

## ارزیابی انرژی پتانسیل باد در کشور ایران

امیر گندمکار، استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد<sup>۱</sup>

### چکیده

ایران، سرشار از منابع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر است. موقعیت جغرافیایی کشور ایران موجب شده است که منبع بسیار بزرگی از انرژی‌های خورشیدی و بادی در آن موجود باشد. این دو منبع انرژی تجدیدپذیر، رایگان و با محیط زیست سازگار هستند. بررسی آمار ده ساله وزش باد در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور ایران نشان داد که بسیاری از نواحی ایران، از جمله نواحی ساحلی دریای عمان و جزایر خلیج فارس، نواحی ساحلی استان خوزستان و نواحی شرقی کشور به همراه چند نقطه پراکنده مانند: منجیل، رفسنجان، اردبیل و بیجار بادخیز هستند و در آنها توان تولید برق بادی، بویژه در فصل تابستان وجود دارد. البته، در بسیاری از نقاط دیگر کشور هم در زمان‌های محدودی از سال توان تولید برق بادی وجود دارد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، ایستگاه‌های سینوپتیک از نظر سرعت وزش باد، در چهار گروه مختلف قرار می‌گیرند: گروه اول در بیشتر زمان‌های سال توان بادخیزی بالایی دارند؛ گروه دوم در برخی زمان‌های سال در بخش‌هایی از شبانه روز توان بادخیزی بالایی دارند؛ گروه سوم در زمان‌های محدودی از سال دارای توان بادخیزی دارند و گروه چهارم در تمام طول سال توان بادخیزی درخور توجهی ندارند.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی باد، برق بادی، ایستگاه سینوپتیک

## مقدمه

تغییر اقلیم از جمله مسایل و مشکلات جهان امروز است. از زمان انقلاب صنعتی به بعد، فعالیت‌های انسان، بویژه استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تولید الکتریسته، یکی از علل احتمالی تغییر اقلیم بوده است (کاوایی ۱۳۷۸ ص: ۲۷۳).

یکی از راه‌حلهایی که در این زمینه مطرح شده، امروزه به شدت پیگیری می‌شود، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست است. منابع انرژی تجدیدپذیر، آنهایی هستند که فناپذیر نیستند، مانند: انرژی خورشید، انرژی باد، انرژی امواج دریا، انرژی حاصل از جزر و مد و انرژی زمین‌گرمایی. این منابع علاوه بر تجدیدپذیر بودن، با محیط زیست هم سازگار هستند و آلودگی‌های زیست-محیطی ایجاد نمی‌کنند و یا مقدار آلودگی حاصل از آنها بسیار کم و برای کره زمین تحمل‌پذیر است. انرژی‌های تجدیدپذیر، مجالی برای فراهم نمودن انرژی کافی و ایمن فراهم می‌کنند. بنابراین، فرصتی برای توسعه صلح‌آمیز و ایمنی بیشتر خلق می‌کنند. کشورهای دانمارک، آلمان و فنلاند نشان داده‌اند که استفاده از انرژی باد از نظر تکنیکی و اقتصادی انجام‌پذیر است. انرژی بادی بخشی از ترکیب انرژی آینده است که شامل انرژی خورشیدی، نیروی آب، بیومس، انرژی ژئوترمال و غیره است. استراتژی انجمن جهانی انرژی باد بر این مبنا است که تا سال ۲۰۲۰ حدود ۱۰ درصد از انرژی مصرفی جهان را از انرژی باد تأمین کند (World wind energy website, 2002).

نیروی حاصل از انرژی باد برای سه هزار سال مورد استفاده قرار گرفته است. تا اوایل قرن بیستم، انرژی باد برای فراهم آوردن نیروی مکانیکی لازم برای پمپاژ آب یا آسیاب نمودن غلات استفاده شده است. با شروع

صنعتی شدن مدرن، کاربرد انرژی باد کاهش یافت و موتورهای سوخت فسیلی یا شبکه الکتریکی جایگزین آن شد.

در اواخر دهه ۱۹۷۰، همزمان با اولین شوک قیمتی نفت، تمایل شدیدی به انرژی باد ایجاد شد؛ هرچند در این زمان تمرکز اصلی بر فراهم نمودن انرژی الکتریکی حاصل از انرژی باد به جای انرژی مکانیکی بود. این روش، امکان ایجاد منبع انرژی ثابت و قابل اطمینان را همراه با دیگر منابع انرژی، به عنوان پشتیبان شبکه الکتریکی فراهم نمود.

اولین توربین‌های بادی برای تولید الکتریسته در اوایل قرن بیستم تولید شد و تکنولوژی آن تا دهه ۱۹۷۰ گام به گام بهبود یافت. در اواخر دهه ۱۹۹۰، انرژی باد به عنوان یکی از منابع پایدار مهم، دوباره پدیدار شد. در طول آخرین دهه قرن بیستم، توان جهانی استفاده از انرژی باد در هر سه سال تقریباً دو برابر شده است. هزینه‌های برق حاصل از نیروی باد، از اوایل دهه ۱۹۸۰ به بعد، به حدود یک ششم رسیده است و به نظر می‌رسد که این روند ادامه یابد. همچنین؛ تکنولوژی انرژی باد با سرعت به طرف ابعاد جدید حرکت می‌کند. در پایان سال ۱۹۸۹، توربین بادی با توان ۳۰۰ کیلووات و قطر پره‌های ۳۰ متر ساخته شد. فقط ۱۰ سال بعد، توربین‌های ۱۵۰۰ کیلوواتی با قطر پره حدود ۷۰ متری در برخی کارخانه‌ها ساخته شد. اولین پروژه نمایش تجربی کاربرد توربین بادی ۲ مگاواتی با قطر پره ۷۴ متر، قبل از پایان قرن بیستم نصب شد. توربین‌های ۲ مگاواتی، در حال حاضر دارای صرفه اقتصادی هستند و توربین‌های بادی ۴ تا ۵ مگاواتی روز به روز در حال توسعه هستند. اولین مدل آنها در سال ۲۰۰۲ نصب شد.

امروزه انرژی باد نه تنها گزینه‌ای بادوام برای تولید الکتریسته با یک روش قابل اعتماد و توانمند است؛ بلکه در چند کشور به منبع اصلی سیستم تولید انرژی بدل شده است؛ هرچند هنوز هم باید تلاش‌ها برای توانمندتر نمودن و دسترسی بیشتر به انرژی پاک باد در نواحی فقیر جهان بیشتر شود. با وجود اینکه امروزه مزارع بادی بسیار بزرگ متصل به شبکه سراسری در برخی قسمت‌های جهان روند پایداری پیدا کرده است، ولی باید سیستم‌های کوچک مقیاس، ترکیبی و سیستم‌های با توربین‌های مجزا راه‌اندازی شود تا بتوان حداکثر استفاده از انرژی باد را انجام داد.

در سال ۲۰۰۵، تنوع زیاد بازار جهانی انرژی باد همچنان ادامه یافت: یازده کشور توان توربین‌های نصب شده خود را به بالای ۱۰۰۰ مگاوات رساندند: هفت کشورهای آلمان، اسپانیا، دانمارک، ایتالیا، بریتانیا، هلند و پرتغال در اروپا، سه کشور هند، چین و ژاپن در آسیا و کشور آمریکا. این در حالی است که تا دو سال پیش فقط پنج کشور توان توربین‌های نصب شده بالای ۱۰۰۰ مگاوات داشتند. نکته قابل توجه اینکه، پنج کشور آلمان، اسپانیا، آمریکا، هندوستان و دانمارک که بزرگ‌ترین بازار انرژی باد را دارند، در سال ۲۰۰۳ حدود ۸۲ درصد از توان توربین‌های نصب شده را به خود اختصاص می‌دادند، در حالی که این رقم در سال ۲۰۰۴، به حدود ۷۹ درصد و در سال ۲۰۰۵، به حدود ۷۷ درصد کاهش یافت. توان توربین‌های اضافه شده در سال ۲۰۰۵، در این ۵ کشور ۵۳۳۷ مگاوات، یعنی حدود ۶۴ درصد رشد جهانی بوده است، در حالی که این میزان در سال ۲۰۰۳

بیش از ۸۳ درصد از توان انرژی باد، فقط در پنج کشور آلمان، آمریکا، دانمارک، هند و اسپانیا نصب شده است. بنابراین، بیشترین دانش انرژی بادی هم در این کشورها وجود دارد، هرچند کاربرد تکنولوژی انرژی بادی، گسترش سریعی به دیگر نواحی دنیا دارد و اطلاعات مورد نیاز هم باید در تمام دنیا گسترش یابد (Patel and Mukund, 1999).

در سال ۲۰۰۵ رکورد جدیدی در راه‌اندازی انرژی باد در سطح جهان ثبت شد. رشد سریع انرژی باد شامل: کشورهای بیشتر و بیشتری شده است به طوری که در پایان سال ۲۰۰۵، مجموع توان توربین‌های نصب شده انرژی باد به ۵۸۹۸۲ مگاوات رسید. در سال ۲۰۰۳، حدود ۸۱۰۰ مگاوات، در سال ۲۰۰۴، حدود ۱۱۳۱۰ مگاوات بر توان توربین‌های نصب شده انرژی باد اضافه شده است. در سال ۲۰۰۴، نرخ رشد استفاده از انرژی باد ۲۱ درصد بوده و این رقم در سال ۲۰۰۵ به ۲۴ درصد رسیده است. با ادامه روند این رشد، مجموع توان توربین‌های نصب شده جهانی در سال ۲۰۱۰، به ۱۲۰۰۰۰ مگاوات خواهد رسید. امروزه حدود ۱ درصد از الکتریسته جهان توسط انرژی باد تولید می‌شود و این میزان در برخی کشورها به حدود ۲۰ درصد یا بیشتر می‌رسد.

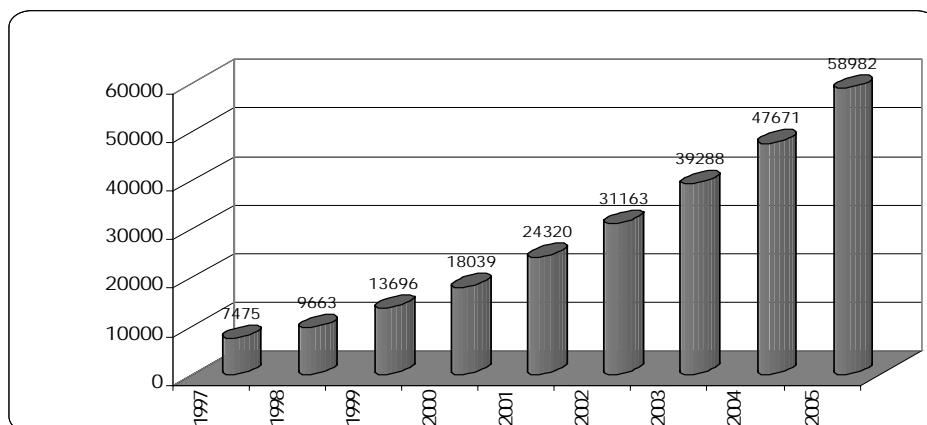
انرژی باد در حال حاضر برای ۲۳۵۰۰۰ نفر در بخش‌های تولید، تکنولوژی، امور مالی، مهندسی، پژوهش و بازاریابی شغل ایجاد نموده و توانسته است خود را به عنوان جایگزین مناسبی برای انرژی‌های فسیلی معرفی نماید.

علت دور بودن از مراکز بزرگ صنعتی و شهری کشور، سوخت‌رسانی به آنها با مشکل همراه است و احداث نیروگاه‌های بخاری - که سوخت فسیلی مصرف می‌کنند - بسیار پرهزینه است. تنها راه رساندن انرژی الکتریکی به این مناطق، اتصال به شبکه سراسری است که آن هم با مشکلات زیادی، از قبیل اتلاف انرژی و هزینه بالای نگهداری همراه است. با این حال، دو منبع انرژی در ایران به وفور یافت می‌شود: اول انرژی خورشید و دوم انرژی باد. آسمان بیشتر نقاط ایران در بیشتر زمان‌های سال صاف و آفتابی است و لذا انرژی تابشی خورشید در تمام طول سال در این مناطق فراهم است. وزش بادهای قوی و مداوم، منبع انرژی بسیار مهم دیگری برای بسیاری از نقاط کشور است. از نظر اقتصادی هم استفاده از انرژی بادی برای تولید برق مناسبتر است، زیرا بهای تولید هر کیلووات ساعت برق از سوخت‌های فسیلی خیلی بیشتر از توربین‌های بادی است و لذا برآورد و پیش‌بینی انرژی باد برای تولید برق‌بادی در ایران ضروری است.

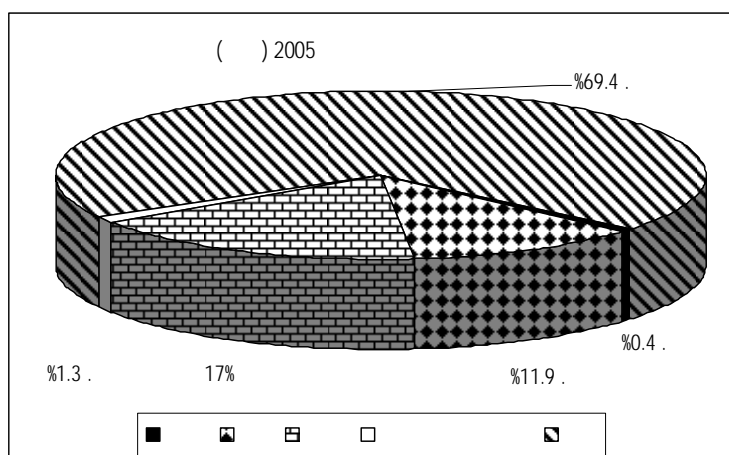
حدود ۷۹ درصد بوده و این امر، بیانگر افزایش تنوع استفاده از انرژی باد در جهان است.

آسیا دارای رشد بسیار سریع ۴۸ درصد بوده است و در آینده نزدیک، بیشترین رشد دنیا را به خود اختصاص خواهد داد. اروپا همچنان دارای بالاترین میزان رشد است، ولی با این وصف، این میزان رشد از ۷۲/۸ درصد به ۶۹/۶ درصد کاهش یافته است: در سال ۲۰۰۵، نیمی از توربین‌های نصب شده در خارج از اروپا بوده است و این در حالی است که در سال ۲۰۰۴ فقط ۲۵ درصد از توربین‌ها در خارج از اروپا نصب شده است. بر اساس نظر انجمن جهانی انرژی باد تا پایان سال ۲۰۰۶، توان توربین‌های نصب شده به ۷۰۰۰۰ مگاوات و در پایان سال ۲۰۱۰، به ۱۲۰۰۰۰ مگاوات خواهد رسید.

در پایان سال ۲۰۰۵ میلادی کشور ایران، با مجموع توان ۳۱/۶ مگاوات تولید برق‌بادی در بین ۶۵ کشور تولید کننده برق‌بادی، در رتبه سی‌ویکم قرار گرفته است. در بسیاری از مناطق کشور ایران، منابع آب سطحی کم است و در واقع امکان تولید برق‌آبی وجود ندارد، یا به



شکل شماره ۱ نمودار توان توربین‌های نصب شده انرژی باد جهانی تا پایان سال ۲۰۰۵



شکل شماره ۲ نمودار توان توربین‌های نصب شده انرژی باد در قاره‌های مختلف تا پایان سال ۲۰۰۵

جدول شماره ۱ توان توربین‌های نصب شده انرژی باد در جهان در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ میلادی

قاره	توان توربین‌های نصب شده تا پایان ۲۰۰۵ به مگاوات	درصد تا پایان ۲۰۰۵	توان توربین‌های نصب شده تا پایان ۲۰۰۴ به مگاوات	درصد تا پایان ۲۰۰۴
اروپا	۴۰۹۳۲	۶۹/۴	۳۴۷۵۸	۷۲/۹
افریقا	۲۵۲	۰/۴	۲۴۰	۰/۵
آمریکا	۱۰۰۳۶	۱۷	۷۳۶۷	۱۵/۵
آسیا	۷۰۲۲	۱۱/۹	۴۷۵۹	۱۰
استرالیا، آرام	۷۴۰	۱/۳	۵۴۷	۱/۱
جهان	۵۸۹۸۲	۱۰۰	۴۷۶۷۱	۱۰۰

مأخذ: انجمن جهانی انرژی باد

پتانسیل انرژی باد در ایران پرداخته و نتیجه گرفته‌است که در کل کشور، ایستگاه زابل (منطقه سیستان) بهترین شرایط را برای احداث مزارع بادی دارد و پس از آن سواحل و جزایر جنوبی ایران برای این امر مناسب هستند. البته، وی اشاره کرده است که برخی مناطق

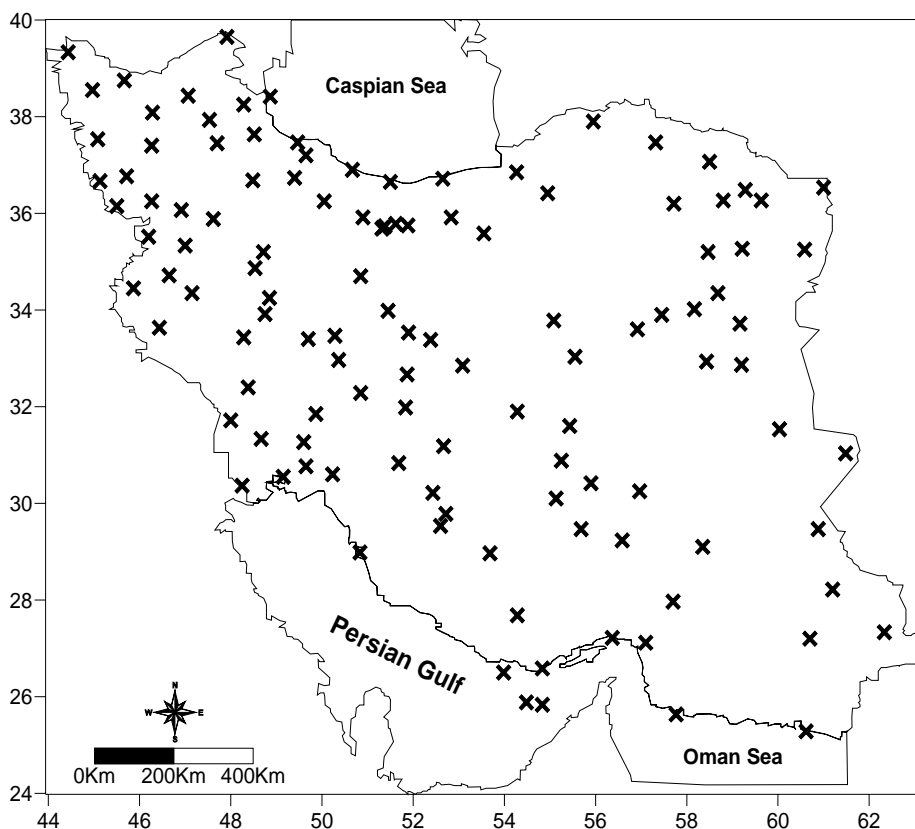
کاوایی (۱۳۷۴)، در مقاله‌ای با عنوان توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران، ضمن بررسی انواع توربین‌های بادی و میزان انرژی باد و سرعت لازم برای تولید برق‌بادی، با استفاده از آمار پنج ساله باد (۱۹۸۱ تا ۱۹۸۵) در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، به ارزیابی

تعداد ۱۶۳ ایستگاه در سطح کشور بررسی گردید و با توجه به دوره زمانی مورد نیاز (ده ساله از اول ژانویه ۱۹۹۴ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۳) تعداد ۱۲۰ ایستگاه (شکل شماره ۳) که دارای آمار کامل برای تمام دوره و یا آمار ده ساله کامل در زمان‌های خاصی از روز بودند، انتخاب شدند. در مجموع، هر ایستگاه دارای ۲۹۲۱۷ داده مربوط به سرعت باد و همچنین، ۲۹۲۱۷ داده مربوط به سمت باد در فاصله‌های سه ساعته است.

کوچک و محدود، مانند دره‌های باریک (دره منجیل) هم برای تولید برق بادی مناسب هستند که باید شناسایی شده و مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

### داده‌ها و روش‌شناسی

به منظور بررسی وضعیت باد در کشور از آمار سه ساعته سمت و سرعت باد در ایستگاه‌های سینوپتیک (سازمان هواشناسی) کشور استفاده شد. ابتدا آمار سمت و سرعت باد با فرکانس سه ساعته (ساعت‌های ۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ بر اساس زمان گرینویچ)، در



شکل شماره ۳ پراکنندگی ایستگاه‌های سینوپتیک دارای آمار باد ۱۰ ساله کامل

وزش باد و حداکثر سرعت وزش باد و درصد وقوع بادهای با سرعت کمتر از ۸ گره (۴ متر بر ثانیه) و بالاتر از ۸ گره (۴ متر بر ثانیه) محاسبه گردید (سرعت مناسب

ابتدا میانگین سرعت باد در طی ده سال برای هر یک از دوره‌های سه ساعته محاسبه شد و سپس، میانگین سرعت

برای استفاده از انرژی باد برای تولید برق بادی حدود ۸ گره یا ۴ متر بر ثانیه است).

### بحث

بالاترین میانگین سالانه سرعت باد در ایران، مربوط به ایستگاه منجیل با سرعت ۱۲/۵ گره (۶/۲۵ متر بر ثانیه) و پس از آن ایستگاه زابل با سرعت ۱۲ گره (۶ متر بر ثانیه) است که اختلاف زیادی را با دیگر ایستگاه‌های کشور نشان می‌دهند. در مرحله بعد ایستگاه‌های خوربیرجند، رفسنجان، کیش، اردبیل و بیجار هم میانگین سالانه سرعت باد بالای ۸ گره (۴ متر بر ثانیه) دارند. همچنین؛ ایستگاه‌های جاسک، الیگودرز، سیری، زرینه‌اوباتو، تربت‌جام، بندر ماهشهر، چابهار، اردستان، بروجرد، بستان، ابوموسی، تبریز، زاهدان، نوژه همدان، سردشت، نایین و کهنوج هم دارای متوسط سالانه سرعت باد بین ۶ تا ۸ گره (۳ تا ۴ متر بر ثانیه) هستند.

پایین‌ترین میانگین سالانه سرعت باد، مربوط به ایستگاه کاشان با حدود ۰/۸ گره (۰/۴ متر بر ثانیه) است و ایستگاه‌های نیشابور، رشت، بشرویه، شمال تهران، خوی، آستارا، کاشمر، میناب، یاسوج، فسا، زرقان، شاهرود، شهرکرد، گرگان، پارس‌آباد، خور و بیابانک، بهبهان، سرپل‌ذهاب، طبس، قوچان، قزوین و دزفول دارای میانگین سالانه سرعت باد زیر ۳ گره (۱/۵ متر بر ثانیه) هستند.

بر اساس میانگین سالانه سرعت باد، نواحی ساحلی دریای عمان و جزایر خلیج فارس، نواحی ساحلی استان خوزستان و نواحی شرقی کشور به همراه چند نقطه پراکنده مانند: منجیل، رفسنجان، اردبیل و بیجار بادخیزترین مناطق کشور و سواحل دریای مازندران، دامنه‌های جنوبی البرز و دامنه‌های شرقی و جنوبی زاگرس آرامترین مناطق کشور هستند. در این میان، چند منطقه جلب توجه می‌کند: مورد اول ایستگاه میناب است که در ساحل دریای عمان واقع شده، اما نسبت به ایستگاه‌های دیگر منطقه دارای میانگین سرعت باد بسیار پایینی است. مورد دوم در ایران مرکزی است. دو ایستگاه اردستان و نایین دارای میانگین سالانه سرعت باد بالای ۶ گره (۳ متر بر ثانیه) هستند، در حالی که چند مورد از نواحی، دارای کمترین میانگین سرعت باد در نزدیکی این دو ایستگاه واقع شده‌اند برای مثال، ایستگاه کاشان که کمترین میانگین سرعت باد در کشور را دارد، در سمت شمال غرب اردستان قرار دارد و همچنین، منطقه بسیار آرام دشت کویر شامل: ایستگاه‌های خور و بیابانک، شاهرود، طبس، فردوس و بشرویه این دو ایستگاه را از شمال و شرق در بر می‌گیرند. مورد سوم ایستگاه دزفول است که با میانگین سرعت باد حدود ۲/۹ گره (۱/۴۵ متر بر ثانیه)، در میان دو منطقه نسبتاً بادخیز لرستان و سواحل خوزستان (بالای ۶ گره یا ۳ متر بر ثانیه) قرار گرفته است. مورد چهارم، ایستگاه اردبیل است که با میانگین

آستارا و منجیل هم بادهایی با سرعت بالای ۶۰ گره (۳۰ متر بر ثانیه) ثبت نموده‌اند.

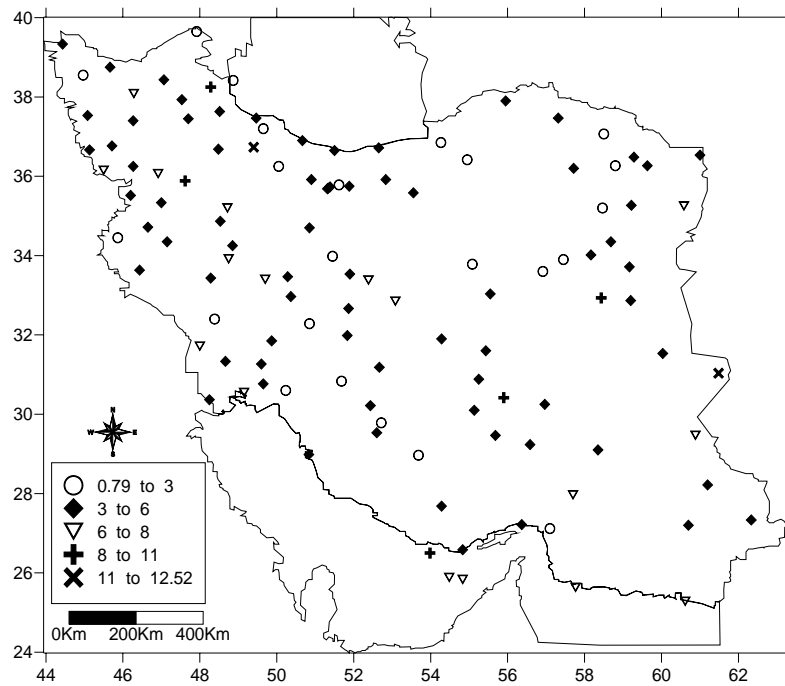
شکل شماره پنج، درصد وزش بادهای با سرعت بالاتر از ۸ گره (۴ متر بر ثانیه) در ایستگاه‌های کشور را نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه، ایستگاه رفسنجان در حدود ۶۶ درصد زمان‌های سال دارای باد با سرعت بالای ۸ گره (۴ متر بر ثانیه) است و از این نظر، رتبه اول را دارد. پس از آن، ایستگاه زابل با حدود ۶۴ درصد در رتبه دوم جای دارد، ایستگاه‌های الیگودرز، تربت‌جام، خور بیرجند، سیری، کیش، جاسک، زرینه‌آب، منجیل و چابهار هم در بیش از ۵۰ درصد زمان‌ها باد با سرعت بالای ۸ گره (۴ متر بر ثانیه) دارند.

ایستگاه کاشان، فقط در حدود ۴ درصد از زمان‌های سال دارای باد با سرعت بالای ۸ گره (۴ متر بر ثانیه) است و از این نظر، در رده آخر قرار دارد. ایستگاه‌های رشت، شمال تهران، کاشمر و گرگان هم کمتر از ۱۰ درصد زمان‌های سال دارای باد با سرعت بالای ۸ گره (۴ متر بر ثانیه) هستند.

سرعت حدود ۸/۴ گره (۴/۲ متر بر ثانیه) از جمله بادخیزترین مناطق کشور است، در حالی که ایستگاه‌های سمت شمال و شرق آن (پارس‌آباد با سرعت ۲/۶ گره یا ۲/۳ متر بر ثانیه و آستارا با سرعت ۲/۱ گره یا ۱/۰۵ متر بر ثانیه) از آرامترین مناطق کشور هستند. مورد پنجم ایستگاه‌های خوربیرجند (با سرعت ۸/۸۶ گره یا ۴/۴۳ متر بر ثانیه) و رفسنجان (با سرعت ۸/۶۷ گره یا ۴/۳۳ متر بر ثانیه) است که جزو بادخیزترین ایستگاه‌های کشور هستند، در حالی که در اطراف این دو ایستگاه و بویژه در غرب ایستگاه خوربیرجند، آرامترین نواحی کشور قرار گرفته است. البته، مهمترین بخشی که در پراکندگی باد در ایران جلب توجه می‌کند، ایستگاه منجیل است که دارای بالاترین میانگین سالانه سرعت باد در کشور است و اطراف آن دو مورد از آرامترین مناطق کشور قرار گرفته است.

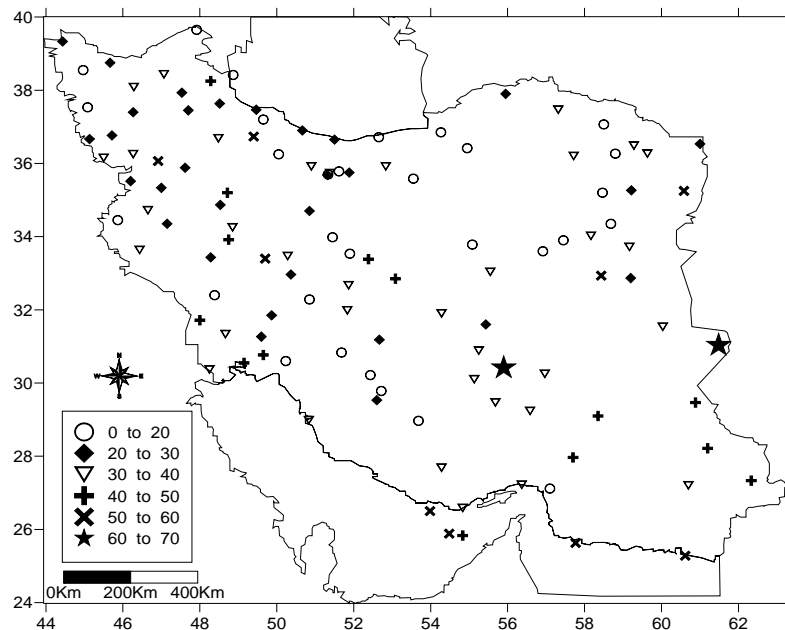
سریعترین باد ثبت شده در ایستگاه‌های کشور، مربوط به ایستگاه خوربیرجند با سرعت ۷۸ گره (۳۹ متر بر ثانیه) است. ایستگاه‌های گل‌مکان، سردشت، سرپل‌ذهاب،





شکل شماره ۴: پراکنندگی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور بر اساس میانگین سرعت وزش باد (گره)

در مجموع، بر اساس متوسط سالانه سرعت باد و ثانیه) می‌توان ایستگاه‌های کشور را در چهار گروه قرار درصد موارد ثبت شده سرعت باد بالای ۸ گره (۴ متر بر داد.



شکل شماره ۵ پراکنندگی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور بر اساس درصد وزش بادهای با سرعت بالاتر از ۸ گره (۴ متر بر ثانیه)

گروه سوم ایستگاه‌های آباد، اهواز، بندرلنگه، فیروزکوه، قائن، بیرجند، گلپایگان، گناباد، فرودگاه همدان، ژئوفیزیک تهران، کرمانشاه، لار، مراغه، میانه، نایین، نهبندان، سنندج، سراب، شهرضا، شرق اصفهان، شیراز، تهران و تربت حیدریه هستند که در زمان‌های محدودی از سال برای تولید برق بادی در مقادیر کوچک و استفاده از باد برای پمپاژ آب مناسب هستند.

گروه چهارم شامل دیگر ایستگاه‌های کشور است که دارای متوسط سالانه سرعت باد بسیار پایین هستند و همچنین از نظر درصد زمان‌های با سرعت باد بالای ۸ گره محدودیت زیادی دارند و در واقع، مناطق بسیار آرامی هستند و برای استفاده از انرژی باد مناسب نیستند.

گروه اول ایستگاه‌های زابل، منجیل، رفسنجان، خور، بیرجند، کیش، الیگودرز، تربت‌جام، سیری، جاسک، اردبیل، زرینه اوباتو، چابهار، بندر ماهشهر، اردستان، ابوموسی، بستان، نوژه همدان، زاهدان و کهنوج هستند که برای استفاده از انرژی بادی، جهت تولید انرژی الکتریکی بسیار مناسب هستند.

گروه دوم ایستگاه‌های بروجرد، تبریز، سراوان، امیدیه، سردشت، ایرانشهر، خاش، بم، آبادان، روانسر، بیجار، گلمکان، اهر، بوشهر، زنجان، کرمان، بندرعباس، سبزواری، بافت، سیرجان، سقز، شهر بابک، ایلام، جلفا، بجنورد، مشهد و ملایر هستند که در بعضی ماه‌های سال یا بعضی از زمان‌های شبانه‌روز برای تولید انرژی برق بادی مناسب هستند.

جدول شماره ۲ ویژگی‌های باد در ایستگاه‌های بادخیز کشور

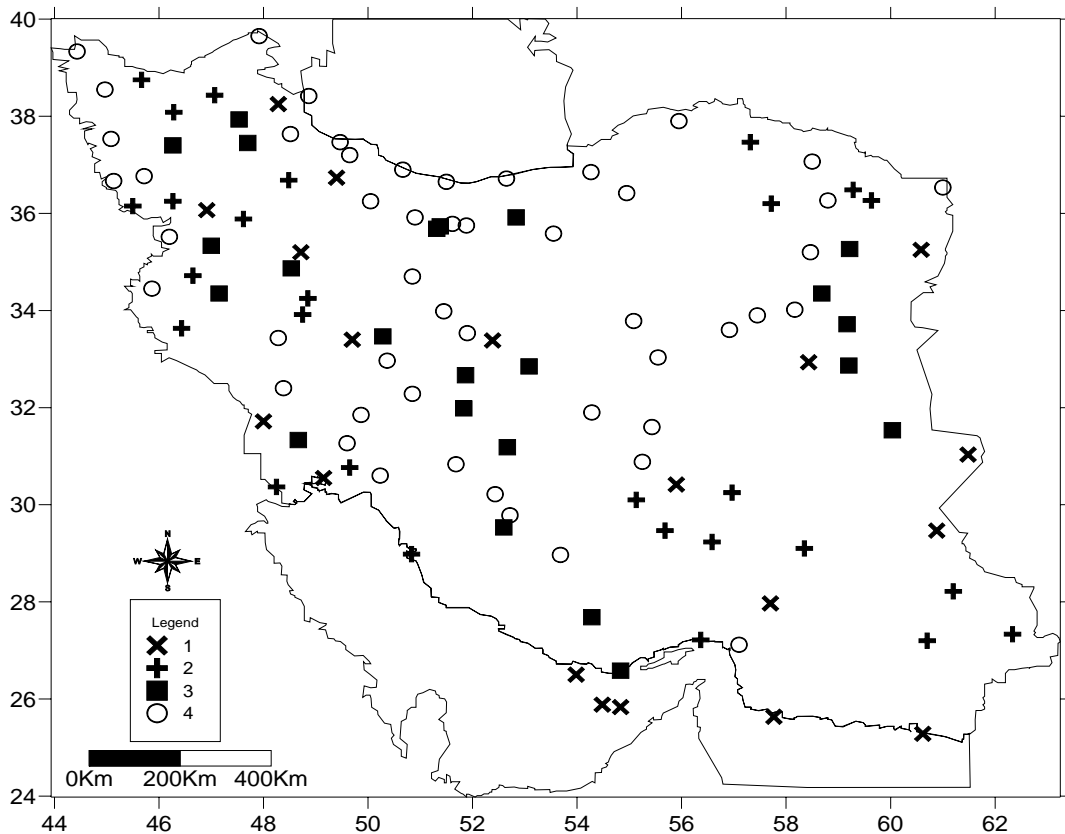
ایستگاه	ماه های بادخیز	زمان های بادخیزی (به زمان ایران)	جهت وزش بادهای سریع
زابل	فوریه تا نوامبر	ساعت ۶ تا ۱۲	شمال غرب
منجیل	فوریه تا اکتبر	ساعت ۱۸	شمال
رفسنجان	فوریه تا می	ساعت ۱۸	جنوب غرب
خوربیرجند	آوریل تا سپتامبر	ساعت ۱۸	شمال غرب و شمال شرق
کیش	فوریه تا می	ساعت ۱۸	شمال غرب
الیگودرز	تمام سال	نامشخص	جنوب شرق
تربت جام	می تا آگوست	ساعت ۱۵ تا ۱۸	شمال غرب
جزیره سیری	نوامبر تا می	ساعت ۱۸	غرب
جاسک	فوریه، مارس، جولای تا سپتامبر	ساعت ۱۲	شمال غرب و جنوب شرق
اردبیل	تمام سال	ساعت ۱۵	غرب و شرق
زرینه اوباتو	تمام سال	ساعت ۱۸	جنوب غرب و غرب

چابهار	فوریه تا آوریل و ژوئن تا سپتامبر	ساعت ۱۵	جنوب شرق
بندرماهشهر	آوریل تا آگوست	ساعت ۱۵	شمال غرب
اردستان	می تا آگوست	ساعت ۲۱	شمال شرق
ابوموسی	نوامبر، فوریه، مارس و آوریل	ساعت ۱۸	غرب
بستان	می تا آگوست	ساعت ۱۵	غرب
نورّه همدان	مارس، آوریل، ژوئن، جولای و آگوست	ساعت ۱۵	جنوب شرق و جنوب غرب
زاهدان	فوریه تا سپتامبر	ساعت ۱۵	شمال شرق
کهنوج	ژوئن تا سپتامبر	ساعت ۱۵ تا ۱۸	جنوب غرب
بروجرد	فوریه تا آوریل	ساعت ۱۸	جنوب
تبریز	مارس تا سپتامبر	ساعت ۱۵	شرق و غرب
سراوان	مارس تا آگوست	ساعت ۱۵	شمال شرق
امیدیه	آوریل تا سپتامبر	ساعت ۱۵	شمال غرب
سردشت	ژوئن تا آگوست	ساعت ۱۵ تا ۱۸	جنوب و شمال
ایرانشهر	می تا سپتامبر	ساعت ۱۵	جنوب غرب و شمال
خاش	فوریه تا آگوست	ساعت ۱۲ تا ۱۸	شمال غرب و شمال
بم	ژوئن تا اکتبر	ساعت ۶ و ساعت ۱۵	غرب
آبادان	می تا سپتامبر	ساعت ۱۸	شمال غرب
روانسر	آوریل تا سپتامبر	ساعت ۱۸ تا ۲۱	غرب
بیجار	مارس تا سپتامبر	ساعت ۱۸	جنوب
گلمکان	فوریه و مارس	ساعت ۱۸	غرب
اهر	دسامبر تا آگوست	ساعت ۱۵ تا ۱۸	غرب و شرق
بوشهر	فوریه تا سپتامبر	ساعت ۱۲	شمال غرب
زنجان	آوریل تا آگوست	ساعت ۱۵	شرق
کرمان	فوریه تا آگوست	ساعت ۱۸	شمال و غرب
بندرعباس	آوریل تا اکتبر	ساعت ۱۸	غرب
سبزوار	ژوئن تا آگوست	ساعت ۱۵ تا ۱۸	شرق
بافت	فوریه تا آگوست	ساعت ۱۵ تا ۱۸	غرب
سیرجان	مارس، آوریل، جولای و آگوست	ساعت ۱۸	جنوب غرب و شمال
سقز	مارس تا اکتبر	ساعت ۱۵ تا ۱۸	جنوب غرب

جنوب غرب و شمال	ساعت ۱۸	مارس، آوریل، جولای و آگوست	شهربابک
غرب	ساعت ۱۵ تا ۱۸	آوریل تا سپتامبر	ایلام
شرق	ساعت ۱۵ تا ۱۸	ژوئن تا آگوست	جلفا
غرب	ساعت ۱۸	می تا آگوست	بجنورد
جنوب شرق	ساعت ۱۵ تا ۱۸	می تا آگوست	مشهد
جنوب شرق	ساعت ۱۵ تا ۱۸	مارس تا می	ملایر
جنوب غرب	--	مارس و آوریل	آباده
شمال غرب	--	ژوئن و جولای	اهواز
جنوب غرب	--	آوریل	بندرلنگه
شمال شرق	--	ژوئن و آگوست	بیرجند
شمال شرق	--	آوریل تا سپتامبر	فیروزکوه
شمال شرق	--	ژوئن تا آگوست	قائن
جنوب شرق	--	ژوئن و جولای	گناباد
غرب	--	آوریل، می و سپتامبر	گلپایگان
غرب	--	مارس تا آگوست	کرمانشاه
غرب	--	مارس تا می	فرودگاه همدان
جنوب غرب	--	آوریل و می	ژئوفیزیک تهران
غرب	--	آوریل، می، جولای و آگوست	لار
شرق	--	جولای و آگوست	مراغه
شرق	--	ژوئن تا آگوست	میانه
غرب و شمال شرق	--	مارس، آوریل، ژوئن و جولای	نابین
شمال	--	ژوئن تا آگوست	نهبندان
جنوب غرب	--	آوریل، می و ژوئن	سنندج
شرق و جنوب غرب	--	مارس، آوریل، جولای و آگوست	سراب
جنوب غرب	--	فوریه تا جولای	شهرضا
غرب	--	مارس تا می	شرق اصفهان
شمال غرب	--	آوریل، می، ژوئن و جولای	شیراز
غرب	--	آوریل و می	تهران
شرق و شمال	--	ژوئن تا آگوست	ترت حیدریه

از نظر زمان روز، بجز ایستگاه زابل که در هنگام صبح بادخیزتر است، دیگر ایستگاه‌های کشور در ساعات بعدازظهر و بویژه هنگام عصر، بادخیزتر از زمان‌های دیگر روز هستند و با توجه به اینکه این زمان، گرم‌ترین زمان‌های روز است و مصرف انرژی الکتریکی برای دستگاه‌های خنک کننده افزایش می‌یابد، لذا می‌توان از انرژی بادی برای تولید انرژی الکتریکی مکمل در این مواقع استفاده نمود.

به طور کلی، در کشور ایران ماه‌های آوریل تا آگوست (فصل‌های بهار و تابستان) بسیار بادخیز هستند و در دو ماه ژوئن و جولای که گرم‌ترین ماه‌های سال هستند، بیشتر نقاط ایران دارای توان تولید انرژی بادی هستند و از آنجاکه در این ماه‌ها تولید انرژی برق‌آبی کاهش می‌یابد مصرف انرژی الکتریکی افزایش می‌یابد، لذا استفاده از انرژی پاک و رایگان باد برای تولید برق بادی بسیار ضروری به نظر می‌رسد.



شکل شماره ۶ گروه‌بندی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور بر اساس توان تولید برق بادی

انرژی که تجدیدپذیر، رایگان و سازگار با محیط زیست است، میزان قابل توجهی انرژی الکتریکی تولید نمود.

#### نتیجه

کشور ایران، از جمله مناطقی است که دارای پتانسیل انرژی بادی زیادی است و می‌توان با استفاده از این

گروه دوم ایستگاه‌های بروجرد، تبریز، سراوان، امیدیه، سردشت، ایرانشهر، خاش، بم، آبادان، روانسر، بیجار، گلمکان، اهر، بوشهر، زنجان، کرمان، بندرعباس، سبزواری، بافت، سیرجان، سقز، شهر بابک، ایلام، جلفا، بجنورد، مشهد و ملایر هستند، که در بعضی ماه‌های سال یا بعضی از زمان‌های شبانه‌روز برای تولید انرژی برق بادی مناسبند.

گروه سوم ایستگاه‌های آباد، اهواز، بندرلنگه، فیروزکوه، قائن، بیرجند، گلپایگان، گناباد، فرودگاه همدان، ژئوفیزیک تهران، کرمانشاه، لار، مراغه، میانه، نایین، نهبندان، سنندج، سراب، شهرضا، شرق اصفهان، شیراز، تهران و تربت حیدریه هستند که در زمان‌های محدودی از سال، برای تولید برق بادی در مقادیر کوچک و استفاده از باد برای پمپاژ آب مناسبند.

گروه چهارم شامل دیگر ایستگاه‌های کشور است که دارای متوسط سالانه سرعت باد بسیار پایین هستند و همچنین از نظر درصد زمان‌های با سرعت باد بالای ۸ گره محدودیت زیادی دارند و در واقع، مناطق بسیار آرامی هستند و برای استفاده از انرژی باد مناسب نیستند. با توجه به مطالب ذکر شده، تولید انرژی برق بادی در ایران هم از نظر پراکندگی مکانی و هم از نظر زمانی بسیار حایز اهمیت است.

نواحی شرقی کشور ایران، از جنوب شرق تا شمال شرق، بادخیزترین منطقه کشور است و در بیشتر زمان‌های سال دارای توان تولید برق بادی است. پس از آن، جلگه خوزستان، جزیره‌ها و سواحل خلیج فارس و دریای عمان، نواحی غربی کشور در استان‌های کردستان، کرمانشاه، لرستان و همدان و نواحی کوچک و پراکنده شامل: منجیل، اردبیل، فیروزکوه، رفسنجان و اردستان هم در بسیاری از زمان‌های سال دارای توان تولید برق بادی هستند. بیشتر نواحی بادخیز کشور ایران از مناطق خشک، محروم و کمتر توسعه یافته است که میزان تولید انرژی الکتریکی در آنها کم است و همچنین رساندن انرژی الکتریکی به این نواحی هم هزینه‌های زیادی دارد. لذا، ایجاد مزارع تولید برق بادی در این نواحی از ضروریات است. بیشتر مصرف انرژی الکتریکی در ایران، در فصل تابستان و به منظور مقابله با گرمای هوا است و بادخیزترین زمان در ایران هم فصل تابستان است.

به‌طور کلی، بر اساس سرعت وزش باد، ایستگاه‌های سینوپتیک کشور به چهار گروه تقسیم می‌شوند:

گروه اول ایستگاه‌های زابل، منجیل، رفسنجان، خور، بیرجند، کیش، الیگودرز، تربت‌جام، سیری، جاسک، اردبیل، زرینه اوباتو، چابهار، بندر ماهشهر، اردستان، ابوموسی، بستان، نوزه همدان، زاهدان و کهنوج هستند که برای استفاده از انرژی بادی جهت تولید انرژی الکتریکی بسیار مناسبند.

## منابع

- Seminar on the Commercialization of Solar, Wind Energy Technologies, Amman- Jordan, 1992.
- 9-Ardehali, M.M, Rural energy development in Iran: Non-renewable and renewable resources, *Journal of Renewable Energy*, xx (2005) 1-8
- 10-Badran, o, Wind turbine utilization for water pumping in Jordan, *Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91 (2003) 1203-1214
- 11-Burton, S. J & Bossanyi. (2001), *Wind energy handbook*. UK, London: British library cataloguing in publication data.
- 12-Hendricks, B, Gone with the wind, *New energy 02 magazine for renewable energy*, No 2, May 2006.
- 13-Kainkwa, R.M.R. (2000), Wind speed pattern and the available windpower at Basotu, Tanzania. *Renewable energy*, 21(2) 2000, pp 289 -295.
- 14-Lonker, O, A farmer's dream, *New energy 02 magazine for renewable energy*, No 2, May 2006.
- 15-Meel, J.V. & Smulders, P. Wind pumping, *World Bank Technical Paper No. 101, Industry and Energy Series*, Washington, DC, USA, 1989.
- 16-Palutikof, J.P., Kelly, P.M., Davies, T.D and Halliday, J.A. Impacts of spatial and temporal windspeed variability on wind energy output, *Journal of Climate and Applied Meteorology* 26, (1987), 1124-1133.
- ۱- بنی هاشم، تاج الدین. (۱۳۶۰). «تخمین توان مفید توربین‌های بادی و تعیین چند محل نمونه در حاشیه کویر و منطقه منجیل»، مقالات سمینار انرژی دربارہ بررسی امکان استفاده از انرژی‌های نو در ایران، وزارت نیرو.
- ۲- حسین‌زاده، سیدرضا. (۱۳۷۶). «بادهای ۱۲۰ روزه سیستان»، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۶.
- ۳- سلیقه، محمد. (۱۳۸۲). «توجه به باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل»، فصل‌نامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱.
- ۴- کاویانی، محمدرضا. (۱۳۷۴). «توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران»، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۶.
- ۵- کاویانی، محمدرضا. (۱۳۷۸). «نیاز انرژی و چشم‌انداز تغییرات اقلیمی در قرن ۲۱»، مجموعه مقالات دومین کنفرانس تغییر اقلیم.
- 6-Ackermann, T & Soeder, L, An overview of wind energy-status 2002, *Renewable & sustainable energy*, 6 (1-2) 2002, pp 67-127.
- 7-A global strategy for wind energy. World wind energy association website. From <http://www.wwindea.org>, 2002.
- 8-Anani, F. & Wakileh, J. The royal scientific society activities in the field of wind energy, *Proceedings of the International*

- World wind energy association website.  
From <http://www.wwindea.org>, 2005.
- 20-Worldwide wind energy boom in 2005:  
58.982 MW capacity installed, World wind  
energy association website. From  
<http://www.wwindea.org>, 2006.
- 21-Wind energy program in India, Indian  
Wind Energy Association, 2003.
- 17-Patel, M. R. (1999), Wind and solar power  
systems. USA, New York: library of  
congress cataloging in publication data.
- 18-Rehmet, F and Gsanger, S and Hossain, J,  
Wind energy international 2005/2006,  
Indian wind energy association, New  
Delhi, India, 2006.
- 19-Worldwide Wind Energy Capacity at  
47.616 MW – 8.321 MW added in 2004,