فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال دوازدهم / شماره ۴۹/ تابستان ۱۳۹۵/ صفحات ۲۰۰-۱۸۱

ارزیابی اقتصادی تولید انرژی الکتریسیته از توربین‌های بادی (مطالعه موردی توربین‌های بادی عون ابن علی)

پرویز محمدزاده[1]

دانشیار دانشکده اقتصاد دانشگاه تبریز، pmohamadzadeh@tabrizu.ac.ir

کاظم زارع

دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز، kazem.zare@tabrizu.ac.ir

زهرا رسول‌پورفرزین

کارشناس ارشد اقتصاد، دانشکده اقتصاد دانشگاه تبریز، zaahra_farzin91@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۲۲

چکیده

گستردگی نیاز به منابع انرژی همواره از مسائل اساسی در زندگی بشر محسوب می‌شود و تلاش برای دست‌یابی به یک منبع پایان‌ناپذیر انرژی، از آرزوهای دیرینه انسان بوده است. اما نیاز روز افزون به منابع انرژی و محدودیت ذخایر سوخت‌های فسیلی و معضلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف آن بستر مناسبی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهره‌برداری از انرژی‌های ایجاد نموده است. در این راستا، تولید برق از انرژی باد، به دلیل شرایط اقتصادی بهتر، مورد توجه زیادی بوده است. در این مطالعه با استفاده از روش اقتصادسنجی ARMA به پیش‌بینی سرعت باد شهرستان تبریز در سال های ۱۴۰۹-۱۳۹۳ پرداخته و سپس میزان انرژی الکتریکی حاصل از توربین بادی محاسبه شده است. در ادامه هزینه یک کیلووات برق تولیدی ناشی از توربین بادی محاسبه شده که برابر با ۱۲۳۴/۲۴ ریال بوده که تقریبا با هزینه تولید یک کیلووات برق از نیروگاه حرارتی با سوخت غیر یارانه‌ای برابر می‌باشد. نتایج حاصل از تکنیک‌های ارزیابی اقتصادی طرح‌ها نشان داد که تولید برق از توربین‌های بادی صرفه اقتصادی دارد.

طبقه‌بندی JEL: O13, L71, Q55

کلید واژه‌ها: توربین بادی، انرژی تجدیدپذیر، ARMA، محیط زیست

۱- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

رشد فزآینده مصرف انرژی متناسب با توسعه اقتصادی و رونـد افـزایش جمعیـت بـا توجه به محدودیت ذخایر سوخت‌های فسیلی از یک‌سو و معضلات زیست‌محیطی ناشـی از مصرف این انرژی‌ها از سوی دیگر، استفاده از انرژی‌های تجدیدپـذیر را روز بـه روز بـا اهمیت‌تر و گسترده‌تر نموده است (خلجی، ۱۳۸۲). لذا می‌توان گفت رو به اتمـام بـودن سوخت‌های فسیلی و تخریب محیط زیست توسط آلاینده‌های ناشـی از بهـره‌بـرداری از این منابع انرژی، گزینه استفاده و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر را امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر نمـوده اسـت. اسـتفاده از منـابع انـرژی‌هـای تجدیـدپـذیر، آلـودگی‌هـا و تخریب‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی‌هـای فسـیلی و هسـته‌ای را نداشـته و پایان ناپذیر هستند؛ اما چالش عمده پیش روی این منابع، قیمت تمام شده بالای انرژی حاصل از آن‌ها می‌باشدفنـ ّاوری استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیرنسـبتا ً جدیـد بـوده و پرداختن به این انرژی‌ها از نظر پژوهشی و کسب دانش فنـی و اقتصـادی کـردن آن‌هـا امری اجتناب‌ناپذیری برای هر کشور می‌باشد. انرژی باد یکی از اصلی‌تـرین انـرژی‌هـای تجدیدپذیر یا پاک است که از دیرباز ذهن بشر را به خود معطوف نموده است. انرژی باد، انرژی حاصل از هوای متحرک است، هنگامی که تابش خورشید بـه طـور نامسـاوی بـه سطوح ناهموار زمین می‌رسد، سـبب ایجـاد تغییـرات دمـا و فشـار شـده و در اثـر ایـن تغییرات، باد به وجود می‌آید. با توجه به عدم نیاز توربین‌های بادی به سوخت (که باعث صرفه‌جویی فرآورده‌های نفتی به عنوان سوخت می‌شود)، استفاده از انرژی باد به‌منظـور تولید برق مورد توجه بسیاری می‌باشد. در ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های بادی درآمدها و هزینه‌های طرح، مدت زمان بازگشت سرمایه، قیمت برق تولیدی و نرخ بـازدهی داخلـی سرمایه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجـا کـه بـرای گسـترش سیسـتم عرضـه انـرژی الکتریسیته، توسعه پایدار مدنظر می‌باشد باید تمام هزینه‌های اجتماعی هـر مولـد را در نظر گرفت. همچنین هزینه‌های دفع آلاینده‌های زیست‌محیطی و تصفیه گازهـای مضـر متصاعد از نیروگاه‌های فسیلی نیز در نظر گرفتـه مـی‌شـوند. ایـن هزینـه‌هـا درواقـع در برگیرنده تمام اثرات زیست‌محیطی آلاینده‌ها در کوتاه‌مدت و بلندمدت از قبیـل $SO_۲$ و $CO_۲$و$NO_۲$، هیدروکربن‌ها و سایر گازهای سمی، آلودگی آب و خاک، ایجاد بـاران‌هـای اسیدی و تولید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. اگر هزینه‌های اجتماعی نیروگاه‌های فسـیلی که در برگیرنده اثرات برون‌زایی منفی است، مبنای مقایسه قرار گیـرد هزینـه تولیـد در مولدهای بادی کمتر از فسیلی خواهد بود و برق حاصل از آن می توانـد بـه عنـوان یـک

انرژی پایدار در توسعه پایدار اقتصادی- اجتماعی کشور مورد استفاده قرار گیرد (گزارش سوم سازمان انرژی‌های نو).

با توجه به قابلیت‌ها و پتانسیل‌های مناسب ایران در نصب و راه‌اندازی توربین‌های بادی، در این مطالعه به ارزیابی اقتصادی انرژی برق استحصال شده از توربین‌های بادی در شهرستان تبریز می پردازیم. از آنجایی که قدرت باد رابطه مستقیمی با توان سوم سرعت باد دارد، ابتدا با استفاده از روش اقتصادسنجی ARMA به پیش‌بینی سرعت باد پرداخته می‌شود. برای این منظور از داده های روزانه طی دوره زمانی ۱۳۹۲- ۱۳۶۰ در شهر تبریز استفاده می‌شود که این داده‌ها از سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی و اداره برق منطقه‌ای استان استخراج شده است.

این مقاله در پنج بخش تنظیم شده است، پس از مقدمه، بخش دوم به مروری بر ادبیات موضوع اختصاص یافته است. سپس برخی از پژوهش‌های پیشین در بخش سوم مطرح گردیده و در بخش چهارم ضمن معرفی متغیرها برآورد مدل انجام شده است. نتیجه‌گیری از آزمون‌های انجام شده و پیشنهادات در بخش پنجم ارائه گردیده است.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

انرژی زیربنای اساسی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی هر کشوری به‌شمار می‌رود و با توجه به ذخایر محدود انرژی فسیلی از یک‌سو و افزایش مصرف انرژی در جهان امروز از سوی دیگر، این بخش نمی‌تواند تنها متکی به منابع موجود باشد. رشد و پیشرفت اقتصادی و یا حتی ادامه شرایط فعلی زندگی بشری در آینده بدون اطمینان از عرضه انرژی با قیمت مناسب ناممکن به‌نظر می‌رسد (فطرس و آقازاده،۱۳۹۰).

افزایش بهره‌برداری از انرژی فسیلی و کاهش ذخایر موجود و به موازات آن افزایش میزان آلودگی محیط زیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای بستر مناسبی برای بهره‌برداری از انرژی‌های نو ایجاد نموده است. از جمله این منابع، انرژی باد است که برای تولید انرژی الکتریکی به کار می‌رود. استفاده از انرژی‌های نو به دلیل پایان‌ناپذیر بودن و هم‌چنین آلودگی زیست‌محیطی در حد صفر، جایگزین مناسبی برای منابع فسیلی خواهد بود (رأی[1]، ۲۰۰۰).

مسئولان کشورها نیز با اختصاص بودجه‌های هنگفت، تمامی دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی را برای یافتن انرژی‌های جایگزین و کم مخاطره تشویق می‌کنند. می‌توان گفت، اکنون دو مسئله به هم پیوسته انرژی و آلودگی هوا (محیط زیست)، به عنوان یک

1- Rai

مشکل جهانی مطرح شده و تا زمانی که راهکارهای علمی و عملی آن پیدا نشود، انسان در مخاطره جدی قرار دارد (قادری،۱۳۹۱).

در زمینه استفاده از انرژی باد و تولید الکتریسته از توربین‌های بادی در خارج و داخل کشور، مطالعات متعددی صورت گرفته که در این بخش به ارائه مهم‌ترین آن‌ها می‌پردازیم.

مطالعات خارجی

سیدکی اویار و مولی[1] (۱۹۹۸)، ویژگی سرعت باد را با استفاده از ۷ ایستگاه سینوپتیک ترکیه در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین مورد بررسی قرار داده و سرعت متوسط و توان انرژی باد مناطق مورد مطالعه را برآورد نمودند.

سگورو و لامبرت[2] (۲۰۰۰)، از سه روش حداکثر راست نمایی، روش اصلاح شده حداکثر راست نمایی و روش گرافیکی برای محاسبه پارامترهای توزیع ویبول استفاده کرده‌اند. آن‌ها روش حداکثر راست‌نمایی را برای سری‌های زمانی باد و روش حداکثر راست نمایی اصلاح شده را برای داده‌های با توزیع فراوانی پیشنهاد می‌کنند. آنها نتیجه گرفتند که روش گرافیکی دقت کمتری دارد.

دورولو[3] (۲۰۰۲)، در مدل سازی سرعت باد برای چهار مکان در عمان از توزیع ویبول استفاده کرده است. وی پارامترهای شکل و مقیاس توزیع ویبول را با استفاده از روش گشتاورها، روش رگرسیونی و روش کای دو و آزمون کلموگروف- اسمیرنوف[4] برازش نمود.

ییلماز و چلیک[5] (۲۰۰۸)، در منطقه گلیبولوی ترکیه با استفاده از داده‌های سرعت باد، تابع چگالی احتمال باد را به صورت مقایسه ۱۰ تابع تعیین نمودند. برای این کار با انجام ۳ آزمون نیکویی برازش و روش گرافیک، مناسب ترین تابع را به دست آوردند. نتایج نشان داد که توزیع ویبول با سطح اطمینان ۹۵ درصد و سطح معنی‌داری ۵ درصد بهترین روش می‌باشد.

آکلا و ساینی[6] (۲۰۰۹)، به بررسی اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر پرداختند. نتایج روند کاهشی انتشار CO_2 در سال‌های

1- Sidki Uyar and Molly
2- Seguro and Lambert
3- Dorvlo
4- Kolmogrov- Smirnov
5- Yilmaz and Celik
6- Akella and Saini

مختلف پس از افزایش و نصب سیستم انرژی تجدیدپذیر در مناطق دور افتاده را نشان می‌دهد.

رودولفو و همکاران [1] (۲۰۰۹)، به بررسی سیستم های هیبریدی متصل به شبکه را بررسی نمودند. که هدف مورد نظر در طراحی این سیستم‌ها مقرون به صرفه بودن آن به‌منظور به حداکثر رساندن ارزش حال خالص آن‌ها بوده است. با توجه به ارزیابی‌های انجام شده، قیمت انرژی الکتریکی تولید شده توسط سلول سوختی باید بسیار بالا باشد تا برای سیستم سودآور باشد .

هوجا اوغلو و همکاران [2] (۲۰۱۰)، برای پیش بینی سرعت باد مدل جدید مارکوف پنهان را با استفاده از داده های دو ایستگاه ازمیر و کایسری برای سال ۲۰۰۵ ارائه کردند. این مدل داده‌های فشار هوا را به عنوان داده‌های ساعتی و سرعت باد را به عنوان لایه پنهان در نظر می‌گیرد. آن‌ها نتیجه گرفتند که داده‌های میانگین روزانه از داده‌های ساعتی تولید می‌شوند.

می‌شان گن و چی وای تن [3] (۲۰۱۲)، به ارزیابی کارایی اقتصادی سیستم‌های هیبریدیPV ، باد-دیزل در جنوب شبه جزیره مالزی با استفاده از روش HOMER [4] پرداختند. این نرم‌افزار با استفاده از شبیه‌سازی به امکان سنجی و تجزیه و تحلیل اقتصادی می‌پردازد.

دمیر و تسکین [5] (۲۰۱۳)، تأثیر زیست‌محیطی توربین‌های بادی را بررسی نمودند. در این مطالعه سه نوع توربین بادی متوسط و دو نوع بزرگ مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج حاکی از آن است که اثرات زیست محیطی توربین های با ارتفاع زیاد، با توجه به افزایش تولید برق کمتر است.

اسکالانبرگ [6] (۲۰۱۳)، به تجزیه و تحلیل تولید انرژی برق پرداخته است. وی در این تحقیق متدولوژی‌های ارائه شده توسط محققان مختلف را مرور و بر اساس آن مجموعه‌ای از معادلات را برای ارزیابی و محاسبه تولید انرژی باد در مناطق فرضی ارائه داده است.

1- Rodolfo et al
2- Hocaoglo et al
3- Mei Shan Ngan and Chee Wei Tan
4- Hybrid Optimization Model for Electric Renewable
5- Demir and Taskin
6- Schallenberg

هنریکو و همکاران[1] (۲۰۱۳)، به بررسی عوامل مؤثر بر برنامه‌ریزی از جمله در دسترس بودن انرژی، منابع آن و آلودگی ناشی از مصرف انرژی پرداخته و در این راستا میزان برق تولیدی از نیروگاه‌های خورشیدی و بادی را با استفاده از روش ARMA محاسبه کرده‌اند.

مطالعات داخلی

کاویانی (۱۳۷۴)، در مقاله‌ای با عنوان "توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران"، ضمن بررسی انواع توربین‌های بادی و میزان انرژی باد و سرعت لازم برای تولید برق بادی، با استفاده از آمار پنج ساله باد (۱۹۸۱ تا ۱۹۸۵) در ایستگاه های سینوپتیک کشور، به ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران پرداخته و نتیجه گرفت 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.

صلاحی (۱۳۸۳)، پتانسیل انرژی باد را در ایستگاه های سینوپتیک استان اردبیل (خلخال، پارس‌آباد، مشکین‌شهر و اردبیل) با استفاده از توزیع ویبول مورد بررسی قرار داد. نتیجه پژوهش نشان داد که چگالی انرژی باد در اردبیل برابر با ۳۴۲ وات در مترمربع می باشد. در نتیجه در بین ایستگاه های مورد مطالعه، ایستگاه سینوپتیک اردبیل می‌تواند به‌عنوان مکانی مناسب برای بهره‌برداری از انرژی باد محسوب شود.

رحیمی و ثقفی (۱۳۸۵)، به ارزیابی فنی و اقتصادی احداث توربین‌های کوچک برق بادی در بروجرد پرداختند. آن‌ها بر اساس داده‌های اقلیمی و هواشناسی ۱۰ ساله منطقه بروجرد و با استفاده از پیشرفته‌ترین نرم‌افزارهای اقتصادسنجی انرژی و شبیه‌سازی، اقدام به ارزیابی فنی و اقتصادی احداث یک توربین بادی ۵/۵ کیلووات در منطقه نمودند. در پایان، میزان انرژی قابل حصول و منافع حاصل از احداث توربین نیز، محاسبه شده است.

شعربافیان (۱۳۸۷)، در مطالعه خود به برآورد پتانسیل برق بادی و اثر بهره‌گیری از آن در صرفه‌جویی سوخت فسیلی در ایران پرداخته است. در این مطالعه به‌منظور ارزیابی و محاسبه پتانسیل انرژی باد برای تولید برق در ایران وضعیت بازار برق، سیاست قیمت‌گذاری، سیاست‌گذاری برق بادی، تکنولوژی مورد استفاده برق بادی و نقشه باد و سرعت باد در استان های مختلف کشور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با حذف یارانه‌های انرژی فسیلی به همراه یک روش بازار محور، می‌توان

1- Henrique et al

ظرفیت انرژی بادی را به ۳/۶ تا ۶ گیگاوات افزایش داد. این ظرفیت نصب شده می تواند سبب صرفه‌جویی حدود ۴۶ تا ۸۴ میلیون بشکه نفت (۱۲۷ تا ۲۳۰ هزار بشکه در روز) در بخش نیروگاهی ایران شود.

گندمکار (۱۳۸۸)، به ارزیابی انرژی پتانسیل باد در ایران پرداخت. وی با بررسی آمار ده ساله وزش باد در ایستگاه 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 به همراه چند نقطه پراکنده مانند: منجیل، رفسنجان، اردبیل و بیجار، بادخیز هستند و در آن‌ها توان تولید برق بادی، به ویژه در فصل تابستان وجود دارد.

اسماعیل نیا (۱۳۸۹) به ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه بادی با ملاحظات مکانیسم توسعه پاک (CDM) پرداخت. در این مطالعه ابتدا روند تاریخی شکل‌گیری پروتکل کیوتر و ساز و کارهای انعطاف پذیر آن از جمله مکانیسم توسعه مطرح شده است، نتایج حاکی از آن است که در حال حاضر و با توجه به محدودیت‌های موجود بر سر راه پروژه‌های CDM در بخش نیروگاه بادی در ایران، تولید برق بادی، چندان مقرون به صرفه نیست .

رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۰)، روند تغییرات سرعت باد را در شمال‌غرب ایران با استفاده از آمار ۷ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ و مقیاس های فصلی و سالانه تحلیل کردند. روش مورد استفاده آزمون ناپارامتریک من‌کندال و من‌کندال گرافیکی می‌باشد. نتایج تحویل روند نشان داد که ایستگاه‌های خوی و ارومیه در ۴ مقیاس از ۵ مقیاس روند کاهشی دارند. ایستگاه زنجان نیز بیشترین روند افزایشی را نشان داد. ایستگاه‌های سقز و تبریز نیز در بیشتر مقیاس‌های مطالعاتی روندی نشان نمی‌دهند. نمودارهای روش من‌کندال گرافیکی نیز برای ایستگاه ارومیه نشان می‌دهند که سرعت باد در این ایستگاه از سال ۱۹۷۸ روند نزولی به خود گرفته است. سرعت باد در ایستگاه اردبیل نیز از سال ۱۹۸۴ روند نزولی پیداکرده است.

سعیدی و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی پتانسیل انرژی باد در چهار منطقه پرداخته است. هدف مطالعه بررسی مهم‌ترین مشخصه‌های انرژی باد در سایت‌های مورد مطالعه است، نگرش آماری به ما اجازه برآورد سرعت باد و متوسط چگالی قدرت باد در ارتفاع‌های ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری را می‌دهد.

علمداری و همکاران (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای به ارزیابی انرژی باد در ایران پرداخته‌اند. در این مطالعه از داده‌های ۱۰ دقیقه‌ای سرعت باد برای سال ۲۰۰۷ در ارتفاع ۱۰، ۳۰

و ۴۰ متر برای مکان‌های مختلف ایـران اسـتفاده شـده اسـت. تجزیـه و تحلیـل آمـاری به‌منظور تعیین پتانسیل باد برای تولید برق صورت گرفته و نتایج نشان داد کـه در سـه ارتفاع مختلف، تابع توزیع سرعت باد، میانگین چگالی قدرت باد متفاوت بوده و برخی از خصوصیات محلی از عوامل تأثیرگذار هستند.

مصطفایی پور (۲۰۱۳)، در مقاله‌ای به ارزیابی اقتصادی توربین‌های بادی کوچـک در کرمان پرداخته است. هدف از این مطالعه ارزیـابی اقتصـادی نصـب تـوربین‌هـای بـادی کوچک برای شهر کرمان در جنوب‌شرقی ایران است. داده هـای آمـاری شـامل متوسـط سرعت سه ساعته باد در بازه زمانی ۲۰۰۴-۱۹۹۱ است. این مقاله به تجزیه و تحلیـل و ارزیابی اقتصادی و برنامه‌های کاربردی سه توربین بادی کوچک می‌پردازد. نتـایج نشـان داد که شهر کرمان از پتانسیل انرژی بادی لازم برای نصب برخی از تـوربین‌هـای بـادی کوچک، در جهت توسعه پایدار را برخوردار می‌باشد.

در جمع‌بندی مطالعات انجام یافته خارجی و داخلی می‌توان بیان کرد کـه در اغلـب مطالعات صورت گرفته از روش آماری توزیع ویبول برای پیش‌بینی سرعت بـاد اسـتفاده شده است. با توجه به توانایی و قدرت پیش‌بینی روش آماری ARMA، در این مطالعه با استفاده از آن سرعت باد پیش‌بینی و به ارزیابی اقتصادی طرح پرداختـه شـده کـه ایـن مطلب وجه تمایز این مطالعه با مطالعات انجام گرفته قبلی می‌باشد.

۳- روش شناسی تحقیق

این بخش بر روی روش و مدل مورد استفاده در تحقیق متمرکز شـده و بـه تشـریح نحوه استخراج روابط و انجام محاسبات و تخمین‌هایی که در بخـش بعـدی انجـام شـده است، می‌پردازد.

در این مطالعه ابتدا سرعت باد با اسـتفاده از روش آمـاری ARMA محاسـبه شـده، سپس چگالی و انرژی حاصل از باد به‌دست آمده و در نهایت به ارزیابی اقتصـادی بـودن تولید انرژی برق بادی پرداخته می‌شود. پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی یکی از ملزومـات اصلی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌های مناسب آینده محسـوب مـی‌شـود. در واقـع پیش‌بینی و ترسیم وقایعی که در آینده اتفاق می‌افتد به شکل‌گیری مناسـب تـر فراینـد تصمیم‌گیری می‌انجامد. الگوهای سری زمانی اغلب برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت مـورد استفاده قرار می‌گیرد تا رفتار یک متغیر را بر اساس مقادیر گذشته آن (واحتمالاً مقادیر گذشته سایر متغیرهایی که مایلیم آن ها را نیز پـیش‌بینـی کنـیم) توضـیح دهنـد. ایـن الگوها قادرنـد حتـی در مـواردی کـه الگوهـای اقتصـاد زیـرسـاختی نامشـخص اسـت،

پیش‌بینی‌های دقیقی را از متغیر مورد نظر ارائه کنند (نوفرستی، ۱۳۷۸: ۷).معمولاً مدل‌های سری‌زمانی را بر اساس تئوری بنا نمی‌کنند، بلکه تلاش می‌شود تا از نظر تجربی ویژگی های مربوط به داده‌های مشاهده شده را تبیین نمایند. دسته مهمی از این مدل‌ها مربوط به خانواده مدل‌های ARMA هستند که عمدتاً بر مبنای روش باکس و جنکیز (۱۹۷۶) مدل‌سازی می‌شوند (سوری،۱۳۹۰: ۱۷۷). الگوی اقتصادسنجی مورد استفاده در این تحقیق برگرفته از مدل مورد استفاده توسط هنریکو و همکاران (۲۰۱۳) به شرح زیر است:

$$Y_t=\alpha_0+\alpha_1 Y_{t-1}+\alpha_2 Y_{t-2}+\ldots+\alpha_p Y_{t-p}+\varepsilon_t+\theta_1\varepsilon_{t-1}+\ldots+\theta_1\varepsilon_{t-1}+\theta_2\varepsilon_{t-2}+\ldots+\theta_q\varepsilon_{t-q} \quad (1)$$

این رابطه یک الگوی خود رگرسیون میانگین متحرک از مرتبه P و Q یعنی ARMA(P, Q) را نشان می دهد که مرتبه آن با استفاده از روش‌شناسی باکس جنکینز تخمین زده خواهد شد و مقدار متغیر برای یک متغیر مانا را نشان می‌دهد. P مرتبه اتورگرسیو و Q مرتبه میانگین متحرک را نشان می‌دهد. Y_{t-i} مقدار سرعت باد را در دوره قبل و ε_{t-j} مقدار خطای دوره‌های گذشته را نشان می‌دهد. جامعه آماری مورد مطالعه شهرستان تبریز بوده که با استفاده از داده های روزانه برای دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۶۰ مورد بررسی قرار می گیرد. داده‌های آماری از سازمان هواشناسی استان و اداره برق منطقه‌ای استان استخراج شده است. پس از برآورد مدل به روش ARMA، به محاسبه میزان چگالی انرژی باد پرداخته می‌شود که در ذیل به اختصار توضیح داده می‌شود.

چگالی انرژی باد

چگالی سرعت باد (P)، نشان دهنده میزان انرژی موجود در سایت بادی است که توسط توربین‌های بادی مهار شده است. قدرت باد موجود متناسب با توان سوم سرعت باد می‌باشد که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود، که واحد آن بر حسب وات بر مترمربع ($\frac{W}{m^2}$) است (مصطفایی‌پور،۲۰۱۳).

$$P=\frac{1}{2}\rho v^3 \quad (2)$$

که ρ نشان دهنده مقدار چگالی استاندارد هوا (که برابر با kg/m^3 ۱/۲۲۵ از سطح دریا با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ اتمسفر است)، و v نشان دهنده سرعت باد می‌باشد.

متوسط قدرت باد (P_m)، با توجه به سطح جاروب شده توسط توربین (A) و سرعت باد (v)، به صورت زیر قابل محاسبه است که واحد آن ($\frac{W}{m^2}$) می‌باشد (همان).

$$P_m = (\frac{1}{2})\rho A v^3 \qquad (۳)$$

و قدرت مکانیکی توربین بادی، به عبارتی قدرت استخراج شده از باد که وابسته به کارایی پره‌های توربین (روتور) می‌باشد، از طریق فرمول (۴) قابل محاسبه است (همان).

$$P_m = C_p(\frac{1}{2})\rho A v^3 \qquad (۴)$$

جهت محاسبه C_p فاکتور ظرفیت توربین‌های عون‌ابن‌علی ابتدا به محاسبه انرژی قابل تولید توسط توربین پرداخته، سپس با در دست داشتن مقدار انرژی تولید شده خروجی، ضریب ظرفیت آن به دست می‌آید. با استناد به آمارهای اداره برق منطقه‌ای مقدار ضریب ظرفیت[1] توربین‌های بادی عون‌ابن‌علی ۰/۲۹ درصد برآورد شده است.

۴- برآورد مدل و تجزیه و تحلیل یافته‌ها

برای ارائه مدل پیش‌بینی سرعت باد از مدل‌هایی مبتنی بر سری های زمانی استفاده می‌شود. با استفاده از آزمون ADF[2] ایستایی داده‌ها بررسی و نتایج حاصله نشان داد که قدر مطلق ADF از مقادیر بحرانی آن بزرگ‌تر بوده لذا فرضیه H_0 مبنی بر وجود ریشه واحد رد می شود. در نتیجه سری مورد نظر در سطح ایستا است (جدول ۱). به منظور انتخاب مرتبه مدل ARMA معیار آکائیک لحاظ گردیده است. بر این اساس، مدلی که کمترین مقدار این معیار را داشته باشد مناسب‌تر است. در این مطالعه، مدل مناسب (۴، ۳) ARMA انتخاب و بر اساس متدولوژی باکس‌جنکیز پیش‌بینی شده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمون لجانگ- باکس[3] (جدول ۳)، مقدار احتمال آماره Q بزرگتر از ۰/۰۵ است، لذا ضرایب خودهمبستگی تفاوت معنی‌داری با صفر ندارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که الگوی برآورد شده، الگوی مناسبی است و می‌توان با استفاده از این مدل به پیش‌بینی برای دوره‌های آتی اقدام نمود.

معادله مدل ARMA $(۳,۴)$ به صورت می‌باشد:

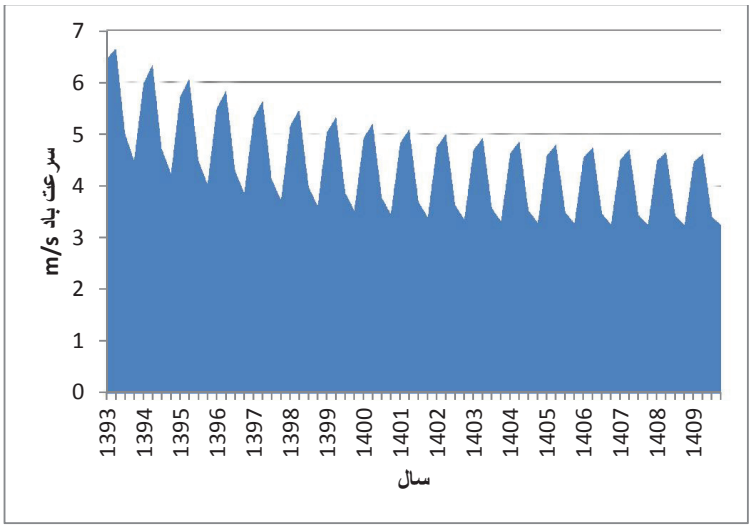
$$ARMA(۳,۴) = ۳/۸۳ + ۰/۹۵۱Y_{t-1} - ۰/۹۸۶Y_{t-2} + ۰/۹۴۷Y_{t-3} - ۰/۵۲۵Z_{t-1} + ۰/۹۳Z_{t-2} - ۰/۴۶۹Z_{t-3} + ۰/۲۹Z_{t-4} \qquad (۶)$$

۱- ضریب ظرفیت از نسبت مقدار تولید واقعی توربین به مقدار تولید بالقوه آن به‌دست می‌آید.

2- Augumented Dickey-Fuller

۳- جهت مطالعه بیشتر به کتاب " اقتصاد سنجی سری‌های زمانی با رویکرد کاربردی" نوشنه والتراندرس مراجعه شود.

نتایج پیش‌بینی سرعت باد در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- پیش‌بینی سرعت باد برای سال‌های ۱۴۰۹-۱۳۹۳ برای ایستگاه تبریز

منبع: یافته های تحقیق

میانگین سرعت باد در ایستگاه تبریز در دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۰ برابر با ۳/۲ متربرثانیه است. با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده در ایستگاه تبریز سرعت باد در دوره ۱۴۰۹-۱۳۹۳ برابر با ۴/۴۴ متربرثانیه خواهد بود که نشان دهنده افزایش سرعت باد در آینده است.

جدول ۱- نتایج آزمون ریشه واحد بر روی متغیر سرعت باد

سطح مانایی	آماره ADF	مقدار بحرانی		
		٪۱	٪۵	٪۱۰
مانایی در سطح بدون عرض از مبداء و بدون روند	-۲/۲۱	-۲/۵۹۶	-۱/۹۵	-۱/۶۱۲
مانایی در سطح بدون روند و با عرض از مبداء	-۸/۴۲۲	-۴/۰۳	-۳/۴۶۶	-۳/۱۴۶
مانایی در سطح با عرض از مبداء و با روند	-۶/۸۴۷	-۲/۳۵۶	-۱/۶۷۵	-۱/۲۸۸

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۲- نتایج حاصل از تخمین فرایند (۴و۳)ARMA

متغیر	توضیحات	ضریب	انحراف معیار	آماره t	سطح احتمال
C	عرض از مبداء	۳/۸۳	۰/۵۸	۶/۵۶	۰/۰۰۰
AR(۱)	سرعت باد با یک وقفه	۰/۹۵	۰/۰۳۲	۲۹/۷۶	۰/۰۰۰
AR(۲)	سرعت باد با دو وقفه	-۰/۹۸	۰/۰۱۹	-۵۱/۴	۰/۰۰۰
AR(۳)	سرعت باد با سه وقفه	۰/۹۴۷	۰/۰۲۷	۳۴/۵۴	۰/۰۰۰
MA(۱)	جمله اخلال با یک وقفه	-۰/۵۲۵	۰/۰۷۸	-۶/۶۸	۰/۰۰۰
MA(۲)	جمله اخلال با دو وقفه	۰/۹۳	۰/۰۸۴۵	۱۱/۰۱	۰/۰۰۰
MA(۳)	جمله اخلال با سه وقفه	-۰/۴۶۹	۰/۰۸۹	-۵/۲۲	۰/۰۰۰
MA(۴)	جمله اخلال با چهار وقفه	۰/۲۹	۰/۰۹۱	۳/۱۸	۰/۰۰۱

منبع: یافته های تحقیق

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون لیانگ- باکس

آماره Q	۱۹/۹۱۹۴
Prob	۰/۹۹۶۷

منبع: یافته های تحقیق

میزان انرژی الکتریسیته استحصال شده از توربین بادی

با استفاده از رابطه (۳) متوسط چگالی سرعت باد (متوسط قدرت باد) طی سال‌های ۱۴۰۹-۱۳۸۹ برآورد شده و سپس با استفاده از رابطه (۴) میزان انرژی استخراج شده از باد به‌دست آمده و در نهایت با ضرب توان خروجی از رابطه (۴) در دوره زمانی مورد نظر، مقدار انرژی برق تولید شده (کیلووات ساعت) به‌دست می‌آید که نتایج آن در جدول (۴) گزارش شده است. با توجه به نظر آلبرت بتز[1] فیزیکدان آلمانی مبنی بر

1- Albert Betz

این‌که یک توربین بادی حداکثر می‌تواند ۵۹ درصد از انـرژی بـادی را کـه در مسـیر آن می‌وزد را استخراج کند و به این ترتیب ضریب ظرفیت (C_p) در معادله (۴) هرگز بیشتر از ۰/۵۹ نخواهد شد. لذا میزان توان خروجی توربین در سطوح کارایی ۱۰ تا ۵۹ درصـد، در سال‌های پیش‌بینی شده محاسبه و در جدول (۴) گزارش شده است.

جدول ۴- میانگین انرژی الکتریسیته پیش‌بینی شده در سطوح کارایی مختلف در طول سال‌های ۱۴۰۹-۱۳۹۳ (کیلووات ساعت)

کارایی / سال	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۴۰	٪۵۰	٪۵۹
۱۳۹۳	۲۱۷۶۸۲۳/۲	۴۳۵۳۶۴۶/۴	۶۵۳۰۴۶۹/۶۱	۸۷۰۷۲۹۲/۸۱	۱۰۸۸۴۱۱۶/۰۲	۱۶۳۶۰۰۵۱/۲۹
۱۳۹۴	۱۸۱۴۴۸۸/۰۷	۳۶۲۸۹۷۶/۱۵	۵۴۴۳۴۶۴/۲۳	۷۲۵۷۹۵۲/۳۱	۹۰۷۲۴۴۰/۳۹	۱۰۷۰۵۴۷۹/۶۶
۱۳۹۵	۱۵۸۰۵۹۲/۹۶	۳۱۶۱۱۸۵/۹۳	۴۷۴۱۷۷۸/۹	۶۳۲۲۳۷۱/۸۶	۷۹۰۲۹۶۴/۸۳	۹۳۲۵۴۹۸/۵
۱۳۹۶	۱۴۰۰۶۸۱/۸	۲۸۰۱۳۶۳/۷۸	۴۲۰۲۰۴۵/۶۸	۵۶۰۲۷۲۷/۵۷	۷۰۰۳۴۰۹/۴۷	۸۲۶۴۰۲۳/۱۷
۱۳۹۷	۱۲۶۰۶۷۴/۶	۲۵۲۱۳۴۹/۲۱	۳۷۸۲۰۲۳/۸۱	۵۰۴۲۶۹۸/۴۲	۶۳۰۳۳۷۳/۰۲	۷۴۳۷۹۸۰/۱۷
۱۳۹۸	۱۱۵۰۵۵۸/۱	۲۳۰۱۱۱۶/۲	۳۴۵۱۶۷۴/۳۱	۴۶۰۲۲۳۲/۴۱	۵۷۵۲۷۹۰/۵۲	۶۷۸۸۲۹۲/۸۱
۱۳۹۹	۱۰۶۳۱۱۱/۴	۲۱۲۶۲۲۲/۸	۳۱۸۹۳۳۴/۲۱	۴۲۵۲۴۴۵/۶۲	۵۳۱۵۵۵۷/۰۳	۶۲۷۲۳۵۷/۲۹
۱۴۰۰	۹۹۳۰۶۱/۱۲	۱۹۸۶۱۲۲/۲۴	۲۹۷۹۱۸۳/۳۷	۳۹۷۲۲۴۴/۴۹	۴۹۶۵۳۰۵/۶۱	۵۸۵۹۰۶۰/۶۲
۱۴۰۱	۹۳۶۵۰۴/۱۱	۱۸۷۳۰۰۸/۲	۲۸۰۹۵۱۲/۳۳	۳۷۴۶۰۱۶/۴۵	۴۶۸۲۵۲۰/۵۶	۵۵۲۵۳۷۴/۲۶
۱۴۰۲	۸۹۰۵۱۶/۲۵	۱۷۸۱۰۳۲/۵	۲۶۷۱۵۴۸/۷۶	۳۵۶۲۰۶۵/۰۱	۴۴۵۲۵۸۱/۲۶	۵۲۵۴۰۴۵/۸۹
۱۴۰۳	۸۵۲۸۸۱/۳۵	۱۷۰۵۷۶۲/۷	۲۵۵۸۶۴۴/۰۶	۳۴۱۱۵۲۵/۴۱	۴۲۶۴۴۰۶/۷۷	۵۰۳۱۹۹۹/۹۹
۱۴۰۴	۸۲۱۹۰۱/۳۶	۱۶۴۳۸۰۲/۷۲	۲۴۶۵۷۰۴/۰۹	۳۲۸۷۶۰۵/۴۵	۴۱۰۹۵۰۶/۸۲	۴۸۴۹۲۱۸/۰۴
۱۴۰۵	۷۹۶۲۶۱/۶۳	۱۵۹۲۵۲۳/۲۶	۲۳۸۸۷۸۴/۸	۳۱۸۵۰۵۴/۵۲	۳۹۸۱۳۰۸/۱۵	۴۶۹۷۹۴۳/۶۲
۱۴۰۶	۷۷۴۹۳۴/۲۳	۱۵۴۹۸۶۸/۴۶	۲۳۲۴۸۰۲/۶۹	۳۰۹۹۷۳۶/۹۲	۳۸۷۴۶۷۱/۱۶	۴۵۷۲۱۱۱/۹۷
۱۴۰۷	۷۵۷۱۱۰/۰۲	۱۵۱۴۲۲۰/۰۴	۲۲۷۱۳۳۰/۰۷	۳۰۲۸۴۴۰/۰۹	۳۷۸۵۵۵۰/۱۲	۴۴۶۶۹۴۹/۱۴
۱۴۰۸	۷۴۲۱۴۵/۵۵	۱۴۸۴۲۹۱/۱۱	۲۲۲۶۴۳۶/۶۷	۲۹۶۸۵۸۲/۲۲	۳۷۱۰۷۲۷/۷۴	۴۳۷۸۶۵۸/۷۸
۱۴۰۹	۷۲۹۵۲۶/۶۳	۱۴۵۹۰۵۳/۲۸	۲۱۸۸۵۷۹/۹۱	۲۹۱۸۱۰۶/۵۵	۳۶۴۷۶۳۳/۱۹	۴۳۰۴۲۰۷/۱۷

منبع: یافته های تحقیق

قیمت برق تمام شده تولیدی از نیروگاه بادی با روش معادله هزینه LCOE[1]

هزینه واحد برق تولید شده توسط توربین‌های بادی عاملی است که تأثیر بـه‌سـزایی در انتخاب و پیاده‌سازی یک سیستم تبدیل انرژی باد دارد. برای محاسـبه هزینـه واحـد

جهت مطالعه بیشتر به مقاله "Wind Energy Conversion theory, Betz equlation" مراجعه کنید.

1- Levelized Cost of Electricity

برق، ابتدا می‌بایست ارزش فعلی هزینه‌های سیستم تبدیل انرژی باد و همچنین مقدار انرژی خروجی کل مشخص باشد. با مشخص بودن این دو مورد، هزینه واحد برق طبق معادله (۵) محاسبه می‌شود. برای محاسبه قیمت تمام شده برق تولیدی می‌بایست مجموع هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه‌های سرمایه‌گذاری را بر تولید ناویژه یا همان انرژی خروجی ناخالص تقسیم کرد.

$$LCOE = \frac{AC+O\&M+P_f}{E_{out}} \quad (۵)$$

AC: هزینه سرمایه‌گذاری متوسط سالانه تنزیل شده

O&M: هزینه تعمیرات و نگهداری تنزیل شده

P_f: هزینه سوخت مصرفی که برای نیروگاه بادی صفر می‌باشد.

نحوه محاسبه AC

برای محاسبه هزینه متوسط، هزینه کل سرمایه‌گذاری را محاسبه و سپس عدد حاصل را در مقدار ضریب بازگشت سرمایه (CRF) که به طریق زیر محاسبه می‌شود، ضرب می‌کنیم. نحوه محاسبه ضریب بازگشت سرمایه، با استفاده از نرخ تنزیل(r) و طول عمر پروژه (n) می‌باشد (اسماعیل‌نیا، ۱۳۸۹).

$$CRf = \frac{r}{1-(1+r)^{-n}} \quad (۶)$$

هزینه تعمیر و نگهداری برای نیروگاه های بادی معادل ۲ درصد هزینه سرمایه‌گذاری است. برای محاسبه انرژی خروجی ناخالص تولیدی که مخرج کسر می‌باشد، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

قدرت عملی نیروگاه×ساعات کل سال× ضریب ظرفیت=انرژی خروجی **ناخالص** E_{out} (۷)

قیمت تمام شده برق تولیدی از نیروگاه بادی با استناد به هزینه‌های احداث و بهره‌برداری در بدو تاسیس (سال ۱۳۸۸) و با در نظر گرفتن نرخ تورم ۱۸ درصد، ۱۲۳۴/۲۴ به ازاء هر یک کیلووات ساعت در سال ۱۳۹۲ برآورد شده که محاسبات آن به طور کامل در جدول (۵)، ارائه شده است.

جدول ۵- هزینه احداث هر واحد نیروگاهی بادی عون ابن علی (سال ۱۳۸۸)

هزینه احداث فونداسیون توربین	۹۸۰ میلیون ریال
هزینه احداث عملیات الکتریکال	۴۵۰ میلیون ریال
هزینه احداث جاده دسترسی	۲۳۰ میلیون ریال
قیمت هر واحد توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی مدل (V47)	۸۵۰ هزار دلار
نرخ ارز در سال بهره برداری	۹,۵۰۰ ریال
نرخ مالیات	صفر
نرخ تورم	۰/۱۸

منبع: یافته های تحقیق

ارزش فعلی خالص سرمایه

ارزش فعلی خالص[1] عبارت از ارزش فعلی مجموع تفاضلات دریافت‌ها و پرداخت‌های نقدی طرح در طول سال های اجرا و بهره‌برداری آن است. محاسبه ارزش فعلی جریان نقدینگی طرح هر سال با توجه به یک نرخ تنزیل تعیین شده نسبت به سال صفر (سال آغاز اجرای طرح) انجام می‌شود، چنانچه ارزش فعلی خالص به ازای حداقل نرخ جذب کننده برای یک پروژه، کوچکتر از صفر باشد (NPV<0)، آن پروژه غیر اقتصادی خواهد بود. NPV<0 مشخص کننده این حقیقت است که ارزش فعلی هزینه‌ها[2] بیش از ارزش فعلی درآمدها است و چنانچه $NPV \geq 0$ باشد، ارزش فعلی هزینه‌ها کمتر از ارزش فعلی درآمد[3] بوده و پروژه اقتصادی است (اسکونژاد، ۱۳۹۲: ۹۱). نتایج حاصل از این محاسبه، ارزش فعلی کل سرمایه و نرخ بازدهی خالص سرمایه گذاری در جدول (۵) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که میزان صرفه‌جویی اقتصادی ناشی از تولید برق از توربین‌های بادی، در جدول ۵ لحاظ شده است.

1- Net Present Worth (NPW)
2- Present Worth of Cost (PWC)
3- Present Worth of Benefit (PWB)

جدول ۵- محاسبه ارزش فعلی خالص و نرخ بازدهی داخلی در سطح کارایی ۱۰٪ الی ۵۹٪

سطح کارایی (درصد)	ارزش فعلی خالص سرمایه (هزار ریال) (NPV)	نرخ بازدهی خالص سرمایه‌گذاری (IRR) (درصد)
۱۰	-۹۶۶۶۶۰۴/۱۲۵	۱۳
۲۰	۱۳۶۱۲۱۷۶/۷۰۷	۲۴
۳۰	۳۶۸۹۰۹۵۷/۵۳۹	۳۲
۴۰	۶۰۱۶۹۷۳۸/۳۷۰	۳۹
۵۰	۸۳۴۴۸۵۱/۲۰۲	۴۵
۵۹	۱۰۷۸۵۸۲۹/۹	۵۲

منبع: یافته های تحقیق

نتایج حاصل از محاسبه ارزش فعلی خالص سرمایه و نرخ بازدهی خالص سرمایه در سطوح کارایی مختلف نشان داد، که تنها در سطح کارایی ۱۰درصد تولید برق از توربین‌های بادی صرفه اقتصادی نداشته و در بقیه سطوح دارای کارایی اقتصادی است. اگر توربین بادی با حداکثر کارایی خود یعنی ۵۹ درصد کار کند، نرخ بازدهی خالص سرمایه‌گذار ۵۲ درصد بوده و بیشترین ارزش فعلی خالص سرمایه یعنی، ۱۰۷۸۵۷۸۲۹/۹ هزار ریال را خواهد داشت.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از روش اقتصادسنجی ARMA به پیش‌بینی سرعت باد شهرستان تبریز در سال های ۱۴۰۹-۱۳۹۳ پرداخته و سپس میزان انرژی الکتریکی حاصل از توربین بادی محاسبه گردید. نتایج حاصل از تخمین نشان داد که تولید الکتریسیته از توربین‌های بادی، در سطح کارایی ۲۰درصد و بالاتر دارای توجیه اقتصادی بوده و به دلیل محدودیت‌های تولید توربین‌های بادی، به طور کامل امکان جایگزینی آن به جای نیروگاه‌های حرارتی وجود ندارد. زمانی‌که برق مورد نیاز شبکه توسط توربین‌های برق بادی تزریق می‌شود، برق تولیدی سایر نیروگاه‌ها کاهش یافته از این رو در مصرف سوخت فسیلی این نیروگاه‌ها صرفه‌جویی می‌گردد؛ که با توجه به میزان تزریق برق بادی به شبکه، از انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی کاسته خواهد شد. با توجه به سیاست‌های جدید نظام مبنی بر رشد جمعیت، نیاز به انرژی روزبه‌روز

افزایش یافته و رسیدن به منابع انرژی به مقدار مورد نیاز، باید در اولویت سیاست گذاری مسئولین قرار گیرد.

۶- توصیه‌های سیاستی

انرژی به عنوان یکی از عناصر کلیدی اقتصاد نقش مهم و حیاتی در توسعه جوامع ایفا می کند. رشد روز افزون اقتصاد و نیاز مبرم آن به انرژی، ضرورت استفاده بهینه انرژی را نمایان می سازد. بنابراین هرگاه انرژی به مقدار کافی و به موقع در دسترس باشد، توسعه اقتصادی نیز میسر خواهد بود. ایران با دارا بودن منابع و ذخایر متنوع انرژی، جایگاه ویژه‌ای در بین کشورهای جهان دارد. با این وجود میزان مصرف آن در کشور بسیار بالاتر و بیشتر از سایر کشورهای درحال‌توسعه بوده و منجر به ایجاد مسائل و مشکلات زیست محیطی شده است و این مسئله هشداری برای برنامه‌ریزان اقتصادی می باشد. به عبارت دیگر، توسعه‌پایدار و حفاظت از محیط زیست در گرو استفاده درست و بهینه از منابع انرژی بخصوص انرژی‌های تجدیدشونده میسر می‌شود. برخی از پیشنهادات سیاستی در زیر ذکر شده است:

۱- با توجه به اینکه تولید انرژی برق از توربین‌های بادی دارای صرفه‌های اقتصادی می‌باشد، لذا توصیه می‌شود تولید برق توسط توربین‌های بادی در مکان‌های مستعد توسعه داده شود.

۲- با توجه به اینکه یکی از بحران‌های پیش‌روی جهان آلودگی محیط‌زیست بوده و تولید الکتریسیته از توربین‌های بادی باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های اجتماعی می‌گردد، لذا استفاده بیشتر از انرژی‌های پاک در تولید انرژی الکتریسیته توصیه می‌شود.

۳- با توجه به مزیت بلندمدت این صنعت پاک، ایجاد و گسترش زیرساخت‌های مورد نیاز توسعه صنایع مرتبط با توربین‌ها و نیروگاه‌های بادی پیشنهاد می‌شود.

۴- لزوم لحاظ کردن هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در محاسبه بهای تمام شده برق تولیدی نیروگاه‌های حرارتی توصیه می‌شود.

فهرست منابع

اسکونژاد، محمدمهدی (۱۳۹۲). "اقتصاد مهندسی یا ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، چاپ چهلم.

اسماعیل نیا، علی‌اصغر و سجادیان، فائزه سادات (۱۳۸۹). "ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه با ملاحظات مکانیسم توسعه پاک (CDM)"، فصل‌نامه مطالعات اقتصاد **انرژی**، سال هفتم،صص۱۷۲-۱۴۳.

انجمن انرژی باد (۲۰۰۵) www.gwec.net .

ترازنامه انرژی کل کشور سال ۱۳۹۰.

ثقفی، مجید و عبدالرحیم رحیمی (۱۳۸۵). "ارزیابی فنی و اقتصادی توربین های کوچک برق‌بادی در بروجرد"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هشتم، شماره۳، پاییز ۱۳۸۵.

ثقفی، محمود (۱۳۸۸). "انرژی‌های قابل تجدید"، چاپ، تهران، دانشگاه تهران.

خلجی اسدی، مرتضی و بتول صفائی (۱۳۸۲). "بررسی نیروگاه های برق بادی نصب شده در ایران از دیدگاه فنی و اقتصادی"، هجدهمین کنفرانس بین‌المللی برق.

رحیمی، عبدالرحیم و مجید ثقفی (۱۳۸۵). "ارزیابی فنی و اقتصادی احداث توربین های کوچک برق بادی در بروجرد"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هشتم، شماره۳.

رضایی‌بنفشه، مجید، جوان، خدیجه و بتول زینالی (۱۳۹۰). "بررسی روند تغییرات سرعت باد در شمال‌غرب ایران"، فصل نامه جغرافیای طبیعی لار، سال چهارم، شماره ۱۳، صص ۳۶-۲۷.

سوری، علی (۱۳۹۱). "اقتصاد سنجی"، چاپ سوم، نشر فرهنگ‌شناسی و نشر علوم.

شعربافیان، نیلوفر (۱۳۸۸). "برآورد پتانسیل برق بادی و اثر بهره گیری از آن در صرفه‌جویی سوخت فسیلی در ایران"، فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال پنجم، شماره ۱۷، صص ۱۴۰-۱۱۳.

صلاحی، برومند (۱۳۸۳). "پتانسیل سنجی انرژی باد و برازش احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال ویبول در ایستگاه های سینوپتیک استان اردبیل"، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره۷۲، صص ۱۲۳۲۷-۱۲۳۱۰.

فطرس، محمدحسن و اکبر آقازاده (۱۳۹۰). "تأثیر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی تجدیدپذیر مقایسه تطبیقی کشورهای منتخب عضو سازمان همکاری‌های اقتصادی و

توسعه و غیرعضو (شامل ایران)"، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، سال نوزدهم، شماره ۶۰، صص ۹۸-۸۱.

قادری، موسی (۱۳۹۱)."نیروگاه‌های بادی". پایان‌نامه دوره کارشناسی ناپیوسته برق گرایش قدرت، دانشگاه غیرانتفاعی بهار مشهد.

کاویانی، محمدرضا (۱۳۷۴). "توربین های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران"، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۶.

گروه مولفین سازمان انرژی‌های نو ایران. "از انرژی‌های نو چه می‌دانید؟" گزارش سوم، ناشر سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا).

گندمکار، امیر (۱۳۸۸)." ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور"، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۰، شماره پیاپی۳۶، شماره۴، صص ۱۰۰-۸۵.

نوفرستی، محمد (۱۳۷۸). "ریشه واحد و همجمعی در اقتصاد سنجی"،چاپ سوم، تهران: خدمات فرهنگی رسا.

Akella, A.K. and Saini, R.P. and Sharma, M.P. (2009). “Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems”, Renewable Energy, No. 34, pp 390-396.

Alamdari, P, Nematollahi. O., Mirhosseini, M. (2012). “Assessment of wind energy in Iran: A review “Renewable and Sustainable Energy Reviews”, No. 16, pp 836– 860.

Demir, N. and Taskin, A. (2012).Life cycle assessment of wind turbines in Pinarbasi-Kayseri”, Journal of Cleaner Production, no.54, pp 253-263.

Dorvlo, A., (2002). Estimation wind speed distribution, Energy conversion and Management, No. 43, pp 2311-2318

Henrique César Sampaio, H., Alves Dias, R., Antônio Perrella Balestieri, J., (2012). “Sustainable urban energy planning: The case study of a tropical city”, Applied Energy, No. 104, pp 924–935.

Hocaoglu, F., Gerek, O.N., Kurban, M., (2010). “A novel wind speed modeling approach using atmospheric pressure observations and hidden Markov models”, J.Wind Eng.Ind. Aerodyn, No. 98, pp 472-481.

Mohammadi, k,. Mostafaeipour, A., (2013). “Economic feasibility of developing wind turbines in Aligoodarz, Iran”, Energy Conversion and Management, No. 76 pp 645–653.

Mostafaeipour, A., (2013). “Economic evaluation of small wind turbine utilization in Kerman, Iran”. Energy Conversion and Management, No. 7, pp 214–225.

Rai, G.D. (2000). “Non-conventional Energy Sources (4thed)”, Kanna Publishers, New Delhi, India.

Rodolfo, D. Jose, L (2009). “Design and economical analysis of hybrid PV-wind systems connected to the intermittent production of hydrogen”, Energy Policy, no.37, pp 3082-3095.

Saeidi, D. and Mirhosseini, M. and Sedaghat, A .and Mostafaeipour, A. (2011). “Feasibility study of wind of energy potential in two provinces of iran: North and South Khorasan”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 15, pp 3558-3569.

Schallenberg, J. (2013). “A methodological review to estimate techno-economical wind energy production”, Renewable and Sustainable Energy Review, No. 21, pp 272-287

Serguro, J.V., Lambert, T.W., (2000).” Modern estimation of the parameters of the weibull wind speed distribution for wind energy”, Jurnal of wind engineering and Industrial Aerodynamics, No. 85, pp 75-84.

Shan Ngan, M. and Wei Tan, C. (2012). “Assessment of economic viability for Pv/wind/diesel hybrid energy system in southern Peninsular Malaysia”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 16, pp 634-647.

Sidki Uyar, T. and, Molly, J. (1998) .“ wind Energy in Turkey”, http://www.dewi.de.

Yilmaz, V. and Celik, E. (2008). “A statiscal Approach to Estimate the wind speed distribution “. Dogus Universitesi Dergisi, http://journal.dogus.edu.tr.

Economic Evaluation of Producing Electricity from Wind Turbines (A Case Study: on Ibn Ali´s wind Turbines)

Parviz Mohammadzadeh[1]
Associate Professor, Faculty of Economics, Management and Business, Tabriz University, pmohamadzadeh@tabrizu.ac.ir

Kazem Zare
Associate Professor of Faculty of Electrical and Computer Engineering, Tabriz University, kazem.zare@tabrizu.ac.ir

Zahra Rasoulpour farzin
M.A. in Economic, Faculty of Economics, Management and Business, Tabriz University, zaahra_farzin91@yahoo.com
Received: 2015/05/03 Accepted: 2016/04/09

Abstract

The expanding need of human for energy resources is always one of basic and most important issues in human life and trying to achieve a renewable resource of energy is the ancient human desire. However, due to the increasing need for energy and resource constraints on the one hand and increasing environmental pollution caused by the burning of fossil resources on the other use of renewable energies have become more important and is extending. So, in this study by using ARMA econometrics opproach, wind speed in the Tabriz city between the years 1393-1409 has been predicted and electricity energy has been calculated.also the cost of per capita Kilowatt electricity from the wind turbin calculated and compare with per Kilowatt electricity from power plant's thermal that the results shows that the cost of per Kilowatt electricity from wind turbin equals to 1234/24 Rials that almost is equal to a cost of per Kilowatt electricity from power plant's thermal by use of nonsubsidize fuel. Finally, by use of economic analyzing of projects rechniques, we examine the production of electricity from wind turbin. Results from the economic analyzing of projects shows that producing electricity from wind turbins has economies of scale.

JEL Classification: O13, L71, Q55

Keywords: wind turbines, Renewable Energy, Auto-Regressive Moving Average Process, Environment

1- Corresponding author