DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.28212606.1401.5.13.4.2

فصلنامه علمی آماد و فناوری دفاعی، سال پنجم، شماره سیزدهم، بهار ۱۴۰۱

راهبرد تولید الکتریسیته از باد ۱۲۰ روزه، فرصتی عظیم برای توسعه شرق و جنوب شرق ایران

علیرضا سعیدی[۱]، احسان علی پوری[۲]

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۸/۰۹ **تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۲/۰۲**

چکیده

بررسی پتانسیل انرژی باد در مقیاس بزرگ و با استفاده از داده‌های پایگاه داده (ecmwf) نشان داد که پتانسیل انرژی باد در شرق کشور نسبت به دیگر مناطق ایران به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر است. همچنین واکاوی داده‌های ۲۳ دکل بادسنجی در شرق ایران نشان داد که عمده مناطق شرق ایران از پتانسیل بالایی به منظور بهره‌برداری از انرژی بادی برخوردارند. تحلیل داده‌های دوباره آنالیز و تصاویر ماهواره‌ای ناسا نشان داد که تنها منطقه‌ای در شرق کشور که غلظت ذرات گرد و غبار در آن بالا می‌باشد, منطقه سیستان است که در مطالعات به منظور احداث مزارع بادی باید به این نکته توجه شود. درنهایت با شناسایی نقاط قوت و ضعف (عوامل داخلی) و تهدیدها و فرصت‌ها (عوامل خارجی) و با استفاده از روش تحلیل سوات به تدوین مناسب‌ترین راهبردها در زمینه بهره‌برداری از باد ۱۲۰ روزه به منظور تولید الکتریسیته پرداخته‌شده است. با توجه به پتانسیل بسیار عظیمی که برای تولید برق بادی در شرق کشور وجود دارد، برق تولیدی در شرق کشور نه‌تنها می‌تواند بسیاری از نیازهای داخلی را تأمین کند بلکه حتی می‌توان به صادرات برق، در حجم بسیار گسترده و با قیمت تمام‌شده بسیار ارزان و قابل‌رقابت با سایر انرژی‌ها هم‌فکر کرد و بستر مناسبی را برای توسعه اقتصادی مناطق محروم شرق کشور ایجاد نمود.

[۱]; کارشناس ارشد آب و هوا شناسی شهری-دانشگاه تهران

[۲] دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران. ایران

ehsan.alipoori@yahoo.com

کلیدواژه‌ها: بادهای ۱۲۰ روزه، پتانسیل انرژی بادی، شرق کشور، راهبرد تولید الکتریسیته، تقاضای انرژی

مقدمه

ادبیات و مبانی نظری:

رشد روزافزون تقاضای انرژی، افزایش جمعیت کره زمین، رشد سریع اقتصادی و صنعتی جوامع بشری، گرم شدن نگران‌کننده کره زمین و درنهایت مشکلات عظیم زیست‌محیطی و اکولوژیکی ناشی از احتراق سوخت های فسیلی به ویژه زغال‌سنگ و نفت, نگرانی‌های عمده‌ای را برای کشورهای مختلف ایجاد کرده است. بهترین گزینه و راه‌حل برای مسائل فوق, به‌کارگیری انرژی‌های پاک و تجدید پذیر است.

باد یکی از پاک‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های تجدید پذیر است که از دیرباز موردتوجه و کاربرد انسان بوده است. مزایای استفاده از انرژی باد نسبت به سایر انرژی‌های تجدید پذیر باعث توسعه سریع بازار انرژی بادی و به‌تبع آن، ارتقای فناوری و رشد چشمگیر مطالعه کاربردی این فرا سنج اقلیمی در میان جوامع بشری شده است. بادهای جهان جمعاً حدود TW ۲۷۰۰[1] انرژی در خود نهفته‌اند که حدود ۲۵ درصد از آن در ۱۰۰ متری زمین قرار دارد. با این حال، حتی ۱۰ درصد این مقدار انرژی; یعنی TW ٦٧، از ظرفیت کل انرژی آبی جهان بیشتر است (ثقفی، ۱۳۸۲: ۲٦). انرژی باد نسبت به سایر انرژی‌های تجدید پذیر از ویژگی‌ها و مزایای بالاتری برخوردار است که اهم آن‌ها عبارت‌اند از: ۱- هزینه استفاده از دستگاه‌های بادی در قیاس با دستگاه‌های تولید انرژی معمولی فعلی، کمتر و هزینه نگهداری و تعمیرات آن نیز پایین‌تر است ۲- هزینه‌های اجتماعی پایین ۳- هزینه‌های زیست‌محیطی ناچیز ٤- کاهش اتکا به منابع انرژی فسیلی (پدافند غیرعامل) ۵- در مقیاس‌های محلی مانند روستاهای منفرد می‌توان بدون انتقال نیرو از نیروگاه‌های مرکز از آن استفاده نمود ٦- عدم نیاز به آب فراوان ۷- عدم نیاز به زمین زیاد برای نصب توربین‌های بادی ۸- تنوع بخشیدن به منابع

[1] ترا, = ۱۰۱۲ tera

انرژی ۹- بازده اقتصادی بالا در بلندمدت ۱۰-به علت پخش بودن نیروگاه و متمرکز نبودن آن, در مواقع جنگ و سایر بلایای طبیعی, آسیب‌پذیری کمتری نسبت به نیروگاه‌های متمرکز دارد.

با توجه به موارد فوق در سال‌های اخیر نیروگاه‌های بادی به‌طور حیرت‌انگیزی از نظر اقتصادی با سایر نیروگاه‌ها قابل‌رقابت شده‌اند. به طوری که طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدید پذیر ظرفیت نیروگاه‌های بادی نسب شده در سطح جهان از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ یعنی در طی ۱۰ سال ٦ برابر شده است و از ۹۱ هزار مگاوات به ۵۱۳ هزار مگاوات رسیده است[۱].

شرق و جنوب شرق ایران که دچار مشکلات مختلف اقتصادی و امنیتی است، یکی از مستعدترین مناطق جهان برای تولید انرژی بادی می‌باشد. این منطقه در طول ٤ ماه از سال (خرداد، تیر، مرداد، شهریور) تحت تأثیر بادهای قدرتمند ۱۲۰ روزه قرار دارند (مسعودیان، ۱۳۹۳: ۳-٦). بادهای ۱۲۰ روزه که در پهنه ۳ کشور ایران و افغانستان و پاکستان می‌وزند یکی از قدرتمندترین بادهای نزدیک سطح زمین در تمام کره زمین هستند (McMahon, 1906; 22-25) ازآنجایی‌که بسیاری از مشکلات منطقه شرق و جنوب شرق ایران ناشی از عدم توسعه‌یافتگی اقتصادی این منطقه است سرمایه‌گذاری در تولید انرژی برق بادی و بهره‌برداری از این منبع عظیم انرژی در این منطقه از کشور نه‌تنها می‌تواند نقش مهمی در بهبود شرایط اقتصادی کشور داشته باشد، بلکه می‌تواند به توسعه همه‌جانبه اقتصادی این منطقه از کشور و حل بسیاری از مشکلات این منطقه بیانجامد. توسعه‌یافتگی اقتصادی مناطق مرزی و رفاه نسبی در این مناطق می‌تواند موجب کاهش بسیاری از مشکلات مرزی از قبیل قاچاق کالا، مواد مخدر و سرقت را فراهم آورده و از تخلیه جمعیتی مناطق مرزی جلوگیری نماید (محمد پور، ۱۳۸۱: ٤-٦).

از طرف دیگر با توجه به اهمیت فوق‌العاده بادهای ۱۲۰ روزه و مطالبی که در بالا به آن‌ها اشاره شد نباید از دخالت قدرت‌های جهانی و همچنین رقابت قدرت‌های منطقه‌ای بر سر بهره‌برداری از این منبع عظیم چشم‌پوشی کرد. بر اساس مطالعه‌ای که توسط آزمایشگاه ملی انرژی‌های نو ایالات‌متحده آمریکا در سال ۲۰۱۱ میلادی بر روی توان کشورهای افغانستان و پاکستان برای تولید انرژی الکتریسیته از باد صورت

[۱] www.irena.org

پذیرفته است، افغانستان ظرفیت تولید ۱۵۸۱۰۰ مگاوات انرژی الکتریکی را از باد دارد که عمده این ظرفیت در مناطق غربی افغانستان و در مرزهای این کشور با ایران قرار دارد, یعنی منطقه‌ای که تحت تأثیر بادهای قدرتمند ۱۲۰ روزه قرار دارد. در این مطالعه جامع و مهم, آزمایشگاه ملی انرژی‌های نو ایالات‌متحده آمریکا ۳ منطقه حیاتی را برای تولید برق بادی در افغانستان پیشنهاد می‌دهد (شمال نیمروز در مرزهای منطقه سیستان ایران، غرب فراه در مرزهای استان خراسان جنوبی و غرب هرات در مرزهای استان خراسان رضوی). همچنین بر مبنای نتایج این مطالعه کشور پاکستان توان تولید ۱۳۱۸۰۰ مگاوات برق بادی را دارد که عمده این ظرفیت در مناطق مرزی این کشور با استان سیستان و بلوچستان ایران قرار دارد (Denise Elliott9 , 2011: 4-). این مطالعه از یک‌طرف نشان‌دهنده اهمیت فوق‌العاده بالای بادهای ۱۲۰ روزه برای آمریکا و برنامه‌ریزی‌های احتمالی این کشور برای بهره‌برداری از این منبع عظیم انرژی و دخالت‌های احتمالی این کشور در این منطقه مهم است و از طرف دیگر نشان‌دهنده توان بالای شرکای ایران در این منبع بزرگ انرژی یعنی افغانستان و پاکستان برای تولید برق بادی است که در صورت اهمال و کم‌کاری ایران در بهره‌برداری از این منبع بزرگ انرژی می‌تواند به از دست رفتن بازارهای بزرگ انرژی منطقه‌ای برای ایران منجر شود.

با توجه به مطالب گفته‌شده تدوین راهبردی برای بهره‌برداری از انرژی عظیم و پایان‌ناپذیر بادهای ۱۲۰ روزه در شرق و جنوب شرق کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، راهبردی که علاوه بر پتانسیل سنجی و مکان‌یابی تولید انرژی الکترونیکی بادی در این منطقه از کشور به بررسی آثار اجتماعی و اقتصادی و سیاسی و امنیتی تولید انرژی بادی در منطقه شرق و جنوب شرق کشور می‌پردازد.

پیشینه:

بشر از دیرباز به استفاده از انرژی باد آشنایی پیداکرده و بیش از ٤ هزار سال قبل, تمدن‌های باستان برای کشتی‌رانی از انرژی بادی استفاده می‌کرده‌اند. اما شروع استفاده از آسیاب‌های بادی (توربین‌های بادی) برای تولید برق به قرن ۱۹ برمی‌گردد. نخستین استفاده از باد برای تولید الکتریسیته در مقیاس بزرگ در سال ۱۸۸۸

اتفاق افتاد. پس‌ازآن با اختراع انواع تجهیزات پیشرفته و ساخت انواع توربین‌های بادی استفاده از انرژی باد در مقیاس وسیع عمومیت پیدا کرد (گادفری[1]، ۱۳۸٦: ۱۲-۱۱). تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص بادها و پتانسیل سنجی انرژی باد در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است.

(Elliot et al1993: 2-12,) پتانسیل انرژی باد ٤٨ ایالت آمریکا را به کمک توزیع دو پارامتری ویبول محاسبه و میزان انرژی باد قابل استحصال را برای کل کشور برآورد کردند. درنتیجه این تحقیق، وجود پتانسیل بالای انرژی باد در ایالت‌ها و دشت‌های مرکزی آمریکا نسبت به دیگر مناطق این کشور تأیید شد. (Elliot et al ,1987: 20-24) قبلاً نیز در تحقیقاتی دیگر اطلس انرژی باد ایالات‌متحده آمریکا را تهیه‌کرده بودند. (Jayakumar et al, 2001: 42-46) برای برآورد متوسط سرعت باد ۱۸ ایستگاه هواشناسی منطقه تامی نادو هندوستان از توزیع آماری گاما استفاده کرده و نقشه پتانسیل انرژی باد منطقه را ترسیم کردند. به علاوه، آن‌ها با مقایسه نتایج برآوردهای حاصل از به‌کارگیری توزیع‌های دو پارامتری ویبول و گاما دریافتند که خروجی هر دو مدل تقریباً یکسان بوده است.

(Jewer et al, 2005: 14) نیز با بهره‌گیری از آماره‌های تابع ویبول و محاسبه متوسط سرعت باد، نقشه پهنه بندی پتانسیل انرژی باد منطقه لابرادوار کانادا را تهیه کردند. یافته‌های آن‌ها حاکی از پتانسیل بالای انرژی باد در جنوب شرقی منطقه بوده.

یکی از روش‌های برآورد منابع انرژی باد استفاده از مدل‌های مختلف و همچنین استفاده داده‌های دوباره بازکاوی شده اقلیمی است که در پژوهش حاضر هم یکی از روش‌های به‌کاربرده شده همین روش می‌باشد. مطالعات مختلفی به منظور برآورد انرژی بادی با استفاده از مدل‌سازی و یا داده‌های بازکاوی شده اقلیمی صورت گرفته است. (Nuori et al, 2016: 46-50) به مطالعه امکان‌سنجی پتانسیل مزرعه بادی در مراکش پرداختند. در این مطالعه به مقایسه منابع باد بین دو مکان مختلف پرداخته شد و با کمک نرم‌افزار دبلیو ای اس پی مکان بهینه توربین برای مزرعه بادی مشخص گردید. (Lange, B. and Højstrupb, 2001: 26-40) تخمین منبع باد با استفاده از برنامه دبلیو ای اس پی برای مکان‌های دور از ساحل را

[1] God feri

ارزیابی کردند. بررسی‌ها نشان داد که رایج‌ترین پیش‌بینی منبع باد بر روی زمین و همچنین مکان‌های دور از ساحل استفاده از برنامه (دبلیو اس پی[1]) می‌باشد، که به‌طور گسترده‌ای هم برای مکان‌های دور از ساحل و هم روی زمین معتبر است. نتایج نشان داد که پیش‌بینی‌های طولانی مدت میانگین منبع باد با اندازه‌گیری‌های انجام‌شده باهم سازگاری دارند.

(Budia and garry, 2015: 83-86) پتانسیل نیروی باد در ساحل شمال غرب الجزایر را به وسیله اندازه‌گیری باد در ارتفاع ده متری بالای سطح زمین در سه مکان بررسی کردند و با استفاده از نرم‌افزار دبلیو ای اس پی مورد تحلیل قراردادند و پارامترهای ویبول سالانه و ماهانه و انرژی تولیدی سالانه را تخمین زدند. امروزه نرم‌افزار دبلیو ای اس پی، یک ابزار استاندارد صنعتی برای ارزیابی منبع باد به شمار می‌رود.

در کنار انواع مطالعات انجام‌شده در نواحی مختلف جهان مطالعات بسیاری هم برای سنجش پتانسیل انرژی باد در نواحی مختلف ایران انجام‌شده است. در مطالعه‌ای در استان اردبیل با استفاده از آمار ٦ الی ١٢ ساله چهار ایستگاه سینوپتیک، ویژگی‌های باد به منظور کسب انرژی, تحلیل و با محاسبه چگالی توان باد و تعداد ساعات با سرعت بیش از ٤ متر بر ثانیه، ایستگاه اردبیل مکان مناسبی برای بهره‌برداری از انرژی باد معرفی گردید (صلاحی،۱۳۸۳: ٦٣). در استان آذربایجان شرقی با در نظر گرفتن آستانه سرعت ۵ متر بر ثانیه و مقادیر چگالی توان باد، ایستگاه‌های سهند و جلفا به عنوان مناسب‌ترین ایستگاه‌ها برای احداث پارک‌های بادی تعیین شدند (عبدلی و همکاران، ۱۳۸۸: ٦٩).

جعفری (۱۳۷۸: ۱۲) برای تعیین موقعیت محل مناسب جهت نصب توربین‌های بادی تحقیقاتی در مورد سرعت، زمان وزش و ضریب تداوم باد و نیز انرژی قابل دریافت از آن در روز، ماه و سال در هر منطقه انجام داده و سپس توربین‌های موردنظر را با توجه به آن شرایط, طراحی نموده است. حسین محمدی و همکاران (۱۳۹۱: ۲۱) "به پتانسیل سنجی توان انرژی باد در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه پرداخته است" و به این نتیجه رسیده است که کرمانشاه توان مناسبی برای استفاده از انرژی بادی ندارد. اما در تحقیقی

[1] WAsP

دیگر، سحر نصب پور و حسن خسروی (۲۰۱۵: ٥٤) "به بررسی پتانسیل توان تولید برق بادی در شهر زابل پرداخته‌اند" و به این نتیجه رسیده‌اند که شهر زابل به خصوص در ٤ ماهه وزش باد ۱۲۰ روزه توان بسیار بالایی در تولید برق بادی دارد و در فصل تابستان که اوج مصرف برق در ایران می‌باشد این منطقه می‌تواند نقش مهی در تولید برق موردنیاز کشور ایفا کند.

طرح سؤال‌های تحقیق

با توجه به مطالب پیش گفته برای مسیر دادن به پژوهش پرسش‌هایی در ذهن متبادر می‌شود که اهم آن‌ها عبارت‌اند از:

سؤال اصلی:

۱-بهره‌برداری از منبع عظیم انرژی بادی در منطقه محروم شرق و جنوب شرق کشور چه تأثیری بر شرایط اقتصادی و معیشتی این منطقه و همچنین چه تأثیری بر روی شرایط امنیتی این منطقه از کشور دارد؟

سؤالات فرعی:

۱- با توجه به وزش بادهای قدرتمند ۱۲۰ روزه در منطقه شرق و جنوب شرق کشور, این منطقه توان تولید چه میزان انرژی برق بادی را دارد؟

۲- ازآنجایی‌که شرق و جنوب شرق کشور منطقه‌ای گردو غبار خیز می‌باشد مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث نیروگاه‌های بادی در منطقه شرق و جنوب شرق کشور کجاست؟

۳- بهره‌برداری از منبع عظیم انرژی بادی در شرق کشور چه تأثیراتی بر روی شرایط کلان اقتصاد ایران دارد؟

فرضیات تحقیق

الف) بهره‌برداری از منبع عظیم انرژی بادی در شرق کشور، نه‌تنها کمک شایانی به توسعه تمام‌عیار این منطقه محروم می‌کند، بلکه با ایجاد توسعه اقتصادی و کاهش فقر و ایجاد اشتغال کمک شایانی هم به کاهش جرم و جنایت و افراط‌گرایی و قاچاق کالا و مواد مخدر در این منطقه می‌کند.

ب) با توجه به این‌که مطالعات قبلی این موضوع را اثبات کرده‌اند که بادهای ۱۲۰ روزه که در شرق کشور می‌وزند یکی از قدرتمندترین بادهای سطح زمین در سرتاسر کره زمین می‌باشند، احتمالاً منطقه شرق کشور هم دارای شرایط بسیار مناسبی به منظور توسعه انرژی بادی می‌باشد.

ج) با توجه به این موضوع که شرق کشور محل وزش بادهای بسیار پرقدرت ۱۲۰ روزه می‌باشد، احتمالاً پدیده گردو غبار در این منطقه یکی از مشکلات جدی بر سر توسعه انرژی بادی می‌باشد.

د) با توجه به وزش بادهای ۱۲۰ روزه در پهنه بسیار بزرگی از شرق کشور احتمالاً این منطقه از کشور توان تولید حجم بسیار بالایی انرژی الکتریکی را دارا می‌باشد که می‌توان مقدار زیادی از آن را صادر و به درآمدهای کلان ارزی دست یافت. همین امر کمک شایانی به بهبود شرایط اقتصادی کشور می‌کند. علاوه بر این بهره‌برداری از این منبع عظیم می‌تواند جایگاه ویژه‌ای را در بازار انرژی‌های نو برای ایران ایجاد کند.

اهداف تحقیق

هدف اصلی:

تدوین راهبرد تولید الکتریسیته از باد ۱۲۰ روزه.

اهداف فرعی:

سنجش پتانسیل تولید انرژی بادی در منطقه شرق و جنوب شرق کشور.

۱- بررسی بلندمدت غلظت گرد و غبار در شرق کشور و تأثیر آن بر بهره‌برداری از انرژی بادی در این منطقه.

۲- تحلیل آماری وزش بادهای شدید در شرق کشور و بررسی تأثیر وزش این بادها بر عملکرد توربین‌های بادی در این منطقه.

۳- بررسی تأثیر بهره‌برداری از منبع عظیم انرژی بادی در شرق و جنوب شرق کشور بر روی شرایط اقتصادی ایران.

٤- بررسی تأثیرات بهره‌برداری از انرژی بادی در منطقه شرق و جنوب شرقی ایران بر روی توسعه اقتصادی و شرایط امنیتی این منطقه از کشور.

روش تحقیق

منطقه موردمطالعه:

محدوده موردمطالعه این پژوهش ۳ استان شرقی سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و خراسان رضوی می‌باشند که در فصل گرم سال تحت تأثیر بادهای قدرتمند ۱۲۰ روزه قرار دارند. این ۳ استان مرزی در شرق کشور با کشورهای ترکمنستان و افغانستان و پاکستان هم‌مرز می‌باشند. مساحت منطقه موردمطالعه در حدود ۵۰۰ هزار کیلومترمربع می‌باشد که یک‌سوم خاک کشور ایران را در برمی‌گیرد. عمده وسعت منطقه موردمطالعه را بیابان‌ها و دشت‌های وسیع و کوهستان‌های شرقی ایران تشکیل می‌دهد.

داده‌ها و نرم‌افزارهای مورداستفاده:

شناخت هر پدیده‌ای نیازمند ابزار و روش‌های خواص خود است. مطالعه انرژی بادی نیز از این قاعده مستثنا نیست و برای مطالعه آن نیازمند ابزارها و روش‌های خواصی هستیم. برای بررسی پتانسیل انرژی بادی در

شرق کشور نیاز به آمار و داده‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی است. داده‌های موردنیاز در این زمینه را در دو دسته می‌توان قرارداد.

الف) داده‌های بازکاوی‌شده (مرکز اروپایی برای پیش‌بینی میان‌مدت ecmwf

ب) داده‌های دکل‌های بادسنجی وزارت نیرو.

در این مطالعه علاوه بر بررسی پتانسیل انرژی باد در شرق کشور, به منظور بررسی تأثیرات عمدتاً منفی گردو غبار بر روی بهره‌برداری از انرژی بادی در شرق کشور از داده‌های بازکاوی شده سازمان فضایی ایالات‌متحده (NASA) که به داده‌های (MERRA) معروف هستند و همچنین تصاویر ماهواره MODIS استفاده‌شده است.

در این پژوهش به منظور بررسی کلی پتانسیل انرژی باد در شرق کشور از داده‌های دوباره بازکاوی شده پایگاه ecmwf که ERA_interim نامیده می‌شود استفاده‌شده است. در ابتدا به منظور تهیه نقشه‌های سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین, داده‌های سرعت باد ۱۰ متر از سطح زمین از ecmwf دانلود شدند. این داده‌ها که با فرمت NetCDF هستند برای طول دوره‌ای ۳۸ ساله از سال ۱۹۷۹ تا سال ۲۰۱۷ دانلود شده‌اند. سپس با استفاده از نرم‌افزار McIDAS-V ابتدا میانگین این داده‌ها به دست آمد و بعدازآن با تبدیل داده‌های NetCDF به یک نقشه سطحی، نقشه سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر از سطح زمین به دست آمد.

در گام بعدی به منظور ترسیم نقشه چگالی توان باد داده‌های دما و فشار سطحی نیز از سایت ecmwf دانلود شدند. برای محاسبه چگالی توان باد به داده‌های چگالی هوا نیاز است درحالی‌که پایگاه داده ecmwf فاقد چنین داده‌هایی می‌باشد به همین منظور باید با استفاده از داده‌های دما و فشار ابتدا داده‌های NetCDF چگالی هوا تولید شود. در مرحله بعد با استفاده از فرمول شماره ۱ داده‌های چگالی هوا در نرم‌افزار McIDAS-V تولید شد.

$$۱)\ \rho = \frac{P}{R \times T}$$

در این فرمول ρ چگالی هوا بر حسب کیلوگرم بر مترمربع است. P فشار هوا بر حسب هکتوپاسکال می‌باشد و T دمای هوا بر حسب کلوین می‌باشد. R هم یک عدد ثابت است که ثابت گازها نامیده می‌شود, مقدار این عدد ثابت برای هوای خشک 287.058 می‌باشد.

پس از به دست آوردن چگالی هوا گام بعدی استخراج چگالی توان باد است که با استفاده از فرمول شماره ۲ به دست می‌آید (Budia and garry, 2015: 85).

$$۲)\ WPD = \frac{۱}{۲}\rho \times V^{۳}$$

در این فرمول WPD چگالی توان باد بر حسب وات بر مترمربع است. ρ چگالی هوا است و V هم سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه است. درنهایت نقشه چگالی توان باد در ارتفاع ۱۰ متر با استفاده از نرم‌افزار مکیداس- وی تهیه شد.

گام بعدی بررسی نقطه‌ای پتانسیل باد در شرق کشور یعنی در ۳ استان سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی و خراسان شمالی است. به این منظور داده‌های ۲۳ دکل بادسنجی وزارت نیرو در این ۳ استان از سایت سازمان انرژی‌های نو دانلود شد. این داده‌ها در سری زمانی ده‌دقیقه‌ای و در ارتفاعات مختلف برداشت‌شده است. ازآنجایی‌که ارتفاع محور اکثر توربین‌های بادی ۵۰ متر می‌باشد و نزدیک‌ترین ارتفاع به آن در دکل‌های بادسنجی موردبررسی ارتفاع ٤۰ متر می‌باشد, لذا ارتفاع ٤۰ متر به منظور بررسی داده‌های باد به عنوان ارتفاع پایه انتخاب شد. به منظور بررسی توزیع فرکانس سرعت باد در این پژوهش از تابع ویبول استفاده‌شده است. بدین منظور داده‌های دکل‌های بادسنجی به نرم‌افزار WAsP۱۲ واردشده و سپس توزیع ویبول این داده‌ها از نرم‌افزار WAsP۱۲ استخراج‌شده است. تابع ویبول در فرمول شماره ۳ نمایش داده‌شده است (Khahro at.al, 2014: 962).

$$۳)\ f(v) = \left(\frac{K}{A}\right)\left(\frac{v}{A}\right)^{k-۱} \exp\left[-\left(\frac{v}{A}\right)^{k}\right]$$

که در آن V سرعت باد مشاهده‌شده, K یک فرانسنج بی بعد به نام فاکتور شکل و A فرانسنجی به نام فاکتور مقیاس است که با واحد متر بر ثانیه بیان می‌شود.

چگالی قدرت باد علاوه بر سرعت آن، به چگالی هوا در ارتفاع موردنظر نسبت به سطح زمین نیز بستگی دارد که خود تابعی از فشار و دمای هواست. با توجه به کاهش چگالی هوا با افزایش ارتفاع از سطح دریا و درنتیجه برخورد کمتر مولکول‌های هوا با پره‌های توربین، چگالی قدرت باد نسبت به قدرت باد مشخصه دقیق‌تری در معرفی توان ایستگاه‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر است. چگالی قدرت باد را می‌توان با استفاده از فرموله‌ای ٤ و ٥ بیان کرد (Islam at.al, 2011: 986)

$$٤)\ P(v) = \frac{۱}{۲} S_w \rho v^{۳}$$

که در آن V سرعت باد و SW مساحت جاروب پره‌های توربین بادی و ρ چگالی هوا است. همچنین تراکم انرژی باد یک سایت بر اساس تابع چگالی احتمال ویبول را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

$$٥)\ \frac{P}{S_w} = \frac{۱}{۲}\rho A^{۳}\Gamma\left(۱ + \frac{۳}{k}\right)$$

که در آن E چگالی انرژی باد بر حسب وات بر ساعت بر مترمربع است، A فرانسنجی به نام فاکتور مقیاس است که با واحد متر بر ثانیه بیان می‌شود و Γ تابع گاما است. با دانستن چگالی قدرت باد می‌توان چگالی قدرت باد در یک‌زمان خاص را نیز برآورد کرد که T در این فرمول زمان است (بودیا و گری ۲۰۱۱,).

در این پژوهش به منظور بررسی پتانسیل توان باد از ۲ مدل توربین داخلی استفاده‌شده است. توربین‌های موردبررسی در این پژوهش عبارت‌اند از مپنا ۲.۵ مگاوات[1] که تولید شرکت مپنا می‌باشد. این توربین قوی‌ترین توربین بادی تولید داخل است و برای تولید آن از فناوری‌های روز جهان استفاده‌شده است.

فناوری این توربین‌ها برگرفته از توربین بادی Fuhrländer FL 2500 می‌باشد که ساخت کشور آلمان ست. اما توربین بعدی که در این پژوهش موردبررسی قرارگرفته است توربین S47-660 تولید شرکت صبا نیرو است. این توربین دارای ظرفیت ٦٦٠ کیلووات ساعت می‌باشد و از توربین مپنا کم‌ظرفیت‌تر است. مشخصات این ۲ توربین در جدول (۱) آمده است. اولین اقدام برای مدل‌سازی توان تولید توربین‌های بادی مدل‌سازی این توربین‌ها در نرم‌افزار wasp turbine editor است. برای این منظور باید تمامی اطلاعات فنی کاربردی توربین و ظرفیت تولید برق توربین در سرعت‌های مختلف و در چگالی‌های هوای مختلف را وارد نرم‌افزار کرد تا نرم‌افزار توربین بادی را شبیه‌سازی کند. قابل‌ذکر است که کلیه اطلاعات فنی این توربین‌ها از شرکت‌های سازنده آن‌ها به‌دست‌آمده است.

جدول (۱) نام توربین‌های استفاده‌شده در پژوهش و ویژگی‌های فنی آن‌ها

	مپنا ۲MW 5.	**S-660 صبا نیرو**
ظرفیت نامی (kw)	2,500	660
قطر روتور (m)	104	47
ارتفاع محور(m)	85	40
Cut in speed (m/s)	3.5	4
Rate Speed (m/s)	12	15
Cut out Speed(m/s)	25	25
قیمت ($)	2548000	660000

[1] Mapna 2.5 MW

پس از محاسبه توان تولیدی توربین‌ها در هر یک از ۲٤ منطقه موردمطالعه نوبت به محاسبه قیمت برق تولیدی هر یک از توربین‌ها در مکان‌های موردمطالعه می‌رسد. روش‌های مختلفی برای برآورد هزینه انرژی توربین‌های بادی وجود دارد، که در این تحقیق از روش pvc (present value coast) یا (متغیر هزینه حال حاضر) برای ارزیابی هزینه انرژی بادی تولیدشده استفاده شده است. ارزش هزینه فعلی یا pvc با فرمول زیر بیان می‌شود (Shata and Hanitsch, 2006: 22):

$$6)PVC=I+\ C_{omr}\left[\frac{1+i}{r-i}\right]\times\left[1-\left(\frac{1+i}{1+r}\right)^{t}\right]-S\left(\frac{1+i}{1+r}\right)^{t}$$

محاسبه هزینه بر اساس مفروضات زیر انجام‌شده است:

- طول عمر یا همان عمر مفید هر ۲ هر توربین (t) ۲۰ سال است.
- (r) نرخ بهره و (i) نرخ تورم به ترتیب ۱۵ و ۱۰ درصد در نظر گرفته‌شده.
- هزینه‌های عملیات تعمیر و نگهداری (Comr) ۲۵٪ از هزینه سالیانه توربین (قیمت ماشین تقسیم بر طول عمر آن[1]) در نظر گرفته‌شده است.
- هزینه اوراق توربین (S) ۱۰ درصد از هزینه توربین و کارهای ساختمانی در نظر گرفته‌شده است.
- مقدار سرمایه‌گذاری (I) شامل قیمت توربین به علاوه ۲۰٪ برای کارهای ساختمانی، کابل‌های اتصال به شبکه و سایر هزینه‌های نصب است. (ازآنجایی‌که اکثر مناطق موردبررسی در این پژوهش مناطق روستایی و تا حدودی دور از شهر هستند هزینه کارهای ساختمانی و هزینه‌های دیگر ۲۰٪ قیمت توربین در نظر گرفته‌شده است که درصد بالایی می‌باشد).

بعد از محاسبه pvc نوبت به محاسبه هزینه تولید هر کیلووات برق می‌رسد. قابل‌ذکر است که تمامی محاسبات اولیه انجام شده به دلار آمریکا می‌باشد. هزینه تولید برق در هر کیلووات بر ساعت با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Laerte at.al, 2010; 12)

$$9)Cost\ of\ KW\ h=\frac{PVC}{P_R\times CF\times ۸۷۶۰}$$

[1] machine price/ lifetime

جایی که PVC ارزش سرمایه‌گذاری به نرخ امروز را در طی طول عمر سیستم را نشان می‌دهد. P_R قدرت نامی تورین که برای توربین مپنا ۲.۵ مگاوات بر ساعت و برای توربین صبا ٦٦٠ کیلووات بر ساعت است. و CF فاکتور ظرفیت است که از تقسیم قدرت نامی توربین بر ظرفیت تولید توربین در مکان موردنظر ضرب در ۱۰۰ به دست می‌آید. ۸۷٦۰ هم تعداد ساعات در طول یک سال است. درنهایت پس از محاسبه هزینه برق تولیدی به دلار بر کیلووات ساعت, نوبت به تبدیل آن به تومان بر کیلووات بر ساعت می‌رسد. قابل‌ذکر است که برای تبدیل هزینه‌ها از دلار به تومان نرخ دلار دولتی ٤۲۰۰ تومان در نظر گرفته‌شده است.

در گام نهایی با استفاده از روش سوات راهبردهایی برای بهره‌برداری از باد ۱۲۰ روزه برای تولید الکتریسیته پیشنهادشده است. برای این منظور در مرحله اول شناسایی عوامل داخلی و خارجی محیط تحت بررسی به انجام رسید. بدین منظور در گام نخست لازم بود تا عوامل مؤثر بر تولید الکتریسیته از باد ۱۲۰ روزه تجزیه و تحلیل‌گرند. با این هدف کار فهرست برداری و نهایی کردن عوامل داخلی (قوت‌ها و ضعف‌ها) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدات) با استعانت از نتایج تحقیقات محقق و نتایج تحقیقات پیشین و راهنمایی پرسش از متخصصان در رشته‌های مختلف به انجام رسیده است. بدین منظور کار فهرست برداری و نهایی نمودن عوامل داخلی و خارجی با استعانت از پرسشنامه خبرگان به روش دلفی به انجام رسید. در این روش ابتدا فهرست اولیه‌ای از عوامل داخلی و خارجی مؤثر بر راهبردهای توسعه تولید الکتریسیته از باد ۱۲۰ روزه در شرق ایران تهیه گردید. سپس از ۲۲ نفر از افراد مجرب که دارای مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد و بالاتر در زمینه‌های تخصصی (اقلیم‌شناسی، مهندسی برق و قدرت, جغرافیای سیاسی و اقتصاد) بودند به عنوان گروه دلفی درخواست شد تا با استفاده از پرسشنامه در خصوص عوامل داخلی و خارجی مؤثر بر راهبردهای تولید الکتریسیته از باد ۱۲۰ روزه اظهارنظر نمایند.

در گام بعدی پس از مشخص شدن تمامی نقاط ضعف و قوت و فرصت‌ها و تهدیدها، ماتریس ارزیابی عوامل داخلی[1] و ماتریس ارزیابی عوامل خارجی[2] تشکیل شد. در مرحله سوم پس از لیست کردن هریک از

[1] IFE
[2] EFE

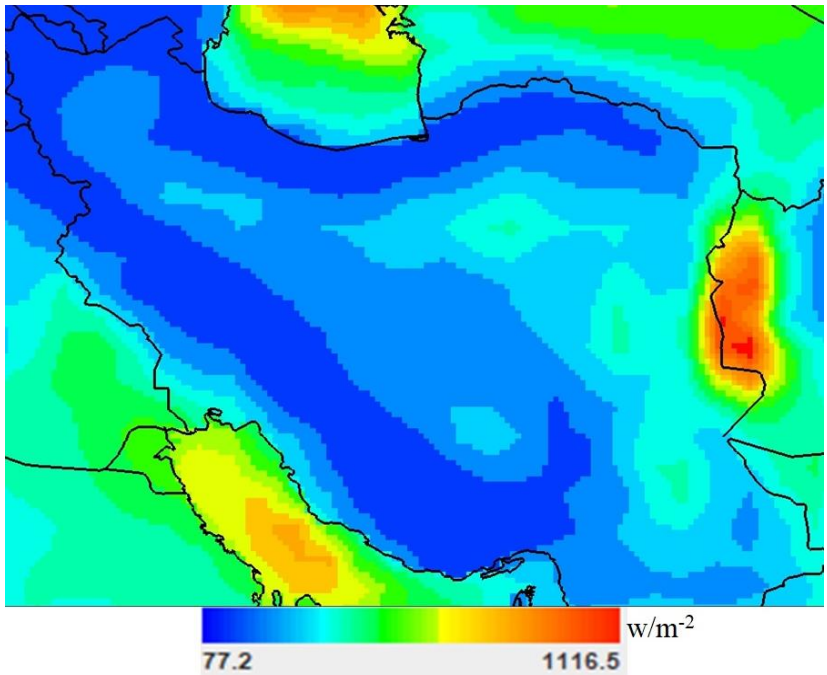
عوامل داخلی و خارجی از محل تلاقی هر یک از آن‌ها در سلول‌های مربوط به خود، استراتژی‌های موردنظر حاصل می‌گردد. در پایان این مرحله چهار نوع راهبرد قابل‌تصور حاصل می‌گردد که عبارت‌اند از راهبردهای تهاجمی، رقابتی، محافظه‌کارانه و تدافعی. با توجه به اینکه در هر راهبرد تنها یک عامل داخلی و خارجی دخیل هستند، در این مرحله جدول کمی برنامه‌ریزی راهبردی[1] طرح‌ریزی شد. درواقع جهت ارزیابی اولویت‌بندی استراتژی‌ها از ماتریس برنامه‌ریزی استراتژیک کمی استفاده گردیده است. در این گام تأثیر عوامل داخلی و خارجی محیط بر راهبرد پیشنهادی پیش‌بینی و نمره جذابیت هر راهبرد در بازه یک (حداقل جذابیت) تا چهار (حداکثر جذابیت) اعطا گردید. در پایان از جمع نمرات جذابیت مربوط به راهبرد در ستون مربوط، نمره جذابیت کل محاسبه گردید.

یافته‌ها

بررسی پتانسیل انرژی باد در مقیاس بزرگ:

بررسی نقشه چگالی توان باد در مقیاس بزرگ شکل (۱), که با استفاده از داده‌های دوباره بازکاوی شده ecmwf که برای کل کشور تهیه‌شده است نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از کشور را مناطقی با پتانسیل اندک انرژی بادی پوشیده است. با بررسی شکل (۱) می‌توان متوجه شد که منطقه مرزی ایران و افغانستان واقع در شرق کشور، یعنی محدوده وزش بادهای ۱۲۰ روزه دارای بالاترین پتانسیل انرژی باد در تمام سطح کشور است و حتی چگالی توان باد در این ناحیه به بیش از ۱۰۰۰ وات بر مترمربع هم می‌رسد که با توجه به تقسیم‌بندی آزمایشگاه ملی انرژی‌های نو ایالات‌متحده آمریکا در درجه ۸ تقسیم‌بندی چگالی انرژی باد قرار می‌گیرد(Denise Elliott,), 2011: 4-12)، که بالاترین درجه طبقه‌بندی چگالی قدرت باد محسوب می‌شود.

[1] QSPM



شکل (۱): نقشه چگالی قدرت باد ایران در ارتفاع ۴۰ متری بر حسب وات بر مترمربع

بررسی پتانسیل انرژی باد در مقیاس کوچک:

به‌طورکلی با بررسی ریز مقیاس پتانسیل باد در شرق کشور می‌توان گفت که این منطقه از پتانسیل بالایی برای توسعه انرژی بادی برخوردار است. مناطق خواف و روداب و تربت‌جام در خراسان رضوی و فدشک در خراسان جنوبی و چابهار، سراوان، لوتک، میل نادر و شاندول در سیستان و بلوچستان مناطقی هستند که از پتانسیل بسیار بالایی برای توسعه انرژی بادی برخوردار هستند. بررسی نتایج سنجش پتانسیل انرژی بادی در دکل‌های بادسنجی مناطق شرق کشور نشان می‌دهد که دکل‌هایی که در نزدیکی مرزهای شرقی کشور قرارگرفته‌اند، یعنی منطقه‌ای که هسته بادهای ۱۲۰ روزه در آنجا می‌وزد از پتانسیل انرژی بادی بالاتری نسبت به مناطق مرکزی‌تر شرق کشور برخوردار هستند. با این اوصاف متأسفانه در طول صدها کیلومتر از مرزهای شرقی کشور هیچ دکلی وجود ندارد. این موضوع به خصوص در استان خراسان جنوبی بسیار حاد، است به طوری که در این استان تنها ۳ دکل بادسنجی وجود دارد که ۲ تای آن‌ها در غرب استان و دیگری

در جنوب آن قرارگرفته است, و در طول صدها کیلومتر از مرزهای این استان با افغانستان, یعنی دقیقاً منطقه‌ای که بر طبق مطالعات مختلف هسته سرعت بادهای ۱۲۰ روزه بر روی آن قرار دارد هیچ دکل بادسنجی وجود ندارد. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که در تمام دکل‌های بادسنجی به غیر از دکل خواف شدت و فراوانی این طوفان‌های شدید چندان بالا نیست. منطقه خواف که در هسته رودباد ۱۲۰ روزه قرار دارد به خصوص در فصل تابستان بشدت درگیر این طوفان‌ها می‌باشد که می‌تواند توربین‌های بادی را از کار انداخته و باعث نوسان در شبکه برق شود. ازآنجایی‌که دکل خواف تنها دکل موجود در هسته رودباد ۱۲۰ روزه می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که تمام منطقه مرزی ایران و افغانستان که هسته رودباد ۱۲۰ روزه در آنجا قرار دارد با این مشکل دست و پنجه نرم می‌کند.

بررسی قیمت تمام‌شده برق تولیدی:

در این بخش به بررسی قیمت تمام‌شده برق تولیدی با استفاده از دو مدل توربین تولید داخل, یعنی توربین‌های صبا ٦٦٠ کیلووات[1] و مپنا ۲.۵ مگاوات[2] در تمام ایستگاه‌های موردبررسی می‌پردازیم.

در راستای توسعه هرچه گسترده‌تر استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر, تعرفه خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های تجدید پذیر ۱۹ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ توسط وزارت نیرو ابلاغ گردید[3]. بر این مبنا قیمت خرید تضمینی هر کیلووات ساعت برق تولیدی توسط نیروگاه‌های بادی کمتر از ۱ مگاوات ۵۷۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت برق می‌باشد. همچنین قیمت خرید تضمینی برق برای نیروگاه‌های بادی با ظرفیت ۵۰ مگاوات و کمتر ٤٢٠ تومان و برای نیروگاه‌های بادی با ظرفیت بالاتر از ۵۰ مگاوات ۳٤۰ تومان می‌باشد.

جدول (۲) بازدهی فنی و اقتصادی دو مدل توربین موردبررسی تولید داخل در تمام دکل‌های موردمطالعه شرق کشور را نشان می‌دهد. در این قسمت از پژوهش با استفاده از نرم WAsP تولید سالانه انرژی توربین‌های بادی بر حسب مگاوات بر ساعت در تمام ایستگاه‌های موردمطالعه به‌دست‌آمده است. بر این

[1] saba660kw
[2] mapna2.5mw
[3] http://www.satba.gov.ir

اساس بیش‌ترین تولید برق توربین مپنا در بین تمام ایستگاه‌های موردمطالعه به ترتیب در ۳ ایستگاه خواف با ۱۱۹۸٤ مگاوات بر ساعت در سال, تربت‌جام با ۱۱٦۹٤ مگاوات ساعت بر سال, لوتک با ۹۲۸۵ مگاوات بر سال به‌دست‌آمده است. همچنین بیش‌ترین برق تولیدی توربین بادی صبا نیز به ترتیب در ایستگاه‌های خواف با ۲۵۹۱ مگاوات ساعت, تربت‌جام با ۲۲۳٦ مگاوات ساعت و لوتک با ۱٦٦٦ مگاوات بر ساعت بر سال به‌دست‌آمده است. این درحالی‌که است که کمترین میزان برق تولیدی در ایستگاه دشت بیاض خراسان رضوی و به ترتیب ۳٤۷۱ مگاوات برای توربین مپنا و ٥٦۱ مگاوات برای توربین صبا نیرو به‌دست‌آمده است.

همچنین بیش‌ترین بازدهی توربین مپنا در منطقه خواف با ٥٤.۷۲٪ به‌دست‌آمده که رقم بسیار چشمگیری می‌باشد, و کمترین بازدهی این توربین در منطقه دشت بیاض با ۱٥.۸٤٪ به‌دست‌آمده است. همچنین بیش‌ترین بازدهی توربین صبا نیرو در منطقه خواف و با بازدهی ٤٤.۸۱٪ و کمترین بازدهی این توربین در منطقه دشت بیاض و با ظرفیت ۹.۷٪ به‌دست‌آمده است.

در این بخش از پژوهش علاوه بر بررسی پتانسیل فنی توربین‌ها قیمت تمام‌شده برق تولیدی توسط آن‌ها نیز موردبررسی قرارگرفته است. به منظور محاسبه قیمت برق تولیدی در این پژوهش از pvc استفاده‌شده است که در قسمت روش تحقیق در مورد این روش کامل توضیح داده‌شده است. مقایسه قیمت تمام‌شده برق تولیدی توسط توربین بادی مپنا با قیمت‌های خرید تضمینی برق نشان می‌دهد که قیمت تمام‌شده برق تولیدی توربین مپنا در تمام ایستگاه‌های موردبررسی کاملاً سودآور می‌باشد. به‌گونه‌ای که در صورت احداث مزارع بادی ۵۰ مگاوات و یا کمتر و یا حتی بالاتر از ۵۰ مگاوات با استفاده از توربین بادی مپنا برق تولیدی توسط این مزارع کاملاً سودآور می‌باشد. بررسی جدول (۲) نشان می‌دهد که کمترین هزینه تمام‌شده برق تولیدی توربین مپنا در منطقه خواف با ۵۳.۳۸ تومان می‌باشد که این هزینه فوق‌العاده پایین می‌باشد. درواقع می‌توان گفت که هزینه تولید برق با استفاده از توربین مپنا در منطقه شرق کشور به حدی پایین است که احداث مزارع بادی با استفاده از این توربین در مناطق مختلف شرق کشور می‌تواند با سودآوری فوق‌العاده برای بخش خصوصی و یا حتی دولت همراه باشد. قیمت پایین برق تولیدی توربین مپنا در شرق کشور همچنین امکان صادرات برق این توربین‌ها را هم فراهم می‌کند. در میان ۲۳ دکل بادسنجی موردبررسی قیمت

تمام‌شده برق تولیدی توربین مپنا در ٦ منطقه زیر ۱۰۰ تومان است که رقم فوق‌العاده پایین و با نرخ سود خارق‌العاده است. از سوی دیگر با اینکه قیمت تمام‌شده برق تولیدی توسط توربین صبا در مناطق مختلف بیشتر از توربین مپنا می‌باشد ولی با این حال حتی برق تولیدی این توربین هم در همه این مناطق سودآور می‌باشد. البته سود حاصل از توربین صبا در بسیاری از مناطق شرق کشور بسیار کم می‌باشد و سرمایه‌گذاری بر روی توربین صبا در خیلی از مناطق شرق کشور چندان به‌صرفه نیست. ولی با این حال قیمت برق تولیدی توربین صبا در دو منطقه خواف و تربت‌جام زیر ۱۰۰ تومان می‌باشد، به طوری که قیمت برق تولیدی صبا در منطقه خواف فقط ۷۰ تومان در هر کیلووات بر ساعت می‌باشد که رقم بسیار پایینی است.

جدول (۲) بازدهی فنی و اقتصادی توربین‌های موردبررسی در تمام ایستگاه‌ها

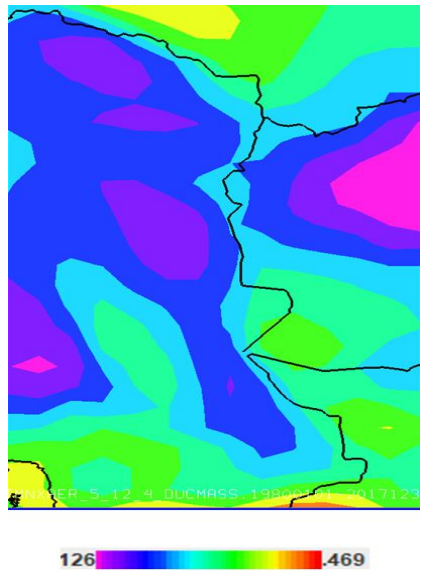
نام ایستگاه		تولید سالانه انرژی توربین (مگاوات بر ساعت)		فاکتور ظرفیت بر حسب درصد		قیمت برق کیلووات بر ساعت بر حسب تومان)	
		مپنا ۲.۵ مگاوات	صبا ٦٦۰ کیلووات	مپنا ۲.۵ مگاوات	صبا ٦٦۰ کیلووات	مپنا ۲.۵ مگاوات	صبا ٦٦۰ کیلووات
۱	روداب	6994	1159	31.93	20	100.8	155.4
۲	قدمگاه	٥١٦٣	۸۹۲	۲۳.٥	١٤.٣	134.4	222.6
۳	جنگل	4443	700	20.28	12.1	159.6	260.4
٤	سرخس	4360	769	19.9	13.3	159.6	239.4

۵	بردسکن	3601	583	16.4	10.08	193.2	310.8
٦	داورزن	3615	619	16.5	10.7	193.2	294
۷	دشت بیاض	۳٤۷۱	٥٦۱	۱٥.۸٤	۹.۷	201.6	315
۸	تربیت جام	11694	2236	53.39	38.67	58.8	79.8
۹	خواف	۱۱۹۸٤	۲٥۹۱	٥٤.۷۲	٤٤.۸۱	58.38	70.14
۱۰	فدشک	۷٥۹٤	۱۱۹۷	۳٤.٦	۲۰.۷	92.4	151.2
۱۱	نهبندان	5364	973	24.49	16.82	130.2	184.8
۱۲	آفریز	57817	924	26.1	15.98	122.64	197.4
۱۳	میل نادر	8508	1598	38.85	27.63	82.74	113.82
۱٤	شاندول	8523	1527	38.92	26.41	82.32	118.86
۱٥	لوتک زابل	9285	1666	42.39	28.81	75.6	109.2
۱٦	نصرت‌آباد	٤٥٤۱	۷۲٥	۲۰.۷۳	۱۲.٥۳	155.4	252
۱۷	چابهار	5725	929	26.14	16.6	121.8	193.2
۱۸	میرجاوه	5106	806	23.31	13.94	134.4	268.8
۱۹	زاهدان	4594	753	20.97	13.02	151.2	239.4
۲۰	دهک	4157	672	18.98	11.62	168	268.8
۲۱	خاش	4218	679	19.26	11.74	163.8	226.8

۲۲	دلگان	4174	680	19.05	11.76	168	268.8
۲۳	سراوان	5348	843	24.42	14.58	130.2	214.2

تأثیر پدیده گردو غبار بر روی بهره‌برداری از انرژی بادی:

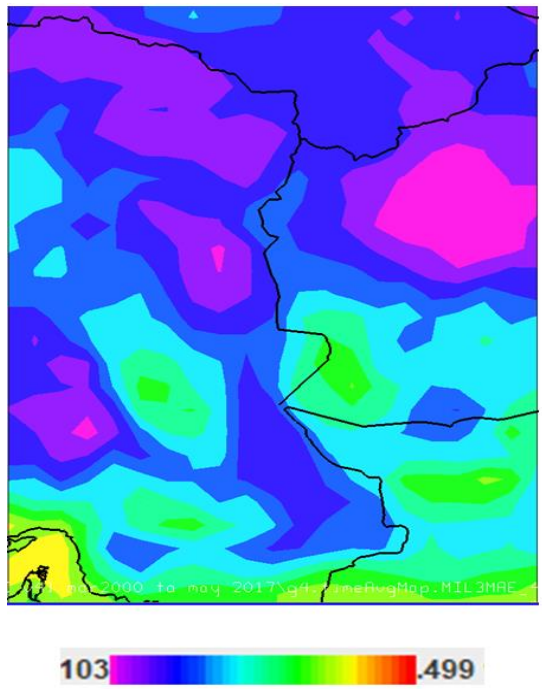
گردو غبار موجود در هوا از یک‌طرف باعث افزایش اتلاف انرژی و کاهش کارایی توربین‌های بادی می‌شود و از طرف دیگر می‌تواند باعث سایش و خوردگی پره‌های توربین‌های بادی و کاهش طول عمر توربین‌های بادی و افزایش هزینه نگهداری از این توربین‌ها می‌شود. به همین دلیل بررسی بلندمدت غلظت گرد و غبار در منطقه موردمطالعه بسیار پراهمیت می‌باشد. برای بررسی غلظت گرد و غبار در این پژوهش از ۲ نوع داده استفاده‌شده است. نوع اول داده‌های مورداستفاده داده‌های دوباره آنالیز ناسا-مرا تولید سازمان فضایی ایالات‌متحده هستند که جز دقیق‌ترین داده‌های آب و هوایی موجود در جهان هستند و میانگین ۳۸ ساله (۱۹۷۹ تا ۲۰۱۷) غلظت گرد و غبار شرق کشور از آن‌ها استخراج‌شده است. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود غلظت گرد و غبار در عمده مناطق شرق کشور چندان بالا نیست و فقط در منطقه سیستان و سواحل مکران غلظت ذرات معلق و گرد و غبار بالاست. غلظت بالای ذرات معلق در سواحل دریای عمان به علت وجود ذرات نمک معلق در هوا و همچنین وجود رطوبت بالا در هوا است. اما غلظت بالای ذرات معلق در منطقه سیستان به علت وجود بستر خشک دریاچه هامون است که با وزش بادهای شدید ۱۲۰ روزه و برخاستن ذرات معلق از بستر خشک هامون می‌تواند باعث بروز طوفان‌های گرد و غبار شدیدی شود. خسروی (۱۳۷۸) معتقد است که بزرگ‌ترین منبع تغذیه گردو غبار سیستان بستر خشک دریاچه هامون در ماه می تا سپتامبر است، یعنی زمانی که این دریاچه در دوره خشکی است و بستر آن برای برداشت گردو غبار کاملاً مساعد است.



شکل (۲): میانگین ۳۸ ساله غلظت گرد و غبار در شرق کشور بر حسب میکروگرم در مترمکعب

(داده‌های دوباره بازکاوی شده ناسا)

شکل (۳) هم همانند شکل (۲) غلظت گرد و غبار در شرق کشور را نشان می‌دهد با این تفاوت که این نقشه از داده‌های مشاهداتی ماهواره مودیس تهیه‌شده است و میانگین ۱۷ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷) غلظت گرد و غبار را در شرق کشور نشان می‌دهد. همان‌طور که در این تصویر هم کاملاً مشخص است تنها منطقه از شرق کشور که میزان غلظت گرد و غبار در آن بالاست منطقه سیستان می‌باشد که دلیل آن قبلاً ذکر شد. با توجه به این نکته که منطقه سیستان که یکی از بادخیز ترین مناطق شرق کشور هم هست، منطقه‌ای ست که با غلظت بالای گرد و غبار مواجه است، هنگام مطالعات احداث مزارع بادی و یا احداث توربین‌های بادی در این منطقه باید با توجه به نوع توربین باید به بررسی تأثیراتی که گرد و غبار بر بازدهی توربین بادی می‌گذارد و همچنین هزینه‌های اضافی ناشی از غلظت گرد و غبار مانند هزینه‌های اضافی نگهداری توربین نیز پرداخته شود.



شکل (۳): میانگین ۱۷ ساله غلظت گرد و غبار در شرق کشور بر حسب میکروگرم در مترمکعب (ماهواره مودیس)

تدوین راهبردهای تولید الکتریسیته از باد ۱۲۰ روزه:

هدف اساسی این پژوهش تدوین راهبردهایی مناسب جهت بهره‌برداری از بادهای ۱۲۰ روزه به منظور تولید الکتریسیته می‌باشد. محقق به منظور استخراج و خلق راهبردهای مناسب از روش سوات استفاده کرده است. ساده‌ترین راه برای آغاز فرایند تجزیه و تحلیل، بررسی دقیق نقاط قوت و ضعف (عوامل داخلی) و فرصت و تهدید (عوامل خارجی) در این موضوع است. به منظور فهرست برداری و نهایی نمودن عواملی داخلی (قوت‌ها و ضعف‌ها) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) از نتایج تحقیق

حاضر و نظر خبرگان در رشته‌های مختلف علمی استفاده‌شده است. در گام بعدی پس از مشخص شدن تمامی نقاط ضعف و قوت و تهدیدها و فرصت‌ها، ماتریس ارزیابی عوامل داخلی و ماتریس ارزیابی عوامل خارجی تشکیل می‌شود. نقاط ضعف و قوت داخلی در ماتریس عوامل داخلی و فرصت‌ها و تهدیدات خارجی در ماتریس عوامل خارجی تشکیل می‌شود. لازم به ذکر است که در ستون اول فهرست عوامل داخلی و خارجی تنظیم شد، در ستون دوم اوزان مربوط به هریک از عوامل فهرست شده در جداول مذکور طوری تکمیل شدند که جمع اوزان متعلقه در هر جدول نرمال و برابر عدد یک باشد. در ستون سوم جهت تعیین نمره وضعیت موجود به هر یک از این عوامل نمره ۱ تا ٤ بر اساس وضعیت موجود می‌دهیم. نمره ۱ بیانگر ضعف اساسی, نمره ۲ بیانگر ضعف کم, نمره ۳ بیانگر نقطه قوت و نمره ٤ نشان‌دهنده قوت بسیار بالای عامل می‌باشد (محرم نژاد، ۱۳۹۱). در ستون چهارم امتیاز موزون هر عامل، از حاصل‌ضرب ستون دوم در ستون سوم حاصل شد و سرانجام امتیاز وزنی کل مجموعه تحت بررسی محاسبه شد.

ساده‌ترین راه برای آغاز فرایند تجزیه و تحلیل مجموعه، بررسی دقیق نقاط قوت و ضعف آن مجموعه است جداول (۳) و (٤) خلاصه تجزیه و تحلیل عوامل داخلی و خارجی جهت تدوین استراتژی بهره‌برداری از باد ۱۲۰ روزه به منظور تولید برق را نشان می‌دهند.

جدول (۳) ماتریس تجزیه و تحلیل ارزیابی عوامل داخلی

قوت‌ها	ضریب اهمیت	رتبه	امتیاز نهایی
۱ وزش قدرتمندترین بادهای دائمی در سطح خشکی‌های کره زمین در شرق کشور	۰,۱	٤	۰,٤
۲ هم‌زمانی پیک سرعت باد ۱۲۰ روزه با پیک مصرف برق کشور در فصل تابستان	۰,۰۵	٤	۰,۲
۳ هزینه بسیار پایین تولید برق بادی در شرق کشور	۰,۲	٤	۰,۸
۴ نزدیکی به بازارهای بالقوه خارجی مصرف برق مانند افغانستان و پاکستان و هند و.....	۰,۰٦	۳	۰,۱۸
۵ عدم نیاز به مصرف آب برای تولید برق	۰,۰٤	۳	۰,۱۲
٦ عدم ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی	۰,۰۵	۳	۰,۱۵
۷ تجدید پذیری و پایان‌ناپذیر بودن این انرژی	۰,۱	٤	۰,٤
۸ امکان تولید انرژی الکتریکی در حجم بسیار گسترده در شرق کشور	۰,۱	٤	۰,٤
۹ هزینه پایین نگهداری نیروگاه‌های بادی	۰,۰۱	۳	۰,۰۳
ضعف‌ها			
۱ پرنوسان بودن انرژی بادی و به خصوص نوسان فصلی زیاد باد ۱۲۰ روزه که باعث ایجاد نیاز به تأسیسات ذخیره‌سازی انرژی می‌شود	۰,۱	۱	۰,۱
۲ وقوع طوفان‌های متعدد در مناطق مرزی ایران و افغانستان، به خصوص در هسته رودباد ۱۲۰ روزه که می‌تواند باعث توقف مکرر فعالیت	۰,۰۵	۲	۰,۱

نیروگاه‌های بادی در فصل وزش بادهای ۱۲۰ روزه شود.			
۳ وقوع طوفان‌های گردو غبار, به خصوص در منطقه سیستان که باعث استهلاک زودهنگام توربین‌های بادی می‌شود	۰,۰۲	۲	۰,۰٤
۴ دوری از مناطق متراکم جمعیتی کشور که مصرف‌کننده اصلی برق هستند	۰,۰۳	۲	۰,۰٦
۵ نیاز به اولیه بالا برای احداث نیروگاه‌های بادی	۰,۰۲	۲	۰,۰٤
جمع کل	**0.921**	**_**	**3.02**

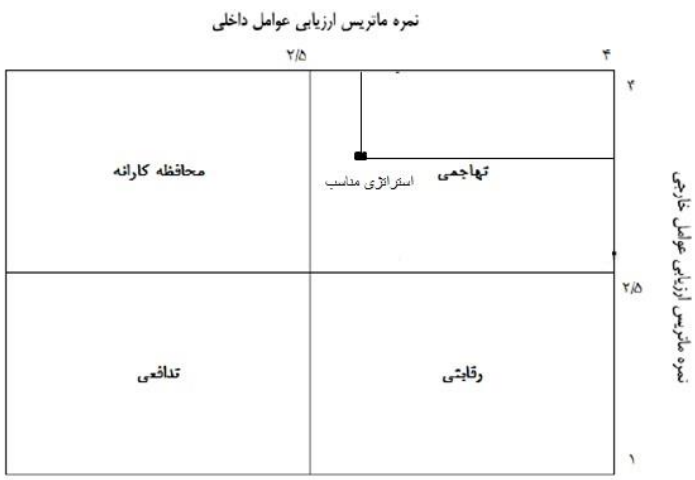
جدول (٤) ماتریس تجزیه و تحلیل ارزیابی عوامل خارجی

فرصت‌ها	**ضریب اهمیت**	**رتبه**	**امتیاز نهایی**
۱- نیاز جدی کشور به افزایش ظرفیت تولید برق	۰,۰۲	۳	۰,۰٦

۲- نزدیکی به همسایگانی مانند افغانستان و پاکستان که نیاز شدیدی به انرژی الکتریکی دارند	۰,۰۵	٤	۰,۲
۳- تعهد کشورهای جهان در معاهده اقلیمی پاریس به کاهش شدید مصرف سوخت های فسیلی در سال‌های آینده	۰,۰٦	٤	۰,۲٤
٤- امکان صادرات گسترده برق به کشورهایی مانند چین و هندوستان که بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آینده انرژی در بین کشورهای جهان هستند	۰,۰٤	۳	۰,۱۲
٥- امکان جذب سرمایه‌های خرد داخلی و حتی خارجی در پروژه‌های تولید برق بادی در این منطقه	۰,۱	٤	۰,٤
۶- توانایی کشور در تولید توربین‌های بادی و فعال شدن این صنعت در صورت آغاز سرمایه‌گذاری در تولید برق بادی در شرق کشور	۰,۰٤	٤	۰,۱٦
۷- کاهش آسیب‌پذیری صنعت تولید برق کشور در زمان حملات خارجی به علت پراکندگی نیروگاه‌های بادی	۰,۰٥	٤	۰,۲
۸- کاهش مصرف سوخت های فسیلی و امکان درآمدزایی بیشتر برای کشور از طریق افزایش صادرات این سوخت ها	۰,۱	٤	۰,٤
۹– کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در صورت افزایش سهم نیروگاه‌های بادی در سبد انرژی کشور	۰,۰٤	۳	۰,۱۲
۱۰- افزایش تنوع در منابع تولید برق کشور و کاهش مشکلات کمبود برق به خصوص در فصل تابستان	۰,۰٥	٤	۰,۲
۱۱- افزایش سرمایه‌گذاری و کاهش فقر در شرق کشور	۰,۰٥	٤	۰,۲

۱۲- امکان جذب حجم بالایی از سرمایه‌گذاری از کشورهای چین و هند در صورت معرفی این توانایی فوق‌العاده به آن‌ها	۰,۰۳	۳	۰,۰۹
۱۳- توسعه بسیار سریع استفاده از خودروهای الکتریکی در چین و هندوستان	۰,۰۲	۳	۰,۰۶
۱۴- تعهد ایران به کاهش ۱۲ درصدی انتشار دی‌اکسید کربن تا سال ۲۰۳۰ میلادی	۰,۰۵	٤	۰,۲
تهدیدها			
۱- وزش باد ۱۲۰ روزه در کشورهای افغانستان و پاکستان و امکان تبدیل این کشورها به رقبای جدی ایران در تصاحب بازارهای هدف صادراتی ایران	۰,۰٤	۲	۰,۰۸
۲- ناامنی گسترده در کشور افغانستان که ریسک سرمایه‌گذاری در مناطق هم‌مرز با این کشور را افزایش می‌دهد	۰,۰۲	۲	۰,۰٤
۳- خط انتقال برق آسیای مرکزی به افغانستان و پاکستان به نام طرح کاسا ۲۰۰۰ که رقیبی برای صادرات برق ایران به این ۲ کشورم باشد	۰,۰۲	۲	۰,۰٤
4- وجود منابع بسیار عظیم و ارزان سوخت‌های فسیلی در کشور که رقیبی جدی برای توسعه انرژی‌های نو در ایران محسوب می‌شود	۰,۰۸	۱	۰,۰۸
جمع کل	**0.86**	**_**	**2.89**

چنانچه در شکل (٤) مشاهده می‌شود, نتایج به‌دست‌آمده از ماتریس ارزیابی عوامل داخلی و خارجی بیانگر آن است که نوع استراتژی‌های مناسب برای بهره‌برداری از باد ۱۲۰ روزه به منظور تولید برق می‌بایست از نوع استراتژی‌های تهاجمی باشد.



شکل (٤): تجزیه و تحلیل ماتریس داخلی و خارجی و انتخاب استراتژی

راهبردهای تهاجمی

با توجه به مطالبی که قبل‌تر گفته شد ۹ راهبرد تهاجمی برای این پژوهش در نظر گرفته‌شده است.

۱) بهره‌گیری از پتانسیل عظیم انرژی بادی در شرق کشور به منظور افزایش ظرفیت تولید برق کشور
۲) سرمایه‌گذاری در احداث نیروگاه‌های بادی در شرق کشور به منظور به منظور کاهش کمبود برق در فصل تابستان در کشور

۳) توجه ویژه به انرژی ارزان باد در شرق کشور که به منظور نیل به هدف تعهد شده در معاهده اقلیمی پاریس, که عبارت است از کاهش ۱۲ تا ۱٤ درصدی تولید دی‌اکسید کربن در ایران تا سال ۲۰۳۰

٤) برنامه‌ریزی به منظور افزایش درآمد ارزی کشور از طریق صادرات برق بادی از استان‌های شرقی به ۲ کشور افغانستان و پاکستان در طی چند سال آینده

۵) برنامه‌ریزی گسترده و بلندمدت به منظور جایگزینی درآمد حاصل از صادرات برق بادی با درآمد حاصل از فروش نفت در دهه‌های آینده، از طریق صادرات گسترده برق بادی به بازارهای عظیم چین و هندوستان و اتحادیه اروپا

٦) معرفی پتانسیل عظیم انرژی بادی در شرق ایران به سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی

۷) معرفی پتانسیل عظیم انرژی بادی در شرق ایران به عنوان یکی از ابزارهای نیل به اهداف جامعه جهانی در معاهده اقلیمی پاریس در مجامع جهانی

۸) مذاکره با کشورهای چین و هندوستان در جهت تأمین بلندمدت امنیت انرژی آن‌ها از طریق صادرات برق بادی به آن‌ها و همچنین جذب سرمایه‌گذاری آن‌ها در پروژه‌های انرژی بادی در شرق کشور

۹) توجه ویژه به پتانسیل انرژی بادی در شرق کشور به عنوان یکی از ابزارهای محرومیت‌زدایی در این منطقه

با توجه به ماتریس ارزیابی عوامل داخلی و خارجی، استراتژی‌هایی که باید موردتوجه قرار گیرند استراتژی‌های استفاده از نقاط قوت سازمان برای استفاده از فرصت‌ها می‌باشد. سپس با تشکیل ماتریس کمی برنامه‌ریزی استراتژیک (QSPM) استراتژی‌های نه‌گانه تهاجمی موجود اولویت‌بندی شدند. بر اساس تحلیل ماتریس کمی برنامه‌ریزی استراتژیک اولویت انتخاب استراتژی‌های تهاجمی به شرح زیر است:

استراتژی تهاجمی شماره ۲ یعنی سرمایه‌گذاری در احداث نیروگاه‌های بادی در شرق کشور به منظور کاهش کمبود برق در فصل تابستان با امتیاز ۲.۹۸ بهترین استراتژی جهت استراتژی‌های تهاجمی می‌باشد. بعدازآن به ترتیب استراتژی‌های تهاجمی شماره ۷-۵-۹-۸-۳-۶-۱ و در آخر هم استراتژی شماره ٤ که برنامه‌ریزی به منظور افزایش درآمد ارزی کشور از طریق صادرات برق بادی از استان‌های شرقی کشور به پاکستان و افغانستان در طی چند سال آینده می‌باشد قرار دارد.

نتیجه‌گیری

منطقه شرق کشور سال‌هاست که با مشکلات مختلفی مانند عدم توسعه‌یافتگی اقتصادی, ناامنی, قاچاق مواد مخدر, مهاجرت گسترده و تخلیه جمعیتی، خشک‌سالی‌های شدید و همسایگی با کشورهای فقیر و ناامنی مواجه است, مشکلاتی که این منطقه را تبدیل به یکی از بحران‌سازترین مناطق کشور کرده است. یکی از پتانسیل‌های محیطی شرق کشور که تاکنون توجه چندانی به آن نشده وزش بادهای قدرتمند ۱۲۰ روزه در این منطقه می‌باشد, که یکی از قدرتمندترین بادهای سطحی در تمام کره زمین محسوب می‌شود. پتانسیل بادهای ۱۲۰ روزه برای تولید برق چنان بالاست که علاوه بر تأمین نیازهای کشور به انرژی می‌توان از طریق صادرات برق مازاد به یک منبع مهم درآمدی برای کشور تبدیل شود. دارا بودن پتانسیلی بسیار عظیم برای تولید انرژی و همچنین نزدیکی به آسیای مرکزی و به خصوص چین و هند (بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در جهان) شرق ایران را به منطقه‌ای تبدیل کرده است که نه تنها می‌تواند به موتور توسعه کشور تبدیل شود, بلکه می‌تواند به قلب تولید انرژی‌های تجدید پذیر جهان و یک ابزار مهم برای تأثیرگذاری اقتصادی و اعمال قدرت کشور در عرصه جهانی تبدیل شود. بنابراین آگاهی دقیق از این پتانسیل عظیم و داشتن نقشه راهی برای بهره‌برداری درست از آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. متأسفانه نه‌تنها تا به امروز هیچ نقشه راهی برای بهره‌برداری از این پتانسیل عظیم در کشور تدوین‌نشده است، بلکه حتی هیچ تحقیق جامعی هم

برای شناخت پتانسیل انرژی بادی در شرق کشور صورت نپذیرفته است. بزرگ‌ترین تفاوت تحقیق حاضر در مقایسه با مطالعاتی که درگذشته در منطقه شرق کشور صورت پذیرفته است این است که مطالعه حاضر به صورت همه جانبه‌ای و با روش‌های جدیدی پتانسیل انرژی باد را در سرتاسر شرق کشور بررسی می‌کند و به تدوین راهبردی به منظور تولید الکتریسیته از انرژی بادی در شرق کشور پرداخته است، در صورتیکه مطالعات پیشین پتانسیل انرژی باد را در محدوده‌ای کوچک از شرق کشور بررسی کرده‌اند. ازآنجایی‌که بادهای ۱۲۰ روزه دقیقاً همانند مناطق شرقی ایران در غرب افغانستان نیز می‌وزد, در صورتی که امنیت به افغانستان بازگردد می‌تواند به یک رقیب کاملاً جدی در زمینه صادرات برق برای ایران تبدیل شود. متأسفانه باید گفت که آمریکا مطالعات دقیقی را به منظور بهره‌برداری از این منبع عظیم انرژی در افغانستان در سال ۲۰۱۱ میلادی انجام داده است. بنابراین هرلحظه غفلت در بهره‌برداری از این منبع عظیم انرژی یک گناه بزرگ در حق نسل‌های آینده می‌باشد و می‌تواند سرنوشت منبع گاز پارس جنوبی را برای بادهای ۱۲۰ روزه دوباره تکرار کند. پس پیشنهاد می‌شود مسئولان بدون کوچک‌ترین تعللی بهره‌برداری از بادهای ۱۲۰ روزه را به عنوان یکی از سیاست‌های اساسی کشور در دستور کار قرار دهند.

منابع و مآخذ

ثقفی, محمود, (۱۳۸۲) انرژی‌های تجدید پذیر نوین, تهران: موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران, چاپ دوم.

جعفری, ع, (۱۳۷۸), ((طراحی, ساخت و آزمایش توربین بادی مولد الکتریسیته)), پایان‌نامه

کارشناسی ارشد, دانشگاه شیراز, گروه مکانیک

گادفری, بویل, (۱۳۸٦). " انرژی‌های نو انرژی برای آینده‌ای پایدار" ترجمه عبدالرحیم پرتویی, انتشارات دانشگاه تهران, ٦.۳.

عبدلی حبیب; ساری صراف بهروز; حسینی شمع چی عباس. امکان‌سنجی پتانسیل انرژی باد و کاربرد آن در طرح‌های توسعه صنعتی ((مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی (.) فضای جغرافیایی.۷٤ – ۵۷:۲۸

مسعودیان, سید ابوالفضل, (۱۳۹۳), باد ۱۲۰ روزه سیستان, دو فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی, شماره ۱.

محمد پور فلیشور, علی (۱۳۸۱). بازگشایی مرزها و تأثیر آن بر مناطق مرزی, پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا سیاسی, تهران, دانشگاه تربیت مدرس.

محمدی حسین و همکاران, (۱۳۹۱). " پتانسیل سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه" پژوهش‌های جغرافیای طبیعی, سال ٤٤, شماره ۲(پیاپی ۸۰), ص ۳۲-۱۹.

صلاحی, برومند (۱۳۸۳) پتانسیل انرژی باد و براز احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع چگالی احتمال ویبول در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل, تحقیقات جغرافیایی, ۲۸, ۵۷-۷٤.

Boudia, S. M. and Guerri, O. (2015) 'Investigation of wind power potential at Oran, northwest of Algeria', *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd, 105, pp. 81–92. doi: 10.1016/j.enconman.2015.07.055.

Elliott, D. L. Wendell, L. L. and Gower, G. L., (199۳) "An Assessment of the Available Windy Land Area and Wind Energy Potential in the Contiguous United States", PNL-7789, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington: 92

Elliott, D.L., C.I. Aspliden, G.L. Gower, C.G. Holladay, and M.N. Schwartz., (1987) "Wind Energy Resource Assessment of the Caribbean and Central America", Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington:115. Elliott, D.L. and Schwartz, M.N., (1993) "Wind Energy

Potential in the United States", PNL-SA23109. Pacific Northwest Laboratory, Richland.

Elliott, D. (2011). "Wind resource assessment and mapping for Afghanistan and Pakistan." National Renewable Energy Laboratory. Golden, Color, USA.

Kumar, A. and Prasad, S. (2010) 'Examining wind quality and wind power prospects on Fiji Islands', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 35(2), pp. 536–540. doi: 10.1016/j.renene.2009.07.021.

Islam, M. R., Saidur, R. and Rahim, N. A. (2011) 'Assessment of wind energy potentiality at Kudat and Labuan, Malaysia using Weibull distribution function', *Energy*. Elsevier Ltd, 36(2), pp. 985–992. doi: 10.1016/j.energy.2010.12.011.

Jewer, P. Iqbal, M. T. Khan, M. J., (2005) "Wind energy resource map of Labrador", Renewable Energy, 30: 989-1004.

Khahro, S. F. *et al.* (2014) 'Evaluation of wind power production prospective and Weibull parameter estimation methods for Babaurband, Sindh Pakistan', *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd, 78, pp. 956–967. doi: 10.1016/j.enconman.2013.06.062.

Laerte de Araujo, L. and Celso Rosendo Bezerra, F. (2010) 'Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo e', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 35(12), pp. 2705–2713. doi: 10.1016/j.renene.2010.04.019.

Lange, B. and Højstrupb, J. (2001) 'Evaluation of the wind-resource estimation program WAsP for offshore applications', 89, pp. 271–291.

McMahon, H. (1906). "Recent survey and exploration in Seistan." The Geographical Journal 28(3): 209-228.

Nouri, A. *et al.* (2016) 'Moroccan wind farm potential feasibility. Case study', *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd, 122, pp. 39–51. doi: 10.1016/j.enconman.2016.05.058.