سال سوم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۵، ص ص ۵۷- ۶۴
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
renemag.ir
مقاله
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۳۰

برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری انرژی‌های بادی و فتوولتائیک در مراکز استان‌های ایران

میثم حداد[۱*]، سید سعید مرتضوی[۲]

۱- کارشناس ارشد، اقتصاد انرژی، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور، تهران
۲- کارشناس ارشد، مدیریت تکنولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.
* شهرضا، ۸۶۱۹۸۸۶۴۶۱، meisam.haddad66@yahoo.com

چکیده

ایران با داشتن پتانسیل بالا در انرژی‌های بادی و سیستم‌های فتوولتائیک، زمینه‌ی مناسبی برای توسعه این انرژی‌ها دارد. از این‌رو برآورد صحیح هزینه‌های سرمایه گذاری با توجه شرایط اقلیمی و جغرافیایی دارای اهمیت است. در مطالعه‌ی حاضر به برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری انرژی‌های بادی و فتوولتائیک در مراکز استان‌های ایران با استفاده از نرم افزار RETScreen پرداخته شد. نتایج حاکی از ضریب ظرفیتی بالای انرژی بادی و فتوولتائیک در برخی از مراکز استان‌ها است. در سیستم‌های فتوولتائیک یک رابطه‌ی مستقیم بین ضریب ظرفیتی، میزان تولید برق و هزینه‌های سرمایه‌گذاری وجود دارد. شهرهای بوشهر، شیراز، یاسوج، زاهدان، اصفهان و بیرجند دارای هزینه‌ی سرمایه‌گذاری بالاتری نسبت به دیگر مراکز استان‌ها در سیستم‌های فتوولتائیک هستند. در توربین بادی همانند سیستم فتوولتائیک رابطه‌ی مستقیمی بین ضریب ظرفیتی و تولید برق سالیانه دارد. اما هزینه‌های سرمایه گذاری بادی با ضریب ظرفیتی و تولید برق رابطه ندارد و بیشتر به شرایط آب و هوایی مانند سرعت باد وابسته است. شهرهای رشت، بندرعباس، زاهدان، بیرجند، تبریز، اردبیل و بوشهر دارای هزینه‌ی سرمایه گذاری پایین تری نسبت به دیگر مراکز استان‌ها در انرژی بادی هستند. بنابراین با توجه به توجیه پذیری اقتصادی و هزینه‌های سرمایه گذاری، پیشنهاد می‌شود که مسئولان و سیاست گذاران انرژی با اعمال سیاست‌های تشویقی بکارگیری از انرژی‌های بادی و سیستم‌های فتوولتائیک را در ایران ترویج دهند.

کلیدواژگان: هزینه‌های سرمایه گذاری، انرژی بادی، سیستم‌های فتوولتائک، نرم افزار RETScreen.

Estimation investment costs of wind energy and photovoltaic in provincial centers of Iran

Meisam Haddad[1*], sayed Saeid Mortazavi[2]

1- Energy Economics, Power and Water University of Technology (Shahid Abbaspour), Tehran, Iran.
2- Technology Management, Islamic Azad University, Tehran, Iran
* P.O.B. 8619896461 shahreza, Iran, meisam.haddad66@yahoo.com
Received: 3 April 2016 Accepted: 18 February 2017

Abstract

Iran has a high potential for wind energy and photovoltaic systems, Features is suitable for the development of this energy. Therefore, is important accurate estimation of investment costs due to climate and geographical conditions. In this paper, the Estimation investment costs of wind energy and photovoltaic in provincial centers of Iran was using the RETScreen software. The results showed a high capacity factor in some provinces centers of wind power and photovoltaic. The photovoltaic system is a direct relationship between the capacity factor, the electricity production and investment costs. In Bushehr, Shiraz, Yasouj, Zahedan, Isfahan and Birjand has investment cost than other photovoltaic systems are the provincial centers. The wind turbine, such as a photovoltaic system is a direct relationship between capacity factor and annual electricity production. But investment costs of wind power generation capacity by a factor not related to weather conditions such as wind speed and more dependent. In the wind power Rasht, Bandar Abbas, Zahedan, Birjand, Tabriz, Ardabil and Iran have lower investment costs than other provincial centers. So according to the economic feasibility and costs of investment, it is suggested that officials and energy policy with policies encouraging the use of wind energy and photovoltaic systems in Iran promote.

Keywords: Wind energy, photovoltaic systems, software RETScreen, cost of investment.

۱- مقدمه

از اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰، زمانی که انرژی پس از اولین بحران نفتی مورد توجه سیاست‌گذاران قرار گرفت، تحقیق در مورد تقاضای انرژی به منظور غلبه بر درک محدود ماهیت تقاضای انرژی و واکنش تقاضا با توجه به شوک‌های خارجی که در آن زمان به تقاضای انرژی وارد می‌شد، به طور گسترده‌ای افزایش یافت[۱]. در این زمان در کشورهای توسعه یافته توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر (به ویژه انرژی خورشیدی) و سرمایه گذاری زیاد برای مطالعه و دستیابی به طرح‌های بهینه انجام پذیرفت.

بنا به گزارش جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۴، سرمایه‌گذاری جهانی در این حوزه با رشد ۱۷ درصدی نسبت به سال ۲۰۱۳ به رقم ۲۷۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۴ رسیده است که از این مقدار ۱۳۱ میلیارد دلار آن توسط کشورهای در حال توسعه سرمایه گذاری شده است [۲]. در این سال سهم چین از سرمایه گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر حدود ۳۱ درصد، ۸۳/۳ میلیارد دلار است. اروپا با ۵۷/۵، آسیا و اقیانوسیه به جز هند و چین با ۴۳/۳، ایالات متحده با ۳۵/۸، آمریکا به جز ایالات متحده و برزیل با ۱۲/۴، خاورمیانه و آفریقا با ۱۲/۶، برزیل با ۷/۶ و هند با ۷/۴ میلیارد دلار در رتبه‌های بعدی سرمایه گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر هستند [۳]. در سال ۲۰۱۲ کل ظرفیت نصب شده انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیا ۶۱۲/۶ گیگاوات می‌باشد که از این میان ایالات متحده با ۱۳۲/۷ گیگاوات و خاورمیانه و آفریقا با ۱/۲ گیگاوات به ترتیب بیشترین و کمترین ظرفیت نصب را به خود اختصاص داده‌اند. چین با ۷۱/۶ گیگاوات در رتبه‌ی دوم نصب انرژی‌های تجدیدپذیر قرار دارد به گونه‌ای که اگر ظرفیت‌های در حال نصب را به آن اضافه کنیم تا سال ۲۰۲۰، این ظرفیت به ۱۵۱/۸ گیگاوات می‌رسد که با احتساب این ظرفیت‌ها در رتبه‌ی اول قرار می‌گیرد[۴].

در ایران به دلیل وجود پتانسیل‌های بالای انرژی‌های تجدیدپذیر، زمینه‌ی مناسبی برای گسترش فعالیت‌های مربوط به این نوع انرژی‌ها در کشور وجود دارد. ایران کشوری است که به گفته‌ی متخصصان فن با داشتن ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم مساحت آن و متوسط تابش ۵/۵- ۴/۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز، یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی شده است. براساس مطالعات انجام شده در مساحتی حدود ۲۰۰۰ کیلومتر مربع، امکان نصب بیش از ۶۰ گیگاوات نیروگاه حرارتی خورشیدی وجود دارد. همچنین در حوزه‌ی انرژی بادی، براساس پروژه‌های پتانسیل سنجی بادی در ایران، پتانسیل بادی قابل استحصال در کشور حدود ۱۰۰ گیگاوات می‌باشد[۵]. این در حالی است که تا سال ۱۳۹۴، در ایران تنها ۱۰۹۹۱ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر اعم از آبی، بادی، خورشیدی و بیوگاز نصب شده است که حدود ۱۵ درصد کل ظرفیت‌های نسب شده است[۶]. اگر ظرفیت ۱۰۷۲۶ مگاواتی تولید برق آبی از کل انرژی‌های تجدیدپذیر کم شود فقط ۰/۳۴ درصد، سهم منابع بادی، خورشیدی و بیوگاز می‌باشد. در حالی که اگر تنها ۵۴ درصد پتانسیل انرژی‌های بادی و خورشیدی استفاده شود دیگر نیازی به انرژی‌های فسیلی برای تولید برق در کشور نیست.

ایران با داشتن طبیعت چهار فصل و تنوع آب و هوایی در استان‌ها، از موقعیت بسیار خوبی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بر خوردار است. از طرفی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی‌های بادی و خورشیدی به شرایط اقلیمی و جغرافیایی وابستگی زیادی دارد. دما، تابش افقی، سرعت باد، طول و عرض جغرافیایی و دیگر عوامل بر میزان بازدهی، هزینه‌های نصب و راه اندازی و همچنین هزینه‌های تعمیر و نگهداری موثرند. بنابراین با وارد کردن این متغیرها در مدل‌های ارزیابی هزینه-فایده، می‌توان برآوردی بهتر از هزینه‌ها داشت.

با توجه به پتانسیل‌های اشاره شده در بالا برای انرژی‌های بادی و خورشیدی و همچنین اثر شرایط اقلیمی بر هزینه‌ها، در این مطالعه به برآورد هزینه‌های سرمایه گذاری انرژی‌های خورشیدی و بادی در مراکز استان‌های ایران با استفاده از نرم افزار RETScreen پرداخته شد. در ادامه و در بخش دوم، پیشنه‌ی تحقیق مربوط به ارزیابی و برآورد هزینه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در داخل و خارج ارائه می‌شود. در بخش سوم مبانی نظری ارائه می‌شود. در بخش چهارم بحث و نتایج برآورد هزینه‌ها و در بخش پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات زیادی در مورد ارزیابی اقتصادی و امکان سنجی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در داخل و خارج از کشور انجام شده است. در اکثر مطالعات انجام شده با مفروض بودن هزینه‌های نصب و راه اندازی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری، ارزیابی اقتصادی انجام شده است. در [۷] به منظور حداکثر کردن رفاه اجتماعی، یک مدل کنترل بهینه طراحی و با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، مسیرهای بهینه جایگزینی انرژی خورشید و باد به جای سوخت‌های فسیلی در طی زمان در ایران ترسیم شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد در صورت ثابت ماندن هزینه تبدیل انرژی خورشیدی و بادی و در نظر گرفتن نرخ تنزیل اجتماعی پنج درصد، انتقال از انرژی‌های فسیلی به سمت انرژی خورشیدی و بادی در سال ۱۴۶۶ و با فرض کاهش ۵۰ درصدی هزینه تبدیل انرژی خورشید و باد در هر ده سال، این انتقال در سال ۱۴۰۹ می‌بایست صورت پذیرد. در [۸] به ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران پرداخته شد. ایران، سرشار از منابع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر است. موقعیت جغرافیایی کشور ایران موجب شده است که منبع بسیار بزرگی از انرژی‌های خورشیدی و بادی در آن موجود باشد. این دو منبع انرژی تجدیدپذیر، رایگان و با محیط زیست سازگار هستند. بررسی آمار ده ساله وزش باد در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور ایران نشان داد که بسیاری از نواحی ایران، از جمله نواحی ساحلی دریای عمان و جزایر خلیج فارس، نواحی ساحلی استان خوزستان و نواحی شرقی کشور به همراه چند نقطه پراکنده مانند: منجیل، رفسنجان، اردبیل و بیجار بادخیز هستند و در آنها توان تولید برق‌بادی، بویژه در فصل تابستان وجود دارد. البته، در بسیاری از نقاط دیگر کشور هم در زمان‌های محدودی از سال توان تولید برق‌بادی وجود دارد.

در [۹] ضمن بررسی انواع توربین‌های بادی و میزان انرژی باد و سرعت لازم برای تولید برق بادی، به ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران پرداخته شد. نتایج حاکی از این است که در کل کشور، ایستگاه زابل (منطقه سیستان) بهترین شرایط را برای احداث مزارع بادی دارد و پس از آن سواحل و جزایر جنوبی ایران برای این امر مناسب هستند. در [۱۰] اقتصادی بودن نیروگاه خورشیدی(فتوولتاییک) را در مقایسه با نیروگاه دیزلی و اتصال به شبکه سراسری برق را بهمنظور تامین برق روستاهای مرکزی ایران بررسی کرده و نتیجه گرفتند که سیستم‌های انرژی فتوولتایی در مقایسه با دیگر سیستم‌ها هزینه واحد کمتری دارند. در [۱۱] به برآورد پتانسیل فنی و اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی در ایران پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن است که علیرغم تلاش‌های در حال انجام برای توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر، یارانه انرژی‌های فسیلی، یک مانع اصلی برای توسعه این انرژی‌هاست. پتانسیل اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی با فرض نرخ بهره ۱۴ درصد و قیمت برق

معادل ۵ سنت آمریکا هر کیلووات ساعت معادل ۶۰ میلیون کیلووات ظرفیت معادل برق برآورد می‌شود. در [۱۲] به ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی (مطالعه موردی مجتمع سه واحدی در شهرستان مشهد) با استفاده از نرم افزار کامفار (COMFAR) پرداخته شده است. نتایج حاکی از این است که استفاده از این سیستم‌ها در مجتمع‌های مسکونی سه واحدی، توجیه‌پذیر بوده به طوری که با میزان سرمایه‌گذاری اولیه ۲۰۰ میلیون ریال، نرخ بازدهی داخلی در یک مجتمع مسکونی با متوسط مصرف ۴۰۰KWH در ماه برای هر واحد، برابر با ۲۲/۸۳ درصد است و دوره بازگشت سرمایه ۱۳ سال و نیز خالص ارزش فعلی به میزان ۹۶۳۸۰ میلیون ریال می‌باشد. در [۱۳] هزینه‌های استفاده از انرژی-های تجدیدپذیر (حرارتی- خورشیدی، فتوولتائیک و زیست توده) با روش‌های ارزش حال و چرخه‌ی عمر محاسبه شده است. نتایج حاکی از آن است که هزینه‌های تکنولوژی فتوولتائیک در پانزده سال گذشته روند نزولی داشته است و این روند تا سال ۲۰۲۰ ادامه خواهد یافت، اما هزینه‌ی تولید برق از تکنولوژی حرارتی- خورشیدی و تکنولوژی زیست توده روند متغیری داشته است. در [۱۴] با عنوان سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی: اقتصاد منابع تجدیدپذیر، هزینه‌ی واحد سیستم فتوولتائیک از روش تحلیل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر محاسبه شده است و با هزینه‌ی نیروگاه‌های متعارف مقایسه شده است. در [۱۵] ضمن استفاده از تحلیل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر، هزینه‌ی واحد انرژی فتوولتائیک در دو حالت پشتیبانی و عدم پشتیبانی با موتور دیزل کمکی محاسبه شده و هزینه‌ی سیستم به تفکیک اجزای آن برآورد شده است. در مطالعه‌ی [۱۶] از نرم افزار RETScreen برای محاسبه میزان انرژی خورشیدی دریافتی و ضریب ظرفیت نیروگاه، همچنین برآورد هزینه‌های اولیه و دوره ای، محاسبه میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای و ارزیابی مالی استفاده شده است. در محاسبات با توجه به قانون هدفمندسازی یارانه‌ها و تعرفه‌های جدید قیمت برق و مسئله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نیروگاه فتوولتائیک سه سناریو اصلی مطرح و با یکدیگر مقایسه شده است.

در [۱۷] به بررسی و ارزیابی سیستم‌های فتوولتائیک برای تأمین برق مناطق روستایی هند پرداختند. آن‌ها استفاده از فنآوری‌های انرژی تجدیدپذیر را از جنبه‌ی روش تحلیل هزینه‌ی عمر مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این است که سیستم‌ها فتوولتائیک از جنبه‌های اقتصادی و پیامدهای زیست محیطی برای تأمین برق مصارف خانگی روستاها بسیار مناس هستند. در مطالعه‌ی [۱۸] تحت عنوان یک تحلیل هزینه چرخه عمر برای مقایسه انرژی فتوولتائیک و مولد سوختی در مواقع افت بار به ارزیابی اقتصادی و مقایسه استفاده از سیستم فتوولتائیک و مولدهای نفتی و دیزلی در موقع افت بار در کشور هندوستان پرداخته اند. در این مطالعه با استفاده از اطلاعاتی چون نرخ تنزیل، نرخ تورم، میزان وام و کمک دولت برای تشویق استفاده از سیستم فتوولتائیک، هزینه‌های بهره برداری و نگهداری از مولدهای سوختی و سیستم فتوولتائیک و همچنین هزینه سوخت، هزینه واحد انرژی سه گزینه مطرح شده را محاسبه کردند. در [۱۹] به بررسی فنی و اقتصادی استفاده از برق فتوولتائیک در صنایع نفتی با استفاده از نرم افزار RETScreen پرداخته شده است. در این مطالعه ضمن بررسی نکات مربوط به طراحی این سیستم با استفاده از نرم افزار RETScreen به تجزیه و تحلیل مالی و انتشار آلاینده‌ها اشاره شده است. نتایج حاکی از این است که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با کاهش منابع فسیلی می‌تواند راهکار مناسبی باشد. در ضمن با آزاد سازی قیمت‌های حامل‌های انرژی می‌تواند سود دهی این نوع پروژه‌ها افزایش یابد.

۳- مبانی نظری

هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای سیستم‌های فتوولتائیک شامل هزینه ماژول‌های[1] فتوولتائیک و هزینه‌های BoS[2] می‌باشد. هزینه ماژول فتوولتائیک با هزینه مواد خام، به ویژه هزینه های سیلیکون، پردازش، ساخت سلول و هزینه‌های مونتاژ آن مشخص می‌شود. هزینه‌های BoS شامل هزینه‌های ساخت (از جمله نصب و راه اندازی سازه، آماده سازی سایت و سایر متعلقات می باشد)، هزینه‌های سیستم‌های الکتریکی (شامل اینورتر، ترانسفورماتور، سیم کشی و دیگر هزینه‌های نصب و راه اندازی الکتریکی می‌باشد) و هزینه-های باتری و یا سیستم‌های ذخیره سازی دیگر در صورت نیاز که برای موارد مستقل از شبکه کاربرد دارد.

هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه یک پروژه بادی شامل هزینه‌های توربین، هزینه‌های ساخت و ساز، هزینه‌های اتصال به شبکه و سایر هزینه های سرمایه گذاری می‌باشد. به طور منصفانه می‌توان این گونه بیان نمود که ۸۴ درصد از کل هزینه‌های نصب پروژه‌های انرژی بادی مربوط به هزینه توربین بادی (که شامل برج و نصب و راه اندازی آن می باشد) است[۲۰]. با توجه به هدف اصلی این مطالعه که برآورد هزینه‌های انرژی بادی و فتوولتائیک در مراکز استان‌های کشور است، پس از مطالعات و جستجوهای فراوان بهترین نرم افزار برای محاسبه و تجزیه تحلیل نرم افزار RETScreen انتخاب شد. در ادامه ابتدا به معرفی اجمالی این نرم افزار پرداخته می‌شود و سپس ورودی‌ها و اطلاعات مورد نیاز جهت شروع کار معرفی می‌شود. در بخش بعدی به بحث و نتایج خروجی‌ها پرداخته می‌شود.

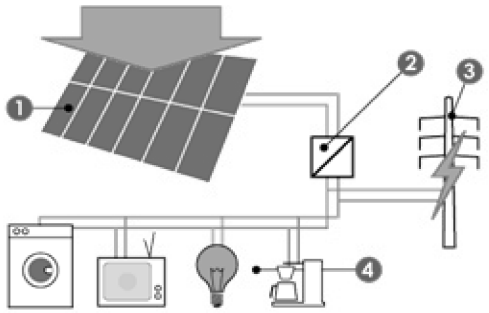
RETScreen نرم افزار برتر در زمینه‌ی تصمیم گیری در رابطه با انرژی تجدیدپذیر می‌باشد. این نرم افزار به صورت رایگان توسط دولت کانادا و به عنوان بخشی از نیاز کشور برای بکارگیری رویکردی یکپارچه در رابطه با تغییرات آب و هوایی و کاهش آلودگی در اختیار عموم قرار گرفته است. این نرم افزار، به عنوان ابزاری که اجرای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر را امکان پذیر می‌سازد، در دنیا مورد تایید قرار گرفته است. این نرم افزار به میزان قابل توجهی هزینه‌های (مالی و زمانی) مرتبط با شناسایی و ارزیابی پروژه‌های بالقوه انرژی را کاهش می‌دهد. این هزینه‌ها که در مرحله‌ی پیش امکان سنجی، امکان سنجی، طراحی و مهندسی تحمیل می‌شود، می‌تواند موانع بزرگی بر سر طراحی تکنولوژی‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر و کارآمد نمودن انرژی باشد. از طریق رفع این موانع، RETScreen هزینه‌ی لازم جهت اجرای پروژه و راه انداختن کسب و کار در زمینه‌ی انرژی پاک را کاهش می-دهد. این نرم افزار از طریق امکان استفاده از انرژی پاک به طور غیر مستقیم میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داده است. مقدار این کاهش با تخمینی محافظه کارانه سالانه بالغ بر ۲۰ میلیون تن در سال می‌باشد. این نرم افزار جامع ترین محصول در نوع خود است و به مهندسین، معماران و طراحان مالی اجازه می‌دهد تا هرگونه پروژه‌ی انرژی پاک را مدلسازی نموده و تحلیل نمایند. تکنولوژی‌ها شامل مدل‌های پروژه RETScreen همگی در این نرم افزار گنجانده شده و دارای منابع سنتی و غیرسنتی انرژی تجدیدپذیر و منابع انرژی معمول و تکنولوژی‌های آن می-باشد. نمونه‌ای از مدل‌های پروژه شامل این موارد می‌باشند: کارآمد نمودن انرژی (از تاسیسات صنعتی بزرگ گرفته تا خانه‌های شخصی) سیستم گرمایش و سرمایشی (برای مثال زیست توده، پیمپ‌های گرمایشی و گرمایش

1 - Module.
2 - balance of system.

خورشیدی) برق (شامل انرژی‌های قابل تجدید نظیر انرژی خورشیدی، باد، موج، آب، گرمای زمین و غیره و تکنولوژی‌های معمول مانند توربین‌های گازی بخار و موتورهای تناوبی) و ترکیب گرما و برق. بانک‌های اطلاعاتی آب و هوا، هیدرولوژی و محصول به طور کامل در این ابزار تحلیلی درآمیخته شده است (۶۷۰۰ ایستگاه آب و هوایی در زمین به علاوه داده‌های ماهواره‌ای ناسا که کل زمین را تحت پوشش قرار می‌دهد، موجود می‌باشد). همچنین نقشه-های منابع انرژی در دنیا نیز در این ابزار قرار داده شده است [۲۱]. در این مطالعه با مفروض دانستن دوره‌ی بازگشت سرمایه و دیگر اطلاعات و داده‌های نرم افزار به برآورد هزینه‌های انرژی بادی و فتوولتائیک در مراکز استان‌های ایران پرداخته شد. متغیر مجهول در این مطالعه هزینه‌های اولیه‌ی نهایی است. به منظور برآورد هزینه‌ها، باید دوره‌ی بازگشت سرمایه را به عنوان یک متغیر ورودی وارد مدل کرد. در مطالعات ارزیابی اقتصادی عکس این موضوع برقرار است؛ در این گونه مطالعات دوره‌ی بازگشت سرمایه بعنوان خروجی مدل و هزینه‌ها بعنوان ورودی مدل می‌باشند.

۳-۱- سیستم‌های متصل به شبکه[1]

طراحی سیستم‌های متصل به شبکه، به گونه‌ای است که هم‌زمان و به طور متصل به شبکه برق سراسری عمل می‌نمایند. یکی از اجزاء اصلی این سیستم‌ها، مبدل‌ها هستند که برق DC تولیدی توسط انرژی‌های تجدیدپذیر (بادی و فتوولتائیک) را متناسب با ولتاژ و توان شبکه برق منطقه‌ای به AC تبدیل نموده و در هنگام عدم نیاز، به طور خودکار انتقال نیرو را قطع می‌نماید. به طورکلی ارتباطی دو جانبه میان سلول‌های فتوولتائیک و شبکه انتقال نیرو وجود دارد به نحوی که اگر برق DC تولیدی توسط این سیستم‌ها بیش از نیاز سایت باشد، مازاد آن به شبکه برق سراسری تغذیه می‌شود و در هنگام شب و مواقعی که به دلایل اقلیمی، امکان استفاده از نور خورشید وجود ندارد، بار الکتریکی مورد نیاز سایت توسط شبکه برق سراسری تأمین می‌شود. همچنین در کاربردهای متصل به شبکه در صورتی که سیستم فتوولتائیک به دلایل تعمیراتی از مدار خارج شود، برق مورد نیاز سایت از طریق شبکه برق سراسری تأمین خواهد شد [۲۲]. شکل (۱) شماتیکی از اجزای سیستم‌های متصل به شبکه را براساس طرز قرار گرفتن اجزا نشان می‌دهد.



۱- پانل‌های خورشیدی
۲- مبـــدل
۳- شبکه برق
۴- تجهیزات

شکل ۱ اجزاء سیستم‌های متصل به شبکه [۲۳]

اینورتر[2] یا مبدل برق دستگاهی الکترونیکی است که جریان مستقیم (DC) را به جریان متناوب (AC) تبدیل می‌کند. اینورتر یک نوسان ساز الکترونیکی با توان بالا است. بازدهی اینورترها در حال‌های متصل به شبکه و منفصل از شبکه از ۷۰ تا ۹۶ درصد می‌باشد [۲۴]. در این مطالعه از سیستم متصل به شبکه سراسر برق برای برآورد هزینه‌های انرژی‌های بادی و فتوولتائیک استفاده شد. یکی از مهمترین دلایل انتخاب سیستم متصل این است که در تمام نقاط مراکز استان‌های کشور شبکه‌ی سراسری برق وجود دارد و نیازی به سیستم برق منفصل نیست. دلیل دیگر این است که با ایجاد طرح‌های تشویقی وزارت نیرو در سال‌های اخیر و افزایش تعرفه‌ی خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، دارندگان سیستم‌های متصل به شبکه با فروش مازاد برق به شبکه ایجاد درآمد می‌کنند و پروژه‌های بیشتری از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر می‌شود. در جدول(۱)، تعرفه‌های خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک در سال ۱۳۹۴ آورده شده است.

جدول ۱ تعرفه‌های خرید تضمینی برق ازنیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک در سال ۱۳۹۴ [۲۵]

ردیف	نوع فناوری	تعرفه خرید تضمینی برق (ریال بر کیلووات ساعت)
۱	زیست توده – لندفیل	۲۹۰۰
۲	زیست توده – هضم بی‌هوازی	۳۱۵۰
۳	زیست توده – زباله سوز	۵۸۷۰
۴	مزرعه بادی با ظرفیت بیش از ۵۰ مگاوات	۴۰۶۰
۵	مزرعه بادی با ظرفیت ۵۰ مگاوات و کمتر	۴۹۷۰
۶	بادی با ظرفیت ۱ مگاوات و کمتر (مختص مشترکین برق و محدود به ظرفیت انشعاب)	۵۹۳۰
۷	مزرعه خورشیدی با ظرفیت بیش از ۱۰ مگاوات	۵۶۰۰
۸	مزرعه خورشیدی با ظرفیت ۱۰ مگاوات و کمتر	۶۷۵۰
۹	خورشیدی با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات و کمتر(مختص مشترکین برق و محدود به ظرفیت انشعاب)	۸۷۳۰
۱۰	خورشیدی با ظرفیت ۲۰ کیلووات و کمتر(مختص مشترکین برق و محدود به ظرفیت انشعاب)	۹۷۷۰
۱۱	زمین گرمایی (شامل حفاری و تجهیزات)	۵۷۷۰
۱۲	توربین‌های انبساطی	۱۸۰۰
۱۳	بازیافت تلفات در فرآیندهای صنعتی	۳۰۵۰
۱۴	برق آبی کوچک ۱۰ مگاوات و کمتر	۳۷۰۰
۱۵	سایر انواع تجدیدپذیر و پاک بجز نیروگاه های برق آبی	۴۸۷۳

۴- نتایج و بحث

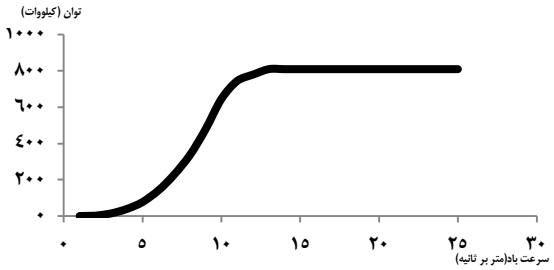
در این بخش ابتدا مفروضات و ورودی‌های مدل معرفی می‌شود. سپس خروجی‌ها و اطلاعات حاصل از برآورد هزینه‌ها در قالب جداول ارائه می‌شود. در انتهای این بخش در مورد نتایج بدست آمده از نرم افزار بحث می‌شود.

تعرفه‌ی خرید برق از شبکه سراسری با توجه به نوع مصرف کننده، مناطق ۵ گانه گرمسیری، نوع فصل، مازاد بر مصرف و میزان مصرف در ساعت‌های پیک و غیر پیک متفاوت است [۲۶]. در این مطالعه متوسط تعرفه‌ی خرید برق از شبکه ۷۰۰ ریال فرض شده است. متوسط تعرفه‌ی

1- Grid Connected.
2 - Inverter.

خرید تضمینی برق فتوولتائیک و بادی در این مطالعه ۵۰۰۰ ریال فرض شده است که با توجه به جدول (۱) این رقم حداقل تعرفه می‌باشد. در ایران طول عمر پروژه برای سیستم‌های فتوولتائیک ۲۵ سال و برای پروژه‌های توربین بادی ۲۰ سال می‌باشد[۲۷]. براساس مطالعات و تحقیقات قبلی متوسط دوره‌ی بازگشت سرمایه برای سیستم‌های فتوولتائیک ۱۰ سال و برای توربین بادی ۶ سال است.

از مفروضات این روش، تعیین نرخ اعتباری کاهش یک تن گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. این مقدار بسته سیاست‌های حمایتی دولت می‌تواند متغیر باشد. در این مطالعه این مقدار ۴۰۰۰۰۰ ریال برای هر یک تن کاهش گازهای گلخانه‌ای مفروض است. در برخی از کشورهای دنیا این رقم به ۱۰۰ دلار هم رسیده است [۵]. برای برآورد هزینه‌های انرژی بادی باید مدل، مشخصات فنی و منحنی توان توربین بادی مورد استفاده را تعیین کرد. در این مطالعه توربین بادی E53 انتخاب شد. دلیل انتخاب توربین بادی مدل E53 در این مطالعه این است که در بین توربین‌های موجود در دنیا این توربین با شرایط جغرافیایی ایران همپوشانی بیشتر دارد. به گونه‌ای که با توجه به منحنی قدرت آن و متوسط سرعت باد در همه‌ی مراکز استان‌های کشور قابل استفاده است. نمودار (۱)، منحنی توان توربین بادی مدل E53 را نشان می‌دهد.



نمودار ۱ منحنی توان توربین بادی مدل E53 **[۲۸]**

مشخصات فنی توربین بادی مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است. نرم افزار اطلاعاتی در مورد میزان دسترسی به این تکنولوژی را نیاز دارد. درصد استفاده از این توربین در این مطالعه، ۹۵ درصد تعیین شده است. تلفات ایروفویل[1]، تلفات ناشی از عدم تنظیم درست[2] و سایر تلفات را ۵ درصد در نظر گرفته شد.

جدول۲ مشخصات فنی توربین بادی مورد مطالعه مدل E53 **[۲۸]**

مشخصه	مقدار
توان اسمی[3]	۸۰۰ کیلووات
ارتفاع هاب[4]	۷۳ متر
قطر روتور[5]	۵۲/۹ متر
مساحت جاروب[6]	۲/۱۹۸ مترمربع
سرعت باد قطع جریان[7]	۲۸-۳۴ متر بر ثانیه

1 - Airfoil losses.
2 - Array losses.
3 - Rated power.
4 - Hub height.
5 - Rotor diameter.
6 - Swept area.
7 - Cut-out wind speed.

یکی از مفروضات برای محاسبه‌ی هزینه‌ی انرژی بادی به کمک نرم افزار RETScreen متغیر توان برشی باد[8]است. به تغییرات سرعت باد با افزایش ارتفاع هاب، توان برشی باد گفته می‌شود. به منظور محاسبه‌ی توان برشی باد از رابطه‌ی (۱) استفاده شد [۲۹]. توان برشی باد در هر منطقه با توجه به سرعت باد در ارتفاعات مختلف متفاوت است.

$$\propto = \frac{\ln v_1 - \ln v_0}{\ln z_1 - \ln z_0}$$ رابطه (۱)

در رابطه بالا v_1 سرعت باد در ارتفاع هاب، v_0 سرعت باد در ارتفاع مرجع، z_1 ارتفاع هاب و z_0 ارتفاع مرجع است.

یکی از خروجی‌های این روش، ضریب ظرفیتی[9] سیستم‌های فتوولتائیک و توربین بادی می‌باشد. نسبت انرژی خروجی از یک سیستم به ظرفیت همان سیستم را ضریب ظرفیتی گویند. ضریب ظرفیتی سیستم‌های فتوولتائیک به خاطر دسترسی به منبع خورشید و داشتن یا نداشتن سیستم‌های ردیابی (یک محوره یا دو محوره) بسیار متفاوت می باشد. ضریب ظرفیت برای فتوولتائیک معمولا در محدوده ۱۰ تا ۲۵ درصد برای سیستمهای ثابت می باشد. ارتفاع هاب و مناطق جاروب بیشتر نقش مهمی را در افزایش میانگین ضریب ظرفیت مزارع بادی خواهند داشت به طوری که توربینهای بزرگتر ضریب ظرفیت بیشتری را در همان سایت خواهند داشت [۲۰]. به عنوان مثال استاندارد تکنولوژی توربین بادی از سال ۲۰۰۳ در سایتی با سرعت باد ۶ متر بر ثانیه، ضریب ظرفیتی معادل ۰/۲۲ را به همراه خواهد آورد در حالی امروزه طبق استانداردهای تکنولوژی این ضریب ظرفیت ۰/۲۹ می باشد و برای طراحی های خاص در سرعت باد کم، برای رژیم های کم سرعت باد این میزان می تواند به ۰/۳۷ نیز افزایش یابد [۳۰].

در جدول (۳) خلاصه‌ای از مفروضات و اطلاعات اولیه برای برآورد هزینه‌های سرمایه گذاری در انرژی بادی و فتوولتائیک آمده است. این مفروضات از منابع مختلفی مانند مرکز آمار ایران، داده‌های آب و هوایی در سالنامه آماری کشور [۳۱]، ترازنامه انرژی وزارت نیرو [۲۷] و مقالات مرتبط با سرمایه گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر آورده شده است.

جدول۳ خلاصه‌ی مفروضات و اطلاعات اولیه برای برآورد هزینه‌های سرمایه گذاری در انرژی بادی و فتوولتائیک

اطلاعات	مقادیر	اطلاعات	مقادیر
نرخ تورم	۱۴ درصد	دسترسی به توربین	۹۵ درصد
طول عمر توربین	۲۰ سال	مشخصات توربین	توربین E53
بازگشت سرمایه توربین بادی	۶ سال	مبلغ وام	صفر
قیمت فروش برق	۵۰۰۰ ریال	توان برشی باد	متغیر
ارتفاع ایستگاه هواشناسی	۱۰ متر	میانگین دما	متغیر
طول عمر فتوولتائیک	۲۵ سال	فشار اتمسفر	متغیر
بازگشت سرمایه فتوولتائیک	۱۰ سال	تابش افقی	متغیر
بازدهی اینورتر سیستم فتوولتائیک	۹۰ درصد	تابش مایل	متغیر

8 - Wind shear exponent.
9 - Capacity factor.

هزینه‌های تعمیر و نگهداری در همه‌ی استان‌ها تقریبا یکسان است و شرایط آب و هوایی و جغرافیای اثر قابل توجهی برآن نمی‌گذارد. هزینه‌های سالیانه تعمیر و نگهداری توربین بادی در سال برای هر کیلووات ۳۰۰۰ ریال می‌باشد. همچنین هزینه تعمیر و نگهداری سیستم‌های فتوولتائیک بسیار پایین تر است و از وارد کردن آن‌ها در تجزیه و تحلیل اجتناب می‌شود. در این مطالعه هزینه‌های سرمایه گذاری برای سیستم فتوولتائیک یک کیلوواتی برآورد شده است. بعد از تعیین مفروضات، در این قسمت نتایج حاصل از برآورد هزینه‌های سرمایه گذاری، ضریب ظرفیت و درآمدهای سالیانه از انرژی‌های فتوولتائیک و بادی ارائه می‌شود. جدول (۴) نتایج حاصل از برآورد هزینه سیستم فتوولتائیک یک کیلوواتی در مراکز استان‌ها با استفاده از نرم‌افزار RETScreen آورده شده است.

جدول۴ خروجی حاصل از نرم افزار RETScreen برای سیستم فتوولتائیک

شهر	ضریب ظرفیتی	میزان تولید برق سالانه MWh	هزینه سرمایه گذاری (کیلووات ریال)	درآمد سالیانه (کیلووات ریال)		
				حاصل از کاهش آلودگی	حاصل از فروش برق	جمع کل
اراک	۱۹/۴	۱/۷	۸۵۰۰۰۰۰۰	۳۲۴۰۰۰	۸۵۰۰۰۰۰	۸۸۲۴۰۰۰
اصفهان	۲۰	۱/۷۸	۸۹۰۰۰۰۰۰	۳۴۰۰۰۰	۸۹۰۰۰۰۰	۹۲۴۰۰۰۰
اهواز	۱۸/۸	۱/۶۵	۸۳۰۰۰۰۰۰	۳۱۴۰۰۰	۸۲۵۰۰۰۰	۸۵۶۴۰۰۰
تهران	۱۸/۷	۱/۶۴	۸۲۰۰۰۰۰۰	۳۱۱۰۰۰	۸۲۰۰۰۰۰	۸۵۱۱۰۰۰
یزد	۱۹/۴	۱/۷	۸۵۰۰۰۰۰۰	۳۲۵۰۰۰	۸۵۰۰۰۰۰	۸۸۲۵۰۰۰
زنجان	۱۸/۶	۱/۶۳	۸۲۰۰۰۰۰۰	۳۱۰۰۰۰	۸۱۵۰۰۰۰	۸۴۶۰۰۰۰
زاهدان	۲۰/۰	۱/۷۵	۸۷۰۰۰۰۰۰	۳۳۲۰۰۰	۸۷۵۰۰۰۰	۹۰۸۲۰۰۰
بندر عباس	۱۹/۷	۱/۷۳	۸۷۰۰۰۰۰۰	۳۲۹۰۰۰	۸۶۵۰۰۰۰	۸۹۷۹۰۰۰
بیرجند	۱۹/۷	۱/۷۳	۸۸۰۰۰۰۰۰	۳۳۰۰۰۰	۸۶۵۰۰۰۰	۸۹۸۰۰۰۰
بجنورد	۱۷/۹	۱/۵۷	۷۹۰۰۰۰۰۰	۲۹۹۰۰۰	۷۸۵۰۰۰۰	۸۱۴۹۰۰۰
مشهد	۱۸/۶	۱/۶۳	۸۲۰۰۰۰۰۰	۳۱۰۰۰۰	۸۱۵۰۰۰۰	۸۴۶۰۰۰۰
سمنان	۱۸/۶	۱/۶۳	۸۱۰۰۰۰۰۰	۳۰۹۰۰۰	۸۱۵۰۰۰۰	۸۴۵۹۰۰۰
قم	۱۹/۵	۱/۷۱	۸۵۰۰۰۰۰۰	۳۲۶۰۰۰	۸۵۵۰۰۰۰	۸۸۷۶۰۰۰
تبریز	۱۸/۰۳	۱/۵۸	۷۹۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۷۹۰۰۰۰۰	۸۲۰۰۰۰۰
ارومیه	۱۸/۹	۱/۶۶	۸۳۰۰۰۰۰۰	۳۱۷۰۰۰	۸۳۰۰۰۰۰	۸۶۱۷۰۰۰
اردبیل	۱۷/۹	۱/۵۷	۷۹۰۰۰۰۰۰	۲۹۸۰۰۰	۷۸۵۰۰۰۰	۸۱۴۸۰۰۰
کرمانشاه	۱۸/۸	۱/۶۵	۸۴۰۰۰۰۰۰	۳۱۴۰۰۰	۸۲۵۰۰۰۰	۸۵۶۴۰۰۰
سنندج	۱۹/۴	۱/۷	۸۵۰۰۰۰۰۰	۳۲۳۰۰۰	۸۵۰۰۰۰۰	۸۸۲۳۰۰۰
شهرکرد	۱۹/۴	۱/۷	۸۶۵۰۰۰۰۰	۳۲۵۰۰۰	۸۵۰۰۰۰۰	۸۸۲۵۰۰۰
یاسوج	۲۰/۴	۱/۷۹	۹۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۱۰۰۰	۸۹۵۰۰۰۰	۹۲۹۱۰۰۰
ساری	۱۵/۶	۱/۳۷	۶۹۰۰۰۰۰۰	۲۶۰۰۰۰	۶۸۵۰۰۰۰	۷۱۱۰۰۰۰
گرگان	۱۶/۹	۱/۴۸	۷۴۰۰۰۰۰۰	۲۸۲۰۰۰	۷۴۰۰۰۰۰	۷۶۸۲۰۰۰
رشت	۱۴/۹	۱/۳۱	۶۶۰۰۰۰۰۰	۲۴۹۰۰۰	۶۵۵۰۰۰۰	۶۷۹۹۰۰۰
کرج	۱۸/۸	۱/۶۵	۸۳۰۰۰۰۰۰	۳۱۵۰۰۰	۸۲۵۰۰۰۰	۸۵۶۵۰۰۰
شیراز	۲۰/۸	۱/۸۲	۹۱۰۰۰۰۰۰	۳۴۷۰۰۰	۹۱۰۰۰۰۰	۹۴۴۷۰۰۰
کرمان	۱۹/۹	۱/۷۴	۸۷۰۰۰۰۰۰	۳۳۱۰۰۰	۸۷۰۰۰۰۰	۹۰۳۱۰۰۰
همدان	۱۹/۶	۱/۷۲	۸۶۰۰۰۰۰۰	۳۲۷۰۰۰	۸۶۰۰۰۰۰	۸۹۲۷۰۰۰
قزوین	۱۷/۹	۱/۵۷	۷۹۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۷۸۵۰۰۰۰	۸۱۵۰۰۰۰
بوشهر	۲۱/۹	۱/۹	۹۵۰۰۰۰۰۰	۳۶۲۰۰۰	۹۵۰۰۰۰۰	۹۸۶۲۰۰۰
ایلام	۱۸/۹	۱/۶۶	۸۴۰۰۰۰۰۰	۳۱۷۰۰۰	۸۳۰۰۰۰۰	۸۶۱۷۰۰۰
خرم آباد	۱۹/۷	۱/۷۳	۸۷۰۰۰۰۰۰	۳۳۰۰۰۰	۸۶۵۰۰۰۰	۸۹۸۰۰۰۰

همان طور که در جدول (۴) نشان داده شد، شهرهای بوشهر، شیراز، یاسوج، زاهدان و اصفهان، سیستم‌های فتوولتائیک ضریب ظرفیتی بالای ۲۰ درصد می‌باشد. رشت، ساری و گرگان دارای ضریب ظرفیتی کمتر از ۱۷ درصد می‌باشد. منطقی است که با بالا بودن ضریب ظرفیتی میزان تولید سالانه نیز افزایش می‌یابد. با افزایش تولید برق نیازمند اینورتر قوی‌تری برای تبدیل برق به شبکه است و همچنین موجب افزایش هزینه‌های سرمایه گذاری می‌باشد. بنابراین در سیستم‌های فتوولتائیک یک رابطه‌ی مستقیم بین ضریب ظرفیتی، میزان تولید برق و هزینه‌های سرمایه گذاری وجود دارد. بنابراین در شهرهایی که هزینه‌های سرمایه گذاری بالاتری دارند با توجه به تولید بیشتر درآمد سالانه بیشتری از فروش برق و نیز کاهش آلودگی دارند. درآمد حاصل از کاهش آلودگی، به ازای هر کیلووات تولید برق از سیستم‌های فتوولتائیک به طور متوسط سالانه ۳۱۰۰۰۰ ریال است. مطالعه حاضر هزینه‌های سرمایه گذاری برای توربین بادی ۸۰۰ کیلوواتی مدل E53 برآورد می‌شود. جدول (۵) نتایج حاصل از برآورد هزینه توربین بادی ۸۰۰ مگاواتی در مراکز استان‌ها با استفاده از نرم افزار RETScreen آورده شده است.

جدول ۵ خروجی حاصل از نرم افزار RETScreen برای توربین بادی با مدلE53

شهر	ضریب ظرفیتی	میزان تولید برق سالانه MWh	هزینه سرمایه گذاری کیلووات ریال	درآمد سالیانه کیلووات ساعت ریال		
				حاصل از کاهش آلودگی	حاصل از فروش برق	جمع کل
اراک	۲۳/۵	۲/۰۶	۸۱۲۵۰۰۰۰	۳۹۲۸۴۳	۱۰۳۰۰۰۰۰	۱۰۶۹۲۸۴۳
اصفهان	۲۵/۱	۲/۲	۷۳۷۵۰۰۰۰	۴۱۶۲۹۵	۱۱۰۰۰۰۰۰	۱۱۴۱۶۲۹۵
اهواز	۲۵/۸	۲/۲۶	۷۵۰۰۰۰۰۰	۴۳۱۳۰۰	۱۱۳۰۰۰۰۰	۱۱۷۳۱۳۰۰
تهران	۲۷/۴	۲/۴	۷۱۲۵۰۰۰۰	۴۴۵۲۶۰	۱۲۰۰۰۰۰۰	۱۲۴۴۵۲۶۰
یزد	۲۶/۶	۲/۳	۷۱۲۵۰۰۰۰	۴۴۰۹۷۰	۱۱۵۰۰۰۰۰	۱۱۹۴۰۹۷۰
زنجان	۲۵/۷	۲/۲۵	۷۶۲۵۰۰۰۰	۴۳۵۴۷۰	۱۱۲۵۰۰۰۰	۱۱۶۸۵۴۷۰
زاهدان	۲۵/۱	۲/۲	۷۰۰۰۰۰۰۰	۴۲۰۳۶۲	۱۱۰۰۰۰۰۰	۱۱۴۲۰۳۶۲
بندر عباس	۲۷/۴	۲/۴	۶۹۳۷۵۰۰۰	۴۵۸۴۶۰	۱۲۰۰۰۰۰۰	۱۲۴۵۸۴۶۰
بیرجند	۲۷/۴	۲/۴	۷۰۰۰۰۰۰۰	۴۴۵۹۳۰	۱۲۰۰۰۰۰۰	۱۲۴۴۵۹۳۰
بجنورد	۲۶/۷	۲/۳۴	۷۲۵۰۰۰۰۰	۴۴۶۱۴۱	۱۱۷۰۰۰۰۰	۱۲۱۴۶۱۴۱
مشهد	۲۶/۴	۲/۳۱	۷۲۵۰۰۰۰۰	۴۳۹۵۱۵	۱۱۵۵۰۰۰۰	۱۱۹۸۹۵۱۵
سمنان	۲۷/۴	۲/۴	۷۳۷۵۰۰۰۰	۴۵۴۰۳۰	۱۲۰۰۰۰۰۰	۱۲۴۵۴۰۳۰
قم	۲۶/۹	۲/۳۶	۷۱۲۵۰۰۰۰	۴۴۸۹۰۰	۱۱۸۰۰۰۰۰	۱۲۲۴۸۹۰۰
تبریز	۲۶/۷	۲/۳۴	۷۰۰۰۰۰۰۰	۴۴۶۳۴۰	۱۱۷۰۰۰۰۰	۱۲۱۴۶۳۴۰
ارومیه	۲۷/۴	۲/۴	۷۷۵۰۰۰۰۰	۴۵۵۵۳۰	۱۲۰۰۰۰۰۰	۱۲۴۵۵۵۳۰
اردبیل	۲۷/۷	۲/۴۳	۷۰۰۰۰۰۰۰	۴۶۲۹۵۵	۱۲۱۵۰۰۰۰	۱۲۶۱۲۹۵۵
کرمانشاه	۲۶/۶	۲/۳۳	۷۳۱۲۵۰۰۰	۴۴۴۳۰۰	۱۱۶۵۰۰۰۰	۱۲۰۹۴۳۰۰
سنندج	۲۶/۶	۲/۳۳	۷۳۱۲۵۰۰۰	۴۴۳۹۳۰	۱۱۶۵۰۰۰۰	۱۲۰۹۳۹۳۰
شهرکرد	۲۶/۲	۲/۳	۷۲۵۰۰۰۰۰	۴۴۰۹۸۰	۱۱۵۰۰۰۰۰	۱۱۹۴۰۹۸۰
یاسوج	۲۷/۲	۲/۳۸	۷۲۵۰۰۰۰۰	۴۵۲۳۵۰	۱۱۹۰۰۰۰۰	۱۲۳۵۲۳۵۰
ساری	۲۷/۴	۲/۴	۷۵۰۰۰۰۰۰	۴۵۸۱۱۰	۱۲۰۰۰۰۰۰	۱۲۴۵۸۱۱۰
گرگان	۲۷/۳	۲/۳۹	۷۵۰۰۰۰۰۰	۴۵۸۹۳۰	۱۱۹۵۰۰۰۰	۱۲۴۰۸۹۳۰
رشت*	۴۱/۷	۳/۶۵	۶۶۲۵۰۰۰۰	۶۹۷۲۲۰	۱۸۲۵۰۰۰۰	۱۸۹۴۷۲۲۰
کرج	۲۶/۴	۲/۳۱	۷۱۲۵۰۰۰۰	۴۴۰۵۲۰	۱۱۵۵۰۰۰۰	۱۱۹۹۰۵۲۰
شیراز	۲۷/۵	۲/۴۱	۷۵۰۰۰۰۰۰	۴۶۰۵۱۵	۱۲۰۵۰۰۰۰	۱۲۵۱۰۵۱۵
کرمان	۲۷/۵	۲/۴۱	۷۸۷۵۰۰۰۰	۴۶۰۷۷۵	۱۲۰۵۰۰۰۰	۱۲۵۱۰۷۷۵
همدان	۲۸/۵	۲/۵	۸۰۰۰۰۰۰۰	۴۸۶۹۸۶	۱۲۵۰۰۰۰۰	۱۲۹۸۶۹۸۶
قزوین	۲۶/۰	۲/۲۸	۷۲۵۰۰۰۰۰	۴۳۴۸۸۵	۱۱۴۰۰۰۰۰	۱۱۸۳۴۸۸۵
بوشهر	۲۶/۰	۲/۲۸	۷۰۰۰۰۰۰۰	۴۳۴۵۲۴	۱۱۴۰۰۰۰۰	۱۱۸۳۴۵۲۴
ایلام	۲۶/۶	۲/۳۳	۷۲۵۰۰۰۰۰	۴۴۳۶۰۰	۱۱۶۵۰۰۰۰	۱۲۰۹۳۶۰۰
خرم آباد	۲۶/۷	۲/۳۴	۷۲۵۰۰۰۰۰	۴۴۶۷۵۵	۱۱۷۰۰۰۰۰	۱۲۱۴۶۷۵۵

* به جای داده‌های مربوط به شرایط جغرافیایی و شرایط آب و هوایی مربوط به شهر رشت، از داده‌های شهر منجیل استفاده شد.

همان طور که در جدول (۵) نشان داده شد در شهرهای رشت، بندرعباس هزینه‌های سرمایه گذاری در توربین بادی کمتر از ۷۰ میلیون ریال برای هر کیلووات ساعت می‌باشد. شهرهای زاهدان، بیرجند، تبریز، اردبیل و بوشهر با هزینه‌ی سرمایه گذاری ۷۰ میلیون ریال برای هر کیلووات در رتبه‌های بعدی هزینه‌های سرمایه گذاری قرار دارند. در توربین بادی همانند سیستم فتوولتائیک رابطه‌ی مستقیمی بین ضریب ظرفیتی و تولید برق سالیانه دارد. اما هزینه‌های سرمایه گذاری با ضریب ظرفیتی و تولید برق رابطه ندارد و بیشتر به شرایط آب و هوایی مانند سرعت باد وابسته است. متوسط درآمد سالانه حاصل از کاهش آلودگی به ازای هر کیلووات تولید برق از توربین بادی مورد نظر ۴۵۳۰۰۰ ریال می‌باشد.

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از نرم افزار بین المللی RETScreen با توجه به ویژگی‌های آب و هوایی و جغرافیایی ایران، به برآورد هزینه سرمایه گذاری انرژی‌های بادی و فتوولتائیک پرداخته شد. این نرم افزار به منظور ارزیابی اقتصادی پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر طراحی شده است. بنابراین با تعیین متغیر بازگشت سرمایه و تعیین دیگر متغیرهای مورد نیاز، هزینه سرمایه گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر در مراکز استان‌های ایران برآورد شد. اطلاعات مورد نیاز از منابع آماری و تحقیقاتی به منظور طراحی سیستم متصل به شبکه جمع آوری شد.

ضریب ظرفیتی سیستم‌های فتوولتائیک در دنیا در بین بازده ۱۰ تا ۲۵ درصد می‌باشد. در مراکز استان‌های ایران این ضریب بین ۱۵-۲۲ درصد محاسبه شد. نتایج برآورد هزینه سرمایه گذاری در سیستم‌های فتوولتائیک نشان می‌دهد که شهرهای بوشهر، شیراز، یاسوج، زاهدان و اصفهان با داشتن ضریب ظرفیتی ۲۰ درصد و بالاتر، تولید برق سالیانه بیشتری از سیستم‌های فتوولتائیک در بین مراکز استان‌ها دارند. همچنین به دلیل بالا بودن تولید سالیانه و نیاز به اینورتر و دیگر تاسیسات تولید و انتقال به شبکه، دارای هزینه‌های سرمایه گذاری بالاتری هستند. درآمد حاصل از کاهش آلودگی، به ازای هر کیلووات تولید برق از سیستم‌های فتوولتائیک به طور متوسط سالانه ۳۱۰۰۰۰ ریال است.

نتایج به دست آمده در هزینه‌های سرمایه گذاری در انرژی بادی نشان می‌دهد که شهرهای رشت، بندرعباس با هزینه‌های سرمایه گذاری در توربین بادی کمتر از ۷۰ میلیون ریال و شهرهای زاهدان، بیرجند، تبریز، اردبیل و بوشهر با هزینه‌ی سرمایه گذاری ۷۰ میلیون ریال برای هر کیلووات، دارای هزینه‌های پایین‌تری نسبت به سایر مراکز استان‌ها می‌باشند. ضریب ظرفیتی انرژی بادی در کشور با توجه به تکنولوژی به کار رفته در توربین مورد مطالعه در حد بالایی است. متوسط درآمد سالانه حاصل از کاهش آلودگی به ازای هر کیلووات تولید برق از توربین بادی مورد نظر ۴۵۳۰۰۰ ریال می‌باشد. با توجه به دوره بازگشت سرمایه (برای انرژی بادی ۶ سال و برای سیستم فتوولتائیک ۱۰ سال) هزینه‌های سرمایه گذاری با توجه به توجیه پذیری اقتصادی برآورد شده است. بنابراین یکی از نتایجی که به طور غیرمستقیم از این روش بدست می‌آید این است که سیستم‌های فتوولتائیک یک کیلوواتی و توربین بادی ۸۰۰ کیلوواتی مدل E53 برای مراکز استان‌های ایران با در نظر گرفتن سیستم متصل به شبکه، دارای توجیه اقتصادی است.

با توجه به نتایج این مطالعه و تعرفه‌های تضمینی وزارت نیرو در خرید برق از منابع تجدیدپذیر و همچنین اعطای وام به سرمایه گذاران پیشنهاد می‌شود که مسئولان و سیاست گذاران انرژی به ترویج بیشتر در استفاده از انرژی‌های بادی و سیستم‌های فتوولتائیک در ایران بپردازند. ترویج و آموزش از طریق کاهش هزینه‌های تامین انرژی، افزایش راندمان و کاهش آلودگی موجب تسریع در روند پیشرفت این انرژی‌ها می‌شود. تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر علاوه بر کاهش آلودگی و افزایش طول عمر ذخایر فسیلی باعث ایجاد اشتغال می‌شود که یکی از مهمترین مسائل پیش روی اقتصاد کشور است.

۶- منابع:

[1] R. S. Pindyck, *The structure of world energy demand*, *The MIT Press*, Cambridge, Massachusetts, 1997.

[2] IRENA (2015), *Renewable Power Generation Costs in 2014*, www.irena.org.

[3] Global Trends In Renewable Energy Investment .(2015), http://www.fs-unep-centre.org (Frankfurt am Main).

[4] Global renewable energy country attractiveness and resource map (2013), *Global renewable energy country attractiveness and resource map*. ey.com/cleantech.

[۵] معاونت امور برق و انرژی دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی، *ترازنامه‌ی انرژی سال ۱۳۹۲*.

[۶] وزرات نیرو، *آمار تفصیلی صنعت برق ایران در سال ۱۳۹۴*، معاونت منابع انسانی و تحقیقات شرکت مادر تخصصی توانیر، دفتر فناوری اطلاعات و آمار.

[۷] ع. شریفی، غ. کیانی، ر. خوش اخلاق و م. باقری، ارزیابی جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوختهای فسیلی در ایران: رهیافت کنترل بهینه، *فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی*، سال سوم، شماره ۱۱، سال ۱۳۹۲.

[۸] ا. گندمکار، ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران، *مجله‌ی جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، سال بیستم، شماره ۳، سال ۱۳۸۸.

[۹] م. کاویانی، توربین های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره‌ی ۳۶، سال ۱۳۷۴.

[۱۰] ر. خوش اخلاق، ع. شریفی و م. کوچکزاده، ارزیابی اقتصادی نیروگاه خورشیدی در ایران، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، سال هفتم، شماره ۲۴ ، سال ۱۳۸۴.

[۱۱] ن. شعربافیان، برآورد پتانسیل فنی و اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی در ایران: راهکاری برای توسعه پایدار انرژی خورشیدی، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال چهارم، شماره ۱۵، سال ۱۳۸۶.

[۱۲] م. مهدوی عادلی، م. سلیمی فر و ا. قزلباش، ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی (مطالعه موردی مجتمع سه واحدی در شهرستان مشهد)، *فصلنامه سیاست گذاری اقتصادی*، سال ششم، شماره ۱۱، سال ۱۳۹۳.

[13] A. Kulsum , Renewable Energy Thechnologies, *Word bank Technical Paper*, No. 240, pp. 201-234. 1994.

[14] J.B. Lesourd, Solar Photovoltaic Systems: the Economics of Renewable Energy Resource, *Environomental Modeling & Software*, No. 16, PP. 147-156, 2001.

[15] G. Notton, M. Muselli and P. Poggi, Costing of a Stand-alone Photovoltaic System, *Energy*, Vol. 23, No. 4, PP. 289-308, 1998.

[۱۶] م. عباس پور، ع. حاجی سید میرزاحسینی، و ت. طاهری، ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه‌های خورشیدی به وسیله RETScreen با توجه به قانون نرم افزار هدفمندسازی یارانه‌ها، *نشریه انسان و محیط زیست*، شماره‌ی ۱۸، سال ۱۳۹۰.

[17] B. Chandrasekar, C. Tara and C. Kandpal, An Opinion Survey Based Assessment of Renewable Energy Technology Development in India, Renewable and Sustainable Energy Reviews, (11): 688-701, 2010.

[18] P. K. Koner , V. Dutta and K.L. Chopra, A Comparative Life Cycle Energy Cost Analysis of Photovoltaic and Fuel Genarator for Load Shedding Application, *Solar Energy Materials and Solar Cells Journal*, (60): 309-322, 2000.

[۱۹] ع. رحمانی فر، بررسی فنی و اقتصادی استفاده از برق فتوولتائیک در صنایع نفتی با استفاده از نرم افزار RETScreen، *نشریه‌ی انرژی ایران*، دوره چهاردهم، شماره ۱، سال ۱۳۹۰.

[۲۰] وزارت نیرو، سازمان انرژی‌های نو ایران، گروه آگاه سازی و روابط بین الملل، هزینه‌ی نیروگاه‌های تجدیدپذیر، سال ۱۳۹۲.

[21] http://www.retscreen.net/fa/what_is_retscreen.php.

[22] Photovoltaics & Distributed Generation "; www.fsec.ucf.edu;2002

[23] " Solar Energy for You " ; www.mysolar.com;2002.

[24] Antonio Luque., Steven Hegedus. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2003*

[۲۵] وزارت نیرو، سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، http://www.suna.org.ir/fa/purchase/purchase2

[۲۶] وب سایت وزارت نیرو، تعرفه‌های برق سال ۱۳۹۴؛ http://tariff.moe.gov.ir/.

[۲۷] وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی. (۱۳۹۳). ترازنامه‌ی انرژی سال ۱۳۹۱.

[28]ENERCON Wind energy converters Product overview, Technical information is subject to change. Version: July 2010.

[29] A. L. R. M.L. Ray and J.G. McGowan, Analysis of wind shear models and trends in different terrains, presented at the AWEA Windpower, *Conference, Pittsburgh*, PA, June, 2006.

[30] R. Wiser and M. Bolinger, *2012 Wind Technologies Market Report, Lawrence Berkeley National Laboratory*, Berkeley, CA, 2013.

[۳۱] ریاست جمهوری، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، مرکز آمار ایران، http://www.amar.org.ir/.