Archive of SID

فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴، صفحهٔ ۳۲۳- ۳۳۵

ارزیابی توان باد در استان کردستان

بختیار محمدی*

استادیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ایران

(دریافت: ۹۳/۵/۱، پذیرش نهایی: ۹۳/۱۱/۲۸)

چکیده

در سال‌های اخیر نیروی جنبشی باد به عنوان منبعی نوین و تمام‌نشدنی از انرژی مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی مقدار توان باد در استان کردستان انجام شد. برای انجام آن از داده‌های متغیرهای سمت و تندی باد هفت ایستگاه همدیدی استان کردستان و همچنین ۲۱ ایستگاه مجاور استان از زمان تأسیس ایستگاه‌های همدیدی تا سال ۲۰۰۵ استفاده شد. ابتدا داده‌های سمت و تندی باد ایستگاه‌های مورد مطالعه (۲۸ ایستگاه همدیدی) به مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری تبدیل شدند. با استفاده از این داده‌ها، مقدار باد مداری و نصف‌النهاری برای ۲۰۶۸ یاخته (به ابعاد تقریبی ۳/۷×۳/۷ کیلومتر مربع) در استان کردستان در هر روز به کمک میانیابی به روش کریجینگ برآورد شد. نتایج حاصل از برآورد توان باد (با استفاده از سه نوع توربین با شعاع چرخانه ۱۰، ۱۵ و ۲۵ متری) نشان داد که بر اساس توربین‌های با شعاع ۱۰ متر حداکثر می‌توان تا ۱۷۰ هزار وات بر متر مربع در هر یاخته از استان انرژی تولید کرد؛ البته تنها مناطق محدودی از استان کردستان (به‌ویژه زرینه اوباتو، قروه و بیجار) توانایی تولید این مقدار انرژی را دارند. بر اساس توربین‌های با شعاع چرخانه ۱۵ متری، تقریباً همین ناحیه می‌تواند تا ۳۷۰ هزار وات بر متر مربع در هر یاخته از استان انرژی تولید کند. در نهایت با استفاده از توربین‌های با شعاع چرخانه ۲۵ متری، می‌توان تا بیش از ۱ میلیون وات بر متر مربع در هر یاخته انرژی تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم‌شناسی کاربردی، انرژی‌های تجدیدپذیر، تندی باد، جهت باد

۱. مقدمه

بادها به دلیل نقشی که در انتقال کمیت‌های فیزیکی و هواشناختی جو دارند، در بیشتر پژوهش‌های جوی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. علاوه براین نیروی حاصل از باد به عنوان یکی از منابع جدید و تمام‌نشدنی انرژی، مورد توجه بسیاری از کشورها قرار دارد، زیرا توربین‌های بادی هیچ‌گونه مواد آلوده‌کننده‌ای را وارد اتمسفر نمی‌کنند و در نتیجه باعث تولید گازهای گلخانه‌ای و باران اسیدی نمی‌شوند. انرژی بادی به توان تجدیدپذیری باد متکی است که البته این انرژی هیچ‌گاه تمام نخواهد شد. با توجه به مزایای فراوانی که انرژی باد دارد، استفاده از آن در بسیاری از کشورها، به‌سرعت در حال گسترش است. بنابراین امروزه تلاش‌های تحقیقاتی بر مشخص‌کردن چالش‌های پیش‌رو در زمینهٔ استفادهٔ بیشتر از انرژی باد، متمرکز شده است. فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، منابع تجدیدپذیر انرژی را به شکل‌های مختلف انرژی تبدیل می‌کنند و این منابع می‌توانند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشند.

سوخت‌های فسیلی، منبع اصلی تأمین انرژی در ایران هستند. به نظر می‌رسد در دهه‌های گذشته، شیوهٔ عرضه و مصرف این منابع انرژی، بر تصور نامحدودبودن آن‌ها استوار بوده است. بنابراین مشکلات جدی در ارتباط با مقدار، چگونگی و هزینهٔ مصرف این انرژی‌ها در کشور آشکار شده است. جدی‌ترین اقدامی که در جهت تنوع استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر صورت گرفته است، به برنامه‌های پنج سالهٔ اول و دوم توسعهٔ اقتصادی- اجتماعی جمهوری اسلامی ایران برمی‌گردد که در آن مقرر شده بود که تا پایان دوره، حدود ۱۰۰ مگاوات انرژی با استفاده از توان توربین‌های بادی احداث‌شده در بخش‌های مختلف کشور تولید شود. ایجاد دو نیروگاه ۵۰۰ کیلوواتی در منجیل و رودبار و اقدام به نصب ۲۷ واحد دیگر به ظرفیت ۱۰/۱ مگاوات، توسط مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو در سازمان انرژی اتمی ایران از گام‌هایی است که در

*نگارنده رابط: E-mail: b.mohammadi@uok.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

جهت نیل به آن اهداف بوده است. علاوه براین در مادهٔ ۱۳۳ قانون برنامهٔ پنج‌سالهٔ پنجم توسعهٔ جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۴-۱۳۹۰)، به شرکت توانیر و شرکت‌های وابسته و تابعهٔ وزارت نیرو اجازه داده شده است تا به انعقاد قراردادهای بلندمدت خریدتضمینی برق تولیدی از منابع انرژی‌های پاک با اولویت خرید از بخش‌های خصوصی و تعاونی اقدام کنند.

توربین‌های بادی انرژی باد را می‌گیرند و به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. سرمایه گذاری در صنعت انرژی باد به دلایلی همچون ریسک پایین و در عین حال بهره وری اجتماعی و اقتصادی، سیر صعودی را طی می‌کند انرژی باد صنعتی است که برای حفظ خود به هزینه کرد سوختی زیاد وابسته نیست و همچنین هزینه های عملکرد و پایداری آن نیز معمولاً در ارتباط با مجموع سرمایه گذاری‌های صورت گرفته، به خوبی قابل پیش بینی است و هزینه جانبی چندانی ندارد(آفرین‌زاد، ۱۳۸۸). هزینهٔ کم تولید این انرژی جوامع مختلف را بر آن داشته است که مطالعات گسترده‌ای را برای شناسایی مکان‌های مستعد(بادخیز) و برآورد توان تولید انرژی در مناطق مختلف انجام دهند. جایاکومار و همکاران (۲۰۰۱) نقشهٔ پتانسیل انرژی باد منطقهٔ تامی نادو در هندوستان را ترسیم کردند. مانوئل و نلسون (۲۰۰۲) روند روزانه، ماهانه و سالانهٔ تندی‌های باد در یک ناحیه را برای کسب انرژی مطالعه کردند. آن‌ها معتقدند که تندی باد بین ۴ تا ۲۵ متر بر ثانیه می‌تواند در تولید انرژی بادی استفاده شود. اگرچه بدون تداوم و پیوستگی وزش باد در یک مکان، تولید انرژی بادی مقرون‌به‌صرفه و امکان‌پذیر نخواهد بود.

باسل و بیربوس (۲۰۰۴) معتقدند که در برخی سواحل با توجه به اینکه نسیم دریا و نسیم خشکی اغلب به‌طور منظم در جریان است، امکان احداث مزارع بادی در آن‌ها فراهم است. جور و همکاران (۲۰۰۵) با بهره‌گیری از آماره‌های تابع توزیع ویبول و محاسبهٔ متوسط تندی باد، نقشهٔ پهنه‌بندی پتانسیل انرژی باد منطقهٔ لابرادور کانادا را تهیه کردند. یافته‌های آن‌ها حاکی از پتانسیل بالای انرژی باد در جنوب شرقی منطقه بود.

لاکسم (۲۰۰۷) در پژوهشی بیان کرد که انرژی الکتریکی یک‌سوم مصرف انرژی در جهان را تأمین می‌کند. مصرف سالانهٔ انرژی الکتریکی جهان تقریباً ۱۶ تریلیون کیلووات ساعت است. تقریباً ۲۵ درصد از این انرژی در ایالات متحده مصرف می‌شود. به‌طور متوسط هریک از ۶/۵ میلیارد نفر ساکن در کرهٔ زمین در سال ۲۵۰۰ کیلووات‌ساعت انرژی الکتریکی مصرف می‌کنند. بیشتر انرژی الکتریکی تولیدشده در جهان توسط سوخت‌های فسیلی و برق آبی تأمین می‌شود. تقریباً ۱۷ درصد توان الکتریکی جهان توسط این انرژی‌ها تأمین می‌شود. سهم بسیار کوچکی (۰/۰۲۳ درصد) از انرژی الکتریکی توسط انرژی‌های نو و تجدیدپذیر باد و خورشید تأمین می‌شود.

انجمن انرژی باد ایالات متحده امریکا(۲۰۰۸) برآورد کرده است که اگر تا سال ۲۰۳۰ میلادی سهم انرژی باد در جهان نسبت به کل انرژی‌های دیگر(بویژه فسیلی) به ۲۰ درصد افزایش یابد، میزان هفت میلیون و ششصد هزار تن گاز دی اکسید کربن کاهش پیدا می‌کند و در طی سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ نیز کاهش این گاز به حدود هفت میلیون و چهارصد هزار تن خواهد رسید. افزایش ۲۰ درصد تولید انرژی بادی می‌تواند جایگزین ۵۰ درصد از انرژی‌های حاصل شده از گازهای طبیعی و ۱۸ درصد زغال سنگ شود.

دریدن (۲۰۰۸) تأثیرات بالقوهٔ تغییر اقلیم را روی منابع انرژی باد در ایالت اوکلاهما بررسی کرد. تأکید وی در این مطالعه، مقدار انرژی‌ای بود که در صورت وجود تغییرات اقلیمی می‌تواند از باد به دست آید. نتایج این تحقیق نشان داد که تندی بادها در این ایالت به استثنای فصل پاییز روند افزایشی نشان داده است. بنابراین می‌توان افزایش انرژی تولیدشده را برای آینده در این ایالت انتظار داشت.

کیث و همکاران (۲۰۱۱) نقش و تأثیرات استفادهٔ بزرگ‌مقیاس از توان باد را روی تغییر اقلیم در سطح محلی و جهانی بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که استفادهٔ وسیع از انرژی باد (به دلیل کاهش گسیل

www.SID.ir

Archive of SID

گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن) نقش درخور توجهی در کاهش تأثیرات تغییر اقلیم سطح زمین دارد. راس‌موسن و همکاران (۲۰۱۱) نیز چالش‌ها و فرصت‌های تغییر اقلیم و تأثیرات آن را روی انرژی باد در کالیفرنیا بررسی کردند. آن‌ها معتقدند که تغییر اقلیم در آینده، توزیع فضایی و زمانی تندی باد را به همراه تأثیرات آن بر تولید برق دگرگون خواهد ساخت. پیش‌بینی جهت و تندی این تغییرات موضوع مطالعات بسیاری است.

دلوچی و جاکوبسن (۲۰۱۱) و جاکوبسن و دلوچی (۲۰۱۱)، امکان‌سنجی استفاده از انرژی‌های نوین در ایالات متحده آمریکا را در دو تحقیق جداگانه بررسی کردند. در بخش اول این تحقیق آن‌ها انرژی‌های نوین و تجدیدپذیر (باد، آب و خورشید) را معرفی و توصیف کردند. در بخش دوم، روش‌های نظارت بر تغییرپذیری هرکدام از این منابع انرژی، در استفادهٔ مطلوب‌تر و تأمین انرژی مورد نیاز مطرح شد. آن‌ها معتقدند که هزینهٔ تولید انرژی در هرکدام از منابع باد، آب و خورشید در آینده مشابه هزینهٔ امروزی آن خواهد بود. به عبارت دیگر در آینده نیز شاهد افزایش هزینهٔ تولید انرژی‌های نوین و تجدیدپذیر نخواهیم بود. در ادامه معتقدند که موانع تبدیل صددرصد انرژی باد، آب و خورشید در گسترهٔ جهانی بیشتر سیاسی و اجتماعی بوده و نقش فناوری و اقتصاد در این زمینه کم است. بنابراین با حل مشکل اجتماعی و سیاسی می‌توان از انرژی‌های نوین نهایت استفاده را برد.

یاکوبسن (۲۰۱۲) باورها و واقعیت‌هایی را که در حال حاضر دربارهٔ انرژی‌های نوین باد، آب و خورشیدی وجود دارد، بررسی کرد. ابتدا هر کدام از باورها را مطرح و سپس دلایل علمی و منطقی برای رد یا تأیید هر کدام از آن‌ها ارائه می‌کند. یکی از باورهایی که مطرح شده این است که انرژی‌های نوین و تجدیدپذیر به هیچ وجه جوابگوی نیاز جوامع انسانی نیست و علاوه براین هزینهٔ تولید این فناوری بسیار بیشتر از هزینهٔ تولید در انرژی‌های فسیلی است.

کُرد (۱۳۷۰) پتانسیل‌های محلی و ظرفیت‌های بالقوهٔ انرژی باد در مناطق روستایی ایران را با استفاده از آمار هواشناسی سه‌ساعته مطالعه کرد. در نهایت بخش‌هایی از ایران را شناسایی کرد که پتانسیل بالایی از نظر تندی باد در ارتفاع ۱۰ متری و ۴۰ متری داشتند. کاویانی (۱۳۷۴) ضمن بررسی انواع توربین‌های بادی و مقدار انرژی باد و تندی لازم برای تولید برق بادی، با استفاده از آمار پنج‌سالهٔ باد (۱۹۸۱ تا ۱۹۸۵) در ایستگاه‌های همدیدی کشور، به ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران پرداخت. نتایج تحقیق وی نشان داد که در کل کشور، ایستگاه زابل (منطقهٔ سیستان) بهترین وضعیت را برای احداث مزارع بادی دارد و پس از آن سواحل و جزایر جنوبی ایران برای این امر مناسب هستند؛ البته وی اشاره کرده است که برخی مناطق کوچک و محدود، مانند دره‌های باریک (درهٔ منجیل) هم برای تولید برق بادی مناسب هستند که باید شناسایی شده و مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

عزتیان و بهیار (۱۳۸۲) مقدار انرژی بالقوهٔ باد را در پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران جهت طراحی و به‌کارگیری منابع انرژی پاک بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در ایران فراوانی بادهایی با تندی بین ۵ تا ۱۵ متر در حد مناسبی است و استفاده از توربین‌های کوچک با تندی آستانهٔ پایین در برخی نقاط ایران امکان‌پذیر است؛ البته در اغلب شهرهای ایران به‌ویژه در مرکز و شرق ایران ساعات باد آرام بیشتر از ۵۰ درصد بوده و ساعات آفتابی زیادی دارند.

عبدلی و همکاران (۱۳۸۸) مکان‌های مناسب برای نصب توربین‌های بادی در استان آذربایجان شرقی را از طریق تعیین چگالی انرژی باد نسبت به ارتفاع و درجهٔ حرارت شناسایی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که ایستگاه‌های سهند و جلفا دارای فراوانی قابل ملاحظه‌ای در بادهای با تندی بیشتر از ۵ متر بر ثانیه بوده و از نواحی پر باد و مناسب برای ایجاد پارک‌های بادی محسوب می‌شوند. گندمکار (۱۳۸۸) انرژی پتانسیل باد در ایران را مطالعه کرد. براساس یافته‌های این پژوهش ایستگاه‌های همدیدی از نظر تندی باد در چهار گروه مختلف قرار می‌گیرند؛ گروه اول در بیشتر زمان‌های

www.SID.ir

Archive of SID

سال توان بادخیزی زیادی دارند، گروه دوم در برخی از زمان‌های سال، در بخش‌هایی از شبانه‌روز توان بادخیزی زیادی دارند، گروه سوم در زمان‌های محدودی از سال توان بادخیزی دارند و گروه چهارم در طول سال توان بادخیزی درخور توجهی ندارند.

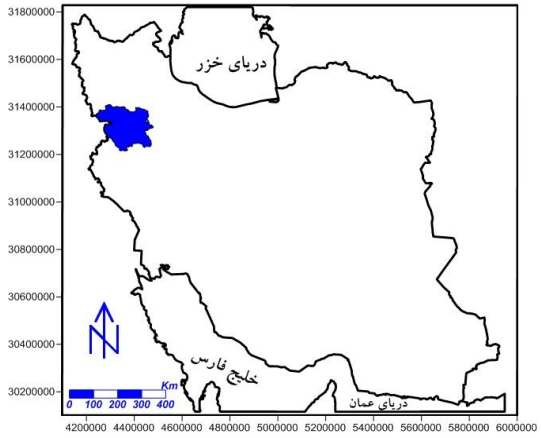
سعیدی و همکاران (۱۳۹۰) پتانسیل انرژی باد در استان خراسان شمالی را مطالعه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که چگالی توان باد در ارتفاع ۳۰ و ۴۰ متر برای شهر بجنورد به ترتیب ۲۰۰ و ۲۵۰ وات بر مترمربع است. همچنین چگالی توان باد برای شهر اسفراین در ارتفاع‌های یادشده به ترتیب ۲۰۰ و ۳۰۰ وات بر مترمربع است. آن‌ها معتقدند که ایجاد مزارع بادی در این دو شهر امکان‌پذیر است.

بررسی تحقیقات نشان داد که برخی از آن‌ها نواحی بادخیز و برخی دیگر پتانسیل و امکان‌سنجی احداث توربین‌های بادی برای تولید انرژی را در مناطق مختلف بررسی کرده بودند؛ البته در این میان محققانی نیز با دید آماری، روند تغییرات باد را به عنوان متغیری اقلیمی مورد توجه قرار داده‌اند. به هرحال تمام این تحقیقات به‌نوعی در جهت شناخت هرچه بیشتر رفتار زمانی و مکانی این متغیر مهم اقلیمی جهت استفاده از این نوع انرژی در بخش‌های مختلف کرهٔ زمین انجام شده‌اند. استان کردستان با توجه به شرایط آب‌وهوایی آن، از مصرف‌کنندگان عمدهٔ سوخت‌های فسیلی به شمار می‌آید. مشکلات ناشی از تهیه و تأمین منابع انرژی‌های فسیلی و مصرف زیاد آن در استان از یک سو و مزایای فراوان انرژی حاصل از باد به دیگر انرژی‌ها به‌ویژه انرژی‌های فسیلی از سوی دیگر، توجه به انرژی‌های نو و تجدیدپذیر و مطالعهٔ هرچه بیشتر دربارهٔ آن را توجیه می‌کند. در این پژوهش توان تولید انرژی باد و امکان‌سنجی استفاده از این انرژی در استان کردستان، ارزیابی شد.

۲. داده و روش‌شناسی

استان کردستان در غرب ایران قرار گرفته است و هشت ایستگاه همدیدی دارد که در میان آن‌ها ایستگاه سنندج دارای بیشترین و ایستگاه کامیاران دارای کمترین طول دورهٔ آماری داده‌های هواشناسی هستند. در این تحقیق هفت ایستگاه همدیدی سنندج، سقز، زرینه اوباتو، بیجار، قروه، مریوان و بانه با توجه به طول دورهٔ آمار بیشتر و کامل بودن اطلاعات متغیرهای مورد نیاز، به عنوان ایستگاه‌های نمونه مورد مطالعهٔ استان کردستان برای تجزیه و تحلیل انتخاب شدند (شکل‌های ۱ و ۲).

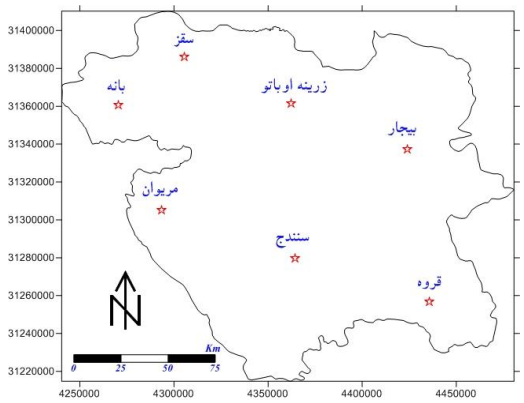
در بررسی وضعیت باد استان کردستان از داده‌های سه ساعتهٔ متغیرهای تندی و جهت باد در ایستگاه‌های همدیدی استان کردستان و برخی ایستگاه‌های مجاور استان (جدول ۱) استفاده شد. به‌کارگیری داده‌های سه‌ساعته با هدف تحلیل‌های دقیق‌تر و شناخت هرچه بیشتر از رفتار زمانی و مکانی باد در منطقه بود. اما انتخاب ایستگاه‌های مجاور استان کردستان و دخالت‌دادن آن‌ها در این پژوهش نیز به سبب نیازی بود که به پهنه‌بندی باد در استان کردستان وجود داشت. عوامل بسیاری بر ویژگی‌های باد تأثیر می‌گذارند. علاوه بر نقش عوامل همدیدی، تغییرات مکانی باد به دلیل تأثیرپذیری آن از عوارض سطح زمین بسیار زیاد است. بنابراین قضاوت در چنین تحقیقاتی بر مبنای چند ایستگاه شاید نتواند واقعیت این متغیر را در منطقه نشان دهد. بنابراین در این پژوهش برای برآورد انرژی باد در استان کردستان، ایستگاه‌های واقع در استان و همچنین مجاور آن استفاده شد (جدول ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان کردستان.

www.SID.ir

Archive of SID



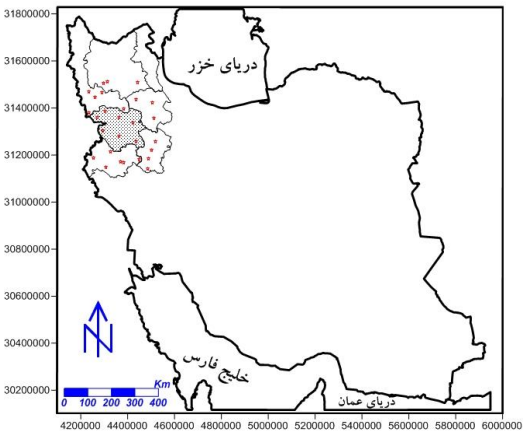
شکل ۲. پراکندگی ایستگاه‌های همدیدی استان کردستان.

جدول ۱. ایستگاه‌های مورد استفاده برای میانیابی باد در استان کردستان.

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول دورهٔ مورد مطالعه (سال)
سنندج	۳۵:۲۰	۴۷	۱۳۷۳	۱۹۶۱-۲۰۰۵
سقز	۳۶:۱۵	۴۶:۱۶	۱۵۲۳	۱۹۶۱-۲۰۰۵
بیجار	۳۵:۵۳	۴۷:۳۷	۱۸۸۳	۱۹۸۷-۲۰۰۵
قروه	۳۵:۱۰	۴۷:۴۸	۱۹۰۶	۱۹۸۹-۲۰۰۵
زرینه	۳۶:۴	۴۶:۵۵	۲۱۴۳	۱۹۸۹-۲۰۰۵
مریوان	۳۵:۳۱	۴۶:۱۲	۱۲۸۷	۱۹۹۲-۲۰۰۵
بانه	۳۶	۴۵:۵۴	۱۶۰۰	۱۹۹۹-۲۰۰۵
بناب	۳۷:۲۰	۴۶:۰۴	۱۲۹۰	۱۹۹۹-۲۰۰۵
اسلام‌آباد غرب	۳۴:۰۷	۴۶:۲۸	۱۳۴۹	۱۹۸۷-۲۰۰۵
همدان- فرودگاه	۳۴:۵۲	۴۸:۳۲	۱۷۴۱	۱۹۷۶-۲۰۰۵
همدان- نوژه	۳۵:۱۲	۴۸:۴۳	۱۶۸۰	۱۹۵۱-۲۰۰۵
کنگاور	۳۴:۳۰	۴۷:۵۹	۱۴۶۸	۱۹۸۷-۲۰۰۵
کرمانشاه	۳۴:۲۱	۴۷:۰۹	۱۳۱۹	۱۹۵۱-۲۰۰۵
خدابنده	۳۶:۰۷	۴۸:۳۵	۱۸۸۷	۱۹۹۴-۲۰۰۵
مهاباد	۳۶:۴۶	۴۵:۴۳	۱۳۸۵	۱۹۸۵-۲۰۰۵
ماهنشان	۳۶:۴۶	۴۷:۴۰	۱۲۸۲	۲۰۰۱-۲۰۰۵
مراغه	۳۷:۲۴	۴۶:۱۶	۱۴۷۸	۱۹۸۳-۲۰۰۵
میاندوآب	۳۶:۵۸	۴۶:۰۶	۱۳۰۰	۲۰۰۲-۲۰۰۵
میانه	۳۷:۲۷	۴۷:۴۲	۱۱۱۰	۱۹۸۷-۲۰۰۵
نقده	۳۶:۵۷	۴۵:۲۵	۱۳۳۸	۲۰۰۱-۲۰۰۵
نهاوند	۳۴:۰۹	۴۸:۲۵	۱۶۸۱	۱۹۹۶-۲۰۰۵
روانسر	۳۴:۴۳	۴۶:۳۹	۱۳۸۰	۱۹۸۸-۲۰۰۵
سرارود	۳۴:۲۰	۴۷:۱۸	۱۳۶۲	۱۹۸۹-۲۰۰۵
سردشت	۳۶:۰۹	۴۵:۳۰	۱۶۷۰	۱۹۸۶-۲۰۰۵
سرپل‌ذهاب	۳۴:۲۷	۴۵:۵۲	۵۴۵	۱۹۸۶-۲۰۰۵
تکاب	۳۶:۲۳	۴۷:۰۷	۱۷۶۵	۱۹۸۶-۲۰۰۵
تویسرکان	۳۴:۳۳	۴۸:۲۶	۱۷۸۳	۲۰۰۳-۲۰۰۵
زنجان	۳۶:۴۱	۴۸:۲۹	۱۶۶۳	۱۹۵۵-۲۰۰۵

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. موقعیت ایستگاه‌های همدیدی استان کردستان و ایستگاه‌های مورد استفاده در استان‌های مجاور.

بنابراین برای بررسی تندی و جهت باد (یا هر متغیر دیگر) در یک مکان و پهنه‌بندی آن، داشتن داده‌های متغیرهای نواحی مجاور، به برآورد و ارزیابی درست منطقهٔ مورد مطالعه کمک بسیار زیادی می‌کند. به همین دلیل از داده‌های سمت و تندی باد ایستگاه‌های مجاور استان نیز کمک گرفته شد (شکل ۳).

به کمک داده‌های متغیرهای تندی و جهت باد ایستگاه‌های مورد مطالعه (۲۸ ایستگاه) در هشت نوبت دیدبانی در طول روز از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۵، پایگاه داده‌ای در نرم‌افزار متلب ایجاد شد. ابتدا داده‌های تندی و جهت باد در هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه به مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری تبدیل شدند (روابط ۱ و ۲).

$$U = -F \times sin(D \times 3.1416/180) \quad (۱)$$

$$V = -F \times cos(D \times 3.1416/180) \quad (۲)$$

در رابطه‌های بالا U، مؤلفهٔ باد مداری، V، مؤلفهٔ باد نصف‌النهاری، F، تندی باد و D، جهت باد است. روابط ۱ و ۲ برای تندی و جهت باد تمام ایستگاه‌ها در هشت نوبت دیدبانی به وقت گرینویچ (ساعت‌های صفر، سه، شش، نه، دوازده، پانزده، هجده و بیست‌ویک) اعمال شد. بنابراین از مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری به‌دست‌آمده از این روابط نیز پایگاه داده‌ای فراهم شد. باتوجه به نابرابری طول دورهٔ آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه، در جهت رفع این مشکل، میانگین بلندمدت مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری محاسبه شد.

$$\overline{U}_{ltm} = \frac{\sum_{n=1}^{k} f_i U_i}{n} \quad (۳)$$

$$\overline{V}_{ltm} = \frac{\sum_{n=1}^{k} f_i V_i}{n} \quad (۴)$$

که در روابط بالا $\overline{U}_{ltm}$ و $\overline{V}_{ltm}$، به ترتیب میانگین بلندمدت مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری؛ f_i، فراوانی iاُم مشاهدات، U_i، مقدار iاُمین مشاهدهٔ مؤلفهٔ باد مداری، V_i، مقدار iاُمین مشاهدهٔ مؤلفهٔ باد نصف‌النهاری و n، تعداد کل فراوانی‌ها (مشاهدات) است.

سرانجام دو پایگاه داده از مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری به اندازه‌های ۳۶۵×۲۸ ایجاد شد. در هر دو ماتریس ۲۸ (تعداد سطرهای ماتریس) تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه و ۳۶۵ نیز در یکی از پایگاه داده‌ها، میانگین بلندمدت مؤلفهٔ باد مداری و در پایگاه دادهٔ دیگر، میانگین بلندمدت مؤلفهٔ باد نصف‌النهاری است. در ادامه برای هر روز تقویمی باید نقشه‌های باد مداری و نصف‌النهاری ترسیم شود. برای ترسیم نقشه‌های یادشده به میانیابی متغیرها در منطقهٔ مورد مطالعه نیاز بود. بنابراین برای هر روز با استفاده از میانگین بلندمدت مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری ۲۸ ایستگاه، میانیابی به روش کریجینگ در محدودهٔ مورد مطالعه صورت گرفت.

در جریان میانیابی، منطقهٔ مورد مطالعه به ۷۷۰۰ یاخته با ابعاد تقریبی ۳/۷×۳/۷ کیلومترمربع تبدیل شد. بنابراین برای هر کدام از مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری، ماتریسی به اندازهٔ ۳۶۵*۷۷۰۰ فراهم شد که ۷۷۰۰ تعداد یاخته‌های به‌دست‌آمده در کل منطقهٔ مورد مطالعه و ۳۶۵ نیز میانگین بلندمدت مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری است. از مجموع تمام یاخته‌های مشخص‌شده در محدودهٔ مورد مطالعه (شکل ۳) ۲۰۶۸ یاخته در استان کردستان قرار داشتند. بنابراین برای

www.SID.ir

Archive of SID

پهنه‌بندی، ۲۰۶۸ یاختهٔ درون استان کردستان استخراج و پایگاه داده‌ای برای مؤلفه‌های باد مداری و همچنین باد نصف‌النهاری به ابعاد ۳۶۵*۲۰۶۸ یاخته فراهم شد. در این دو ماتریس ۳۶۵، تعداد روزهای یک سال بوده و مقادیر آن‌ها، میانگین بلندمدت هر متغیر است و ۲۰۶۸ نیز تمام یاخته‌های واقع در استان کردستان هستند که از این پس جایگزین ایستگاه‌های همدیدی استان کردستان خواهند شد. برای هر یاخته توان باد باید محاسبه شود. برای تبدیل مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری محاسبه‌شده در ۲۰۶۸ یاخته واقع در استان کردستان، سرانجام باید مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد به تندی و جهت باد (زاویهٔ وزش) تبدیل شوند:

$$M=(U^2+V^2)^{1/2} \qquad (۵)$$

$$\alpha=90^\circ-(360^\circ/C).\tan^{-1}(V/U)+\alpha_0 \qquad (۶)$$

M تندی باد برحسب متر بر ثانیه و U,V به ترتیب مؤلفه‌های باد نصف‌النهاری و باد مداری هستند. در رابطهٔ (۶) اگر $U>0$ آنگاه $\alpha_0=180^\circ$ و در غیر این صورت $\alpha_0=0^\circ$ خواهد بود. C عبارت است از زاویهٔ تمام صفحه ($C=360^\circ=2\pi\,radian$) (استول، ۱۹۹۹).

با استفاده از رابطهٔ (۵) تندی باد در هر یاخته برحسب متر بر ثانیه برآورد شد. برای برآورد توان باد علاوه بر تندی باد، چگالی هوا و نوع توربین نیز تأثیرگذار است. یک توربین بادی انرژی خود را از تبدیل نیروی باد به گشتاور (نیروی چرخش) به دست می‌آورد. این نیرو روی تیغه‌های چرخانه (Rotor) اثر گذاشته و در نهایت به انرژی الکتریکی (برق) تبدیل خواهد شد. بنابراین مقدار انرژی که باد می‌تواند به تیغه‌های چرخانه منتقل کند، به چگالی هوا، سطح یا مساحت چرخانه و تندی باد بستگی دارد. در این پژوهش توان و انرژی باد براساس رابطهٔ زیر برآورد شد:

$$P=\frac{1}{2}\ \rho\ (\pi\ r^2)v^3 \qquad (۷)$$

که در آن، P، توان باد اندازه‌گیری‌شده بر حسب وات (W)، ρ، چگالی هوا (کیلوگرم در هر مترمکعب)، v، تندی باد بر حسب متر بر ثانیه، π، عدد پی (۳/۱۴۱۵) و r، شعاع چرخانه برحسب متر (طول یک پره از توربین) است. در یک طبقه‌بندی قطر چرخانهٔ توربین‌های بادی به سه دسته تقسیم شده است: کوچک با قطر کمتر از ۲۰ متر، متوسط با قطر۲۰ تا ۴۵ متر و بزرگ با قطر بیشتر از ۴۵ متر (انجمن مهندسی باد آلمان، ۱۹۹۱). در این پژوهش برای توربین‌های بادی با شعاع چرخانهٔ ۱۰، ۱۵ و ۲۵ متر (قطر چرخانهٔ ۲۰، ۳۰ و ۵۰ متری)، توان باد برآورد شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. نواحی بادخیز استان کردستان

با تحلیل خوشه‌ای روی داده‌های مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری در ۲۰۶۸ یاخته واقع در استان کردستان، شش ناحیهٔ بادخیز در منطقهٔ مورد مطالعه مشخص شد. موقعیت و وسعت هر کدام از نواحی بادخیز در شکل ۴ و همچنین برخی ویژگی‌های آماری آن‌ها در جدول ۲ آمده است؛ البته در این پژوهش شناخت نواحی بادخیز به عنوان هدف نهایی مطرح نبوده است و نواحی به‌دست‌آمده برای شناخت هر چه بیشتر ویژگی‌های باد در استان کردستان مطالعه شده است.

۳. ۱. ۱. ناحیهٔ اول

اولین ناحیهٔ بادخیز در استان کردستان، بخش وسیعی از شهرستان‌های مریوان، سروآباد، سنندج و کامیاران را در بر می‌گیرد. حدود ۲۱/۴ درصد از استان کردستان در این ناحیه واقع شده است و از نظر وسعت دومین ناحیه محسوب می‌شود. تندی باد در این ناحیه به مقدار درخور توجهی از دیگر نواحی بادخیز استان کمتر است، به طوری که میانگین تندی باد در این ناحیه حدود ۱/۱ متر بر ثانیه است. همبستگی تندی باد درون‌گروهی یاخته‌هایی که در این ناحیه قرار دارند، حدود ۵۵ درصد است (شکل ۴ و جدول ۲).

۳. ۱. ۲. ناحیهٔ دوم

دومین ناحیهٔ بادخیز در استان کردستان، نوار باریکی را شامل می‌شود که تقریباً از جنوب به سمت شمال و سپس شمال شرق کشیده شده است. علاوه بر این بخش کوچکی از جنوب شرق استان نیز در این ناحیه قرار

www.SID.ir

Archive of SID

دارد. حدود ۱۴/۶ درصد از استان کردستان در این ناحیه واقع شده است. تندی متوسط باد این ناحیه ۴ متر بر ثانیه است. کمترین میزان همبستگی درون‌گروهی یاخته‌های نواحی بادخیز در این ناحیه (۵۰ درصد) دیده می‌شود (شکل ۴ و جدول ۲).

۳. ۱. ۳. ناحیهٔ سوم

سومین ناحیهٔ بادخیز در استان کردستان، به صورت چند بخش جداگانه در اطراف شهرستان‌های سنندج، مریوان، سقز و بیجار قرار دارد. حدود ۱۹ درصد از استان کردستان در این ناحیه واقع شده است و از نظر وسعت نیز سومین ناحیه محسوب می‌شود. پس از ناحیهٔ اول، این ناحیه از کمترین مقدار تندی باد برخوردار است، به طوری که میانگین تندی باد در این ناحیه حدود ۲/۳ متر بر ثانیه است. همبستگی یاخته‌هایی که در این ناحیه قرار دارند، ۵۷ درصد است (شکل ۴ و جدول ۲).

۳. ۱. ۴. ناحیهٔ چهارم

چهارمین ناحیهٔ بادخیز در استان کردستان، بخش وسیعی از شهرستان‌های بیجار و قروه و نواحی اطراف زرینه اوباتو را در بر می‌گیرد. وسعت این ناحیه حدود ۲۸/۵ درصد است و از این جهت وسیع‌ترین ناحیهٔ باد در استان کردستان است. نکتهٔ شایان توجه این است که تندی باد نیز در این ناحیه وسیع چشمگیر بوده و حدود ۵/۳ متر بر ثانیه است. همبستگی درون‌گروهی یاخته‌هایی که در این ناحیه قرار دارند، حدود ۵۵ درصد است (شکل ۴ و جدول ۲).

۳. ۱. ۵. ناحیهٔ پنجم

از نظر جغرافیایی، پنجمین ناحیهٔ بادخیز استان کردستان، تقریباً شامل تمام شهرستان بانه و بخش‌های بسیار کوچکی از شهرستان‌های مریوان و سقز است. وسعت این ناحیه حدود ۱۴ درصد از استان کردستان است و پس از ناحیهٔ ششم، کم‌وسعت‌ترین ناحیه به شمار می‌آید. میانگین تندی باد در این ناحیه حدود ۳ متر بر ثانیه است. پس از ناحیهٔ دوم، همبستگی درون‌گروهی این ناحیه با ۵۱ درصد، کمترین مقدار است (شکل ۴ و جدول ۲).

۳. ۱. ۶. ناحیهٔ ششم

بادخیزترین ناحیه در استان کردستان، ناحیهٔ ششم است. این ناحیه به‌طور مشخص منطقهٔ زرینه اوباتو را شامل می‌شود. کم‌وسعت‌ترین ناحیهٔ بادخیز استان است (۲/۶ درصد از وسعت استان را در بر دارد) اما متوسط تندی باد در این ناحیه (۷/۷ متر بر ثانیه) به مقدار چشمگیری بیش از سایر نواحی بادخیز استان کردستان است. بیشترین ضریب همبستگی درون‌گروهی نواحی بادخیز استان کردستان مربوط به این ناحیه است. در واقع همبستگی ۹۰ درصد یاخته‌های واقع در این ناحیه، منطقهٔ همگنی را ایجاد کرده است که با اطمینان بالا می‌توان گفت که به‌طور مشخص ناحیهٔ ششم، بادخیزترین ناحیه در استان است (شکل ۴ و جدول ۲).

هر شش ناحیهٔ بادخیز استان کردستان از نظر جهت باد تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و به طور کلی باد غالب در بیشتر موارد دارای جهت جنوب غربی است. اما از نظر تندی باد تفاوت قابل‌توجهی در میان نواحی بادخیز وجود دارد. در استان کردستان زرینه اوباتو و بخش‌های مجاور آن (ناحیهٔ ششم) از بیشترین تندی باد (۷/۷ متر بر ثانیه) برخوردارند و در جهات مختلف جغرافیایی تندی باد کاهش داشته است. روند کاهش تندی باد به سمت سنندج و مریوان (ناحیهٔ اول) بسیار شدید بوده تاجایی که در این بخش تندی باد به حدود ۱/۱ متر بر ثانیه رسیده است. با این حال از زرینه اوباتو به سمت بیجار و قروه (ناحیهٔ چهارم)، تندی باد اندکی (۵/۳ متر بر ثانیه) کاهش یافته است. در نهایت از زرینه اوباتو به سمت بیجار و قروه، تندی باد بیشتر از دیگر نواحی استان کردستان است (شکل ۴).

۳. ۱. ۷. برآورد توان باد در استان کردستان

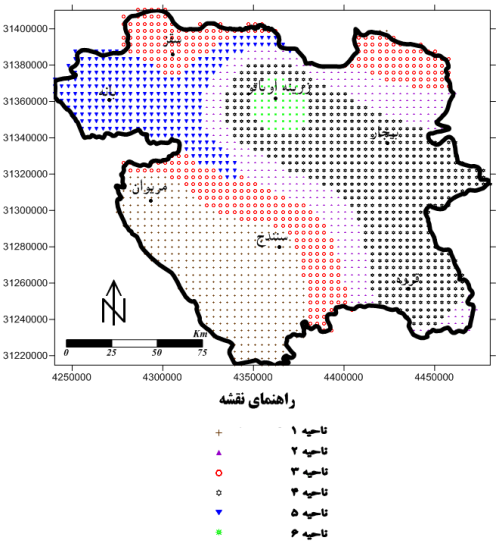
نتایج برآورد توان باد براساس توربین‌هایی با شعاع چرخانهٔ ۱۰ متری نشان داد که استان کردستان از نظر توان باد، به چهار ناحیه تقسیم‌پذیر است (شکل ۵). ناحیهٔ اول بخش‌های زیادی از استان (۷۱/۳ درصد) را در بر می‌گیرد. در این ناحیه توان باد کمتر از ۲۰ هزار وات بر

www.SID.ir

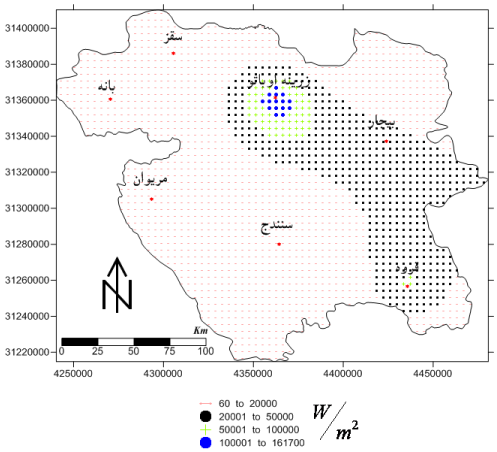
Archive of SID

مترمربع در هر یاخته است. این ناحیه شامل سنندج، مریوان، بانه، سقز و بخش‌هایی از شمال‌شرق استان کردستان است. در ناحیهٔ دوم، توان باد بین ۲۰ هزار تا ۵۰ هزار وات بر مترمربع در هر یاخته افزایش پیدا کرده است. با این حال مساحت این ناحیه حدود ۲۵ درصد از سطح استان کردستان است. این ناحیه شامل بیجار و نواحی اطراف ایستگاه‌های همدیدی قروه و زرینه اوباتو است. ناحیهٔ سوم، حدود ۳ درصد از استان را در بر دارد و توان انرژی باد در این ناحیه بین ۵۰ هزار تا ۱۰۰ هزار وات بر مترمربع در هر یاخته است. ایستگاه همدیدی قروه و مناطق مجاور آن و همچنین مناطق اطراف ایستگاه همدیدی زرینه اوباتو در این ناحیه قرار دارند. اما در ناحیهٔ چهارم، توان باد بیش از ۱۰۰ هزار وات است و حداکثر مقدار انرژی که باد می‌تواند در این ناحیه تولید کند، کمتر از ۱۷۰ هزار وات بر مترمربع در هر یاخته است. ناحیهٔ چهارم با اینکه بادخیزترین منطقهٔ استان است اما مساحت کمتر از ۱ درصد را شامل می‌شود (جدول ۳). در یک نگاه کلی می‌توان گفت که توان باد بر اساس توربین‌های با شعاع چرخانهٔ ۱۰ متری تنها در بخش محدودی از استان کردستان صرفهٔ اقتصادی دارد.

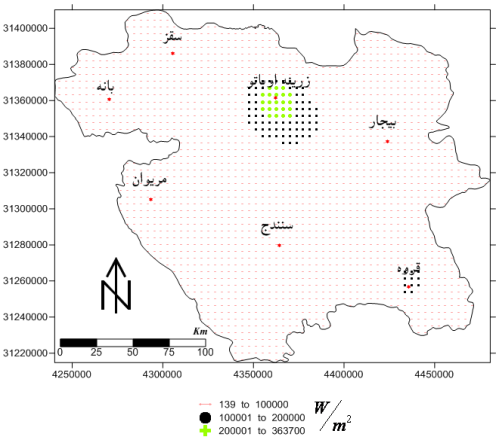
اگر شعاع چرخانهٔ توربین بادی ۱۵ متر باشد، توان باد به مقدار شایان توجهی در تمام استان افزایش پیدا می‌کند. در واقع با همان تندی و همان چگالی باد، تغییر شعاع چرخانه به ۱۵ متر باعث تولید انرژی به‌مراتب بیشتری در سطح استان خواهد شد. نتایج برآورد توان باد براساس توربین‌هایی با شعاع ۱۵ متر نشان داد که ۹۵/۲ درصد از استان (شامل سنندج، مریوان، بانه، سقز، بیجار و اطراف قروه) کمتر از ۱۰۰ هزار وات انرژی می‌توانند تولید کنند. این مقدار در مقایسه با چرخانه به شعاع ۱۰ متر بسیار درخور توجه است. ایستگاه قروه و مناطق محدودی از اطراف آن و همچنین نواحی مجاور ایستگاه همدیدی زرینه اوباتو (در مجموع حدود ۳/۷ درصد از استان کردستان) می‌توانند بین ۱۰۰ هزار تا ۲۰۰ هزار وات انرژی تولید کنند. در نهایت ایستگاه زرینه اوباتو و مناطق اطراف آن (حدود ۱/۱ درصد از استان کردستان) به عنوان ناحیهٔ سوم مشخص شده است. توان تولید انرژی در این ناحیه از ۲۰۰ هزار تا تقریباً ۳۷۰ هزار وات بر مترمربع در هر یاخته است (شکل ۶ و جدول ۴).



شکل ۴. نواحی اصلی بادخیز استان کردستان.



شکل ۵. برآورد توان باد (وات بر مترمربع) با استفاده از توربین‌های با شعاع چرخانهٔ ۱۰ متری در استان کردستان.



شکل ۶. برآورد توان باد (وات بر مترمربع) با استفاده از توربین‌های با شعاع چرخانهٔ ۱۵ متری در استان کردستان.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. ویژگی‌های آماری نواحی بادخیز در استان کردستان.

نواحی اصلی بادخیز استان کردستان	ناحیهٔ۱	ناحیهٔ۲	ناحیهٔ۳	ناحیهٔ۴	ناحیهٔ۵	ناحیهٔ۶
مساحت ناحیه (درصد)	۲۱/۴	۱۴/۶	۱۹	۲۸/۵	۱۴	۲/۶
میانگین تندی باد (متر بر ثانیه)	۱/۱	۴	۲/۳	۵/۳	۳	۷/۷
میانگین جهت وزش باد (درجه)	۲۲۱	۲۱۷	۲۱۶	۲۱۴	۲۱۵	۲۲۵
همبستگی درون‌گروهی	٪۵۵	٪۵۰	٪۵۷	٪۵۵	٪۵۱	٪۹۰
ضریب تغییرپذیری باد (درصد)	۶۱/۷	۶۲/۶	۵۸/۴	۶۳/۶	۷۰/۸	۶۱/۸

جدول ۳. توان باد در استان کردستان با استفاده از توربین‌های بادی با شعاع چرخانهٔ ۱۰ متری.

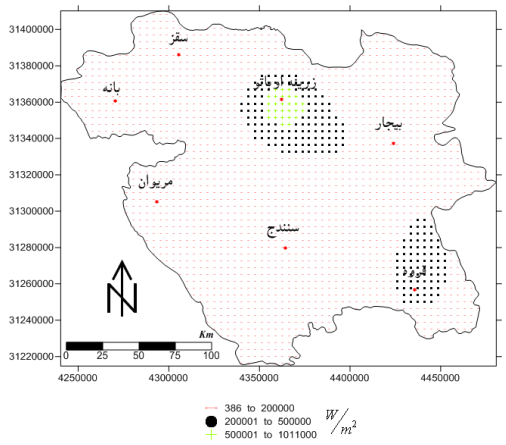
نواحی اصلی توان باد استان کردستان	ناحیهٔ۱	ناحیهٔ۲	ناحیهٔ۳	ناحیهٔ۴
مساحت ناحیهٔ هم‌توان باد (درصد)	۷۱/۳	۲۵	۳	۰/۷
میانگین بلندمدت توان باد در هر یاخته (وات بر مترمربع)	کمتر از ۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۱-۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۱-۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۱-۱۶۱۷۰۰

جدول ۴. توان باد در استان کردستان با استفاده از توربین‌های بادی با شعاع چرخانهٔ ۱۵ متری.

نواحی اصلی توان باد استان کردستان	ناحیهٔ۱	ناحیهٔ۲	ناحیهٔ۳
مساحت هر ناحیهٔ بادخیز استان کردستان (درصد)	۹۵/۲	۳/۷	۱/۱
میانگین بلندمدت توان باد در هر یاخته (وات بر متر مربع)	کمتر از ۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۱-۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۱-۳۶۳۷۰۰

جدول ۵. توان باد در استان کردستان با استفاده از توربین‌های بادی با شعاع چرخانهٔ ۲۵ متری.

نواحی اصلی توان باد استان کردستان	ناحیهٔ۱	ناحیهٔ۲	ناحیهٔ۳
مساحت هر ناحیهٔ بادخیز استان کردستان (درصد)	۸۹/۲	۹/۵	۱/۳
میانگین بلندمدت توان باد در هر یاخته (وات بر متر مربع)	کمتر از ۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۱-۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۱-۱۰۱۱۰۰۰



شکل ۷. توان باد(وات بر مترمربع) با استفاده از توربین‌های با شعاع چرخانهٔ ۲۵ متری در استان کردستان.

www.SID.ir

Archive of SID

توربین‌هایی با شعاع چرخانهٔ ۲۵ متر جزو توربین‌های بزرگ طبقه‌بندی می‌شوند. در وضعیتی که نیاز شدید به انرژی وجود دارد، اغلب این نوع توربین‌ها متناسب با تندی باد در هر منطقه نصب می‌شوند. براساس چنین توربین‌هایی نیز توان باد در استان کردستان برآورد گردید. نتایج برآورد توان باد با استفاده از توربین‌های باد با شعاع چرخانهٔ ۲۵ متری نشان داد که بیشتر بخش‌های استان کردستان (۸۹/۲ درصد) با چنین توربین‌هایی کمتر از ۲۰۰ هزار وات بر مترمربع انرژی تولید می‌کنند. در نگاه اول شاید بتوان گفت که این مقدار انرژی هم زیاد است، اما با توجه به هزینهٔ زیاد نصب، نگهداری و تهیه و تجهیز چنین توربین‌های بزرگی، توان ۲۰۰ هزار وات نمی‌تواند قابل قبول باشد.

در ناحیهٔ دوم که حدود ۹/۵ درصد از استان کردستان را شامل می‌شود (قروه و بخش‌های مجاور ایستگاه همدیدی زرینه اوباتو)، توان باد بین ۲۰۰ هزار تا ۵۰۰ هزار وات بر مترمربع در هر یاخته برآورد شده است. این ناحیه در موارد قبل (شعاع چرخانهٔ ۱۰ و ۱۵ متری) نیز تقریباً به‌عنوان مناطق با توان بالای تولید انرژی مشخص شده بودند؛ اما مهم‌ترین ناحیهٔ توان باد (ناحیهٔ سوم) در استان کردستان، زرینه اوباتو و مناطق محدودی از اطراف آن است (۱/۳ درصد از استان کردستان). این ناحیه توان تولید انرژی بین ۵۰۰ هزار تا بیش از ۱ میلیون وات بر متر مربع را دارد. این مقدار انرژی می‌تواند در تأمین انرژی منطقه نقش مهمی داشته باشد (شکل ۷ و جدول ۵).

۴. نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت، مصرف‌گرایی، نیاز روزافزون جوامع به انرژی، محدودیت و مشکلات ناشی از سوخت‌های فسیلی و عوامل بسیار دیگر، باعث شده است تا انسان به دنبال یافتن منابع جدید انرژی باشد. از مهم‌ترین راه‌های رسیدن به توسعهٔ پایدار در هر جامعه دستیابی به منابع انرژی تقریباً دائمی و علاوه بر آن نداشتن آثار زیست‌محیطی و مسائلی از این قبیل است. بر کسی پوشیده نیست که برخی منابع انرژی، پایداری بیشتری دارند و برخی دیگر تا چند دههٔ آینده به پایان خواهند رسید. در میان این منابع، انرژی ناشی از تابش خورشید (انرژی خورشیدی) و انرژی باد از ثبات بیشتری برخوردارند. بنابراین امروزه جوامع با توجه به توانایی‌های محیطی و فناوری‌ای که در اختیار دارند، به دنبال جایگزین‌کردن منابع نوین انرژی هستند. از این رو تحقیقات بسیاری در راستای هموارسازی استفاده از این نوع انرژی‌ها در حال اجراست. در واقع این تحقیقات با هدف شناسایی مناطق مساعد و برآورد توان تولید انرژی‌های مختلف (به عنوان مثال باد، خورشید و امواج دریا)، اولین گام اساسی را در جایگزینی منابع نوین انرژی به جای سوخت‌های فسیلی برمی‌دارند. پژوهش حاضر نیز با هدف شناسایی توان باد در سطح استان انجام شد.

در این پژوهش از داده‌های سه‌ساعته متغیرهای باد (تندی و جهت باد) ایستگاه‌های همدیدی استان کردستان(هفت ایستگاه) و برخی ایستگاه‌های مجاور استان (۲۱ ایستگاه) از زمان تأسیس تا سال ۲۰۰۵ استفاده شد. پس از اجرای میانیابی باد در استان کردستان (به کمک ۲۸ ایستگاه داخل و خارج از مرز سیاسی استان کردستان) توان باد در ۲۰۶۸ یاخته از استان کردستان برآورد شد؛ البته برای برآورد توان باد، آگاهی از مقدار چگالی هوا و تندی باد در هر یاخته ضروری است. علاوه براین، توان باد در هر مکان تابعی از شعاع چرخانه (پرهٔ توربین) نیز هست. بنابراین ابتدا چگالی هوا برای هر یاخته محاسبه شد. سپس با توجه به تندی باد برآوردشده در هر یاخته (با استفاده از میانیابی کریجینگ) برای توربین‌های مختلف با شعاع چرخانهٔ ۱۰، ۱۵ و ۲۵ متری، توان باد در سطح استان کردستان محاسبه شد. سپس نتیجهٔ برآورد توان باد با استفاده از توربین‌های مورد بررسی به‌صورت نقشه‌هایی ارائه شد.

نتایج کلی این پژوهش نشان داد که براساس توربین‌های با شعاع ۱۰ متر حداکثر می‌توان تا ۱۷۰ هزار وات بر مترمربع در هر یاخته از استان انرژی تولید کرد؛ البته تنها مناطق محدودی از استان کردستان (به‌ویژه زرینه اوباتو، قروه و بیجار) توانایی تولید این مقدار

www.SID.ir

Archive of SID

انرژی را دارند. براساس توربین‌های با شعاع ۱۵ متر همین ناحیه می‌تواند تا ۳۷۰ هزار وات بر مترمربع در هر یاخته از استان انرژی تولید کند. در نهایت با استفاده از توربین‌های با شعاع چرخانهٔ ۲۵ متری، می‌توان حداکثر تا ۱ میلیون وات بر مترمربع در هر یاخته انرژی تولید کرد. بنابراین با توجه به برآورد توان باد در سطح استان کردستان مشخص شد که زرینه اوباتو و مناطق مجاور آن مناسب‌ترین مکان برای احداث توربین‌های بادی است. در واقع براساس برآورد توان باد با استفاده از سه نوع توربین بادی مورد بررسی، بالاترین مقدار انرژی را می‌توان از این منطقه به دست آورد. پس از زرینه اوباتو، بخش‌هایی از قروه و بیجار نیز در بیشتر موارد توان بالایی در تولید انرژی بادی نشان داده‌اند.

در این پژوهش توان باد برای سه نوع توربین برآورد شد اما اینکه از چه نوع توربینی برای تولید انرژی باد استفاده شود، به عوامل بسیاری بستگی دارد. برخی از این عوامل با نیاز منطقه به انرژی یا هزینهٔ تمام‌شده تولید انرژی در ارتباط هستند. با این حال در همه‌جا از توربین‌های بادی بزرگ برای تولید انرژی استفاده نمی‌شود. در یک مزرعهٔ بادی اگر توربین‌های بادی بزرگ استفاده شوند، به دلیل نوسان تندی باد امکان دارد وقفه‌ای در تولید انرژی ایجاد شود؛ بنابراین توربین‌های بادی کوچک می‌توانند نقش مهمی در کاهش نوسان تولید انرژی بر عهده داشته باشند. از سوی دیگر از چشم‌انداز محیطی، توربین‌های کوچک ممکن است جلب توجه نکنند اما توربین‌های بادی بزرگ گاهی از نظر زیبایی‌شناختی بر چشم‌انداز منطقه اثر منفی دارند. با این حال تعداد زیاد توربین‌های بادی کوچک در یک منطقه نیز می‌تواند به همان اندازه بر چشم‌انداز محیطی و جنبهٔ زیبایی‌شناختی آن اثر منفی داشته باشد. سرانجام پیشنهاد می‌شود تا متخصصان مرتبط با انرژی، مقدار نیاز به انرژی در بخش‌های مختلف استان را محاسبه کنند تا متناسب با آن بهترین مکان برای نصب توربین و همچنین نوع توربین بادی مورد استفاده مشخص شود.

مراجع

آفرین‌زاد، ن.، ۱۳۸۸، گزارش جهانی باد در سال ۲۰۰۸، مهندسی زیرساخت‌ها، شمارهٔ یازده، مهر ۱۳۸۸.

استول، ر.، ۱۹۹۹، هواشناسی، ترجمه: سید ابوالفضل مسعودیان و همکاران، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۱۳۹۲، جلد نخست، ص ۲۲۹.

سعیدی، د.، نعمت اللهی، ا. و عالم رجبی، ع. ا.، ۱۳۹۰، بررسی پتانسیل انرژی باد در استان خراسان شمالی در ایران، نشریهٔ علمی پژوهشی مدیریت انرژی، ۱(۱)، ۴۹-۵۶.

عبدلی، ح.، ساری صراف، ب. و حسینی شمعچی، ع.، ۱۳۸۸، امکان‌سنجی پتانسیل انرژی باد و کاربرد آن در طرح‌های توسعهٔ صنعتی، مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی، م. علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، ۹(۲۸)، ۵۷-۷۴.

عزتیان، و. و بهیار، م. ب.، ۱۳۸۲، برآورد انرژی بالقوهٔ باد در پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران جهت طراحی و بکارگیری منابع پاک انرژی، چهارمین همایش ملی انرژی، تهران.

کاویانی، م. ر.، ۱۳۷۴، توربین‌های بادی و ارزیابی انرژی پتانسیل باد در ایران، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، ۳۶، ۱۲۷-۱۴۴.

کرد، ب.، ۱۳۷۰، نقش انرژی‌های نو در تأمین انرژی روستایی در ایران، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.

گندمکار، ا.، ۱۳۸۸، ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران، م. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۰، ۳۶(۴)، ۸۵-۱۰۰.

American Wind Energy Accusation, 2008, The long-term climate benefits of significant wind power.

Bussel, G. V. and Bierbooms, W., 2004, Course offshore wind farm design OE 5662, Section Wind Energy Faculty Aerospace Engineering, September 2004.

Delucchi. A. M. and Jacobson. M., 2011, Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies, Energy Policy, 39, 1170-1190.

www.SID.ir

Archive of SID

Dryden, J. M., 2008, Potential climate change impacts on wind resources in Oklahoma: a focus on future energy output, Bachelor of Science in Meteorology, The University of Oklahoma Norman, Oklahoma.

Jacobson, M., 2012, Myths and realities about wind, water, and sun (WWS) versus current fuels, September 26, 2012.

Jacobson. M. and Delucchi, A, M., 2011, Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Reliability, system and transmission costs, and policies, Energy Policy, 39, 1154-1169.

Jayakumar, D., Prashanthi Devi., M., Suriyanarayanan, S. and Balasubramanian, S., 2001, Wind energy potential in Tamil Nadu India؛ Prediction and mapping using GIS, Tamil Nadu, India.

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

Keith, D. W., DeCarolis, J. F., Denkenberger, D. C., Lenschow, D. H., Malyshev, S. L., Pacala, S. and Rasch, Ph. J., 2011, The influence of large-scale wind power on global climate, PNAS, 101(46), 16115-16120.

Loxsom, F., 2007, Electric power from sun and wind, AP Environmental Science, 2006-2007 Workshop Materials Special Focus, Energy and Climate Change.

Manuel, L. and Nelson, L., 2002, Analysis of time series data on wind turbine loads http://www.ce.utexas.edu/ Prof/ Manuel/ Papers/ TREXReport_ AaronSterns. pdf.

Rasmussen, D. J, Holloway, T. and Nemet, G. F., 2011, Opportunities and challenges in assessing climate change impacts on wind energy a critical comparison of wind speed projections in California, Environmental Research Letters, No. 6, doi:10.1088/1748-9326/6/2/024008.

www.SID.ir