط ۶۰ درصد ارزش دفتری	۴۵	میلیارد ریال
۱۲	استهلاک[۴] انباشته	۱۶/۸۴۷	میلیارد ریال
۱۳	نرخ بهره اسمی یا نرخ سود مورد انتظار	۱۶	درصد

منبع: یافته‌های تحقیق

۱. بر طبق ماده ۸۴ قانون پنجم توسعه (۱۳۹۶-۱۳۹۰) صندوق توسعه ملی از طریق بانک های عامل، به پرداخت تسهیلات (برای طرح های توسعه یافته با نرخ ۱۶یا ۱۸درصد) مبادرت می‌نماید، به‌طوری‌که سود محاسبه شده برای مشتریان نباید از ۱۶ درصد در سال کمتر باشد.

۲. بر طبق ماده ۱۳۳ قانون برنامه پنجم توسعه در سال ۱۳۹۵ پایه نرخ خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های مشمول ماده ۴ این دستورالعمل ۴۹۰۰ ریال و به مدت ۱۰ سال می‌باشد.

۳. مادۀ ۱۳۲ قانون امور مالیاتی کشور، بخش تولید نیروگاه معاف از مالیات بر درآمد می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۹۶).

۴. بر طبق ماده ۱۴۹ و ۱۵۰ مالیات‌های مستقیم ایران، نرخ استهلاک نیروگاه‌های خورشیدی ۱ درصد و روش استهلاک موجودی نزولی است.

طبق جدول (۵) نتیجه آنکه احداث این نیروگاه فتوولتاییک با توان تولید ۲ مگاوات برق خورشیدی از طریق اخذ تسهیلاتی با نرخ ۱۸ درصد با سررسید ۵ ساله، در منطقه جنوب اصفهان، با عمر ۲۰ سال، از دیدگاه معیارهای سنتی ارزیابی اقتصادی، با خالص ارزش فعلی منفی، نرخ بازده داخلی پایین‌تر از نرخ سود مورد انتظار ۱۶ درصد و شاخص سودآوری کمتر از یک، پروژه‌ای غیراقتصادی است و بعد از ۸/۹ سال کل مبالغ سرمایه‌گذاری برای آن، بازیافت خواهد شد.

جدول ۵. نتایج حاصل از ارزیابی فنی، اقتصادی و مالی پروژه نیروگاه

کاربرگ خلاصه وضعیت مالی (ارقام به ریال)			جریان‌های نقدی سالانه نیروگاه بعد از مالیات		
مفروضات	واحد	مقدار	سال	جریان‌های نقدی	جریان‌های نقدی تراکمی
نرخ بهره وام	٪	۱۸	۰	-۳۶۶۲۷۲۰۰۰۰۰	-۳۶۶۲۷۲۰۰۰۰۰
درصد مشارکت	٪	۶۰	۱	-۲۴۴۱۶۲۷۶۹۹	-۳۹۰۶۸۸۲۷۶۹۹
مدت بدهی	سال	۵	۲	-۲۶۵۷۱۱۸۲۰۴	-۴۱۷۲۵۹۴۵۹۰۳
پرداخت وام سالانه	ریال در سال	۱۷۵۶۸۸۵۰۴۵۰	۳	-۲۸۹۳۲۹۵۷۹۸	-۴۴۶۱۹۲۴۱۷۰۱
نرخ بازده داخلی IRR	٪	۱۵/۹	۴	-۳۱۵۲۱۴۶۴۴۲	-۴۷۷۷۱۳۸۸۱۴۳
دوره بازگشت سرمایه	سال	۸/۹	۵	-۳۴۳۵۸۴۶۷۴۷	-۵۱۲۰۷۲۳۴۸۸۹
ارزش خالص فعلی NPV	ریال	-۴۹۴۸۸۸۷۵۷	۶	۱۳۸۲۲۰۶۸۱۷۰	-۳۷۳۸۵۱۶۶۷۲۰
شاخص سودآوری PI	-	۰/۹	۷	۱۳۴۸۱۲۸۲۸۲۴	-۲۳۹۰۳۸۸۳۸۹۵
نتیجه ارزیابی	-	غیراقتصادی	۸	۱۳۱۰۷۷۸۲۰۸۶	-۱۰۷۹۶۱۰۱۸۱۰
			۹	۱۲۶۹۸۴۲۵۲۷۶	۱۹۰۲۳۲۳۴۶۶
			۱۰	۱۲۲۴۹۷۷۰۲۱۳	۱۴۱۵۲۰۹۳۶۷۹
کاربرگ خلاصه اطلاعات فنی و وضعیت جغرافیایی محل			۱۱	۱۱۷۵۸۰۴۴۲۶۳	۲۵۹۱۰۱۳۷۹۴۲
ارتفاع از سطح دریا ۱۵۵۰ متر	ضریب ظرفیت ۲۰/۲٪		۱۲	۱۱۲۱۹۱۱۲۶۲۳	۳۷۱۲۹۲۵۰۵۶۵
عرض جغرافیایی ۳۲/۵	طول جغرافیایی ۵۱/۷		۱۳	۱۰۶۲۸۴۴۳۵۴۵	۴۷۷۵۷۶۹۴۱۱۰
حداقل دمای هوا ۵/۱ °C-	حداکثر دمای هوا ۳۶°C		۱۴	۹۹۸۱۰۷۰۲۳۵	۵۷۷۳۸۷۶۴۳۴۵
وضعیت پنل‌ها: ثابت	تعداد پنل‌های مورد نیاز ۸۰۰۰		۱۵	۹۲۷۱۵۴۹۰۸۸	۶۷۰۱۰۳۱۳۴۳۳
نحوه مالکیت زمین: اجاره بلندمدت	مساحت مورد نیاز زمین ۴ هکتار		۱۶	۸۴۹۳۹۱۳۹۱۱	۷۵۵۰۴۲۲۷۳۴۴
میزان تابش مایل ۳۱/۹۹ کیلووات ساعت بر متر مربع			۱۷	۷۶۴۱۶۲۵۷۵۶	۸۳۱۴۵۸۵۳۱۰۱
میزان تابش عمودی ۸۰/۵۳ کیلووات ساعت بر متر مربع			۱۸	۶۷۰۷۵۱۷۹۳۹	۸۹۸۵۳۳۷۱۰۴۰
برق تزریق شده به شبکه ۳۵۴۵/۳ مگاوات ساعت			۱۹	۵۶۸۳۷۳۵۷۷۲	۹۵۵۳۷۱۰۶۸۱۱
			۲۰	۲۸۶۰۲۶۱۵۱۰۳۴	۳۸۱۵۶۳۲۵۷۸۴۵

منبع: خروجی نرم‌افزار RetScreen

تخمین پارامترهای ورودی مدل ارزش‌گذاری اختیارات در نیروگاه مورد مطالعه

برای ارزش‌گذاری اختیارات واقعی به تخمین پارامترهایی نظیر نرخ تنزیل واقعی، نرخ بهره بدون ریسک r_f و پارامتر نوسان پذیری جریانات نقدی σ، نیاز است. لذا لازم است قبل از شروع ارزش‌گذاری اختیارات مناسب با نیروگاه فتوولتاییک مورد مطالعه، روش برآورد پارامترهای اصلی مدل به‌صورت قطعی و فازی مورد بحث قرار گیرد.

الف) نوسان‌پذیری جریان نقدی

یکی از رویکردهای برآورد پارامتر نوسان‌پذیری، رویکرد لگاریتم بازده جریان‌های نقدی[1] پروژه است. در این روش برآورد، از جریان‌های نقدی تراکمی آینده استفاده و آنها را به بازده نسبی تبدیل و سپس لگاریتم طبیعی بازده‌های نسبی به‌علاوه یک را محاسبه نموده و انحراف استاندارد آن را به‌عنوان نوسان‌پذیری دوره‌ای جریان‌های نقدی پروژه در نظر خواهیم گرفت (وینستون[2]، ۱۳۹۳). بر اساس آنچه که گفته شد پارامتر نوسان‌پذیری جریان‌های نقدی نیروگاه مورد مطالعه، به‌صورت قطعی و فازی به‌شرح جدول (۶) محاسبه می‌شود:

جدول ۶. برآورد پارامتر نوسان‌پذیری در حالت قطعی و فازی

سال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
بازده نسبی	_	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۷	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۴۵	-۰/۱۸	۷/۴۴	۱/۸۳	۱/۴۳	۱/۲۷	۱/۲۱	۱/۱۶	۱/۱۳	۱/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۶	۳/۹۹
Ln (1+ بازده نسبی)	_	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۵۴	۰/۴۹	۰/۳۷	-۰/۱۹	۲/۱۳	۱/۰۴	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۲	۱/۶۱

N=۲۰, Mean= ۰/۸, Var = ۰/۲۱	عدد قطعی	میزان بازه عدم اطمینان	عدد فازی
S.D= ۰/۴۶, S.E= ۰/۱۰	σ =۰/۴۶	S. E =۰/۱۰→ ±٪۱۰	(۰/۴۱۴,۰/۴۶ ,۰/۵۰۶)

منبع: یافته‌های تحقیق

ب) نرخ بهره بدون ریسک

نرخ بهره بدون ریسک معیار سنجش سرمایه‌گذاری در ارزش‌گذاری اختیار واقعی است. طبق نظریه مدرن مالی در ارزش‌گذاری دارایی‌های با درآمد ثابت برای کشورهایی

1. Logarithmic Cash Flow Returns
2. Winston.W.L

که بازار اوراق قرضه در آنها پیشرفته نیست- به‌ویژه اگر ارزش‌گذاری اوراق قرضه با نظریه آربیتراژ امکان‌پذیر نباشد- بهترین شیوه محاسبه نرخ بهره بدون ریسک استفاده از رابطه (۱۷) بوده که در آن f نرخ تورم و G نرخ رشد تولید ناخالص داخلی است (دفیوزکو[1] و همکاران، ۲۰۰۴):

$$r_f = (1 + f)(1 + G) - 1 \qquad (۱۷)$$

با توجه به ماهیت اقتصاد ایران از این رابطه برای تخمین نرخ بهره بدون ریسک استفاده و بنابراین نرخ بهره بدون ریسک (با متوسط نرخ تورم ٪۲۶/۹ و نرخ رشد داخلی منفی ٪۴/۹ در سال ۱۳۹۷)[2] به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

r_f=(۱+٪۲۶/۹)(۱-٪۴/۹)-۱=٪۲۰/۷

جدول (۷) برآورد نرخ بهره بدون ریسک را به‌صورت اعداد فازی برای نیروگاه نشان می‌دهد.

جدول ۷. برآورد نرخ بهره بدون ریسک فازی نیروگاه مورد مطالعه

پارامتر		مقدار		
نرخ تورم		٪۲۶/۹		
نرخ رشد تولید ناخالص داخلی		-٪۴/۹		
میزان بازه عدم اطمینان	±٪۵	بدبینانه	متوسط	خوش‌بینانه
نرخ بهره بدون ریسک فازی		٪۱۹/۷	٪۲۰/۷	٪۲۱/۷

منبع: یافته‌های تحقیق

ج) ارزش فعلی جریان‌های نقدی

ارزش فعلی جریان‌های نقدی در حالت قطعی بر اساس محاسبات نرم‌افزار RetScreen طبق جدول (۶) بر اساس نرخ تنزیل واقعی از جدول (۷)، تنزیل و ارزش فعلی جریان‌های نقدی P_0 در حالت قطعی ۴۳/۷۵۴ و در حالت فازی به‌صورت (۴۸/۰۹۹, ۴۳/۷۵۴, ۳۷/۴۲۱) میلیارد ریال برآورد می‌شود.

1. Defusco

۲. براساس اعلام مرکز آمار ایران، نرخ رشد داخلی ایران در سال ۱۳۹۷، معادل منفی ٪۴/۹ و نرخ تورم در دوازده ماه منتهی به اردیبهشت ۹۷ نسبت به اردیبهشت ۹۶، معادل ٪۲۶/۹ گزارش شده است.

برای انجام این برآورد از میانگین مقادیر شبیه‌سازی مونت کارلو برای ۱۰۰۰ مسیر مختلف از ارزش فعلی جریان نقد اولیه P_0 و به روش حرکت برآونی هندسی[1]، طبق رابطه زیر استفاده شده است (کارنز[2]،۲۰۱۲):

$$P_{t_i}^{(w)} = P_0 \left[e^{\left(r_f - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\Delta t + \sigma z\sqrt{\Delta t}} \right] \quad (۱۸)$$

در این رابطه P_0 ارزش فعلی جریان نقد اولیه، σ نوسان‌پذیری این جریان‌ها، r_f نرخ بهره بدون ریسک، Δt تغییرات زمان، $P_{t_i}^{(w)}$ ارزش فعلی جریان‌های نقدی شبیه‌سازی شده، $w = 1,2,\dots,1000$ مسیرهای مختلف شبیه‌سازی و Z متغیر نرمال استاندارد است.

د) ارزش سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های گسترش

به گزارش بانک مرکزی، تغییرات چهار ساله نرخ دلار در بازار ایران در دولت یازدهم به‌طور متوسط ۵/۱٪ بوده است[3]. پس ارزش سرمایه‌گذاری اولیه نیروگاه و همچنین سرمایه‌گذاری برای گسترش تجهیزات آن که بیشتر آنها وارداتی هستند، به‌شدت به نوسان نرخ دلار وابسته بوده و طبق جدول (۸) برآورد می‌گردد. مبلغ قطعی این پارامترها از طریق مصاحبه با کارشناسان نیروگاه‌های خورشیدی، اسنادکاوی و مراجعه به شبکه اینترنت گردآوری شده است.

جدول ۸. برآورد ارزش سرمایه اولیه و هزینه‌های گسترش فازی (ارقام به میلیارد ریال)

پارامتر	عدد قطعی	میزان بازه عدم اطمینان	عدد فازی
ارزش سرمایه‌گذاری اولیه	۹۱/۵۶۸	± ٪۵	(۸۶/۸۹۸,۹۱/۵۶۸,۹۶/۲۳۸)
۴۰٪ آورده متقاضی	۳۶/۶۲۷		(۳۴/۷۹۵,۳۶/۶۲۷,۳۸/۴۹۵)

منبع: یافته‌های تحقیق

براساس نظر کارشناسان، با گسترش نیروگاه به دو برابر ظرفیت (از ۲ به ۴ مگاوات) هزینه‌های سرمایه‌گذاری از قانون ۰/۶ ویلیام[4](۱۹۴۷) و به شکل زیر تبعیت می‌کند (جنتی پور و همکاران، ۱۳۹۶):

1. Geometric Brownian Motion (GBM)
2. Charnes
3. پایگاه اطلاع رسانی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران www.cbi.org
4. William

$$I_D = I_0 \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{0.6} = I_0 \left(\frac{2}{1}\right)^{0.6} \quad (۱۹)$$

بنابراین هزینه‌های سرمایه‌گذاری جهت گسترش نیروگاه مورد مطالعه برابر است با:

I_D = (۸۶/۸۹۹,۹۱/۵۶۸,(۱۴۵/۹), ۱۳۸/۸, ۱۳۱/۷) × ۱/۵۱۶ (۹۶/۲۳۸)

هـ) ارزش واگذاری

ارزش واگذاری یا خروج از پروژه یکی از مهم‌ترین پارامترهای ارزش‌گذاری اختیار واگذاری است. در ارزش‌گذاری نیروگاه‌ها برای واگذاری به بخش خصوصی، پارامترها و عوامل بسیار زیادی دخیل هستند. از آنجایی که برای خرید و فروش نیروگاه‌ها بازاری وجود ندارد، تعیین و کشف قیمت واقعی نیروگاه مسأله پیچیده‌ای است. در این پژوهش به دلیل نبود روشی مشخص از رویکرد ارزش دفتری به‌عنوان رایج‌ترین روش، جهت محاسبه ارزش واگذاری نیروگاه مورد مطالعه استفاده می‌شود. در رویکرد ارزش دفتری، ارزش واقعی پروژه جهت واگذاری به ارزش اسقاط و زمان بهینه برای واگذاری بستگی دارد، هر چند که زمان بهینه واگذاری در حین اجرای پروژه نامعلوم است. بر این اساس ارزش دفتری تجهیزات نیروگاه در سال آخر بهره‌برداری، برابر با ارزش اسقاط ۷۵ میلیارد ریال طبق محاسبات نرم‌افزار RetScreen است. طبق نظر کارشناسان نیروگاه‌های فتوولتاییک (به دلایل فنی) بین ۵۰ تا ۶۰ درصد از این ارزش قابل تحصیل است. حال اگر درصد تحصیل ارزش اسقاط را به‌صورت عدد فازی $\tilde{\varphi}$ =(٪۵۰,٪۵۵,٪۶۰) در نظر بگیریم، ارزش اسقاط فازی برابر با SV=(۳۷/۵,۴۱/۲۵,۴۵) و در حالت قطعی برابر با ۴۱/۲۵ میلیارد ریال خواهد بود.

و) عمر اختیار

برخلاف اختیارات مالی، عمر قطعی اختیارات واقعی مشخص نیست. عمر اختیار برای شفاف شدن عدم قطعیت باید به قدر کافی طولانی باشد اما نه آنقدرکه ارزش اختیار به خاطر ورود رقبا بی‌معنا شود (مون، ۲۰۰۶). عمر بهره‌برداری یا عمر مفید این نیروگاه طبق نظر کارشناسان و برآوردهای نرم‌افزار RetScreen، ۲۰ سال در نظر گرفته شده است. طبق اطلاعات مندرج در جدول (۵) جریان‌های نقدی پروژه طی ۵ سال اول و آن هم به دلیل استفاده از تسهیلات بانکی دولتی، منفی است، در این پژوهش عمر اختیار را ۵ سال و ارزش‌گذاری اختیارات مختلف پروژه طی این مدت انجام خواهد شد. پیشتر از این اشاره شد که وجود اختیار واقعی می‌تواند منجر به ایجاد انگیزه برای ورود

به پروژه‌هایی شود که تا قبل از این دارای توجیه نبوده‌اند. طبق اطلاعات مندرج در جدول (۵) پروژه نیروگاه مورد بررسی به دلیل ماهیت خود، پس از تنزیل با نرخ مورد نظر سرمایه‌گذار، دارای خالص ارزش فعلی منفی (۴۹۴۸۸۸۷۵۷- ریال) است، حال سؤال این است که با در نظر گرفتن اختیارات واقعی، آیا ارزش مثبتی به خالص ارزش فعلی، اضافه می‌شود تا پروژه به لحاظ اقتصادی توجیه گردد؟ ازآنجاکه متغیر مربوط به این گویه (گویه چهارم در پرسشنامه تحقیق) با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و با P-Value =۰/۰۰ (کوچک‌تر از ۵٪)، نرمال نمی‌باشد، برای پاسخ به این سؤال از آزمون علامت تک نمونه‌ای (دوجمله‌ای) استفاده و فرض زیر آزمون می‌گردد:

$$\begin{cases} H_0: \mu \leq 3 \rightarrow \text{عدم تأیید تأثیر اختیارات واقعی بر جریان نقدی‌های منفی و توجیه اقتصادی پروژه} \\ H_1: \mu > 3 \rightarrow \text{تأیید تأثیر اختیارات واقعی بر جریان نقدی‌های منفی و توجیه اقتصادی پروژه} \end{cases}$$

جدول (۹) نتیجه این آزمون را نشان می‌دهد و بر این اساس فرض صفر رد شده پس تأثیر کاربرد اختیارات واقعی بر توجیه اقتصادی پروژه مذکور در شرایط منفی بودن جریان‌های نقدی و خالص ارزش فعلی، در سطح اطمینان ۹۵٪ پذیرفته می‌شود.

جدول ۹. نتایج حاصل از آزمون تأثیر اختیارات واقعی بر توجیه‌پذیری نیروگاه مورد مطالعه

آزمون علامت تک نمونه‌ای (دوجمله‌ای)	متغیر (گویه)	آماره آزمون	سطح معنی‌دار Sig	فرض صفر $Z_{0.05}$ =۱/۶۴۵	g > ۳ علامت+	g ≤ ۳ علامت-
	Q4	۴/۳۸۱۲	۰/۰۰۰	رد	۲۹	۱
				n =۳۰		

منبع: یافته‌های تحقیق

لذا عمر اختیار ۵ سال اول و در زمان منفی بودن جریان‌های نقدی در نظر گرفته شده است. در ضمن Δt یعنی تعداد گام‌های زمانی یا لایه‌های درخت، برابر یک فرض می‌شود.

ارزش‌گذاری اختیارات واقعی

قبل از ورود به بحث ارزش‌گذاری اختیارات، لازم است تا متناسب با شرایط نیروگاه فتوولتاییک مورد مطالعه، تعاریفی از اختیارات واقعی که تاکنون فقط با عناوین صبر (درنگ)، گسترش و واگذاری از آنها یاد شد، ارائه گردد. ذکر این نکته ضروری است که

مطابق با ادبیات تحقیق و بیشتر پژوهش‌هایی که تا به امروز برای ارزش‌گذاری اختیارات واقعی صورت گرفته، در این پژوهش نیز اختیارات مورد نظر از نوع اختیارات آمریکایی در نظر گرفته شده است.

- **اختیار صبر یا درنگ در سرمایه‌گذاری:** مدیریت نیروگاه چنین می‌اندیشد که شاید توقفی کوتاه در آغاز سرمایه‌گذاری و عملیات احداث نیروگاه، بتواند بر جریانات نقدی منفی پروژه نیروگاه در ۵ سال اول تأثیر بگذارد به امید اینکه شرایط اقتصادی حاکم بر محیط سرمایه‌گذاری بهتر از شرایط زمان حال گردد. آیا تصور مدیریت درست است؟ اگر مدیریت درست می‌اندیشد، چند سال درنگ در سرمایه‌گذاری (طی ۵ سال اول) و با چه ارزشی بهینه خواهد بود؟

- **اختیار گسترش سرمایه‌گذاری:** مدیر نیروگاه چنین تصور می‌کند که شاید بتواند با گسترش و توسعه عملیات نیروگاه، وضعیت مالی بهتر و سودآوری بیشتری را فراهم سازد. از آنجایی که با رجوع به اطلاعات جدول (۴)، نیروگاه در ۵ سال اول با جریانات نقدی منفی روبرو است، وی می‌اندیشد که بهتر است عملیات توسعه و گسترش فعالیت‌های نیروگاه (از ظرفیت ۲ به ۴ مگاوات) را طی ۵ سال اول آغاز کند. این گسترش در چه مقطع زمانی و با چه ارزشی باید انجام شود؟ با گسترش ظرفیت نیروگاه، چه مقدار بر ارزش ذاتی یا خالص ارزش فعلی پروژه نیروگاه افزوده خواهد شد؟

- **اختیار واگذاری:** در پرسشنامه این تحقیق از خبرگان حوزه انرژی خورشیدی سؤال شده بود که پس از اجرای پروژه، چنانچه عایدات نقدی واقعی پروژه مطابق با عایدات نقدی مورد انتظار نباشد، آیا سرمایه‌گذار می‌تواند با واگذاری پروژه جلوی زیان بیشتر را بگیرد. در اینجا منظور از واگذاری نوعی فروش و سپردن نیروگاه احداث شده به دیگری است. بدین ترتیب برای سرمایه‌گذار زمان خروج مناسب از پروژه و واگذاری آن به دیگری چه وقت خواهد بود؟ واگذاری نیروگاه به‌عنوان یک انعطاف‌پذیری مدیریتی چه مقدار ارزش بر خالص ارزش فعلی پروژه نیروگاه خواهد افزود؟

- **اختیار مرکب درنگ – گسترش:** منظور از این اختیار ترکیبی آن است که سرمایه‌گذار با توقفی کوتاه نیروگاه را احداث و سپس در زمان مناسب با گسترش و توسعه عملیات نیروگاه، وضعیت مالی بهتر و سودآوری بیشتری را فراهم سازد. حال

سؤال این است چه مدت درنگ و چه زمانی برای گسترش، با توجه به شرایط اقتصادی پروژه مذکور، مناسب خواهد بود؟

- **اختیار مرکب درنگ – واگذاری:** مقصود از ترکیب این دو اختیار پاسخ به این سؤال است که اگر سرمایه‌گذار با درنگی کوتاه نیروگاه را احداث نموده و با مشاهده عدم‌مطابقت عایدات نقدی واقعی پروژه با عایدات نقدی مورد انتظار، آیا بهتر نیست که نیروگاه را به دیگری بسپارد؟ مدت درنگ و زمان مناسب برای واگذاری، با توجه به شرایط اقتصادی پروژه مذکور، چه زمانی خواهد بود؟ این واگذاری با دریافت چه ارزشی قابل اجرا است؟

بر این اساس فرض می‌کنیم که مدیریت نیروگاه قصد دارد، طی ۵ سال آینده به‌منظور جبران جریان‌های نقدی منفی، پوشش عدم اطمینان حاکم بر محیط سرمایه‌گذاری پروژه نیروگاه و بهره‌گیری از انعطاف‌های مدیریتی در تصمیم‌گیری‌های خود، از اختیارات زیر استفاده کند:

۱. اختیار درنگ در سرمایه‌گذاری برای یکسال.
۲. اختیار گسترش ظرفیت نیروگاه از ۲ به ۴ مگاوات به شرط دو برابر شدن جریان‌های نقدی.
۳. اختیار واگذاری با دریافت ارزش واگذاری یکسان در طول عمر اختیار و برابر با درصد قابل تحصیلی از ارزش اسقاط تجهیزات فیزیکی نیروگاه.
۴. اختیار مرکب: یکسال درنگ در سرمایه‌گذاری و سپس گسترش ظرفیت نیروگاه از ۲ به ۴ مگاوات.
۵. اختیار مرکب: یکسال درنگ در سرمایه‌گذاری و سپس واگذاری با دریافت ارزش مناسب برای واگذاری.

(۱) ارزش‌گذاری اختیار درنگ

برای ارزش‌گذاری این اختیار، اگر مدیریت نیروگاه یکسال سرمایه‌گذاری را به تعویق اندازد، در این‌صورت ارزش سرمایه‌گذاری امسال باید به سال بعد منتقل گردد، بنابراین خواهیم داشت:

$$I_0 = (۳۴/۷۹۵ \;, ۳۶/۶۲۷ \;, ۳۸/۴۹۵) \Rightarrow I_1 = I_0 \times (1 + \tilde{r}) =$$
$$(۴۲/۴۴, ۳۴۵۵۲/۴۶, ۲۰۸۷۹/۰۷۸۵۲)$$

همچنین ارزش فعلی جریان‌های نقدی پروژه برای سال اول بر اساس شبیه‌سازی‌های انجام شده برابر است با:

$P_{0-defer}$ =(۱۷/۴۲ ,۲۳/۷۶ ,۲۶/۱۰)

اکنون بر اساس مدل درخت دوجمله‌ای فازی مورد استفاده این تحقیق و بر اساس روابط (۱) تا (۱۶) خواهیم داشت:

$\tilde{C}_{1u} = Max(\tilde{u}\, V - I_{defer}, \tilde{0})$ =(۰,۰,۱/۸۹۰۱۵۲) و

$\tilde{C}_{1d} = Max(\tilde{d}V - I_{defer}, \tilde{0})$ =(۰,۰,۰)

$FROV_0 = \frac{[\tilde{P}_u \otimes \tilde{C}_{1u} \oplus \tilde{P}_d \otimes \tilde{C}_{1d}]}{1+\tilde{r}}$ =(۰,۰,۱/۰۶۵۶۶۴)

AR =۱/۳۷۴۸۱۲ , AL =۰ ⇒ λ =۱

$\Rightarrow ROV_0 = E(FROV_0) =$

$\frac{(1-\lambda)C_1+C_2+\lambda C_3}{2}$ =[(۱−۱)×۰+۰+۱×۱/۰۶۵۶۶۴]÷۲=۰/۵۳۲۸۳۲

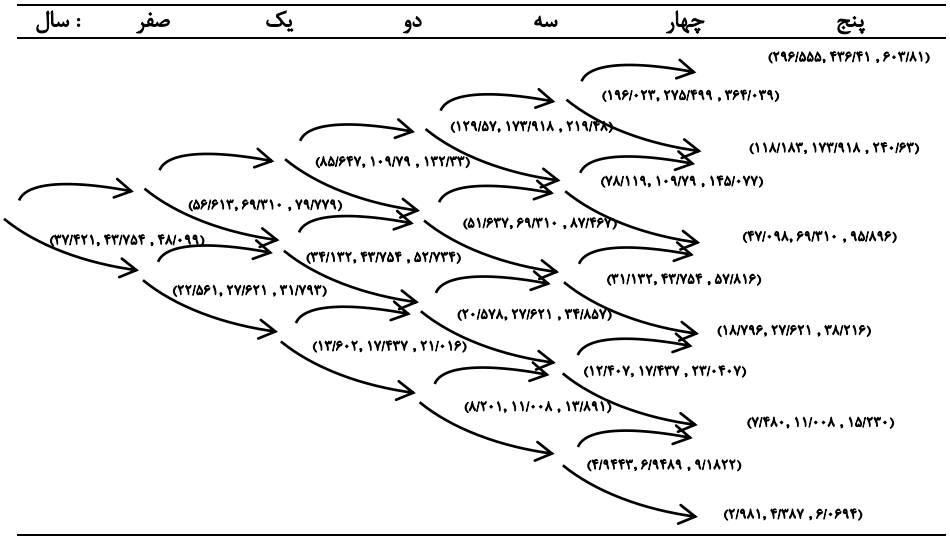
این محاسبات نشان می‌دهد که مدیریت نیروگاه می‌تواند با یکسال درنگ در سرمایه‌گذاری، ارزشی معادل با ۰/۵۳۲۸۳۲ میلیارد ریال را به‌دست آورد. بدین ترتیب نه تنها سرمایه‌گذاری در نیروگاه مورد نظر اقتصادی خواهد شد بلکه ارزش این سرمایه‌گذاری افزایش نیز خواهد یافت، بنابراین:

ارزش سرمایه‌گذاری با اعمال اختیار درنگ برای یکسال = ROV_0 +

NPV =۰/۵۳۲۸۳۲+(-۰/۴۹۴۸۸۸۷۵۷) =۰/۰۳۷۹۴۳۲۴۳

(۲) ارزش‌گذاری اختیار گسترش

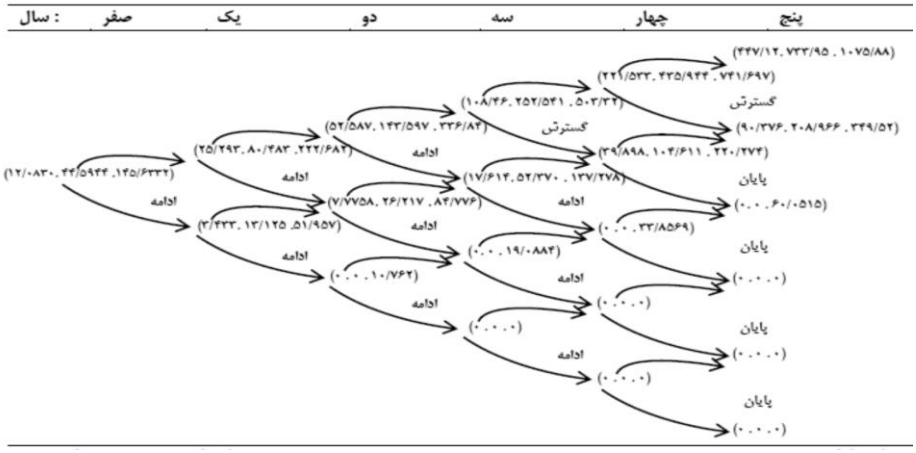
ابتدا درخت دوجمله‌ای با استفاده از دوره‌های یک ساله برای ۵ سال و ارزش دارایی در طول عمر اختیار تشکیل می‌گردد. با شروع از نقطه S_0 و ضرب آن در احتمالات بهتر و بدتر شدن شرایط (جهش به سمت بالا و پایین) به ترتیب مقادیر S_0u و S_0d برای سال اول به دست می‌آید. همین روال محاسباتی تا پایان سال پنجم برای تمام گره‌های درخت انجام می‌پذیرد. شکل (۳) نمودار درخت دوجمله‌ای را به‌عنوان مبنای محاسبات بعدی نشان می‌دهد.



منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۳. درخت دوجمله‌ای تغییر ارزش مورد انتظار فازی در پروژه نیروگاه فتوولتاییک برای ۵ سال به‌عنوان مبنای محاسبات بعدی (به میلیارد ریال)

اکنون بر اساس مدل درخت دوجمله‌ای فازی مورد استفاده در این تحقیق و براساس روابط (۱) تا (۱۶)، نمودار درختی برای اختیار گسترش در شکل (۴) به تصویر کشیده شده است:



منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۴. نمودار درخت دوجمله‌ای عایدی فازی، حاصل از پروژه نیروگاه فتوولتاییک در اثر اعمال اختیار گسترش (ارقام به میلیارد ریال)

بدین ترتیب جهت محاسبه ارزش اختیار گسترش خواهیم داشت:

$FROV_0$ = (۱۲/۰۸۰۳۰ ,۴۴/۵۹۴۴ ,۱۴۵/۶۳۳۲) -(۳۴/۷۹۵ ,۳۶/۶۲۷ ,۳۸/۴۹۵) =

(-۲۶/۴۱۲۰ ,۷/۹۶۷۴۴ ,۱۱۰/۸۳۸۲)

AR =۱۰۲/۸۷۰۸, AL =۳۴/۳۷۹۴۴⇒ λ =۰/۷۵⇒ $ROV_0 = E(FROV_0)$ =۴۲/۲۱۳۱۱

محاسبات نشان می‌دهد که مدیریت نیروگاه می‌تواند با گسترش نیروگاه، ارزشی معادل با ۴۲/۲۱۳۱۱ میلیارد ریال را به‌دست آورد. بدین ترتیب نه تنها سرمایه‌گذاری در نیروگاه مورد نظر اقتصادی خواهد شد بلکه ارزش این سرمایه‌گذاری افزایش نیز خواهد یافت، به‌طوری‌که:

ROV_0 + ارزش سرمایه‌گذاری با اعمال اختیار گسترش

NPV =۴۲/۲۱۳۱۱+(-۰/۴۹۴۸۸۸۷۵۷) = ۴۱/۷۱۸۲۲۱۲۴۳

براساس نمودار درخت دوجمله‌ای (۴) این گسترش می‌تواند در حد فاصل سال‌های چهارم یا پنجم انجام شود که البته ارزش اختیار گسترش در سال پنجم بیشتر از سال چهارم است.

(۳) ارزش‌گذاری اختیار واگذاری

اکنون بر اساس روابط (۱) تا (۱۶) و نمودار درختی (۳)، نمودار اختیار واگذاری در شکل (۵) به نمایش گذاشته شده است. جهت محاسبه ارزش اختیار واگذاری خواهیم داشت:

$FROV_0$ = (۸/۰۶۰۱۹۲ ,۳۰/۳۷۶۱۸ , ۸۶/۶۹۸۶۹) -(۳۴/۷۹۵ ,۳۶/۶۲۷ ,۳۸/۴۹۵) =

(-۳۰/۴۳۴۸ , -۶/۲۵۰۸۲ ,۵۱/۹۰۳۶۹)

AR =۵۸/۱۵۴۵۱ , AL =۲۴/۱۸۳۹۹⇒ λ =۰/۷۱⇒ ROV_0 =

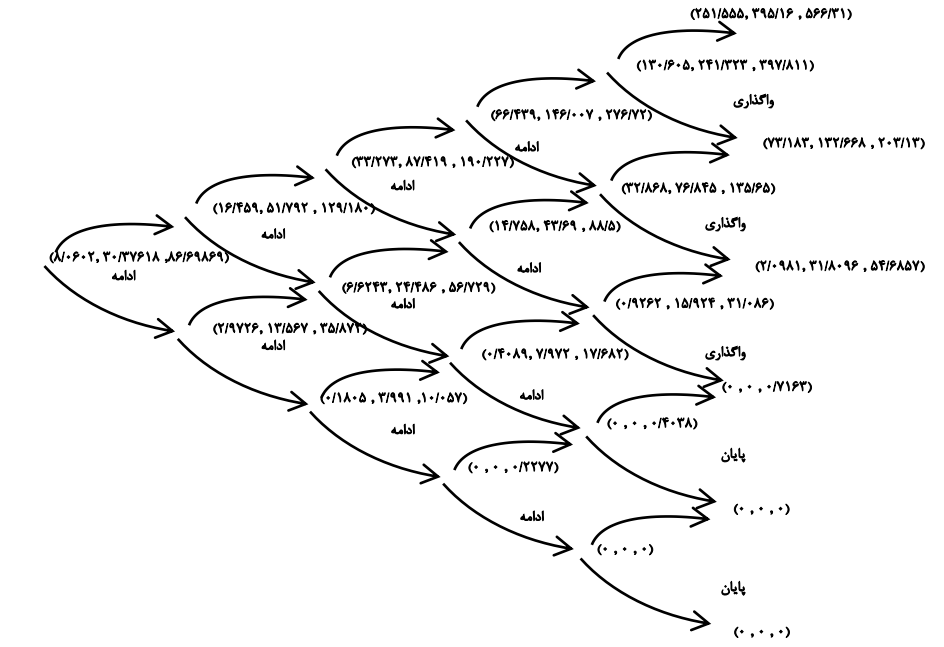
$E(FROV_0)$ =۱۰/۷۳۴۴۴

محاسبات نشان می‌دهد که مدیریت نیروگاه می‌تواند با واگذاری نیروگاه، ارزشی معادل با ۱۰/۷۳۴۴۴ میلیارد ریال را به‌دست آورد. بدین ترتیب نه تنها سرمایه‌گذاری در نیروگاه مورد نظر اقتصادی خواهد شد بلکه ارزش این سرمایه‌گذاری افزایش نیز خواهد یافت، به‌طوری‌که:

ROV_0 + ارزش سرمایه‌گذاری با اعمال اختیار واگذاری

NPV =۱۰/۷۳۴۴۴+(-۰/۴۹۴۸۸۸۷۵۷) = ۱۰/۲۳۹۵۵۱۲۴۳

براساس نمودار درخت دو جمله‌ای (۵) این واگذاری می‌تواند در سال پنجم از عمر بهره‌برداری نیروگاه انجام شود.

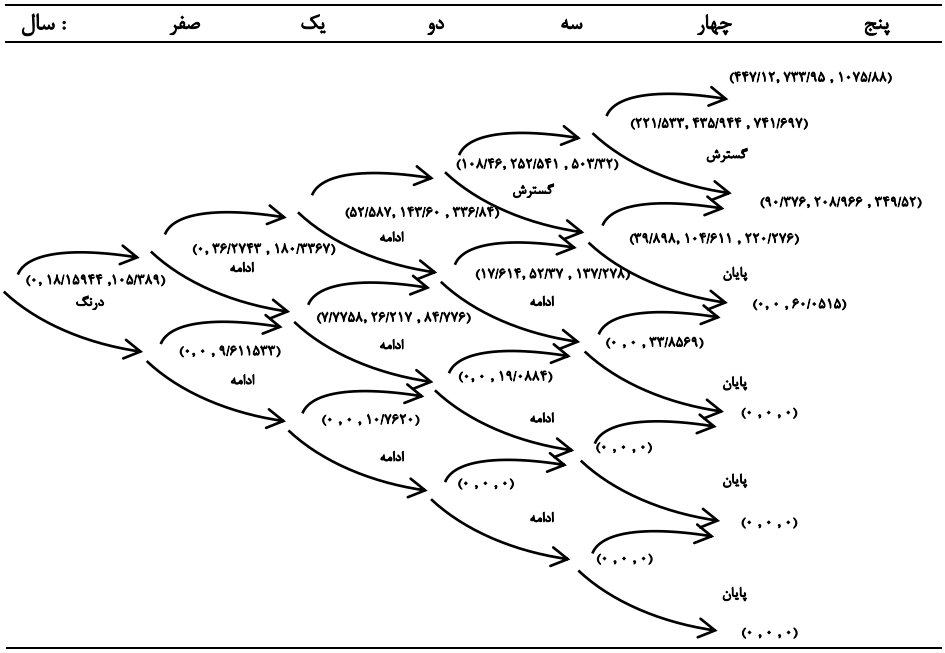


منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۵. نمودار درخت دوجمله‌ای عایدی فازی، حاصل از پروژه نیروگاه فتوولتاییک در اثر اعمال اختیار واگذاری (ارقام به میلیارد ریال)

(۴) ارزش‌گذاری اختیار مرکب (درنگ - گسترش)

برای ارزش‌گذاری این اختیار باید شکل (۴) مربوط به اختیار گسترش را مبنا قرار داده و اختیار درنگ را در سال اول اعمال کنیم. بر این اساس شکل (۶) حاصل خواهد شد.



منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۶. نمودار درخت دوجمله‌ای عایدی فازی، حاصل از پروژه نیروگاه فتوولتاییک در اثر اعمال اختیار مرکب درنگ- گسترش (ارقام به میلیارد ریال)

جهت ارزش‌گذاری اختیار مرکب درنگ- گسترش خواهیم داشت:

$FROV_0 = (۰ \ , ۱۸/۱۵۹۴۴ \ , ۱۰۵/۳۸۹)$

$AR = ۸۷/۲۲۹۶ \ , AL = ۱۸/۱۵۹۴۴ \Rightarrow \lambda = ۰/۸۳ \Rightarrow ROV_0 = E(FROV_0) = ۵۲/۶۹۴۵۲$

محاسبات نشان می‌دهد که مدیریت نیروگاه می‌تواند با یکسال درنگ در سرمایه‌گذاری و سپس گسترش نیروگاه در سال پنجم از عمر بهره‌برداری نیروگاه، ارزشی معادل با ۵۲/۶۹۴۵۲ میلیارد ریال را به‌دست آورد.

بدین ترتیب نه تنها سرمایه‌گذاری در نیروگاه مورد نظر اقتصادی خواهد شد بلکه ارزش این سرمایه‌گذاری افزایش نیز خواهد یافت، زیرا:

ارزش سرمایه‌گذاری با اختیار مرکب درنگ- گسترش = ROV_0 +

$NPV = ۵۲/۶۹۴۵۲ + (-۰/۴۹۴۸۸۸۷۵۷) = ۵۲/۱۹۹۶۳۱۲۴۳$

(۵) ارزش‌گذاری اختیار مرکب (درنگ - واگذاری)

برای ارزش‌گذاری این اختیار باید شکل (۵) مربوط به اختیار واگذاری را مبنا قرار داده و اختیار درنگ را در سال اول اعمال کنیم. براین اساس شکل (۷) حاصل خواهد شد.

پس ارزش اختیار مرکب درنگ– واگذاری برابر است با:

$FROV_0 = (۰ ,۴/۵۱۱۳۳۱ ,۴۹/۸۵۹۴۸)$

$AR = ۴۵/۳۴۸۱۵, AL = ۴/۵۱۱۳۳۱ \Rightarrow \lambda = ۰/۹۱ \Rightarrow ROV_0 = E(FROV_0) = ۲۴/۹۲۹۲۷$

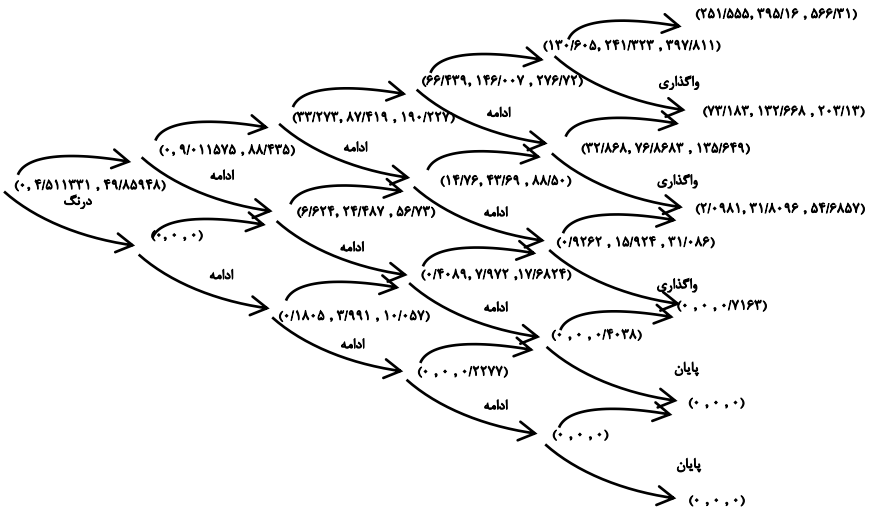
محاسبات نشان می‌دهد که مدیریت نیروگاه می‌تواند با یکسال درنگ در سرمایه‌گذاری و سپس واگذاری نیروگاه در سال پنجم از عمر مفید، ارزشی معادل با ۲۴/۹۲۹۲۷ میلیارد ریال را به‌دست آورد.

بدین ترتیب نه تنها سرمایه‌گذاری در نیروگاه مورد نظر اقتصادی خواهد شد بلکه ارزش این سرمایه‌گذاری افزایش نیز خواهد یافت، زیرا:

ارزش سرمایه‌گذاری با اختیار مرکب درنگ- واگذاری = ROV_0 +

$NPV = ۲۴/۹۲۹۲۷ + (-۰/۴۹۴۸۸۸۷۵۷) = ۲۴/۴۳۴۳۸۱۲۴۳$

: سال	صفر	یک	دو	سه	چهار	پنج



منبع: یافته‌های تحقیق

شکل ۷. نمودار درخت دوجمله‌ای عایدی فازی، حاصل از پروژه نیروگاه فتوولتاییک در اثر اعمال اختیار مرکب درنگ- واگذاری (ارقام به میلیارد ریال)

۵- نتیجه گیری و پیشنهادها

در این پژوهش ارزیابی اقتصادی یک نیروگاه برق فتوولتاییک در جنوب اصفهان، در شرایط عدم اطمینان مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا تأثیر انعطاف‌ها و اختیارات مدیریتی بر تصمیمات سرمایه‌گذاری در این نیروگاه بررسی و سپس به شناسایی نوع اختیارات مناسب با سرمایه‌گذاری در این نیروگاه از دید کارشناسان خبره این حوزه پرداخته شد. در مرحله بعد نیروگاه مورد بررسی بر اساس روش‌های سنتی و به کمک نرم‌افزار RetScreen مورد ارزیابی قرار گرفت و غیراقتصادی بودن آن از منظر معیارهای سنتی مختلف، مشخص شد. سپس با در نظر گرفتن منطق اعداد فازی برای متغیرهای مالی پروژه یعنی منافع و مخارج این نیروگاه که به‌شدت تحت تأثیر عوامل عدم قطعیت بودند، ارزش‌گذاری اختیارات واقعی درنگ، گسترش و واگذاری و اختیارات مرکب پروژه به کمک درخت دوجمله‌ای فازی انجام گردید.

نتایج عددی ارزش‌گذاری اختیارات برای نیروگاه، نشان داد که ماهیت نامطمئن و پیچیده این دست از پروژه‌ها می‌طلبد تا روشی برای ارزش‌گذاری این پروژه‌ها استفاده شود که بتواند این عدم قطعیت و پیچیدگی را به نمایش گذارد. وجود انعطاف‌پذیری مدیریتی و عدم قطعیت بالا در پروژه‌های نیروگاه‌های خورشیدی سبب می‌شود که ارزش واقعی پروژه‌ها از ارزش پروژه فرضی بدون عدم قطعیت که مبنای عمل روش‌های سنتی DCF است، فاصله بگیرد. لذا در نظر گرفتن متغیرهای مالی این پروژه‌ها در قالب اعداد فازی برای پوشش بهتر عدم قطعیت‌ها جهت استفاده از رویکرد اختیار واقعی راهبرد مناسبی خواهد بود. بر این اساس، یافته‌های تحقیق حاضر در این زمینه با نتایج پژوهش‌هایی مانند ونتسانس و همکاران (۲۰۰۲)، کولان و همکاران (۲۰۰۹)، کاهرمان و اوکال (۲۰۰۹)، هو و لیائو (۲۰۱۱)، مارتینز (۲۰۱۲) و شین (۲۰۱۴) مطابقت دارد. جدول (۱۰) ارزش اضافی که هرکدام از این اختیارات برای پروژه داشتند را در قالب ارزش سرمایه‌گذاری نشان می‌دهد.

جدول ۱۰. خلاصه‌ای از ارزش اضافی حاصل از ارزش‌گذاری اختیارات مختلف برای نیروگاه (ارقام به میلیارد ریال)

نوع اختیار	ارزش اختیار فازی	ارزش اختیار قطعی	ارزش سرمایه‌گذاری پروژه
درنگ	(۰ ,۰ ,۱/۰۶۵۶۶۴)	۰/۵۳۲۸۳۲	۰/۳۷۹۴۳۲۴۳
گسترش	(۱۱۰/۸۳۸۲ ,۷/۹۶۷۴۴۱ ,۲۶/۴۱۲-)	۴۲/۲۱۳۱۱	۴۱/۷۱۸۲۲۱۲۴۳
واگذاری	(۵۱/۹۰۳۶۹ ,۶/۲۵۰۸۲- ,۳۰/۴۳۴۸-)	۱۰/۷۳۴۴۴	۱۰/۲۳۹۵۵۱۲۴۳
مرکب: درنگ-گسترش	(۱۰۵/۳۸۹ ,۱۸/۱۵۹۴۴ ,۰)	۵۲/۶۹۴۵۲	۵۲/۱۹۹۶۳۱۲۴۳
مرکب: درنگ-واگذاری	(۴۹/۸۵۹۴۸ ,۴/۵۱۱۳۳۱ ,۰)	۲۴/۹۲۹۷۴	۲۴/۴۳۴۳۸۱۲۴۳

منبع: یافته‌های تحقیق

همان‌طورکه در جدول (۱۰) مشاهده می‌شود، اگر هرکدام از اختیارات درنگ، گسترش و واگذاری به تنهایی مورد بررسی قرار گیرند، ارزش سرمایه‌گذاری در پروژه افزایش می‌یابد؛ اما در حالتی که ترکیب این اختیارات به‌صورت همزمان در نظر گرفته شود، پروژه ارزشی بیش از بیشینه ارزش این اختیارات به‌صورت جداگانه، خواهد داشت.

در پایان با توجه به تحلیل‌های ارائه شده و مزیت‌های متعدد مدل اختیارات واقعی، پیشنهاد می‌گردد که از آن در بررسی پروژه‌های سرمایه‌گذاری در شرایط عدم اطمینان، استفاده شود. این امر می‌تواند به بررسی دقیق‌تر پروژه‌های سرمایه‌گذاری و ارزش‌گذاری آنها کمک نموده و محدودیت‌های روش‌های سنتی نظیر ایستایی، در نظر نگرفتن انعطاف‌پذیری و بی‌توجهی به عدم قطعیت در جریان نقدی پروژه و ریسک ناشی از آن را، رفع نماید.

پیشتر از این اشاره کردیم که بعضی از پروژه‌ها به دلیل ماهیت اقتصادی خود پس از تنزیل با نرخ مورد نظر سرمایه‌گذار، دارای ارزش فعلی منفی می‌شوند، لیکن با در نظر گرفتن اختیار واقعی و به دلیل ارزش مثبتی که بر این اساس به ارزش فعلی اضافه می‌شود، دارای ارزش مثبت شده و توجیه‌پذیر می‌گردند. نتایج محاسباتی تحقیق حاضر به‌خوبی این ادعا را اثبات نمود. بدین ترتیب وجود اختیار واقعی می‌تواند منجر به ایجاد انگیزه برای ورود به پروژه‌هایی شود که تا قبل از این دارای توجیه نبوده‌اند.

بنابراین باید توجه داشت که نادیده گرفتن اختیارات واقعی، باعث از دست رفتن انعطاف مدیران در تصمیم‌گیری و به نادیده گرفتن نرمش در دگرگون ساختن

تصمیم‌های پیشین مدیریت به هنگام تغییر شرایط، می‌شود. به‌طور معمول پروژه‌های سرمایه‌گذاری، پس از گزینش و آغاز کار سرمایه‌گذاری در آنها، پایدار نبوده و مدیران با دستیابی به اطلاعات و شرایط جدید، می‌توانند دگرگونی‌هایی را پدید آورده و در جریان نقدی آتی پروژه‌های سرمایه‌گذاری تأثیر بگذارند. این آزادی عمل مدیران در دل پروژه‌های سرمایه‌گذاری نهفته است و پذیرش بی‌چون و چرای روش‌های سنتی تنزیل جریان‌های نقدی، به نادیده گرفتن این اختیارات می‌انجامد (دستگیر، ۱۳۹۳).

همچنین پیشتر گفته شد که برای ارزش‌گذاری اختیار واقعی روش‌های متنوعی وجود دارد. در این تحقیق از روش درخت دوجمله‌ای فازی با انجام تعدیلاتی برای این منظور استفاده گردید. پیشنهاد می‌گردد که برای ارزش‌گذاری فازی اختیارات واقعی در نیروگاه‌های فتوولتاییک با عدم اطمینان بالا، از مدل‌های مختلف شبیه‌سازی که کارآیی بالاتری را در استفاده از فرآیندهای تصادفی ارائه می‌نمایند، استفاده گردد.

منابع

اصانلو، مهدی؛ محمد احمدیان و محمد حیدری زاده (۱۳۹۴)، ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های بادی با در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت برق با استفاده از رهیافت اختیار واقعی. تهران: سومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق، مکانیک و مکاترونیک.

بکی، مرتضی و روژین داودی (۱۳۹۵)، ارزیابی پروژه‌های سرمایه‌گذاری با رویکرد تحلیل اختیار واقعی، فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری، ۱۷، ۲۰۷-۲۲۵.

جنتی پور، میثم، تورج دهقانی و سیامک حاجی یخچالی (۱۳۹۶)، ارزیابی اقتصادی پروژه‌های بالا دستی نفت و گاز با رویکرد اختیارات حقیقی (به همراه مطالعه موردی)، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۵۴، ۶۲-۳۳.

دستگیر، محسن (۱۳۹۳)، مبانی مدیریت مالی. جلد اول و دوم. تهران، انتشارات نوپردازان.

رحمانی فر، عبدالرضا. (۱۳۹۰). بررسی فنی و اقتصادی استفاده از برق فتوولتاییک در صنایع نفت، نشریه انرژی ایران، شماره ۱۴ (۱)، ۱۰-۱.

ساتکین، محمد. (۱۳۸۰). تحلیل اقتصادی به‌کارگیری انرژی خورشیدی در تأمین آب گرم مصرفی. سومین همایش ملی انرژی، تهران. ۶۲۴-۶۱۷.

سایت رسمی شرکت برق منطقه‌ای اصفهان www.erec.com

سایت رسمی شبکه اطلاع رسانی نفت و انرژی www.shana.ir

سایت رسمی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران www.cbi.ir

عباسی، غلامرضا؛ حسین میرزایی و محسن اصفهانی (۱۳۹۴)، ارزیابی اقتصادی راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی با منطق فازی (مطالعه موردی شهرک آتی ساز تهران)، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۴۵، ۱۸۵-۱۶۱.

عطایی، محمد (۱۳۸۹)، تصمیم‌گیری چند معیارِ فازی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

فانی پاکدل، محمود رضا و دیگران (۱۳۹۱)، ارزشیابی پروژه‌های آماده‌سازی معدنی از دیدگاه نظریه اختیارات حقیقی: رویکرد مونت کارلو حداقل مربعات، دانشگاه تربیت مدرس، مجله علمی پژوهشی مهندسی معدن. ۳۰-۱۵.

کیمیا گری، علی‌محمد و مریم اکبری نصیری (۱۳۸۹) روشی برای تخمین پارامترهای ورودی تحلیل اختیار واقعی در صنعت نفت ایران. مطالعه موردی پروژه پارس جنوبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. مجله مهندسی صنایع شریف. ۱۳۸-۱۲۹.

معینی پناه، گیتی و مازیار علی مددی (۱۳۹۰) بررسی انواع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در ایران، www.Wikipg.com.

وینستون، وین (۱۳۹۷) مدل‌سازی مالی با اکسل، ترجمه محمدحسن مهدوی، تهران: نشر ادبستان، چاپ سوم.

Chanwoong, J., J. Lee, J.Shin (2015). Optimal subsidy estimation method using system dynamics and the real option model:Photovoltaic technology case, *Applied Energy*, 142, 33–43. Doi: 10.1016/j.apenergy.2014.12.067.

Charnes, J. (2012). Financial Modeling with Crystal Ball and Excel. United State, John Wiley & sons.

Collan,M., R. Fuller and J. Mezei (2009). A Fuzzy Pay-Off Method for Real Option Valuation,*Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences*, Online at http://mpra.ub.uni-muenchen.de/13601/

Cox, J., S. Ross, M. Rubinstein (1979). Option Pricing:A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229-63.

Davis,GA., B. Owens (2003). Optimizing the Level of Renewable Electric R&D Expenditures Using Real Options Analysis. *Journal of Energy Policy*, 31, 1589-1608. https://Doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00225-2.

Defusco R., A. Dennis, M. Leavy, E. Pinto & E. Runkle (2004). *Quantitative investment Analysis*, Prentice-Hall,2nd ed.

Dixit, A., RS. Pindyck. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton University Press.

Eduardo A., C. Martinez (2012). Real Options Theory Applied to Renewable Energy Generation Projects Planning. *The Universityof Manchester*, PhDs Thesis.

Ho. Sh.H,Liao, S. H. (2011). A fuzzy real option approach for investment project valuation. Expert Systems with Applications 38 (12) 15296–15302. doi:10.1016/j.eswa.2011.06.010.

Kahraman, C., U. İrem (2009). Fuzzy real options valuation for oil investments. *Baltic Journal on Sustainability*, 646–669. Doi:10.3846/1392-8619.2009.15.646-669**.**

Kim. K, S. Kim, H. Kim. (2016). Real Options Analysis for Photovoltaic Project Under Climate Uncertainty, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 40(1). Doi:10.1088/1755-1315/40/1/012080**.**

Kjaerland, F. (2007). A Real Option Analysis of Investments in Hydropower the Case of Norway. *Journal of Energy Policy*, 35(11), 5901-5908. Doi: 10.1016/j.enpol.2007.07.021**.**

Kodukula, P., CH. Papudesu. (2006). *Project Valuation Using Real Options*, Library of Congress CataloginginPublication Data, J. Ross publisher.

Lei, Z., Y. Fan (2010). A real options based model and its application to china's overseas oil investment dicisions; *Energy economics* 32, 627-637.https://Doi.org/10.1016/j.eneco.2009.08.021.

Li. Y., Wu. M & Li. Z. (2018). A Real Options Analysis for Renewable Energy Investment Decisions under China Carbon Trading Market. Energies, 11, 1817; doi:10.3390/en11071817.

Li. Y, Yang. W, Tian, L. & Yang. J. (2018). An Evaluation of Investment in a PV Power Generation Project in the Gobi Desert Using a Real Options Model. Energies, 11, 257; doi:10.3390/en11010257.

Liao, S.H., Ho. Sh.H. (2010).Investment project valuation based on a fuzzy binomial approach. *Information Sciences* 180(11), 2124–2133. Doi: 10.1016/j.ins.2010.02.012.

Luiz, A.M, J.M.Chaorro. (2012).Valuation of Wind Energy Projects: A Real Option Approach, Energies, 7(5), 3218-3255. Doi: 10.3390/en7053218.

Mun, J. (2006).*Real Option Analysis:Tools and Techniques for Valuing Strategic Investment and Decisions*, United State,2nd edition, John Wiley & sons, Inc.

Munoz. J.I, J. Contreras, J. Caamano, PF. Correia (2009). Risk Assessment of Wind Power Generation Project Investments via Real Options. *IEEE Bucharest power tech. conference.* Doi: 10.1109/PTC.2009.5281848**.**

Myers, S. C. (1977). Determinants of Corporate Borrowing,*Journal of Financial Economics*, 5(2), 147-175.https://Doi.org/10.1016/0304-405X(77)90015-0**.**

Sheen. J.N. (2013). Real Option Analysis for Renewable Energy Investment Under Uncertainty,*Paper presented at the 2nd International Conference on Intelligent Technologies and Engineering Systems*, Taiwan. Lecture Notes in Electrical Engineering, 293, 283-289. Doi: 10.1007/978-3-319-04573-3_35.

Tian L, Pan J, Du R, Li W, Zhen Z & Qibing G. (2017). The valuation of photovoltaic power generation under carbon market linkage based on real options. *Applied Energy*,article in press, http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.092.

Venetsanos, K., P. Angelopoulou, T. Tsoutsos (2002). Renewable Energy Sources Project Appraisal under Uncertainty, the Case of Wind Energy.*Journal of Energy Policy*, 30(4), 293–307. https://Doi.org/10.1016/S0301-4215(01)00096-9**.**

Xian, Z., X. Wang, J. Chen, Xi X., K. Wang & Y. Wei. (2014). A novel modeling based real option approach for CCS investment evaluation under multiple uncertainties; *Energy*,113, 49-61.Doi: 10.1016/j.apenergy.2013.08.047**.**

Yoshida, Y., Yasuda, M., Nakagami, J., & Kurano, M. (2006). A new evaluation of mean value for fuzzy numbers and its application to American put option under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 157, 2614–2626.https://doi.org/10.1016/j.fss.2003.11.022.

Economic Appraisal of Solar Energy Projects under Uncertainty using a Fuzzy Real OptionApproach(Case Study: A 2MW Photovoltaic Plant in the South of Isfahan)

Mohammad Mashhadizadeh[1]
Associate Professor, Department of Management, Mobarakeh Branch, Islamic Azad University, Mobarakeh, Iran, moh.msh49@gmail.com

Mohsen Dastgir
Professor, Department of Accounting, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. mdastgir@hatmail.com

Soheil Salahshour
Associate Professor, Department of Mathematics, Mobarakeh Branch, Islamic Azad University, Mobarakeh, Iran, soheilsalahshour@mau.ac.ir
Received: 2019/10/22 Accepted: 2019/09/12

Abstract

Investment in renewable energies especially solar energies encounters numerous uncertainties considering the increased dynamism in economic and financial conditions. It is thus important to use modern methods of economic appraisal for such investments. Our study provides a framework for use of the real option theory for economic appraisal of a 2MW photovoltaic plant in Isfahan province (as a case study) in comparison with traditional methods. We first distribute self-made questionnaires to a sample of 36 experts, to test the impact of different options on project value with the help of statistical methods. We used Cronbach's alpha coefficient to test the validity of our 9 item questionnaire. Our results indicated a significant relationship between the use of real option and increased value of investment in this plant considering expansion, termination and deferral options. We compared the results of our options between use of traditional methods and real option approach with the help of Fuzzy Binomial lattice. We observed that the fuzzy real option approach leads to increased value of investment and offers greater flexibility than traditional methods.

JEL Classification: Q20, G11, G31,C02

Keywords: Photovoltaic Solar Plant, Uncertainty, Real Option, Fuzzy Logic, Binomial lattice.

1. Corresponding Author