فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

مدل‌سازی و ارزیابی سرمایه‌گذاری بدون تاخیر در منابع تجدیدپذیر بر پایه رویکرد اختیار واقعی (مطالعه موردی: تعرفه بهینه منبع تجدیدپذیر خورشیدی در کشور ایران)

تاریخ دریافت مقاله : ۹۹/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله : ۹۹/۰۶/۱۲

ریحانه صیادی نژاد[۱]
علی‌محمد کیمیاگری[۲]

چکیده

سرمایه‌گذارها با طیف وسیعی از گزینه‌های سرمایه‌گذاری مواجه‌اند و با توجه به تقاضای روزافزون انرژی و محدودیت‌های منابع تجدیدناپذیر، ارزیابی سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر برای سرمایه‌گذارها و سیاست‌گذارها اهمیت زیادی یافته است. هدف این پژوهش، مدل‌سازی و ارزیابی سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر با هدف جذب سرمایه‌گذار بدون تأخیر از طریق تعیین سطح بهینه تعرفه خرید انرژی تجدیدپذیر با رویکرد اختیار واقعی می‌باشد. جهت مدل‌سازی مجموعه‌ای از عوامل پنج‌گانه عدم قطعیت، اختیار تأخیر، تفاوت‌های اقلیمی ۳۱ استان ایران در نظر گرفته شده و جهت پیاده‌سازی از الگوریتم ترکیبی برنامه‌نویسی پویا، شبیه‌سازی مونت‌کارلو و حرکت براونی هندسی استفاده شده است. نتایج حاکی است، سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر بدون لحاظ یارانه برای سرمایه‌گذاری بدون تأخیر جذاب نبوده و نیز می‌بایست سرمایه‌گذارها و سیاست‌گذارها به‌منظور ارزیابی و سرمایه‌گذاری بدون تأخیر از رویکرد اختیار واقعی استفاده کنند. تعرفه بهینه جهت سرمایه‌گذاری بدون تأخیر بر اساس رویکرد اختیار واقعی به‌طور متوسط ۵۰۳,۰۰۰ ریال برآورد شده است. با توجه به تفاوت معنادار سطح بهینه تعرفه برای استان‌های مختلف، می‌بایست با توجه‌به شرایط اقلیمی‌استان‌ها، تعرفه تنظیم گردد. با پیشرفت تکنولوژی، اجرای طرح معاملات انتشار دی‌اکسیدکربن، ارزش سرمایه‌گذاری افزایش و سطح بهینه یارانه کاهش می‌یابد. سطح بهینه یارانه با نرخ مالیات، ظرفیت، نرخ ارز، نرخ تنزیل و نوسان‌پذیری رابطه مستقیم دارد.

کلمات کلیدی

سرمایه‌گذاری، اختیار واقعی، انرژی تجدیدپذیر، تعرفه بهینه، عدم قطعیت.

۱- گروه مهندسی مالی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
Reyhane.sn@aut.ac.ir
۲- گروه مهندسی مالی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
kimiagar@aut.ac.ir

مقدمه

سرمایه‌گذاری در فرآیند رشد و توسعه اقتصادی جوامع به دلیل کمبود منابع سرمایه‌گذاری و ضرورت تخصیص بهینه آن، بسیار حائز اهمیت است. از یک‌سو یکی از اساسی‌ترین بخش‌های مولد اقتصادی هر کشوری، منابع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر می‌باشد و از سوی دیگر هدف اصلی سرمایه‌گذارها کسب بازدهی بیشتر در سطح ریسک قابل‌قبول است، بر این اساس سرمایه‌گذارها با گزینه‌های سرمایه‌گذاری مختلفی مواجه هستند. یکی از گزینه‌های سرمایه‌گذاری که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است، سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر است.

افزایش روزافزون جمعیت جهان و نیاز به انرژی، محدودیت منابع تجدیدپذیر و مشکلات آن نظیر آلودگی، نیاز به سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر به‌عنوان یکی از جدیدترین گزینه‌های سرمایه‌گذاری را بیش‌ازپیش نمایان ساخته است [۴۵]. دسترسی آسان به انرژی، موتور رشد و توسعه و پیشرفت کشورهاست. امروزه تمایل به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌شدت رو به افزایش بوده و سرمایه‌گذاری‌های کلانی در کشورهای توسعه‌یافته روی این نوع منبع انرژی در حال انجام است[۴۹]. ازاین‌رو امروزه سرمایه‌گذاری در منابع انرژی تجدیدپذیر و همچنین مدل‌سازی و ارزیابی گزینه‌های سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر به موضوعی پراهمیت برای سرمایه‌گذاراها و سیاست‌گذارها تبدیل شده است.

سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر که نقش بسیار بااهمیتی در ارتقاء بهره‌برداری از این انرژی‌ها دارد، دارای چهار ویژگی اصلی است. اول، این نوع سرمایه‌گذاری به‌طور کامل و یا جزئی غیرقابل بازگشت است. دوم، مبلغ سرمایه‌گذاری در پروژه‌های تولید برق تجدیدپذیر اغلب به دلیل عدم بلوغ تکنولوژی، بیشتر از پروژه‌های تولید برق با سوخت فسیلی است. سوم، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر با بسیاری از عوامل عدم قطعیت ازجمله توسعه بازار، پیشرفت تکنولوژی و سیاست‌های حمایتی روبرو است. چهارم، زمان سرمایه‌گذاری برای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر اختیاری است [۴۶،۲۱]. اگر بازده یک پروژه انرژی تجدیدپذیر در مقابل ریسک آن برای سرمایه‌گذار توجیه‌پذیر باشد، انجام می‌شود، در غیر این صورت سرمایه‌گذاراها سودجو با هدف به دست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد ریسک مربوطه، سرمایه‌گذاری را به تأخیر می‌اندازند. به دلیل این ویژگی‌ها، روش ارزش فعلی خالص، که به‌خوبی نمی‌تواند عوامل عدم قطعیت را مدل‌سازی نماید، برای ارزیابی سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر نامناسب می‌باشد [۴۶،۲۰].

در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از رویکرد اختیار واقعی و با در نظر گرفتن ۵ عامل عدم قطعیت شامل مبلغ سرمایه‌گذاری، قیمت بازار برق، قیمت حق انتشار دی‌اکسیدکربن، هزینه تعمیرات و نگهداری و نرخ ارز و همچنین انعطاف‌پذیری‌های مدیریتی شامل اختیار به تأخیر انداختن پروژه با هدف حداکثر کردن سود به مدل‌سازی و ارزیابی سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر با هدف مشارکت و سرمایه‌گذاری بدون تأخیر از طریق تعیین ارزش بهینه تعرفه خرید انرژی تجدیدپذیر برای ۳۱ استان مختلف کشور ایران با توجه به ویژگی‌های محیطی متفاوت آن‌ها پرداخته شود که به‌واسطه آن سرمایه‌گذارها اقدام به سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر نمایند. در مقایسه با مطالعات مشابه قبلی که در بخش بعدی بررسی خواهد شد، این مقاله عوامل عدم قطعیت بیشتری را در توسعه مدل در نظر می‌گیرد تا نتایج مدل‌سازی با شرایط واقعی کشور سازگارتر باشد. به‌طور خاص، این پژوهش، اجرای طرح تجارت انتشار دی‌اکسیدکربن که خود منبع درآمد جدیدی برای سرمایه‌گذاراها در انرژی‌های نو است، نرخ تسعیر ارز و نوسانات آن و همچنین سایر فاکتورهای فنی و اقتصادی را مطابق مدل‌های علمی و نظر خبرگان صنعت را جهت پیاده‌سازی مدل ارزیابی سرمایه‌گذاری مبتنی بر رویکرد اختیار واقعی در نظر گرفته است و تأثیر تمامی عوامل را بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدید پذیر در کشور ایران از طریق تحلیل حساسیت بررسی نموده است. با توجه به اینکه سیاست‌های تشویقی برای سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار مهم است، در پژوهش حاضر تلاش شده است یک مدل کامل با در نظر گرفتن عوامل عدم قطعیت و اختیار به تاخیر انداختن سرمایه‌گذاری، محاسبات دقیق فاکتورهای فنی و اقتصادی جهت ارزیابی سرمایه‌گذاری و تعیین سطح بهینه تعرفه انرژی تجدیدپذیر و به‌طور خاص انرژی خورشیدی ارائه گردد.

ادامه این پژوهش بدین‌صورت سازمان‌دهی می‌شود: بخش ۲، مبانی نظری و مروری بر مطالعات پیشین را ارائه می‌دهد. بخش ۳، روش‌شناسی پژوهش، سؤالات پژوهش، مدل پژوهش و روش حل مدل پژوهش را توصیف می‌کند. در بخش ۴، نحوه پیاده‌سازی مدل، تجزیه‌وتحلیل نتایج و بحث پیرامون آن‌ها ارائه می‌گردد. بخش ۵ به نتیجه‌گیری پژوهش می‌پردازد.

مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

پیشینه پژوهش

اختیارهای واقعی[۱]، اولین بار توسط مایرز[۲] با الهام از اختیارات مالی جهت ارزش‌گذاری پروژه‌ها در سال ۱۹۷۷ ارائه شد. تفاوت اصلی این روش با سایر روش‌های ارزش‌گذاری در برآورد ارزش انعطاف‌پذیری مدیریتی جهت تنظیم پروژه‌های سرمایه‌گذاری در سایه محیط دارای عدم قطعیت به‌عنوان یکی از عوامل

ایجادکننده ارزش می‌باشد[۳۵]. همچنین در رویکرد اختیار واقعی، برآورد میزان جریان درآمدهای آتی به‌صورت تابعی از فرآیندهای تصادفی است. ارزش نهایی به دست آمده در این روش برابر ارزش فعلی خالص دارایی به‌علاوه ارزش انعطاف‌پذیری تصمیم‌گیرندگان می‌باشد [۴۳].

اختیار در بازارهای مالی در حقیقت داشتن حق خرید یا فروش یک دارایی مشخص در زمان مشخص و با قیمت از پیش تعیین شده است. ارزش دارایی در زمان ایجاد اختیار با عنوان ارزش اولیه دارایی، قیمت مشخص‌شده برای قیمت خرید یا فروش دارایی در آینده با عنوان قیمت اعمال اختیار و زمان تعیین‌شده برای تصمیم‌گیری در مورد این حق زمان اعمال اختیار شناخته می‌شوند. همان‌طور که از اسم اختیار واقعی پیداست، این رویکرد از تئوری اختیار برای ارزیابی دارایی‌های فیزیکی یا واقعی به‌مانند آنچه در مورد دارایی‌های مالی یا سهام و اوراق به کار می‌رود، استفاده می‌کند [35].

اختیار واقعی در ابتدا برای ارزیابی شرکت‌هایی با موقعیت حساس و ریسکی مانند شرکت‌هایی که درگیر فعالیت‌هایی چون تحقیق و توسعه هستند و با عدم قطعیت زیاد و انعطاف‌پذیری مدیریتی همراه است کاربرد داشته است، ولی باگذشت زمان کاربرد اختیار واقعی مورد توجه بسیاری از شرکت‌ها قرار گرفته است [30]. برای حل مدل‌های پیشرفته اختیار واقعی باید از مدل‌های پیچیده ریاضیاتی مانند ۱-معادلات دیفرانسیل جزئی[۳]، ۲-برنامه‌نویسی پویا[۴]، ۳-مدل‌های شبکه‌ای[۵] دو بعدی و بالاتر (درخت دوجمله‌ای و سه‌جمله‌ای) و ۴-شبیه‌سازی[۶] تصادفی و ترکیب آن‌ها استفاده کرد[۳۴].

مدل‌سازی و ارزیابی سرمایه‌گذاری بر اساس اختیار واقعی یکی از روش‌های پویا در مدل‌سازی است که انعطاف‌پذیری‌های موجود در پروژه‌ها و عدم قطعیت‌ها را در نظر می‌گیرند. در دنیای پیچیده امروزی که همواره شرایط تجاری و کسب‌وکار با عدم قطعیت و ریسک همراه است، استفاده از روش‌های پویا بیش‌ازپیش ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر روش‌های قطعی روش‌هایی هستند که به جریان‌های نقدی یک پروژه دید قطعی داشته و انعطاف‌پذیری‌های موجود در آن پروژه و عدم قطعیت‌ها را در نظر نمی‌گیرد. ازجمله این روش‌ها، روش‌های ارزش فعلی خالص[۷]، نرخ بازده داخلی[۸] و دوره بازگشت سرمایه[۹] می‌باشد. برخی از محدودیت‌های روش‌های قطعی شامل موارد زیر می‌باشد:

- فرض این روش‌ها بر این است که سرمایه‌گذاری یا تماماً صورت می‌گیرد و یا اصلاً صورت نمی‌گیرد. (دیدگاه استاتیک)
- هیچ انتخاب زمانی و یا اجرایی وجود ندارد. (در نظر نگرفتن انعطاف‌پذیری‌ها)
- ریسک‌ها و یا فرصت‌های حاصل از تأخیر، توقف، افزایش و یا کاهش سرمایه‌گذاری محاسبه نمی‌شوند.

- مدیریت پویای ریسک‌ها یا مشکلاتی که بر جریان‌های نقدی تأثیر می‌گذارند، در نظر گرفته نمی‌شوند.
- فعالیت‌های رقابتی و تغییرات در محیط کلان و یا صنعتی در نظر گرفته نمی‌شود.
- تمام عواملی که می‌توانند بر نتیجه پروژه و ارزش‌گذاری تأثیر بگذارند از طریق NPV و IRR منعکس می‌شود.
- از این روش‌ها برای همه شرکت‌ها و پروژه‌ها به‌طور یکسان استفاده می‌شود[۴].

در رویکرد جریان‌های نقدی تنزیل‌شده، یک مسیر تصمیم‌گیری واحد با یک مجموعه درآمد یکسان در نظر گرفته می‌شود و همه تصمیمات در ابتدای کار بدون قابلیت تغییر و توسعه در طول زمان، اتخاذ می‌شود. رویکرد اختیار واقعی مسیرهای تصمیم‌گیری چندگانه‌ای را به‌صورت متوالی و با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌ها در نظر می‌گیرد. در فرآیند سرمایه‌گذاری دو قسمت باید موردبررسی قرار گیرد، اول، نقطه شروع سرمایه‌گذاری یعنی جایی که باید تصمیمات استراتژیک سرمایه‌گذاری گرفته شود و دوم، هدف نهایی و تصمیم بهینه‌ای که منجر به بیشینه‌کردن بازده شرکت و افزایش ثروت سهامداران می‌شود. در رویکرد سنتی جریان‌های نقدی تنزیل‌شده، اتصال این دو نقطه، یک خط مستقیم است درحالی‌که در رویکرد اختیار واقعی، شبکه‌ای است که نشان‌دهنده مسیرهای مختلف و متقاطع، برای رسیدن به هدف نهایی است.

در فضای قطعی و بدون در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری مدیریتی و عدم قطعیت، سرمایه‌گذار در پروژه‌هایی سرمایه‌گذاری خواهد کرد که مطابق قانون رابطه (۱) دارای ارزش فعلی خالص مثبت هستند.

$$\Psi_0^{NPV} = \begin{cases} 1 & V_0 > 0 \\ 0 & Otherwise \end{cases} \quad (۱)$$

به‌طوری‌که $\Psi_0^{NPV} = 1$ و $\Psi_0^{NPV} = 0$ به ترتیب نشان‌دهنده انجام سرمایه‌گذاری یا ترک آن است.

در فضای تصادفی، بر اساس رویکرد اختیارهای واقعی، سرمایه‌گذاری فقط در صورتی انجام می‌شود که مطابق قانون رابطه (۲) ارزش فعلی خالص سرمایه‌گذاری بدون‌تأخیر بزرگ‌تر یا مساوی ارزش فرصت سرمایه‌گذاری در سال‌های بعد باشد.

$$\Psi_0^{RO} = \begin{cases} 1 & V_0 > OV_0 > 0 \\ 0 & Otherwise \end{cases} \quad (۲)$$

به‌طوری‌که $\Psi_0^{RO} = 1$ و $\Psi_0^{RO} = 0$ به ترتیب نشان‌دهنده انجام سرمایه‌گذاری با ایجاد تأخیر آن است.

ارزش فرصت سرمایه‌گذاری در رویکرد اختیار واقعی بزرگ‌ترین مقداری است که سرمایه‌گذاراها می‌توانند از سرمایه‌گذاری در یک گزینه سرمایه‌گذاری به دست آورند. در یک فضای قطعی بدون در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌ها و انعطاف‌پذیری مدیریتی، روش ارزش فعلی خالص کافی است و بیشترین استفاده را دارد. در این فضا، سرمایه‌گذار امکان تغییر در سرمایه‌گذاری ندارد و بنابراین، ارزش فرصت سرمایه‌گذاری برابر ارزش فعلی خالص است. در یک فضای تصادفی و دارای عدم قطعیت، روش اختیار واقعی به دلیل در نظر گرفتن ارزش انعطاف‌پذیری مدیریتی و عدم قطعیت‌ها در قالب ارزش فرصت سرمایه‌گذاری، ارزش اقتصادی یک گزینه سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهد [۳۸،۴۲]. درنتیجه، بر اساس رویکرد اختیار واقعی، اگر ارزش فعلی سرمایه‌گذاری (V) از ارزش فرصت سرمایه‌گذاری (OV) کمتر نباشد، سرمایه‌گذاری می‌تواند انجام شود. ارزش فرصت سرمایه‌گذاری (OV) مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌شود [49].

$$OV = \underset{0 \le t \le t_V}{MAX} [MAX\ (V_t, 0)] \qquad (۳)$$

در یک پروژه سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر ما ۵ فاکتور کلی جهت برآورد درآمدها و هزینه‌های آتی پروژه داریم:

۱- مبلغ سرمایه‌گذاری: مبلغ سرمایه‌گذاری موردنیاز جهت آغاز پروژه، بخش بزرگی از کل هزینه یک پروژه تولید انرژی تجدیدپذیر را تشکیل می‌دهد. سرمایه‌گذاری موردنیاز در این صنعت به توسعه فناوری بستگی دارد و بنابراین می‌تواند به‌عنوان نماینده یک فاکتور فناوری در پروژه در نظر گرفته شود. با توجه به عدم بلوغ صنعت مربوط به ادوات انرژی‌های تجدیدپذیر، با پیشرفت فناوری، مبلغ سرمایه‌گذاری موردنیاز تمایل به کاهش دارد، اما همچنان تحت تأثیر نوسانات بازار مواد سازنده اجزای ادوات است و به همین دلیل یکی از عوامل عدم قطعیت در این نوع پروژه‌ها شناخته می‌شود [۴۶].

۲- درآمد حاصل از فروش انرژی: درآمد حاصل از فروش انرژی تولیدشده توسط نیروگاه است که بخشی از درآمد پروژه را تشکیل می‌دهد. این بخش از درآمد به‌طور مستقیم به تعرفه برق تجدیدپذیر و به‌طور غیرمستقیم به قیمت برق در بازار برق بستگی دارد و با توجه به این‌که این بازار با عوامل مختلف در طی سال قیمتش تغییر می‌نماید، قیمت بازار برق یکی از عوامل عدم قطعیت در این نوع پروژه‌ها شناخته می‌شود [۲۲].

۳- درآمد حاصل از فروش حق انتشار دی‌اکسیدکربن: طرح بازار معاملات انتشار کربن به‌منظور کاهش انتشار CO_2 به‌عنوان یک گاز گلخانه‌ای طراحی‌شده است که در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته

و درحال‌توسعه در جهان در حال اجرا می‌باشد. طبق طرح معاملاتی انتشار کربن، حق انتشار دی‌اکسیدکربن به‌عنوان کالایی در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند در بازار معامله گردد. به‌این‌ترتیب، یک تولیدکننده انرژی تجدید پذیر می‌تواند از فروش حق انتشار کربن درآمد کسب کند و این درآمد بخش دیگری از درآمدهای پروژه را تشکیل می‌دهد. این بخش از درآمد نیز به قیمت حق انتشار کربن بستگی دارد و با توجه به این‌که با عنوان یک دارایی در بازارها در حال معامله است، قیمت ثابتی نداشته و با عوامل مختلف قیمتش افزایش و یا کاهش می‌یابد و به‌عنوان عامل عدم قطعیت در این نوع پروژه‌ها شناخته می‌شود [۱۱،۲۳،۲۶].

۴- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری: این هزینه جهت اطمینان از عملکرد نرمال یک سیستم برق ضروری است که شامل هزینه‌های نگهداری، هزینه‌های خرید قطعات یدکی، هزینه جایگزینی ادوات در صورت خراب شدن، هزینه‌های بیمه و هزینه‌های مدیریتی می‌باشد که بر اساس داده‌ها با پیشرفت فناوری، تمایل به کاهش دارد و به‌این‌ترتیب به‌عنوان عامل عدم قطعیت در این نوع پروژه‌ها می‌تواند شناخته شود.

۵- هزینه مالیات: هزینه مالیاتی برای یک پروژه تولید انرژی عمدتاً شامل مالیات بر ارزش‌افزوده و مالیات بر درآمد است.

با توجه به معرفی اجزای سازنده ارزش یک پروژه سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، فضای دارای عدم قطعیت حاکم بر این نوع سرمایه‌گذاری‌ها مشخص می‌شود که برای مدل‌سازی آن‌ها مطالعات زیادی انجام شده است.

روش رایج برای مطالعه رفتار پویای متغیرهای مالی و اقتصادی، استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی است. این مدل‌ها در توضیح رفتارهای غیرخطی ناتوان است [۲]. فرآیندهای تصادفی، معادلات دیفرانسیل تصادفی و ریاضیات مالی جایگاه مهمی در تبیین رفتار سری‌های زمانی مالی دارند. مدل‌های مبتنی بر معادلات دیفرانسیل تصادفی می‌توانند رفتار بسیاری از متغیرهای مالی و اقتصادی را تبیین کنند به‌طوری‌که به‌عنوان یک مدل تولیدکننده داده و پیش‌بینی رفتار آتی متغیرها در پژوهش‌ها مورداستفاده قرار گیرند [۸]. یکی از فرآیندهای تصادفی بسیار مهم در چارچوب کاربرهای ریاضیات مالی، فرآیند تصادفی حرکت براونی هندسی می‌باشد که در مطالعات، بسیاری کمیت‌های تصادفی با استفاده از این فرآیند تولید می‌شوند[۶]. حرکت براونی هندسی ریشه در پدیده‌های فیزیکی داشته و تقریباً حدود 200سال پیش کشف شده است[۱۹] و در امور مالی برای اولین بار در پایان‌نامه دکترای لوئیس باکلر در

سال ۱۹۰۰ تحت عنوان تئوری حدس و گمان به‌کاررفته و به‌طور طبیعی به‌عنوان یک محدودیت از گام تصادفی متقارن به وجود می‌آید [۱۶].

حرکت براونی هندسی، فرآیند تصادفی زمان پیوسته‌ای است که در آن لگاریتم مقادیر مختلف تصادفی، از یک حرکت براونی یا فرآیند وینر پیروی می‌کند [۳۳]. از سوی دیگر فرآیند تصادفی نیز به مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی اطلاق می‌شود که در آن متغیرهای تصادفی به زمان وابسته هستند. از سویی فرآیندی که در آن مقادیر یک متغیر تصادفی در آینده تنها به مقدار کنونی آن وابسته بوده و به مسیر رسیدن به مقدار فعلی آن بستگی ندارد را فرآیند مارکوف می‌گویند و ازاین‌جهت مدل حرکت براونی هندسی نیز ازلحاظ ریاضی یک فرآیند مارکوف محسوب می‌شود [۱] و همان فرآیندی است که بلک، شولز و مرتون در مدل‌سازی قیمت اوراق مشتقه به کار گرفته‌اند و آن را به‌عنوان معادله دیفرانسیل تصادفی حاکم بر رفتار قیمت دارایی پایه در نظر می‌گیرند [۳].

با توجه به ساختار مدل حرکت براونی هندسی، در بسیاری از مطالعات پیشین از این مدل برای توصیف روند حرکت هزینه انرژی‌های غیرتجدیدناپذیر استفاده شده است [۱۸،۲۲،۲۹،۴۴]. ازآنجایی‌که در سراسر دنیا، قیمت بازار برق با هزینه انرژی‌های غیرتجدیدناپذیر تغییر می‌کند، در مقالات متعدد روند تغییرات قیمت بازار برق نیز با این فرآیند مدل‌سازی شده است [۲۲]. بسیاری از مطالعات جهت برآورد روند حرکت قیمت حق انتشار دی‌اکسید کربن از فرآیند حرکت براونی هندسی استفاده نموده‌اند [۱۱،۲۳،۲۶]. همچنین، مطابق داده‌های واقعی، با پیشرفت فناوری مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر، هزینه سرمایه‌گذاری تمایل به کاهش دارد، اما تحت تأثیر نوسانات بازار مواد سازنده ادوات است. بنابراین، تغییر هزینه سرمایه‌گذاری ناشی از تکامل بازاری و تکنولوژیکی ادوات نیز مطابق [۲۹] می‌تواند با حرکت هندسی براونی مدل شود. با توجه به نوسانات نرخ ارز در کشور ایران، این عامل نیز به‌عنوان یک متغیر تصادفی، مطابق پژوهش [۲۷] با حرکت هندسی براونی می‌تواند مدل شود. ازآنجایی‌که با پیشرفت تکنولوژی انرژی‌های تجدیدپذیر، قیمت سایر تجهیزات علاوه بر هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تغییر می‌نماید، هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالیانه که عمدتاً به دلیل تعویض و تمیز کردن تجهیزات است، با حرکت هندسی براونی مدل می‌گردد.

معادله کلی مدل حرکت براونی هندسی به‌صورت رابطه (4) تعریف می‌شود.

$$dS_t = \alpha S_t dt + \sigma S_t dZ_t \qquad (۴)$$

که در آن S_t مقدار متغیر تحت بررسی است و Z_t نشان‌دهنده جزء تصادفی مدل یا حرکت براونی است که به آن فرآیند وینر نیز می‌گویند. علاوه‌براین، $dZ_t = \varepsilon_t\sqrt{dt}$ که ε_t یک متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می‌باشد. همچنین α و σ پارامترهای مدل هستند که به ترتیب نمایانگر نرخ رانش و نوسانات هستند.

مطابق [۱۵] جهت حل معادله دیفرانسیل تصادفی حرکت براونی هندسی از لم ایتو استفاده خواهد شد. فرآیند ایتو برای متغیری مانند S_t به‌صورت معادله دیفرانسیل تصادفی (۵) تعریف می‌شود.

$$dS_t = a(S,t)\,dt + b(S,t)\,dZ \quad (۵)$$

که در آن Z همان فرآیند وینر استاندارد است و حالت حدی پیوسته آن به‌صورت معادله (۶) است.

$$\delta S_t = a(S,t)\,\delta t + b(S,t)\varepsilon(t)\sqrt{\delta t} \quad (۶)$$

با استفاده از لم ایتو و تابعی مانند $F(S,t) = Ln(t)$ در [۲۷] اثبات می‌شود که معادله (۷) را خواهیم داشت:

$$S(t) = S(0) \times e^{\left(\alpha - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma Z(t)} \quad (۷)$$

درنهایت با توجه به اینکه فرآیند وینر $Z(t)$ از توزیع نرمال پیروی می‌کند و برابر است با $\varepsilon\sqrt{t}$، می‌توان آن معادله را به‌صورت رابطه (۸) بازنویسی نمود.

$$S(t) = S(0) \times e^{\left(\alpha - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma\,\varepsilon\sqrt{t}} \quad (۸)$$

درواقع معادله بالا، رفتار پویای قیمت را نمایش می‌دهد و همچنین بیانگر این نکته است که قیمت‌ها مطابق حرکت براونی هندسی از توزیع لاگ نرمال پیروی می‌کنند [۱۵].

لزوم بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر برای سرمایه‌گذارها و سیاست‌گذارها مسجل است. درعین‌حال، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بسیار بالا و همچنین نحوه نرخ‌گذاری و بهره‌برداری از این منابع مانع از مشارکت سرمایه‌گذارها در پروژه‌های مذکور می‌شود. ازیک‌طرف، تکنولوژی‌های بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر همانند سایر تکنولوژی‌ها همواره در حال پیشرفت و توسعه هستند و به‌واسطه اینکه این تکنولوژی‌ها در دسته تکنولوژی‌های نوین به‌حساب آورده می‌شوند، با پیشرفت آن‌ها، هزینه سرمایه‌گذاری که به‌طور مستقیم به پیشرفت‌های تکنولوژیکی این صنعت وابسته است، به‌طور مستمر در حال کاهش می‌باشد. از طرف دیگر، با توجه به اینکه عوامل مؤثر بر درآمدزایی این منابع از گذشته تابه‌حال در کشور و جهان همواره صعودی بوده است، سرمایه‌گذارها تمایلی به سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در این منابع

ندارند و ترجیح می‌دهند صبر کنند تا به‌واسطه این تأخیر، سود خود را حداکثر نمایند. درنتیجه با توجه به مشکلات محیط زیستی و همین‌طور تأمین انرژی و همچنین عدم تمایل سرمایه‌گذارها به سرمایه‌گذاری در آینده نزدیک در این منابع، لزوم تعیین یک سیاست تشویقی جهت ایجاد انگیزه برای سرمایه‌گذارها ضروری است. در میان تمامی سیاست‌های به‌کارگرفته‌شده در سراسر جهان، سیاست تعرفه خرید موفق‌ترین سیاست جهت جذب سرمایه‌گذارها بوده است [۱۷،۲۸،۴۱].

سیاست تعرفه خرید، یک پرداخت ثابت برای واحد برق تولیدشده از انرژی تجدید پذیر است که در بسیاری از کشورهای جهان اجرا می‌شود [۴۵]. تعرفه خرید مناسب، برای مدت‌زمان طولانی‌تری، می‌تواند استقرار گسترده انرژی تجدیدپذیر را ارتقا بخشد [41]. هر کشور با توجه به موقعیت و شرایط خاص خود، اقدام به طراحی سیاست تشویقی می‌نماید. یکی از سیاست‌های تشویقی تعرفه خرید شامل دو جز قیمت بازار برق P_t^E و یارانه قیمتی SUB_t به‌صورت رابطه (۹) است.

$$FIT_t = P_t^E + SUB_t \qquad (۹)$$

یارانه موردنیاز به‌طور سنتی تفاوت بین ارزش فعلی خالص پروژه و صفر درزمانی است که ارزش فعلی خالص پروژه منفی باشد، در غیر این صورت نیازی به ارائه یارانه نیست. بااین‌حال، بر اساس رویکرد اختیارهای واقعی، یارانه تفاوت بین ارزش فرصت سرمایه‌گذاری و ارزش سرمایه‌گذاری است [۱۴،۳۷].

مطابق اطلاعات آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، در بین انواع منابع تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی بیشترین حجم سرمایه‌گذاری را به خود اختصاص داده است و می‌توان این تکنولوژی را به‌عنوان ترند تکنولوژی‌های این حوزه در سال‌های اخیر و همچنین آینده معرفی نمود. ازاین‌رو، با توجه به پتانسیل بسیار بالای کشور ایران ازنظر منبع انرژی خورشیدی، در این پژوهش این منبع جهت مدل‌سازی از بین سایر منابع تجدیدپذیر انتخاب شده است.

پیشینه پژوهش

سرمایه‌گذارها به‌منظور ارزیابی سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر از رویکرد اختیار واقعی استفاده می‌کنند. به‌کارگیری اختیارهای واقعی در ارزیابی سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدید پذیر از اوایل دهه ۲۰۰۰ آغاز گردیده است.

گولیر و همکاران[۱۰] (۲۰۰۵) با در نظر گرفتن قیمت رقابتی و نامشخص انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان منبع عدم قطعیت به مقایسه سرمایه‌گذاری در پروژه نیروگاه بزرگ یا سرمایه‌گذاری دوره‌ای در پروژه‌های نیروگاه‌های کوچک پرداختند. این پژوهش در کشور فرانسه و با حل معادلات دیفرانسیل جزئی انجام

شده است. آن‌ها با توجه به قیمت رقابتی نامشخص آینده انرژی تجدیدپذیر، ارزش اختیار به‌کارگرفته‌شده توسط پروژه را مدل‌سازی و اندازه‌گیری کردند. با استفاده از یک کالیبراسیون واقع‌بینانه مدل، نشان دادند که ارزش اختیار مدل‌سازی‌شده تأثیر قابل‌توجهی در استراتژی پویای بهینه تولیدکننده، به‌ویژه ازنظر زمان بهینه تصمیم برای سرمایه‌گذاری در نیروگاه بزرگ دارد [۲۴].

کومباراغلو و همکاران[11] (۲۰۰۸) با در نظر گرفتن دو منبع عدم قطعیت شامل قیمت سوخت و قیمت انرژی تجدیدپذیر و با استفاده از مدل حرکت براونی هندسی به ارزیابی انتخاب بین گزینه‌های سرمایه‌گذاری در یکی از منابع تجدیدپذیر پرداختند. این پژوهش در کشور ترکیه و با استفاده از روش برنامه‌نویسی پویا انجام‌شده است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که به دلیل هزینه‌های نسبتاً بالا، توسعه تکنولوژی‌های انرژی تجدیدپذیر فقط در صورت وجود سیاست‌های هدفمند حمایتی رخ می‌دهد. در حقیقت، در صورت عدم وجود یارانه یا سایر ابزارهای حمایتی، به‌سختی می‌توان انتظار داشت که سرمایه‌گذارها، سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های گران یعنی انرژی تجدیدپذیر را به‌ویژه در یک فضای آزاد حاکم بر بازار انرژی تجدیدپذیر انتخاب کنند. در کوتاه‌مدت، مشوق‌های مالی لازم است تا بتواند در بلندمدت کاربرد گسترده‌تری از منابع تجدیدپذیر داشت [۲۹].

لی و شیه[12] (۲۰۱۰) با در نظر گرفتن دو منبع عدم قطعیت شامل قیمت سوخت فسیلی و پیشرفت تکنولوژی به ارزیابی ارزش توسعه سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر با در نظر گرفتن تأثیر تعرفه خرید پرداختند. این پژوهش در کشور تایوان و با استفاده از روش حل درخت چندجمله‌ای انجام‌شده است. نتیجه آن‌ها علاوه بر آشکار ساختن مزایایی که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از تجزیه‌وتحلیل اختیارهای واقعی می‌تواند ارائه دهد، نشان می‌دهد که تجزیه‌وتحلیل اختیارهای واقعی ابزاری بسیار مؤثر برای کمی‌کردن چگونگی اثر برنامه‌ریزی در شرایط عدم قطعیت و در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری مدیریتی جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر است. علاوه بر این، رابطه بین مقادیر مختلف تعرفه خرید و ارزش سیاست نرخ‌گذاری را بر اساس رویکرد اختیار واقعی می‌توان کمی نمود و از طریق آن می‌توان سطح بهینه تعرفه را تعیین کرد [۳۱].

لین و وسه[13] (۲۰۱۳) با در نظر گرفتن قیمت سوخت فسیلی و تغییرات تکنولوژی به‌عنوان منابع عدم قطعیت و با استفاده از حرکت براونی هندسی و رویکرد اختیارهای واقعی به ارزیابی تأثیر سیاست تعرفه بر ارزش سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور چین پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که در هنگام در نظر گرفتن هزینه‌های خارجی، ارزش اختیار واقعی به میزان قابل‌توجهی بیشتر است.

بااین‌وجود، میانگین سطح تعرفه خرید غیربهینه است و باید بین ۱,۵ الی ۱,۷ یوآن بر کیلو وات‌ساعت جهت اطمینان از انگیزه حداکثری سرمایه‌گذارها در کنار هزینه‌های حداقلی دولت، افزایش یابد. [۳۲].

ژنگ و همکاران[۱۴] (۲۰۱۶) در کشور چین با استفاده از رویکرد اختیارهای واقعی و در نظر گرفتن قیمت حق انتشار دی‌اکسید کربن و هزینه سرمایه‌گذاری به‌عنوان منابع عدم قطعیت و با بهره بردن از حرکت براونی هندسی به تعیین تعرفه خرید انرژی تجدیدپذیر خورشیدی از طریق تولید تعداد کافی تعرفه منطقی در یک بازه و ارزیابی سرمایه‌گذاری پرداختند. مطابق نتایج آن‌ها تعرفه در آن کشور در بازه ۰,۶۸ الی ۱,۷۱ یوآن بر کیلو وات ساعت است. بر این اساس به این نتیجه رسیدند که سطح تعرفه‌ای که در سال ۲۰۱۳ توسط دولت اعلام شد دیگر مناسب نیست و باید در اسرع وقت تعدیل شود. آن‌ها همچنین پیامدهای پیشرفت تکنولوژی و طرح‌های معاملاتی انتشار کربن و همچنین اهمیت تقویت انتقال انرژی تجدیدپذیر را نیز بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند با پیشرفت تکنولوژی و برقراری طرح تجارت کربن، بازه تعرفه کاهش خواهد یافت [۴۵].

پنیزوتو و همکاران[۱۵] (۲۰۱۹) پس از بررسی ادبیات و شناسایی شکاف‌های موجود، روشی را بر اساس تئوری اختیارهای واقعی جهت ارزیابی سرمایه‌گذاری در سیستم‌های انرژی خورشیدی فوتوولتائیک قابل‌نصب در پشت‌بام ساختمان‌ها پرداختند. هزینه‌های پنل و تعرفه خرید در مدل آن‌ها منابع عدم قطعیت بودند که با استفاده از فرآیندهای تصادفی برون‌زا مدل‌سازی شدند. مدل پیشنهادی توسط برنامه‌نویسی پویا و رگرسیون خطی پیاده‌سازی شده است و به‌منظور آزمودن عملی بودن چارچوب تصمیم‌گیری پیشنهادی، ارزیابی یک سیستم فوتوولتائیک نصب‌شده در سقف یک ساختمان دولتی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که درحالی‌که روش‌های ارزیابی سرمایه‌گذاری سنتی به‌طور اشتباه پروژه نصب فوتوولتائیک در پشت‌بام را در حال حاضر و در آینده رد می‌کنند، روش ارزیابی اختیارهای واقعی، فرصت را برای بازنگری سرمایه‌گذاری بهینه در سال‌های بعدی می‌یابد. همچنین، رویکرد ارزیابی پیشنهادی منجر به تخصیص بهتر سرمایه‌گذاری و توسعه سریع‌تر ظرفیت فوتوولتائیک نصب‌شده در پشت‌بام می‌شود و از این طریق به تقویت پایداری سیستم‌های انرژی فعلی منجر می‌شود [۳۶].

بالیبریا[۱۶] (۲۰۲۰) با در نظر گرفتن قیمت بازار برق، تغییر در هزینه کارگری و تغییر در هزینه‌های صنعتی به‌عنوان منابع عدم قطعیت و با استفاده از شبیه‌سازی درخت و مونت‌کارلو اقدام به ارزیابی پروژه‌های انرژی فتوولتائیک با ظرفیت بیشتر از ۱۰۰ کیلو وات در فرانسه با استفاده از رویکرد اختیار واقعی نموده است. مطابق قانون فرانسه، دو اختیار در این پروژه‌ها وجود دارد: ازیک‌طرف، تولیدکننده این

اختیار فروش را دارد که بین سیستم تعرفه خرید و قیمت بازار برق هرساله انتخاب نماید که این اختیار هم‌زمان با دریافت یارانه‌های عمومی اعطاشده توسط دولت فرانسه است. از طرف دیگر، دولت فرانسه اختیار خریدی دارد که منفعتی را برای بخش دولتی فراهم می‌کند و این اختیار، محدودیت تولید یارانه‌ای برق است که ارزش پروژه را برای سرمایه‌گذار کاهش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد، ارزش اختیار فروش در هر مگاوات‌ساعت تولیدشده ۴,۲۸ یورو است. ارزش خالص فعلی توسعه‌یافته مدل ارزشی به مبلغ ۵,۲۶ میلیون یورو دارد. نقطه شکست پروژه با افزایش ۵۹ درصدی در نرخ حاصل می‌شود. این بدان معناست که دولت فرانسه اگر بخواهد پروژه‌های بزرگی را توسعه دهد، باید ارزش یارانه‌های عمومی را افزایش دهد [۱۳].

عراقی و همکاران (۱۳۹۳) با توجه به اینکه یکی از کاربرهای اختیارهای واقعی، ارزش‌گذاری پروژه‌های توسعه نفت و گاز با درجه عدم قطعیت بالا و هزینه سرمایه‌گذاری قابل‌ملاحظه می‌باشد، اقدام به ارزش‌گذاری توسعه فازهای منتخب میدان گازی پارس جنوبی با استفاده از روش درخت دوجمله‌ای کردند و نشان دادند ارزش پروژه با استفاده از رویکرد اختیارهای واقعی در مقایسه با روش‌های سنتی بیشتر است [۱۰].

محمدی و بسطامی (۱۳۹۳) روش اختیار واقعی را با به‌کارگیری نرم‌افزار SLS بر روی یک نمونه واقعی اجرای طرح یک واحد پتروشیمی پیاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش فوق، اطلاعات ارزشمندی را از ابعاد مختلف ریسک و اثر آن بر توجیه مالی بسیاری از تصمیمات سرمایه‌گذاری در هر زمان را نشان می‌دهد [۹].

حسکوئی و داودی (۱۳۹۵) با استفاده از اختیار واگذاری چارچوبی پیشنهاد کردند که در قالب آن مزیت استفاده از تئوری اختیارهای واقعی در ارزیابی پروژه‌های نیروگاهی در مقایسه با روش‌های متعارف به‌طور سیستماتیک موردبررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی، کاهش ریسک و افزایش بازدهی، در روش اختیار واقعی نسبت به روش‌های متعارف را نشان می‌دهد [۷].

فتاحی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از روش تحلیل اختیار واقعی و با به‌کارگیری اختیار انتخاب و بر پایه روش درخت دوجمله‌ای اقدام به ارزش‌گذاری فناوری به‌طور موردی فناوری کاشی‌های نانوباکتریال پرداختند. روش مذکور علاوه بر اینکه امکان ارزش‌گذاری فناوری در مرحله تجاری‌سازی را فراهم می‌سازد، درعین‌حال با به‌کارگیری اختیار انتخاب (به دلیل ویژگی‌های فناوری کارآفرینان و عدم قطعیت‌هایی که سرمایه‌گذار در مرحله تجاری‌سازی این فناوری‌ها با آن مواجه است) همخوان بوده و همچنین موجب بهره‌مندی سرمایه‌گذارها از مزایای رفع عدم قطعیت‌هایی پیش رو و درنتیجه ترغیب

آن‌ها به مشارکت با کارآفرینان خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که به‌کارگیری تحلیل اختیار واقعی منجر به شناسایی ارزش‌افزوده قابل‌توجهی (۴,۳۶ میلیارد ریال) در ارزش فناوری مربوطه شده که کارآفرین را به اعطاء اختیارات و اعمال انعطاف‌پذیری‌های موردنیاز سرمایه‌گذار ترغیب می‌نماید [۵].

در عمده مطالعات پیشین مرتبط با موضوع این پژوهش، پژوهش‌گران تنها به ارزیابی سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر با در نظر گرفتن سیاست تشویقی درحال اجرا درآن کشور پرداخته‌اند. در این پژوهش، با مدل‌سازی و ارزیابی سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر با استفاده از رویکرد اختیار واقعی اقدام به طراحی یک مدل جهت تعیین سطح بهینه تعرفه خرید برق تجدیدپذیر جهت جذب سرمایه‌گذاری بدون تاخیر شده است.

روش‌شناسی و مدل پژوهش

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر ازلحاظ طبقه‌بندی بر مبنای هدف، از نوع کاربردی است و به ارائه راهکارهای اجرایی به سرمایه‌گذارها برای سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر و سیاست‌گذارها برای تعیین نرخ تعرفه بهینه می‌پردازد. روش حل مدل پیشنهادی این پژوهش براساس الگوریتم برنامه‌نویسی پویا رو به عقب و شبیه‌سازی مونت‌کارلو می‌باشد. جهت پیاده‌سازی مدل از نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۸-آ استفاده شده است. همچنین به‌منظور سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در پروژه‌های تجدیدپذیر از انرژی تجدیدپذیر خوشیدی استفاده شده است. ازنظر بعد زمانی، نیروگاه‌های خورشیدی فوتولتائیک عموماً عمری در حدود ۲۵ سال از زمان بهره‌برداری دارند و زمان ساخت و بهره‌برداری آن‌ها بسیار کم بوده و قابل صرف نظر کردن است. جهت پیاده‌سازی مدل نیز از داده‌های سایت کدال، صندوق بین‌المللی پول، مدیریت شبکه برق ایران، بانک مرکزی ایران استفاده شده است.

سؤالات پژوهش

- آیا سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر در کشور ایران بدون لحاظ یارانه در تعرفه خرید از جذابیت لازم برخوردار است؟
- سیاست‌گذارها و سرمایه‌گذارها به‌منظور ارزیابی و سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در منابع تجدیدپذیر ایران، بهتر است از تعرفه تعیین‌شده بر اساس روش‌های سنتی و یا تعرفه تعیین‌شده بر اساس رویکرد اختیار واقعی، استفاده کنند؟

- از دیدگاه سرمایه‌گذارها تعرفه بهینه جهت مشارکت و سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در منابع تجدیدپذیر با توجه به شرایط کشور ایران چه مبلغی است؟
- وجود تعرفه یکتا در کل کشور جهت جذب مشارکت و سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در منابع تجدیدپذیر از دیدگاه سرمایه‌گذارها و سیاست‌گذارها بهینه است و یا می‌بایست تفاوت‌های اقلیمی جهت تعیین تعرفه بهینه لحاظ شود؟
- چه عواملی سبب افزایش ارزش سرمایه‌گذاری و درنتیجه کاهش یارانه موردنیاز جهت جذب سرمایه‌گذار بدون تأخیر در منابع تجدیدپذیر می‌شود؟

مدل پژوهش

ارزش فعلی خالص نیروگاه خورشیدی فوتوولتائیک با طول عمر L که در سال t سرمایه‌گذاری می‌شود، از دو جزء جریان‌های نقدی سالانه تنزیل‌شده در طول عمر پروژه و مبلغ سرمایه‌گذاری اولیه تشکیل می‌شود [۲۹]. با توجه به اینکه ارزش فعلی خالص به عوامل زیادی بستگی دارد که به‌طور تصادفی تغییر می‌کنند، منطقی است که ارزش پروژه با ارزش مودانتظار آن بیان گردد. لازم به ذکر است، با توجه به نوع این نیروگاه، فرض می‌گردد ساخت پروژه می‌تواند فوراً به پایان برسد. بنابراین، رابطه (۱۰) را داریم.

$$V_t = NPV_t(IRR) = E[\sum_{i=t}^{t+l} YCF_i e^{-r(i-t)} - I_t] \qquad 0 \leq t \leq t_v \qquad (۱۰)$$

YCF_i جریان نقد سالانه، t_v آخرین مرحله دوره سرمایه‌گذاری (عمر اعتبار اختیار)، l عمر نیروگاه و I_t مبلغ سرمایه‌گذاری اولیه و r نرخ تنزیل است.

جریان نقد سالانه پروژه تولید انرژی تجدیدپذیر خورشیدی (YCF_i) معمولاً شامل ۴ جزء ۱- درآمد حاصل از فروش انرژی (ER_t)، ۲- درآمد حاصل از فروش حق انتشار دی‌اکسیدکربن (CR_t)، ۳- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری (OMC_t) و ۴- هزینه مالیات (Tax_t) می‌باشد. ازنظر ریاضی رابطه (۱۱) را به دست می‌آوریم.

$$YCF_t(IRR) = ER_t + CR_t - OMC_t - Tax_t \qquad (۱۱)$$

IRR نماد ریال جمهوری اسلامی ایران می‌باشد.

درآمد حاصل از فروش انرژی: یک سیستم برق خورشیدی فوتوولتائیک می‌تواند با استفاده از اثر فوتوولتائیک، مواد نیمه‌هادی سلول خورشیدی و سایر ادوات مانند اینورتر انرژی تابشی خورشید را به برق تبدیل کند که مقدار برق تولیدی نیروگاه مطابق رابطه (۱۲) می‌باشد. برق تولیدشده توسط سیستم به شبکه برق کشور تزریق و با تعرفه خرید خاصی فروخته می‌شود. لازم به ذکر است که راندمان یک

سیستم خورشیدی فوتوولتائیک به‌تدریج با پیر شدن طبیعی تجهیزات آن و تجمع گردوغبار روی آن کاهش می‌یابد. بنابراین، درآمد حاصل از فروش انرژی خورشیدی نیروگاه به‌عنوان بخشی از درآمد نیروگاه به‌صورت رابطه (۱۳) بیان می‌گردد. برای نزدیک‌تر شدن مدل‌سازی به واقعیت، اثر کاهش راندمان نیز مطابق رابطه (۱۴) در نظر گرفته می‌شود.

$$Q_E(\text{kWh}) = YPSH(\text{h}) \times IC(\text{kW}) \times PVEFF_t(\%) \times \text{InvEFF}(\%) \times \text{PreInvEFF}(\%) \quad (۱۲)$$

$$ER_t(\text{IRR}) = Q_E(kWh) \times (1 - \text{rzy}) \times FIT_t\left(\frac{\$}{kWh}\right) \times EXR_t\left(\frac{IRR}{\$}\right) \quad (۱۳)$$

$$EFF_t(\%) = EFF_{t-1}(\%) \times (1 - RR(\%)) \quad (۱۴)$$

که Q_E مقدار کیلو وات‌ساعت برق تولیدشده توسط نیروگاه در یک سال می‌باشد.

$YPSH$ میانگین تعداد ساعت سالیانه تابش خورشید با شدت یک کیلو وات بر مترمربع است. PSH به مقدار تابش خورشیدی اشاره دارد که یک مکان خاص درصورتی‌که خورشید در حداکثر مقدار خود برای چندساعت بتابد، دریافت خواهد کرد. ازآنجایی‌که بیشترین مقدار تابش خورشید شدت یک کیلو وات بر مترمربع می‌باشد، PSH ازنظر عددی برابر با میانگین روزانه تابش خورشید است. نکته‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد آن است که PSH با ساعت آفتابی در طول روز اشتباه گرفته نشود، ساعات آفتابی در طول روز به فاصله زمانی بین طلوع خورشید و غروب آن گفته می‌شود.

IC ظرفیت نصب‌شده برحسب کیلو وات است و با ضرب‌در تعداد ساعت سالیانه تابش خورشید با شدت یک کیلو وات بر مترمربع، انرژی دریافتی سیستم خورشیدی را نشان می‌دهد.

$PVEFF_t$ راندمان تولیدی سیستم خورشیدی است که به‌عبارت‌دیگر ضریب تبدیل انرژی دریافتی از خورشید به انرژی تولیدی سیستم خورشیدی می‌باشد که در تکنولوژی‌های تجدیدپذیر بسیار پایین است.

$InvEFF$ راندمان اینورتر است. اینورتر یکی از اجزای مهم نیروگاه خورشیدی می‌باشد که برق تولیدی سیستم خورشیدی را که از نوع برق جریان مستقیم می‌باشد با راندمان مشخصی به برق جریان متناوب که قابل‌استفاده شبکه برق ایران می‌باشد، تبدیل می‌نماید.

$PreInvEFF$ راندمان تجهیزات قبل از اینورتر است. علاوه بر پنل خورشیدی و اینورتر، ادوات دیگری نیز در سیستم وجود دارد که هرکدام از آن‌ها با راندمان مشخصی برق را عبور می‌دهند.

rzy ضریب مصرف انرژی نیروگاه است. هر نیروگاه به‌عنوان یک ایستگاه، مصرف‌کننده برق می‌باشد و درصدی از برق تولیدی خود را مصرف می‌نماید.

EXR_t نرخ تسعیر ارز است. با توجه به اینکه تمامی اجزای درآمدی و هزینه‌ای نیروگاه بر اساس دلار است، در مدل پیشنهادی از نرخ تسعیر ارز بهره برده شده است. با توجه به شرایط کشور ایران و داده‌ها، این عامل یکی از عوامل عدم قطعیت مدل پیشنهادی می‌باشد و براساس [۲۷] فرض می‌شود از حرکت براونی هندسی پیروی می‌کند. تغییرات نرخ ارز (دلار) توسط مدل حرکت براونی هندسی مطابق رابطه (۱۵) در نظر گرفته‌شده است.

$$dEXR_t = \alpha_{EXR} EXR_t dt + \sigma_{EXR} EXR_t dZ_t^{EXR} \quad (۱۵)$$

که EXR_t نرخ ارز، α_{EXR} نرخ رانش نرخ ارز ، σ_{EXR} نرخ نوسان پذیری نرخ ارز و dZ_t^{EXR} نمایانگر افزایش به فرآیند وینر استاندارد است به‌طوری‌که رابطه (۱۶) را داریم.

$$dZ_t^{EXR} = \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad (۱۶)$$

ε_t متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می‌باشد. ارزش موردانتظار I_t مطابق رابطه (۱۷) است.

$$E(EXR_t) = EXR_0 e^{\alpha_{EXR} \times t} \quad (۱۷)$$

RR نرخ کاهش سالانه راندمان تولیدی سیستم است.

FIT_t تعرفه خرید انرژی تجدیدپذیر است که در هر کشوری بر اساس سیاست به‌کارگرفته در آن کشور توسط سیاست‌گذارها تعیین می‌گردد. با توجه به هزینه‌های انرژی تجدیدپذیر، سیاست تعرفه خرید (FIT) که یک پرداخت ثابت برای واحد برق تولیدشده از انرژی تجدید پذیر است، اجرا می‌شود. سرمایه‌گذار برق تولیدشده توسط نیروگاه را با تعرفه خرید مشخص به سیاست‌گذار فروخته و به شبکه برق کشور تزریق می‌نماید. تعرفه خرید مناسب، برای مدت‌زمان طولانی‌تری، می‌تواند استقرار گسترده انرژی تجدیدپذیر را ارتقا بخشد [۴۱]. FIT پیشنهادی این پژوهش از دو جز قیمت بازار برق P_t^E و یارانه قیمت SUB_t به‌صورت رابطه (۱۸) تشکیل‌شده است.

$$FIT_t(\frac{IRR}{kWh}) = P_t^E(\frac{IRR}{kWh}) + SUB_t(\frac{IRR}{kWh}) \quad (۱۸)$$

با توجه به روند قیمت بازار برق در تمامی بازارها و مطالعه [۲۲]، این عامل یکی از عوامل عدم قطعیت مدل پیشنهادی می‌باشد و فرض می‌شود از حرکت براونی هندسی پیروی می‌کند. تغییرات قیمت بازار برق توسط مدل حرکت براونی هندسی مطابق رابطه (۱۹) در نظر گرفته‌شده است.

$$dP_t^E = \alpha_E P_t^E dt + \sigma_E P_t^E dZ_t^E \quad (۱۹)$$

که P_t^E قیمت بازار برق، α_E نرخ رانش قیمت بازار برق، σ_E نرخ نوسان پذیری قیمت بازار برق و dZ_t^E نمایانگر افزایش به فرآیند وینر استاندارد است به‌طوری‌که رابطه (۲۰) را داریم.

$$dZ_t^E = \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad (۲۰)$$

ε_t متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می‌باشد. ارزش موردانتظار P_t^E مطابق رابطه (۲۱) است.

$$E(P_t^E) = P_0^E e^{\alpha_E \times t} \quad (۲۱)$$

درآمد حاصل از فروش حق انتشار دی‌اکسیدکربن: بخش دیگر درآمد نیروگاه، درآمد حاصل از فروش حق انتشار کربن است. مقدار کربن قابل معامله مطابق رابطه (۲۲) و درآمد حاصل از فروش آن توسط رابطه (۲۳) تعیین می‌گردد.

$$Q_C(kg) = YPSH(h) \times IC(kW) \times PVEFF_t(\%) \times InvEFF(\%) \times PreInvEFF(\%) \times EMF(\frac{kg}{kWh}) \quad (۲۲)$$

$$CR_t(IRR) = Q_C \times P_t^C(\frac{\$}{kg}) \times EXR_t(\frac{IRR}{\$}) \quad (۲۳)$$

که Q_C مقدار کیلوگرم حق انتشار دی‌اکسیدکربن قابل معامله توسط نیروگاه در یک سال می‌باشد.

EMF ضریب عدم انتشار دی‌اکسید کربن است. این ضریب بیانگر آن است که مقدار کیلو وات ساعت برق تولیدی نیروگاه تجدیدپذیر، از چه مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن برحسب کیلوگرم جلوگیری نموده است. این مقدار با عنوان حق انتشارات دی‌اکسیدکربن به‌عنوان یک دارایی در بازارهای جهانی قابل معامله است.

P_t^C قیمت حق انتشار دی‌اکسید کربن است. با توجه به روند قیمتی آن در بازارهای جهانی و مطالعات [۱۱،۲۳،۲۶،۴۵]، این عامل یکی از عوامل عدم قطعیت مدل پیشنهادی می‌باشد و فرض می‌شود از حرکت براونی هندسی پیروی می‌کند. تغییرات قیمت حق انتشار دی‌اکسیدکربن به‌عنوان یک دارایی توسط مدل حرکت براونی هندسی مطابق رابطه (۲۳) در نظر گرفته‌شده است.

$$dP_t^C = \alpha_C P_t^C dt + \sigma_C P_t^C dZ_t^C \quad (۲۳)$$

که P_t^C قیمت حق انتشار دی‌اکسید کربن، α_C نرخ رانش قیمت حق انتشار دی‌اکسید کربن، σ_C نرخ نوسان پذیری قیمت حق انتشار دی‌اکسید کربن و dZ_t^C نمایانگر افزایش به فرآیند وینر استاندارد است به‌طوری‌که رابطه (۲۴) را داریم.

$$dZ_t^C = \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad (۲۴)$$

ε_t متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می‌باشد. ارزش موردانتظار P_t^C مطابق رابطه (۲۵) است.

$$E(P_t^C) = P_0^C e^{\alpha_C \times t} \quad (۲۵)$$

مبلغ سرمایه‌گذاری اولیه: مبلغ سرمایه‌گذاری موردنیاز بر اساس ظرفیت نصب‌شده و مبلغ سرمایه‌گذاری به ازای هر کیلو وات مطابق رابطه (۲۶) در نظر گرفته می‌شود.

$$I_t(IRR) = UI_t\left(\frac{\$}{kW}\right) \times IC(kW) \times EXR_t(\frac{IRR}{\$}) \quad (۲۶)$$

که UI_t مبلغ سرمایه‌گذاری موردنیاز به ازای هر کیلو وات است. با توجه به عدم بلوغ صنعت مربوط به ادوات انرژی‌های تجدیدپذیر، با پیشرفت فناوری، مبلغ سرمایه‌گذاری موردنیاز به ازای هر کیلو وات ساعت تمایل به کاهش دارد، اما همچنان تحت تأثیر نوسانات بازار مواد سازنده اجزای ادوات است و به همین دلیل از یکی از عوامل عدم قطعیت مدل پیشنهادی می‌باشد و مطابق مطالعات [۲۹،۴۵]، فرض می‌شود از حرکت براونی هندسی پیروی می‌کند. تغییرات هزینه سرمایه‌گذاری براساس مدل حرکت براونی هندسی مطابق رابطه (۲۷) در نظر گرفته شده است.

$$dUI_t = \alpha_{UI} UI_t dt + \sigma_{UI} UI_t dZ_t^{UI} \quad (۲۷)$$

که UI_t هزینه سرمایه‌گذاری واحد، α_{UI} نرخ رانش هزینه سرمایه‌گذاری، σ_{UI} نرخ نوسان پذیری هزینه سرمایه‌گذاری و dZ_t^{UI} نمایانگر افزایش به فرآیند وینر استاندارد است به‌طوری‌که رابطه (۲۸) را داریم.

$$dZ_t^{UI} = \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad (۲۸)$$

ε_t متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می‌باشد. ارزش موردانتظار UI_t مطابق رابطه (۲۹) است.

$$E(UI_t) = UI_0 e^{\alpha_{UI} \times t} \quad (۲۹)$$

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری: هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری به‌صورت رابطه (۳۰) است.

$$OMC_t(IRR) = UOMC_t\left(\frac{\$}{kW}\right) \times IC(kW) \times EXR_t(\frac{IRR}{\$}) \quad (۳۰)$$

که $UOMC_t$: هزینه بهره‌برداری و نگهداری به ازای هر کیلو وات است. هزینه‌های نگهداری، هزینه‌های خرید قطعات یدکی، هزینه جایگزینی ادوات در صورت خراب شدن، هزینه‌های بیمه و هزینه‌های مدیریتی می‌باشد که بر اساس داده‌ها با پیشرفت فناوری، تمایل به کاهش دارد و به‌این‌ترتیب یکی از عوامل عدم قطعیت مدل پیشنهادی می‌باشد و فرض می‌شود از حرکت براونی هندسی پیروی می‌کند. تغییرات هزینه نگهداری و تعمیرات توسط مدل حرکت براونی هندسی مطابق رابطه (۳۱) در نظر گرفته‌شده است.

$$dUOMC_t = \alpha_{UOMC} UOMC_t dt + \sigma_{UOMC} UOMC_t dZ_t^{UOMC} \quad (۳۱)$$

که $UOMC_t$ هزینه نگهداری و تعمیرات واحد، α_{UOMC} نرخ رانش هزینه نگهداری و تعمیرات، σ_{UOMC} نرخ نوسان پذیری هزینه نگهداری و تعمیرات و dZ_t^{UOMC} نمایانگر افزایش به فرآیند وینر استاندارد است به‌طوری‌که رابطه (۳۲) را داریم.

$$dZ_t^{UOMC} = \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad (۳۲)$$

ε_t متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می‌باشد. ارزش موردانتظار $UOMC_t$ مطابق رابطه (۳۳) است.

$$E(UOMC_t) = UOMC_0 e^{\alpha_{UOMC} \times t} \quad (۳۳)$$

هزینه مالیات: هزینه مالیاتی یک پروژه تولید برق تجدیدپذیر خورشیدی عمدتاً شامل مالیات بر ارزش‌افزوده و مالیات بر درآمد شرکت است که به‌صورت رابطه (۳۶) محاسبه می‌شود.

$$Tax_t(IRR) = VATax + CITax \quad (۳۴)$$

$$VATax(IRR) = (ER_t(IRR) + CR_t(IRR)) \times r_t^v(\%) \quad (۳۵)$$

$$CITax(IRR) = \Big(\big(ER_t(IRR) + CR_t(IRR)\big) \times (1 - r_t^v) - OMC_t(IRR)\Big) \times r_t^I(\%) \quad (۳۶)$$

که $VATax$ مالیات بر ارزش‌افزوده شرکت است که بر درآمد عملیاتی شرکت با نرخ مالیات بر ارزش‌افزوده r_t^v وضع می‌گردد. $CITax$ مالیات بر درآمد شرکت است که بر سود قبل از مالیات شرکت با نرخ مالیات بر درآمد r_t^I وضع می گردد.

تخمین پارامترهای مدل عدم قطعیت‌ها بر اساس حرکت براونی هندسی

همان‌طور که در مبانی نظری ذکر شد، معادله کلی مدل حرکت براونی هندسی به‌صورت رابطه (37) تعریف می‌شود.

$$dS_t = \alpha S_t dt + \sigma S_t dZ_t \qquad (۳۷)$$

که در آن S_t مقدار متغیر تحت بررسی است و Z_t نشان‌دهنده جزء تصادفی مدل یا حرکت براونی است که به آن فرآیند وینر نیز می‌گویند. علاوه‌براین، $dZ_t = \varepsilon_t\sqrt{dt}$ که ε_t یک متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می‌باشد. همچنین α و σ پارامترهای مدل هستند که به ترتیب نمایانگر نرخ رانش و نوسانات هستند. ارزش مورد انتظار S نیز $E(S_t) = S_0 e^{\alpha \times t}$ می‌باشد و پارامترهای مدل به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

نرخ رانش: برای محاسبه نرخ رانش از میانگین بازده پیوسته دوره‌ای قیمت استفاده خواهد شد. بازده دوره‌ای قیمت مطابق رابطه (۳۸) محاسبه می‌گردد.

$$R = Ln(S_t) - Ln(S_{t-1}) = \ln(\frac{S_t}{S_{t-1}}) \qquad (۳۸)$$

که در آن R بازده دوره‌ای قیمت، S_t مقدار متغیر تحت بررسی در دوره t و S_{t-1} مقدار متغیر تحت بررسی در دوره قبل یا دوره $t-1$ است.

نوسانات: به‌منظور محاسبه عنصر نوسانات در مدل حرکت براونی هندسی از انحراف معیار بازده دوره‌ای مطابق رابطه (۳۹) استفاده می‌گردد.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{N}(R_i - \overline{R})^2}{N-1}} \qquad (۳۹)$$

که در آن σ انحراف معیار بازده دوره‌ای متغیر تحت بررسی و N تعداد دوره‌هایی است که از آن برای تخمین پارامتر مدل استفاده می‌شود.

مدل‌سازی نرخ تنزیل

در این پژوهش، ما مجموعه منابع مالی پروژه را که شامل تسهیلات و حقوق صاحبان سهام می‌باشد،

همانند سبدی در نظر می‌گیریم، نرخ تنزیل برابر هزینه سبد از طریق میانگین موزون هزینه سرمایه هر یک از منابع مالی مطابق معادله (۴۰) حاصل می‌گردد.

$$r(\%) = WACC(\%) = \frac{D}{E+D} \times R_f(\%) + \frac{E}{E+D} \times R_i(\%) \quad (۴۰)$$

که D جمع بدهی‌های شرکت، E حقوق صاحبان سهام، R_f نرخ بهره بدون ریسک و R_i نرخ بازده موردانتظار سهامداران است. در این پژوهش جهت برآورد بازده موردانتظار صاحبان سهام از مدل قیمت‌گذاری دارایی‌های سرمایه‌ای استفاده می‌شود. معادله اصلی مدل CAPM به‌صورت رابطه (۴۱) است.

$$R_i = R_f + \beta_L(R_M - R_f) \quad (۴۱)$$

که β_L بتای اهرمی و R_M بازده بازار است.

نرخ بهره بدون ریسک حداقل نرخ بازدهی است که از دارایی‌ها یا اوراق بهادار بدون ریسک ایجاد می‌شود. مطابق با نظریه مدرن مالی در ارزش‌گذاری دارایی‌های با درآمد ثابت برای کشورهایی که دارای بازار پیشرفته اوراق قرضه نمی‌باشند علی‌الخصوص هنگامی‌که ارزش‌گذاری اوراق قرضه به کمک نظریه قیمت‌گذاری آربیتراژ امکان‌پذیر نباشد، بهترین تخمین از نرخ بهره بدون ریسک مطابق رابطه (۴۲) است [39].

$$R_f = (1 + I) \times (1 + GG) - 1 \quad (۴۲)$$

که I نرخ تورم و GG نرخ رشد تولید ناخالص داخلی است.

هنگامی‌که چند شرکت را در صنعت خاصی موردمطالعه قرار می‌گیرد، اطلاعات دقیق‌تری از وضعیت ریسک‌های حاکم بر صنعت به دست می‌آید. اگر ریسک مجموعه شرکت‌های مشابه در صنعت را برآورد گردد، بتای برآوردشده قابلیت اطمینان بیشتری دارد. در این پژوهش، به‌منظور برآورد متوسط بتای غیراهرمی برای صنعت از متوسط موزون بتای غیراهرمی شرکت‌های مشابه در بازار سرمایه استفاده می‌گردد که وزن‌ها، ارزش بازار شرکت‌ها به ارزش بازار صنعت می‌باشد. رویه محاسبات به‌صورت روابط (۴۳) الی (۴۶) می‌باشد.

$$\beta_U^i = \frac{\beta^i}{1+(1-t_i)(\frac{D}{E}_i)} \quad (۴۳)$$

$$\beta_U^{Weigted} = \sum_{i=1}^{n} W_i^{MC} \times \beta_U^i \quad (۴۴)$$

$$W_i^{MC} = \frac{MC_i}{\sum_{i=1}^{n} MC_i} \quad (۴۵)$$

$$\beta_L = \beta_U^{Weigted} \times (1 + (1-t)(\frac{D}{E})) \quad (۴۶)$$

که β ضریب ریسک سیستماتیک، β_U بتای غیراهرمی شرکت (شرکت با فرض عدم وجود بدهی)، β_L بتای اهرمی حقوق صاحبان سهام شرکت، t نرخ مالیات بر درآمد شرکت و $\frac{D}{E}$ نسبت ارزش روز بدهی‌ها به حقوق صاحبان سهام است.

سرمایه‌گذاری بر اساس رویکرد اختیار واقعی و رویکرد سنتی

این پژوهش به مدل‌سازی و ارزیابی سرمایه‌گذاری در منابع انرژی‌های تجدیدپذیر بر اساس رویکرد اختیارهای واقعی به هدف تعیین سطح بهینه تعرفه خرید برق تجدیدپذیر پرداخته است. جهت مقایسه این رویکرد با روش‌های سنتی، از رویکرد ارزش فعلی خالص نیز بهره برده شده است. لذا قوانین تصمیم‌گیری برای انجام و یا عدم انجام سرمایه‌گذاری بر اساس هر دو روش به شرح زیر می‌باشد:

با در نظر گرفتن فضای قطعی و بدون انعطاف‌پذیری مدیریتی و عدم قطعیت برای سرمایه‌گذاری، سرمایه‌گذار در پروژه‌هایی سرمایه‌گذاری خواهد کرد که دارای ارزش فعلی خالص (NPV) مثبت هستند. بنابراین، تصمیم‌گیری در خصوص انجام و یا عدم انجام سرمایه‌گذاری تنها در زمان آغاز پروژه اتخاذ می‌شود. لذا تصمیم‌گیری در خصوص سرمایه‌گذاری بر اساس رویکرد ارزش فعلی خالص که در ابتدای هر مسیر شبیه‌سازی‌شده براساس شبیه‌سازی مونت‌کارلو اتخاذ می‌گردد، قانونی مطابق رابطه (۴۷) دارد.

$$\Psi_0^{NPV} = \begin{cases} 1 & V_0 > 0 \\ 0 & Otherwise \end{cases} \quad (۴۷)$$

به‌طوری‌که $\Psi_0^{NPV} = 1$ و $\Psi_0^{NPV} = 0$ به ترتیب نشان‌دهنده انجام سرمایه‌گذاری یا ترک آن است.

با در نظر گرفتن فضای تصادفی برای سرمایه‌گذاری، بر اساس رویکرد اختیار واقعی، سرمایه‌گذاری فقط در صورتی انجام می‌شود که ارزش فعلی خالص سرمایه‌گذاری بدون تأخیر (فوری) بزرگ‌تر یا مساوی ارزش فرصت‌های سرمایه‌گذاری در سال‌های بعدی باشد. بنابراین، تصمیم‌گیری در خصوص انجام و یا عدم انجام سرمایه‌گذاری تنها در زمان آغاز پروژه اتخاذ نمی‌شود، بلکه سرمایه‌گذار این اختیار را دارد که پروژه را جهت حداکثر ساختن سود خود به تأخیر بیاندازد. درنتیجه، الگوریتم پیشنهادی ازدیدگاه سرمایه‌گذار با آغاز از آخرین سال مجاز برای سرمایه‌گذاری (که دیگر امکان به تاخیر انداختن پروژه وجود ندارد و ارزش سرمایه‌گذاری با ارزش فرصت سرمایه‌گذاری برابر است) در هر مسیر شبیه‌سازی‌شده براساس شبیه‌سازی مونت‌کارلو و بازگشت به اولین سال مجاز سرمایه‌گذاری، در هرسال با مقایسه ارزش

سرمایه‌گذاری با ارزش فرصت سرمایه‌گذاری به‌صورت پویا، اقدام به تصمیم‌گیری می‌نماید. لذا تصمیم‌گیری در خصوص سرمایه‌گذاری بر اساس رویکرد اختیارهای واقعی، قانونی مطابق رابطه (۴۷) دارد.

$$\Psi_{\mathrm{t}}^{RO} = \begin{cases} 1 & V_{\mathrm{t}} > OV_{\mathrm{t}} > 0 \\ 0 & Otherwise \end{cases} \quad (۴۸)$$

به‌طوری‌که $\Psi_0^{RO} = 1$ و $\Psi_0^{RO} = 0$ به ترتیب نشان‌دهنده انجام سرمایه‌گذاری با ایجاد تأخیر آن است.

ارزش فرصت سرمایه‌گذاری در رویکرد اختیار واقعی، بزرگ‌ترین ارزشی است که سرمایه‌گذارها می‌توانند از سرمایه‌گذاری در یک گزینه سرمایه‌گذاری به دست آورند. ارزش فرصت سرمایه‌گذاری در هر سال برابر ارزش فعلی خالص سرمایه‌گذاری در آن سال و ارزش اقتصادی انعطاف‌پذیری مدیریتی با حضور عدم قطعیت است که با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو و برنامه‌نویسی پویا تعیین می‌گردد و به‌صورت ریاضی به شرح رابطه (۴۹) می‌باشد.

$$OV = V + FV \quad (۴۹)$$

که OV ارزش فرصت سرمایه‌گذاری و V ارزش فعلی خالص مورد انتظار یک پروژه را نشان می‌دهد و FV نمایانگر ارزش اقتصادی انعطاف‌پذیری مدیریتی در شرایط عدم قطعیت است. به عبارت دیگر FV اختلاف ارزش سرمایه‌گذاری و ارزش فرصت سرمایه‌گذاری است که به دلیل وجود اختیار تاخیر به وجود می‌آید و سبب افزایش ارزش فرصت سرمایه‌گذاری می‌گردد. درنتیجه، در یک فضای تصادفی، وجود انعطاف‌پذیری مدیریتی و عدم قطعیت به سرمایه‌گذارها این حق را می‌دهد که سرمایه‌گذاری را به تأخیر بیاندازند و زمان بهینه سرمایه‌گذاری را انتخاب کنند به‌طوری‌که ارزش سرمایه‌گذاری را در مدت اعتبار اختیار تاخیر به حداکثر برساند [۲۵،۴۰]. بنابراین، ارزش فرصت سرمایه‌گذاری نهایی پروژه بر اساس رابطه (۵۰) محاسبه می‌گردد.

$$OV_0 = \underset{0 \le t \le t_V}{MAX} \left[MAX\left(V_{t_s}, 0\right) \times e^{-r \times t_s} \right] \quad (۵۰)$$

که t_s یک زمان ایست است مثلاً زمانی که سرمایه‌گذاری انجام‌شده است.

در این پژوهش هدف غایی تعیین سطح بهینه تعرفه خرید جهت جذب سرمایه‌گذارها به سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در منابع تجدیدپذیر است. لذا با استفاده از قوانین فوق و تعیین ارزش فرصت سرمایه‌گذاری، باید یارانه قیمتی به‌گونه‌ای طراحی گردد که ارزش سرمایه‌گذاری برابر ارزش فرصت

سرمایه‌گذاری نهایی گردد تا سرمایه‌گذار اقدام به سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در منابع تجدیدپذیر نماید. در غیر این صورت سرمایه‌گذار صبر می‌کند تا به‌واسطه تأخیر ایجادشده، سود بیشتری کسب کند. علاوه‌براین، یارانه به‌طور سنتی در فضای قطعی، تفاوت بین ارزش فعلی خالص سرمایه‌گذاری و صفر درزمانی است که ارزش فعلی خالص سرمایه‌گذاری منفی باشد، در غیر این صورت نیازی به ارائه یارانه نیست. بااین‌حال، بر اساس رویکرد اختیار واقعی، یارانه تفاوت بین ارزش فرصت سرمایه‌گذاری و ارزش سرمایه‌گذاری است [۱۴،۳۷]. صنعت انرژی تجدیدپذیر در حال حاضر در مرحله توسعه مستمر است. در این حالت، OV همیشه بالاتر از V است. درنتیجه برای سطح بهینه یارانه موردنیاز سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر در کل عمر پروژه رابطه (۵۱) را داریم.

$$Subsidy(IRR) = OV - V \qquad (۵۱)$$

در آخر با استفاده از سطح بهینه یارانه موردنیاز سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر در کل عمر پروژه براساس هر دو رویکرد ارزش فعلی خالص و رویکرد اختیار واقعی و تکنیک‌های اقتصاد مهندسی، سطح بهینه یارانه موردنیاز به ازای هر کیلو وات ساعت برق تجدیدپذیر تولیدی در هر سال پس از اجرای پروژه جهت جذب سرمایه‌گذارها به سرمایه‌گذاری بدون تأخیر تعیین می‌گردد.

گام‌های پیاده‌سازی و حل مدل پیشنهادی پژوهش

با توجه به جریان نقدی سالانه غیریکنواخت و در نظر گرفتن بسیاری از عدم قطعیت‌ها در قالب متغیرهای تصادفی، از الگوریتم برنامه‌نویسی پویا رو به عقب و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای حل مدل استفاده شده است. جزئیات فرآیند حل به شرح زیر است:

مرحله ۱. بر اساس شبیه‌سازی مونت‌کارلو M و N به ترتیب نشان‌دهنده تعداد مسیرهای شبیه‌سازی و تعداد نقاط تصمیم در هر مسیر می‌باشند به‌طوری‌که $N = \frac{t_v}{\Delta t}$ و Δt اندازه گام می‌باشد. در این مرحله مسیر تغییرات عوامل عدم قطعیت بر اساس مدل ذکرشده حرکت براونی هندسی شبیه‌سازی می‌گردد.

مرحله ۲. برای هر مسیر j، ارزش مورد انتظار پروژه در هر نقطه تصمیم‌گیری در خصوص سرمایه‌گذاری در دوره اعتبار سرمایه‌گذاری محاسبه می‌شود.

مرحله ۳. برای هر مسیر j، برنامه‌نویسی پویای رو به عقب برای محاسبه ارزش فرصت سرمایه‌گذاری انجام می‌شود. این مرحله از آخرین دوره زمانی $(t = t_V)$ آغاز می‌گردد. در مرحله تصمیم نهایی $(t = t_V)$ ، سرمایه‌گذارها الزام دارند که سرمایه‌گذاری را به تأخیر نیاندازند و همچنین فرض شده است که در مراحل قبلی سرمایه‌گذاری انجام نشده است، بنابراین روابط (۵۲) و (۵۳) را داریم.

$$OV_{t_V,j} = MAX\{V_{t_V,j}, 0\} \quad (۵۲)$$

$$\Psi_{t_V,j} = \begin{cases} 1 & V_{t_V,j} > 0 \\ 0 & Otherwise \end{cases} \quad (۵۳)$$

که $\Psi_{t_V,j} = 1$ بیانگر انجام سرمایه‌گذاری و $\Psi_{t_V,j} = 0$ بیانگر تأخیر سرمایه‌گذاری است.

در هر نقطه تصمیم‌گیری در بازه $0 \le t \le t_V$ سرمایه‌گذارها ارزیابی می‌کنند که آیا بهتر است که فوراً سرمایه‌گذاری کنند یا سرمایه‌گذاری را به تأخیر بیاندازند که این کار با مقایسه ارزش فعلی خالص مورد انتظار برای سرمایه‌گذاری فوری و ارزش فرصت سرمایه‌گذاری مورد انتظار برای سرمایه‌گذاری با تأخیر مطابق روابط (۵۴) و (۵۵) تعیین می‌گردد.

$$OV_{t,j} = MAX\{V_{t,j}, e^{-r} \times [OV_{t+1,j}]\} \quad (۵۴)$$

$$\Psi_{t,j} = \begin{cases} 1 & V_{t,j} \ge e^{-r} \times [OV_{t+1,j}] \\ 0 & Otherwise \end{cases} \quad (۵۵)$$

عملیات بازگشت مدل‌سازی با بازگشت در طی زمان و تکرار رویه تا زمان (t=0) ادامه می‌یابد تا تصمیم سرمایه‌گذاری در هر زمان ممکن سرمایه‌گذاری در طی هر مسیر تعیین شود. t_j زمان بهینه سرمایه‌گذاری در مسیر j است و مطابق رابطه (۵۶) است. زمان بهینه سرمایه‌گذاری پرتکرارترین زمان بهینه سرمایه‌گذاری تعیین‌شده در تک‌تک مسیرها است. ارزش فرصت سرمایه‌گذاری نهایی از طریق میانگین ارزش روی کل مسیرها مطابق رابطه (۵۷) محاسبه می‌گردد.

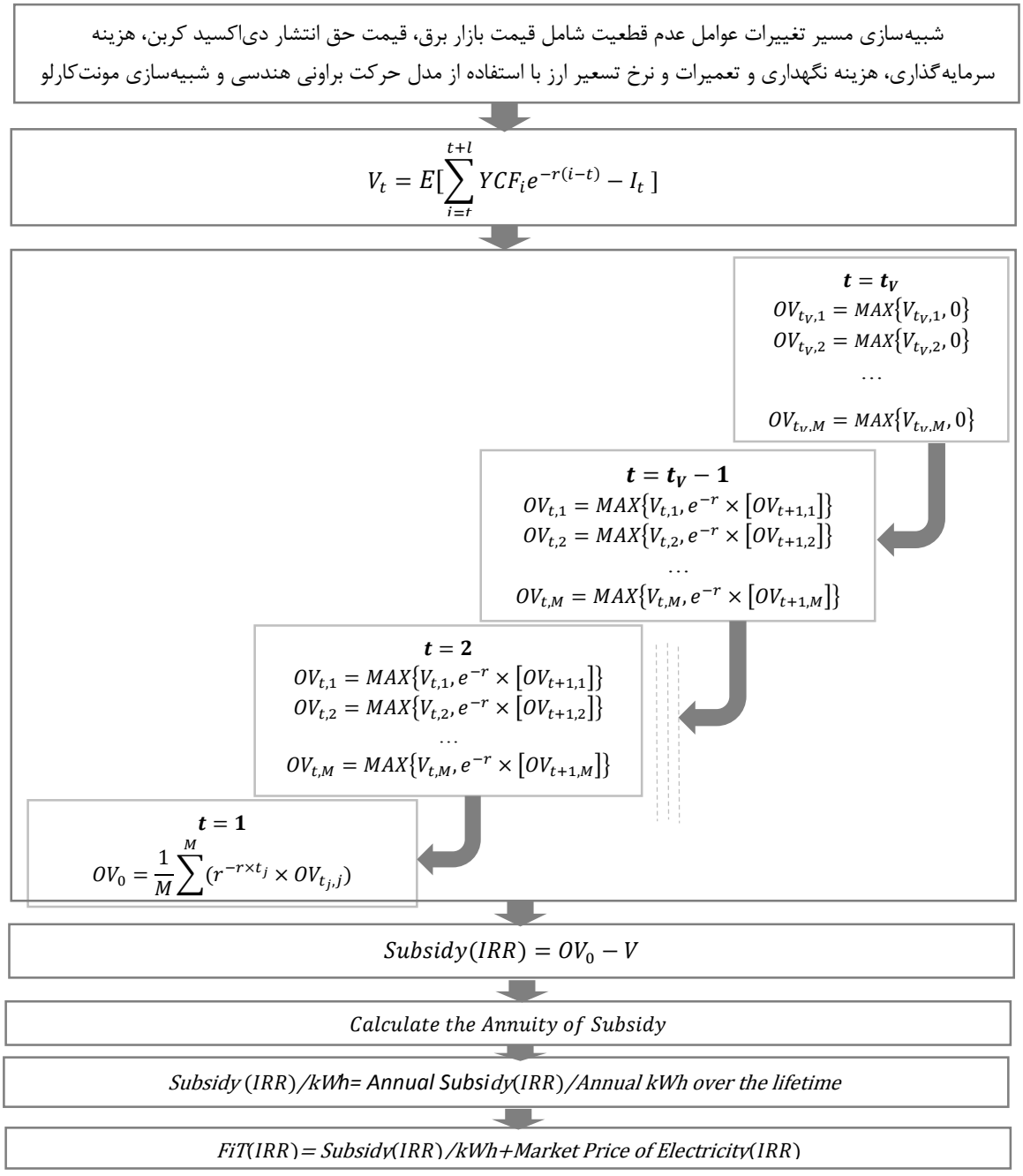
$$t_j = inf\{t | \Psi_{t,j} = 1\} \quad (۵۶)$$

$$OV_0 = \frac{1}{M}\sum_1^M (r^{-r \times t_j} \times OV_{t_j,j}) \quad j = 1, 2, 3, \dots, M \quad (۵۷)$$

سپس با رابطه $Subsidy(IRR) = OV_0 - V_0$، یارانه بهینه موردنیاز در کل عمر سرمایه‌گذاری به دست می آید.

مرحله ۵. با استفاده از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی ارزش سالیانه مجموع یارانه بهینه محاسبه شده برای سرمایه‌گذاری در مرحله قبل محاسبه می‌گردد. با تقسیم یارانه سالیانه به مقدار انرژی تولیدشده در هرسال، یارانه بهینه به ازای هر کیلو وات‌ساعت انرژی تولیدشده به‌دست‌آمده و درنهایت تعرفه بهینه خرید برق تجدیدپذیر به دست می‌آید.

فلوچارت مراحل حل مدل پیشنهادی به‌صورت ... می‌باشد.



شکل ۱: فلوچارت مراحل حل مدل پیشنهادی

منبع: اطلاعات مدل پیشنهادی پژوهش

پیاده‌سازی مدل، تجزیه‌وتحلیل نتایج و سیاست‌گذاری

پیاده‌سازی مدل، تجزیه‌وتحلیل نتایج

جهت پیاده‌سازی مدل پیشنهادی، ابتدا به مدل‌سازی محیط واقعی سرمایه‌گذاری از طریق تعیین جریان‌های نقدی هرسال در طول عمر سرمایه‌گذاری که شامل عمر ۲۵ ساله نیروگاه و عمر۱۰ ساله اختیار تأخیر است، پرداخته شده است. جهت تعیین جریان‌های نقدی با توجه به عوامل پنج‌گانه عدم قطعیت شامل قیمت بازار انرژی برق، قیمت حق انتشار دی‌اکسیدکربن، مبلغ سرمایه‌گذاری، هزینه تعمیرات و نگهداری و نرخ ارز با معرفی فرآیند براونی هندسی به مدل‌سازی این عوامل پرداخته می‌شود. سپس با به‌کارگیری شبیه‌سازی مونت‌کارلو، ۱۰۰،۰۰۰ مسیر شامل ۳۵ گره تصمیم برای هرکدام از عوامل عدم قطعیت با مدل حرکت براونی هندسی برآورد می‌گردد. جهت مقایسه‌پذیری نتایج، علاوه ارزیابی سرمایه‌گذاری با رویکرد اختیار واقعی پیشنهادی پژوهش، از روش سنتی ارزش فعلی خالص نیز جهت ارزیابی سرمایه‌گذاری استفاده شده است. برای ارزیابی براساس رویکرد اختیار واقعی از الگوریتم برنامه‌نویسی پویای رو به عقب استفاده می‌گردد تا ارزش پروژه را از آخرین نقطه تصمیم‌گیری در مدت اعتبار اختیار تأخیر تا زمان فعلی به ازای هر مسیر شبیه‌سازی‌شده محاسبه کند و در هر نقطه ارزش سرمایه‌گذاری را با ارزش فرصت سرمایه‌گذاری جهت تصمیم‌گیری در خصوص انجام سرمایه‌گذاری و یا تأخیر آن مقایسه می‌نماید. در آخر مطابق نتایج ارزیابی هر رویکرد، سطح بهینه یارانه موردنیاز در کل عمر سرمایه‌گذاری تعیین، تعرفه بهینه جهت مشارکت و سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در منابع تجدیدپذیر محاسبه می‌گردد.

جهت محاسبه بتا، از روش بتای میانگین صنعت استفاده شده است. برآورد متوسط بتای غیر اهرمی برای صنعت بر اساس متوسط موزون بتای غیر اهرمی شرکت‌های مشابه و موردنظر در صنعت صورت می‌گیرد که وزن‌ها، ارزش بازار شرکت‌ها به ارزش بازار صنعت می‌باشد. بتای اهرمی براساس صورت‌های مالی شرکت‌های صنعت نیروگاهی پذیرش‌شده نزد شرکت‌های بورس تهران و فرابورس ایران استفاده شده است. همچنین نرخ رشد اقتصادی و تورم کشور ایران بر اساس داده‌های پیش‌بینی‌شده صندوق بین‌المللی پول از کشور ایران استفاده شده است. صرف ریسک بازار برابر صرف ریسک اعلام‌شده در سایت جناب آقای اسوات دامودارن، بالاترین فرد در ارزشیابی در سراسر جهان، ۱۱,۵ درصد، نحوه تامین مالی پروژه شامل ۶۰ درصد حقوق صاحبان سهام و ۴۰ درصد تسهیلات در نظر گرفته‌شده است که درنتیجه نرخ تنزیل سرمایه‌گذاری بر اساس مدل ارائه شده در ۲-۳-۳ برابر ۳۰,۳۳ درصد تعیین شده است.

مدل‌سازی قیمت بازار برق (P_t^E): از داده‌های منتشر شده در سایت شرکت مدیریت شبکه برق ایران با اعمال نرخ تسعیر ارز در هرسال استفاده شده است. پارامترهای مربوط به مدل‌سازی این منبع عدم قطعیت مطابق جدول ۱ است.

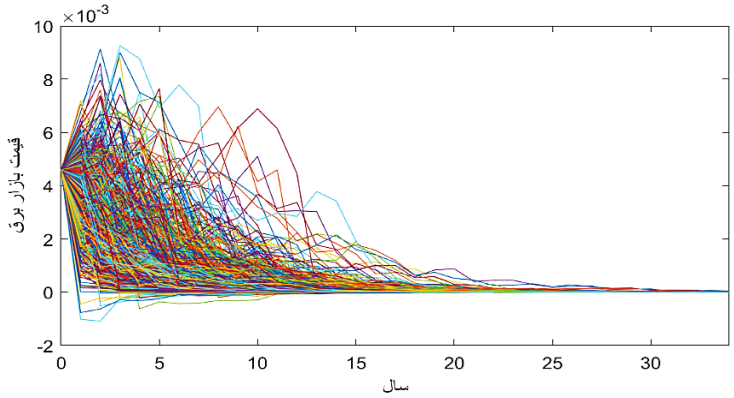
جدول ۱ : پارامترهای مدل‌سازی قیمت بازار انرژی با مدل حرکت براونی هندسی

پارامتر	مقدار
نرخ رانش	(۰,۲۴۲۱)
نوسانات	۰,۲۶۴۷
قیمت اولیه	۰,۰۰۴۶

منبع: یافته‌های پژوهش بر اساس اطلاعات منتشرشده توسط مدیریت شبکه برق ایران [۴۷]

با توجه به اینکه رشد نرخ تسعیر ارز همواره بیشتر از رشد قیمت بازار برق بوده است، بازده دلاری قیمت بازار برق منفی می‌باشد که با در نظر گرفتن نرخ تسعیر ارز به‌عنوان عامل عدم قطعیت دیگر پوشش داده می‌شود.

۱۰۰۰ مسیر از مسیرهای شبیه‌سازی‌شده برای قیمت بازار برق به‌وسیله مدل حرکت براونی هندسی به‌صورت شکل ۲ است.



شکل ۲ : بخشی از مسیرهای شبیه‌سازی‌شده برای مدل‌سازی قیمت بازار انرژی با مدل حرکت براونی هندسی (منبع: یافته‌های پژوهش)

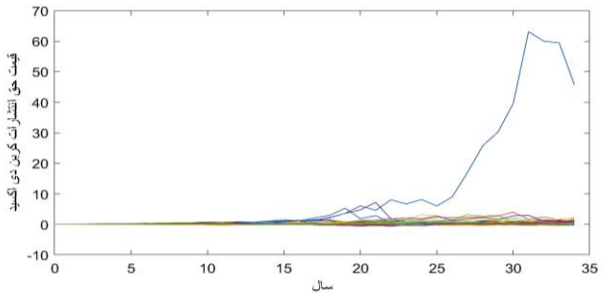
مدل‌سازی قیمت حق انتشار دی‌اکسید کربن (P_t^C): از داده‌های منتشر شده در سایت اینوستینگ و نرخ تبدیل یورو بر تن به دلار بر کیلوگرم استفاده شده است. پارامترهای مربوط به مدل‌سازی در جدول جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ : پارامترهای مدل‌سازی حق انتشار دی‌اکسید کربن با مدل حرکت براونی هندسی

پارامتر	مقدار
نرخ رانش	۰,۰۰۵۶
نوسانات	۰,۴۴
قیمت اولیه	۰,۰۲۱

منبع: یافته‌های پژوهش بر اساس اطلاعات بازار جهانی در سایت اینوستینگ [۴۸]

۱۰۰۰ مسیر از مسیرهای شبیه‌سازی‌شده برای قیمت حق انتشار دی‌اکسید کربن به‌وسیله مدل حرکت براونی هندسی به‌صورت شکل ۳ است.



شکل ۳ : بخشی از مسیرهای شبیه‌سازی‌شده برای مدل‌سازی حق انتشار دی‌اکسید کربن با مدل حرکت براونی هندسی (منبع: یافته‌های پژوهش)

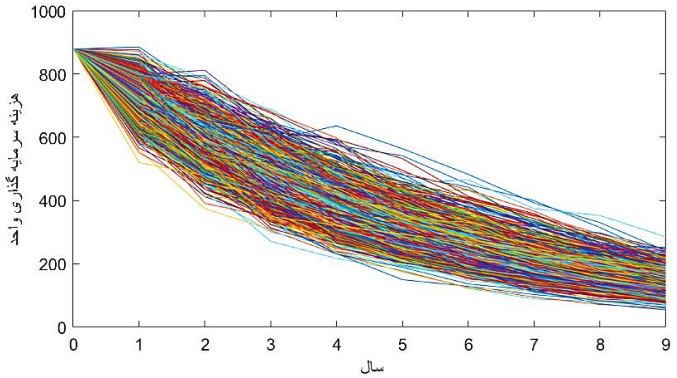
مدل‌سازی مبلغ سرمایه‌گذاری موردنیاز واحد ($\boldsymbol{UI_t}$): از داده‌های منتشر شده در سایت آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده شده است. ازآنجایی‌که تجهیزات سیستم‌های خورشیدی ایران عمدتاً از چین تأمین می‌گردد، از هزینه تمام‌شده کشور چین به ازای هر کیلو وات ظرفیت نصب‌شده استفاده شده است. پارامترهای مربوط به مدل‌سازی مبلغ سرمایه‌گذاری موردنیاز واحد در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ : پارامترهای مدل‌سازی مبلغ سرمایه‌گذاری موردنیاز واحد با مدل حرکت براونی هندسی

پارامتر	مقدار
نرخ رانش	(۰,۱۸۵)
نوسانات	۰,۰۶۴۹۴
قیمت اولیه	۸۷۹,۳۴

منبع: یافته‌های پژوهش بر اساس اطلاعات آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر [۴۹]

۱۰۰۰ مسیر از مسیرهای شبیه‌سازی‌شده برای مبلغ سرمایه‌گذاری موردنیاز واحد به‌وسیله مدل حرکت براونی هندسی به‌صورت شکل ۴ است.



شکل ۴: بخشی از مسیرهای شبیه‌سازی‌شده برای مدل‌سازی مبلغ سرمایه‌گذاری موردنیاز واحد با مدل حرکت براونی هندسی (منبع: یافته‌های پژوهش)

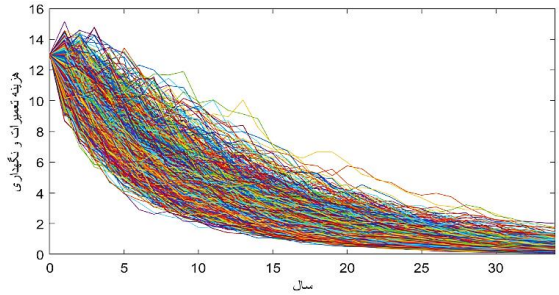
مدل‌سازی هزینه بهره‌برداری و نگهداری واحد ($\boldsymbol{UOMC_t}$): از داده‌های منتشر شده در سایت آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده شده است. پارامترهای مربوط به مدل‌سازی در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴ : پارامترهای مدل‌سازی هزینه بهره‌برداری و نگهداری واحد با مدل حرکت براونی هندسی

پارامتر	مقدار
نرخ رانش	(۰,۰۹۶)
نوسانات	۰,۰۷۶۸۱
قیمت اولیه	۱۳

منبع: یافته‌های پژوهش بر اساس اطلاعات آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر [۴۹]

۱۰۰۰ مسیر از مسیرهای شبیه‌سازی‌شده برای هزینه بهره‌برداری و نگهداری واحد به‌وسیله مدل حرکت براونی هندسی به‌صورت شکل ۵ است.



شکل ۵- بخشی از مسیرهای شبیه‌سازی‌شده برای مدل‌سازی هزینه بهره‌برداری و نگهداری واحد با مدل حرکت براونی هندسی (منبع: یافته‌های پژوهش)

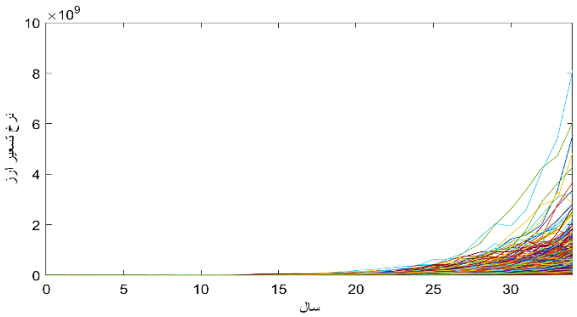
مدل‌سازی نرخ تسعیر ارز ($\boldsymbol{EXR_t}$): از داده‌های منتشر شده در سایت بانک مرکزی ایران و شبکه اطلاع‌رسانی‌طلا، سکه و ارز استفاده شده است. پارامترهای‌مربوط به مدل‌سازی‌درجدول۵ ارائه شده است.

جدول ۵ : پارامترهای مدل‌سازی نرخ تسعیر ارز با مدل حرکت براونی هندسی

پارامتر	مقدار
نرخ رانش	۰,۲۵۰
نوسانات	۰,۲۴۶
قیمت اولیه	۱۶۱،۲۷۶

منبع: یافته‌های پژوهش بر اساس اطلاعات سایت بانک مرکزی ایران و شبکه اطلاع‌رسانی طلا، سکه و ارز [۵۰]

۱۰۰۰ مسیر از مسیرهای شبیه‌سازی‌شده برای نرخ تسعیر ارز به‌وسیله مدل حرکت براونی هندسی به‌صورت شکل ۶ است.



شکل ۶ : بخشی از مسیرهای شبیه‌سازی‌شده برای مدل‌سازی نرخ تسعیر ارز با مدل حرکت براونی هندسی (منبع: یافته‌های پژوهش)

جهت پیاده‌سازی مدل پیشنهادی، هرکدام از عوامل عدم قطعیت فوق به ازای ۱۰۰،۰۰۰ مسیر

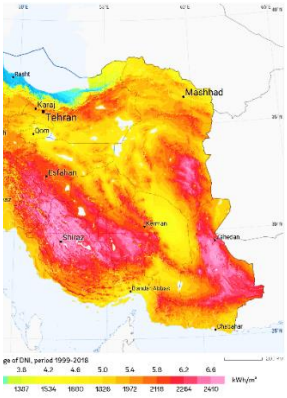
شبیه‌سازی‌شده‌اند. همچنین، زمان اعتبار اختیار ۱۰ سال (t_v)، عمر نیروگاه ۲۵ سال (L)، راندمان سیستم خورشیدی ($PVEFF_t$) ۱۹٪، راندمان اینورتر (InvEFF) ۹۰٫۵٪، راندمان تجهیزات پیش از اینورتر (PreInvEFF) ۹۸٪، ظرفیت نصب شده (IC) ۱ کیلو وات، نرخ مالیات بر ارزش‌افزوده (r_t^v) ۹٪، نرخ مالیات بر درآمد (r_t^I) ۲۵٪، نرخ کاهش راندمان سالیانه پنل (RR) ۰٫۷٪، ضریب عدم انتشار دی‌اکسیدکربن (EMF) ۹۹٫۶٪ و نرخ مصرف انرژی نیروگاه (rzy) ۳٪ در نظر گرفته شده است.

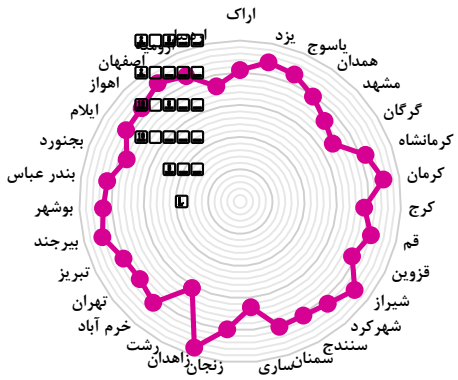
لازم به ذکر است در این پژوهش برخلاف مطالعات قبلی که راندمان سیستم خورشیدی را در حدود ۸۰ درصد [۴۵] فرض کرده‌اند، راندمان سیستم خورشیدی را مطابق واقعیت و بر اساس نتایج علمی و آزمایش‌های تجربی خبرگان برابر ۱۹ درصد در نظر گرفته شده است. همچنین، با توجه به در نظر گرفتن نرخ تسعیر ارز واقعی در ایران و نوسانات آن و همچنین اجرای طرح معاملاتی انتشار دی‌اکسیدکربن، نتایج این پژوهش به دلیل در نظر گرفتن تمامی واقعیت‌های مربوط به تولید انرژی تجدیدپذیر در ایران و جهان به واقعیت کشور نزدیک‌تر می‌باشد.

نقشه شدت تابش نقاط مختلف جهان مطابق بر اطلس تابش جهان در سایت SolarGIS وابسته به بانک جهانی ارائه شده است. این نقشه، تعداد ساعات تابش روزانه و سالانه خورشید با شدت ۱ کیلو وات بر مترمربع که به PSH و YPSH معروف است را نشان می‌دهد. نقشه شدت تابش نقاط مختلف کشور ایران مطابق

شکل **۷**-راست و تعداد ساعت تابش سالانه خورشید با شدت یک کیلو وات بر مترمربع (YPSH) در ۳۱ استان کشور ایران مطابق اطلس تابش خورشیدی ایران بر اساس

شکل **۷**-چپ می‌باشد.





شکل ۷ : اطلس تابش خورشیدی ایران و ساعات تابش سالانه خورشید با شدت ۱کیلو وات‌ساعت بر مترمربع در ۳۱ استان کشور (منبع: سایت SolarGIS وابسته به بانک جهانی [51])

با پیاده‌سازی مدل پیشنهادی ارائه شده در بخش ۳، طی نمودن گام‌های پیاده‌سازی آن با مفروضات پیاده‌سازی فوق، مبلغ یارانه موردنیاز در کل عمر سرمایه‌گذاری به دو روش ارزش فعلی خالص و اختیارهای واقعی برای ۳۱ استان مختلف کشور ایران با توجه به ویژگی‌های محیطی آن‌ها (PSH) مطابق جدول ۶ به‌دست‌آمده است.

جدول ۶ : مجموع یارانه موردنیاز در کل عمر سرمایه‌گذاری به روش ROV و NPV (ریال)

مجموع یارانه موردنیاز به روش ROV	مجموع یارانه موردنیاز به روش NPV	شهر	مجموع یارانه موردنیاز به روش ROV	مجموع یارانه موردنیاز به روش NPV	شهر
103,790,000	70,390,000	خرم‌آباد	100,480,000	59,420,000	زاهدان
104,110,000	71,400,000	اراک	101,800,000	63,870,000	کرمان
104,110,000	71,400,000	سمنان	101,860,000	64,060,000	شیراز
104,280,000	71,940,000	سنندج	101,970,000	64,430,000	اصفهان
104,380,000	72,260,000	تبریز	102,280,000	65,460,000	بیرجند
104,640,000	73,100,000	زنجان	102,300,000	65,530,000	یزد
104,750,000	73,450,000	همدان	102,980,000	67,770,000	یاسوج
104,940,000	74,020,000	تهران	103,130,000	68,250,000	بوشهر
105,300,000	75,180,000	قزوین	103,270,000	68,700,000	ارومیه
105,370,000	75,370,000	کرج	103,420,000	69,200,000	اهواز
105,950,000	77,210,000	بجنورد	103,490,000	69,420,000	قم
106,600,000	79,190,000	اردبیل	103,580,000	69,690,000	شهرکرد
106,710,000	79,520,000	مشهد	103,590,000	69,750,000	بندر عباس
108,050,000	83,590,000	گرگان	103,610,000	69,780,000	ایلام
108,620,000	85,280,000	ساری	103,700,000	70,090,000	کرمانشاه
109,970,000	89,230,000	رشت			

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق جدول فوق هرچه ساعات تابش سالیانه نقاط جغرافیایی بیشتر باشد به دلیل تولید بیشتر برق تجدیدپذیر و افزایش درآمد سالیانه، ارزش سرمایه‌گذاری و ارزش فرصت سرمایه‌گذاری افزایش یافته و کل یارانه موردنیاز جهت جذب سرمایه‌گذارها به سرمایه‌گذاری کمتر می‌گردد؛ به‌طوری‌که شهر زاهدان با بیشترین تابش کمترین یارانه به مبلغ ۵۹،۴۲۰،۰۰۰ ریال به روش NPV و ۱۰۰،۴۸۰،۰۰۰ ریال به روش ROV را به خود اختصاص داده است. شهر رشت با کمترین ساعات تابشی در سال، بالاترین مبلغ یارانه موردنیاز جهت جذب سرمایه‌گذارها به سرمایه‌گذاری در آن شهر را به مبلغ ۸۹،۲۳۰،۰۰۰ ریال به روش NPV و ۱۰۹،۹۷۰،۰۰۰ ریال به روش ROV را به خود اختصاص داده است. یارانه موردنیاز جهت جذب سرمایه‌گذارها با در نظر گرفتن عدم قطعیت در هزینه‌ها و درآمدها و همچنین در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری‌های مدیریتی به‌وسیله ارزیابی اختیار به تأخیر انداختن پروژه، به روش اختیارهای واقعی بسیار بیشتر از روش سنتی ارزش فعلی خالص می‌باشد. اختلاف ارزش یارانه موردنیاز به‌وسیله این دو روش، ارزش در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری مدیریتی و عدم قطعیت در آینده است. در جدول ۸ مبالغ یارانه موردنیاز سالیانه در طول عمر سرمایه‌گذاری برای ۳۱ استان کشور ایران جهت جذب سرمایه‌گذارها بدون تأخیر به دو روش NPV و ROV ارائه‌شده است.

جدول ۷ : یارانه موردنیاز سالیانه در طول عمر سرمایه‌گذاری به روش ROV و NPV (ریال)

مجموع یارانه موردنیاز به روش ROV	مجموع یارانه موردنیاز به روش NPV	شهر	مجموع یارانه موردنیاز به روش ROV	مجموع یارانه موردنیاز به روش NPV	شهر
31,182,000	21,146,000	خرم‌آباد	21,146,000	17,851,000	زاهدان
31,277,000	21,449,000	اراک	21,449,000	19,189,000	کرمان
31,277,000	21,451,000	سمنان	21,451,000	19,246,000	شیراز
31,328,000	21,613,000	سنندج	21,613,000	19,358,000	اصفهان
31,358,000	21,710,000	تبریز	21,710,000	19,666,000	بیرجند
31,438,000	21,962,000	زنجان	21,962,000	19,686,000	یزد
31,471,000	22,067,000	همدان	22,067,000	20,360,000	یاسوج
31,525,000	22,239,000	تهران	22,239,000	20,505,000	بوشهر
31,636,000	22,586,000	قزوین	22,586,000	20,638,000	ارومیه
31,654,000	22,644,000	کرج	22,644,000	20,788,000	اهواز

قم	20,857,000	23,195,000	بجنورد	23,195,000	31,831,000
شهرکرد	20,936,000	23,791,000	اردبیل	23,791,000	32,025,000
بندر عباس	20,954,000	23,891,000	مشهد	23,891,000	32,057,000
ایلام	20,965,000	25,112,000	گرگان	25,112,000	32,461,000
کرمانشاه	21,058,000	25,620,000	ساری	25,620,000	32,632,000
رشت				26,807,000	33,037,000

منبع: یافته‌های پژوهش

همان‌طور که مشاهده می‌گردد، هرچه تعداد ساعات تابش سالیانه بیشتر باشد، یارانه موردنیاز سالیانه از هر دو روش کمتر است و اختلاف بین ارزش یارانه موردنیاز سالیانه، ارزش در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری‌های مدیریتی و عدم قطعیت‌ها به‌وسیله ارزیابی با اختیارهای واقعی که کمتر مورد توجه قرارگرفته است، محاسبه شده است. درروش اختیارهای واقعی با در نظر گرفتن اختیار به تأخیر انداختن پروژه که عمدتاً در سرمایه‌گذاری‌های حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر که در حالت گذار خود می‌باشند، به‌کاربرده می‌شود، یارانه موردنیاز به‌طوری محاسبه می‌گردد که سرمایه‌گذار انگیزه لازم برای سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در طرح را داشته باشد و آن را به تأخیر نیندازد.

در ادامه تعرفه بهینه خرید انرژی تجدیدپذیر در طول ۲۵ سال عمر نیروگاه با دو روش NPV و ROV برای ۳۱ استان مختلف ایران به‌صورت میانگین در هرسال از عمر سرمایه‌گذاری محاسبه شده است و جهت تلخیص در سه‌طبقه بر اساس تعداد ساعات تابش سالیانه نقاط جغرافیایی و سه سال شامل سال ابتدا، سال نیمه‌عمر و سال انتهای عمر سرمایه‌گذاری مطابق جدول ارائه شده است. مطابق نتایج همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، تعرفه بهینه به ازای هر کیلو وات‌ساعت برای شهر زاهدان کمترین و برای رشت بیشتر مبلغ را داشته است.

جدول ۸ : سطح بهینه تعرفه خرید هر کیلو وات‌ساعت برق تولیدی در ۳ سال نمونه، در طول عمر سرمایه‌گذاری به روش ROV و NPV (ریال)

منبع: یافته‌های پژوهش

مشاهده می‌شود سطح تعرفه بهینه به ازای هر کیلو وات‌ساعت انرژی تجدیدپذیر بر اساس رویکرد اختیار واقعی بالاتر از روش ارزش فعلی خالص می‌باشد و این افزایش به دلیل توانمندی رویکرد ارزیابی اختیار واقعی برای در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری مدیریتی و عدم قطعیت در آینده است. درواقع، اختلاف بین تعرفه بهینه با روش اختیار واقعی و تعرفه تعیین‌شده با روش ارزش فعلی خالص، ارزش اختیار به

در انتهای عمر سرمایه‌گذاری		در نیمه‌عمر سرمایه‌گذاری		در ابتدای عمر سرمایه‌گذاری		تعرفه
NPV	ROV	NPV	ROV	NPV	ROV	روش
342,501	533,070	315,023	490,186	289,944	450,944	مناطق با ساعت تابش سالیانه بین ۲۱۰۰ تا ۲۴۰۰
405,950	588,802	373,343	541,414	343,547	498,031	مناطق با ساعت تابش سالیانه بین ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰
548,400	715,100	504,277	657,502	463,897	604,735	مناطق با ساعت تابش سالیانه بین ۱۵۰۰ تا ۱۹۰۰

تأخیرانداختن پروژه با توجه به عوامل عدم قطعیت در نظر گرفته شده است. با توجه به در نظر گرفتن منابع عدم قطعیت و فاکتورهای فنی و اقتصادی مطابق آخرین مدل‌های علمی و واقعیت‌های حاکم بر فضای سرمایه‌گذاری، جهت جذب سرمایه‌گذاری بدون تاخیر در منابع تجدیدپذیر، لازم است سطح تعرفه‌های خرید منابع تجدیدپذیر به سطح بهینه آن‌ها مطابق مدل پیشنهادی افزایش پیدا کند تا سرمایه‌گذارهای بخش خصوصی با در نظر گرفتن مجموع عوامل، انگیزه لازم جهت سرمایه‌گذاری بدون تاخیر را داشته باشند.

در آخر به تحلیل حساسیت هرکدام از عوامل مؤثر بر تعیین سطح بهینه یارانه موردنیاز خرید برق تجدیدپذیر با مدل پیشنهادی این پژوهش پرداخته شده است که خلاصه آن در جدول ارائه شده است.

جدول ۹ : خلاصه تجزیه‌وتحلیل تأثیر پارامترهای مدل بر یارانه موردنیاز بر اساس ROV

ردیف	پارامتر	رابطه با سطح بهینه یارانه	گام	میانگین تغییر یارانه کل عمر سرمایه‌گذاری	
				با گام افزایشی	با گام کاهشی
۱	بازده پنل خورشیدی	عکس	٪۱۰	٪۴ کاهش	٪۴ افزایش
۲	نرخ مالیات بر ارزش‌افزوده	مستقیم	٪۵۰	٪۱ افزایش	٪۱,۵ کاهش
۳	نرخ مالیات بر درآمد و مالیات بر ارزش‌افزوده	مستقیم	٪۲۵	٪۱ افزایش	٪۲ کاهش
۴	ظرفیت نصب‌شده	مستقیم	٪۱۰	٪۹ افزایش	٪۲۰ کاهش
۵	قیمت حق انتشار دی‌اکسیدکربن	عکس	٪۱۰	٪۲ کاهش	٪۲ افزایش
۶	نوسانات قیمت حق انتشار دی‌اکسیدکربن	مستقیم	٪۱۰	٪۱,۲۲ افزایش	٪۱,۱ کاهش
۷	قیمت بازار برق	عکس	٪۱۰	٪۱ کاهش	٪۱ افزایش
۸	نوسانات قیمت بازار برق	مستقیم	٪۱۰	٪۰,۳۶ افزایش	٪۰,۵۲ کاهش
۹	هزینه سرمایه‌گذاری واحد	مستقیم	٪۱۰	٪۱۱ افزایش	٪۱۴ کاهش

۱۰	نوسانات هزینه سرمایه‌گذاری واحد	مستقیم	٪۱۰	٪۱,۵ افزایش	٪۰,۶ کاهش
۱۱	هزینه نگهداری و تعمیرات	مستقیم	٪۱۰	٪۰,۶۶ افزایش	٪۰,۵۳ کاهش
۱۲	نرخ تسعیر ارز	مستقیم	٪۱۰	٪۹ افزایش	٪۱۱ کاهش
۱۳	نوسانات نرخ تسعیر ارز	مستقیم	٪۱۰	٪۰,۴۵ افزایش	٪۰,۳۳ کاهش
۱۴	نرخ تنزیل	مستقیم	٪۱۰	٪۲ افزایش	٪۲ کاهش
۱۵	تعداد ساعت تابش سالانه	عکس	٪۱۰	٪۲ کاهش	٪۲ افزایش

منبع: یافته‌های پژوهش

بحث

مدل پیشنهادی برخلاف مطالعات قبلی علاوه بر در نظر گرفتن ۵ منبع عدم قطعیت و انعطاف‌پذیری مدیریتی شامل اختیار تاخیر، تمامی فاکتورهای فنی و اقتصادی را مطابق مدل‌های علمی و همچنین واقعیت‌های حاکم بر پروژه‌های نیروگاه‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته است. از جمله این موارد می‌توان به در نظر گرفتن راندمان ۱۹ درصدی سیستم خورشیدی برخلاف فرض اشتباه مطالعات قبلی که راندمان ۸۰ درصدی [۴۵] در نظر گرفته اند، اشاره کرد که سبب افزایش سطح بهینه تعرفه خرید با توجه به کم بودن مقدار برق تولیدی منابع تجدیدپذیر و مبلغ بالای سرمایه‌گذاری اولیه موردنیاز می‌گردد. همچنین، در این پژوهش با در نظر گرفتن اثر نرخ تسعیر ارز بر هزینه‌ها و درآمدهای نیروگاه تجدیدپذیر، بهای تمام‌شده بالای برق تجدیدپذیر تولیدی حتی با فرض اجرای طرح معاملاتی کربن مسجل می‌گردد. نتایج پیاده‌سازی مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که

۱- سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر در کشور ایران بدون لحاظ یارانه بهینه در تعرفه خرید نه‌تنها از جذابیت لازم برخوردار نیست بلکه حتی بر اساس رویکرد ارزش فعلی خالص توجیه اقتصادی ندارد.

۲- سطح بهینه تعرفه برق تجدیدپذیر به ازای هر کیلو وات‌ساعت در استان‌های مختلف بر اساس ارزیابی و مدل‌سازی اختیارهای واقعی به دلیل در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها و انعطاف‌پذیری‌های مدیریتی شامل اختیار تأخیر، کاراتر از روش‌های سنتی جهت جذب سرمایه‌گذار است. تعرفه خرید بر اساس رویکرد اختیار واقعی بالاتر از تعرفه خرید بر اساس روش ارزش فعلی خالص است و این اختلاف به‌طور متوسط برای ۳۱ استان ۱۵۴ هزارریال بر کیلو وات‌ساعت است. لذا سرمایه‌گذارها و سیاست‌گذارها می‌بایست از رویکرد اختیار واقعی برای ارزیابی سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر و تعیین سطح بهینه تعرفه خرید استفاده نمایند.

۳- سیاست‌گذارها بهتر است جهت جذب سرمایه‌گذارها به سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در منابع تجدیدپذیر از سیاست تعرفه خرید استفاده نمایند. تعرفه‌ای سبب جذب سرمایه‌گذار بدون تأخیر می‌گردد که از لحاظ سودآوری برای سرمایه‌گذار بهینه باشد و بهینگی با در نظر گرفتن فضای دارای عدم قطعیت و تمایل سرمایه‌گذارها به استفاده از اختیار تأخیر، بهتر است با استفاده از رویکرد اختیار واقعی ارزیابی و تعیین گردد. در فضای دارای عدم قطعیت، روش‌های سنتی به سطوح زیربهینه تعرفه خرید دست پیدا می‌کنند که مانع از جذب سرمایه‌گذارها می‌شود.

۴- سیاست‌گذارها جهت کاهش تعرفه بهینه جهت جذب سرمایه‌گذار بدون تأخیر می‌توانند به کنترل عوامل مؤثر بر ارزش سرمایه‌گذاری بپردازند. نتایج نشان می‌دهد با افزایش تعداد ساعات تابش سالیانه خورشید به دلیل افزایش مقدار برق تجدیدپذیر تولیدی و در نتیجه افزایش درآمد نیروگاه، تعرفه بهینه در آن منطقه کاهش می‌یابد. لذا سیاست‌گذارها با توجه به لزوم به‌کارگیری نیروگاه تجدیدپذیر در سراسر کشور می‌بایست برای هر شهر با توجه به شرایط اقلیمی آن سطح بهینه تعرفه را تعیین نمایند. وجود یک تعرفه یکتا برای کل کشور نه‌تنها در جهت جذب سرمایه‌گذار بهینه و کارا نیست بلکه ممکن است بار مالی بیشتری بر دوش سیاست‌گذارها تحمیل نماید. لذا سرمایه‌گذارها بهتر است با سرمایه‌گذاری در نقاط جغرافیایی با تعداد بیشتر ساعات تابش سالیانه خورشید، درآمد خود را افزایش دهند.

۵- با توجه به اینکه با پیشرفت تکنولوژی و اجرای طرح معاملات انتشار دی‌اکسید کربن ارزش سرمایه‌گذاری افزایش یافته و سطح بهینه یارانه کاهش می‌یابد، لازم است سیاست‌گذارها بستر مناسب جهت تحقیق و توسعه در حوزه فناوری‌های تجدیدپذیر را فراهم نموده و به کاهش هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه نگهداری و تعمیرات کمک بکنند. طرح معاملات انتشار دی‌اکسید کربن در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه در جهان در حال اجرا می‌باشد. از آن‌جایی‌که این طرح در کنار کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، منبع درآمد جدیدی برای سرمایه‌گذارها ایجاد می‌نماید، سبب افزایش ارزش پروژه و کاهش سطح بهینه یارانه می‌گردد. لذا لازم است تا یک بازار ملی و حتی بین‌المللی جهت تجارت حق انتشار دی‌اکسید کربن برقرار شود.

۶- با توجه به اساس رویکرد اختیار واقعی که در نظر گرفتن عدم قطعیت‌هاست، با افزایش نوسان‌پذیری عوامل عدم قطعیت، ارزش فرصت سرمایه‌گذاری و سطح بهینه تعرفه خرید جهت جذب سرمایه‌گذار بدون تأخیر افزایش می‌یابد. لذا لازم است سیاست‌گذارها تلاش زیادی در جهت حفظ ثبات بازارهای مرتبط به صنعت بکنند.

۷- با توجه به اینکه سطح بهینه یارانه با نرخ مالیات بر ارزش‌افزوده، نرخ مالیات بر درآمد، ظرفیت نصب‌شده، نرخ تسعیر ارز و نرخ تنزیل، رابطه مستقیمی دارد، لازم است سیاست‌گذارها به‌منظور جذب سرمایه‌گذاری بدون تأخیر، با در نظر گرفتن عوامل مؤثر اقدام به تعیین تعرفه بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر نمایند. همچنین، نرخ ارز به‌عنوان یک عامل مؤثر توأم بر درآمدها و هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تاثیر مستقیم زیادی بر تعرفه بهینه دارد.

نتیجه‌گیری

پویایی و پیچیدگی روزافزون حیطه سرمایه‌گذاری در بازارها و گزینه‌های سرمایه‌گذاری مختلف از یک‌سو و توانایی مدل‌سازی پویا در پدید آوردن ساختارهایی بهینه از سوی دیگر، باعث شده است تلاش‌هایی در جهت مدل‌سازی اختیار واقعی جهت ارزیابی مالی پروژه‌های سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر گردد. انرژی تجدیدپذیر به دلیل ویژگی‌های پایداری و پاکیزگی و همچنین عملکرد مطلوب آن در کاهش کمبود انرژی و گرم‌شدن کره زمین، همواره توجه جهانی را به خود جلب می‌کند که انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر در دسترس در جهان است و کشور ایران یکی از مستعدترین کشورها برای استفاده از این منبع است. ولیکن، با توجه به مبلغ سرمایه‌گذاری اولیه بسیار بالای این تکنولوژی‌ها، بهره‌برداری از این منابع نیاز به سیاست‌های حمایتی دولت‌ها جهت ایجاد انگیزه در سرمایه‌گذارها دارد. موفق‌ترین سیاست حمایتی در سراسر جهان، سیاست تعرفه خرید برق تجدیدپذیر است. هدف این پژوهش، مدل‌سازی و ارزیابی سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر جهت جذب سرمایه‌گذار بدون تأخیر از طریق تعیین سطح بهینه تعرفه خرید انرژی تجدیدپذیر با رویکرد اختیار واقعی می‌باشد. در این پژوهش، با توجه به وجود عوامل عدم قطعیت و همچنین انعطاف‌پذیری‌های مدیریتی شامل اختیار به تأخیر انداختن پروژه از رویکرد اختیار واقعی استفاده شده است. عدم قطعیت‌های در نظر گرفته‌شده در این پژوهش شامل قیمت حق انتشار دی‌اکسید کربن، قیمت بازار برق، نرخ ارز، هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری که به نمایندگی از پیشرفت تکنولوژیکی این صنعت می‌باشند، است. در این پژوهش برخلاف تمامی مطالعات قبلی تمامی فاکتورهای فنی و اقتصادی مربوط به منابع انرژی تجدیدپذیر بر اساس واقعیت و مدل‌های علمی محاسبه شده‌اند. پیاده‌سازی مدل پیشنهادی از الگوریتم ترکیبی برنامه‌نویسی پویا رو به عقب، شبیه‌سازی مونت‌کارلو و حرکت براونی هندسی استفاده شده است. تعرفه بهینه نه به‌صورت یکتا برای کل کشور بلکه برای ۳۱ استان مختلف کشور ایران با در نظر گرفتن تفاوت‌های اقلیمی آن‌ها و همچنین اجرای طرح تجاری معاملات کربن در کشور برای اولین بار تعیین شده است. با توجه به اینکه صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر به‌طور مستمر در حال پیشرفت و توسعه

می‌باشد و این پیشرفت سبب کاهش مستمر هزینه سرمایه‌گذاری می‌گردد، ازاین‌رو سرمایه‌گذارها تمایل دارند برای حداکثر کردن منافع خود، اجرای پروژه را تا جای ممکن به تأخیر بیاندازند. به همین علت در این پژوهش، ارزش بهینه تعرفه به‌گونه‌ای تعیین گردیده است که سرمایه‌گذارها انگیزه لازم جهت سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در پروژه را با در نظر گرفتن تمامی عوامل داشته باشند. تعرفه بهینه جهت مشارکت و سرمایه‌گذاری بدون تأخیر در منابع تجدیدپذیر برای هر یک از استان‌های کشور با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی آن‌ها برای هرسال در طول عمر سرمایه‌گذاری با توجه به ساختار هزینه و درآمدهای این سرمایه‌گذاری، شرایط حاکم بر کشور ازلحاظ نرخ ارز و در نظر گرفتن عوامل عدم قطعیت پنج‌گانه به‌طور متوسط بر اساس رویکرد اختیار واقعی ۵۰۳ هزار ریال بر کیلو وات‌ساعت تخمین زده شده است. تعرفه تعیین‌شده بر اساس روش ارزش فعلی خالص نیز ۳۴۹ هزار ریال بر کیلو وات‌ساعت است که به دلیل در نظر نگرفتن ارزش اقتصادی عدم قطعیت‌ها و انعطاف‌پذیری‌ها از جذابیت لازم برخوردار نیست. نتایج نشان می‌دهد سطح بهینه تعیین‌شده تعرفه بر اساس رویکرد اختیار واقعی به دلیل در نظر گرفتن ارزش اقتصادی عدم قطعیت‌ها و انعطاف‌پذیری‌های مدیریتی بیشتر از سطح تعیین‌شده تعرفه بر اساس روش سنتی ارزش فعلی خالص است که این نتیجه مطابق یافته‌های [۴۵] است. با توجه به نتایج پیاده‌سازی مدل پیشنهادی و تحلیل حساسیت روی عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری، درخصوص سیاست‌گذاری مناسب نیز پیشنهادهایی ارائه شد.

منابع

۱) رضا راعی؛ حسین فلاح طلب. "کاربرد شبیه سازی مونت کارلو و فرایند قدم زدن تصادفی". مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۴، ۱۶، ۱۳۹۲، ۷۵-۹۲.

۲) رضا محسنی؛ لیلا سخت کارمدلل. "برآورد قیمت سهام بازار انرژی شامل نفت، گاز و زغال سنگ: مقایسه مدل های خطی و غیرخطی رژیم سوئیچینگ مارکوف". مجله ایرانی مطالعات مدیریت، ۱۰،۳، ۱۳۹۶، ۷۱۵-۷۲۸.

۳) عبدالساده نیسی؛ مسلم پیمانی. "مدل‌سازی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از معادله دیفرانسیل تصادفی هستون". پژوهشنامه اقتصادی، ۱۴، ۵۳، ۱۳۹۳، ۱۴۳-۱۶۶.

۴) علی اکبر سعد نیا. "ارزشگذاری پروژه های فناوری پیشرفته به روش ارزشگذاری اختیارهای واقعی موردکاوی صنعت پلیمر". پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی سیستم‌های اقتصادی اجتماعی ، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۸.

۵) کمیل فتاحی؛ علی بنیادی نائینی؛ محمد علی شفیعا. "ارزش‌گذاری فناوری با رویکرد تحلیل اختیارات واقعی: مطالعه فناوری کاشی‌های نانوآنتی‌باکتریال". سیاست علم و فناوری، ۱۰، ۳، ۱۳۹۷، ۵۹-۷۲.

۶) محسن عسکری. "بررسی حرکت براونی کسری و نقش آن در تحلیل روند قیمت سهام". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهد، گروه علوم پایه، ۱۳۹۴.

۷) مرتضی بکی حسکوئی؛ روژین داودی. "ارزیابی پروژه های سرمایه گذاری با رویکرد تحلیل اختیار واقعی: مطالعه موردی بررسی امکان سنجی یک طرح نیروگاهی ۵۰۰ مگاواتی". دانش سرمایه‌گذاری, ۵, ۱۷, ۱۳۹۵, ۲۰۷-۲۲۵.

۸) مرضیه پورمرادی؛ زینب شعبانی؛ لیلا سام دلیری. "رویکرد معادلات دیفرانسیل تصادفی در پیش بینی متغیرهای مالی – مطالعه موردی سهام ایران خودرو در بورس تهران". نهمین کنفرانس انجمن ایرانی تحقیق درعملیات دانشگاه صنعتی شیراز، ۱۳۹۴.

۹) مصطفی دین محمدی؛ مهدی باقری بسطامی. "ارزیابی اقتصادی طرح های سرمایه گذاری با روش اختیار واقعی". مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۵ (۱۹)، ۱۳۹۳.

۱۰) منصور خلیلی عراقی؛ اکبر کمیجانی؛ زینب کسرائی. "کاربرد اختیارهای حقیقی در ارزشگذاری پروژه توسعه میدان گازی پارس جنوبی". پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۳، ۱۰، ۱۳۹۳، ۶۷-۹۷.

11) Abadie, Luis M., and José M. Chamorro. "European CO2 prices and carbon capture investments." Energy Economics 30.6 (2008): 2992-3015.
12) Ayompe, L. M., and Aidan Duffy. "Feed-in tariff design for domestic scale grid-connected PV systems using high resolution household electricity demand data." Energy Policy 61 (2013): 619-627.
13) Balibrea-Iniesta, José. "Economic Analysis of Renewable Energy Regulation in France: A Case Study for Photovoltaic Plants Based on Real Options." Energies 13.11 (2020): 2760.
14) Brandão, Luiz Eduardo T., Gilberto Master Penedo, and Carlos Bastian-Pinto. "The value of switching inputs in a biodiesel production plant." The European Journal of Finance 19.7-8 (2013): 674-688.
15) Brandimarte, P., "Numerical methods in finance and economics: a MATLAB-based introduction". John Wiley & Sons. (2006).
16) Braumann, Carlos A. Introduction to stochastic differential equations with applications to modelling in biology and finance.(Chapter 8: Study of geometric Brownian motion (the stochastic Malthusian model or Black–Scholes model)). John Wiley & Sons, 2019.
17) Couture, Toby, and Yves Gagnon. "An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment." Energy policy 38.2 (2010): 955-965.
18) Davis, Graham A., and Brandon Owens. "Optimizing the level of renewable electric R&D expenditures using real options analysis." Energy policy 31.15 (2003): 1589-1608.
19) Dobrow, Robert P. Introduction to stochastic processes with R. (Chapter 8: Brownian motion). John Wiley & Sons, 2016.
20) Dixit, Avinash K., Robert K. Dixit, and Robert S. Pindyck. Investment under uncertainty. Princeton university press, 1994.
21) Fan, Ying, Jian-Lei Mo, and Lei Zhu. "Evaluating coal bed methane investment in China based on a real options model." Resources Policy 38.1 (2013): 50-59.
22) Fan, Ying, and Lei Zhu. "A real options based model and its application to China's overseas oil investment decisions." Energy Economics 32.3 (2010): 627-637.
23) Fuss, Sabine, et al. "Investment under market and climate policy uncertainty." Applied Energy 85.8 (2008): 708-721.

24) Gollier, Christian, et al. "Choice of nuclear power investments under price uncertainty: Valuing modularity." Energy Economics 27.4 (2005): 667-685.
25) Hach, Daniel, and Stefan Spinler. "Capacity payment impact on gas-fired generation investments under rising renewable feed-in—A real options analysis." Energy economics 53 (2016): 270-280.
26) Heydari, Somayeh, Nick Ovenden, and Afzal Siddiqui. "Real options analysis of investment in carbon capture and sequestration technology." Computational Management Science 9.1 (2012): 109-138.
27) Hojjatollah Sadeqi, Mohammadesmaeil Fadaeinejad, Alireza Varzideh , (2019). Application of Geometric Brownian motion in prediction of gold price and currency rate, Journal of Investment Knowledge, 8(30), 251-270.
28) Jacobs, David, et al. "Analysis of renewable energy incentives in the Latin America and Caribbean region: The feed-in tariff case." Energy Policy 60 (2013): 601-610.
29) Kumbaroğlu, Gürkan, Reinhard Madlener, and Mustafa Demirel. "A real options evaluation model for the diffusion prospects of new renewable power generation technologies." Energy Economics 30.4 (2008): 1882-1908.
30) Lander, Diane M., and George E. Pinches. "Challenges to the practical implementation of modeling and valuing real options." The quarterly review of economics and finance 38.3 (1998): 537-567.
31) Lee, Shun-Chung, and Li-Hsing Shih. "Renewable energy policy evaluation using real option model—The case of Taiwan." Energy Economics 32 (2010): S67-S78.
32) Lin, Boqiang, and Presley K. Wesseh Jr. "Valuing Chinese feed-in tariffs program for solar power generation: a real options analysis." Renewable and Sustainable Energy Reviews 28 (2013): 474-482.
33) Maccone, Claudio. Mathematical SETI: Statistics, Signal Processing, Space Missions. Springer Science & Business Media, 2012.
34) Mun, Johnathan. Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions. Vol. 137. John Wiley & Sons, 2002.
35) Myers, Stewart C. "Determinants of corporate borrowing." Journal of financial economics 5.2 (1977): 147-175.
36) Penizzotto, F., R. Pringles, and F. Olsina. "Real options valuation of photovoltaic power investments in existing buildings." Renewable and Sustainable Energy Reviews 114 (2019): 109308.
37) Pindyck, Robert S. "The long-run evolutions of energy prices." The energy journal 20.2 (1999).

38) Pringles, Rolando, Fernando Olsina, and Francisco Garcés. "Real option valuation of power transmission investments by stochastic simulation." Energy Economics 47 (2015): 215-226.

39) Richard A.Defusco CFA/Dennis W.Mc.Leavy, CFA/Jerald E.pinto. CFA/David E.Runkle,CFA. Quantitative investment Analysis,۲nd ed,2004.

40) Ritzenhofen, Ingmar, and Stefan Spinler. "Optimal design of feed-in-tariffs to stimulate renewable energy investments under regulatory uncertainty-A real options analysis." Energy Economics 53 (2016): 76-89.

41) Schmidt, Johannes, et al. "Where the wind blows: Assessing the effect of fixed and premium based feed-in tariffs on the spatial diversification of wind turbines." Energy Economics 40 (2013): 269-276.

42) Shahnazari, Mahdi, et al. "Evaluation of power investment decisions under uncertain carbon policy: A case study for converting coal fired steam turbine to combined cycle gas turbine plants in Australia." Applied Energy 118 (2014): 271-279.

43) Trigeorgis, Lenos. "Anticipated competitive entry and early preemptive investment in deferrable projects." Journal of Economics and Business 43.2 (1991): 143-156.

44) Yang, Ming, et al. "Evaluating the power investment options with uncertainty in climate policy." Energy Economics 30.4 (2008): 1933-1950.

45) Zhang, M. M., et al. "Optimal feed-in tariff for solar photovoltaic power generation in China: A real options analysis." Energy Policy 97 (2016): 181-192.

46) Zhang, M. M., P. Zhou, and D. Q. Zhou. "A real options model for renewable energy investment with application to solar photovoltaic power generation in China." Energy Economics 59 (2016): 213-226.

47) www.igmc.ir/electronic-services/power-market/reports/power-market-daily-price-report

48) www.investing.com/commodities/carbon-emissions

49) International Renewable Energy Agency: www.irena.org

50) www.cbi.ir/exrates/rates_fa.aspx & www.tgju.org

51) www.solargis.com/maps-and-gis-data/download/iran

یادداشت‌ها :

1 Real Option
2 Myers
3 Partial Differential Equations
4 Dynamic Programming
5 Binomial lattice Framework
6 Simulation
7 Net Present Value
8 Internal Rate of Return
9 Payback Period
10 Gollier et al.
11 Kumbaroğlu et al.
12 Lee & Shih
13 Lin & Wesseh
14 Zhang et al.
15 Penizzotto et al.
16 Balibrea