Archive of SID

# توسعه پایدار در شهرستان فیروزکوه با استفاده از انرژی باد

**امیر گندمکار** *
استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد

## چکیده

توسعه‌ای که سازگار با محیط زیست نباشد، پایدار نیست. امروزه خطرات زیادی محیط زیست را تهدید می‌کند. از روش‌هایی که موجب توسعه پایدار می‌شود، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشید، گرمای زمین، باد و ... است. ایران سرشار از منابع انرژی تجدیدپذیر و غیرقابل‌تجدید است. موقعیت جغرافیایی ایران موجب شده که منبع بسیار بزرگی از انرژی‌های خورشیدی و بادی در آن موجود باشد. این دو منبع انرژی تجدیدپذیر، رایگان و سازگار با محیط زیست هستند. بررسی آمار ١١ ساله وزش باد در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه نشان می‌دهد که امکان استفاده از انرژی بادی برای پمپاژ آب و تولید برق‌بادی در این منطقه وجود دارد. در این پژوهش با استفاده از آمار ٣ ساعته سرعت باد در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه پراکندگی زمانی وزش باد در این منطقه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و مشخص شد که **ماه های** فوریه تا می بالاترین توان استفاده از انرژی باد وجود دارد.

**واژگان کلیدی:** انرژی باد، رژیم باد، برق بادی، ایستگاه سینوپتیک، فیروزکوه.

## مقدمه

استفاده از انرژی باد دارای سابقه طولانی است. اولین آثار ماشین‌های بادی در ایران، تبت و چین در حدود ١٠٠٠ سال قبل یافت شده است. ماشین‌های بادی از ایران به کشورهای اطراف دریای مدیترانه و اروپای مرکزی راه یافت. اولین ماشین‌های بادی در انگلستان در حدود سال ١١٥٠، فرانسه ١١٨٠، فنلاند ١١٩٠، آلمان ١٢٢٢ و در دانمارک در ١٢٥٩ میلادی پدیدار شدند. این توسعه سریع در اثر جنگ‌های صلیبی بود که موجب انتقال دانش ماشین‌های بادی از ایران به اروپا شد(Ackermann, T & Soeder, 2002).

در اروپا، کارائی ماشین‌های بادی در قرن‌های دوازده تا نوزده میلادی به سرعت توسعه یافت. در اواخر قرن نوزدهم، ماشین‌های بادی اروپایی دارای محور چرخنده به قطر ٢٥ متر و بدنه‌ای به قطر ٣٠ متر شد. در هلند ٩٠ درصد از انرژی مورد نیاز صنایع از باد بود. صنعتی‌شدن موجب کاهش ماشین‌های بادی شد، با این حال در سال ١٩٠٤ باد ١١ درصد از انرژی صنایع هلند را تأمین می‌نمود و در آلمان ١٨٠٠٠ واحد انرژی باد نصب شد. همزمان با کاهش ماشین‌های بادی در اروپا، دانش این ماشین‌ها به امریکای شمالی منتقل شد. ماشین‌های بادی کوچک برای پمپاژ آب برای احشام عمومیت

* نویسنده مسئول : ٠٩١٣٣٢٥٤٠٩٧
E-mail:aagandomkar@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

زیادی یافت. این ماشین‌ها به طور کامل خودتنظیم بودند و نیازی به مراقبت نداشتند. صفحه چرخان **آن ها** در جهتی که بیشترین سرعت وزش باد وجود دارد، قرار می‌گرفت(Patel, M. R, 1999).

در کشور ایران دره رودخانه سفیدرود در منطقه منجیل بهترین شرایط را برای احداث مزارع بادی دارد، زیرا باد مداوم با جهت ثابت در بیشتر زم **آن های** سال با سرعت بالا می‌وزد(گندمکار و کیارسی، ۱۳۸۵).

در مناطقی که دارای باد مداوم و با سرعت بالای ۸ گره (٤ متر بر ثانیه) هستند می‌توان از توربین‌های بادی برای مصارف گوناگون استفاده نمود(کاویانی، ۱۳۷٤) یکی از این مصارف پمپاژ آب کشاورزی است، پمپاژ آب از چاه‌ها توسط انرژی باد هم به روش مستقیم با استفاده از پمپاژ مکانیکی و هم به روش غیر مستقیم با تولید انرژی برق بادی ممکن است. پمپاژ مکانیکی آب ارزان است و در سرعت‌های پایین باد انجام می‌شود و هزینه نگهداری و تعمیرات چندان زیادی ندارد. اما تولید انرژی برق بادی هم هزینه‌های زیادی دارد و هم به بادهای با سرعت بالاتر نیاز دارد، **هم چنین** نگهداری و تعمیر توربین و ژنراتور به هزینه زیاد و نیروی متخصص نیاز دارد، با این حال انرژی الکتریکی تولیدشده با توربین‌های بادی دارای مصارف گوناگون است و قابلیت ذخیره سازی هم دارد(Badran, 2003).

## مواد و روش ها

برای بررسی وضعیت باد در فیروزکوه از آمار ۳ ساعته سرعت باد طی ۱۱ سال (۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ میلادی) در ایستگاه سینوپتیک آلودگی هوای فیروزکوه استفاده شد. با توجه به این که متخصصان سرعت بالای ۸ گره را برای استفاده از انرژی بادی مناسب می‌دانند(کاویانی، ۱۳۷٤)، زمان **هایی** که در این ایستگاه‌ها سرعت بالای ۸ گره وجود دارد استخراج شد و دوره زمانی استفاده از انرژی بادی در این منطقه مشخص گردید.

**جدول ۱**: میانگین ماهانه سرعت وزش باد در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه

| سال / ماه | ۱۹۹۵ | ۱۹۹٦ | ۱۹۹۷ | ۱۹۹۸ | ۱۹۹۹ | ۲۰۰۰ | ۲۰۰۱ | ۲۰۰۲ | ۲۰۰۳ | ۲۰۰٤ | ۲۰۰۵ | میانگین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ژانویه | ۱۰/۲ | ۷ | ۹/۸ | ۹/۸ | ۵/۳ | ۷/٦ | ۷/۳ | ۹/۸ | ۸/۷ | ۱۰/٦ | ۱۰/۹ | ۸/۸ |
| فوریه | ۸/۲ | ۹/۲ | ۱۲ | ۹/۸ | ۱۲/۵ | ۸/۷ | ۱۱/٤ | ۱۰/۵ | ۱۳ | ۱۲/۸ | ۱۱/۳ | ۱۰/۹ |
| مارس | ۹/۱ | ۱۰/۵ | ۱۱ | ۱۲/٤ | ۸/٦ | ۱۱/۲ | ۱۰/۱ | ۱۱/۳ | ۱۳/۳ | ۹/٦ | ۱۵/۳ | ۱۱/۱ |
| آوریل | ۱۰/٤ | ۱۰/۸ | ۱۰/۸ | ۱۰/٤ | ۱۰/۵ | ۱۰/۸ | ۱۰/۲ | ۱۳/۲ | ۱۱/٤ | ۱۰ | ۱۲/۸ | ۱۱ |
| مه | ۷/۹ | ۷/۵ | ۸/٦ | ۷/۹ | ۹ | ۱۱/۲ | ۱۲/۷ | ۱۲/۳ | ۷/۸ | ۱۲/۷ | ۱۰/۷ | ۹/۸ |
| ژوئن | ۷/٦ | ۷/۷ | ۷ | ٤/٦ | ۹/۲ | ٦/۷ | ۷ | ۹/۱ | ۷/۱ | ۷/۱ | ۱۰ | ۷/٦ |
| ژوئیه | ۵/۹ | ٦/۱ | ٦/۷ | ۷/۹ | ٦ | ٦/٤ | ۵/۸ | ۵/٦ | ٦/۳ | ۷ | ۹ | ٦/٦ |
| آگوست | ۷/۷ | ٦/۲ | ٦ | ٦/۸ | ۵/٦ | ۵/۹ | ۸/۱ | ۷/٤ | ۷ | ۸/۹ | ۹/٤ | ۷/۲ |

www.SID.ir

Archive of SID

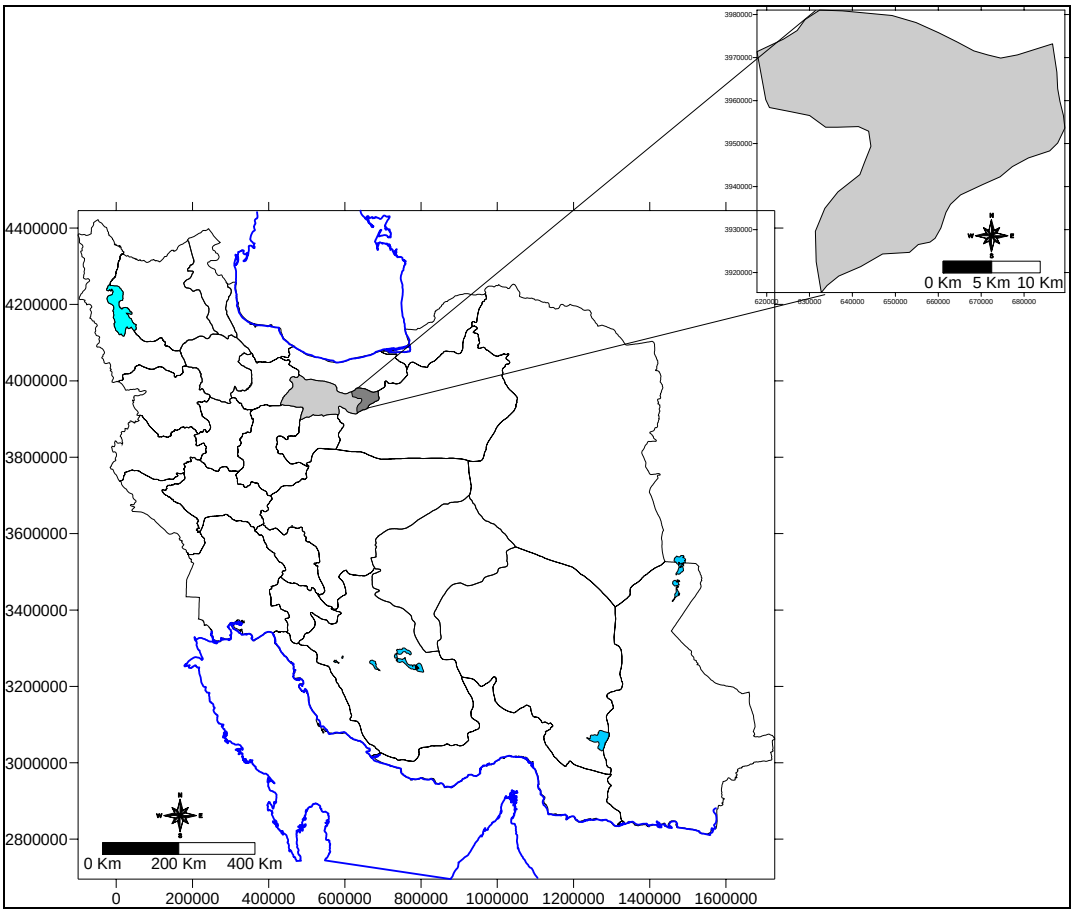
| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **سپتامبر** | ١٠/٢ | ١٠/٦ | ٩/٧ | ٨ | ٧/١ | ٧/٨ | ٨/٥ | ٨/٥ | ٩/٤ | ٩/٥ | ٩/٨ | ٩ |
| **اکتبر** | ٨/٧ | ١٠ | ١٠/٣ | ٨/١ | ١٢ | ٩/٣ | ١٢/٣ | ٨/٧ | ١٠/٥ | ١١ | ١٢/٩ | ١٠/٣ |
| **نوامبر** | ١١/٧ | ٦ | ٥/٨ | ٩/٦ | ٨/٦ | ٦/٤ | ١٠/٣ | ٦/٦ | ٧/٨ | ١٣/٦ | ١٠/٥ | ٨/٨ |
| **دسامبر** | ٧/٩ | ٩/٧ | ٨/٩ | ١١/٤ | ٦/٣ | ١٠/١ | ١٢/٨ | ١٢/١ | ٩/٧ | ١٢/٨ | ١٠/٣ | ١٠/٢ |
| **میانگین** | ٨/٨ | ٨/٥ | ٨/٩ | ٨/٩ | ٨/٤ | ٨/٥ | ٩/٧ | ٩/٦ | ٩/٤ | ١٠/٥ | ١١/١ | ٩/٣ |
| **انحراف معیار** | ١/٧ | ١/٧ | ١/٩ | ١ | ½ | ١/٥ | ١ | ١/٣ | ١/١ | ١/٦ | ٢/٦ | ٢ |
| **ضریب تغییر پذیری** | ٢٠/٢ | ١٥/٦ | ١٧/٥ | ٩/٥ | ٢١/٤ | ١٩/٢ | ١٥/٥ | ١٧/٤ | ١٢/٢ | ١٥/٣ | ٢٩ | ٩/٤ |

## بحث

ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه در شمال کشور ایران و در دامنه های جنوبی کوه های البرز در ارتفاع ٢٩٨٦ متری از سطح آب‌های آزاد واقع شده است(شکل ١) متوسط سالانه سرعت وزش باد بر اساس داده‌های ٣ ساعته، در این ایستگاه ٩/٣ گره است. بر اساس میانگین‌های بلند مدت ماهانه سرعت باد در این ایستگاه، ماه های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، مه سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر دارای متوسط سرعت بالای ٨ گره هستند و در دیگر ماه های سال هم سرعت متوسط بالاتر از ٦ گره است. بالاترین متوسط سرعت وزش ماهانه مربوط به ماه مارس با متوسط ١١/١ گره و کمترین آن مربوط به ماه ژوئیه با متوسط ٦/٦ گره است. بر اساس این اطلاعات پاییز و زمستان در فیروزکوه بادخیزترین زمان ها هستند و در تابستان سرعت باد در پایین‌ترین مقدار خود قرار دارد(شکل ٢).

www.SID.ir

Archive of SID




ماخذ: مولف

**شکل ۱** موقعیت شهرستان فیروزکوه در کشور ایران

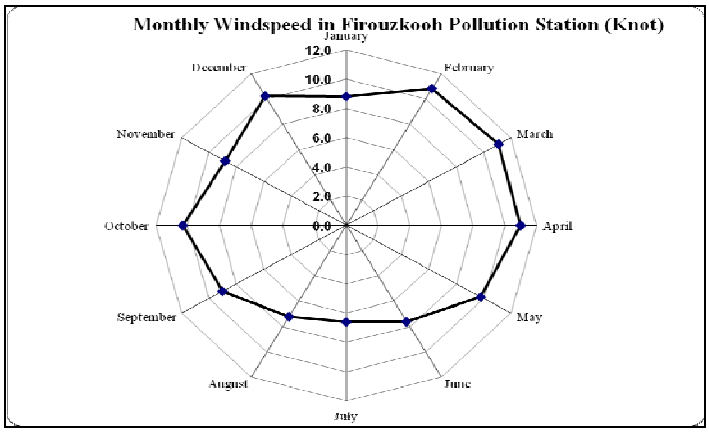
به واقع در ماه های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر میانگین سرعت باد بالاتر از ۸ گره است و برای تولید برق بادی مناسب است و در دیگر **ماه های** سال هم در بخش هایی از شبانه روز سرعت باد به بالاتر از ۸ گره می رسد.

بررسی جهت وزش باد غالب ماهانه در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه نشان می‌دهد کـه در تمـام طـول سـال جهـت وزش باد غالب جنوب غربی است(۲۲۵ درجه) و هم چنین جهت وزش سریعترین بادها هم در یازده ماه سال جنوب غربی است و فقط در ماه ژوئیه که سرعت باد در پایین ترین حد خود است، جهـت وزش سـریعترین بادهـا از جهـت شـرق(۹۰ درجه) است. به این ترتیب مشاهده می شود که جهت وزش باد هم در این ایستگاه از دوام بسیار بالایی برخوردار است.

بررسی سری زمانی وزش باد در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه نشان می دهد که سرعت وزش باد در این ایستگاه بـه طور کلی روند صعودی داشته است. هرچند میزان این افزایش سرعت باد معنی دار نیست(شکل ۳).

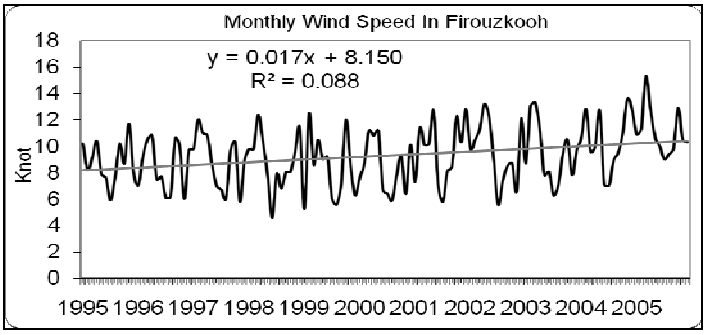
www.SID.ir

Archive of SID



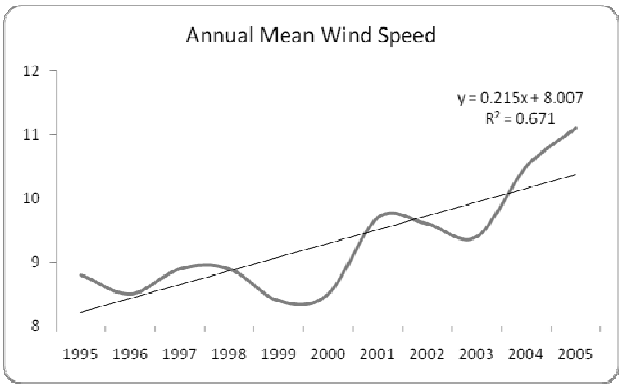

ماخذ: مولف

**شکل ٢** متوسط بلند مدت ماهانه سرعت باد به نات در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه




**شکل ٣** سری زمانی سرعت باد ماهانه در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه

اما بررسی میانگین سالانه سرعت وزش باد نشان می دهد که سرعت سالانه وزش باد در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه روند افزایشی معنی داری داشته است و به طور متوسط سالانه حدود ٠/٢١ نات بر سرعت وزش باد در این ایستگاه اضافه شده است. بالاترین میانگین سالانه سرعت وزش باد در این ایستگاه مربوط به سال ٢٠٠٥ با متوسط ١١/١ نات بوده است و پایین ترین میانگین سالانه سرعت وزش باد در این ایستگاه هم مربوط به سال ١٩٩٩ با متوسط ٨/٤ نات بوده است(شکل ٤).




ماخذ: مولف

**شکل٤** میانگین سالانه سرعت وزش باد در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین میانگین‌های ماهانه در طول دوره زمانی مورد بررسی نشان می دهد که سرعت وزش باد در ماه های فوریه، مارس، آوریل، مه، آگوست، اکتبر و دسامبر روند افزایشی معنی داری داشته است. در ماه ژانویه در طی دوره زمانی مورد بررسی سرعت وزش باد به طور نسبی افزایش یافته است اما این روند افزایشی معنی دار نبوده است و لذا نمی توان سرعت وزش باد در این ماه را صعودی دانست. در **ماه های** فوریه، مارس، آوریل، مه، آگوست، اکتبر و دسامبر سرعت وزش باد در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه روند صعودی داشته است و ظریب همبستگی این روند هم در با احتمال خطای ۱۰٪ معنی دار بوده است. بیشترین شیب روند صعودی سرعت وزش باد هم مربوط به ماه مه با افزایش سرعت ۰/٤ نات در هر سال بوده است. در ماه سپتامبر سرعت وزش باد روند نزولی داشته است ولی این روند کاهشی معنی دار نبوده است(شکل۵).

## نتیجه گیری

انرژی باد از جمله انرژی های نو و تجدیدپذیر است که استفاده از آن به منظور تولید برق بادی سرعت رو به رشد بالایی را نشان می دهد. طی سال های اخیر استفاده از این انرژی در ایران به ویژه منطقه منجیل شروع شده است، ولی در دیگر نقاط کشور فعالیت چندانی در این زمینه صورت نگرفته است.

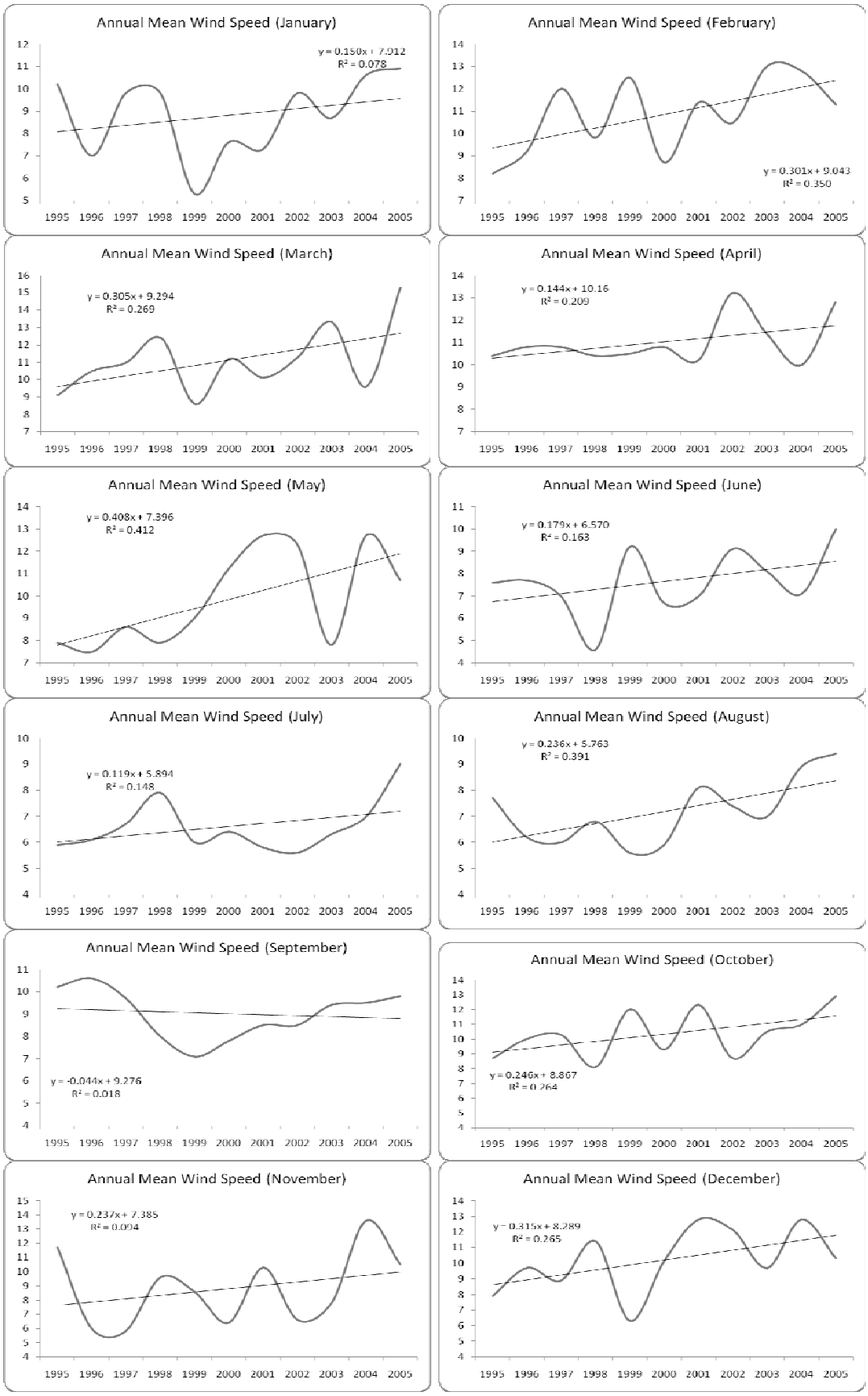
با توجه به این که منطقه فیروزکوه هم شرایطی نزدیک به منجیل دارد لازم است که مطالعه برای استفاده از انرژی باد در این منطقه نیز در دستور کار مسئولان امر قرار گیرد.

متوسط سالانه سرعت وزش باد در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه ۹ گره است. بر اساس میانگین‌های بلند مدت ماهانه سرعت باد در این ایستگاه، ماه های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر دارای متوسط سرعت بالای ۸ گره هستند و در دیگر ماه های سال هم سرعت متوسط بالاتر از ٦ گره است. به واقع در ماه های ماه های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر میانگین سرعت باد بالاتر از ۸ گره است و برای تولید برق بادی مناسب است و در دیگر ماه های سال هم در بخش هایی از شبانه روز سرعت باد به بالاتر از ۸ گره میرسد.

بررسی جهت وزش باد در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه نشان می‌دهد که در بیشتر طول سال جهت وزش باد غالب جنوب غربی است و فقط در ماه ژوئیه که سرعت باد در پایین ترین حد خود است، جهت وزش باد در برخی زمان های ماه شرقی است. به این ترتیب مشاهده می شود که در تمام طول سال به جز ماه ژوئیه می توان در منطقه مشرف به ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه از انرژی باد به منظور تولید برق بادی استفاده نمود زیرا دوام سرعت و جهت وزش باد این امکان مهم را برای این منطقه از کشور ایران فراهم نموده است.

www.SID.ir

Archive of SID




ماخذ: مولف

**شکل ٥** میانگین های ماهانه سرعت وزش باد به نات در ایستگاه آلودگی هوای فیروزکوه

www.SID.ir

Archive of SID

## منابع


۱- بنی هاشم، تاج الدین، (۱۳٦۰): تخمین توان مفید توربین‌های بادی و تعیین چند محل نمونه در حاشیه کویر و منطقه منجیل، مقالات سمینار انرژی درباره بررسی امکان استفاده از انرژی‌های نو در ایران، وزارت نیرو.

۲- حسین‌زاده، سیدرضا، (۱۳۷٦): بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ٤٦.

۳- سلیقه، محمد، (۱۳۸۲): توجه به باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل، فصل‌نامه جغرافیا و توسعه، شماره.۱

٤- کاویانی، محمدرضا، (۱۳۷٤): توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳٦.

۵- کاویانی، محمدرضا، (۱۳۷۸): نیاز انرژی و چشم‌انداز تغییرات اقلیمی در قرن ۲۱، مجموعه مقالات دومین کنفرانس تغییر اقلیم.

٦- گندمکار، امیر و کیارسی، فرینوش، (۱۳۸۵): تولید برق بادی و پمپاژ آب کشاورزی با استفاده از انرژی باد در نواحی بادخیز استان اصفهان، کنفرانس جغرافیا و قرن ۲۱، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۵.

۸- گندمکار، امیر، (۱۳۸۵): بررسی سینوپتیک انرژی باد در منطقه سیستان، پایان‌نامه دکتری رشته اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان به راهنمایی دکتر سید ابوالفضل مسعودیان.

۹- گندمکار امیر و کیارسی، فرینوش، (۱۳۸۵): ارزیابی انرژی پتانسیل باد درکشور ایران، بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی انرژی برق، پژوهشگاه نیرو، تهران، آبان‌ماه ۱۳۸۵.

۱۰- موسوی. الف، (۱۳٦۷): آس بادها یا آسیاب‌های بادی در سیستان، مجله ساختمان، شماره ٦.

11- Ackermann, T & Soeder, L, (2002): An overview of wind energy-status 2002, Renewable & sustainable energy, 6 (1-2) 2002, pp 67-127.

12- Anani, F. & Wakileh, J, 1992: The royal scientific society activities in the field of wind energy, Proceedings of the International Seminar on the Commercialization of Solar, Wind Energy Technologies, Amman- Jordan.

13- Ardehali, M.M, (2005): Rural energy development in Iran: Non-renewable and renewable resources, Journal of Renewable Energy, xx (2005) 1-8

14- Badran, o, (2003): Wind turbine utilization for water pumping in Jordan, Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 91 (2003) 1203 – 1214

15- Burton, S. J & Bossanyi, (2001): Wind energy handbook. UK, London: British library cataloguing in publication data.

16- Gandomkar, A & Kiarsi, F, (2006): A synoptic study of wind energy in Sistan region, 5th wind energy conference, New Delhi, India, November 2006.

17- Kainkwa, R.M.R, (2000): Wind speed pattern and the available windpower at Basotu, Tanzania. Renewable energy, 21(2) 2000, pp 289 -295.

18- Meel, J.V. & Smulders, P, (1989): Wind pumping, World Bank Technical Paper No. 101, Industry and Energy Series, Washington, DC, USA.

19- Patel, M. R, (1999): Wind and solar power systems. USA, New York: library of congress cataloging in publication data.

20- World wind energy association website 2002. A, global strategy for wind energy. From: http//www.wwindea.org.

21- Yarnal, B, (1993): Synoptic climatology in environmental analysis: a primer. UK, London: Belhaven.


www.SID.ir