



فصلنامه سیاستگذاری عمومی، دوره ۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، صفحات ۱۵۲-۱۳۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر توسعه صنعت تولید تجهیزات توربین بادی بر رشد اقتصادی و اشتغال در ایران

مریم کافی زاده کاشان^۱

کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه صنعتی شریف

عباس ملکی

دانشیار سیاستگذاری در دانشکده مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی شریف

(تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۲۱ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۲۷)

چکیده

انرژی‌های تجدیدپذیر ضمن تامین تقاضای انرژی، به دلیل قابلیت اثرگذاری بر رشد و متنوع‌سازی اقتصاد به عنوان راه‌حلی در مواجهه با رکود اقتصادی و افزایش الزامات کاهش انتشار کربن مطرح می‌شوند. در این بین تولید تجهیزات نیروگاهی تجدیدپذیر به عنوان گام ابتدایی در توسعه تجدیدپذیرها و عاملی اثرگذار بر رشد صنعتی و اقتصادی مطرح هستند. پژوهش حاضر با استفاده از روش تحلیل هزینه-فایده سیستم‌های پویا به ارزیابی اثر توسعه صنایع تولید تجهیزات توربین بادی بر رشد اقتصادی و اشتغال در ایران پرداخته است. نتایج، بیانگر تاثیر مثبت ولی مشروط تولید داخلی تجهیزات توربین‌های بادی بر رشد اقتصادی و اشتغال است.

واژگان کلیدی: انرژی بادی، رشد اقتصادی، تولید داخلی، توربین بادی.

مقدمه

تجربه کشورهای پیشرفته جهان نشان می‌دهد رشد اقتصادی و توسعه صنعتی به عوامل مختلفی وابسته است که انرژی و بهره‌برداری مطلوب و بهینه از آن در رأس آن‌ها می‌باشد. استراتژیست‌های انرژی معتقدند دو راهبرد ارتقاء کارایی انرژی و توسعه بهره‌گیری از سایر منابع از جمله منابع تجدیدپذیر انرژی، موثرترین راه برای نیل به اهداف توسعه پایدار، تامین منافع اقتصادی، ارتقاء امنیت انرژی و کاهش آسیب‌ها به محیط‌زیست می‌باشد (سانا، ۱۳۹۵). مواجهه با دو چالش رکود اقتصادی و افزایش الزامات برای کربن‌زدایی از اقتصاد، موجب شده است تا کشورهای جهان به دنبال راهی برای افزایش بهره‌وری اقتصادی به همراه کاهش هرچه بیشتر تولید گازهای گلخانه‌ای باشند. در این میان، انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها به عنوان یک راه حل برای تأمین تقاضای رو به رشد انرژی، بلکه به عنوان یک موتور بالقوه برای رشد و متنوع سازی اقتصاد، ظهور کرده‌اند (سانا، ۱۳۹۵). با افزایش توجه به موضوع اقتصاد مقاومتی در کشور، کارشناسان لازم می‌دانند دولت در زمینه‌های صنعتی، با ارائه خدمات و بسترسازی مناسب به تسهیل روند تولید به خصوص تولید کالاهای دانش بنیان کمک نماید. تجهیزات مورد استفاده در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر نیز از این امر مستثنا نیست، ضمن این‌که تولید بومی تجهیزات بخش انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب جهت دستیابی به اهداف مطلوب و راه حلی جهت رفع موانع موجود باشد. در همین راستا لازم است اثر بومی‌سازی این صنایع بر اقتصاد کشور مشخص شود. از آنجا که انرژی بادی یکی از منابع اصلی تجدیدپذیر در دنیا و همچنین در ایران است در پژوهش حاضر به بررسی صنعت انرژی بادی ایران پرداخته شده است. در همین راستا این پژوهش به سوال زیر پاسخ می‌دهد که اثر تولید تجهیزات توربین‌های بادی؛ به عنوان یکی از زیربخش‌های مجموعه صنعت انرژی بادی، بر رشد اقتصادی و اشتغال به چه شکل است؟

پیشینه پژوهش

یکی از موضوعات مهمی که مورد توجه محققان نیز بوده است، بررسی اثر توسعه صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر بر اقتصاد است. در مطالعات انجام شده معمولاً فاکتورهای تولید ناخالص داخلی و اشتغال به عنوان فاکتورهای بسیار اثرپذیر از توسعه صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مثلاً کامرون و ژوان با بررسی ۷۰ مقاله و منبع داده منتشر شده در طول دهه گذشته که اثر رشد تجدیدپذیرها بر اشتغال را گزارش کرده‌اند به ارزیابی فرصت‌های شغلی ایجاد شده مرتبط با این بخش پرداخته‌اند که در نهایت مشخص شده است عدم قطعیت‌های قابل توجهی در گزارش ارقام اشتغال ایجاد شده وجود دارد، تعداد شغل ایجاد شده در هر بخش عدد ثابتی نبوده و برای هر کشور باید جداگانه محاسبه شود (Zwaan B, Cameron L, 2015).

اکثر مطالعات انجام شده در این حوزه تمرکز خود را بر محاسبه اشتغال مستقیم ایجاد شده در بخش تجدیدپذیر و نهایتاً اشتغال غیرمستقیم در زنجیره ارزش انرژی‌های تجدیدپذیر معطوف کرده‌اند که در نتیجه تصویری از رونق در اشتغال با تعداد زیادی از «شغل سبز»^۲ ایجاد شده برای مخاطب ایجاد می‌کنند. در واقع محاسبه تغییرات ایجاد شده در اشتغال بخش‌های دیگر که به طور مستقیم در زنجیره‌های ارزش انرژی‌های تجدیدپذیر نیستند اما تحت تأثیر تغییرات در این حوزه هستند معمولاً مورد غفلت واقع می‌شوند، که منجر به درک ناقصی از تأثیرات اجتماعی انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود. در این راستا یاکیان مو و همکاران با استفاده از یک مدل تعادل عمومی (CGE)^۳ در مورد چین که دارای فناوری تولید در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر است به بررسی پرداخته‌اند. این مدل نواقص را در نظر می‌گیرد و سعی در پر کردن این شکاف و تعیین میزان کامل تغییرات شغلی مستقیم، غیرمستقیم و شغل‌های ناشی از توسعه تجدیدپذیرها دارد. نتایج نشان می‌دهد که به ازای هر یک TWh^۴ گسترش PV و انرژی باد به ترتیب تا ۴۵۱۰۰ و ۱۵۸۰۰ شغل مستقیم و غیرمستقیم در چین ایجاد می‌شود. با این حال، تغییرات اشتغال در دیگر بخش‌ها ناشی از توسعه بخش تجدیدپذیر بسیار قابل توجه است و حتی ممکن است در برخی موارد خالص اشتغال منفی^۵ در کل اقتصاد ایجاد کند. در کل، هیچ نتیجه‌گیری مطمئنی درباره تعداد مشاغل سبز ناشی از تولید انرژی‌های تجدیدپذیر وجود ندارد. تأثیرات ایجاد شده بسیار وابسته به گونه‌های انرژی تجدیدپذیر، مکانیسم‌های تأمین اعتبار یارانه‌های تجدیدپذیر و دامنه تأثیرات اشتغال است (Mu Y, et. al., 2018). با توجه به اینکه انرژی بادی از حمایت مالی بسیاری برخوردار شده است، نه تنها درک تأثیر کلی توسعه آن بر اقتصاد اهمیت دارد بلکه باید بررسی شود که چه کسی مزایا و هزینه‌های ناشی از توسعه آن را متحمل می‌شود. بنابراین ارزیابی کمی تأثیر احتمالی توسعه انرژی باد بر اقتصادهای محلی امری مهم است. اگزیبا و سونگب در پژوهشی با استفاده از یک مجموعه داده در سطح کشور چین در فاصله سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱، به ارزیابی اقتصادی تأثیر توسعه بخش انرژی بادی در اقتصاد چین پرداخته‌اند. طبق نتایج مشخص شد ظرفیت انرژی بادی نصب شده دارای اثر مثبت و آماری معنی‌داری بر تولید ناخالص داخلی در چین است (Xia F, Song F, 2017). در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران نیز تحقیقاتی انجام شده است که تمرکز این پژوهش‌ها بیشتر بر توسعه تولید برق از انرژی بادی و به طور خاص اثرگذاری این توسعه بر بخش‌های مختلف بوده است. مثلاً مظفری‌خواه و همکار با توجه به اینکه ایران یکی از کشورهای مستعد در استفاده از فناوری انرژی بادی است، به

۲ - مشاغل سبز، به کار در زمینه کشاورزی، تولید، تحقیق و توسعه، کارهای اداری و فعالیت‌های خدماتی که به شکل پایدار به حفظ و بازگردانی کیفیت محیط زیست کمک می‌کنند اطلاق می‌شود. به طور خاص و نه انحصاراً، مشاغل سبز، شغل‌هایی که به محافظت از اکوسیستم و تنوع زیستی، کاهش مصرف مواد، آب و انرژی از طریق استراتژی‌های با کارآمدی بالا، اقتصاد کم کربن و یا به حداقل رساندن آلودگی و زباله کمک می‌کنند را نیز در بر می‌گیرد. (منبع: برنامه محیط زیست سازمان ملل) 3 - Computable general equilibrium

۴ - تراوات ساعت (TWh) = 10^6 مگاوات ساعت

۵ - خالص اشتغال منفی به معنی کاهش اشتغال ایجاد شده نسبت به سال قبل است.

بررسی میزان بازده این انرژی، انتشارات محیطی و میزان تخریب محیط زیست و صرفه اقتصادی استفاده از این انرژی و مقایسه با کشورهای مختلف جهان که از این فناوری بهره می‌برند، پرداخته‌اند (مظفری خواه، برگ‌ریزان و شاه حیدر، ۱۳۹۲). بهنام آزادی راد و همکار نیز در مقاله‌ای ضمن بررسی روند فراگیر شدن استفاده از انرژی باد از پیش از میلاد مسیح تا به امروز، ارزیابی وضعیت بازارهای کنونی این انرژی در کشورهای مختلف جهان، به نقش ایران به عنوان یک کشور در حال توسعه در این بازارها اشاره می‌کند (آزادی راد و حیدری، ۱۳۹۴). با بررسی پژوهش‌های انجام شده درمی‌یابیم نتایج به دست آمده درباره اثرگذاری توسعه مجموعه صنایع انرژی‌های تجدیدپذیر اعم از باد و خورشید و ... بر شاخص‌های اقتصادی بسیار وابسته به سیاست‌ها و شرایط هر منطقه است و از نتایج به دست آمده برای یک کشور نمی‌توان در بقیه کشورها استفاده کرد. هنوز تحقیق جامعی درباره اثر بومی‌سازی مجموعه صنعت انرژی بادی مخصوصاً بخش تولید تجهیزات توربین بادی بر شاخص‌های اقتصادی در ایران انجام نشده است. با توجه به این مطالب در پژوهش حاضر به بررسی این موضوع مهم پرداخته‌ایم.

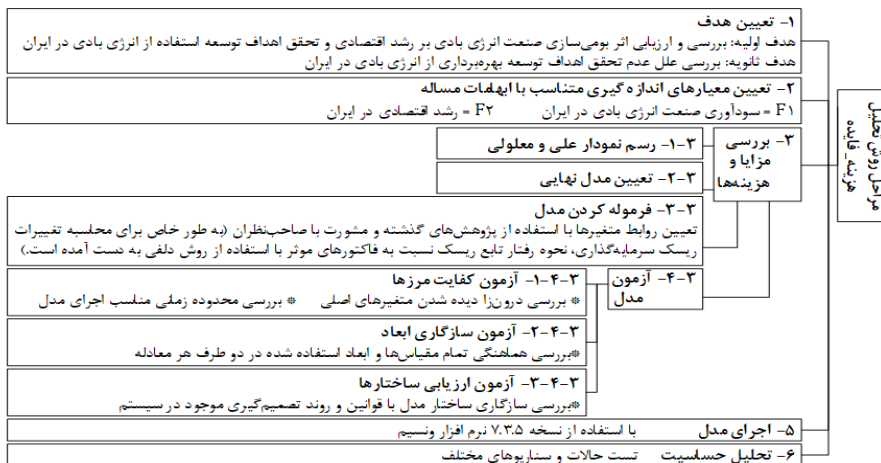
روش‌شناسی

بررسی اثر تولید توربین‌های بادی بر رشد اقتصادی و اشتغال مستلزم در نظر گرفتن متغیرهای زیادی است. پویایی این متغیرها و وجود حلقه‌های بازخور در روابط بین آن‌ها باعث احساس نیاز به روشی پویا می‌شود که بتواند به طور دقیق منافع و معایب پروژه را شناسایی کرده و در حداکثر سازی منافع مفید باشد. روش تحلیل هزینه-فایده (CBA^۶) با استفاده از مدل سیستم دینامیک^۷ یکی از بهترین روش‌هایی است که استفاده هوشمندانه از آن ما را به این هدف می‌رساند. مدل‌سازی با استفاده از روش SD یک رویکرد نظری پذیرفته شده برای فهم و حل مشکلات سیستم‌های پیچیده است (Wu et al., 2015; Wang et al., 2016). با استفاده از این روش می‌توان به بررسی قابل قبول بودن یا نبودن اجرای پروژه و تغییر فاکتورهای مهم در طول زمان اجرای پروژه پاسخ داد.

6 - Cost Benefit Analysis
7 - System Dynamics (SD)

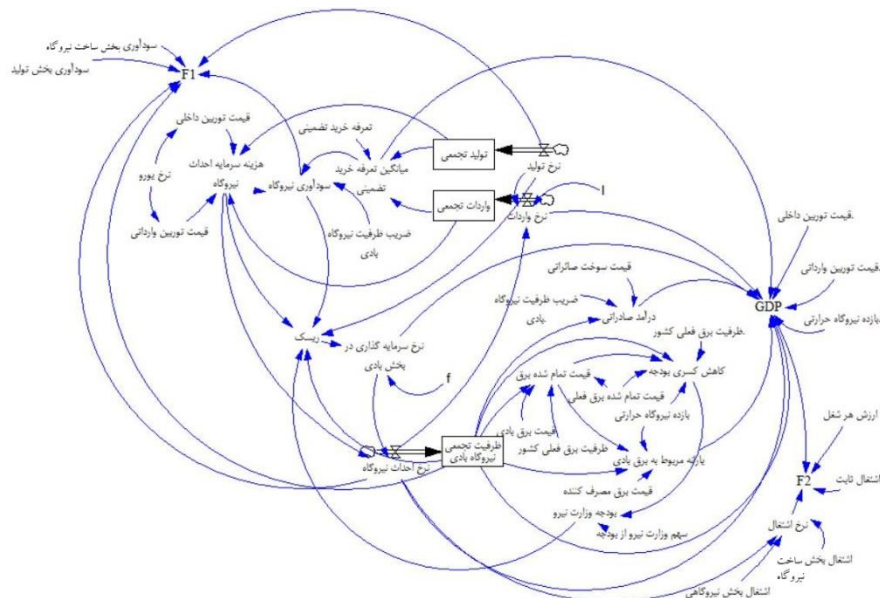
روش تحلیل هزینه-فایده سیستم‌های پویا

این روش شامل ۵ گام اساسی می‌باشد که در شکل ۱ به ترتیب اجرا نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱ - روند کلی روش تحلیل هزینه-فایده سیستم‌های پویا.

طبق روند نشان داده شده در شکل ۱ پس از تعیین هدف، توابع سودآوری بومی‌سازی مجموعه صنعت انرژی بادی در ایران (F1) و رشد اقتصادی ایران (F2) تعریف شده‌اند. مجموعه صنعت انرژی بادی به ۳ بخش تولید تجهیزات، ساخت نیروگاه و بهره‌برداری از نیروگاه تقسیم شده است که برای محاسبه F1، سودآوری هر بخش به ازای هر KW به عنوان عدد ثابت به مدل داده شده و این اعداد در میزان توسعه هر بخش متناسب با روند مدل ضرب می‌شوند. در نهایت جمع اعداد به دست آمده در هر سال نشانگر میزان سودآوری مجموعه صنعت انرژی بادی در ایران در آن سال است. F2 نیز از ۲ فاکتور GDP و اشتغال تشکیل شده است. در هر سال تعداد شغل ایجاد شده ناشی از مجموعه صنعت انرژی بادی در میزان ارزش هر شغل ضرب شده و با تولید ناخالص داخلی ناشی از ۳ بخش مجموعه صنعت انرژی بادی جمع می‌شود. علامت و روند تغییر F2 مشخص کننده میزان رشد اقتصادی ناشی از بومی‌سازی صنعت تولید تجهیزات توربین بادی است. بعد از تعیین متغیرهای اصلی و رسم نمودار علی و معلولی، مدل نشان داده شده در شکل ۲ طراحی و در نرم‌افزار ونسیم پیاده شد.



شکل ۲ - نمودار انباشت و جریان.

طبق بیانات فعالان انرژی بادی ایران، بخش تولید توربین بادی وقتی موثر و موجه است که حداقل ۱۰۰۰ MW/year تولید صورت بگیرد. این در حالیست که حتی اگر ایران با تمام ظرفیت فعلی خود تولید داشته باشد نهایتاً به ۱۰۰ تا ۱۱۰ MW/year می‌رسد. در حال حاضر حدود ۲۰٪ از این ظرفیت تولیدی فعال است. با توجه به این مطالب ۴ سناریو تعیین شد:

- سناریو ۱- تولید داخلی توربین بادی ۰ MW/year باشد و تمام نیاز از طریق واردات تامین شود.
- سناریو ۲- تولید داخلی توربین بادی طبق روند فعلی بوده و برابر ۲۰ MW/year باشد.
- سناریو ۳- تولید داخلی توربین بادی برابر کل ظرفیت تولیدی فعلی (۱۰۰ MW/year) باشد.
- سناریو ۴- ظرفیت تولید داخلی توربین بادی به ۱۰۰۰ MW/year برسد.

سناریوهای مذکور در ۳ حالت به اجرا درمی‌آیند؛ حالت ۱ نشان‌دهنده شرایطی است که خرید برق تولیدی نیروگاه‌های بادی ۱۰۰٪ تضمین شده و میزان سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با اهداف برنامه ششم توسعه باشد. در برنامه ششم توسعه احداث ۵۰۰۰ MW نیروگاه تجدیدپذیر تا سال ۱۴۰۰ هدف‌گذاری شده است که با توجه به سهم ۴۰ درصدی انرژی بادی در نیروگاه‌های تجدیدپذیر فعلی در این حالت در نظر گرفته شد ۲۰۰۰ MW نیروگاه بادی تا سال ۱۴۰۰ به بهره‌برداری برسد که برای تحقق این هدف لازم است از سال ۱۳۹۸ تا سال ۱۴۰۰ هر سال حدوداً ۵۳۳ MW نیروگاه بادی احداث شود. همچنین روند سرمایه‌گذاری بعد

از سال ۱۴۰۰ نیز به همین شکل فرض شده است. حالت ۲ بیانگر شرایط فعلی است به اینصورت که منابع مالی خرید تضمینی برق محدود باشد، به همین دلیل با افزایش احداث نیروگاه ریسک سرمایه‌گذاری کمی افزایش می‌یابد. ریسک فعلی سرمایه‌گذاری ۷۰٪ و روند سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است. حالت ۳ شرایطی را نشان می‌دهد که خرید برق تولیدی نیروگاه‌های بادی ۱۰۰٪ تضمین شده باشد و به همین دلیل تغییر ریسک نسبت به افزایش ظرفیت منصوبه روندی کاهشی داشته باشد. ریسک پایه سرمایه‌گذاری ۴۰٪ و سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است. شرح کلی سناریوها و حالات مختلف در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱ - شرح کلی سناریوها و حالات مختلف

سناریو	حالت	توضیح
سناریو ۱	اول	تولید داخلی توربین بادی صفر MW/year باشد و تمام نیاز از طریق واردات تامین شود، در شرایطی که خرید برق تولیدی نیروگاه‌های بادی ۱۰۰٪ تضمین شده و میزان سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با اهداف برنامه ششم توسعه (احداث سالانه حدوداً ۵۳۳ MW نیروگاه بادی از سال ۱۳۹۸ تا سال ۱۴۰۰ و ادامه همین روند سرمایه‌گذاری بعد از آن) باشد.
	دوم	تولید داخلی توربین بادی صفر MW/year باشد و تمام نیاز از طریق واردات تامین شود، در شرایطی که منابع مالی خرید تضمینی برق محدود باشد، و با افزایش احداث نیروگاه ریسک سرمایه‌گذاری نسبت به حالت پایه کمی افزایش می‌یابد. (ریسک فعلی سرمایه‌گذاری ۷۰٪ و روند سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است)
	سوم	تولید داخلی توربین بادی صفر MW/year باشد و تمام نیاز از طریق واردات تامین شود، در شرایطی که خرید برق تولیدی نیروگاه‌های بادی ۱۰۰٪ تضمین شده باشد و به همین دلیل تغییر ریسک نسبت به افزایش ظرفیت منصوبه روندی کاهشی داشته باشد. (ریسک پایه سرمایه‌گذاری ۴۰٪ و سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است)
سناریو ۲	اول	تولید داخلی توربین بادی طبق روند فعلی برابر ۲۰ MW/year باشد، در شرایطی که خرید برق تولیدی نیروگاه‌های بادی ۱۰۰٪ تضمین شده و میزان سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با اهداف برنامه ششم توسعه (احداث سالانه حدوداً ۵۳۳ MW نیروگاه بادی از سال ۱۳۹۸ تا سال ۱۴۰۰ و ادامه همین روند سرمایه‌گذاری بعد از آن) باشد.
	دوم	تولید داخلی توربین بادی طبق روند فعلی برابر ۲۰ MW/year باشد، در شرایطی که منابع مالی خرید تضمینی برق محدود باشد، و با افزایش احداث نیروگاه ریسک سرمایه‌گذاری کمی افزایش می‌یابد. (ریسک فعلی سرمایه‌گذاری ۷۰٪ و روند سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است)
	سوم	تولید داخلی توربین بادی طبق روند فعلی بوده و برابر ۲۰ MW/year باشد، در شرایطی که خرید برق تولیدی نیروگاه‌های بادی ۱۰۰٪ تضمین شده باشد و به همین دلیل تغییر ریسک نسبت به افزایش ظرفیت منصوبه روندی کاهشی داشته باشد. (ریسک پایه سرمایه‌گذاری ۴۰٪ و سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است)
سناریو ۳	اول	تولید داخلی توربین بادی برابر کل ظرفیت تولیدی فعلی (۱۰۰ MW/year) باشد، در شرایطی که خرید برق تولیدی نیروگاه‌های بادی ۱۰۰٪ تضمین شده و میزان سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با اهداف

		برنامه ششم توسعه (احداث سالانه حدوداً ۵۳۳ MW نیروگاه بادی از سال ۱۳۹۸ تا سال ۱۴۰۰ و ادامه همین روند سرمایه‌گذاری بعد از آن) باشد.
دوم		تولید داخلی توربین بادی برابر کل ظرفیت تولیدی فعلی (۱۰۰ MW/year) باشد، در شرایطی که منابع مالی خرید تضمینی برق محدود باشد، و با افزایش احداث نیروگاه ریسک سرمایه‌گذاری کمی افزایش می‌یابد. (ریسک فعلی سرمایه‌گذاری ۷۰٪ و روند سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است)
سوم		تولید داخلی توربین بادی برابر کل ظرفیت تولیدی فعلی (۱۰۰ MW/year) باشد. در شرایطی که خرید برق تولیدی نیروگاه‌های بادی ۱۰۰٪ تضمین شده باشد و به همین دلیل تغییر ریسک نسبت به افزایش ظرفیت منصوبه روندی کاهشی داشته باشد. (ریسک پایه سرمایه‌گذاری ۴۰٪ و سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است)
اول		ظرفیت تولید داخلی توربین بادی به ۱۰۰۰ MW/year برسد، در شرایطی که خرید برق تولیدی نیروگاه‌های بادی ۱۰۰٪ تضمین شده و میزان سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با اهداف برنامه ششم توسعه (احداث سالانه حدوداً ۵۳۳ MW نیروگاه بادی از سال ۱۳۹۸ تا سال ۱۴۰۰ و ادامه همین روند سرمایه‌گذاری بعد از آن) باشد.
دوم	سناریو ۴	ظرفیت تولید داخلی توربین بادی به ۱۰۰۰ MW/year برسد، در شرایطی که منابع مالی خرید تضمینی برق محدود باشد، و با افزایش احداث نیروگاه ریسک سرمایه‌گذاری کمی افزایش می‌یابد. (ریسک فعلی سرمایه‌گذاری ۷۰٪ و روند سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است)
سوم		ظرفیت تولید داخلی توربین بادی به ۱۰۰۰ MW/year برسد، در شرایطی که خرید برق تولیدی نیروگاه‌های بادی ۱۰۰٪ تضمین شده باشد و به همین دلیل تغییر ریسک نسبت به افزایش ظرفیت منصوبه روندی کاهشی داشته باشد. (ریسک پایه سرمایه‌گذاری ۴۰٪ و سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه متناسب با ریسک سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است)

فرضیاتی که مدل در بستر آن به اجرا درمی‌آید بدین ترتیب است:

- * قرارداد خرید تضمینی برق تولیدی از نیروگاه‌های ساخته شده با تجهیزات داخلی، ۱۰٪ نسبت به برق تولیدی نیروگاه‌های با تجهیزات خارجی بالاتر بسته می‌شود.^۸
- * سرمایه لازم برای خرید توربین بادی، ۶۵٪ کل سرمایه احداث نیروگاه فرض شده است.^۹
- * میانگین قیمت تمام شده برق فعلی ۱۰۰۰ تومان به ازای هر kWh در نظر گرفته شده است.^۹
- * بازده نیروگاه‌های حرارتی ۱۳۷٪ و ضریب ظرفیت نیروگاه‌های بادی ۴۰٪^{۱۱} فرض شده است.
- * هزینه تعمیر و نگهداری سالانه نیروگاه‌های بادی ۲٪ هزینه سرمایه اولیه فرض شده است. (حسینی. سید محمدحسن، فروزبخش. فرشید، ۱۳۸۳)
- * توربین داخلی و خارجی به ترتیب ۷۰۰ و ۸۰۰ یورو به ازای هر کیلووات فرض شده است.^۲
- * ۵۰٪ از تجهیزات اولیه برای تولید داخلی توربین بادی، وارداتی فرض شده است.^{۱۲}

8 - <http://www.satba.gov.ir>

۹ - طبق محاسبات نویسنده با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در مصاحبه با فعالان صنعت انرژی بادی ایران.

۱۰ - IEA Report 2016

۱۱ - حداکثر ضریب ظرفیت نیروگاه‌های فعلی طبق اطلاعات ساتبا.

۱۲ - طبق محاسبات نویسنده با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در مصاحبه با فعالان صنعت انرژی بادی ایران.

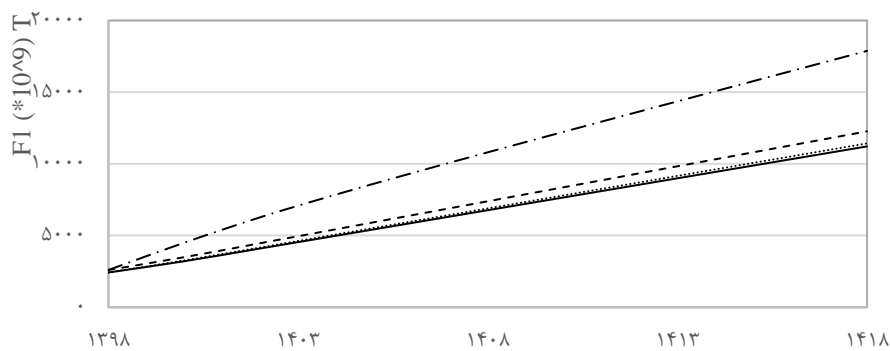
* سودآوری بخش تولید توربین بادی برابر ۲۰٪ قیمت تمام شده توربین بادی و سودآوری بخش ساخت نیروگاه برابر ۲۵٪ سرمایه لازم برای احداث نیروگاه در نظر گرفته شده است.
بعد از اجرای سناریوها تحت حالات و فرضیات ذکر شده می توان به سوال پژوهش پاسخ داد.

تحلیل نتایج

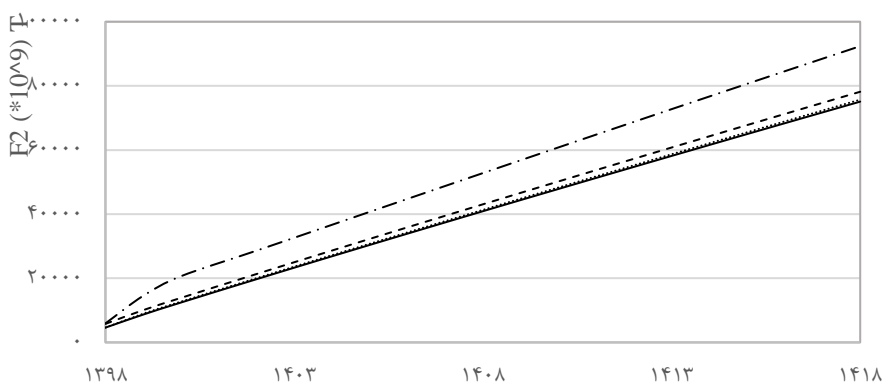
نتایج مدل SD

بعد از اجرای مدل طراحی شده در نرم افزار ونسیم نتایج به شرح زیر به دست آمد.

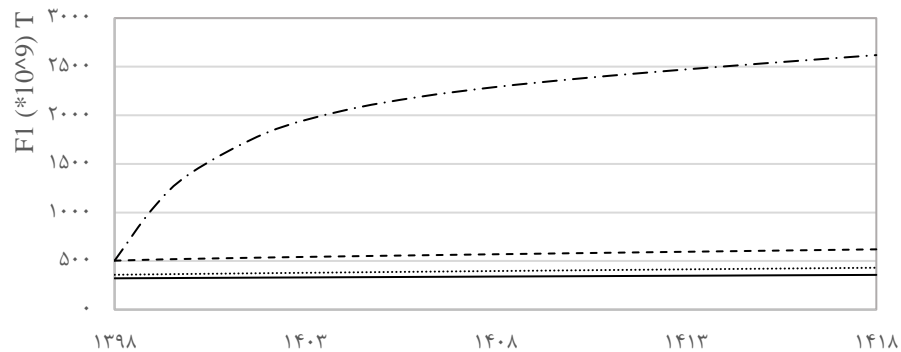
سناریو ۴ - - - - سناریو ۳ - - - - سناریو ۲ سناریو ۱ —
شکل ۴ - راهنمای استفاده از نتایج.



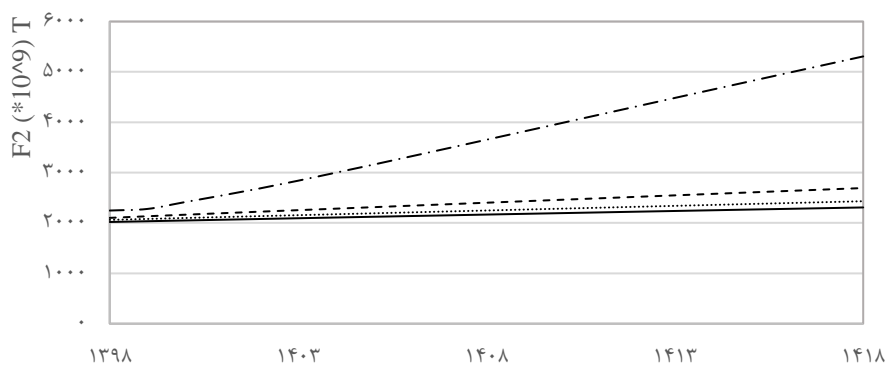
شکل ۵ - سودآوری مجموعه صنعت انرژی بادی در حالت ۱ برای ۴ سناریو.



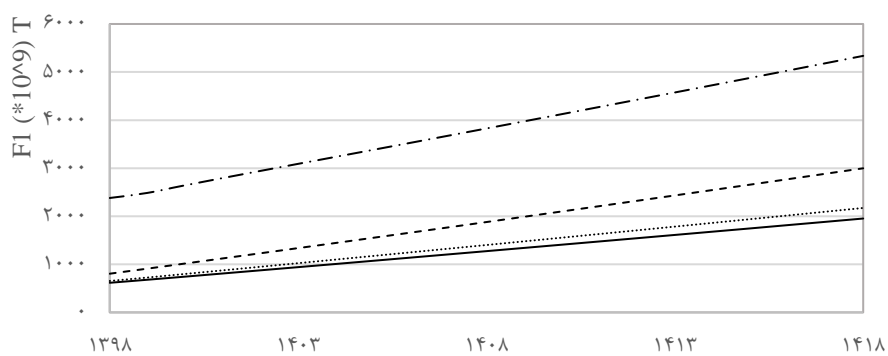
شکل ۶ - رشد اقتصادی در حالت ۱ برای ۴ سناریو.



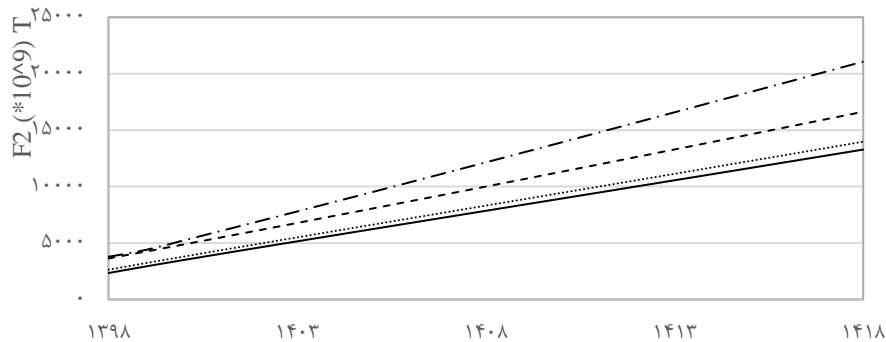
شکل ۷ - سودآوری مجموعه صنعت انرژی بادی در حالت ۲ برای سناریو ۴.



شکل ۸ - رشد اقتصادی در حالت ۲ برای سناریو ۴.



شکل ۹ - سودآوری مجموعه صنعت انرژی بادی در حالت ۳ برای سناریو ۴.



شکل ۱۰ - رشد اقتصادی در حالت ۳ برای ۴ سناریو.

همانطور که پیش تر گفته شد حالت ۱ حالتی خوش بینانه برای سرمایه گذاری و تحقق اهداف توسعه است و مشخص می کند رشد اقتصادی ایجاد شده و نقش تولید تجهیزات توربین بادی در این رشد در صورت تحقق اهداف توسعه صنعت انرژی بادی چه میزان است. حالت ۲ شرایط فعلی و حالت ۳ بهبود یافته‌ی وضعیت فعلی است که تنها شرایط خرید تضمینی برق اصلاح شده باشد. طبق شکل های ۵ تا ۱۰، F1 و F2 در همه حالات و سناریوها روند افزایشی مثبت دارند. در سناریو ۱، ۲ و ۳ تفاوت زیادی در روند تغییر و مقادیر F2 در هر ۳ حالت مشاهده نمی شود. سناریو ۴ مقادیر متفاوت و بالاتری برای F2 و F1 نشان می دهد. برای درک بهتر، نتایج مربوط به نرخ احداث نیروگاه بادی و رشد اقتصادی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ - نرخ احداث نیروگاه بادی و رشد اقتصادی در حالات و سناریوهای مختلف

حالت ۳	حالت ۲	حالت ۱		
۸۰	۲	۵۳۳	نرخ احداث نیروگاه بادی (MW/ Year)	سناریو ۱
۰/۱۸	۰/۰۴۵	۰/۷۱	رشد اقتصادی ایجاد شده (%)	
۸۳	۲/۵	۵۳۵	نرخ احداث نیروگاه بادی (MW/ Year)	سناریو ۲
۰/۱۹	۰/۰۴۷	۰/۷۲	رشد اقتصادی ایجاد شده (%)	
۹۳	۴	۵۴۵	نرخ احداث نیروگاه بادی (MW/ Year)	سناریو ۳
۰/۲۲	۰/۰۵۰	۰/۷۵	رشد اقتصادی ایجاد شده (%)	
۱۲۳	۲۲	۵۹۸	نرخ احداث نیروگاه بادی (MW/ Year)	سناریو ۴
۰/۳۰	۰/۰۸۲	۱/۲	رشد اقتصادی ایجاد شده (%)	

از مجموع نتایج نمودارها و جداول، نکات زیر قابل برداشت اند:

* مثبت و صعودی بودن F1 و F2 در همه حالات و سناریوها نشان می دهد مجموعه صنعت انرژی بادی در ایران دارای سودآوری و عامل رشد اقتصادی است اما میزان این سودآوری و رشد شدیداً تابع سیاستها و شرایط موجود است.

* در تمام حالات تقریباً هم در F1 و هم در F2 نتایج سناریو ۱ و ۲ برهم منطبق اند و تفاوت خاصی بین آن‌ها وجود ندارد. سناریو ۳ نیز تفاوت کمی با این دو سناریو دارد که قابل چشم‌پوشی است. این بدان معناست که تولید کم توربین‌های بادی با عدم تولید هیچ تفاوتی ندارد و اگر خواستار ایجاد نتایج قابل ملاحظه ناشی از تولید توربین بادی هستیم باید میزان تولید بالا باشد. * تولید توربین‌های بادی به تنهایی پیشران صنعت و عامل رشد اقتصادی نیست و تنها به عنوان مکمل اقداماتی مثل اصلاح طرح خرید تضمینی برق اثر مثبت دارد (این مورد برای تولید در حجم بالا صدق می‌کند).

* در صورت تداوم شرایط فعلی (حالت ۲) و عدم اصلاح شرایط، سرمایه‌گذاری در بخش انرژی بادی نزدیک به صفر خواهد بود و با وجود بالاتر بودن نرخ احداث نیروگاه در سناریوی مربوط به تولید حجم بالای توربین بادی نسبت به ۳ سناریو دیگر، این عدد قابل توجه نیست.

* با مقایسه‌ی حالات در هر سناریو مشخص است یکی از مهمترین عوامل در توسعه‌ی مجموعه صنعت انرژی بادی در ایران تامین مالی مطمئن است. همچنین با مقایسه حالت اول و سوم مشخص می‌شود در مورد بحث مالی صرفاً در نظر گرفتن منبع مطمئن برای تامین مالی قراردادهای خرید تضمینی برق که با قوانین فعلی منعقد می‌شود مشکل زیادی را حل نمی‌کند، چنانچه مشاهده می‌شود نرخ احداث نیروگاه در صورت تامین مالی طرح خرید تضمینی برق و افزایش تولید توربین بادی بسیار بالاتر از حالت فعلی است اما هنوز با اهداف توسعه فاصله‌ی زیادی دارد. مثلاً در این حالت اهداف برنامه ششم که باید تا سال ۱۴۰۰ محقق شوند در سال ۱۴۱۱ محقق می‌شود!! پس اگر قرار است تغییری ایجاد شود باید ضمن تامین منبع مالی مطمئن، به ساختار فعلی قراردادهای خرید تضمینی برق بیشتر پرداخته شود.

جمع‌بندی

نتایج بدست آمده از حالت‌ها و سناریوهای مورد بررسی نشان می‌دهد در حالت ۱ که فرض شد حتماً سرمایه‌گذاری در صنعت انرژی بادی ایران تا حد نسبتاً بالا و به طور مرتب در هر سال انجام شود تمام شاخص‌ها رفتار مطلوبی از خود نشان دادند به طوریکه با افزایش ظرفیت تولید توربین بادی در این حالت، رشد اقتصادی ۱/۲ درصدی حاصل می‌شود. حالت ۲ که وضعیت فعلی را به تصویر می‌کشید مشخص کرد با شرایط فعلی سرمایه‌گذاری در صنعت انرژی بادی چیزی نزدیک به صفر است و در این شرایط تولید داخلی توربین‌های بادی حتی با ظرفیت MW ۱۰۰۰ در سال نیز با وجود اثر کاهشی که بر ریسک سرمایه‌گذاری دارد گرهی از مشکلات این صنعت باز نمی‌کند. در حالت ۳ که اطمینان از پرداخت به موقع و کامل طرح خرید تضمینی برق وجود داشت شرایط به طور قابل ملاحظه‌ای بهتر از حالت ۲ بود اما همچنان با حالت ۱ فاصله بسیار زیادی وجود داشت. در نهایت می‌توان گفت صنعت انرژی بادی باعث رشد اقتصادی می‌شود اما میزان رشد اقتصادی ایجاد شده در شرایط و سیاست‌های مختلف بسیار

متفاوت بوده و برای تصمیم‌گیری صحیح در این حوزه نیاز به تامل بیشتری است. همچنین افزایش تولید داخلی توربین بادی به تنهایی عامل رفع موانع توسعه صنعت انرژی بادی نیست. هرچند می‌تواند در کاهش مشکلات نقش موثری داشته باشد.

توصیه‌های سیاستی

* عامل بسیار مهمی که صنعت انرژی بادی ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهد تامین مالی مطمئن جهت خرید تضمینی برق تولید شده است. در این راستا راهکارهایی چون؛ اختصاص درآمد ناشی از سوخت صرفه‌جویی حاصل از تولید برق تجدیدپذیر به این بخش، ارائه شده است. این روش می‌تواند نقش مثبت و موثری در بهبود شرایط صنعت انرژی بادی ایران داشته باشد.

* در صورت بهبود شرایط خرید برق نیروگاه‌های بادی، پیشنهاد می‌شود در جهت افزایش ظرفیت تولید تا حجم حداقل 1000 MW/year اقدام شود.

* طبق مصوبه اخیر^{۱۳} وزیر نیرو، برق تولیدی نیروگاه‌های بادی با ظرفیت کمتر از 10 MW به صورت تضمین شده طی قرارداد ۲۰ ساله توسط ساتبا خریداری می‌شود. اما نیروگاه‌های با ظرفیت بالای 10 MW قادر به فروش برق تولیدی خود تنها در مناقصه و با کمترین قیمت پیشنهادی هستند. با توجه به اینکه نیروگاه‌های بادی با ظرفیت بالا دارای صرفه اقتصادی بیشتری هستند این تصمیم ضربه شدیدی به صنعت انرژی بادی در ایران می‌زند. در راستای تلاش نهادهای پشتیبان انرژی بادی پیشنهاد می‌شود این تصمیم لغو شده و برق تمام نیروگاه‌های بادی با هر میزان ظرفیت طی طرح خرید تضمینی برق خریداری شود.

پیشنهادها برای ادامه کار

در پژوهش حاضر، ضریب ظرفیت نیروگاه‌های بادی ثابت در نظر گرفته شده است، در صورتی که این شاخص برای هر منطقه با منطقه‌ی دیگر متفاوت است. بهتر است در پژوهش‌های آتی، اثر تفاوت ضریب ظرفیت‌ها لحاظ شود. صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر نقش مهمی در رفع یا کاهش هزینه‌های اجتماعی ناشی از تولید برق با استفاده از منابع فسیلی دارد. در نظر گرفتن این موضوع می‌تواند نتایج جالب و کامل‌تری را ارائه دهد.

منابع

- ۱ - آزادی راد، بهنام و حیدری، پیام، ۱۳۹۴، "نگاهی به روند بهره‌گیری از انرژی باد از گذشته تا به امروز با رویکرد اقتصاد انرژی"، اولین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در نگهداشت محیط زیست، آب و منابع طبیعی، اراک
- ۲ - حسینی، سید محمدحسن و فروزبخش، فرشید، ۱۳۸۳، "نجزیه و تحلیل اقتصادی احداث نیروگاه‌های بادی"، نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران

- ۳ - سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر(سانا)، ۱۳۹۵، "ضرورت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر"، وزارت نیرو.
- ۴ - مظفری خواه، مهدی و برگ ریزان، نسیم و شاه حیدر، حسین، ۱۳۹۲، "بررسی استعداد، جایگزینی و بهره‌وری انرژی باد نسبت به سوخت‌های فسیلی"، اولین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی، تهران
- 5- Wu Y., Chen K., Yang Y., Feng T.; 2015, "A system dynamics analysis of technology, cost and policy that affect the market competition of shale gas in China", *Renew. Sustain. Energy Rev.* 45, 235–243.
- 6- Xia F., Song F.; 2017, "Evaluating the economic impact of wind power development on local economies in China", *Energy Policy* 110: 263–270.
- 7- Zwaan B., Cameron L.; 2015, "Employment factors for wind and solar energy technologies: A literature review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45: 160–172.