

طراحی مدلی برای قیمت‌گذاری فناوری بیوگاز در ایران با رویکرد پویایی سیستم

رستم بهمردی کلاتری*

علی اصغر توفیق**، محمدعلی شفیعا***

چکیده

افزایش تقاضا برای انرژی، محدودبودن منابع انرژی فسیلی، و انتشار گازهای گل‌خانه‌ای سبب افزایش توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر شده است. یکی از مسائل عمده در این زمینه تعیین روش مناسب قیمت‌گذاری است. در قیمت‌گذاری فناوری‌های تجدیدپذیر متغیرهای کلان و خرد زیادی دخیل‌اند که ترکیب آن‌ها حالت‌های عدم اطمینان زیادی را ایجاد می‌کنند؛ بنابراین، طراحی مدلی که علاوه بر متغیرها روابط متقابل آن‌ها را نیز شامل شود سبب افزایش دقت قیمت‌گذاری می‌شود. در این مقاله با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها و شبیه‌سازی مونت کارلو تأثیرگذاری متغیرها در یک‌دیگر و مقادیر احتمالی آن‌ها در آینده تعیین شده است و سپس با استفاده از شبیه‌سازی مدل قیمت فناوری در آینده مشخص می‌شود. نتیجه این‌که متغیرهای دولتی به‌نسبت بازار تأثیر بیشتری در قیمت و توسعه فناوری دارند. در نهایت، مشخص شد که یارانه بالاترین تأثیر را در روند گسترش و تعیین قیمت فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر دارد.

کلیدواژه‌ها: پویایی‌شناسی سیستم‌ها، انرژی تجدیدپذیر، منحنی یادگیری، مونت کارلو، هاضم بی‌هواز.

طبقه‌بندی JEL: C13، C81.

* دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت فناوری و نوآوری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (نویسنده مسئول)

Behmardi@aut.ac.ir

** دانشیار دانشکده مدیریت و مهندسی سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Ali.a.tofigh@gmail.com

*** دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، Omidshafia@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۸

۱. مقدمه

فناوری از لحاظ اقتصادی اهمیت فراوانی دارد، تحقیقات اقتصاددانان حاکی از آن است که هفتاد درصد از رشد کشورهای توسعه یافته برای فناوری است. در سال‌های اخیر و با افزایش شرکت‌های دانش بنیان، پارک‌های علم و فناوری، مراکز تجاری سازی فناوری، و هم چنین، شکل گیری انواع قراردادهای اعطای امتیاز، انتقال فناوری، یا سرمایه گذاری خطرپذیر، قیمت گذاری فناوری جایگاه خاصی در مسائل مدیریت فناوری پیدا کرده است. طبق تحقیقات انجام شده بر تأمین کنندگان و دریافت کنندگان فناوری مشخص شد که قیمت اولین منبع اختلاف آن‌هاست (Baashe and Duer 1975).

زندگی روزمره انسان‌ها وابستگی شدیدی به تولید و مصرف انرژی دارد؛ بنابراین عرضه و تقاضای آن در جوامع بشری به طور مستمر رو به افزایش است. در حال حاضر، بیش از ۷۵ درصد کل انرژی مصرفی جهان را منابع هیدروکربنی تأمین می‌کند. سوخت‌های فسیلی با تولید گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در فرایند تبدیل و در نتیجه، تخریب لایه ازن زیست بوم را به شدت مورد تهدید قرار داده‌اند و موجب گرم شدن بیش تر کره زمین می‌شوند. بنابراین، به منظور حفظ محیط زیست توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری به نظر می‌رسد. بیوگاز از جمله منابع مهم انرژی تجدیدپذیر است و امکان استفاده بهینه از آن در سال‌های اخیر مورد توجه کشورهای مختلف، به خصوص کشورهای که از این منبع برخوردارند، قرار گرفته است. یکی از روش‌های تولید بیوگاز هاضم بی‌هوازی است. هضم بی‌هوازی فرایندی طبیعی است که در آن میکروارگانیسم‌ها مواد ارگانیک را در نبود اکسیژن به بیوگاز (ترکیبی از دی‌اکسید کربن و متان) و ماده گواریده (هضم شده) تبدیل می‌کند. هاضم بی‌هوازی در مقایسه با دیگر فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر مزایای بیش تری، مانند توانایی تولید پیوسته انرژی برخلاف انرژی بادی، خورشیدی، و جزر و مد و هم چنین، قابلیت ذخیره گاز خروجی در شبکه دارد. علاوه بر این، متان جزو معدود سوخت‌های تجدیدپذیر است که برای وسایل نقلیه سنگین مناسب است. ساخت تجهیزات هاضم بی‌هوازی تقریباً سریع است و در مقایسه با دیگر فناوری‌های مدیریت ضایعات ارزان تر است. ورودی و خروجی آن قابل انعطاف است و واحد فرایند هضم بی‌هوازی می‌تواند بر اساس وضعیت محلی و مواد خام اولیه طراحی شود و به شبکه گاز یا برق متصل شود. هم چنین، با تولید کودهایی با کربن پایین برای کشاورزی مواد آلی می‌توانند مجدداً در مزارع مورد استفاده قرار گیرند و سبب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شوند.

آمارها و بررسی‌ها نشان می‌دهند که میزان بهره‌برداری از بیوگاز در ایران در مقایسه با بسیاری از کشورها، حتی برخی از کشورهای همسایه نظیر ترکیه ناچیز است (عدل و علی‌قارداشی ۱۳۸۰). با توجه به مطالب بیان‌شده، یکی از گام‌های اساسی در ترویج فناوری بیوگاز قیمت‌گذاری است. با توجه به ماهیت انرژی‌های تجدیدپذیر علاوه بر عوامل معمول در ارزش‌گذاری فناوری عوامل دیگری از جمله سیاست‌های دولتی و قوانین بین‌المللی در قیمت این فناوری‌ها اثرگذار است.

در این مقاله با مطالعه کتاب‌خانه‌ای عوامل مؤثر در قیمت‌گذاری فناوری تعیین شد. سپس، نحوه ارتباطات متغیرهای یادشده به صورت روابط ریاضی بیان شد. در انتها، با استفاده از روش سیستم دینامیک (system dynamics)، که به عقیده بسیاری از صاحب‌نظران بهترین روش برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده است، یک مدل دینامیک طراحی شد و با استفاده از شبیه‌سازی قیمت هاضم بی‌هوازی بیوگاز (anaerobic digester) تعیین شده است.

۱.۱ بیوگاز

بیوگاز وقتی تولید می‌شود که میکروارگان‌های به‌خصوصی مواد آلی را در محیطی عاری از اکسیژن تجزیه کنند. این فرایند می‌تواند درون دفن‌گاه‌ها، فاضلاب، واحدهای هاضم بی‌هوازی، و همچنین هنگام تبخیر گرمایی مواد آلی انجام شود (Norin 1998). بسته به نوع مواد و نوع واحد هاضم بی‌هوازی محتوای متان در بیوگاز متفاوت است.

مشاهده می‌شود که بیوگاز حاصل از دفن‌گاه در مقایسه با دیگر روش‌ها دارای متان کم‌تر و نیتروژن بیش‌تری است. همچنین، هضم بی‌هوازی پس‌ماند آلی دارای بیش‌ترین بازده و بهترین کیفیت است.

هضم مواد آلی علاوه بر دفن‌گاه‌ها در مخزن‌های هاضم نیز انجام می‌شود. در روش مخزنی امکان کنترل دما و رطوبت فراهم است و قسمت اعظم انرژی مواد به گاز متان تبدیل می‌شود. روش بی‌هوازی در مقایسه با روش هضم هوازی گرمای کم‌تری تولید می‌کند و مواد زائد باقی‌مانده در آن نیز کم‌تر است. فرایند بی‌هوازی در صورت کنترل دما بهتر عمل می‌کند. ترکیبات بیوگاز به مواد اولیه، فرایند تولید، و نحوه جمع‌آوری آن بستگی دارد. گاز تولیدی در مخازن در مقایسه با گاز تولیدی از دفن‌گاه‌ها محتوای انرژی بیش‌تری دارد که علت اصلی آن فرایند کنترل‌شده در مخازن هاضم در مقابل ورود جریان هوای ناخواسته به درون دفن‌گاه است.

از نظر خصوصیات، بیوگاز بین گاز شهری و گاز طبیعی قرار دارد. در برخی کاربری‌ها خصوصیات کیفی بیوگاز باید بهبود یابد. پارامترهایی که باید از بیوگاز جدا شود H₂S، آب، دی‌اکسیدکربن، ترکیبات آلی هالوژنه، و ترکیبات آلی سیلیس دار (سیلوکسان‌ها) است. برای استفاده از بیوگاز برای سوخت نقلیه باید گاز پالایش و به‌سازی یابد و متان به سطح ۹۷ درصد برسد. هر مترمکعب گاز سبز تولیدی معادل یک لیتر گازوئیل است و بیوگاز بهترین سوخت دوست‌دار طبیعت است که علاوه بر کاهش گازهای گل‌خانه‌ای باعث کاهش انتشار اکسید نیتروژن NO_x، هیدروکربن، و ذرات ریز می‌شود. بیوگاز به‌منزله یکی از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر که در چهار دهه اخیر در کشور ایران مورد توجه قرار گرفته است در مقایسه با برخی از کشورهای جهان نتوانسته به جایگاهی هم‌سان دست یابد. ظرفیت نامی نیروگاهی نصب‌شده با بهره‌برداری از بیوگاز در ایران در پایان سال ۱۳۹۰ حدود ۶/۴ مگاوات بود که در مقایسه با کشورهای پیشرفته صنعتی (هم‌چون آلمان با بیش از ۲۹۰۰ مگاوات ظرفیت نصب‌شده نیروگاهی بیوگاز در همان زمان) و حتی برخی از کشورهای منطقه (هم‌چون ترکیه با بیش از صد مگاوات ظرفیت نصب‌شده) رقم کوچکی است.

۲. پیشینه تحقیق

در بین تمامی روش‌های ارزش‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر دو روش ارزش‌گذاری مشروط (contingent valuation method/ CVM) و تنزیل جریان نقدی (discount cash fellow/ DCF) به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روش CVM به‌صورت عمده در حوزه منابع انرژی عمومی با به‌کارگیری روش علاقه‌مندی به خرید (willingness to pay/ WTP) کاربرد داشته است. بدین صورت که نمونه تصادفی از مردم انتخاب می‌شود، سپس در مورد میزان هزینه‌ای که حاضرند برای یک منبع انرژی تجدیدپذیر پرداخت کنند سؤال می‌شود و در نهایت، این پاسخ به ارزش پولی برای فناوری تبدیل می‌شود. روش DCF با تکیه بر ارزش اقتصادی پول همه درآمدهای آتی حاصل از فناوری را محاسبه می‌کند و سپس تعیین می‌کند که آیا فناوری سودآور است یا خیر. با توجه به توضیحات ارائه‌شده، مشخص می‌شود که این دو روش برای ارزش‌گذاری فناوری در کوتاه‌مدت و با عدم اطمینان کم مناسب‌اند، اما برای ارزش‌گذاری فناوری‌های تجدیدپذیر که تعداد عدم قطعیت آن در طولانی‌مدت زیاد است و علاوه بر آن در سرمایه‌گذاری در بخش R&D و سیاست‌ها و قوانین دولت‌ها نیز

عدم قطعیت بیش‌تری را ایجاد می‌کند، این روش‌ها مناسب نیستند. بنابراین، روش جای‌گزین گزینه واقعی (real option) معرفی شد (Junginger et al. 2006; ETSAP 2015). داویس و اونس در سال ۲۰۰۲ هر دو روش‌های گزینه واقعی و روش تنزیل‌شده نقدی را برای قیمت‌گذاری فناوری تجدیدپذیر استفاده کردند و نتیجه گرفتند که روش تنزیل‌شده جریان نقدی بدون در نظر گرفتن عوامل ایجادکننده عدم اطمینان مانند نوسان‌های قیمت بنزین برای انرژی‌های تجدیدپذیر مناسب نخواهد بود. از این‌رو، محققان سعی کردند تا روش گزینه واقعی را با الگوی شبکه‌بندی دودویی (binomial lattice model) و روش‌های برنامه‌ریزی پویا بهبود دهند. روش گزینه واقعی بسیاری از متغیرهای تأثیرگذار را در قیمت‌گذاری فناوری در بر می‌گیرد، ولی قادر به ترسیم روابط آن‌ها نیست. علاوه‌بر محدودیت‌های بیان‌شده، این روش‌ها تلاش‌های اندکی درباره طراحی مدلی برای قیمت‌گذاری فناوری در بلندمدت در خصوص انرژی‌های تجدیدپذیر کرده‌اند (Kumbaroğlu et al. 2008; Fleten et al. 2007). با توجه به مشکلات مورد بحث مدل پیشنهادی‌ای که علاوه‌بر دربرگیری تمامی متغیرهای تأثیرگذار در قیمت فناوری، روابط متقابل متغیرها را نیز شبیه‌سازی می‌کند و با بهره‌گیری از شبیه‌سازی مونت کارلو دقت پیش‌بینی را در بلندمدت بهبود می‌دهد ابزاری مناسب برای قیمت‌گذاری فناوری محسوب می‌شود.

۱.۲ پویایی‌شناسی سیستم‌ها

پویایی سیستم‌ها متدلوژی برای مطالعه و مدیریت سیستم‌های پیچیده و دارای بازخورد است. این سیستم‌ها می‌توانند در حوزه‌های مختلفی مثل کسب‌وکار، اقتصاد، محیط زیست، مدیریت انرژی، مسائل شهری، و دیگر حوزه‌های اجتماعی و انسانی وجود داشته باشند.

رویکرد پویایی سیستم‌ها را در اوایل سال‌های دهه ۱۹۶۰ جی فارستر از دانشگاه MIT معرفی کرد. ایده اولیه شکل‌گیری این حوزه پروژه‌ای بود که فارستر برای شرکت جنرال الکتریک انجام داد. در این پروژه سؤال کارفرما این بود که چه عواملی باعث نوسان در سیستم موجودی و انبار و به دنبال آن، نیروی انسانی شرکت می‌شود. تحقیقی که فارستر در این موضوع انجام داد این ایده را شکل داد که از قواعد موجود در کنترل سیستم‌ها در حوزه مهندسی برق و مکانیک می‌توان برای سیستم‌های اجتماعی نیز استفاده

کرد. در این رویکرد تصویری از سیستم براساس بازخوردها و تأخیرهای موجود ایجاد می‌شود تا رفتار دینامیکی سیستم‌های پیچیده فیزیکی، زیستی، و اجتماعی بهتر فهمیده شود. می‌توان گفت که مهم‌ترین اصل اساسی‌ای که پویایی سیستم‌ها بیان می‌دارند این است که بازخوردها و تأخیرها رفتار سیستم‌ها را می‌سازند و پویایی رفتاری سیستم نتیجه ساختار حاکم بر سیستم است (Forrester 1989).

۳. فرضیه پویا و نمودارهای علی و معلولی

در این بخش تمامی فرض‌های پویا و نمودارهای علی و معلولی مفروض در مدل تشریح شده است.

۱.۳ تأثیر یادگیری در قیمت فناوری

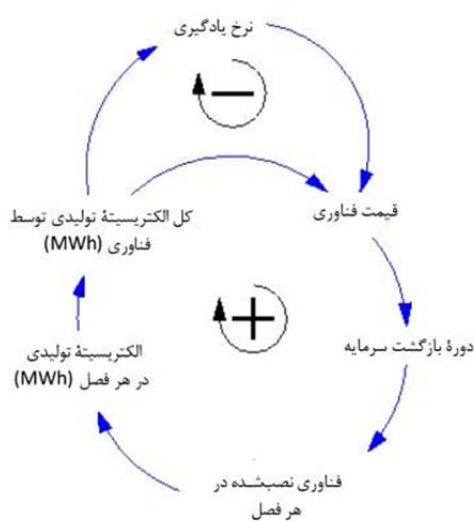
فرایند یادگیری در فناوری‌های بیوماس به سه بخش عرضه سوخت اولیه، هزینه سرمایه‌گذاری و عملیات، و تولید انرژی تقسیم می‌شود و به هر یک ضریب یادگیری مجزایی تخصیص می‌یابد (IEA/ OECD 2000). طبق داده‌های جمع‌آوری شده از سازمان بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر (ETSAP 2015) و مقاله جانجینگر و همکاران (Junginger et al. 2006) ضریب یادگیری فناوری در مورد بازده الکتریسیته تولیدی و سرمایه‌گذاری وجود دارد و در بقیه موارد ضریب یادگیری نزدیک به صفر است.

باتوجه به مطالعات انجام شده جانجینگر بهترین معیار برای تعیین پارامتر یادگیری مقدار الکتریسیته تولیدی است. علت این انتخاب آن است که تعداد فناوری‌های هاضم بی‌هوازی اندک است و استفاده از این معیار عدم قطعیت فراوانی را به وجود می‌آورد (Junginger et al. 2006).

با مطالعات مقالات، گزارش‌های سازمان بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، و اتحادیه اروپا نرخ یادگیری برای فناوری بیوگاز به صورت تابع توزیع یک‌نواخت پیوسته $U[0.05, 0.082]$ در نظر گرفته شده است (IEA/ OECD 2000; ETSAP 2015; Neij 2008; www.jrc.ec.europa.eu).

با افزایش میزان تجمعی الکتریسیته تولیدی توسط فناوری طبق فرایند یادگیری قیمت فناوری کاهش می‌یابد که باعث کاهش دوره بازگشت سرمایه می‌شود. سپس، سرمایه‌گذاران به سرمایه‌گذاری راغب می‌شوند و تعداد فناوری نصب شده و میزان تجمعی

الکتریسیته تولیدی افزایش می‌یابد. این حلقه به‌طور دائم تکرار می‌شود و باعث کاهش قیمت فناوری می‌گردد. از سوی دیگر، هنگامی که الکتریسیته تولیدی از حد مجازی تجاوز کند، دیگر نرخ یادگیری به صفر می‌رسد و قیمت فناوری ثابت می‌شود. این حلقه در شکل ۱ نشان داده شده است.

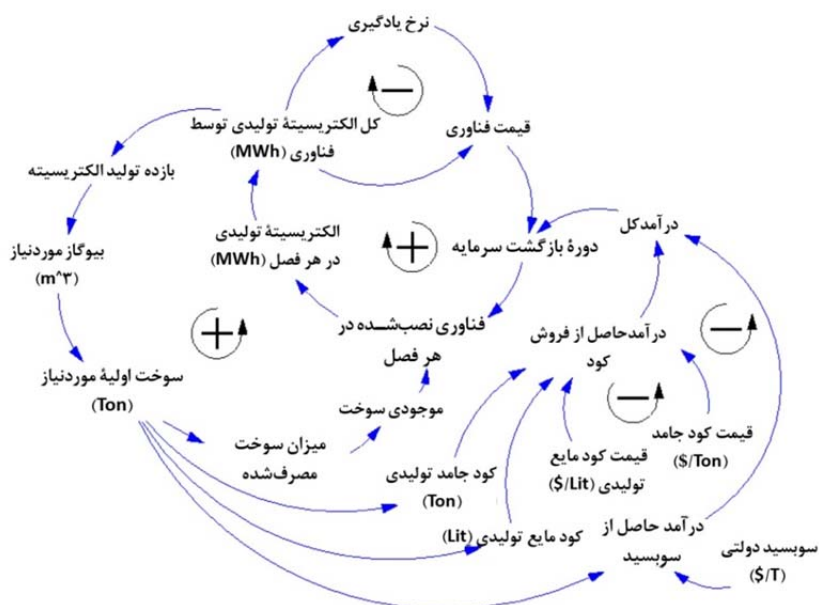


شکل ۱. تأثیر یادگیری در قیمت فناوری

۲.۳ تأثیر یادگیری در بازده الکتریسیته

شکل ۲ ارتباط تولید تجمعی برق توسط فناوری با بازدهی الکتریسیته را نشان می‌دهد. با افزایش تولید تجمعی برق با در نظر گرفتن فرایند یادگیری بازده تولید الکتریسیته افزایش می‌یابد که سبب کاهش سوخت اولیه مورد نیاز می‌شود؛ در نتیجه، سوخت در دسترس افزایش می‌یابد و تعداد فناوری نصب‌شده و الکتریسیته تولیدی افزایش پیدا می‌کند (ETSAP 2015).

از سوی دیگر، کاهش سوخت اولیه باعث می‌شود میزان فضولات لازم برای تولید بیوگاز کاهش یابد، در نتیجه، یارانه حاصل از بازیافت فضولات کاهش خواهد یافت. هم‌چنین، با کاهش میزان فضولات لازم (سوخت مورد نیاز) میزان کود تولیدی نیز کاهش می‌یابد که در مجموع، سبب کاهش درآمد، افزایش دوره بازگشت سرمایه، کاهش نرخ نصب فناوری، و کاهش کل الکتریسیته تولیدی هاضم می‌شود.



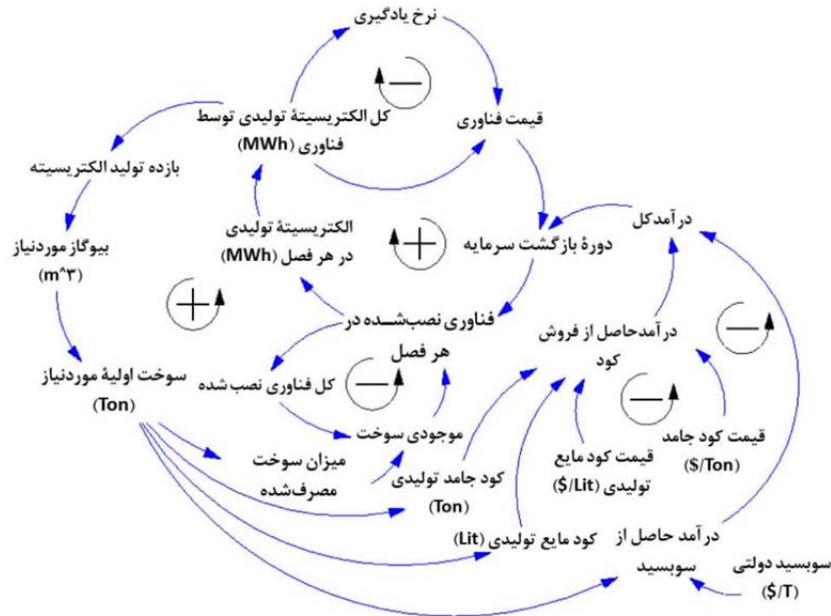
شکل ۲. تأثیر یادگیری در بازده الکتریسیته

با افزایش سوخت اولیه مورد نیاز میزان کود تولیدی و درآمد حاصل از فروش کود افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش سوخت اولیه میزان درآمد حاصل از یارانه افزایش می‌یابد که باعث افزایش درآمد، کاهش دوره بازگشت سرمایه، افزایش نصب فناوری، و افزایش کل الکتریسیته تولیدی فناوری می‌شود.

۳.۳ محدودیت عرضه سوخت اولیه

وجود وضعیت منطقه‌ای مناسب برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر امری ضروری است. مثلاً برای توسعه انرژی‌های بادی وجود مناطق بادخیز امری حیاتی به‌شمار می‌رود. از این رو، یکی از محدودیت‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر وجود مناطق مستعد است (http://ocw.mit.edu/terms 2010).

از عوامل اولیه برای توسعه فناوری هاضم بی‌هوازی وجود سوخت اولیه مورد نیاز مثل فضولات به میزان کافی است. با افزایش تعداد فناوری‌های نصب‌شده مصرف سوخت اولیه افزایش می‌یابد که باعث کاهش موجودی سوخت اولیه می‌شود و باعث کاهش نرخ نصب فناوری در سال می‌شود. حلقه علی و معلولی بیان‌شده در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. محدودیت عرضه سوخت اولیه

۴.۳ نمودار علی و معلولی مدل

یکی از ذی‌نفعان اصلی توسعه فناوری‌های تجدیدپذیر دولت است؛ از این رو، برای افزایش دقت در فرایند قیمت‌گذاری متغیرهایی که دربرگیرنده منافع دولت‌اند نیز در مدل علی و معلولی آورده شده است. برخی از این متغیرها همراه با تعریف آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. سپس، برخی از حمایت‌های دولتی برای ترویج استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، از قبیل تعرفه خرید برق و اعتبار کربن اضافه شده است. نمودار علی و معلولی مدل در شکل ۴ نشان داده شده است.

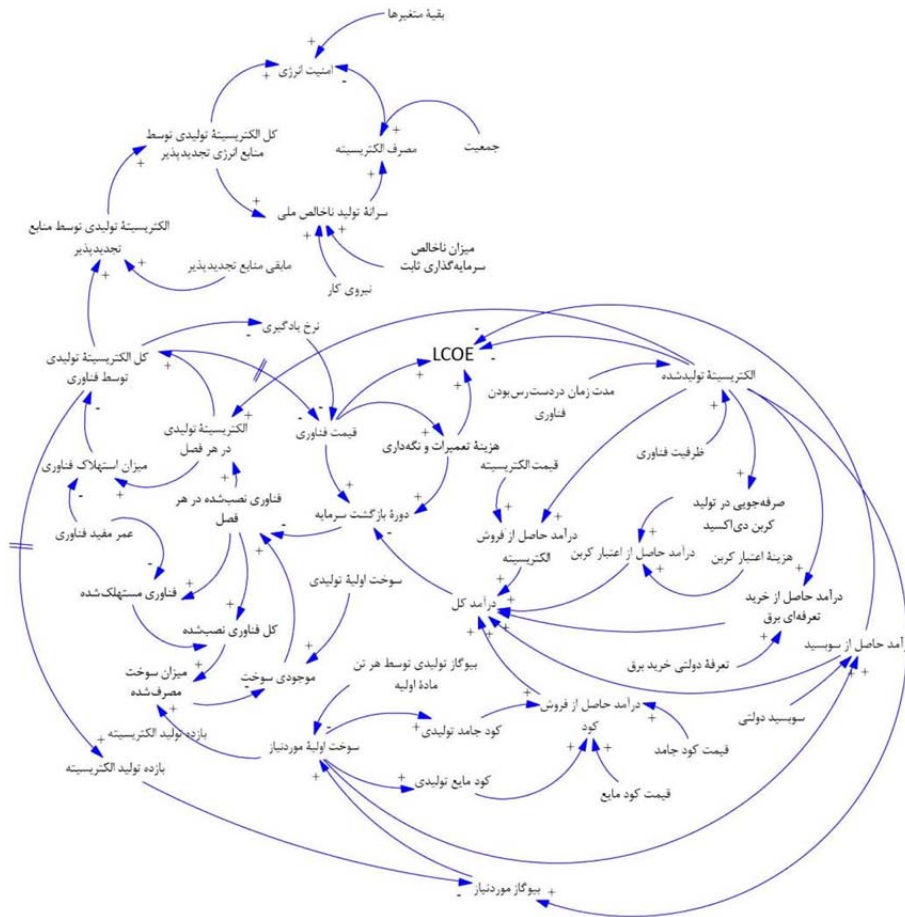
جدول ۱. متغیرهای تأثیرگذار در توسعه انرژی تجدیدپذیر از منظر دولت

متغیر	تعریف	مرجع
امنیت انرژی	در دسترس بودن مقدار کافی و قابل اطمینان از عرضه انرژی برای راضی کردن تقاضا (Sovacool and Marilin 2010)	(Aslani et al. 2014)
صرفه‌جویی در تولید دی‌اکسیدکربن (Carbon Emission)	دی‌اکسیدکربن کاهش یافته هنگام استفاده از انرژی تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی	(Jeon and Shin 2014)

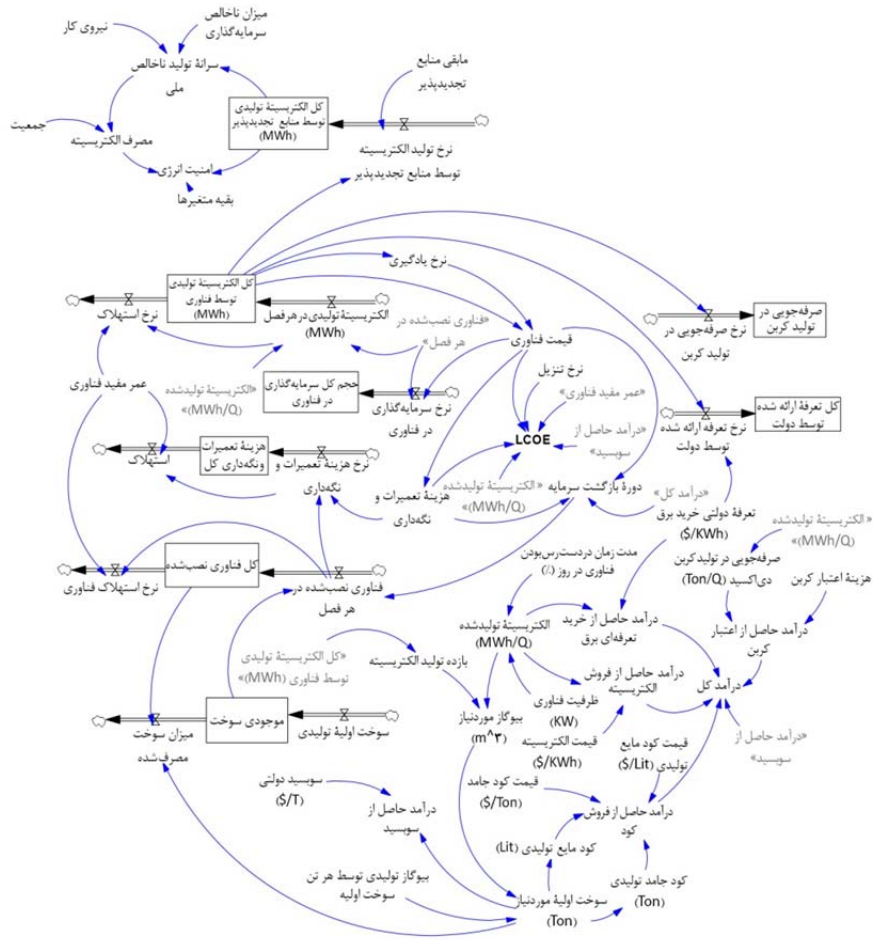
(ETSAP 2015)	هزینه لازم برای تولید هر کیلو وات ساعت انرژی الکتریسیته توسط فناوری	هزینه تولید الکتریسیته (Levelised Cost of Electricity)
(فطرس و دیگران ۱۳۹۳)	ارتباط مستقیم افزایش الکتریسیته تولیدی توسط انرژی تجدیدپذیر با تولید ناخالص ملی	سرانه تولید ناخالص ملی

۵.۳ مدل جریان انباشت

مدل جریان انباشت در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴. نمودار علی و معلولی مدل

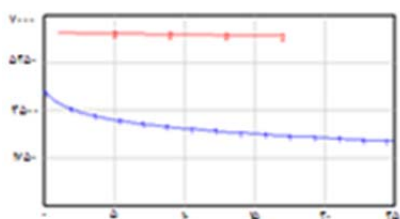


شکل ۵. مدل جریان انباشت

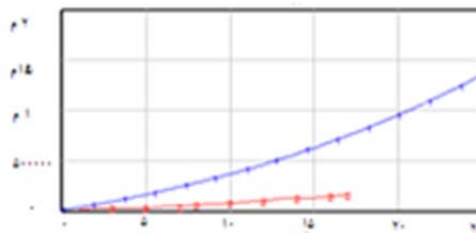
۶.۳ آزمون اعتبارسنجی ارزیابی ساختار مدل

در توسعه مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌سنجش اعتبار ساختار مدل فقط به اعتبارسنجی معادله‌ها و پارامترها منتهی نمی‌شود و لازم است رفتار مدل در وضعیت تغییر مقادیر پارامترها به مقادیر خیلی بزرگ یا خیلی کوچک با رفتار منطقی سیستم در دنیای واقعی نیز مقایسه شود تا بتوان نتیجه گرفت که ساختار مدل از اعتبار کافی برخوردار است (Forrester 1989). با افزایش مقدار پارامتر یادگیری انتظار می‌رود هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه تعمیرات و نگهداری با افت شدیدی مواجه شوند. هم‌چنین، انتظار داریم توسعه

فناوری تاحد زیادی افزایش یابد. با اِعمال این تغییر در مدل نتایج حاصل در شکل ۶ و شکل ۷ ارائه شده است که با آنچه انتظار داریم تطابق دارد.



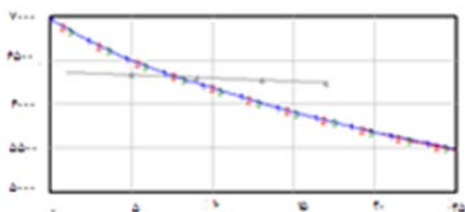
شکل ۷. تأثیر افزایش یادگیری در قیمت فناوری



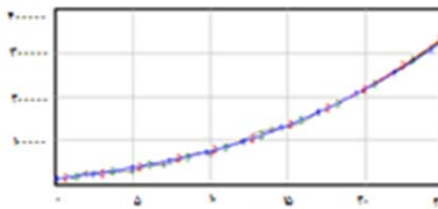
شکل ۶. تأثیر افزایش یادگیری در تجمعی فناوری نصب شده

۷.۳ آزمون اعتبارسنجی تحلیل حساسیت

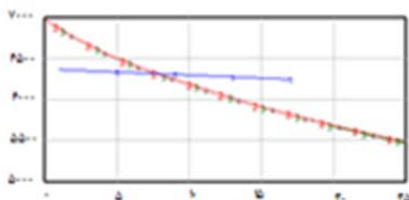
در این آزمون با تغییر اندک پارامترهای ورودی انتظار می‌رود تغییر قابل ملاحظه یا رفتار غیرقابل قبولی از متغیرها ایجاد نشود. با انجام دادن این آزمون نیز اعتبار مدل مورد تأیید قرار گرفت که برای نمونه، تأثیرات تغییر قیمت یارانه در شکل های ۸ و ۹ و تغییر در قیمت کود جامد در شکل های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.



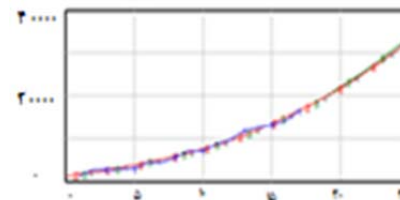
شکل ۹. تأثیر تغییر یارانه در قیمت فناوری



شکل ۸. تأثیر تغییر یارانه در تجمعی فناوری نصب شده



شکل ۱۱. تأثیر تغییر قیمت کود جامد در قیمت فناوری



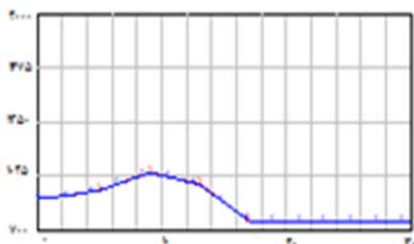
شکل ۱۰. تأثیر تغییر قیمت کود جامد در تجمعی فناوری نصب شده

۸.۳ آزمون اعتبارسنجی بازتولید رفتار گذشته

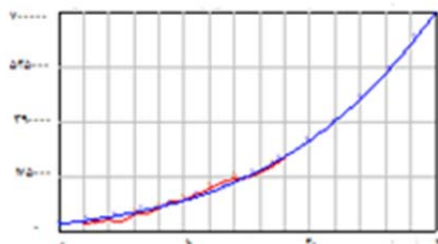
در آزمون بازتولید رفتار گذشته تکرار رفتار گذشته مدل موردبررسی قرار می‌گیرد. فهرست مراجع، که برای اعتبارسنجی استفاده شده است، در جدول ۲ آمده است. در شکل‌ها رفتار گذشته سیستم با رفتار شبیه‌سازی شده مقایسه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل رفتار گذشته را به خوبی تکرار کرده است.

جدول ۲. منابع اعتبارسنجی مدل

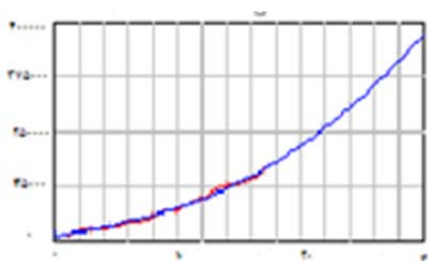
متغیر	مراجع
برق تولیدشده از فناوری تجمعی	(Hemingway 2015)
امنیت انرژی	INTERNATIONAL INDEX OF ENERGY) (SECURITY RISK 2015
بازده تولید الکتریسته	(ETSAP 2015)
فناوری نصب‌شده تجمعی	(UK's Department for Environment 2011)
قیمت فناوری	(www.pwc.co.uk)



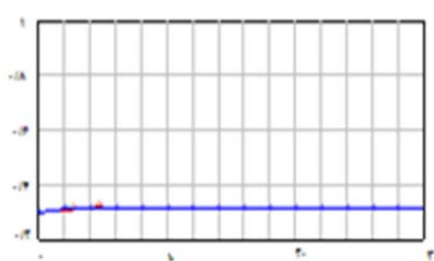
شکل ۱۳. مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده امنیت انرژی با مقادیر واقعی



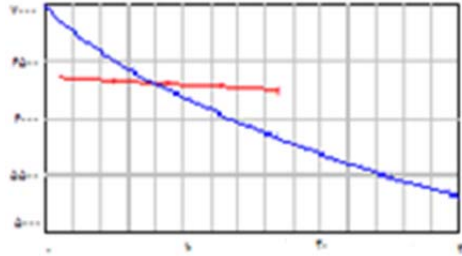
شکل ۱۲. مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده متغیر کل الکتریسته تولیدی با مقادیر واقعی



شکل ۱۵. مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده متغیر تجمعی فناوری نصب‌شده با مقادیر واقعی



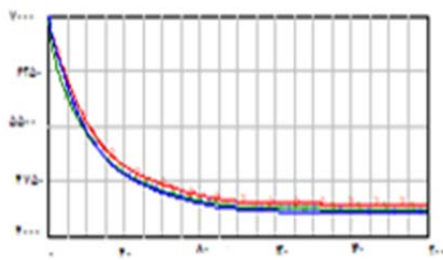
شکل ۱۴. مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده متغیر بازده تولید الکتریسته با مقادیر واقعی



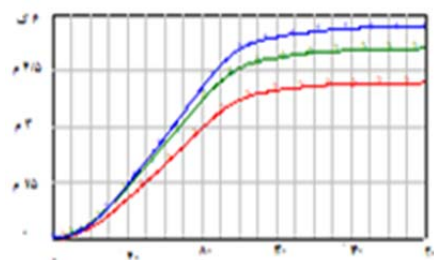
شکل ۱۶. مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده متغیر قیمت فناوری با مقادیر واقعی

۴. سناریونویسی و پیش‌بینی

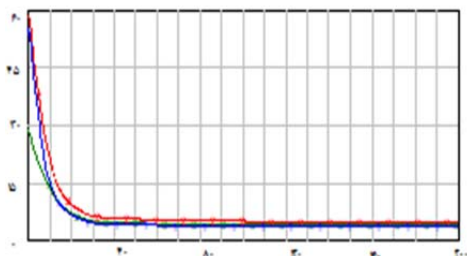
در این بخش تأثیر تغییر متغیرهای ورودی در قیمت فناوری شبیه‌سازی می‌شود. در ابتدا، متغیرها به دو بخش حمایت‌های دولتی، که شامل یارانه، خرید تعرفه‌ای برق، و اعتبار کربن است و تغییر بازار که شامل تغییر قیمت گواریده و الکتریسیته است، تقسیم شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ نشان داده شده است. نمودارها حاکی از آن است که حمایت‌های دولتی به نسبت تغییرات بازار تأثیرگذاری بیشتری در قیمت و انتشار فناوری دارند. شواهد زیادی یافته مذکور را تأیید می‌کنند. مثلاً همه کشورهای به‌منظور توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر خود حمایت‌های دولتی را تعریف کرده‌اند و هر کشوری که حمایت‌های بیشتری را مدنظر قرار داده است با سرعت بیشتری در این زمینه توسعه یافته است. مثلاً دو کشور آلمان و انگلیس با وضع قوانین و بسته‌های حمایتی فراوان توانستند به سرعت در زمینه فناوری‌های هاضم بی‌هوازی به مرحله بلوغ برسند.



شکل ۱۸. تأثیر سناریوهای مختلف در قیمت فناوری



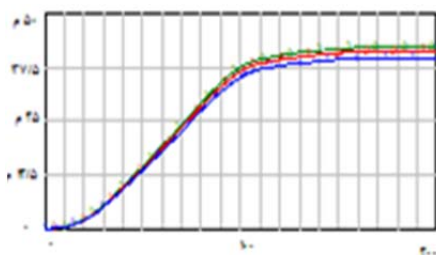
شکل ۱۷. تأثیر سناریوهای مختلف در تجمعی فناوری نصب‌شده



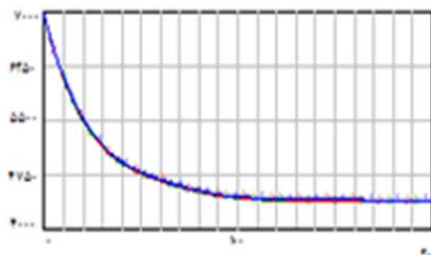
شکل ۱۹. تأثیر سناریوهای مختلف در دوره بازگشت سرمایه

سپس، سناریوی دیگری بر متغیرهای یارانه، خرید تعرفه‌ای برق، و میزان اعتبار کربن انجام شد تا تأثیر هر یک از این متغیرها در قیمت و انتشار فناوری تعیین شود. نتایج حاصل در شکل‌های ۲۰ تا ۲۳ نشان داده شده است. بدین ترتیب، مشخص می‌شود که مؤثرترین حمایت‌های دولتی بر قیمت فناوری به ترتیب عبارت‌اند از نرخ یارانه، خرید تعرفه‌ای برق، و اعتبار کربن.

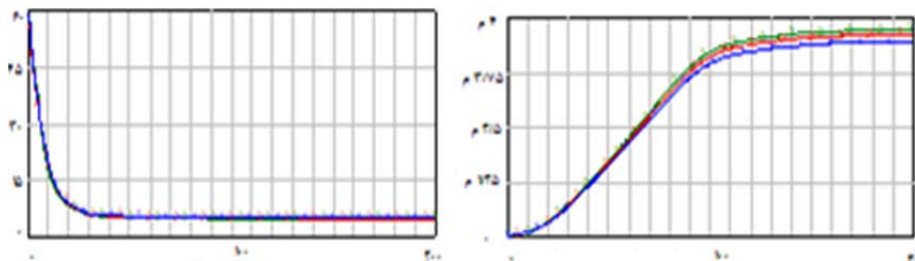
علت این اتفاق آن است که یارانه برخلاف دیگر حمایت‌های دولتی فقط مختص به بیوماس و بیوگاز است که افزایش آن سبب افزایش جذابیت فناوری در مقایسه با دیگر فناوری‌های تجدیدپذیر می‌شود و انتشار فناوری را تسریع می‌کند.



شکل ۲۱. حمایت‌های دولتی بر صرفه‌جویی در انتشار کربن



شکل ۲۰. حمایت‌های دولتی بر قیمت فناوری



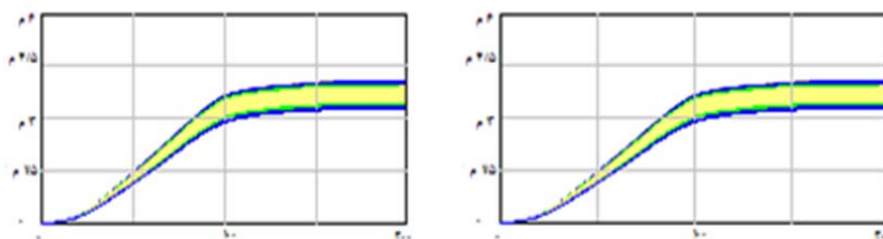
شکل ۲۲. تأثیر انواع حمایت‌های دولتی در تجمعی فناوری نصب‌شده
 شکل ۲۳. تأثیر انواع حمایت‌های دولتی در دوره بازگشت سرمایه

۱.۴ شبیه‌سازی مونت کارلو

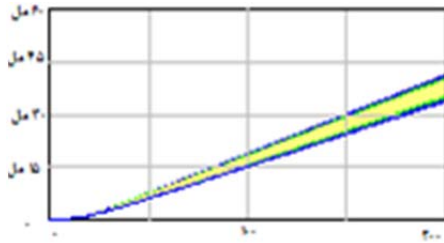
برای بررسی اثر تغییر قیمت کود پارامتر یادگیری، ضریب رشد قیمت برق، نرخ تعرفه برق، و درصد هزینه تعمیرات و نگهداری بر قیمت فناوری از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است که در آن برای هر یک از پارامترها تابع توزیع تعریف می‌شود و سپس، براساس شبیه‌سازی متعدد (پانصد بار) نتایج حاصل می‌شود. در ادامه، نتایج حاصل از این شبیه‌سازی تشریح شده است.

۱.۱.۴ هزینه تعمیرات و نگهداری

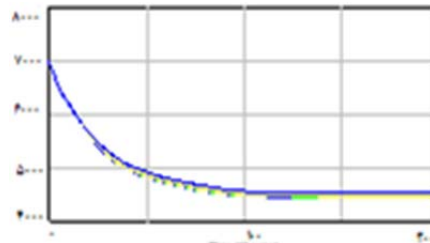
باتوجه به اطلاعات ارائه‌شده در مراجع تابع توزیع هزینه تعمیرات و نگهداری به صورت [۰.۰۵, ۰.۰۸۲] در نظر گرفته شده است (Irena.org; www.pwc.co.uk). نتایج حاصل شده در شکل‌های ۲۴ تا ۲۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رود، با افزایش هزینه تعمیرات و نگهداری میزان جذابیت فناوری برای سرمایه‌گذاران کاهش می‌یابد که سبب کاهش نرخ نصب فناوری می‌شود و روند انتشار فناوری را کاهش می‌دهد.



شکل ۲۴. تأثیر تغییر هزینه تعمیرات و نگهداری بر تجمعی الکتریسته تولیدی توسط فناوری
 شکل ۲۵. تأثیر تغییر هزینه تعمیرات و نگهداری بر تجمعی فناوری نصب‌شده



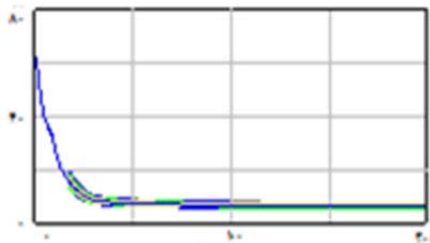
شکل ۲۷. تأثیر تغییر هزینه تعمیرات و نگهداری در کل سرمایه‌گذاری انجام‌شده در فناوری



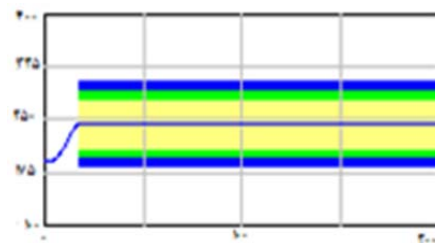
شکل ۲۶. تأثیر تغییر هزینه تعمیرات و نگهداری در قیمت فناوری

۲.۱.۴ قیمت برق

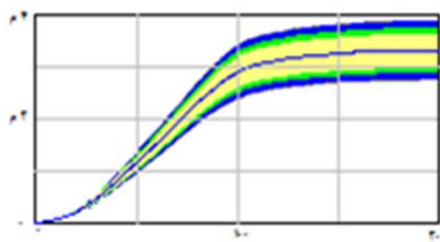
در شکل ۲۸ تغییرات قیمت برق در آینده نشان داده شده است. مثلاً با افزایش قیمت برق دوره بازگشت سرمایه کاهش می‌یابد (شکل ۲۹). جذابیت فناوری برای سرمایه‌گذاران افزایش پیدا می‌کند که باعث افزایش نصب فناوری در سال می‌شود (شکل‌های ۳۰ و ۳۱). سپس، بر اثر وجود پدیده یادگیری قیمت فناوری کاهش می‌یابد و سرمایه‌گذاری انجام‌شده در فناوری افزایش می‌یابد (شکل‌های ۳۲ و ۳۳).



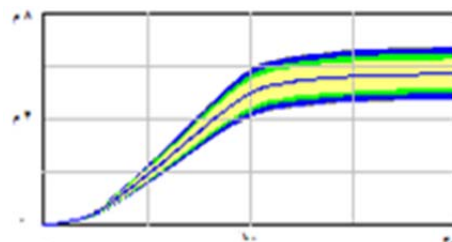
شکل ۲۹. تغییر قیمت بر دوره بازگشت سرمایه



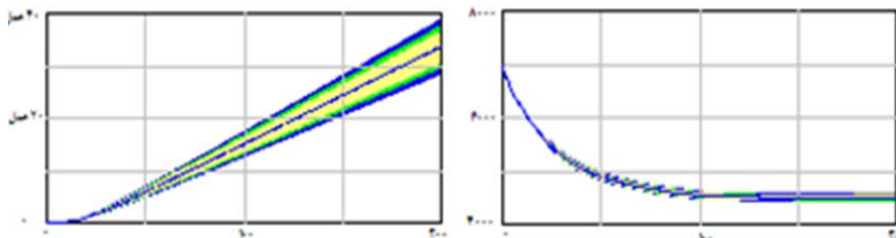
شکل ۲۸. تغییر قیمت برق



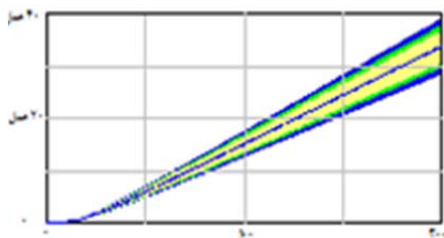
شکل ۳۱. تأثیر تغییر قیمت برق در تجمعی تعداد فناوری نصب‌شده



شکل ۳۰. تأثیر تغییر قیمت برق در تجمعی الکتریسیته تولیدی



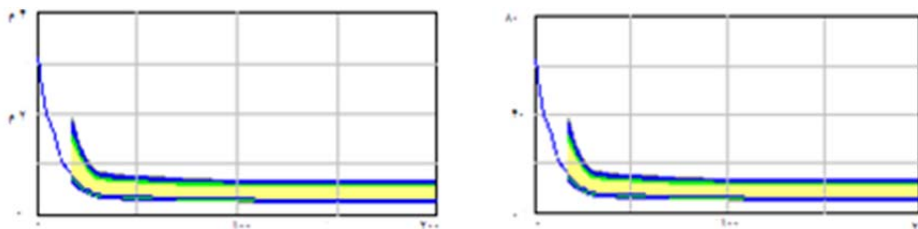
شکل ۳۲. تأثیر تغییر قیمت برق در قیمت فناوری



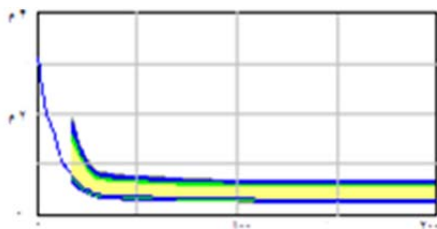
شکل ۳۳. تأثیر تغییر قیمت برق در کل سرمایه‌گذاری انجام‌شده در فناوری

۳.۱.۴ تأثیر نرخ یادگیری در قیمت فناوری

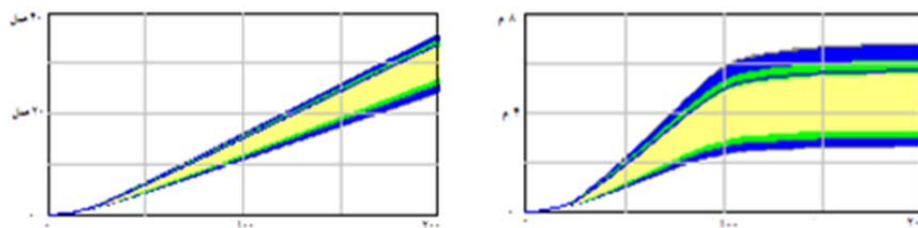
طبق تحقیقات انجام‌شده، نرخ یادگیری فناوری بیوگاز به صورت $U[0.05, 0.1]$ در نظر گرفته شده است (McDonald and Schratzenholzer 2015; Junginger et al. 2006; <http://fs-unep-centre.org/> Agency 2014). مثلاً با افزایش نرخ یادگیری قیمت فناوری کاهش می‌یابد؛ در نتیجه، دوره بازگشت سرمایه کاهش می‌یابد (شکل ۳۴) و سبب افزایش نرخ نصب فناوری و تجمعی تعداد فناوری نصب‌شده می‌شود (شکل‌های ۳۵ تا ۳۷).



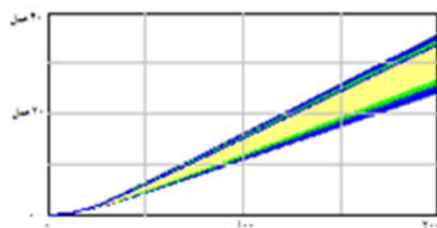
شکل ۳۴. تأثیر تغییر نرخ یادگیری در دوره بازگشت سرمایه



شکل ۳۵. تأثیر تغییر نرخ یادگیری در تجمعی تعداد فناوری نصب‌شده



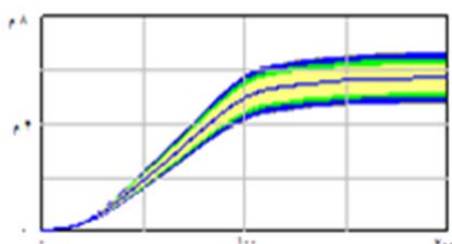
شکل ۳۶. تأثیر تغییر یادگیری در تجمعی الکتریسیته تولیدشده توسط فناوری



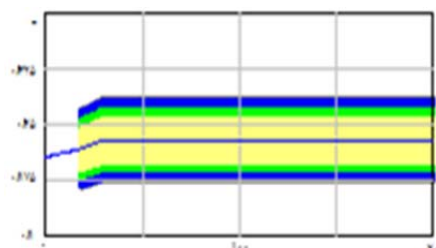
شکل ۳۷. تأثیر تغییر یادگیری در کل سرمایه‌گذاری انجام‌شده در فناوری

۴.۱.۴ تغییر قیمت تعرفه‌ای خرید برق در قیمت فناوری

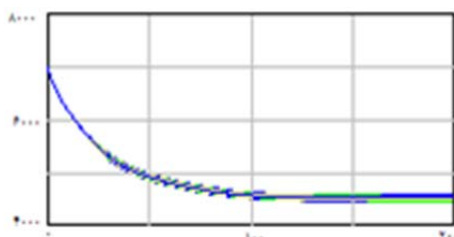
بازه تغییر قیمت تعرفه‌ای برق با استناد به گزارش‌های اداره گاز و برق انگلستان (Office of Gas and Electricity) در شکل ۳۸ نشان داده شده است. افزایش نرخ تعرفه باعث افزایش درآمد و کاهش دوره بازگشت سرمایه می‌شود. در نتیجه، تعداد فناوری نصب‌شده افزایش می‌یابد (شکل‌های ۳۹ و ۴۰) که باتوجه به نرخ یادگیری سبب کاهش قیمت فناوری می‌شود (شکل‌های ۴۱ و ۴۲).



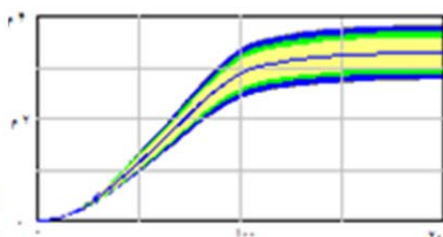
شکل ۳۹. تأثیر تغییر تعرفه قیمت خرید برق در
تجمعی الکتریسیته تولیدشده توسط فناوری



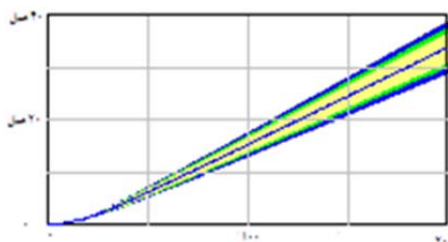
شکل ۳۸. تغییرات قیمت تعرفه‌ای
خرید برق



شکل ۴۱. تأثیر تغییر تعرفه قیمت خرید برق در
قیمت فناوری



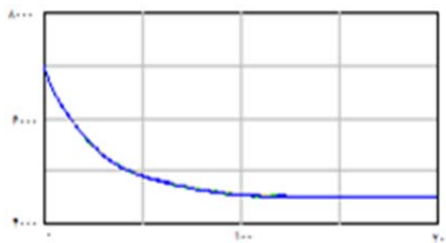
شکل ۴۰. تأثیر تغییر تعرفه قیمت خرید برق در
تجمعی تعداد فناوری نصب‌شده



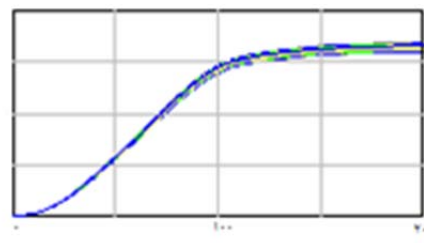
شکل ۴۲. تأثیر تغییر تعرفه قیمت خرید در کل
سرمایه‌گذاری انجام‌شده در فناوری

۵.۱.۴ تأثیر تغییر قیمت گواریده در قیمت فناوری

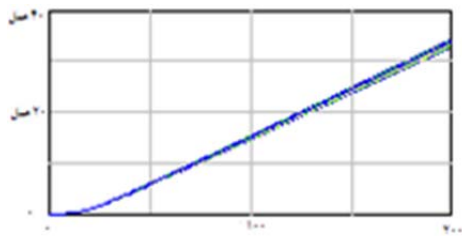
با جمع‌آوری داده از منابع گوناگون تابع قیمت گواریده جامد و قیمت گواریده مایع به صورت $U(10, 16)$ در نظر گرفته شده است (University, Washington state). با افزایش قیمت گواریده درآمد افزایش می‌یابد. در نتیجه، دوره بازگشت سرمایه کاهش خواهد یافت. سپس، انتشار فناوری افزایش می‌یابد و بنابر اصل یادگیری قیمت فناوری کاهش پیدا می‌کند (شکل‌های ۴۳ تا ۴۶).



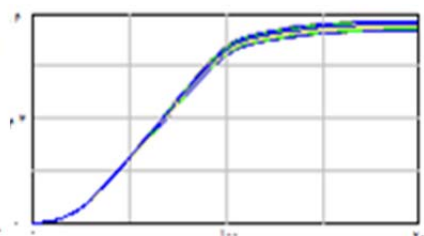
شکل ۴۴. تأثیر قیمت گواریده در تجمعی تعداد فناوری نصب‌شده



شکل ۴۳. تأثیر گواریده در تجمعی الکتریسیته تولیدی توسط فناوری



شکل ۴۶. تأثیر تغییر قیمت گواریده در کل سرمایه‌گذاری انجام‌شده در فناوری



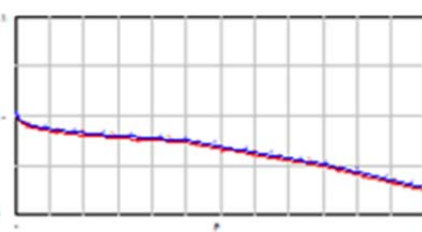
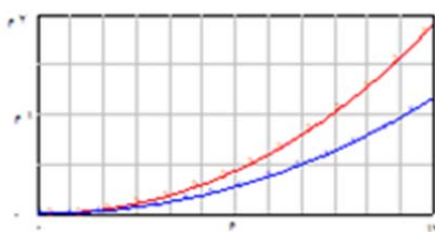
شکل ۴۵. تأثیر تغییر قیمت گواریده در قیمت فناوری

۲.۴ تطبیق مدل برای ایران

باتوجه به ماهیت انرژی تجدیدپذیر توجه جهانی برای توسعه آن و داده‌های جمع‌آوری شده از سازمان بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر قیمت فناوری و هزینه‌های تعمیرات و نگهداری در همه جهان تقریباً یکسان در نظر گرفته شده است. به همین علت، قیمت و هزینه

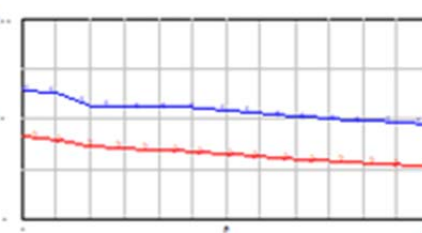
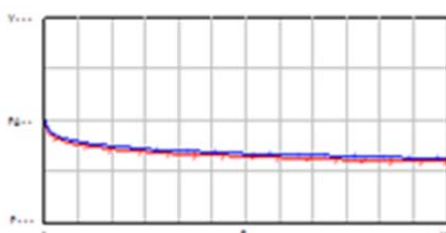
تعمیرات و نگهداری فناوری در ایران نیز مشابه انگلستان در نظر گرفته شده است (Jeon and Shin 2014; ETSAP 2015).

اطلاعات متغیرهای مربوط، مانند قیمت برق، یارانه، اعتبار کربن، قیمت خرید تعرفه‌ای برق، تولید ناخالص ملی، نیروی کار، و ... از سایت سازمان انرژی‌های نو ایران (Saina.org)، ترازنامه‌های انرژی، و بانک جهانی جمع‌آوری شده است. با نظرسنجی از خبرگان دوره بازگشت سرمایه مطلوب بین پانزده تا هجده سال در نظر گرفته شده است. در شبیه‌سازی مدل برای ایران متغیری به نام قیمت سوخت اولیه به مدل اضافه شده است، زیرا در ایران هر تن فضولات دامی و مرغی قیمت مشخصی دارد که با اطلاعات جمع‌آوری شده از بازار مقدار آن به‌طور میانگین ۲۶ دلار به‌ازای هر تن در نظر گرفته شده است. سپس، سناریوی تأثیر وجود یارانه و هزینه اعتبار کربن در قیمت فناوری و میزان انتشار آن شبیه‌سازی شد و با سناریوی حال‌حاضر مقایسه شد. نتایج حاصل شده در شکل‌های ۴۷ تا ۵۱ نشان داده شده است.



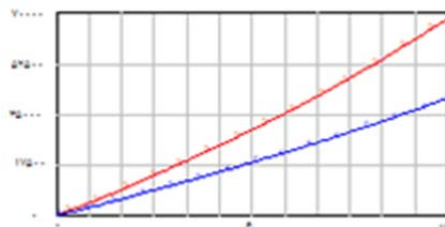
شکل ۴۷. مقایسه سناریوی پیش‌نهادی و سناریوی حال حاضر بر مبنای هزینه تولید الکتریسیته در انتشار کربن

شکل ۴۸. مقایسه سناریوی پیش‌نهادی و سناریوی حال حاضر بر مبنای شاخص صرفه‌جویی



شکل ۴۹. مقایسه سناریوی پیش‌نهادی و سناریوی حال حاضر بر مبنای قیمت فناوری

شکل ۵۰. مقایسه سناریوی پیش‌نهادی و سناریوی حال حاضر بر مبنای بازگشت سرمایه



شکل ۵۱. مقایسه سناریوی پیش‌نهادی و سناریوی حال‌حاضر بر مبنای تجمعی الکتریسیته تولیدشده

۵. نتیجه‌گیری

باتوجه به اثر یادگیری انتشار فناوری در قیمت فناوری تأثیرگذار است؛ از این رو، متغیرهای تأثیرگذار در انتشار فناوری شناسایی شد و به دو دسته حمایت‌های دولتی و بازار تقسیم شد. پس از اعتبارسنجی و شبیه‌سازی مدل برای انگلستان مشخص شد که حمایت‌های دولتی تأثیر به‌سزایی در توسعه و انتشار فناوری دارند. از بین تمامی حمایت‌های دولتی یارانه مؤثرترین عامل در انتشار فناوری شناخته شد.

پس از شبیه‌سازی مدل برای ایران مشخص شد که در صورت وجود یارانه و اعتبار کربن فناوری با سرعت بیش‌تری انتشار می‌یابد و قیمت نیز با شیب بیش‌تری کاهش می‌یابد. در انتها، قیمت فناوری در بلندمدت نیز تعیین شد. زندگی روزمره انسان‌ها وابستگی شدیدی به تولید و مصرف انرژی دارد؛ بنابراین، عرضه و تقاضای آن در جوامع بشری به‌طور مستمر رو به افزایش است. در حال حاضر، بیش‌تر از ۷۵ درصد کل انرژی مصرفی جهان را منابع هیدروکربنی تأمین می‌کند. سوخت‌های فسیلی با تولید گازهای آلاینده و گل‌خانه‌ای در فرایند تبدیل و در نتیجه، تخریب لایه ازن زیست‌بوم را به‌شدت موردتهدید قرار می‌دهد و موجب گرم‌شدن بیش‌تر کره زمین می‌شوند. بنابراین، به‌منظور حفظ محیط زیست توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری به‌نظر می‌رسد.

بیوگاز یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است و هاضم بی‌هوازی یکی از فناوری‌های بالغ در زمینه تولید بیوگاز از پس‌ماند، زباله، فضولات، و ... است که به‌علت خواص منحصربه‌فرد، از جمله توانایی بازیافت، در سال‌های اخیر موردتوجه بسیاری قرار گرفته است.

تجاری‌سازی فناوری در بازار وابسته به میزان قدرت ذی‌نفعان کلیدی و میزان سود و زیان حاصل از فناوری برای هریک از آنهاست. در صورتی که ارزش حاصل از فناوری

برای ذی‌نفعان حامی فناوری قابل‌توجه باشد و از قدرت لازم برخوردار باشد، احتمال تجاری‌سازی موفق فناوری به میزان زیادی افزایش خواهد یافت و برعکس. دولت، مالک، و خریدار فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر سه ذی‌نفع اصلی در فرایند قیمت‌گذاری فناوری‌های بیوگاز هستند. در نتیجه، با شناسایی و ارزش‌گذاری منافی که هر یک از ذی‌نفعان با توسعه فناوری به دست می‌آورند، احتمال تجاری‌سازی موفق و میزان انتشار فناوری در بازار (بازار بالقوه) تعیین شد. اثر یادگیری که بیان‌گر کاهش قیمت فناوری در صورت انتشار فناوری است، مدل‌سازی شد. در نتیجه، با شناسایی متغیرهای تأثیرگذار در منافع ذی‌نفعان و نحوه ارتباط آن‌ها با یک‌دیگر، در قالب یک مدل دینامیکی، قیمت فناوری با سناریوهای مختلف در آینده پیش‌بینی شد.

از جمله منافع حاصل از توسعه فناوری هاضم بی‌هوازی برای دولت صرفه‌جویی در انتشار کربن و افزایش امنیت انرژی است. حمایت‌های دولتی مانند یارانه، هزینه اعتبار کربن، و نرخ تعرفه‌ای خرید برق از جمله هزینه‌های دولت برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر است. دوره بازگشت سرمایه و قیمت فناوری به ترتیب شاخصی برای منافع خریدار و مالک فناوری در نظر گرفته شده‌اند.

متغیرهای مؤثر در انتشار فناوری به دو دسته حمایت‌های دولتی و بازار تقسیم شدند و پس از شبیه‌سازی مشخص شد که حمایت‌های دولتی به نسبت متغیرهای بازار تأثیر بیشتری در انتشار و قیمت فناوری دارند. شبیه‌سازی‌ها حاکی از آن است که یارانه مؤثرترین حمایت دولتی را در انتشار و قیمت فناوری دارد.

باتوجه به این‌که متغیرهایی مانند قیمت برق، یارانه، نرخ تعرفه‌ای خرید برق، و ... قطعیت ندارند، به منظور افزایش دقت شبیه‌سازی مونت کارلو نیز انجام شد تا قیمت فناوری با در نظر گرفتن عدم قطعیت در آینده نیز پیش‌بینی شود. مرز مدل طراحی شده در این مدل به دولت ختم می‌شود و ارتباط منافع دولت، مثل انتشار کربن با حمایت‌های دولتی در نظر گرفته نشده است. شناسایی و شبیه‌سازی ارتباطات یادشده باعث افزایش دقت تخمین قیمت و انتشار فناوری می‌شود. در این پژوهش فرض شده است که قیمت فناوری در بازار در ابتدای دوره کاملاً عادلانه است و منافع تمامی ذی‌نفعان در نظر گرفته شده است؛ در صورتی که متغیرهای تأثیرگذار در هزینه سود مالک فناوری نیز در مدل دخیل شده باشد و ارتباط آن‌ها با یک‌دیگر و دیگر متغیرها مشخص شده باشد، دقت در پیش‌بینی قیمت فناوری افزایش خواهد یافت.

با استفاده از منطق فازی به منظور تعیین یک بازه قیمتی برای خریدار و مالک فناوری اثر چانه زنی نیز به مدل اضافه شد و کارایی مدل را افزایش خواهد داد. باتوجه به وجود سه ذی نفع، که هر یک انتخاب های مخصوص به خود را دارند، انتظار می رود ترکیب نظریه بازی ها با سیستم دینامیک دقت مدل را تا حد زیادی بهبود دهد. شبیه سازی تأثیر عرضه و تقاضا در قیمت و توسعه فناوری سبب افزایش دقت پیش بینی می شود.

کتاب نامه

عدل، مهرداد و ابوالقاسم علی قارداشی (۱۳۸۰)، «بیوگاز در ایران (پتانسیل موجود، استحصال فعلی، دورنمای آینده)»، در: مجموعه مقالات سومین همایش ملی انرژی، تهران: کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو.

فطرس، محمدحسن، اکبر آقازاده، و سودا جبرائیلی (۱۳۹۳)، «رابطه علیت پانلی بین مصرف انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی؛ مقایسه مناطق مختلف جهان»، پژوهش نامه اقتصاد کلان، ش ۱۸.

- Aslani, Alireza, Petri Helo, and Marja Naaranoja (2014), "Role of Renewable Energy Policies in Energy Dependency in Finland: System Dynamics Approach", *Applied Energy*, vol. 113.
- Baashe, Jmae R. and Michael G. Duer (1975), "International Transfer of Technology: A Worldwide Survey of Chief Executive", in: *The Conference Board*, New York.
- ETSAP, IEA (2015), "Biomass for Heat and Power" in: *International Renewable Energy*.
- Fleten, S. E., Karl Magnus Maribu, and Ivar Wangensteen (2007), "Optimal Investment Strategies in Decentralized Renewable Power Generation under Uncertainty", *Energy*, vol. 32.
- Forrester, J. (1989), "The Beginning of System Dynamics-Banquet", Talk at the International Meeting of the System Dynamics Society Stuttgart:
<<http://sysdyn.clexchange.org/sdep/papers.D-4165-1.pdf>>.
- Hemingway, James (2015), *Renewable Electricity Capacity and Generation*, Departeman of Energy & Climate Change (ed.), DECC Press Office.
- IEA/ OECD. (2000), "Experience Curves for Energy Technology Policy", Paris, France: International Energy Agency.
- International Index of Energy Security Risk (2015), Institute for 21st Century Energy.
- Jeon, Chanwoong and Juneseuk Shin (2014), "Long-Term Renewable Energy Technology Valuation Using System Dynamics and Monte Carlo Simulation: Photovoltaic Technology Case", *Energy*, vol. 66.
- Junginger, Martin et al. (2006), "Technological Learning in Bioenergy Systems", *Energy Policy*, vol. 34.
- Kumbaroğlu, Gürkan, Reinhard Madlener, and Mustafa Demirel (2008), "A Real Options Evaluation Model for the Diffusion Prospects of New Renewable Power Generation Technologies", *Energy Economics*, vol. 30.

- McDonald, Alan and Leo Schrattenholzer (2001), "Learning Rates for Energy Technologies", *Energy Policy*, vol. 29.
- Neij, Lena (2008), "Cost Development of Future Technologies for Power Generation; A Study Based on Experience Curves and Complementary Bottom-up Assessments", *Energy Policy*, vol. 36.
- Norin, Erik (1998), "BIOGAS–Eller vad man kan göra av ruttna äpplen", Swedish Biogas Association, Stockholm.
- Sovacool, Benjamin K. and A. Brown Marilyn (2010), "Competing Dimensions of Energy Security: An International Perspective", *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 35.
- UK's Department for Environment, Food and Rural Affairs/ DEFRA (2011), "Anaerobic Digestion Strategy & Action Plan", in: University, Washington State, "Freight Policy Transportation Institute": <www.fpti.wsu.edu>.
- http://www.biogaschina.org/index.php?option=com_flexicontent&view=category&cid=18&Itemid=35&lang=en20080422.
- <http://www.fs-unep-centre.org>.
- <http://www.ocw.mit.edu/terms>. 2010.
- <http://www.jrc.ec.europa.eu>.
- <http://www.pwc.co.uk>.