اولین کنفرانس بین المللی چالش ها و راهکارهای نوین در مهندسی صنایع و مدیریت و حسابداری
1st International Conference on Challenges and New Solutions in Industrial Engineering and Management and Accounting
ISC
کد اختصاصی: ۵۶۹۱۲-۹۸۱۹۰
ثبت شده در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) با کد اختصاصی ۵۶۹۱۲-۹۸۱۹۰
www.confima.ir

Archi

ارائه یک مدل جهت ارزیابی سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر توسط رویکرد اختیارات واقعی

ریحانه صیادی‌نژاد[a]، علی‌محمد کیمیاگری[b]

[a] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مالی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
Reyhane.sn@aut.ac.ir

[b] دانشیار، گروه مهندسی مالی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
Kimiagar@aut.ac.ir

نویسنده مسئول: علی‌محمد کیمیاگری

چکیده

مسائل مربوط به تغییرات آب‌وهوایی توجه زیاد و سریع جامعه جهانی را به خود جلب کرده‌است به طوری که کاهش و سازگاری با تغییرات آب و هوایی بخشی اساسی از سیاست‌های ملی و بین‌المللی در سراسر جهان شده است. اقدام اصلی در این حوزه، توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است که پتانسیل قابل‌توجهی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق جایگزینی آن‌ها با انرژی‌های مبتنی بر سوخت فسیلی دارد. در این مقاله یک مدل اختیارات واقعی جهت ارزیابی سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر با در نظر گرفتن عوامل عدم‌قطعیت مانند قیمت کربن دی اکسید، هزینه انرژی تجدیدناپذیر، هزینه سرمایه‌گذاری و قیمت بازار برق ارائه شده است. مکانیزم پویای این مدل برای مطالعه موردی و پیاده‌سازی، تکنولوژی تولید انرژی خورشیدی فتوولتائیک را به عنوان پیشروترین تکنولوژی تولید انرژی تجدیدپذیر در حال توسعه در سراسر جهان جهت ارزیابی ارزش سرمایه‌گذاری و همچنین زمان‌بندی بهینه برای سرمایه‌گذاری استفاده کرده است. نتایج تجربی مدل پیشنهادی با داده‌های به دست آمده از کشور چین نشان می دهد که محیط سرمایه‌گذاری فعلی در آن کشور ممکن است نتواند سرمایه‌گذاری فوری را به خود جلب کند، در حالی که توسعه بازار معاملات انتشارات کربن منجر به جلو آمدن زمان بهینه سرمایه‌گذاری می‌شود. تحلیل حساسیت به منظور بررسی تغییرات ارزش و زمان بهینه سرمایه‌گذاری تحت تغییرات ظرفیت تولید واحد، سطح یارانه، قیمت بازار برق، قیمت کربن دی اکسید و هزینه سرمایه‌گذاری انجام شده است. نتایج گویای آن است که هزینه بالای سرمایه‌گذاری و نوسانات قیمت بازار برق و قیمت کربن دی اکسید جهت جذب سرمایه گذاری فوری مناسب نیست و در مقابل با افزایش سطح یارانه، پیشرفت تکنولوژی و حفظ ثبات بازار برای تحریک سرمایه‌گذاری در این حوزه مفید است.

کلمات کلیدی: اختیارات واقعی، انرژی‌های تجدیدپذیر، طرح تجارت انتشارات کربن، عدم قطعیت، انرژی خورشیدی.

۱. مقدمه

با افزایش نگرانی جهانی در مورد کاهش ذخایر انرژی فسیلی و رشد حمایت از محیط زیست و تغییرات آب و هوایی که عمدتا از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی می‌شود، بسیاری از کشورها نقش مهم انرژی تجدیدپذیر را درک کرده‌اند. سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی های تجدید پذیر، که نقش مهمی در ارتقاء بهره‌برداری از انرژی تجدیدپذیر دارد، چهار ویژگی اصلی دارد. اول، سرمایه‌گذاری به طور جزئی یا کاملاً برگشت ناپذیر است. دوم، هزینه‌های سرمایه‌گذاری پروژه‌های تولید برق تجدیدپذیر اغلب به دلیل عدم بالغ بودن فن آوری در این حوزه، بیشتر از پروژه‌های تولید برق با سوخت فسیلی است. سوم، سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر با بسیاری از عوامل عدم قطعیت از جمله توسعه بازار، پیشرفت تکنولوژی و سیاست‌های حمایتی روبرو است. چهارم، زمان سرمایه‌گذاری برای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر اختیاری است (یانگ و همکاران ، ۲۰۰۸ ، فن و همکاران ، ۲۰۱۳). اگر بازده پروژه انرژی تجدیدپذیر قابل مقایسه با ریسکی باشد که میپذیرد یا سرمایه‌گذاری را بتوان برای به دست آوردن دانش بیشتر در مورد ریسک به تعویق انداخت، سرمایه‌گذاران دنبال‌کننده سود می توانند این سرمایه‌گذاری را انجام دهند. به دلیل وجود این ویژگی‌ها، روش ارزش فعلی خالص (NPV) که به خوبی نمی تواند عدم قطعیت‌ها را مدلسازی کند، برای ارزیابی سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر نامناسب است (دگزیت و پندیک، ۱۹۹۵).

به عنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر با بیشترین پتانسیل، انرژی خورشیدی توجه جهانی را در سراسر جهان جلب کرده است. مهمترین راه برای استفاده از انرژی خورشیدی تولید برق فتوولتائیک (PV) میباشد. همچنین، کشورها با راه‌اندازی طرح یکپارچه معاملات انتشارات کربن می توانند منبع جدیدی از درآمد را برای سرمایه‌گذاران فراهم کنند. با این حال، به دلیل نوسانات قیمت حق انتشارات کربن به عنوان

www.SID.ir

یک دارایی برای سمایه‌گذاران، یک عامل عدم قطعیت نیز به سرمایه‌گذاری اضافه می‌شود. در این مقاله یک مدل مبتنی بر رویکرد اختیارات واقعی برای ارزیابی سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر با در نظر گرفتن چهار عامل عدم قطعیت شامل قیمت قیمت کربن دی اکسید، هزینه انرژی تجدیدناپذیر، قیمت بازار برق و هزینه سرمایه‌گذاری پروژه انرژی تجدیدپذیر توسعه داده شده است. در مقایسه با مطالعات مشابه قبلی که در بخش بعدی بررسی خواهد شد، این مطالعه عوامل عدم قطعیت بیشتری را در توسعه مدل را در نظر می گیرد به طوری که نتایج مدل‌سازی ممکن است با موقعیت های واقعی سازگارتر باشد. به طور خاص، درنظرگرفتن عدم قطعیت در قیمت های کربن دی اکسید از اهمیت عملی برای بررسی تأثیر غیرمستقیم طرح معاملاتی انتشار کربن بر سرمایه‌گذاری انرژی های تجدید پذیر برخوردار است. با توجه به اینکه سیاست‌های حمایتی و تشویقی برای انرژی های تجدید پذیر باید به تدریج با تغییر در محیط سرمایه‌گذاری در بلندمدت تعدیل شود، ما یک مکانیزم پویای یارانه برای برق تجدیدپذیر را پیشنهاد کرده ایم که می تواند بهتر بیانگر تغییرات طولانی‌مدت زمان و قدرت سیاست‌های حمایتی باشد. از مدل مبتنی بر رویکرد اختیارات واقعی پیشنهادی می‌توان برای برآورد ارزش سرمایه‌گذاری و همچنین زمان بهینه برای انجام سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر استفاده کرد. تأثیرات ظرفیت واحد تولید، یارانه، قیمت بازار برق، قیمت کربن دی اکسید و هزینه سرمایه‌گذاری در پروژه‌های سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر با استفاده از تحلیل حساسیت ارزیابی می‌گردد. در این پژوهش، ما از مدل پیشنهادی برای ارزیابی عملی سرمایه‌گذاری در تولید انرژی خورشیدی فتوولتائیک (PV) در چین استفاده می کنیم تا به سؤالات زیر بپردازیم: آیا محیط سرمایه گذاری درنظرگرفته‌شده به اندازه کافی مثبت برای جذب سرمایه گذاری فوری است؟ تأثیر عوامل عدم‌قطعیت مختلف چیست؟ دولت چگونه باید سیاست‌هایی را برای تشویق سرمایه‌گذاری در انرژی تجدید پذیر تنظیم کند؟

از اختیارات واقعی برای ارزیابی سرمایه‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر از اوایل دهه ۲۰۰۰ استفاده شده است. جدول ۱ خلاصه ای از مطالعات مرتبط قبلی را در مورد سرمایه‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر با روش اختیارات واقعی ارائه می‌دهد که توسط پنج ویژگی مانند کشور / منطقه، نوع انرژی، روش حل، عوامل عدم قطعیت و هدف مطالعه طبقه بندی می شوند.

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، مطالعات اولیه عمدتا برای کشورهای توسعه‌یافته مانند ایالات متحده، یونان، آلمان، فرانسه و نروژ انجام شده است. اخیراً، چندین محقق شروع به بررسی سرمایه‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای آسیایی مانند چین کردند (لین و وسسه جونیور، ۲۰۱۳ ؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴ ؛ وسسه جونیور و لین، ۲۰۱۶). از نظر نوع انرژی، در حالی که برخی محققان با انرژی تجدیدپذیر به طور کلی رفتار می‌کردند، برخی دیگر این سرمایه‌گذاری را برای انواع مختلف انرژی تجدیدپذیر مانند باد و نیروگاه برق‌آبی تجزیه و تحلیل کردند. لازم به ذکر است که مطالعات زیادی در مورد انرژی خورشیدی صورت نگرفته است. در حالی که دولت های قاره آسیا توجه بیشتری به تولید انرژی خورشیدی فتوولتائیک کرده اند، عوامل عدم قطعیت بسیاری بر توسعه آن تأثیرگذار است که در این مطالعه به طور گسترده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مدل اختیارات واقعی با سه روش قابل حل است که شامل معادله دیفرانسیل جزئی (PDE) ، رویکرد برنامه نویسی پویا (DP) و روش شبیه‌سازی می‌باشد. می توان دریافت که مطالعات قبلی عمدتا از PDE و DP برای حل مدل‌های خود استفاده کرده‌اند. با این وجود، PDE و DP قادر به مقابله با بیش از دو عامل نیستند (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۶). با معرفی چندین عامل عدم‌قطعیت در بازار و عوامل سیاسی، برخی از محققان شروع به استفاده از روش شبیه سازی برای حل مدل‌های اختیارات واقعی خود کرده‌اند (یانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ مانوئل و خوزه، ۲۰۱۳؛ دترت و کوتانی، ۲۰۱۳).

از نظر عوامل عدم قطعیت در نظر گرفته شده، مطالعات قبلی عمدتاً قیمت برق، قیمت سوخت فسیلی و تغییر فناوری را در نظر گرفته بودند. مطالعات خیلی زیادی در مورد طرح معاملات انتشار کربن و سیاست های تشویقی متفاوت وجود ندارد. در حالی که طرح معاملاتی انتشار کربن به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای طراحی شده است، اما به طور غیرمستقیم بر سرمایه‌گذاران انرژی تجدیدپذیر تأثیر می‌گذارد. امروزه انرژی تجدید پذیر همچنان به شدت به سیاست‌های حمایتی وابسته است. با احتمال بالایی نحوه درنظرگرفتن عوامل سیاستگذاری بر نتایج ارزیابی سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر می‌گذارد. بنابراین اطمینان از همه این عوامل برای اطمینان از امکان سنجی و صحت نتایج ارزیابی ضروری است. علاوه‌براین، مطالعات قبلی به طور عمده پتانسیل انرژی تجدیدپذیر، توانایی انرژی تجدیدپذیر در جایگزینی با انرژی فسیلی و مزایای تولید انرژی تجدیدپذیر را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. رابطه تعاملی بین سرمایه‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر با عوامل تأثیرگذار مربوطه مورد توجه کافی قرار نگرفته است که به منظور دستیابی به پیامدهای چشم‌انداز سیاستگذاری، ارزش کاوش و تحقیق دارند.

ادامه این پژوهش به شرح زیر بخش‌بندی می شود. بخش ۲ مدل مبتنی بر رویکرد اختیارات واقعی و همچنین روش حل مدل را توصیف می کند. در بخش ۳، ما از مدل پیشنهادی برای ارزیابی عملی تولید برق خورشیدی PV در چین استفاده می کنیم. بخش ۴ این تحقیق با نتیجه‌گیری و برخی از پیامدهای سیاستگذاری به پایان می رسد.

www.SID.ir

جدول (۱): خلاصه پژوهش‌های قبلی در حوزه سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر با رویکرد اختیارات واقعی

پژوهش	کشور/منطقه	نوع منبع	روش حل	عوامل عدم قطعیت	هدف پژوهش
(ونتسانوس و همکاران، ۲۰۰۲)	یونان	باد	PDE	بازار انرژی ساختارنیافته	ارزیابی سودآوری نیروگاه بادی
(دیویس و آونز، ۲۰۰۳)	آمریکا	انرژی تجدیدپذیر	PDE	قیمت سوخت فسیلی	کمی‌کردن سود هزینه بر تحقیق و توسعه تولید برق تجدیدپذیر
(گولیر و همکاران، ۲۰۰۵)	فرانسه	هسته‌ای	PDE	قیمت برق رقابتی	مقایسه سرمایه‌گذاری در پروژه نیروگاه هسته‌ای بزرگ با سرمایه‌گذاری دوره‌ای در پروژه‌های نیروگاه‌های هیته‌ای کوچک
(کجارلند، ۲۰۰۷)	نروژ	باد	PDE	قیمت برق	تخمین زمان سرمایه‌گذاری و اندازه نیروگاه بادی
(باکمن و همکاران، ۲۰۰۸)	نروژ	برق‌آبی	PDE	قیمت برق	ارزیابی سرمایه‌گذاری و انتخاب ظرفیت برای نیروگاه برق‌آبی کوچک
(کومباراغلو و همکاران، ۲۰۰۸)	ترکیه	تجدیدپذیر	DP	قیمت سوخت قیمت برق	ارزیابی گزینه‌های سرمایه‌گذاری
(یانگ و همکاران، ۲۰۰۸)	-	هسته‌ای	شبیه‌سازی و DP	انرژی و قیمت کربن	تحلیل تاثیر سیاست آی و هوایی روی مکان‌های مختلف نیروگاه‌ها
(فوس و زولگایووا، ۲۰۰۸)	-	باد	شبیه‌سازی	پیشرفت تکنولوژی قیمت کربن	بررسی تاثیر عوامل عدم قطعیت روی تصمیم سرمایه‌گذاری
(لی و شیه، ۲۰۱۰)	تایوان	باد	DP (درخت)	قیمت سوخت فسیلی پیشرفت تکنولوژی قیمت برق	ارزیابی ارزش توسعه سیاست انرژی تجدیدپذیر
(لی، ۲۰۱۱)	تایوان	باد	PDE	قیمت برق	ارزیابی ارزش و امکان سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر
(بومزما و همکاران، ۲۰۱۲)	نوردیک	باد	PDE	طرح‌های حمایتی متفاوت مثل تعرفه خرید	تحلیل زمان سرمایه‌گذاری و انتخاب ظرفیت برای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر
(دیتر و کوتانی، ۲۰۱۳)	مغولستان	انرژی تجدیدپذیر	شبیه‌سازی	قیمت زغال سنگ	بررسی پتانسیل توسعه انرژی تجدیدپذیر ئر اقتصادهای درحال توسعه
(لین و وسه، ۲۰۱۳)	چین	خورشیدی	DP (درخت)	قیمت سوخت فسیلی پیشرفت تکنولوژی	کمی‌سازی سود تولید برق خورشیدی
(ژنگ و همکاران، ۲۰۱۴)	چین	انرژی تجدیدپذیر	DP (درخت)	هزینه انرژی تجدیدناپذیر قیمت کربن پیشرفت تکنولوژی	ارزیابی ارزش تصمیم و وجود نقطه تعادل سود در انرژی تجدیدپذیر
(وسه و لین، ۲۰۱۶)	چین	باد	DP (درخت)	هزینه انرژی تجدیدناپذیر	ارزیابی زیست‌پذیری پروژه‌های انرژی باد
(ژنگ و همکاران، ۲۰۱۶)					
(کیتزینگ و همکاران، ۲۰۱۷)					

www.SID.ir

۲. روش پژوهش، محاسبات و فرمول ها

در نظر بگیرید که یک پروژه تولید برق خورشیدی PV با طول عمر L در سال t سرمایه گذاری شود. فرض کنید که ساخت پروژه می تواند فوراً به پایان برسد (کامبراوغلو و همکاران ، ۲۰۰۸). ارزش پروژه این پروژه تولید برق خورشیدی PV با جریان نقدی سالانه تنزیل‌شده در طول عمر پروژه و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تشکیل می شود. با توجه به اینکه ارزش فعلی خالص به عوامل زیادی بستگی دارد که بطور تصادفی تغییر می کنند، منطقی است که ارزش پروژه را با ارزش انتظاری آن بیان کنیم بنابراین، ما به دست می آوریم:

$$NPV_t = \sum_{i=t}^{t+l} YCF_i e^{-r(i-t)} - I_t \qquad 0 \le t \le t_v$$

به طوریکه r نرخ تنزیل، YCF_i جریان نقد سالانه، t_v آخرین مرحله دوره سرمایه گذاری، l عمر نیروگاه و I_t هزینه سرمایه‌گذاری اولیه است. جریان نقد سالانه یک پروژه تولید برق خورشیدی PV (YCF_i) معمولاً شامل درآمد حاصل از فروش برق ER_t، درآمد حاصل از فروش حق انتشارات کربن CR_t، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری OMC_t و هزینه مالیات Tax_t می باشد. از نظر ریاضی ، به دست می آوریم:

$$YCF_t = ER_t + CR_t - OMC_t - Tax_t$$

درآمد حاصل از فروش برق:

یک سیستم برق خورشیدی PV می تواند با استفاده از اثر PV و رابط مواد نیمه هادی سلول خورشیدی، انرژی تابش خورشید را به برق تبدیل کند. برق تولید شده توسط سیستم خورشیدی PV به شبکه برق کشور تزریق و با تعرفه خرید خاصی فروخته می شود. لازم به ذکر است که راندمان یک سیستم خورشیدی PV به تدریج با پیر شدن طبیعی تجهیزات آن و تجمع گرد و غبار روی آن کاهش می یابد. بنابراین، درآمد حاصل از فروش برق به صورت زیر بیان شده است:

$$ER_t = q_t^e \times FIT_t$$
$$q_t^e = q_{t-1}^e \times (1 - RR)$$

که q_t^e مقدار برق تولیدی، FIT_t تعرفه خرید برق خورشیدی و RR نرخ کاهش سالیانه ظرفیت تولید سیستم خورشیدی می‌باشد.

درآمد حاصل از فروش حق انتشارات کربن

طرح بازار معاملات انتشار کربن به منظور کاهش انتشار CO_2 طراحی شده است. طبق برنامه معاملاتی انتشار کربن، میزان هزینه انتشار کربن به عنوان کالایی در نظر گرفته می شود و می توان در بازار معامله کرد. به این ترتیب، یک تولید کننده انرژی تجدید پذیر می تواند از فروش حق هزینه انتشارات کربن درآمد کسب کند. درآمد حاصل از فروش حق انتشارات کربن توسط معادله زیر نشان داده شده است:

$$CR_t = q_t^c \times P_t^C$$

که q_t^c مقدار کاهش انتشارات کربن و P_t^C قیمت کربن دی اکسید می‌باشد.

هزینه سرمایه‌گذاری:

هزینه سرمایه‌گذاری I_t بخش بزرگی از کل هزینه یک پروژه تولید برق خورشیدی PV را تشکیل می‌دهد. هزینه سرمایه‌گذاری به توسعه فناوری بستگی دارد و بنابراین می تواند به عنوان یک فاکتور فناوری در نظر گرفته شود. هزینه سرمایه‌گذاری یک پروژه تولید برق خورشیدی PV شامل هزینه خرید تجهیزات و هزینه ساخت و ساز (و همچنین سایر هزینه ها) می‌باشد. با بهبود فناوری، هزینه سرمایه گذاری تمایل به کاهش دارد، اما همچنین تحت تأثیر نوسانات بازار مواد سازنده اجزای PV است.

www.SID.ir

هزینه های بهره برداری و نگهداری

هزینه های بهره‌برداری و نگهداری، که برای اطمینان از عملکرد عادی یک سیستم برق ضروری است، شامل هزینه‌های نگهداری، هزینه‌های خرید قطعات یدکی، هزینه‌های بیمه و هزینه‌های مدیریتی می‌باشد. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری با بصورت زیر فرض شده است:

$$OMC_t = omc \times q_t^e$$

که omc هزینه واحد بهره‌برداری و نگهداری و q_t^e مقدار برق تولیدی در سال t می‌باشد.

خصوصیات سیاست حمایتی در نظر گرفته شده:

سیاست مالیات:

هزینه مالیاتی یک پروژه تولید برق خورشیدی PV عمدتا شامل مالیات بر ارزش افزوده و مالیات بر درآمد شرکت است که بصورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$Tax_t = VATax + CITax$$
$$VATax = (ER_t + CR_t) \times r_t^v$$
$$CITax = \left((ER_t + CR_t) \times (1 - r_t^v) - OMC_t\right) \times r_t^I$$

که $VATax$ مالیات بر ارزش افزوده شرکت، $CITax$ مالیات بر درآمد شرکت، r_t^v نرخ مالیات بر ارزش افزوده و r_t^I نرخ مالیات بر درآمد شرکت است.

سیاست تعرفه خرید:

با توجه به هزینه برق انرژی تجدیدپذیر، سیاست تعرفه خرید (FIT) که یک پرداخت ثابت برای واحد برق تولیدشده از انرژی تجدید پذیر است، اجرا می‌شود. FIT مناسب، برای مدت زمان طولانی‌تری، می‌تواند استقرار گسترده انرژی تجدیدپذیر را ارتقا بخشد (اشمیت و همکاران ، ۲۰۱۳). FIT پیشنهادی از دو جز قیمت بازار برق P_t^E و سوبسید قیمت SUB_t تشکیل شده است (NDRC، 2006؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴)، یعنی

$$FIT_t = P_t^E + SUB_t$$

در دراز مدت باید یک سازوکار پویا برای یارانه وجود داشته باشد زیرا یارانه با پیشرفت فنی و تکامل سیستم بازار کاهش می یابد. یارانه قیمت باید براساس عواملی مانند تغییر هزینه سرمایه‌گذاری و پیشرفت تکنولوژی از یک زمان به زمان دیگر تنظیم شود. بنابراین، در این پژوهش فرض می‌کنیم که یارانه قیمت براساس تغییر هزینه سرمایه گذاری تنظیم می‌شود که اغلب حدود ۸۰٪ از کل هزینه را تشکیل می دهد (ریگتر و ویدیکن، ۲۰۱۰). همچنین میزان کاهش سالانه تعرفه خرید براساس میزان کاهش هزینه سیستم خورشیدی PV به دست می‌آید. با فرض اینکه یارانه قیمت قبل از پایان مهلت یارانه با نرخ ثابتی کاهش داشته باشد، فرمول زیر را استخراج می کنیم:

$$\begin{cases} SUB_t = SUB_{t-1} \times e^{\alpha_s} & t < t_z \\ SUB_t = 0 & t \geq t_z \end{cases}$$

که α_s بیانگر نرخ کاهش ثابت یارانه است که برابر با نرخ رانش هزینه سرمایه گذاری و t_z نماد پایان مهلت پرداخت یارانه می باشد. در واقع باید مهلتی وجود داشته باشد که پس از آن یارانه متوقف شود. مهلت یارانه قیمت با مقایسه بین هزینه انرژی‌های غیرتجدیدپذیر و هزینه انرژی تجدیدپذیر تعیین می‌شود. تا زمانی که هزینه واحد انرژی‌های غیرتجدیدپذیر بیشتر یا مساوی با واحد انرژی تجدیدپذیر واحد باشد، یارانه قیمت پرداخت می‌شود. هزینه واحد انرژی تجدیدپذیر را می توان با تقسیم تمام مخارج در طول عمر بر میزان برق تولید شده بدست آورد:

$$t_z = \inf\left\{t \mid P_t^f \geq OMC_t + UI_t\right\}$$

www.SID.ir

$$UI_t = \frac{I_t}{q_e} \times \frac{(1-dr)e^{-r}-1}{\left((1-dr)e^{-r}\right)^L - 1}$$

مدلسازی عدم قطعیت‌ها:

سرمایه گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر ممکن است تحت تأثیر انواع عوامل عدم‌قطعیت مانند هزینه انرژی‌های غیرتجدیدپذیر، قیمت CO2 و هزینه سرمایه‌گذاری باشد. هزینه انرژی‌های غیرتجدیدپذیر یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر توسعه انرژی تجدید پذیر است و تغییرات در آن سرعت توسعه انرژی تجدیدپذیر را تعیین می‌کند. تحت مکانیسم قیمت برق مبتنی بر بازار، تغییرات در ه هزینه انرژی‌های غیرتجدیدپذیر روند حرکت قیمت بازار برق را تعیین می کند. مقایسه بین هزینه انرژی‌های غیرتجدیدپذیر و هزینه انرژی تجدید پذیر، مهلت یارانه قیمت و مشوق های مالیاتی برای برق انرژی تجدیدپذیر را تعیین می کند. علاوه بر این، توسعه طرح‌های معاملات انتشار کربن منبع جدید درآمد را برای سرمایه گذاران فراهم می کند. بنابراین، هزینه انرژی‌های غیرتجدیدپذیر و قیمت کربن دی اکسید در واقع دو عامل عدم قطعیت در بازار را نشان می‌دهد. هزینه سرمایه‌گذاری ممکن است به عنوان یک عامل عدم‌قطعیت فناوری در نظر گرفته شود که عمدتا به سطح توسعه فناوری وابسته است و بخش بزرگی از کل هزینه یک پروژه انرژی تجدیدپذیر را تشکیل می‌دهد. فرآیندهای تصادفی یک روش مناسب برای توصیف عوامل عدم قطعیت است. در مطالعات قبلی از حرکت براونی هندسی (GBM) برای توصیف روند حرکت برای هزینه انرژی‌های غیرتجدیدناپذیر استفاده شده است (دیویس و اوونز، ۲۰۰۳؛ صدیقی، ۲۰۰۷؛ کومباروغلو و همکاران، ۲۰۰۸؛ یانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ صدیقی و فلتن، ۲۰۱۰؛ فن و زو، ۲۰۱۰). از آنجایی که در سراسر دنیا، قیمت بازار برق با هزینه انرژی‌های غیرتجدیدناپذیر تغییر می‌کند، در مقالات متعدد روند تغییرات قیمت بازار برق نیز با فرآیند GBM مدلسازی شده است (فن و ژو، ۲۰۱۰). در مورد قیمت کربن دی اکسید نیز فرض شده است که از فرآیند GBM پیروی می کنند (فوس و همکاران، ۲۰۰۸، آبادی و چامرو، ۲۰۰۸؛ حیدری و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین با بهبود فناوری، هزینه سرمایه‌گذاری تمایل به کاهش دارد، اما تحت تأثیر نوسانات بازار مواد سازنده اجزای PV است. بنابراین، تغییر هزینه سرمایه‌گذاری ناشی از تکامل بازاری و تکنولوژیکی سلول‌های خورشیدی نیز می تواند با حرکت هندسی براونی مدل شود (کامبراوغلو و همکاران ، ۲۰۰۸).

در این پژوهش، از GBM برای توصیف عدم قطعیت‌ها در بازارها و همچنین توسعه فناوری به شرح زیر استفاده می کنیم:

مدلسازی قیمت بازار برق:

تغییرات قیمت بازار برق توسط مدل حرکت براونی هندسی در این پژوهش به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$dP_t^E = \alpha_E P_t^E dt + \sigma_E P_t^E dZ_t^E$$

که P_t^E قیمت بازار برق، α_E نرخ رانش قیمت بازار برق، σ_E نرخ نوسانپذیری قیمت بازار برق و dZ_t^E نمایانگر افزایش به فرآیند وینر استاندارد است به طوری که

$$dZ_t^E = \varepsilon_t \sqrt{dt}$$

و ε_t یک متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می باشد. ارزش مورد انتظار P_t^E نیز

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

است.

مدلسازی هزینه سوخت تجدیدناپذیر:

تغییرات هزینه سوخت تجدیدناپذیر توسط مدل حرکت براونی هندسی در این پژوهش به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$dP_t^f = \alpha_f P_t^f dt + \sigma_f P_t^f dZ_t^f$$

که P_t^f هزینه سوخت تجدیدناپذیر، α_f نرخ رانش هزینه سوخت تجدیدناپذیر، σ_f نرخ نوسانپذیری هزینه سوخت تجدیدناپذیر و dZ_t^f نمایانگر افزایش به فرآیند وینر استاندارد است به طوری که

$$dZ_t^f = \varepsilon_t \sqrt{dt}$$

و ε_t یک متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می باشد. ارزش مورد انتظار P_t^f نیز

$$E(P_t^f) = P_0^f e^{\alpha_f \times t}$$

www.SID.ir

است.

مدلسازی قیمت کربن:

تغییرات قیمت حق انتشارات کربن دی اکسید به عنوان یک دارایی توسط مدل حرکت براونی هندسی در این پژوهش به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$dP_t^C = \alpha_C P_t^C dt + \sigma_C P_t^C dZ_t^C$$

که P_t^C قیمت حق انتشارات کربن دی اکسید، α_C نرخ رانش قیمت حق انتشارات کربن دی اکسید، σ_C نرخ نوسانپذیری قیمت حق انتشارات کربن دی اکسید و dZ_t^C نمایانگر افزایش به فرآیند وینر استاندارد است به طوری که

$$dZ_t^C = \varepsilon_t \sqrt{dt}$$

و ε_t یک متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می باشد. ارزش مورد انتظار P_t^C نیز

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

است.

مدلسازی هزینه سرمایه گذاری:

تغییرات هزینه سرمایه‌گذاری توسط مدل حرکت براونی هندسی در این پژوهش به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$dI_t = \alpha_I I_t dt + \sigma_I I_t dZ_t^I$$

که I_t هزینه سرمایه گذاری واحد، α_E نرخ رانش هزینه سرمایه گذاری، σ_E نرخ نوسانپذیری هزینه سرمایه گذاری و dZ_t^E نمایانگر افزایش به فرآیند وینر استاندارد است به طوری که

$$dZ_t^I = \varepsilon_t \sqrt{dt}$$

و ε_t یک متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می باشد. ارزش مورد انتظار I_t نیز

$$E(I_t) = UI_0 e^{\alpha_I \times t}$$

است.

ارزش فرصت سرمایه گذاری پروژه‌های تولید برق خورشیدی فوتولتائیک

در یک فضای قطعی بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت و انعطاف پذیری مدیریتی، روش ارزش فعلی خالص به شدت جهت ارزیابی تصمیمات سرمایه‌گذاری به کار برده می‌شود. در این روش، سرمایه‌گذاری اقتصادی و مورد تایید است اگر ارزش فعلی خالص آن کمتر از صفر نباشد و در غیر اینصورت سرمایه‌گذاری اقتصادی نیست و باید ترک شود. در حالی که محیط سرمایه گذاری انرژی تجدیدپذیر به یک محیط تصادفی نزدیک است که با عدم‌قطعیت‌ها و انعطاف‌پذیری‌های مدیریتی متعدد رو به رو می‌باشد. در این حالت، روش ارزش فعلی خالص ممکن است به یک تصمیم سرمایه‌گذاری زیربهینه منجرشود و احتمالا ارزش پروژه را کمتر از ارزش واقعی آن تخمین میزند. روش اختیارات واقعی به دلیل آنکه چهارچوب تحلیلی‌اش اجازه می‌دهد که سرمایه گذاران عدم قطعیت‌ها و انعطاف‌پذیری‌های مدیریتی را به دقت ارزیابی کنند، می‌تواند استراتژی بهینه سرمایه‌گذاری را تعیین کند.

ارزش فرصت سرمایه‌گذاری بزرگترین مقداری است که سرمایه‌گذاران می‌توانند از سرمایه‌گذاری در یک پروژه تولید برق خورشیدیPV بدست آورند. در یک فضای قطعی بدون در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌ها و انعطاف‌پذیری مدیریتی، روش ارزش فعلی خالص (NPV) کافی است و بیشترین استفاده را دارد. در این فضا، سرمایه‌گذار امکان تأخیر در سرمایه‌گذاری خود و منتظر ماندن جهت ورود در محیط سرمایه‌گذاری بهتر را ندارد. بنابراین، ارزش فرصت سرمایه‌گذاری برابر NPV است. در یک فضای تصادفی و دارای عدم قطعیت، روش اختیارات واقعی مفیدتر و مناسب‌تر است. وجود انعطاف پذیری مدیریتی و عدم‌قطعیت، ارزش اقتصادی یک فرصت سرمایه‌گذاری را به طرز چشمگیری افزایش می‌دهد (شاه نظری و همکاران، ۲۰۱۴؛ پرینگل و همکاران، ۲۰۱۵). در این فضا، ارزش فرصت سرمایه‌گذاری نشان‌دهنده NPV یک پروژه سرمایه‌گذاری نیست، بلکه برابر NPV و ارزش اقتصادی انعطاف‌پذیری مدیریتی با حضور عدم‌قطعیت است و به شرح زیر می‌باشد:

$$OV = V + FV$$

که OV ارزش فرصت سرمایه‌گذاری و V ارزش فعلی خالص موردانتظار یک پروژه را نشان می‌دهد و FV نمایانگر ارزش اقتصادی انعطاف‌پذیری مدیرتی در شرایط عدم‌قطعیت است. درنتیجه، در یک فضای تصادفی، وجود انعطاف‌پذیری مدیریتی و عدم‌قطعیت

www.SID.ir

به سرمایه‌گذاران این حق را می‌دهد که سرمایه‌گذاری را به تاخیر بیاندازند و زمان بهینه سرمایه‌گذاری را انتخاب کنند به طوری که ارزش پروژه را در مدت اعتبار سرمایه‌گذاری به حداکثر برساند (هاچ و اسپینلر، ۲۰۱۶؛ پرینگل ۲۰۱۵؛ ریزنهوفن و اسپینلر، ۲۰۱۵). بنابراین ، ارزش فرصت سرمایه‌گذاری می‌تواند توسط فرمول زیر محاسبه شود:

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

که t_s یک زمان ایست تصادفی است مثلا زمانی که سرمایه گذاری انجام شده است.

قوانین تصمیم سرمایه گذاری:

سرمایه‌گذار سودجو قصد دارد حداکثر ارزش پروژه را از سرمایه‌گذاری خود در یک پروژه تولید برق خورشیدی PV طرح‌ریزی‌شده بدست آورد. در یک فضای قطعی و بدون در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری مدیریتی و عدم‌قطعیت، سرمایه‌گذار در نظر خواهد گرفت که آیا NPV مثبت است یا فقط برای NPV مثبت سرمایه‌گذاری خواهد کرد. بنابراین، ما به دست می‌آوریم:

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

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

در یک فضای تصادفی، براساس رویکرد اختیارات واقعی، سرمایه‌گذاری فقط در صورتی انجام می‌شود که ارزش فعلی خالص سرمایه‌گذاری فوری بزرگتر یا مساوی ارزش فرصت‌های سرمایه‌گذاری بعدی باشد. بنابراین، ما به دست می آوریم:

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

به طوری که $\Psi_0^{RO} = 1$ و $\Psi_0^{RO} = 0$ به ترتیب نشان دهنده انجام سرمایه‌گذاری با ایجاد تاخیر آن است.

رویه حل مدل:

سه روش کلی برای حل مسئله ارزیابی در زمینه اختیارات واقعی وجود دارد که شامل معادلات دیفرانسیل جزیی (PDE)، برنامه ریزی پویا (DP) و شبیه سازی است (پرینگلز و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به جریان نقدی سالانه غیریکنواخت و درنظرگرفتن بسیاری از عدم قطعیت‌ها در قالب متغیرهای تصادفی، ما از روشی استفاده می کنیم که الگوریتم برنامه نویسی پویا رو به عقب و روش شبیه سازی مونته کارلو را برای حل مدل استفاده می کند (زنگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ لانگاستف و شوارتز، ۲۰۰۱) .جزئیات فرآیند حل به شرح زیر است:

مرحله ۱. بر اساس روش مونت کارلو حروف M و N به ترتیب نشان‌دهنده تعداد مسیرهای شبیه‌سازی و تعداد نقاط تصمیم در هر مسیر می‌باشند به طوری که $N = \frac{t_v}{\Delta t}$ و Δt اندازه گام می‌باشد. در این مرحله مسیر تغییرات عوامل عدم قطعیت بر اساس مدل ذکرشده برای آن‌ها شبیه‌سازی می‌گردد.

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

مرحله ۳. برای هر مسیر j، برنامه ریزی پویای رو به عقب برای محاسبه ارزش فرصت سرمایه‌گذاری انجام می‌شود. این فرآیند شبیه برخی مطالعات قبلی مانند یانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ زو و فن، ۲۰۱۱؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۴؛ شهنظری و همکاران، ۲۰۱۴؛ هاچ و اسپینلر، ۲۰۱۶؛ پرینگلز و همکاران، ۲۰۱۵؛ و زنگ و همکاران، ۲۰۱۵) است.

در مرحله تصمیم نهایی ($t = t_V$) ، سرمایه‌گذاران حق ندارند سرمایه‌گذاری را به تاخیر بیاندازند و همچنین فرض شده است که در مراحل قبلی سرمایه‌گذاری انجام نشده است، بنابراین می‌توانیم دریافت کنیم

$$OV_{t_V,j} = MAX\{V_{t_V,j}, 0\}$$

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

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

مرحله ۴. در هر نقطه تصمیم‌گیری درباره $0 \le t \le t_V$ سرمایه‌گذاران ارزیابی می‌کنند که آیا بهتر است که فوراً سرمایه‌گذاری کنند یا سرمایه‌گذاری را به تاخیر بیاندازند که این کار با مقایسه ارزش فعلی خالص مورد انتظار برای سرمایه‌گذاری فوری و ارزش فرصت سرمایه‌گذاری مورد انتظار برای سرمایه‌گذاری با تاخیر تعیین می‌گردد.

www.SID.ir

$$OV_{t,j} = MAX\{V_{t,j}, e^{-r} \times E_t[OV_{t+1,j}]\}$$
$$\Psi_{t,j} = \begin{cases} 1 & V_{t,j} \geq e^{-r} \times E_t[OV_{t+1,j}] \\ 0 & Otherwise \end{cases}$$

مرحله ۵. عملیات بازگشت مدلسازی با بازگشت در طی زمان و تکرار رویه تا زمان $(t=0)$ ادامه می یابد تا تصمیم سرمایه‌گذاری در هر زمان ممکن سرمایه‌گذاری در طی هر مسیر تعیین شود. t_j زمان بهینه سرمایه‌گذاری در مسیر j است. زمان بهینه سرمایه‌گذاری (t_s) پرتکرارترین زمان بهینه سرمایه‌گذاری تعیین‌شده دردر تک تک مسیرها است. ارزش فرصت سرمایه‌گذاری از طریق میانگین ارزش روی کل مسیرها محاسبه می‌گردد.

$$t_j = inf\{t|\Psi_{t,j} = 1\}$$
$$OV_0 = \frac{1}{M}\sum_{1}^{M}(r^{-r\times t_j} \times OV_{t_j,j}) \quad j = 1,2,3,\dots,M$$

۳. یافته ها

پیاده‌سازی مدل پیشنهادی:

توسعه تولید انرژی خورشیدی PV در جهان نقش مهمی در تنظیم ساختار انرژی، کنترل انتشار دی اکسید کربن و ایجاد جامعه کم کربن دارد. چین به عنوان یکی از کشورهای پیشرو در توسعه استفاده از انرژی خورشیدی برای پیاده‌سازی مدل انتخاب شده است. با این وجود، هنوز هم فاصله زیادی بین چین و سایر کشورهای توسعه‌یافته در ظرفیت نصب‌شده و سطح تکنولوژیکی وجود دارد که می‌تواند نشانه‌ای از پتانسیل بزرگ برای تولید انرژی خورشیدی PV در چین باشد. از طرف دیگر، اصطکاک تجاری بین چین و اروپا در تولید ماژول PV تأثیر جدی بر صنعت تولید تجهیزات PV چینی گذاشت. این نشان می‌دهد که گسترش و سرمایه‌گذاری تولید انرژی خورشیدی PV در چین امری اجتناب‌ناپذیر است. در این بخش، ما برای ارزیابی شدنی و اقتصادی بودن سرمایه‌گذاری در تولید انرژی خورشیدی، از مدل تشریح‌شده در بخش ۳ استفاده خواهیم کرد. باتوجه به اطلاعات دردسترس، سال پایه ۲۰۱۵ و مدت اعتبار سرمایه گذاری ۱۵ سال و اندازه هر مرحله یک سال است. برای سادگی، از مقدار واحد، یعنی مقداری که سیستم PV خورشیدی واحد (kW) در پی می‌آورد، استفاده می کنیم.

تخمین پارامترها:

در این بخش پارامترهای فنی، اقتصادی و عدم‌قطعیت‌های مدل در مطالعه تجربی ما که به طور عمده از اسناد دولتی و مطالعات قبلی گردآوری شده است در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول (۲): پارامترهای فنی، اقتصادی و عدم‌قطعیت‌های مدل

متغیر	شرح	مقدار اولیه	محاسبه
SUB_t	یارانه واحد قیمت	۰,۰۷۵۶ $/kWh	محاسبه توسط معادله ... با داده به دست آمده از اعلامیه ارتقای توسعه سالم صنعت فوتوولتائیک با نقش اهرم
omc	هزینه بهره‌برداری و نگهداری واحد	۰,۰۲۸ $/kWh	به دست آمده از ()
q^e	مقدار برق تولیدشده توسط سلول خورشیدی	۱۵۰۰ کیلوات ساعت	استفاده از ظرفیت تولید واحد سیستم تولید برق خورشیدی در چین
RR	نرخ کاهش سالیانه راندمان سیستم	۰,۰۲	به دست آمده از گزارش توسعه صنعت فوتولتائیک چین در سال ۲۰۱۳
q^c	مقدار کاهش کربن دی اکسید توسط سیستم خورشیدی	۱۵۰۰ کیلووات ساعت	برابر مقدار برق تولیدی
r^v	نرخ مالیات بر ارزش افزوده	۰,۰۸۵	به دست آمده از اعلامیه مالیات بر پروژه تولید برق فوتوولتائیک (وزارت مالی و مالیات، ۲۰۱۳)
r^i	نرخ مالیات بر درآمد شرکت	۰,۲۵	به دست آمده از قانون مالیات بر درآمد شرکت‌ها برای مردم

www.SID.ir

			جمهوری چین (وزارت مالیات، ۲۰۰۷)
r	نرخ تنزیل	۰,۰۸	-
t_v	دوره معتبر سرمایه گذاری	۱۵	دوره ای که سرمایه گذاران حق سرمایه گذاری دارند.
L	عمر سیستم فوتولتائیک	۲۵	-
α_s	نرخ ثابت کاهش یارانه	-۰,۰۶	برابر نرخ رانش هزینه سرمایه گذاری زیرا یارانه با تغییرات هزینه سرمایه گذاری تنظیم می گردد
P^C	قیمت کربن دی اکسید	۰,۰۱۶۸ $/kWh	به دست آمده از تخمین ؟ و میانگین قیمت کربن دی اکسید در بازار معاملات انشارات کربن
α_C	نرخ رانش قیمت کربن دی اکسید	۰,۰۳	محاسبه با استفاده از داده‌های بازار معاملات انشارات کربن و معادله ....
σ_C	نرخ نوسان پذیری قیمت کربن دی اکسید	۰,۰۳	محاسبه با استفاده از داداهای بازار معاملات انشارات کربن و معادله ....
P^f	هزینه سوخت تجدیدناپذیر	۰,۰۴۰۶ $/kWh	استفاده از میانگین هزینه تولید برق نیروگاه‌های زغال سنگ سوز
α_f	نرخ رانش هزینه سوخت تجدیدناپذیر	۰,۰۲	به دست آمده از ...
σ_f	نرخ نوسان پذیری هزینه سوخت تجدیدناپذیر	۰,۰۲	به دست آمده از ...
P^E	قیمت بازار برق	۰,۰۶۰۲ $/kWh	میانگین قیمت برق سولفورزدایی شده در چین
α_E	نرخ رانش قیمت بازار برق	۰,۰۲	برابر نرخ رانش هزینه سوخت تجدیدناپذیر
σ_E	نرخ نوسان پذیری قیمت بازار برق	۰,۰۲	برابر نرخ نوسانپذیری هزینه سوخت تجدیدناپذیر
I_t	هزینه سرمایه گذاری	۱۶۸۰ $/kW	محاسبه شده توسط داده‌ای گزارش توسعه صنعت فوتوولتائیک چین در ۲۰۱۳ و همچنین تحلیل های .....
α_I	نرخ رانش هزینه سرمایه گذاری	-۰,۰۶	محاسبه شده از داده های تغییرات هزینه سرمایه گذاری در چین و معادله ...
σ_I	نرخ نوسان پذیری هزینه سرمایه گذاری	۰,۰۴	محاسبه شده از داده های تغییرات هزینه سرمایه گذاری در چین و معادله ...

پارامترهای متغیرهای تصادفی:

هزینه انرژی تجدیدناپذیر:

از آنجا که تولید برق با استفاده از نیروگاه‌های ذغال سنگ سوز به طور کامل بر تولید برق حرارتی در چین حاکم است، این مقاله به طور میانگین هزینه تولید برق با ذغال سنگ جهت بیان هزینه انرژی‌های تجدیدناپذیر استفاده می‌کند. (لین و وس جونیور، ۲۰۱۳) تخمین زدند که نسبت هزینه ذغال سنگ حدود ٪۶۸ از هزینه انرژی‌های تجدیدناپذیر در چین است. پس هزینه انرژی‌های تجدیدناپذیر را بصورت زیر برآورد می کنیم

$$P^f = P^{Coal} \times \frac{0.466 \times 10^{-4}}{\%\ 68}$$

که P^{Coal} بیانگر نرخ زغال سنگ برحسب دلار بر تن می باشد. در این مطالعه از میانگین قیمت زغال سنگ ماهانه به دست آمده از (http://www.cqcoal.com/) برای محاسبه میانگین قیمت ذغال سنگ استفاده می‌کنیم. مقادیر نرخ رانش و نوسان‌پذیری هزینه انرژی‌های تجدیدناپذیر به طور مستقیم از (ژو و همکاران، ۲۰۱۴) گرفته شده است.

www.SID.ir

قیمت بازار برق:

با ساخت نیروگاه حرارتی (به طور عمده نیروگاه ذغال سنگ) همراه با نصب تأسیسات سولفورزدایی، دولت چین قیمت برق سولفورزدایی‌شده تعیین می‌کند. در حال حاضر ۹۰ درصد نیروگاه های زغال سنگ دارای تاسیسات سولفورزدایی هستند. بنابراین این مقاله از قیمت برق سولفورزدایی برای نشان‌دادن قیمت بازار برق استفاده می کند. داده ها از (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۶) به دست آمده است. مکانیسم قیمت‌گذاری برق به عنوان یک سیستم مبتنی بر بازار فرض شده است که نشان می‌دهد تغییر قیمت برق به هزینه انرژی‌های تجدیدناپذیر بستگی دارد، یعنی نرخ رانش و نوسان‌پذیری برای قیمت برق سولفورزدایی با ق هزینه انرژی‌های تجدیدناپذیر یکسان است.

قیمت کربن دی اکسید:

در سال ۲۰۱۳، هفت استان / شهر در چین طرح های آزمایشی سیاست تجارت انتشارات کربن خود را آغاز کرده است که منبع جدیدی از درآمد برای سرمایه گذاران فراهم می کند. شنژن نخستین شهری است که تجارت کربن را در چین اجرا می کند. با توجه به تخمین در (ژو و فن، ۲۰۱۱)و قیمت روزانه کربن دی اکسید در بازار معاملات کربن شنژن، می توان میانگین قیمت کربن دی اکسید و همچنین نرخ رانش و نوسان‌پذیری کربن دی اکسید را محاسبه کرد.

هزینه سرمایه‌گذاری:

با بهبود قابلیت تحقیق و توسعه و همچنین افزایش ظرفیت نصب شده، هزینه سرمایه‌گذاری در تولید انرژی خورشیدی PV رو به کاهش است. براساس "گزارش توسعه فتوولتائیک چین" (CREIA و CPIA، ۲۰۱۳) و همچنین برآوردهای موجود در (زنگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳) ما هزینه‌های ماژول های PV را در گذر زمان محاسبه می‌کنیم. همچنین، تخمین زده می‌شود که ماژول‌های PV حدود ۶۰٪ از کل هزینه سرمایه‌گذاری در این حوزه را تشکیل می‌دهند. با استفاده از فرمول $I = \frac{I^{PVM}}{60\%}$ که I^{PVM} نشان‌دهنده هزینه ماژول PV می‌باشد، هزینه سرمایه‌گذاری به دست می‌آید.

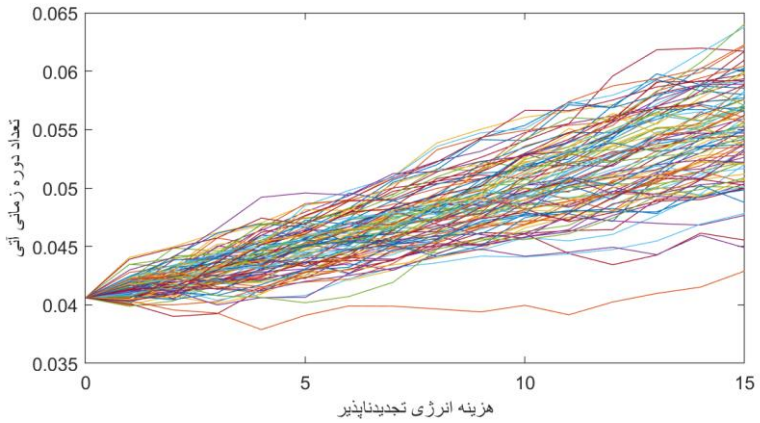
دیگر پارامترهای فنی و اقتصادی:

چین در طی صدور "اطلاعیه ای را برای ارتقاء پیشرفت سالم صنعت PV خورشیدی با در نظر گرفتن نقش اهرم" سطح تعرفه خرید برای برق خورشیدی PV را اعلام نمود (NDRC، 2013). با استناد به این ارقام و میانگین قیمت برق سولفورزدایی‌شده در چین، می توانیم یارانه قیمت واحد را با استفاده از معادله ذکر شده بدست آوریم. با توجه به افزایش آگاهی تأمین مالی موسسات مالی و توسعه تولید انرژی خورشیدی PV، بازده سرمایه گذاری در سیستم خورشیدی PV شروع به کاهش کرده است. در حال حاضر نرخ بازده سرمایه گذاری سیستم خورشیدی PV برای مصارف مسکونی از ۶٪ -۸٪ به ۴,۴٪ -۶,۱٪ کاهش یافته و در سایر سیستم‌های تولید برق PV از ۸٪ -۱۲٪ به ۶,۵٪ -۸,۲٪ کاهش یافته است. با توجه به وضعیت تولید برق خورشیدی PV در چین، فرض می‌کنیم که نرخ تنزیل تولید برق PV خورشیدی ۰,۰۸ است. علاوه بر این ، فرض می کنیم که یک سیستم PV خورشیدی ۲۵ سال عمر دارد.

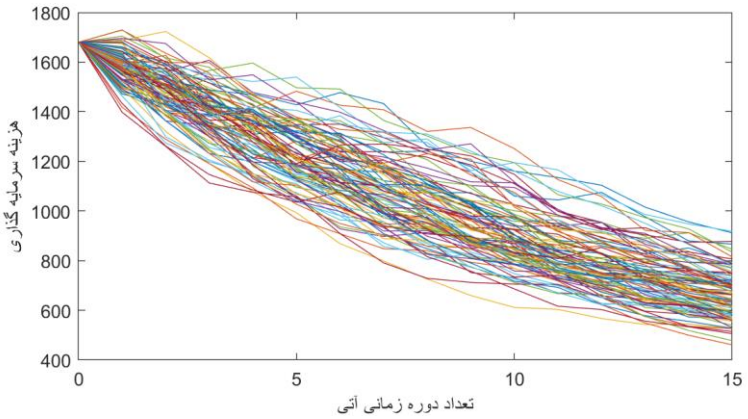
www.SID.ir

نتایج اصلی:

ارزش سرمایه‌گذاری و زمان بهینه سرمایه‌گذاری برای تولید انرژی خورشیدی PV در چین در این بخش بررسی شده است. از آنجا که بیشتر استان‌های چین طرح معامله انتشار کربن را اجرا نمی‌کنند، ما همچنین اثرات احتمالی تجارت انتشار کربن بر ارزش سرمایه‌گذاری و زمان‌بندی بهینه سرمایه‌گذاری را بررسی کرده‌ایم. ما در فرآیند راه حل ۱۰،۰۰۰ شبیه‌سازی انجام می‌دهیم. شکل‌های ۱ تا ۴ تعداد ۱۰۰ از ۱۰،۰۰۰ مسیر شبیه‌سازی هزینه انرژی تجدیدناپذیر، هزینه سرمایه‌گذاری، قیمت برق سولفورزدایی‌شده و قیمت حق انتشار کربن با گذشت زمان را نشان می‌دهد.

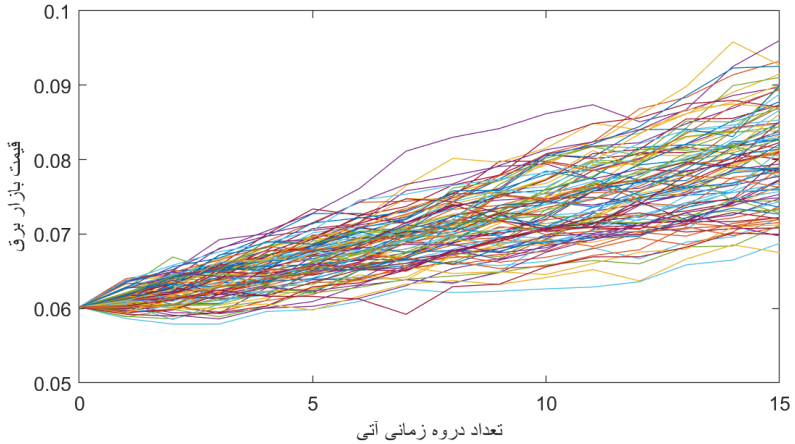


شکل (۱): مسیر شبیه‌سازی‌شده هزینه انرژی تجدیدناپذیر

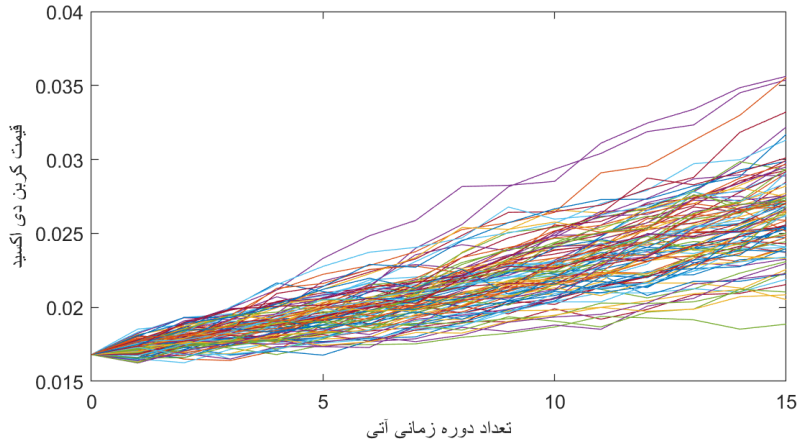


شکل (۲): مسیر شبیه‌سازی‌شده هزینه سرمایه‌گذاری

www.SID.ir



شکل (۳): مسیر شبیه‌سازی‌شده قیمت بازار برق



شکل (۳): مسیر شبیه‌سازی‌شده قیمت کربن دی اکسید

جدول ۴ نتایج زمانی که معاملات انتشارات کربن در نظر گرفته شده یا در نظر گرفته نشده است را نشان می‌دهد. بدون در نظر گرفتن معاملات انتشار کربن، ارزش سرمایه‌گذاری محاسبه‌شده با روش NPV منفی است. وقتی از روش اختیارات واقعی (RO) استفاده می‌شود، مقدار سرمایه‌گذاری ۱۶۵,۹۴۲ دلار می شود. از آنجا که مقدار اختیار تأخیر ۲۲۶,۷۷۲ دلار (۱۶۵,۹۴۲ + ۶۰,۸۳ = ۲۲۶,۷۷۲) است، تصمیم بهینه برای سرمایه‌گذاری فوری نیست. در واقع، زمان سرمایه‌گذاری بهینه سال ۲۰۲۸ است. این ممکن است توضیح دهد که چرا صنعت تولید برق PV خورشیدی در چین به سرعت از منظر سرمایه‌گذاری توسعه نیافته است. هنگامی که معاملات انتشار کربن در نظر گرفته شود، بدون توجه به اینکه از روش NPV یا روش RO استفاده شود، ارزش سرمایه‌گذاری افزایش می‌یابد. ارزش سرمایه‌گذاری مبتنی بر روش NPV برابر با ۳۸۹,۱۴۴ دلار است، به این معنی که می‌توان تصمیم سرمایه‌گذاری فوری گرفت. با این حال، با استفاده از روش اختیارات واقعی، ارزش سرمایه‌گذاری ۲۸۲,۷۳ دلار است و زمان بهینه سرمایه‌گذاری به سال ۲۰۲۶ تبدیل می‌شود، به این معنی که سرمایه‌گذاری باید به تأخیر بیفتد. اگر تصمیم سرمایه‌گذاری فوری اتخاذ شود، مقدار اختیار تأخیر ۱۲۰,۳۵۸ دلار (۲۸۲,۷۳-۱۶۲,۳۷۲ = ۱۲۰,۳۵۸) حذف می شود.

با مقایسه نتایج با و بدون معاملات انتشار کربن، ممکن است متوجه شویم که معاملات انتشار کربن بر ارزش سرمایه‌گذاری و زمان‌بندی بهینه سرمایه‌گذاری تأثیر می‌گذارد و سپس تصمیم سرمایه‌گذاری را تغییر می‌دهد. مقداری که معاملات انتشار کربن با روش NPV (۲۲۳,۲۰۲ دلار) برای سرمایه‌گذاران به ارمغان می‌آورد از مقداری که با روش RO (۱۱۶,۷۸۸ دلار) به دست

www.SID.ir

می‌آید بالاتر است. این که آیا معاملات انتشار کربن را در نظر بگیریم یا نه، ارزش یارانه با RO همیشه کمتر از NPV است. اینها نشان می‌دهد که اهمیت یارانه و معاملات انتشار کربن در ارتقای سرمایه‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر در طولانی‌مدت کاهش می‌یابد. علاوه بر این، ارزش یارانه همیشه بالاتر از ارزش معاملات انتشار کربن است، که نشان می‌دهد تجارت انتشار کربن نمی‌تواند نقش یارانه را در ارتقای سرمایه‌گذاری برای پروژه تولید انرژی خورشیدی به طور موقت جایگزین کند.

علاوه‌براین، ما همچنین می‌توانیم با مقایسه نتایج محاسبه‌شده با این دو روش، تأثیر استفاده از روش اختیارات واقعی نسبت به روش NPV را بیابیم. از یک طرف، از آنجا که تعیین استراتژی سرمایه‌گذاری با روش اختیارات واقعی به صورت مصنوعی، انعطاف‌پذیری مدیریتی سرمایه‌گذار و عدم‌قطعیت‌ها را در تغییرات بلندمدت قیمت کربن‌دی‌اکسید، هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه انرژی تجدیدناپذیر و سیاست یارانه را در نظر می‌گیرد، استراتژی سرمایه‌گذاری انتخاب‌شده، ممکن است فرصت‌های سرمایه‌گذاری آینده را درک کرده و از اطلاعات جدید بهترین استفاده را ببرد و در نتیجه می‌تواند ارزش سرمایه‌گذاری حداکثر را برای سرمایه‌گذاران به ارمغان آورد. در این حالت، سرمایه‌گذاران تمایل بیشتری برای به تأخیر انداختن تصمیم سرمایه‌گذاری دارند که بدیهی است مسیری برای رشد تولید انرژی خورشیدی نیست. از طرف دیگر، دولت می‌تواند دلایل اساسی که رشد بیشتر تولید برق خورشیدی از منظر یک سرمایه‌گذاری را محدود می‌کند، حذف کند. بنابراین دولت می‌تواند سیاست‌های مفیدتر و مناسبی را برای به حداقل رساندن احتمال ریسک سیاست و ترویج سرمایه‌گذاری در پروژه‌های تولید انرژی خورشیدی ارائه دهد.

جدول (۳): نتایج با و بدون معامله انتشار کربن (واحد: دلار بر کیلووات)

سناریو	روش	ارزش سرمایه‌گذاری	ارزش اختیار تاخیر	ارزش معامله کربن	ارزش یارانه	تصمیم سرمایه‌گذاری
با معامله کربن	NPV	-۶۰,۸۳	-	-	۱۰۳۷,۳۳	عدم سرمایه‌گذاری
	RO	۱۶۵,۹۴۲	۲۲۶,۶۶	-	۱۴۵,۹۲۲	سرمایه‌گذاری در ۲۰۲۸
بدون معامله کربن	NPV	۱۶۲,۳۷۲	-	۲۲۳,۱۶	۱۰۳۷,۳۳	سرمایه‌گذاری بدون تاخیر
	RO	۲۸۲,۷۳	۱۲۰,۳۵۸	۱۱۶,۷۸۸	۱۷۲,۵۲۲	سرمایه‌گذاری در ۲۰۲۶

تحلیل حساسیت:

به خوبی شناخته شده است که سرمایه‌گذاری در پروژه تولید انرژی خورشیدی PV توسط عوامل زیادی مانند ظرفیت تولید واحد، سطح یارانه، قیمت بازار برق، قیمت کربن دی اکسید و هزینه سرمایه‌گذاری متاثر می‌شود. بررسی حساسیت ارزش سرمایه‌گذاری و زمان بهینه سرمایه‌گذاری با توجه به این عوامل معنی‌دار است. بر این اساس، ما ممکن است یافته‌های مفیدی در مورد چگونگی ترویج سرمای‌گذاری‌های بیشتر در پروژه تولید انرژی خورشیدی PV داشته باشیم.

ظرفیت تولید واحد:

منبع انرژی خورشیدی، یعنی منابع طبیعی، عمدتاً در ظرفیت تولید واحد برای سیستم PV خورشیدی منعکس شده است. در حال حاضر، ظرفیت تولید واحد خورشیدی از ۱۰۰۰ کیلووات‌ساعت تا ۲۱۰۰ کیلووات‌ساعت در چین است. از یک طرف، سرمایه‌گذاران در مناطقی که ظرفیت تولید واحدی بالایی دارند، سود بیشتری کسب می‌کنند. ارزش سرمایه گذاری از ۹۲,۸۲ دلار در کمترین سطح ظرفیت به ۷۹۴,۰۵۲ دلار در بالاترین سطح ظرفیت با متوسط رشد ۲۱,۷ درصد افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، با افزایش ظرفیت تولید واحد، زمان بهینه سرمایه‌گذاری به سال جلوتر تغییر می‌کند. هنگامی که ظرفیت تولید واحد به بیش از ۱۹۰۰ کیلووات ساعت افزایش یابد، زمان بهینه سرمایه‌گذاری به سال ۲۰۱۶ تبدیل می‌شود، که نشان می‌دهد ممکن است نیازی به ارائه سیاست حمایتی برای سرمایه‌گذاران پروژه خورشیدی در مناطقی با چنین ظرفیت تولید واحد نباشد. با این

www.SID.ir

حال، هنگامی که ظرفیت تولید واحد کمتر از این سطح قرار دارد، باید سیاست حمایتی که می تواند نقش مهمی در ترغیب سرمایه‌گذاران برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های تولید انرژی خورشیدی در اسرع وقت داشته باشد، ارائه شود.

نتایج توصیف شده دارای برخی از پیامدهای سیاستی است. از یک سو، اگرچه چین از منابع انرژی خورشیدی غنی است، اما توزیع منابع انرژی خورشیدی بسیار نابرابر است. بنابراین دولت می‌تواند سیاست های تشویقی یکپارچه در سراسر کشور تنظیم کند، به عنوان مثال تعرفه خرید و انگیزه مالیاتی و آن‌ها را به زیرمنطقه‌ای بودن تبدیل کند، که به تکامل سیستم بازار کمک کند و سرمایه‌گذاری در پروژه تولید برق خورشیدی PV را با حداقل حمایت مالی اضافی ترویج کند. از طرف دیگر، ظرفیت تولید واحد، که با وقف منابع طبیعی تعیین می‌شود، می‌تواند با بهبود راندمان تولید سیستم PV افزایش یابد. سرمایه‌گذار باید برخی اقدامات بعنوان مثال تقویت توانایی تحقیق و توسعه و بهبود مدیریت روزانه، برای افزایش بهره‌وری تولیدی سیستم PV را انجام دهد.

سطح سوبسید مشروح:

دولت ممکن است سیاست‌های مختلفی را به کار گیرد، به عنوان مثال یارانه و انگیزش مالیاتی، جهت تأثیرگذاری بر ارزش سرمایه‌گذاری و زمان بهینه سرمایه‌گذاری که آن‌ها بر تصمیمات سرمایه‌گذاران تأثیرگذار می‌باشند. در مقایسه با یارانه، دامنه و قدرت انگیزش مالیاتی نسبتاً اندک است، بنابراین ما فقط در اینجا یارانه را در نظر می‌گیریم. از نتایجمی‌توان دریافت که تأثیر یارانه قابل توجه است. از یک طرف، ارزش سرمایه گذاری از ۱۱۰،۰۴ دلار به ۹۶۵،۵۸ دلار با میانگین رشد ۲۴/۵ درصد افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، زمان بهینه سرمایه‌گذاری به سال جلوتر تغییر می‌کند. هنگامی که یارانه به ۰،۰۹۸ $ / kWh افزایش می‌یابد، زمان بهینه سرمایه‌گذاری به سال ۲۰۱۶ کاهش میابد. در حال حاضر، متوسط سطح یارانه برای تولید برق خورشیدی PV در چین در حدود ۰،۲۱۶ $ / kWh است که واضحاً به اندازه کافی برای سرمایه‌گذاری فوری پروژه خورشیدی PV جذاب نیست.

تحلیل فوق راهی برای ارزیابی سطح یارانه از منظر سرمایه‌گذاری را ارائه می‌دهد. برای اینکه سرمایه‌گذار فوراً در تولید برق خورشیدی PV سرمایه‌گذاری کند، دولت اکنون باید به درستی سطح یارانه را افزایش دهد. البته، یارانه نمی‌تواند بیش از حد افزایش یابد زیرا عمدتا با هزینه‌های اضافی که از مصرف‌کنندگان دریافت می‌شود، جبران می‌شود. اگر یارانه بیش از حد بالا باشد، سیستم بازار از بین می‌رود و اشتیاق مصرف‌کنندگان به سمت انرژی تجدیدپذیر کاهش می‌یابد. علاوه‌براین، با بهبود بازار و فناوری سال به سال به تدریج سطح یارانه کاهش می‌یابد.

قیمت بازار برق:

تعرفه خرید برق خورشیدی PV در چین مبتنی بر قیمت بازار برق است و مناطق مختلف در چین، قیمت بازار برق مختلفی دارند. از یک طرف، رشد تدریجی قیمت بازار برق سبب افزایش شدید ارزش سرمایه‌گذاری می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش قیمت بازار برق، زمان بهینه سرمایه‌گذاری به سال جلوتر انتقال میابد. هنگامی که قیمت برق به ۰،۱۱۲ $ / kWh افزایش می‌یابد، زمان بهینه سرمایه‌گذاری به سال ۲۰۱۶ کاهش میابد که نشان‌دهنده امکان اتخاذ تصمیمات فوری جهت سرمایه‌گذاری می‌باشد. اگرچه ما نمی‌توانیم قیمت بازار برق را آزادانه افزایش دهیم، اما می‌توانیم یارانه بالاتری را برای سرمایه‌گذاران جهت ارتقای سرمایه‌گذاری در تولید برق از انرژی خورشیدی PV فراهم کنیم.

نوسانات قیمت برق که عمدتا از نوسان هزینه انرژی تجدیدناپذیر ناشی می‌شود، می‌تواند منجر به افزایش ارزش سرمایه‌گذاری با نرخ متوسط ۱۸،۲٪ شود. این با ایده اصلی نظریه اختیارات واقعی سازگار است. علاوه‌براین، با افزایش نوسانات قیمت برق، زمان بهینه سرمایه‌گذاری به تأخیر می‌افتد. زمانی که نرخ نوسانات به ۰،۰۵ افزایش یابد، زمان بهینه سرمایه‌گذاری به سال ۲۰۳۰ موکول می‌شود. اگرچه نوسانات قیمت برق به افزایش ارزش سرمایه‌گذاری کمک می‌کند، اما زمان بهینه سرمایه‌گذاری را به تعویق می‌اندازد. برای حل اثرات منفی ناشی از نوسانات قیمت برق، دولت‌ها می‌توانند دو اقدام انجام دهند. اول، از آنجا که تولید برق ذغال سنگ کاملاً بر تولید برق حرارتی در چین حاکم است، آنها می‌توانند اقدامات مانند بهبود سیستم حقوقی، وضع قوانین مدیریت بازار و تضمین عرضه انجام دهند تا ثبات قیمت زغال سنگ حفظ گردد. دوم، دلیل اینکه سرمایه‌گذاری در تولید انرژی

www.SID.ir

خورشیدی PV می‌تواند از نوسانات قیمت بازار برق تأثیر بپذیرد از مضرات مکانیسم قیمت‌گذاری فعلی انرژی خورشیدی است. طراحی مکانیسم قیمت‌گذاری مناسب‌تر برای انرژی خورشیدی ضروری است و می‌تواند انرژی خورشیدی را از قیمت بازار برق جدا کند.

قیمت کربن دی اکسید:

در سال ۲۰۱۳، چین طرح آزمایشی معاملات انتشارات کربن را در هفت استان و شهر اجرا کرده است. معاملات انتشار کربن نه تنها منبع سود جدیدی را برای سرمایه‌گذاران انرژی تجدیدپذیر به ارمغان می‌آورد بلکه عدم قطعیت محیط سرمایه‌گذاری را نیز بیشتر می‌کند. از شکل ۱۱ می‌توان دریافت که وقتی قیمت کربن دی اکسید از ۰ به ۰,۰۶۷۲ $ / kWh افزایش می‌یابد، ارزش سرمایه‌گذاری از ۱۶۵,۹۴۲ دلار به ۷۶۸,۱۱ دلار افزایش می‌یابد و زمان بهینه سرمایه‌گذاری نیز به سال جلوتر ارتقا میابد. هنگامی که قیمت کربن دی اکسید به ۰,۰۶۷۲ $ / kWh افزایش میابد، تصمیم سرمایه‌گذاری فوری می‌تواند در سال ۲۰۱۶ اتخاذ شود. با اجرای طرح معاملاتی انتشار کربن، دولت ممکن است پرداخت کمتری را به سرمایه‌گذار انجام دهد. دولت چین باید در اسرع وقت یک بازار یکپارچه معاملات انتشارات کربن در سطح کشور ایجاد کند. به نظر ما، قیمت کربن دی اکسید به وسیله تکامل سیاست ملی کاهش انتشار کربن، تعمیق درک مدنی برای ایده کربن کمتر و ارتقای فناوری کم کربن افزایش میابد. می‌توان تصور کرد که طرح معاملاتی انتشار کربن باعث حمایت بیشتر از ارتقای سرمایه‌گذاری در تولید انرژی توسط سلول خورشیدی در آینده خواهد شد.

افزایش نوسانات قیمت کربن دی اکسید می‌تواند ارزش متوسط سرمایه‌گذاری را با متوسط رشد ۷,۹٪ افزایش دهد. با تغییر نرخ نوسانات قیمت کربن دی اکسید از ۰ به ۰,۱، ارزش سرمایه‌گذاری از ۲۷۵,۵۴۸ دلار به ۵۸۰,۳۵۶ دلار افزایش می‌یابد. با این حال، افزایش نوسانات قیمت کربن دی اکسید می‌تواند زمان بهینه سرمایه‌گذاری را به تعویق بیاندازد. با افزایش نرخ نوسانات قیمت کربن دی اکسید به ۰,۰۶ ، زمان بهینه سرمایه‌گذاری می‌تواند تا سال ۲۰۳۰ به تأخیر بیفتد. بنابراین نوسانات قیمت کربن دی اکسید با ارزش سرمایه‌گذاری دارای همبستگی مثبت و با زمان بهینه سرمایه‌گذاری همبستگی منفی است. دولت برای حفظ ثبات قیمت کربن دی اکسید باید تدابیری مانند تکامل سیستم بازار و سیاست، تنظیم قوانین و مقررات مدیریت عملیات و همچنین تقویت همکاری‌های بین المللی با کشورهای اروپایی و آمریکایی که تجربه غنی در تجارت انتشارات کربن دارند را اتخاذ کند. فقط با این کارها می‌توان سرمایه‌گذاری فوری بیشتری جذب کرد و تأثیر منفی نوسانات قیمت کربن دی اکسید را به حداقل رساند.

هزینه سرمایه‌گذاری:

در حال حاضر، فناوری تولید برق خورشیدی PV هنوز نابالغ است. هزینه بالای سرمایه‌گذاری هنوز یکی از مهمترین عوامل مؤثر در سرمایه‌گذاری در پروژه خورشیدی PV است. با افزایش هزینه سرمایه‌گذاری، ارزش سرمایه‌گذاری با نرخ متوسط ۱۴,۹٪ کاهش می‌یابد و زمان بهینه سرمایه‌گذاری به سال بعدتر موکول می‌شود. اگر هزینه سرمایه‌گذاری واحد به ۱۲۶۰ دلار کاهش یابد، می‌توان زمان بهینه سرمایه‌گذاری را به سال ۲۰۱۶ بهبود داد. واضح است که سطح هزینه سرمایه‌گذاری برای افزایش ارزش سرمایه‌گذاری و به جلوآوردن زمان بهینه سرمایه‌گذاری مساعد نیست. هزینه سرمایه‌گذاری اساساً نمی‌تواند با ابزارهای کنترل بازار کاهش یابد. اساسی‌ترین راه، ارتقا و پیشرفت فن‌آوری است. بنابراین، دولت چین باید برخی اقدامات را برای ارتقا و پیشرفت فن‌آوری مانند افزایش هزینه‌های تحقیق و توسعه، ایجاد مکانیسم تضمین سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه، فرهنگ سازی بین پرسنل جهت تحقیق و توسعه با کیفیت بالا و تقویت همکاری‌های بین المللی با کشورهایی که دارای فناوری پیشرفته هستند، انجام دهد.

براساس تئوری اختیارات واقعی، افزایش نوسانات هزینه سرمایه‌گذاری منجر به کاهش تدریجی هزینه سرمایه‌گذاری در بلندمدت نمی‌شود. در این حالت، روند کاهش بلندمدت هزینه سرمایه گذاری کند شده و مزیت هزینه در آینده کاهش می‌یابد. بنابراین، هنگامی که نرخ نوسانات هزینه سرمایه گذاری از ۰ با میانگین نرخ رشد ۰,۵٪ به ۰,۱ افزایش یابد، ارزش سرمایه‌گذاری از ۲۹۴,۸۲۶ دلار به ۲۷۹,۴۴ دلار کاهش می‌یابد. در همین زمان، زمان بهینه سرمایه‌گذاری به تدریج از سال ۲۰۲۷ به سال ۲۰۲۳

www.SID.ir

با افزایش نوسانات هزینه سرمایه‌گذاری جلو می آید. اگرچه افزایش نوسانات هزینه سرمایه‌گذاری می‌تواند زمان بهینه سرمایه‌گذاری را به جلو بیاورد، اما به دلیل تأثیرات عکس آن بر کاهش هزینه سرمایه‌گذاری و رشد ارزش سرمایه گذاری سبب توسعه تولید برق خورشیدی نمی‌شود.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان یکی از راه‌های مهم برای رفع تغییرات آب و هوا، امنیت انرژی و توسعه پایدار در چین شناخته شده است. جذب سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر نقش مهمی در ترویج انتشار انرژی تجدیدپذیر و تغییر الگوی رشد اقتصادی دارد. بر اساس تئوری اختیارات واقعی، این مقاله مدلی را برای ارزیابی سرمایه‌گذاری انرژی تجدیدپذیر ارائه می‌دهد. عدم اطمینان در قیمت کربن دی اکسید، هزینه انرژی تجدیدناپذیر، هزینه سرمایه‌گذاری انرژی تجدیدپذیر و قیمت بازار برق تماماً در نظر گرفته شده است. یک مکانیزم پویای یارانه ای جهت نمایش تغییرات بلندمدت زمان و قدرت سیاست حمایتی ساخته شده است. برای حل این مدل از روش برنامه نویسی پویا رو به عقب و روش مونته کارلو استفاده شده است. با استفاده از مدل پیشنهادی، می‌توان ارزش سرمایه‌گذاری و زمان بهینه سرمایه‌گذاری انرژی تجدیدپذیر را ارزیابی کرد. تأثیر ظرفیت تولید واحد، یارانه، قیمت بازار برق، قیمت کربن دی اکسید و هزینه سرمایه‌گذاری بر ارزش سرمایه‌گذاری و زمان بهینه سرمایه‌گذاری نیز با تحلیل حساسیت مورد بررسی قرار گرفته است.

مطالعه تجربی ما در مورد ارزیابی تولید انرژی خورشیدی PV در چین چندین یافته جالب دارد. اول، ما می‌دانیم که محیط سرمایه‌گذاری فعلی در چین به اندازه کافی مثبت برای جذب سرمایه‌گذاری فوری نیست و این می‌تواند توضیح دهد که چرا توسعه صنعت تولید انرژی PV خورشیدی در چین آنقدر سریع نیست که مردم انتظار داشته‌اند. دوم، هنگامی که معاملات انتشار کربن در نظر گرفته می‌شود، ارزش سرمایه‌گذاری تمایل زیادی به افزایش دارد و زمان بهینه سرمایه‌گذاری نیز می‌تواند به سال جلوتر تغییر یابد. سوم، افزایش ظرفیت تولید واحد، قیمت بازار برق، قیمت کربن دی اکسید و یارانه می‌تواند ارزش سرمایه گذاری را افزایش داده و زمان بهینه سرمایه‌گذاری را به جلو بیاندازد، در حالی که افزایش هزینه سرمایه‌گذاری نقش متفاوتی دارد. نوسانات قیمت بازار برق و قیمت کربن دی اکسید می‌تواند زمان بهینه سرمایه‌گذاری را به تاخیر اندازد، هرچند باعث افزایش ارزش سرمایه‌گذاری می‌شود. نوسانات هزینه سرمایه‌گذاری می‌تواند کمی زمان بهینه سرمایه‌گذاری را به جلو بیاورد و ارزش سرمایه‌گذاری را کاهش دهد.

این نتایج دارای پیامدهای مهم در سیاست است. اول، دولت چین باید یارانه را افزایش دهد تا سرمایه‌گذاری بدون تأخیر به استراتژی بهینه برای سرمایه‌گذاران تبدیل شود. دوم، حفظ ثبات شرایط بازار از جمله قیمت کربن دی‌اکسید و قیمت بازار برق نیز برای جذب سرمایه‌گذاری فوری مهم است. این نشان می دهد که افزایش یارانه باید همراه با حفظ ثبات شرایط بازار انجام شود. در غیر این صورت، تأثیر سیاست‌ها بسیار کاهش می‌یابد و بار مالی دولت به طور جدی افزایش می‌یابد. سوم، دولت چین باید اقدامات مختلفی را مانند افزایش هزینه‌های تحقیق و توسعه، ایجاد مکانیسم تضمین سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه، فرهنگ‌سازی بین پرسنل جهت تحقیق و توسعه با کیفیت بالا و تقویت همکاری های بین المللی برای پیشرفت فناوری انجام دهد. علاوه‌براین، باید یک بازار یکپارچه معاملات انتشار کربن در سطح کشور در اسرع وقت برقرار شود و سیستم بازار و سیاست و همچنین مدیریت عملکرد برای تجارت انتشار کربن بهبود یابد.

در حالی که مدل پیشنهادی ما موقعیت‌های واقعی در چین را تا حد امکان در نظر می‌گیرد، با توجه به پیچیدگی سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر، ناگزیر محدودیت‌هایی دارد. اول، عوامل مؤثر دیگری وجود دارد که در مطالعه ما مورد توجه قرار نمی‌گیرد. دوم، بهبود بهره‌وری تولید برق ناشی از پیشرفت تکنولوژی در این مقاله در نظر گرفته نشده است. سوم، به دلیل محدودیت داده‌ها، ما فقط از حرکت براونی هندسی برای توصیف عوامل نامشخص استفاده می‌کنیم که ممکن است کافی نباشند و مقادیر دقیق نرخ رانش و میزان نوسانات نیز برای برآورد دشوار است و می توان تحقیقات بیشتری برای بهبود مدل ارزیابی با پرداختن به این محدودیت‌ها انجام داد. شایان ذکر است، با توجه به اهمیت سایر انواع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان از مدل پیشنهادی برای ارزیابی سایر پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص آن‌ها استفاده کرد.

www.SID.ir

۵. منابع

Abadie, L.M., Chamorro, J.M., 2008. European CO2 Prices and carbon capture investments. Energy Economics 30, 2992-3015.
Bockman, T., Fleten, S., Juliussen, E., Langhammer, H., Revdal, I., 2008. Investment timing and optimal capacity choice for small hydropower projects. European Journal of Operational Research 190, 255-267.
Boomsma, T.K., Meade, N., Fleten S.E., 2012. Renewable energy investments under differeent support schemes: a real options approach. European Journal of Operational Research 220, 225-237.
Chinese photovoltaic Industry Alliance (CPIA), China Resources and Energy Association (CREIA). 2013. China photovoltaic development report. Chinese photovoltaic Industry Alliance and China Resources and Energy Association, Beijing (in Chinese).
Davis, G., Owens, B., 2003. Optimizing the level of renewable electric R&D expenditures using real options analysis. Energy Policy 31, 1589-1608.
Detert, N., Kotani, K., 2013. Real option approach to renewable energy investments in Mongolia. Energy Policy 56, 136-150.
Dixit, A.K., Pindyck, R.S., 1994. Investment under uncertainty. Princeton University Press, Princeton, NJ.
Dixit, A.K., Pindyck, R.S., 1995. The options approach to capital investment. Harvard Business Review 73, 105-115.
Fan, Y., Zhu, L., 2010. A real options based model and its application to China's overseas oil investment decisions. Energy Economics 32, 627-637.
Fan, Y., Mo, J.L., Zhu, L., 2013. Evaluating coal bed methane investment in China based on a real options model. Resource Policy 38: 50-59.
Fleten S.E., Maribu K.M., Wandensteen I., 2007. Optimal investment strategies in decentralized renewable power generation under uncertainty. Energy 32, 803-815.
Fuss, S., Szolgayova, J., Obersteiner, M., 2008. Gusti M. Investment under market and climate policy uncertainty. Applied Energy 85: 708-721.
Gollier, C., David, P., Françoise, T., Gilles W., 2005. Choice of nuclear power investments under price uncertainty: Valuing modularity. Energy Economics 27, 667-685.
Hach, D., Spinler, S., 2016. Capacity payment impact on gas-fired generation investments under rising renewable feed-in—A real options analysis. Energy Economics 53, 270-280.
Heydari, S., Ovenden, N., Siddiqui, A., 2012. A real options analysis of investment in carbon capture and sequestration technology. Computational Management Science 9, 109-138.
Insley, M., 2002. A real options approach to the valuation of a forest investment. Journal of Environmental Economics and Management 44, 471–492.
Kjaerland, F., 2007. A real option analysis of investments in hydropower-the case of Norway. Energy Policy 35, 5901-5908.
Kumbaroglu, G., Madlener, R., Demirel, M., 2008. A real options evaluation model for the diffusion prospects of new renewable power generation technologies. Energy Economics 30, 1882-1908.
Lavenberg, S.S., Welch, P.D., 1981. A perspective on the use of control variables to increase the efficiency of Monte Carlo Simulations. Management Science 27, 322-335.
Lee, S.C., Shih, L.H., 2010. Renewable energy policy evaluation using real option model - The case of Taiwan. Energy Economics 32, 67-78.
Lee, S.C., 2011. Using real option analysis for highly uncertain technology investments: The case of wind energy technology. Renewable and Sustainable Energy Review 15, 4443-450.
Lin, B.Q., Wesseh Jr, P.K., 2013. Valuing Chinese feed-in tariffs program for solar power generation: A real options analysis. Renewable and Sustainable Energy Review 28, 474-482.
Longstaff, F.A., Schwartz, E.S., 2001. Valuing American options by simulation: A simple least square approach. The Review of Financial Studies 14, 113-147.
Manuel, M.B., Jose, BI., 2013. Valuation of projects for power generation with renewable energy: A comparative study based on real regulatory options. Energy
Policy 55, 335-352.
Ministry of Finance and State Administration of Taxation, 2013. Notice on the tax of PV power generation project. Ministry of Finance and State Administration of Taxation, Beijing (in Chinese).
National Development and Reform Commission (NDRC), 2006. Trial Measures for the management of renewable energy power generation prices and cost sharing. NDRC Pricing Bureau, Beijing (in Chinese).
National Development and Reform Commission (NDRC), 2013. Notice on promoting the healthy development of solar PV industry by the role of leverage. NDRC, Beijing (in Chinese).

www.SID.ir

National Development and Reform Commission (NDRC). 2015. Notice on reducing the price of coal-fired electricity and electricity prices for industrial and commercial use in 2015. NDRC Pricing Bureau, Beijing (in Chinese).
National Energy Administration. 2014. Photovoltaic power generation statistics in 2014. Retrieved from http://www.nea.gov.cn/2015-03/09/c_134049519.htm.
Pringles, R., Olsina, F., Garces, F., 2015. Real option valuation of power transmission investments by stochastic simulation. Energy Economics 47, 215-226.
Reuter, W.H., Szolgayova, J., Fuss, S., Obersteiner, M., 2012. Renewable energy investment: Policy and market impacts. Applied Energy 97, 249-254.
Rigter, J., Vidican, G., 2010. Cost and optimal feed-in-tariff for small scale photovoltaic system in China. Energy Policy 38, 6989-7000.
Shahnazari, M., McHugh, A., Maybee, B., 2014. 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, 271-279.
Schmidt, J., Lehecka, G., Gass, V., Schmid, E., 2013. 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, 269-276.
Siddiqui, A., Marnay, C., Wiser, R.H., 2007. Real options valuation of US federal renewable energy research, development, demonstration, and deployment. Energy Policy 35, 265-279.
Siddiqui, A., Fleten, S.E., 2010. How to proceed with competing alternative energy technologies: a real options analysis. Energy Economics 32, 817-830.
Siddiqui, A., Tanaka, M., Chen, Y., 2016. Are targets for renewable portfolio standards too low? The impacts of market structure on energy policy. European Journal of Operational Research 250, 328-341.
State Administration of Taxation, 2007. Corporate Income Tax Law of the People's Republic of China. State Administration of Taxation, Beijing (in Chinese).
Venetsanos, K., Angelopoulou, P., Tsoutsos, T., 2002. Renewable energy sources project appraisal under uncertainty-The case of wind energy exploitation. Energy Policy 30, 293-307.
Welling, A., 2016. The paradox effects of uncertainty and flexibility on investment in renewable under governmental support. European Journal of Operational Research 251, 1016-2018.
Wesseh Jr, P.K., Lin, B.Q., 2015. Renewable energy technologies as beacon of cleaner production: a real options valuation analysis for Liberia. Journal of Cleaner Production 90, 300-310.
Wesseh Jr, P.K., Lin, B.Q., 2016. A real options valuation of Chinese wind energy technologies for power generation: do benefits from the feed-in tariffs outweigh costs? Journal of Cleaner Production 112, 1591-1599.
Yang, M., Willian, B., Richard, B., Derek. B., Clarlie, C., Tom, W., 2008. Evaluating the power investment options with uncertainty in climate policy. Energy Economics 30, 1933-1950.
Zeng, M., Lu, W., Duan, J.H., Li, N., 2012, Study on the cost of solar photovoltaic power generation using double-factors learning curve model. Modern Electric Power 29(5), 72-76 (in Chinese).
Zhang, M.M., Zhou, D., Zhou, P., 2014. A real option model for renewable energy policy evaluation with application to solar PV power generation in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews 40, 944-955.
Zhang, W., Liu, R.F., Liu, J., Pan, W.Y., Chen, T.E., 2013. Cost and trend prediction model of photovoltaic power generation based on multi factor analysis. Shannxi Electricity 11, 17-20 (in Chinese).
Zhou, W.J., Zhu, B., Chen, D.J., Zhao, F.X., Fei, W.Y., 2014. How policy choice affects investment in low-carbon technology: The case of CO2 capture in indirect coal liquefaction in China. Energy 73, 670-679.
Zhu, L., Fan, Y., 2011. A real options-based CCS investment evaluation model: Case study of China's power generation sector. Applied Energy 88, 4320-4333.
Zhu, L., 2012. A simulation based real options approach for the investment evaluation of nuclear power. Computer & Industrial Engineering 63, 585-593.
Zhu, L., Fan Y., 2013. Modelling the investment in carbon capture retrofits of pulverized coal-fired plants. Energy 57, 66-75.

www.SID.ir