Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

برنامه‌ریزی و آمایش فضا
دوره۲۳، شماره۲،تابستان ۱۳۹۸

ارزیابی اقتصادی انرژی باد و کارایی توربین‌های بادی در استان کرمانشاه با ملاحظات اقلیمی

سمیه رفعتی[۱*]، احمد سام‌دلیری[۲]، مصطفی کریمی[۳]

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی
۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی
۳- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

دریافت:۹۸/۱/۲۱..... پذیرش: ۹۸/۴/۴

چکیده

در این تحقیق، با محاسبه‌ی پتانسیل باد در محدوده‌ی ایستگاه‌های همدید استان کرمانشاه، کارایی و ارزیابی اقتصادی ۱۰ مدل توربین بادی برای بهره‌گیری از انرژی بادی بررسی شد. برای این منظور، از داده‌های سرعت باد در دوره‌ی آماری مشترک ۲۰۰۹- ۲۰۱۳ در مقیاس زمانی ۳ساعته و نرم‌افزارهای WAsP و Windographer بهره گرفته شد و پارامترهای احتمال تولید انرژی، ضریب ظرفیت و خروجی انرژی سالانه‌ی توربین‌های مختلف برآورد شد. سپس، ارزیابی اقتصادی هریک از توربین‌ها انجام و اقتصادی‌ترین توربین و محدوده در استان کرمانشاه معرفی شد. با بررسی ضریب ظرفیت توربین‌ها روشن شد که توربین ۵۰۰ کیلوواتی در تمام ایستگاه‌ها بهترین کارایی را دارد. همچنین، بهترین کارایی این توربین در ایستگاه‌های گیلان‌غرب، تازه‌آباد و سومار برآورد شده است. میزان تولید انرژی سالانه‌ی توربین ۲۰۰۰ کیلوواتی، از ۲ گیگاوات ساعت در سال در ایستگاه کنگاور تا ۶/۷ گیگاوات ساعت در سال در ایستگاه گیلان‌غرب متغیر است. با محاسبه‌ی شاخص نسبت منفعت به هزینه مشخص شد که احداث نیروگاه در محدوده‌ی ایستگاه گیلان‌غرب در تمامی انواع مختلف توربین صرفه‌ی اقتصادی بیشتری درمقایسه با مناطق دیگر دارد. تولید برق با هیچ‌یک از توربین‌های بادی موردبررسی در محدوده‌ی ایستگاه‌های اسلام‌آباد، کنگاور، سرپل‌ذهاب، روانسر، سنقر، هرسین، جوانرود و قصرشیرین اقتصادی نیست.

واژگان کلیدی: پتانسیل باد، توربین بادی، ارزیابی اقتصادی، استان کرمانشاه.

*نویسنده مسئول: Email: Rafati@sjau.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

۱- مقدمه

امروزه، باتوجه به محدودیت منابع فسیلی، افزایش روزافزون تقاضای انرژی و ملاحظات زیست‌محیطی، بهره‌برداری از منابع انرژی تجدیدپذیر اجتناب‌ناپذیر شده است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۲۰). انرژی پایدار به‌معنی تأمین انرژی برای همه‌ی مردم به‌طور عادلانه و حفاظت از محیط‌زیست برای نسل آتی است (طالعی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲). تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار تأمین انرژی، نیاز نداشتن به آب، نیاز نداشتن به زمین زیاد برای نصب، ایجاد اشتغال و نداشتن آلودگی زیست‌محیطی از مزایای مهم تولید برق توسط انرژی بادی است (وبگاه سازمان انرژی‌های نو ایران). همچنین، به این دلیل که انرژی باد بیشتر در نقاط دورافتاده و روستایی تولید می‌شود، توسعه‌ی این صنعت تحولات و پیشرفت‌های آشکاری را در مناطق روستایی به‌دنبال خواهد داشت. ایجاد شغل این صنعت درمیان دیگر صنایع انرژی قابل‌توجه است؛ به‌گونه‌ای که در اروپا، یک مگاوات برق بادی برای ۱۵ تا ۱۹ نفر شغل ایجاد می‌کند و این رقم در کشورهای درحال توسعه بیشتر است (وبگاه سازمان انرژی‌های نو ایران). درمورد دورنمای آینده‌ی اقتصادی استفاده از انرژی باد در ایران، بیان این نکته اهمیت دارد که کاربرد این انرژی موجب صرفه‌جویی فرآورده‌های نفتی به‌عنوان سوخت می‌شود. صرفه‌جویی ایجادشده موجب حفظ فرآورده‌های نفتی می‌شود و امکان صادرات و تبدیل آن‌ها به مشتقات پالایشی و پتروشیمیایی با ارزش افزوده‌ی بالا را فراهم می‌کند.

مزارع بادی منجیل و بینالود سایت‌های بادی اصلی در ایران هستند. در ایران، در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳، به‌ترتیب ۴۷، ۸۲، ۹۱ و ۱۰۰ مگاوات ساعت[1] (MWh) برق از انرژی بادی تولید شد. نتایج بررسی ده‌ساله‌ی وزش باد در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور نشان‌دهنده‌ی وجود توان تولید برق با استفاده از نیروی باد در بسیاری از نواحی کشور در فصل تابستان است (گندم‌کار، ۱۳۸۸: ۸۵).

ازلحاظ بین‌المللی، سرعت مطلوب باد برای راه‌اندازی نیروگاه بادی بالای ۶/۵ متر بر ثانیه است؛ اما پیشرفت‌های فناوری فرصت بهره‌برداری از سرعت‌های پایین‌تر باد را نیز امکان‌پذیر ساخته است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۴). بسیاری از محققان حداقل میانگین سرعت باد سالیانه‌ی مناسب برای نصب نیروگاه بادی را ۴ تا ۵ متر بر ثانیه ذکر کرده‌اند (حقی‌فام و سلطانی، ۱۳۸۸: ۲). سازمان انرژی‌های نو مطرح کرد که استفاده از انرژی باد وقتی ممکن است که متوسط سرعت باد در محدوده‌ی ۵ تا ۲۵ متر بر ثانیه باشد (سازمان انرژی‌های نو، ۱۳۸۶:

1. Megawatt hour

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

۵). برای شرایط بادی متفاوت، توربین‌های بادی مختلفی طراحی شده‌اند؛ بنابراین، برای رسیدن به انرژی خروجی بیشینه در یک مزرعه بادی، انتخاب توربین مناسب بسیار مهم است. این توربین‌ها طوری طراحی شده‌اند که در یک سرعت حداقلی شروع به کار می‌کنند و در سرعت‌های زیاد برای جلوگیری از صدمه به دستگاه از کار بازمی‌ایستند.

شهید و همکاران (۲۰۱۴) امکان اقتصادی توسعه‌ی نیروگاه بادی ۱۵ مگاواتی را در غرب عربستان با آنالیز داده‌های سرعت باد بررسی کردند. آن‌ها تغییرات ماهانه‌ی سرعت باد، توزیع فراوانی تجمعی، نیمرخ سرعت باد، مقادیر ماهانه و سالانه‌ی انرژی تولیدشده از مزرعه‌ی بادی ۱۵ مگاواتی (با ارتفاع توربین ۵۰ متر)، هزینه‌ی تولید انرژی و فاکتور ظرفیت را با استفاده از نرم‌افزار HOMER محاسبه کردند. شامی و همکاران (۲۰۱۶) داده‌های سرعت باد را برای سه استان پاکستان آنالیز کردند. آن‌ها کوشیدند میزان انرژی بادی بهره‌برداری‌شده از این سه استان را برآورد کنند. بودای و گوئری (۲۰۱۵) داده‌های باد ده‌ساله‌ی ایستگاه هواشناسی را برای ارزیابی پتانسیل انرژی باد در شمال‌غرب الجزایر به‌کار بردند و از نرم‌افزار WAsP برای آنالیز اطلس باد منطقه استفاده کردند. آن‌ها هزینه‌ی هر کیلووات ساعت برق تولید شده را با استفاده از ۶ مدل توربین بررسی کردند. کاوازی و داتن (۲۰۱۶) سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (OWE-GIS) انرژی باد را برای بررسی منابع انرژی باد انگلستان توسعه دادند. این سامانه هزینه‌های انرژی حاصل از یک مزرعه‌ی بادی را با درنظر گرفتن مؤلفه‌های عمده‌ای شامل هزینه‌های توسعه‌ی وابسته به عمق آب و فاصله از نزدیک‌ترین نقاط ارتباط شبکه، پتانسیل تولید انرژی وابسته به میانگین سرعت سالانه‌ی باد، نوع توربین، هزینه‌های اجرا و نگهداری و نیز پارامترهای مالی مثل طول عمر پروژه و نرخ افت، برآورد می‌کند.

اسماعیل‌نیا و سجادیان (۱۳۸۹) احداث نیروگاه بادی با ملاحظات مکانیسم پاک را در ایران بررسی کردند. روش به‌کاررفته در این مطالعه تحلیل هزینه‌ی فایده است. نتایج نشان داد که درحال حاضر و باتوجه به محدودیت‌های موجود بر سر راه پروژه‌های توسعه‌ی پاک در بخش نیروگاه بادی در ایران، تولید برق بادی چندان مقرون‌به‌صرفه نیست. براساس مطالعه‌ی امکان‌سنجی نوراللهی و همکاران (۱۳۹۰) در منطقه‌ی برق باختر، با فرض استفاده از توربین Gamesa G58، امکان تولید تا ۱۸۹۷ مگاوات برق توسط نیروی باد وجود دارد که این مقدار تأمین‌کننده‌ی ۲۶ درصد برق منطقه‌ای در افق ۱۴۰۴ است. کیهانی و همکاران (۲۰۱۰) پتانسیل انرژی بادی را در تهران بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که پتانسیل باد این منطقه برای کاربرد انرژی بادی در بزرگ‌مقیاس مناسب نیست؛ اما ممکن است برای کاربردهای الکتریکی و مکانیکی غیرشبکه‌ای، مثل ژنراتورهای بادی برای مصرف محلی، شارژ باتری و پمپاژ

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

آب، مناسب باشد. مصطفایی‌پور (۲۰۱۰) سرعت باد سالانه و ماهانـه در ارتفـاع‌هـای مختلـف را برای اطمینان از انتخاب بهینه‌ی توربین بادی برای ایستگاه‌هـای یـزد بررسـی کـرد. مطهـری و همکاران (۱۳۹۳) بهره‌گیری از نیروگاه‌هـای بـادی در ایـران را بـا درنظـر گـرفتن اثـر سیاسـت آزادسـازی قیمـت انـرژی، ازنظـر اقتصـادی بررسـی کردنـد. آن‌هـا بـرای محاسـبه‌ی هزینـه‌ی تمام‌شده‌ی تولید برق، از روش هزینه‌ی هم‌ترازشـده اسـتفاده کردنـد. نتـایج نشـان داد کـه در اقتصاد ایران، با هدفمند کردن قیمت سوخت در کشور، احداث نیروگـاه بـادی کـاملاً بـه‌صـرفه است. آن‌ها همچنین، باتوجه به تغییرات نرخ ارز پیشنهاد دادند که سیاست کلان باید بـه‌سـمت بومی‌سازی صنعت توربین بـادی بـا اولویـت قطعـات و بخـش‌هـای ارزبـر آن بـرود. محمـدی و مصطفایی‌پور (۲۰۱۳) امکان اقتصادی تولید برق با کاربرد ۶ توربین بادی مختلف از ۲۰ تا ۱۵۰ کیلووات را در شهر الیگودرز بررسی کردند. نتایج ایـن بررسـی نشـان داد کـه در منطقـه تـوان متوسطی برای کاربرد انرژی بادی وجود دارد و همچنین، توربین مـدل E-3120 بـه‌عنـوان یـک توربین مناسب در منطقه معرفی شد. مصطفایی‌پور و همکاران (۲۰۱۴) پتانسیل انـرژی بـادی و امکان اقتصادی کاربرد آن را در شهر زاهدان ارزیابی کردند. آن‌ها داده‌های باد پنج‌ساله را بـرای پتانسیل انرژی باد تحلیل کردند. همچنین کاربرد چهار توربین بادی را ازلحاظ اقتصادی بررسی و نصب توربین Proven 2.5 Kw را توصیه نمودند. فاضل‌پور و همکاران (۲۰۱۵) پتانسیل انرژی باد را در شهرهای شمال‌غربی، تبریز و اردبیل، بررسی کردند. آن‌ها در این بررسـی، از داده‌هـای سه‌ساعته‌ی سازمان هواشناسی طی دوره‌ی شـش‌سـاله اسـتفاده کردنـد. نتـایج نشـان داد کـه بیشترین پتانسیل توان باد در ماه‌های آگوست و جولای در تبریز و در ماه‌های اکتبر و سـپتامبر در اردبیل وجـود دارد. همچنـین مشـخص شـد کـه میـانگین قیمـت ماهانـه‌ی الکتریسـیته‌ی تولیدشده از توربین Kw 25 در تبریز و اردبیل برای بیشتر ماه‌های سال کمتر یا تقریباً برابر بـا تعرفه‌ی خرید جاری انرژی تجدیدپذیر در ایـران اسـت. دباغیـان و همکـاران (۲۰۱۶) پتانسـیل انرژی بادی را برای چهار مکان (عسلویه، دلوار، هفت‌چاه و بردخـان) در اسـتان بوشـهر بررسـی کردند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد که منطقه‌ی بردخان پتانسیل بیشتری برای کاربرد انرژی بادی درمقایسه با مکان‌های موردبررسی دیگر استان دارد. آن‌ها همچنین، دوازده تـوربین بـادی را ارزیابی و فاکتور ظرفیت و خروجی انرژی سالانه برای هریک را محاسبه کردند. براسـاس ایـن پارامترها، توربین Proven 15 بیشترین فـاکتور ظرفیـت را دارد و ازلحـاظ اقتصـادی، بـه‌عنـوان بهترین توربین انتخاب شد.

باوجود نیاز روزافزون به تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک، تاکنون بررسی جامعی از پتانسیل باد و ارزیابی اقتصادی کاربرد انرژی بادی در سطح استان کرمانشاه انجام نشـده اسـت؛

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

بنابراین، هدف این بررسی ارزیابی اقتصادی تولید برق از انرژی بادی در سطح استان کرمانشاه برای پاسخ به این نیاز بوده است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- ارزیابی اقتصادی

یکی از روش‌های ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی، ازجمله نیروگاه‌های تولید برق، روش خالص ارزش حال پروژه[1] (NPV) و استفاده از شاخص نسبت منفعت (B[2]) به هزینه (C[3]) است (B/C). در این روش، همه‌ی هزینه‌های احداث و نگهداری نیروگاه طی سال‌های عمر مفید و همچنین درآمدهای حاصل از فروش برق به ارزش حال تنزیل داده می‌شود. سپس، از تفاضل ارزش حال درآمدها[4] (PVB) از ارزش حال هزینه‌ها[5] (PVC)، خالص ارزش حال پروژه محاسبه می‌شود. اگر NPV کوچک‌تر از صفر باشد، پروژه غیراقتصادی و چنانچه مثبت باشد، پروژه اقتصادی است. با محاسبه‌ی شاخص نسبت منفعت به هزینه نیز ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها ممکن می‌شود. چنانچه نسبت مذکور بزرگ‌تر یا مساوی صفر باشد، پروژه اقتصادی و در غیر این صورت، انجام پروژه اقتصادی نیست (اسکونژاد، ۱۳۹۰: ۱۲۴).

چنانچه دو یا چند طرح دارای هزینه‌های اولیه‌ی متفاوت با یکدیگر مقایسه شوند، باید از اصول روش تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری اضافی[6] (EIA) استفاده شود و ازطریق تشکیل نسبت تفاوت (B/C)، طرح‌ها ازنظر اقتصادی بررسی شوند (همان: ۱۶۸). در این تحقیق، برای انتخاب بهترین پروژه ازمیان پروژه‌های منتخب اولیه، از روش EIA استفاده کردیم. برای این کار، پروژه‌ها را برحسب ارزش حال هزینه‌ها با ترتیب صعودی مرتب کردیم و سپس با محاسبه‌ی نسبت منفعت به هزینه برای تفاوت دو پروژه، ارزیابی اقتصادی را به‌صورت دوبه‌دو (با شروع از پروژه‌های با کمترین هزینه‌ی اولیه) انجام دادیم. چنانچه نسبت تفاوت ارزش حال منافع به تفاوت ارزش حال هزینه‌ها (برای مقایسه‌ی دو پروژه) بزرگ‌تر از یک باشد، پروژه با هزینه‌ی اولیه‌ی بیشتر اقتصادی‌تر است و چنانچه این نسبت کوچک‌تر از یک باشد، پروژه با هزینه‌ی اولیه‌ی کمتر اقتصادی‌تر است.

---

1. Net Present value
2. Benefit
3. cost
4. Present value of benefit
5. Present value of cost
6. Extra Investment Analysis

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

روابط ۱ تا ۳ شاخص‌های ارزیابی اقتصادی به‌کاررفته در این تحقیق و نحوه‌ی محاسبه‌ی آن‌ها را نشان می‌دهند:

۱. $NPV=PVB-PVC$

۲. $B/C=PVB/PVC$

۳. $NPV= (AEP\times P)\ (\frac{(1+i)^N-1}{i(1+i)^N}) + S\times (\frac{1}{(1+i)^N}) - ICC - OMRC\ (\frac{(1+i)^N-1}{i(1+i)^N})$

AEP: تولید سالانه‌ی انرژی توسط یک توربین برحسب کیلووات ساعت

P: قیمت هر کیلووات ساعت برق

i: نرخ بهره

N: سال‌های عمر مفید توربین

ICC: هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه

OMRC: هزینه‌های بهره‌برداری حفظ و تعمیرات

PWB: ارزش حال منافع ناشی از احدث پروژه

PWC: ارزش حال هزینه‌های ناشی از احدث پروژه

NPW: ارزش فعلی خالص

در برآورد هزینه‌های تولید انرژی با یک سیستم توربین بادی، باید هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات، عمر مفید سیستم و ارزش اسقاط درنظر گرفته شوند.

هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه[1] (ICC): این هزینه شامل قیمت اولیه‌ی خرید توربین[2] به‌علاوه‌ی ۲۰ درصد از قیمت اولیه به‌عنوان هزینه‌های عمرانی[3] موردنیاز اولیه است (Boudia & Guerri, 2015: 84). هزینه‌های عمرانی شامل هزینه‌های زیربنایی نصب، مانند فونداسیون، کارهای ساختمانی، مهندسی و هزینه‌های اتصال به شبکه است. مقدار این هزینه‌ها در

1. Initial Capital Costs
2. turbine price
3. costs civil work

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

مکان‌های مختلف به‌وضوح متفاوت است و به عوامل مختلفی مانند شرایط خاک، فاصله تا شبکه و ... بستگی دارد.

هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات[1] (OMRC): هزینه‌های OMR سالیانه اغلب به‌صورت درصدی از کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری درنظر گرفته می‌شوند (Ibid). در این مطالعه، این هزینه را به‌صورت ۲۵ درصد از هزینه‌ی سالیانه‌ی توربین محاسبه کردیم. هزینه‌ی سالیانه‌ی توربین از تقسیم قیمت خرید بر سال‌های عمر مفید به‌دست آمده است.

عمر مفید سیستم[2]: برای بررسی‌های اقتصادی توربین‌ها، اغلب یک عمر مفید اقتصادی (از ۱۵ تا ۲۵ سال) درنظر گرفته می‌شود (Ibid) که با عمر مفید طراحی سیستم برابر است.

ارزش اسقاط[3]: ارزش اسقاط به‌صورت درصدی (در این مطالعه، ۱۰ درصد) از مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری توربین درنظر گرفته می‌شود (Ibid).

۲-۲- داده‌ها و پارامترهای فنی به‌کاررفته

برای ارزیابی کارایی توربین‌های بادی مختلف و اقتصادی بودن کاربرد آن‌ها برای تولید برق در شهرستان‌های مختلف استان کرمانشاه، داده‌های ۵ ایستگاه همدید و ۸ ایستگاه همدید تکمیلی را در دوره‌ی آماری مشترک ۲۰۰۹-۲۰۱۳ در مقیاس زمانی ۳ساعته، از سازمان هواشناسی به‌دست آوردیم (شکل ۱). پس از بررسی‌های کیفی، همگنی داده‌ها و اصلاح آن‌ها (رفعتی و همکاران، ۱۳۹۷) با کاربرد نرم‌افزارهای WAsP و Windographer تابع ویبول به داده‌ها برازش داده شد و با استفاده از داده‌های توپوگرافی، زبری سطح و موانع ایستگاه‌ها و محاسبه‌ی اطلس و نیمرخ باد (رفعتی و همکاران، ۱۳۹۷)، احتمال تولید انرژی، ضریب ظرفیت و خروجی انرژی سالانه‌ی توربین‌های مختلف در شرایط زبری سطحی ۰/۰۳m را برآورد کردیم. برای محاسبه‌ی تولید سالانه‌ی انرژی (AEP) توربین‌ها و ضریب ظرفیت، از مدل احتمالاتی برمبنای توزیع احتمالی ویبول استفاده کردیم (رفعتی و همکاران، ۱۳۹۷). توربین‌ها با دو پارامتر سرعت باد ویژه (سرعت کات‌این و کات‌اوت) توصیف می‌شوند. سرعت کات‌این کمینه‌ی سرعت بادی است که توربین شروع می‌کند به تولید انرژی مفید و کات‌اوت سرعت بادی است که توربین برای جلوگیری از آسیب دیدن، خاموش می‌شود. برای اغلب توربین‌ها، سرعت کات‌این حدود ۳ تا ۵

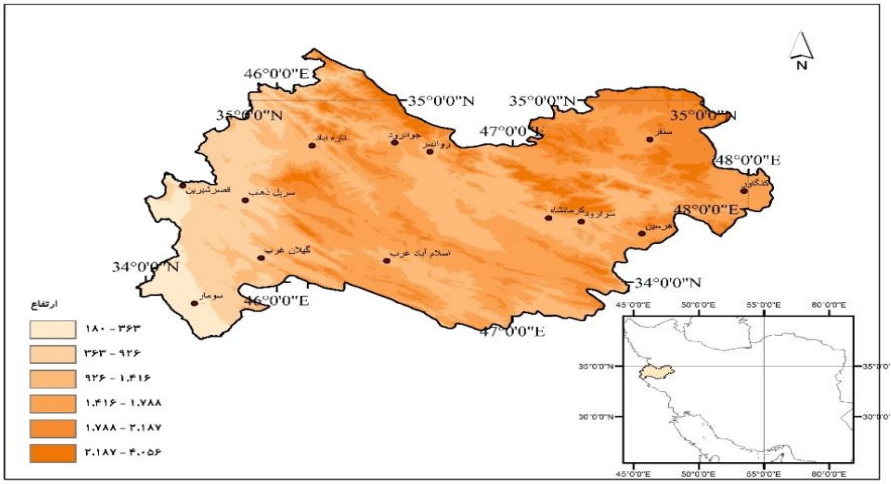
1. operation, maintenance & Repair costs
2. Life time
3. Salvage Value

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

متر بر ثانیه است و سرعت کات‌اوت ممکن است تا ۲۵ متر بر ثانیه باشد. فراوانی سرعت باد بین این دو مقدار آستانه برای بررسی عملکرد و امکان‌سنجی اقتصادی توربین بادی در یک مکان خاص، بسیار مهم است. احتمال تولید انرژی توربین‌های بادی به‌وسیله‌ی توزیع ویبول تجمعی محاسبه می‌شود (Shu & et-al, 2015: 645). انرژی خروجی توربین‌های بادی اطلاعات مفیدی را برای انتخاب کارآمدترین توربین بادی برای هر منطقه فراهم می‌کند. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های بهره‌وری توربین بادی فاکتور ظرفیت است (Cf). فاکتور ظرفیت نسبت خروجی واقعی انرژی (Eout) به خروجی نظری بیشینه (Erated) است؛ با این فرض که توربین بادی با توان ۱۰۰ درصد کار کند (Dabbaghiyan & et-al, 2016: 458).



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی موردمطالعه و ایستگاه‌های همدید

(مدل رقومی ارتفاع از سایت NASA SRTM)

Figure 1 Location of synoptic stations in the study area

(Digital Elevation Model from NASA SRTM site)

۳- یافته‌های تحقیق

۳-۱- ارزیابی پارامترهای فنی

به‌دلیل کاهش دقت برآوردها در ارتفاعات بالاتر از سطح زمین در مناطقی با توپوگرافی پیچیده (رفعتی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۷۶)، کوشیدیم توربین‌هایی با ارتفاع برجی کمتر (ارتفاعی برابر ۴۰ تا حدود ۶۰ متر) را برای بررسی انتخاب کنیم. همچنین، به‌دلیل بالا نبودن سرعت باد

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

منطقه در ارتفاعات نزدیک به سطح زمین، تنها توربین‌های نوع محور افقی را درنظر گرفتیم. درنهایت، تلاش کردیم انواع مختلفی از توربین‌های محور افقی را ازنظر توان تولید انرژی انتخاب کنیم.

مشخصات ۱۰ توربین انتخاب‌شده با ارتفاع برج بین ۴۰ تا ۵۹ متر را در جدول ۱ ارائه کردیم. توربین‌های منتخب را برحسب قدرت در این جدول مرتب کردیم و به هریک شماره‌ی ردیفی اختصاص دادیم که در متن، آن‌ها را با آن شماره معرفی خواهیم کرد (به توربین با بیشترین قدرت شماره‌ی ردیف ۱ و به توربین با کمترین قدرت شماره‌ی ردیف ۱۰ را اختصاص دادیم). توان تولید انرژی در توربین‌های انتخاب‌شده از ۵۰۰ کیلووات (توربین ۱۰) تا ۲۰۰۰ کیلووات (توربین ۱) متغیر است. سرعت شروع به کار توربین‌ها بین ۳ تا ۴ متر بر ثانیه و سرعت توقف کار آن‌ها برای جلوگیری از آسیب، بین ۲۰ تا ۲۵ متر بر ثانیه است. قطر روتور توربین‌های انتخاب‌شده از ۴۷ متر در توربین ۹ تا ۸۲ متر در توربین ۱ متغیر است. همچنین، کمینه‌ی سرعت بادی که به بیشینه‌ی تولید انرژی می‌رسد، بین ۱۰ متر بر ثانیه برای توربین ۱۰ تا ۱۷ متر بر ثانیه برای توربین ۲ تغییر می‌کند.

جدول ۱ مشخصات توربین‌ها (https://en.wind-turbine-models.com)

Table 1 Turbines properties

ردیف	مدل توربین	ارتفاع برج توربین (m)	قدرت توربین (kW)	کمینه‌ی سرعت باد بیشینه‌ی تولید انرژی (m/s)	قطر روتور (m)	سرعت شروع به چرخش (کات‌این) (m/s)	سرعت توقف چرخش (کات‌اوت) (m/s)
۱	REpower MM82	۵۹	۲۰۰۰	۱۳	۸۲	۳/۵	۲۵
۲	Nordex N60/1300kw	۴۶	۱۳۰۰	۱۷	۶۰	۴	۲۵
۳	Suzlon S64-1.25 MW	۵۶/۵	۱۲۵۰	۱۵	۶۴	۳/۵	۲۵
۴	Gamesa G58-850kw	۴۴	۸۵۰	۱۲	۵۸	۳	۲۳
۵	Enercon E-48/800kW	۵۰	۸۰۰	۱۴	۴۸	۳	۲۵
۶	Hyosung HS50	۵۰	۷۵۰	۱۴/۵	۵۰	۴	۲۵
۷	Unison U50	۵۰	۷۵۰	۱۲/۵	۵۰	۳	۲۵
۸	Aeronautica 54-750	۵۰	۷۵۰	۱۳	۵۴	۴	۲۰
۹	RRB Energy PS 600	۴۸/۱	۶۰۰	۱۵	۴۷	۴	۲۵
۱۰	EWT DW54-500	۴۰	۵۰۰	۱۰	۵۴	۳	۲۵

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

در این بخش، ابتدا به‌طور مختصر ویژگی‌های توربین‌های منتخب برای بررسی را بیان و سپس، نتایج بررسی ارزیابی اقتصادی آن‌ها را ارائه می‌کنیم.

دربین توربین‌ها، در تمام ایستگاه‌ها باتوجه به ویژگی‌های اقلیم باد منطقه، بیشترین میزان احتمال تولید انرژی به توربین ۵ و ۷ کیلوواتی مربوط است و توربین‌هایی که سرعت کات‌این بیشتری دارند در تمامی ایستگاه‌های منطقه، کمترین احتمال تولید انرژی را دارند (جدول ۶). همچنین، در ایستگاه تازه‌آباد، با تولید انرژی توربین‌ها در ۸۰ تا ۸۹ درصد از مواقع بیشترین و در ایستگاه کنگاور، با تولید انرژی توربین‌ها تنها در ۳۰ تا ۴۰ درصد از مواقع کمترین احتمال تولید انرژی وجود دارد. با بررسی ضریب ظرفیت توربین‌ها، روشن شد که توربین ۱۰ کیلوواتی بهترین کارایی را در تمام ایستگاه‌ها دارد (جدول ۴). همچنین، دربین مناطق مختلف استان، بهترین کارایی توربین‌ها (به‌عنوان نمونه، توربین ۵۰۰ کیلوواتی) در محدوده‌ی ایستگاه‌های گیلان‌غرب (۴۶/۴ درصد)، تازه‌آباد (۴۴/۲ درصد) و سومار (۳۹/۲ درصد) و کمترین کارایی در محدوده‌ی ایستگاه‌های کنگاور (۱۴ درصد)، سرپل‌ذهاب (۱۸/۲ درصد) و جوانرود (۱۹/۵ درصد) برآورد شده است. بیشترین خروجی انرژی سالانه در تمامی ایستگاه‌ها طبیعتاً به توربین ۱ مربوط است که به‌دلیل توان یا قدرت بالای این توربین است. میزان تولید انرژی سالانه‌ی این توربین از ۱۹۶۳۹۱۴ کیلووات ساعت در سال در ایستگاه کنگاور تا ۶۶۸۸۸۰۹ کیلووات ساعت در سال در ایستگاه گیلان‌غرب متغیر است (جدول ۵). مقدار تولید انرژی سالانه‌ی توربین ۱۰ که بیشترین ضریب ظرفیت را دارد، از ۲۰۳۰۸۳۷ کیلووات ساعت در سال در محدوده‌ی ایستگاه گیلان‌غرب تا ۶۱۴۱۷۴ کیلووات ساعت در سال در محدوده‌ی ایستگاه کنگاور متغیر است. به‌طور کلی، ایستگاه‌های موردبررسی به‌ترتیب تولید انرژی سالانه عبارت‌اند از: گیلان‌غرب، تازه‌آباد، سومار، سرارود، کرمانشاه، سنقر، اسلام‌آباد، هرسین، روانسر، قصرشیرین، جوانرود، سرپل‌ذهاب و کنگاور.

جدول ۶ میزان احتمال تولید انرژی یا فراوانی سرعت باد بین دو مقدار کات‌این و کات‌اوت توربین‌های مختلف را در محدوده‌ی ایستگاه‌های موردبررسی نشان می‌دهد. توربین‌ها در ایستگاه تازه‌آباد با تولید انرژی در ۸۰ تا ۸۹ درصد از مواقع بیشترین و در ایستگاه کنگاور با تولید انرژی تنها در ۳۰ تا ۴۰ درصد از مواقع کمترین احتمال تولید انرژی را دارند.

۲-۳- ارزیابی اقتصادی

جدول ۷ پارامترهای مالی موردنیاز برای انجام ارزیابی اقتصادی انواع توربین‌های بادی را در محدوده‌ی ایستگاه‌های مختلف استان کرمانشاه نشان می‌دهد.

برای تبدیل قیمت‌ها از دلار به تومان از نرخ تبدیل ارز اعلام‌شده ازسوی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران استفاده کردیم. این نرخ در تاریخ ۲۱ فروردین سال ۱۳۹۷ برابر ۴۲۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

تومان به‌ازای هر دلار آمریکا بوده است. هزینه‌های توربین بادی به توان توربین بستگی دارد؛ اگرچه تغییراتی بین قیمت کارخانه‌های مختلف نیز وجود دارد (جدول ۲).

جدول ۲ دامنه‌ی هزینه‌ی توربین برمبنای قدرت موتور (Adaramola & et-al, 2011: 3365)

Table 2 Turbine cost range based on engine power

متوسط هزینه ($/KW)	هزینه ($/KW)	اندازه‌ی توربین بادی (KW)
۲۶۰۰	۳۰۰۰-۲۲۰۰	<۲۰
۱۷۷۵	۲۳۰۰-۱۲۵۰	۲۰۰-۲۰
۱۱۵۰	۱۶۰۰-۷۰۰	>۲۰۰

مبنای قیمت فروش برق تولیدشده توسط توربین‌های بادی، استفاده از نرخ خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های بادی اعلام‌شده ازسوی وزارت نیرو است. این قیمت در سال ۱۳۹۴ و برای مزرعه‌ی بادی با ظرفیت بیش از ۵۰ مگاوات، برابر ۴۹۷ تومان بر کیلووات ساعت است (وبگاه سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق).

جدول ۳ تعرفه‌ی خرید تضمینی برق (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر، ۱۳۹۴)

Table 3 Electricity guaranteed purchase tariff (Renewable Energy Organization, 2015)

نوع فناوری	تعرفه‌ی خرید تضمینی برق (تومان بر کیلووات ساعت)
مزرعه‌ی بادی با ظرفیت بیش از ۵۰ مگاوات	۴۰۶
مزرعه‌ی بادی با ظرفیت ۵۰ مگاوات و کمتر	۴۹۷
بادی با ظرفیت ۱ مگاوات و کمتر (مختص مشترکان برق و محدود به ظرفیت انشعاب)	۵۹۳

جدول ۸ نتایج ارزیابی اقتصادی توربین‌های موردبررسی را به‌تفکیک در شهرستان‌های استان کرمانشاه نشان می‌دهد. همچنین، جدول ۹ خلاصه‌ای از نتایج تحلیل اقتصادی را به‌صورت نسبت شاخص منفعت به هزینه در پروژه‌های دارای توجیه اقتصادی ارائه می‌کند. از آنجا که هزینه‌های سرمایه‌گذاری یک توربین خاص در تمامی شهرستان‌ها مشابه است، اقتصادی‌ترین مکان برای احداث مزرعه‌ی بادی با یک توربین خاص، ازطریق حداکثر مقدار نسبت منافع به هزینه مشخص می‌شود (اسکونژاد، ۱۳۹۰: ۱۶۷). این موضوع در ستون آخر

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

جدول ۹، مشخص شده است. همان‌طور که می‌بینیم، ازنظر مکان احداث، محدوده‌ی ایستگاه گیلان‌غرب اقتصادی‌ترین مکان احداث نیروگاه بادی است. استفاده از تمامی انواع توربین‌های موردبررسی در این محدوده درمقایسه با مناطق دیگر بیشترین توجیه اقتصادی را دارد. تنها استفاده از توربین ۲ با اختلاف بسیار جزئی در محدوده‌ی ایستگاه تازه‌آباد، اقتصادی‌تر از گیلان‌غرب است. احداث نیروگاه بادی با توربین‌های موردبررسی در محدوده‌ی ایستگاه‌های اسلام‌آباد، کنگاور، سرپل‌ذهاب، روانسر، سنقر، هرسین، جوانرود و قصرشیرین توجیه اقتصادی ندارد. در محدوده‌ی ایستگاه کرمانشاه، تنها استفاده از توربین ۱۰ توجیه اقتصادی دارد.

جدول شماره ۱۰ احداث توربین بادی در محدوده‌ی ایستگاه‌های استان کرمانشاه برحسب ارزش حال هزینه‌ها را با ترتیب صعودی به‌منظور مقایسه‌ی دوبه‌دو و انتخاب اقتصادی‌ترین پروژه نشان می‌دهد. چنانچه دو یا چند طرح دارای هزینه‌های اولیه‌ی متفاوت با یکدیگر مقایسه شوند، باید از اصول روش سرمایه‌گذاری اضافی استفاده شود و ازطریق تشکیل نسبت تفاوت (B/C)، طرح‌ها ازنظر اقتصادی بررسی شوند (اسکونژاد، ۱۳۹۰: ۱۶۸).

ازمیان پروژه‌های منتخب در جدول ۹، برای انتخاب بهترین پروژه، از روش تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری اضافی استفاده کردیم. با این روش درنهایت، احداث نیروگاه بادی در محدوده‌ی ایستگاه گیلان‌غرب با توربین ۱ اقتصادی‌ترین حالت به‌منظور احداث نیروگاه بادی در استان کرمانشاه است.

جدول ۴ ضریب ظرفیت توربین‌های مختلف در ایستگاه‌های موردبررسی (٪)

Table 4 Capacity factor of different turbines at stations (%)

ردیف	مدل توربین	کرمانشاه	سلام‌آباد	کنگاور	سرپل‌ذهاب	روانسر	سنقر	هرسین	سرارود	جوانرود	قصرشیرین	گیلان‌غرب	سومار	تازه‌آباد
۱	REpower MM82	۲۲/۷	۲۲/۱	۱۰/۹	۱۴/۳	۱۸/۵	۲۲/۵	۱۹/۸	۲۹/۹	۱۵	۱۶/۹	۳۷/۲	۳۰/۸	۳۴/۹
۲	Nordex N60/1300kw	۱۶/۷	۱۶/۴	۸	۱۰/۸	۱۳/۸	۱۶/۱	۱۴/۱	۲۱/۹	۱۰/۷	۱۲/۳	۲۷/۳	۲۵	۲۷/۶
۳	Suzlon S64-1.25 MW	۲۰/۸	۲۰/۶	۱۰/۱	۱۳/۱	۱۷/۴	۲۰/۸	۱۸/۱	۲۷/۷	۱۳/۷	۱۵/۳	۳۴/۳	۲۸	۳۱/۹
۴	Gamesa G58-850kw	۲۴/۴	۲۳/۵	۱۱/۹	۱۵/۵	۱۹/۵	۲۴/۱	۲۱/۵	۳۱/۷	۱۶/۴	۱۸/۵	۳۹/۷	۳۳/۱	۳۷/۴
۵	Enercon E-48/800kW	۲۰/۶	۲۰/۶	۱۰/۱	۱۳/۱	۱۷/۵	۲۰/۷	۱۸	۲۷/۶	۱۳/۶	۱۵/۱	۳۴	۲۷/۷	۳۱/۶
۶	Hyosung HS50	۲۰/۷	۲۰/۷	۱۰	۱۳	۱۷/۵	۲۰/۸	۱۸	۲۷/۸	۱۳/۶	۱۵/۲	۳۴/۴	۲۸/۱	۳۲
۷	Unison U50	۲۲/۵	۲۲/۲	۱۱	۱۴/۳	۱۸/۷	۲۲/۵	۱۹/۷	۲۹/۸	۱۴/۹	۱۶/۷	۳۶/۹	۳۰/۳	۳۴/۴
۸	Aeronautica 54-750	۲۲/۳	۲۱	۱۰/۵	۱۳/۹	۱۷/۲	۲۱/۷	۱۹/۵	۲۹	۱۴/۸	۱۶/۷	۳۷	۳۰/۷	۳۴/۹
۹	RRB Energy PS 600	۲۱/۴	۲۱/۲	۱۰/۴	۱۳/۵	۱۷/۹	۲۱/۴	۱۸/۷	۲۸/۴	۱۴/۱	۱۵/۸	۳۵/۱	۲۸/۹	۳۲/۸
۱۰	EWT DW54-500	۲۸/۷	۲۷/۴	۱۴	۱۸/۲	۲۲/۸	۲۸/۱	۲۵/۳	۳۶/۹	۱۹/۵	۲۲/۱	۴۶/۴	۳۹/۲	۴۴/۲

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

جدول ۵ خروجی انرژی سالانه برای توربین‌های مختلف در ایستگاه‌های موردبررسی (kWh/yr)

Table 5 Annual power output for different turbines at the stations (kWh / yr)

ردیف	مدل توربین	کرمانشاه	اسلام‌آباد	کنگاور	سرپل‌ذهاب	روانسر	سنقر	هرسین	سرآرود	جوانرود	قصرشیرین	گیلان‌غرب	سومار	تازه‌آباد
۱	REpower MM82	۴۰۸۲۲۲۷	۳۹۷۰۴۹۴	۱۹۶۳۹۱۴	۲۵۶۸۲۳۰	۳۳۲۸۹۵۱	۴۰۳۱۸۸۱	۳۵۵۹۷۹۰	۵۳۶۷۹۲۸	۲۷۰۱۴۰۹	۳۰۳۷۹۴۳	۶۶۸۸۰۹	۵۵۲۷۳۰۰	۶۲۳۳۳۶
۲	Nordex N60/1300kw	۱۸۹۹۲۰۸	۱۸۶۸۹۳۰	۹۰۷۹۳۴	۱۲۳۰۲۱۵	۱۵۷۳۰۲۸	۱۸۳۶۳۲۵	۱۶۰۳۱۴۴	۲۴۸۸۹۱۰	۱۲۱۷۷۰۶	۱۴۰۵۵۳۱	۳۱۱۲۹۶۶	۲۸۴۶۲۵۶	۳۱۳۹۶۲۲
۳	Suzlon S64-1.25 MW	۲۲۷۶۵۹۸	۲۲۵۲۹۹۷	۱۱۰۰۷۲۶	۱۴۳۴۶۵۹	۱۹۰۱۸۰۸	۲۲۷۳۰۹۴۷	۱۹۸۱۴۹۱	۳۰۳۲۲۴۴	۱۴۹۵۳۶۰	۱۶۷۴۹۸۷	۳۷۵۲۱۷۳	۳۰۶۸۲۲۹	۳۴۹۴۸۴۶
۴	Gamesa G58-850kw	۱۸۱۹۱۵۲	۱۷۴۹۰۰۱	۸۸۴۲۹۵	۱۱۵۱۴۵۸	۱۴۵۳۹۲۷	۱۷۹۱۱۷۱	۱۵۹۷۲۴۵	۲۳۶۳۷۳۵	۱۲۲۴۲۵۴	۱۳۷۱۰۲۵	۲۹۵۳۳۵۶	۲۴۶۳۹۹۶	۲۷۸۵۲۴۲
۵	Enercon E-48/800kW	۱۴۶۲۴۸۱	۱۴۶۱۸۱۳	۷۱۴۱۴۳	۹۲۶۲۸۶	۱۲۳۸۹۰۱	۱۴۷۱۸۵۲	۱۲۷۴۶۹۸	۱۹۵۷۱۱۰	۹۶۴۰۸	۱۰۷۴۹۲۴	۲۴۱۱۸۷۹	۱۹۶۴۲۳۶	۲۲۴۰۲۵۸
۶	Hyosung HS50	۱۳۶۲۷۵۱	۱۳۵۸۹۲۳	۶۵۹۲۲۳	۸۵۷۳۷۶	۱۱۴۹۷۷۷	۱۳۶۹۳۰۱	۱۱۸۵۵۴۲	۱۸۲۶۵۶۴	۸۹۱۳۹۷	۹۹۷۹۲۳	۲۲۶۲۴۵۰	۱۸۴۲۹۶۰	۲۱۰۴۴۹۷
۷	Unison U50	۱۴۷۷۹۵۸	۱۴۵۸۷۲۰	۷۲۱۲۸۱	۹۲۶۸۲۵	۱۲۳۰۴۲۷	۱۴۷۵۶۶۷	۱۲۹۱۲۵۵	۱۹۵۶۸۲۰	۹۸۰۵۶۷	۱۰۹۷۹۹۸	۲۴۲۱۷۱۳	۱۹۸۹۲۴۱	۲۲۶۱۵۵۱
۸	Aeronautica 54-750	۱۴۶۶۹۶۹	۱۳۸۱۳۷۹	۶۹۳۳۸۳	۹۱۱۰۸۱	۱۱۲۷۰۹۲	۱۴۲۵۹۹۷	۱۲۸۰۵۰۳	۱۹۰۵۸۳۲	۹۷۳۲۲۹	۱۰۹۹۷۶۲	۲۴۳۳۷۲۹	۲۰۱۵۰۸۴	۲۲۹۰۸۶۸
۹	RRB Energy PS 600	۱۱۲۴۵۹۸	۱۱۱۴۳۵۸	۵۴۷۲۲۶	۷۱۰۹۱۵	۹۴۱۶۴۵	۱۱۲۵۷۳۱	۹۸۱۷۴۹	۱۴۹۳۹۱۴	۷۴۳۲۸۵	۸۳۳۰۵۰	۱۸۴۶۹۹۲	۱۵۱۷۱۴۳	۱۷۲۵۰۳۱
۱۰	EWT DW54-500	۱۲۵۸۲۸۶	۱۱۹۸۶۱۲	۶۱۴۱۷۴	۷۹۸۴۰۰	۹۹۷۸۹۶	۱۲۳۰۶۷۷	۱۱۰۸۵۷۷	۱۶۱۴۲۲۵	۸۵۵۲۹۱	۹۶۶۰۴۱	۲۰۳۰۸۳۷	۱۷۱۸۷۹۹	۱۹۳۶۱۴۶

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

جدول ۶ احتمال تولید انرژی برای توربین‌های مختلف در ایستگاه‌های موردبررسی (برحسب درصد)

Table 6 Power generation probability for different turbines at the Stations (%)

ردیف	مدل توربین	کرمانشاه	اسلام‌آباد	کنگاور	سرپل‌ذهاب	روانسر	سنقر	هرسین	سرارود	جوانرود	قصرشیرین	گیلان‌غرب	سومار	تازه‌آباد
۱	REpower MM82	۶۹	۵۷	۳۷	۴۶	۴۶	۶۲	۶۴	۷۵	۵۴	۶۱	۸۶	۸۲	۸۶
۲	Nordex N60/1300kw	۶۰	۵۰	۳۰	۳۹	۴۰	۵۴	۵۵	۶۷	۴۵	۵۰	۷۹	۷۴	۸۰
۳	Suzlon S64-1.25 MW	۶۹	۵۷	۳۶	۴۶	۴۶	۶۱	۶۴	۷۴	۵۴	۶۰	۸۵	۸۱	۸۶
۴	Gamesa G58-850kw	۷۱	۶۰	۳۹	۴۹	۴۸	۶۴	۶۷	۷۷	۵۷	۶۴	۸۷	۸۴	۸۸
۵	Enercon E-48/800kW	۷۳	۶۱	۴۰	۵۱	۵۰	۶۶	۶۸	۷۸	۵۹	۶۶	۸۸	۸۵	۸۹
۶	Hyosung HS50	۶۱	۵۱	۳۰	۴۰	۴۱	۵۵	۵۶	۶۸	۴۶	۵۲	۸۰	۷۵	۸۱
۷	Unison U50	۷۳	۶۱	۴۰	۵۱	۵۰	۶۶	۶۸	۷۸	۵۹	۶۶	۸۸	۸۵	۸۹
۸	Aeronautica 54-750	۶۱	۴۹	۳۰	۳۹	۳۹	۵۴	۵۶	۶۷	۴۶	۵۲	۷۹	۷۵	۸۰
۹	RRB Energy PS 600	۶۱	۵۱	۳۰	۳۹	۴۱	۵۴	۵۵	۶۸	۴۶	۵۱	۷۹	۷۴	۸۰
۱۰	EWT DW54-500	۷۱	۶۰	۳۹	۴۹	۴۸	۶۴	۶۶	۷۶	۵۶	۶۳	۸۷	۸۳	۸۷

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

جدول ۷ پارامترهای مالی مورداستفاده در ارزیابی اقتصادی توربین‌های بادی

Table 7 Financial parameters used in economic evaluation of turbines

	REpower MM82	Nordex N60/1300kw	Suzlon S64-1.25 MW	Gamesa G58-850kw	Enercon E-48/800kW	Hyosung HS50	Unison U50	Aeronautica ۷۵۰–۵۴	RRB Energy PS 600	EWT DW54-500
قیمت توربین (دلار)	۲۸۹۹۴۲۸	۱۸۳۸۶۶۱	۷۶۷۹۴۴	۱۲۰۲۲۰۲	۱۱۳۱۴۸۴	۱۰۶۰۷۶۶	۱۰۶۰۷۶۶	۱۰۶۰۷۶۶	۸۴۸۶۱۳	۷۰۷۱۷۷
سالیانه‌ی توربین	۱۱۵۹۷۷	۷۳۵۴۶	۷۰۷۱۸	۴۸۰۸۸	۴۵۲۵۹	۴۲۴۳۱	۴۲۴۳۱	۴۲۴۳۱	۳۳۹۴۵	۲۸۲۸۷
بهره‌برداری، حفظ و تعمیرات	۲۸۹۹۴	۱۸۳۸۷	۱۷۶۷۹	۱۲۰۲۲	۱۱۳۱۵	۱۰۶۰۸	۱۰۶۰۸	۱۰۶۰۸	۸۴۸۶	۷۰۷۲
هزینه‌های عمرانی	۵۷۹۸۸۶	۳۶۷۷۳۲	۳۵۳۵۸۹	۲۴۰۴۴۰	۲۲۶۲۹۷	۲۱۲۱۵۳	۲۱۲۱۵۳	۲۱۲۱۵۳	۱۶۹۷۲۳	۱۴۱۴۳۵
هزینه‌های سرمایه‌گذار اولیه	۳۴۷۹۳۱۳	۲۲۰۶۳۹۴	۲۱۲۱۵۳۲	۱۴۴۲۶۴۲	۱۳۵۷۷۸۱	۱۲۷۲۹۱۹	۱۲۷۲۹۱۹	۱۲۷۲۹۱۹	۱۰۱۸۳۳۶	۸۴۸۶۱۳
ارزش اسقاط	۳۴۷۹۳۱	۲۲۰۶۳۹	۲۱۲۱۵۳	۱۴۴۲۶۴	۱۳۵۷۷۸	۱۲۷۲۹۲	۱۲۷۲۹۲	۱۲۷۲۹۲	۱۰۱۸۳۴	۸۴۸۶۱
ارزش کل هزینه‌ها (دلار)	۳۶۶۶۷۳۶	۲۳۳۵۲۴۸	۲۲۳۵۸۱۵	۱۵۲۰۳۵۴	۱۴۳۰۹۲۲	۱۳۴۱۴۸۹	۱۳۴۱۴۸۹	۱۳۴۱۴۸۹	۱۰۷۳۱۹۱	۸۹۴۳۲۶
هزینه‌ها (میلیون)	۱۵۴۰۰	۹۷۶۶	۹۳۹۰	۶۳۸۵	۶۰۱۰	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۴۵۰۷	۳۷۵۶

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

جدول ۸ نتایج محاسبات تحلیل اقتصادی توربین نوع UNISON U50 در ایستگاه‌های مورد بررسی (میلیون تومان)

Table 8 Results of economic analysis of UNISON U50 Turbine at the stations (Million Tomans)

نوع توربین		کرمانشاه	اسلام‌آباد	کنگاور	سریل‌ذهاب	روانسر	سنقر	هرسین	سرارود	جوانرود	قصرشیرین	گیلان‌غرب	سومار	تازه‌آباد
Unison U50	AEP (GW h/year)	۱۴۷۷۹۵۸	۱۴۵۸۷۲۰	۷۲۱۲۸۱	۹۳۶۸۲۵	۱۲۳۰۴۲۷	۱۴۷۵۶۶۷	۱۲۹۱۲۵۵	۱۹۵۶۸۲۰	۹۸۰۵۶۷	۱۰۹۷۹۹۸	۲۴۲۱۷۱۳	۱۹۸۹۲۴۱	۲۲۶۱۵۵۱
	PVB	۴۷۴۸	۴۶۸۶	۲۳۱۷	۳۰۱۰	۳۹۵۳	۴۷۴۱	۴۱۴۸	۶۲۸۷	۳۱۵۰	۳۵۲۸	۷۷۸۰	۶۳۹۱	۷۲۶۶
	PVC	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴	۵۶۳۴
	NPW	-۸۸۶	-۹۴۸	-۳۳۱۷	-۲۶۲۵	-۱۶۸۱	-۸۹۳	-۱۴۸۶	۶۵۲	-۲۴۸۴	-۲۱۰۷	۲۱۴۶	۷۵۷	۱۶۳۱
	B/C	۰/۸۴	۰/۸۳	۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۷۰	۰/۸۴	۰/۷۴	۱/۱۲	۰/۵۶	۰/۶۳	۱/۳۸	۱/۱۳	۱/۲۹

جدول ۹ نسبت شاخص منفعت به هزینه در پروژه‌های دارای توجیه اقتصادی

Table 9 Benefit to Cost ratio in economic projects

ردیف	نوع توربین	شاخص (B/C)													اقتصادی‌ترین مکان
		کرمانشاه	اسلام‌آباد	کنگاور	سریل‌ذهاب	روانسر	سنقر	هرسین	سرارود	جوانرود	قصرشیرین	گیلان‌غرب	سومار	تازه‌آباد	
۱	REpower MM82	–	–	–	–	–	–	–	۱/۱۲	–	–	۱/۴۰	۱/۱۵	۱/۳۱	گیلان‌غرب
۲	Nordex N60/1300kw	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱/۰۲	–	۱/۰۳	تازه آباد
۳	Suzlon S64-1.25 MW	–	–	–	–	–	–	–	۱/۰۴	–	–	۱/۲۸	۱/۰۵	۱/۲	گیلان‌غرب
۴	Gamesa G58-850KW	–	–	–	–	–	–	–	۱/۱۹	–	–	۱/۴۹	۱/۲۴	۱/۴	گیلان‌غرب
۵	Enercon E48/800kW	–	–	–	–	–	–	–	۱/۰۵	–	–	۱/۲۹	۱/۰۵	۱/۲	گیلان‌غرب
۶	Hyosung HS50	–	–	–	–	–	–	–	۱/۰۴	–	–	۱/۲۹	۱/۰۵	۱/۲	گیلان‌غرب
۷	U50 Unison	–	–	–	–	–	–	–	۱/۱۲	–	–	۱/۳۸	۱/۱۳	۱/۲۹	گیلان‌غرب
۸	Aeronautica 54-۷۵۰	–	–	–	–	–	–	–	۱/۰۹	–	–	۱/۳۹	۱/۱۵	۱/۳۱	گیلان‌غرب
۹	RRB Energy PS 600	–	–	–	–	–	–	–	۱/۰۶	–	–	۱/۳۲	۱/۰۸	۱/۲۳	گیلان‌غرب
۱۰	EWT DW54-500	۱/۰۸		–	–	–	–	–	۱/۳۸	–	–	۱/۷۴	۱/۴۷	۱/۶۶	گیلان‌غرب

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

جدول ۱۰ انتخاب اقتصادی‌ترین توربین و شهرستان (میلیون تومان)

Table 10 Choosing the most economical turbine and station (Million Tomans)

ردیف	نوع توربین منتخب	شهرستان منتخب	PVC	PVB
۱	REpower MM82	گیلان‌غرب	۱۵۴۰۰	۲۱۴۸۹
۲	Nordex N60/1300kw	تازه‌آباد	۹۷۶۶	۱۰۰۸۷
۳	Suzlon S64-1.25 MW	گیلان‌غرب	۹۳۹۰	۱۲۰۵۵
۴	Gamesa G58-850kw	گیلان‌غرب	۶۳۸۵	۹۴۸۸
۵	Enercon E48/800kW	گیلان‌غرب	۶۰۱۰	۷۷۴۹
۶	Hyosung HS50	گیلان‌غرب	۵۶۳۴	۷۱۶۹
۷	Unison U50	گیلان‌غرب	۵۶۳۴	۷۷۸۰
۸	Aeronautica 54-750	گیلان‌غرب	۵۶۳۴	۷۸۱۹
۹	RRB Energy PS 600	گیلان‌غرب	۴۵۰۷	۵۹۳۴
۱۰	EWT DW54-500	گیلان‌غرب	۳۷۵۶	۶۵۲۴

۴- نتیجه‌گیری

برای ارزیابی کارایی توربین‌های بادی مختلف و اقتصادی بودن کاربرد توربین‌های بادی برای تولید برق در مناطق مختلف استان کرمانشاه، احتمال تولید انرژی، ضریب ظرفیت و خروجی انرژی سالانه‌ی توربین‌های مختلف را در شرایط زبری سطحی ۰/۰۳m برآورد کردیم. سپس،

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

هریک از توربین‌ها را ازنظر اقتصادی ارزیابی کردیم و ازبین ۱۰ توربین منتخب، اقتصادی‌ترین توربین و محدوده را در استان کرمانشاه برای کاربرد انرژی بادی معرفی نمودیم.

نتایج نشان داد که دربین توربین‌ها، در همه‌ی ایستگاه‌ها باتوجه به ویژگی‌های اقلیم باد منطقه، بیشترین میزان احتمال تولید انرژی به توربین ۷۵۰ و ۸۰۰ کیلوواتی مربوط است. توربین‌هایی که سرعت کات‌این بیشتری دارند در تمامی ایستگاه‌های منطقه، کمترین احتمال تولید انرژی را دارند. همچنین، در ایستگاه تازه‌آباد با تولید انرژی توربین‌ها در ۸۰ تا ۸۹ درصد از مواقع بیشترین و در ایستگاه کنگاور با تولید انرژی توربین‌ها تنها در ۳۰ تا ۴۰ درصد از مواقع کمترین احتمال تولید انرژی وجود دارد. بررسی ضریب ظرفیت توربین‌ها نشان داد که توربین ۵۰۰ کیلوواتی بهترین کارایی را در همه‌ی ایستگاه‌ها دارد. همچنین، دربین مناطق مختلف استان، بهترین کارایی توربین‌ها (به‌عنوان نمونه، توربین ۵۰۰ کیلوواتی) در محدوده‌ی ایستگاه‌های گیلان‌غرب (۴۶/۴ درصد)، تازه‌آباد (۴۴/۲ درصد) و سومار (۳۹/۲ درصد) و کمترین کارایی در محدوده‌ی ایستگاه‌های کنگاور (۱۴ درصد)، سرپل‌ذهاب (۱۸/۲ درصد) و جوانرود (۱۹/۵ درصد) برآورد شده است.

بهترین کارایی توربین‌ها در محدوده‌های ایستگاه گیلان‌غرب، سومار و تازه‌آباد به‌دلیل شرایط اقلیمی باد در این سه ایستگاه است که تا اندازه‌ی زیادی با مناطق دیگر متفاوت است. در محدوده‌ی این ایستگاه‌ها، برخلاف ایستگاه‌های دیگر منطقه، میانگین سرعت باد تنها تحت‌تأثیر رژیم گرمایش روزانه نیست و به‌نظر می‌رسد باتوجه به جهت وزش بادها از سمت ارتفاعات منطقه، بیشتر تحت‌تأثیر شکل زمین باشد. به عبارت دیگر، سرعت وزش باد درطول شب نیز در این ایستگاه‌ها میانگین قابل‌توجهی دارد. از آنجا که در این ساعات، معمولاً جهت بادها از سمت ارتفاعات منطقه (شمال‌شرق، شرق یا جنوب‌شرقی) است، احتمالاً تکوین نسیم کوه که قبل از طلوع آفتاب به بیشینه‌ی شدت خود می‌رسد، دلیل افزایش فراوانی رخداد و میانگین سرعت باد است. نکته‌ی جالب دیگر درمورد دو ایستگاه تازه‌آباد و سومار این است که دامنه‌ی نوسان رژیم روزانه‌ی میانگین سرعت باد به‌طور کلی در این دو ایستگاه کم است. در ایستگاه‌های سومار و گیلان‌غرب (واقع در جنوب‌غرب منطقه)، برخلاف بیشتر ایستگاه‌های منطقه، بادهای شرقی یا شمال‌شرقی علاوه‌بر بادهای غربی و شمال‌غربی فراوانی قابل‌توجهی دارند. همچنین، میانگین سرعت و پتانسیل باد نظم مکانی مشخصی در این منطقه نشان نمی‌دهد و به عبارت دیگر، گاه ایستگاه‌هایی با فواصل کم تفاوت‌های زیادی در ویژگی‌های باد دارند (رفعتی و همکاران، ۱۳۹۷) که این مسئله از اهمیت تأثیر عوامل محلی و ریزمقیاس در تعیین مقدار سرعت باد و پیچیدگی‌های منطقه نشئت می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

بیشترین خروجی انرژی سالانه در تمامی ایستگاه‌ها نیز طبیعتاً به توربین ۲۰۰۰ کیلوواتی به‌دلیل قدرت بالایش مربوط است. میزان تولید انرژی سالانه‌ی این توربین از ۱۹۶۳۹۱۴ کیلووات ساعت در سال در ایستگاه کنگاور تا ۶۶۸۸۰۹ کیلووات ساعت در سال در ایستگاه گیلان‌غرب متغیر است. مقدار تولید انرژی سالانه‌ی توربین ۵۰۰ کیلوواتی که بیشترین ضریب ظرفیت را دارد، از ۲۰۳۰۸۳۷ کیلووات ساعت در سال در محدوده‌ی ایستگاه گیلان‌غرب تا ۶۱۴۱۷۴ کیلووات ساعت در سال در محدوده‌ی ایستگاه کنگاور متغیر است.

هزینه‌های لازم برای سرمایه‌گذاری در احداث و نگهداری یک نیروگاه بادی شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه (خرید و نصب توربین)، هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات سالیانه است. ازسوی دیگر، درآمدهای ناشی از فروش برق تولیدشده باید پاسخگوی هزینه‌های انجام‌شده باشد. ازبین ۱۰ مدل متفاوت از توربین‌های بادی موردبررسی در این طرح، توربین ۵۰۰ کیلوواتی با قیمت ۷۰۷ هزار دلار ارزان‌ترین توربین و توربین ۲۰۰۰ کیلوواتی با قیمت ۲۹۰۰ هزار دلار گران‌ترین توربین بوده است. محاسبه‌ی شاخص نسبت منفعت به هزینه نشان داد که احداث نیروگاه در محدوده‌ی ایستگاه گیلان‌غرب در تمامی انواع مختلف توربین صرفه‌ی اقتصادی بیشتری درمقایسه با دیگر مناطق دارد. تنها احداث ایستگاه با توربین ۱۳۰۰ کیلوواتی در محدوده‌ی ایستگاه تازه‌آباد اقتصادی‌تر از دیگر مناطق است. همچنین، نتایج نشان داد که در محدوده‌ی ایستگاه گیلان‌غرب، احداث مزرعه‌ی بادی با توربین ۲۰۰۰ کیلوواتی بیشترین صرفه‌ی اقتصادی را دارد. ارزش حال مجموع هزینه‌های احداث یک نیروگاه بادی با یک عدد از این نوع توربین برابر ۱۵/۴ میلیارد تومان بوده است؛ درحالی که ارزش حال منافع ناشی از فروش برق تولیدشده در طول عمر مفید توربین برابر ۲۱/۴۹ میلیارد تومان است. بنابراین، این پروژه با داشتن نسبت منافع به هزینه‌ی برابر ۱/۴، بیشترین صرفه‌ی اقتصادی را دربین سایر پروژه‌ها دارد. همچنین، نتایج نشان داد که تولید برق توسط هیچ‌یک از توربین‌های بادی موردبررسی در محدوده‌ی ایستگاه‌های اسلام‌آباد، کنگاور، سرپل‌ذهاب، روانسر، سنقر، هرسین، جوانرود و قصرشیرین، اقتصادی نیست.

بدیهی است با تغییر قیمت‌های مورداستفاده در تجزیه و تحلیل اقتصادی (قیمت فروش توربین، قیمت فروش برق تولیدشده و یا نرخ ارز)، نتایج تحلیل اقتصادی نیز متفاوت خواهد بود.

۵. قدردانی

درپایان، از حمایت مالی شرکت توزیع نیروی برق استان کرمانشاه در این تحقیق (درقالب طرح پژوهشی) تقدیر می‌کنیم.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

۶. فهرست منابع

- Adaramola, M. S., Paul, S. S., Oyedepo, S. O., "Assessment of electricity generation and energy cost of wind energy conversion systems in north-central Nigeria," *Energy Conversion and Management,* Vol. 52, No. 12, pp: 3363–3368, 2011.
- Boudia M., Guerri, o., "Investigation of wind power potential at Oran, northwest of Algeria", *Energy Conversion and Management.*105, pp: 81-92, 2015.
- Cavazzi, S., Dutton, A.G., "An Offshore Wind Energy Geographic Information System (OWE-GIS) for assessment of the UK's offshore wind energy potential", *Renewable Energy,* Vol. 87, pp: 212-228, 2016.
- Dabbaghiyan, A., Fazelpour, F., Dehghan Abnavi, M., Rosen, M. A., "Evaluation of wind energy potential in province of Bushehr, Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* Vol. 55, pp: 455-466, 2016.
- Fazelpour F, Soltani N, Soltani S, Rosen, M.A., "Assessment of wind energy potential and economics in the north-western Iranian cities of Tabrizand, Ardabil", *Renewable and Sustainable Energy* Reviews, Vol. 45, pp: 88–99, 2015.
- Gandomkar, A., "Evaluation of wind energy potential in Iran", *Geography and Environment planning*, Vol. 20, N. 4, pp: 85-100, 1388.
- Haghi Pham, M. and Soltani, S., "Investigating the effect of wind power on power system reliability", *Seventh National Energy Conference*, Tehran, Iran, 1388.
- Jafari, H., Azizi, A., Nasiri, H., Abedi, S., "Land suitability analysis for the establishment of wind power plants in Ardebil province using the AHP and SAW model in GIS environment", *Journal of Environment Science and Technology*, Vol. 15, N. 2, pp: 23-41, 1392.
- Ismail Nia A., Sajadian, F., "Economic appraisal of wind power plant construction with Clean Development Mechanism", *Energy Economic Studies*, Vol. 7, N. 25, pp: 143-172, 1389.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

- Keyhani, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Khanali, M., Abbaszadeh, R., "An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran", *Tehran, Energy,* Vol. 35, pp: 188–201, 2010.
- Mohammadi, K., Mostafaeipour, A., "Using different methods for comprehensive study of wind turbine utilization in Zarrineh, Iran", *Energy Convers Manag.,* Vol. 65, pp: 463–70, 2013.
- Mostafaeipour, A., "Feasibility study of harnessing wind energy for turbine installation inprovince of Yazd in Iran", *Renew Sustain Energy Rev,* Vol.14, pp: 93– 111, 2010.
- Mostafaeipour, A, Jadidi, M., Mohammadi, K., Sedaghat, A., "Ananalysis of wind energy potential and economic evaluationin Zahedan, Iran", *Renew Sustain Energy Rev*, Vol. 30, pp: 641–50, 2014.
- Motahhari, A., Ahmadian, M., Abedi, Z., Ghaffarzadeh, H., "Economic appraisal of using wind farms in Iran considering the effect of the policy of liberalizing energy prices", *Iranian Energy Economics*, N. 10, pp: 179-200, 1393.
- Noorollahi, Y., Ashraf, A., Zamani, M., "Wind Energy Resources Assessment Using Geographical Information Systems (GIS) (Case Study: West Iran)", *Iranian Journal of Energy*, Vol. 14, N. 1, pp: 2-22. 1390.
- Rafati, S., Karimi, M., Samdaliri, A., *Evaluation of wind energy potential and economic assessment for establishment of a wind power plant in Kermanshah province*, Research project of Kermanshah Electric distribution company, 1397.
- Renewable Energy and Energy Efficiency Organization, Vol. 1, N.1, pp: 5, 2007.
- Sconjahad, M., *Engineering Economics (Economic Assessment of Industrial Projects)*, Tehran, Amir Kabir university, 1390.
- Shaahid, S. M., Al-Hadhrami, L, M., and Rahman, M. K., "Potential of Establishment of Wind Farms in Western Province of Saudi Arabia", *Energy Procedia,* Vol. 52, pp: 497-505, 2014.
- Shami, S.H., Ahmad, J., Zafar, R., Haris, M., Bashir, S., "Evaluating wind energy potential in Pakistan's three provinces, with proposal for integration into

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir at 9:24 IRST on Sunday November 3rd 2019

national power grid", *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* Vol. 53, pp: 408-421, 2016.

- Shu, Z.R., Li, Q.S, Chan, P.W., "Statistical analysis of wind characteristics and wind energy potential in Hong Kong", *Energy Conversion and Management,* Vol. 101, pp: 644-657, 2015.
- Taleai, M., Safarpour, M., Javadi, Gh., "Potential Evaluation for Establishment of Solar Power Plants Using Multi-Criteria Decision Making OWA and TOPSIS Methods (Case Study: Qazvin-Iran)", *Journal of Spatial Planning*, Vol. 22, N. 4, pp: 1-28, 1397.
- Yousefi H., Hafezniya, H., Razi, F., "Identifying optimal sites for gridconnected photovoltaic power plants in Birjand County". *Journal of Spatial Planning*, Vol. 21, N. 2, pp: 219-242, 1396.

www.SID.ir