

## پتانسیل سنجی انرژی باد و خورشید در شهرستان شهرکرد

شهرام عکاشه<sup>۱\*</sup>، مجتبی نادری بلداجی<sup>۲</sup>، سجاد رستمی کندری<sup>۳</sup>، مهدی قاسمی ورنامخواستی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>. کارشناس ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (shahram.akashehe@yahoo.com)

<sup>۲</sup>. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

<sup>۳</sup>. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

<sup>۴</sup>. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

### چکیده

بی‌شک در آینده با اتمام انرژی‌های فسیلی، استفاده از منابع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر ضروری است. این تحقیق شامل دو مبحث انرژی باد و خورشید است. در ابتدا پتانسیل انرژی باد در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد سنجیده شد. با استفاده از آمار بادهای ساعتی و روزانه ده‌ساله از ایستگاه مذکور، میانگین سرعت باد ۲/۸۱ متر بر ثانیه، چگالی توان باد در هریک از طبقات سرعت در ماه‌های مختلف و با در نظر گرفتن باد آرام ۶۹/۱۲ وات بر مترمربع، ضریب تغییرات باد ۴۹/۱۱ درصد و ضریب ثبات باد ۱۹/۲ درصد به دست آمد. جهت باد غالب در ایستگاه شهرکرد، جنوب غربی و درصد فراوانی آن ۱۶/۲۲ می‌باشد. بیشترین ساعات موجودیت باد مربوط به ساعت ۱۲ و کمترین ساعات موجودیت باد در ساعت ۳ صبح اتفاق می‌افتد. در این ایستگاه، ۵۳/۳ درصد از اوقات سال، بادی وجود ندارد. به شرط استفاده از توربین‌های کوچک با توان پایین به صورت جزئی، از کل ساعات سال، ۴۰۳۲ ساعت توربین بادی می‌تواند در این ایستگاه تولید انرژی نماید اما توان تولیدی ناچیز برآورد شد. قدرت نظری و عملی توربین بادی در این ایستگاه با قطر پره ۴ متر به ترتیب ۱۲۴/۴ و ۳۷/۶۶ وات بر مترمربع است. در این ایستگاه به دلیل پایین بودن سرعت باد، تغییرات مکرر و همچنین نداشتن تداوم و ثبات بادهای موجود، بهره‌برداری از انرژی باد به‌سختی امکان‌پذیر بود و در سطح وسیع عملاً مقرون‌به‌صرفه‌ی اقتصادی نیست. در مبحث پتانسیل انرژی خورشید در ایستگاه مورد مطالعه نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که حداقل متوسط ماهانه انرژی تابشی کل روزانه به میزان ۲/۱۵ مگاژول در هر مترمربع در ماه آوریل و حداکثر آن به میزان ۳/۲۴ مگاژول در هر مترمربع در ماه سپتامبر و متوسط آن به میزان ۲/۶۵ مگاژول در هر مترمربع در روز دریافت می‌شود. همچنین مقدار ضریب صافی آسمان برای تمام روزهای سال نشان داد که به‌طور متوسط ۴۶/۷۲ درصد از روزهای شهرستان شهرکرد دارای آسمانی صاف و فقط ۵۳/۲۸ درصد از روزها آسمان این شهر ابری یا نیمه‌ابری است. پس از بررسی‌ها، با توجه به مقادیر انرژی دریافتی، ضریب صافی آسمان و شفافیت هوا مشخص شد که در شهرستان شهرکرد امکان استفاده از انرژی خورشیدی در همه زمین‌ها، از جمله تولید انرژی الکتریکی وجود دارد. در نهایت بهترین مدل برای محاسبه‌ی انرژی خورشیدی در منطقه‌ی مورد مطالعه و نقاط هم اقلیم آن، مدل پیچ است. هرچند به خاطر شباهت‌های موجود می‌توان از مدل ایرانی یعقوبی-جعفرپور، با ضمن رعایت تبدیل واحدها به صورت توأم با مدل پیچ نیز استفاده کرد.

**واژگان کلیدی:** پتانسیل انرژی باد، باد غالب، قدرت باد، میانگین سرعت باد، توربین بادی، ایستگاه سینوپتیک شهرکرد.

نویسنده مسئول: shahram.akashehe@yahoo.com



دانشگاه شهید چمران اهواز

انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و کانیزاسیون ایران



دوازدهمین کنگره ملی  
مهندسی مکانیک بیوسیستم  
و مکانیزاسیون ایران

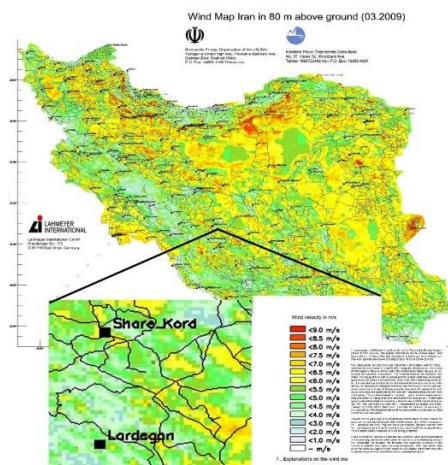
۱۶ - ۱۸ بهمن ماه ۱۳۹۸

دانشگاه شهید چمران اهواز

## پتانسیل سنجی انرژی باد و خورشید در شهرستان شهرکرد

### مقدمه:

ادامه روند رشد جمعیت کره زمین و افزایش روزافزون تقاضای انرژی در جوامع بشری، هشدار کارشناسان مبنی بر روبه‌زوال بودن منابع متداول انرژی و ضرورت تنوع بخشیدن به منابع انرژی، از جمله مواردی هستند که ذهن بشر را برای یافتن منابع جایگزین انرژی ترغیب می‌کنند. بهترین گزینه و راه‌حل برای بحران فوق، به‌کارگیری انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر است. باد یکی از پاک‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر است که مزایای استفاده از آن در تولید انرژی نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر باعث توسعه سریع بازار انرژی بادی و به‌تبع آن، ارتقاء فناوری و رشد چشمگیر مطالعه کاربردی این فراسنج اقلیمی در میان جوامع پیشرفته جهان گردیده است. بادهای جهان جمعاً حدود  $2700 \text{ TW}$  انرژی نهفته دارند که حدود ۲۵ درصد آن در ۱۰۰ متری سطح زمین قرار دارد [۶]. هرچند ایران از پیشگامان استفاده از انرژی باد بوده است [۲۵]، اما هم‌اکنون استفاده از این انرژی در ایران بسیار محدود است. این در حالی است که این سرزمین از وجود مناطق بادخیز و مستعدی برخوردار است. آسیاب‌های بادی فراوان به‌جامانده از روزگاران کهن که تعدادی از آنان هنوز پابرجا و مشغول به کارند، می‌توانند گواهی بر این ادعا باشند. مباحث پتانسیل سنجی و مکان‌یابی مناطق مستعد از نظر انرژی باد و خورشید در سراسر جهان و هم‌چنین کشور ما حائز اهمیت می‌باشد. در خصوص پتانسیل سنجی انرژی باد هیچ‌گونه پژوهشی تاکنون در استان چهارمحال و بختیاری انجام نشده است. اما در دهه‌ی اخیر سازمان هواشناسی کل کشور با مشارکت اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری اقدام به تهیه و ترسیم نقشه‌های باد در بحث پتانسیل سنجی نموده است. از این رو با توجه به نقشه‌ی ارائه شده باد کشور، استان چهارمحال و بختیاری با حداقل سرعت باد  $2 \text{ m/s}$  و حداکثر سرعت باد  $5 \text{ m/s}$  در سال‌های اخیر می‌تواند بیان‌کننده سطح پتانسیل باد این استان در محدوده‌ی ضعیف تا متوسط کشور باشد [۳۴].



شکل ۱-۱ نقشه پتانسیل باد ایران در ارتفاع ۸۰ متری از سطح زمین، پتانسیل باد شهرکرد [۳۵].

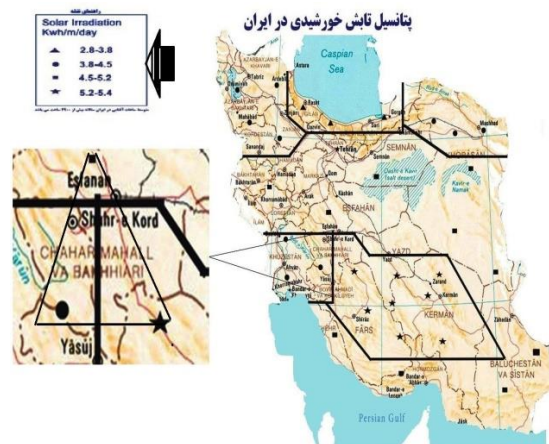
با توجه به شکل ۱-۱ شواهد نشان می‌دهد که از میان استان‌های کشورمان، استان‌هایی نظیر سمنان، سیستان و بلوچستان، خراسان رضوی و جنوبی، یزد، اصفهان و قم دارای پتانسیل باد بسیار مطلوبی هستند. استان چهارمحال و بختیاری نیز در مقایسه با استان‌های مذکور دارای پتانسیل باد در حد مطلوب است. در استان چهارمحال و بختیاری نیز شهرستان شهرکرد در مقایسه با سایر شهرستان‌های استان دارای پتانسیل باد بیشتری می‌باشد. همچنین از میان نواحی مختلف شهرستان شهرکرد، ارتفاعات شمال شهرکرد بیشترین سرعت باد و جنوب آن کمترین مقدار را دارا می‌باشند. ایستگاه سینوپتیک شهرکرد با ارتفاع ۲۰۶۱ متر از سطح دریا با طول جغرافیایی ۵۱° ۲۸' ۴۹ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲° ۰۹' ۳۱ درجه شمالی در شهرکرد واقع شده است. یکی از فاکتورهای مهم در پتانسیل سنجی باد، چگالی هوا است. چگالی هوای یک منطقه وابسته به دما و میزان رطوبت هوای آن منطقه است که با استفاده از پارامترهای دما و بارش می‌توان به آن دست یافت. سرعت باد نیز وابسته به چگالی هوا، جهت وزش باد غالب و ارتفاع از سطح دریاست [۳۶].

خورشید یکی از منابع مهم انرژی است. میلیاردها سال است که خورشید بر زمین می‌تابد و به آن انرژی می‌بخشد. منشاء اغلب انرژی‌های موجود، انرژی خورشیدی است. انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر شکل‌های انرژی مزایای بسیاری دارد. مهم‌ترین مزیت آن لایزال بودن آن است. مزیت دیگر انرژی خورشیدی آلوده نکردن محیط‌زیست است. درحالی‌که استفاده از سوخت‌های فسیلی علاوه بر خطر اتمام این سوخت‌ها تولید گازهای سمی و آلودگی هوا، آب و زمین، افزایش دمای کره‌ی زمین و ... را به دنبال دارد. برای کاهش آلودگی‌های مختلف ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و استفاده‌ی بهینه از نفت و گاز در زمینه‌های صنعتی، لازم است به انرژی خورشیدی که منبعی لایزال، پاک و سازگار با محیط‌زیست است، توجه بیشتری شود [۳۶]. عوامل متعددی از جمله عوامل جغرافیایی مانند طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، زاویه‌ی تابش خورشید، زاویه میل خورشیدی و عناصر هواشناسی مانند تغییرات دمای روزانه، تغییرات مقدار رطوبت نسبی، میزان بارندگی، مقادیر ابر موجود در آسمان، ساعات خورشیدی در طول روز و ... در میزان تابش خورشیدی در یک محل مؤثر است. مهار کردن و استفاده از منبع عظیم انرژی خورشیدی مستلزم شناخت و آگاهی از کمیت و ماهیت آن و عوامل جغرافیایی و اقلیمی مؤثر در شدت تابش خورشیدی در هر منطقه است. این گونه اطلاعات نه تنها در طراحی و ارزیابی سیستم‌هایی که با انرژی خورشیدی کار می‌کنند، مورداستفاده قرار می‌گیرد، بلکه در زمینه‌های مختلف اقلیم‌شناسی، هوا-شناسی، زیست‌شناسی، کشاورزی، معماری، تأسیسات و ... نیز کاربرد دارند. بنابراین قبل از اجرای پروژه‌های بهره‌برداری انرژی خورشیدی، ارزیابی تمامی پارامترهای فوق ضروری است. پس از اطلاع از عوامل و عناصر فوق، قدم بعدی در برنامه-ریزی برای استفاده از انرژی خورشیدی، پتانسیل سنجی منطقه با توجه به داده‌های اقلیمی است، که از دو طریق اندازه‌گیری مستقیم انرژی خورشیدی و استفاده از مدل‌های موجود برای تخمین انرژی خورشیدی میسر خواهد شد [۳۶].

اطلاعات درست و دقیق در مورد تابش خورشیدی اولین و مهم‌ترین نیاز در طراحی‌های کاربردی انرژی خورشیدی می‌باشد. بنابراین برای تعیین میانگین واقعی انرژی دریافتی از خورشید بر هر سطحی می‌بایست از اندازه‌گیری‌های دقیق سنجش تابش خورشیدی در فاصله‌های زمانی طولانی مدت استفاده نمود. در کشور ما ایستگاه‌های سنجش تابش خورشیدی در بسیاری از مناطق وجود ندارد و برخی از اندازه‌گیری‌های موجود نیز دارای خطا بوده و از دقت کافی برخوردار نمی‌باشند. بنابراین برآورد میزان انرژی خورشیدی دریافتی در هر منطقه با استفاده از داده‌های سینوپتیکا و بکار بردن مدلی که بهترین نتیجه را ارائه دهد، امری بسیار ضروری است. مطالعه وسیع و چشمگیر روی برآورد انرژی خورشیدی از دهه ۱۹۷۰ که کاربرد انرژی خورشیدی به صورت جدی مطرح گردید، در بیشتر نقاط جهان صورت گرفته

و مدل‌های مناسبی با توجه به شرایط جغرافیایی و اقلیمی مناطق مختلف ارائه شده است. تغییرات زیاد عرض جغرافیایی در کشور ما یکی از عوامل مهمی می‌باشد که تفاوت چشم‌گیر بین شمال و جنوب کشور را به لحاظ میزان دریافت انرژی تابشی خورشیدی موجب می‌شود. بنابراین مدل‌سازی مناسب جهت برآورد میانگین ماهانه انرژی خورشیدی دریافتی روزانه در سطح افق برای مناطق مختلف کشور و در نتیجه استفاده صحیح و کارآ از انرژی خورشیدی در تأمین انرژی مورد نیاز کشور و در نتیجه کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی نقش مهمی را ایفاء خواهد نمود. آمار و نقشه‌های تابش خورشیدی ارائه شده از سوی سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) نشان می‌دهند که کشور ایران به ۴ کلاس تابش تقسیم بندی شده است:

- ۱: مناطقی که دارای تابش  $2/8-3/8$  kWh/m<sup>2</sup>/day می‌باشند.
- ۲: مناطقی که دارای تابش  $3/8-4/5$  kWh/m<sup>2</sup>/day می‌باشند.
- ۳: مناطقی که دارای تابش  $4/5-5/2$  kWh/m<sup>2</sup>/day می‌باشند.
- ۴: مناطقی که دارای تابش  $5/2-5/4$  kWh/m<sup>2</sup>/day می‌باشند [۳۶].



شکل ۱-۲ پتانسیل تابش خورشید در ایران-پتانسیل تابش خورشید در شهرکرد [۳۶].

با توجه به شکل ۱-۲ استان چهارمحال و بختیاری از نظر پتانسیل تابش خورشیدی بین کلاس‌های ۳-۱ قرار گرفته است. شهرکرد نیز در بین ۳ ناحیه تابش خورشیدی؛ جنوب شرقی، جنوب غربی و مرکز ایران واقع شده است [۳۶]. در این تحقیق به کمک عوامل و عناصر اقلیمی نظیر ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، میزان ابرناکی، ماکزیمم دما، میزان بارندگی، عرض جغرافیایی، ارتفاع محل از سطح دریا، زاویه تابش، زاویه میل خورشید، زاویه سمت‌الرأس، میزان ضریب صافی آسمان، ضریب ابر، زاویه تابش، طول روز نجومی و با استفاده از مدلی متناسب با شرایط اقلیمی شهرستان شهرکرد به امکان‌سنجی انرژی خورشیدی اقدام شده است.

### مواد و روش‌ها

از آنجایی که باد یک کمیت برداری بوده و دارای جهت و سرعت است تخمین سمت و سرعت باد در ساعات فاقد آمار، غیرممکن بوده و در صورت تخمین نیز با خطا همراه است [۱۷]. اولین و اساسی‌ترین مسئله برای استفاده از انرژی



باد و برآورد پتانسیل آن محاسبه چگالی باد می‌باشد. بی‌شک، برای انتخاب یک محل به‌عنوان نیروگاه بادی، به دست آوردن برخی از پارامترهای مربوط به سرعت و جهت باد برای آن منطقه حائز اهمیت است. از مهم‌ترین این پارامترها می‌توان به سرعت میانگین سالانه و نیز چگالی توان باد اشاره کرد. جهت بررسی و تجزیه و تحلیل آمار سرعت و جهت باد منطقه شهر کرد از آمار سه‌ساعته متوالی ایستگاه سینوپتیک شهر کرد استفاده شد. با توجه به خلأ قابل‌ملاحظه آماری موجود در بین این داده‌ها و ضرورت توالی داده‌ها در محاسبه چگالی توان باد، آمار سه‌ساعته متوالی روزانه (هشت بار در هر شبانه‌روز) ایستگاه موردبررسی در یک دوره زمانی ده‌ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۴) موردبررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت بررسی آماری داده‌ها از نرم‌افزارهای IBM SPSS Statistics (21) و Microsoft Office Excel (2013) استفاده شد. همچنین از روابط موجود میزان، میانگین سرعت عددی، انحراف معیار و چگالی توان باد محاسبه شد. برای ثبت داده‌های مذکور در ایستگاه سینوپتیک شهرستان از بادسنج و بادنمای لامبریخت استفاده شده است. محاسبات انجام‌شده برحسب واحد متر بر ثانیه می‌باشد. به‌منظور آنالیز و ترسیم گلبداها از نرم‌افزار WR Plat (7) استفاده شد. علاوه بر پردازش داده‌ها به روش گشتاورها، داده‌های موجود با استفاده از توزیع احتمالات و مدل ریاضی تابع توزیع احتمال و بیول پردازش شد، چرا که تجارب به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که این تابع توزیع احتمال برای بررسی و محاسبات آماری باد در یک محل بیشترین انطباق و کاربرد را دارد [۱۷]. پس از محاسبه اجزای تابع مذکور، برخی از فراسنج‌های مربوط به محاسبه انرژی باد قابل تخمین‌اند. درخصوص انرژی خورشید، عوامل متعددی در میزان تابش خورشیدی در یک محل مؤثر است. عوامل جغرافیایی مانند طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، زاویه تابش خورشید، همچنین عناصر هواشناسی مانند دمای روزانه، مقدار رطوبت نسبی، میزان بارندگی، مقدار ابر موجود در آسمان، ساعات خورشیدی در طول روز، میزان آلودگی هوا و گردوغبار محل. بنابراین جهت انجام این مطالعه از عوامل اقلیمی ایستگاه سینوپتیک شهر کرد و عناصر اقلیمی روزانه آن شامل ساعات آفتابی، تشعشع خورشیدی، رطوبت نسبی، ماکزیمم دما، میزان ابرناکی و روزهای بارانی در ماه طی یک دوره آماری ده‌ساله از (۲۰۱۴-۲۰۰۴) استفاده شد. جهت بررسی آماری داده‌ها از نرم‌افزار Excel و همچنین جهت پردازش داده‌ها و میزان تابش خورشید از مدل پیچ استفاده شد.

### اوضاع کلی انرژی باد

به‌منظور درک نمای کلی وضعیت باد در ایستگاه مورد مطالعه، جهات و فراوانی‌های سرعت باد در یک دوره آماری ده‌ساله و بازه زمانی سه‌ساعته بررسی و نتیجه کار به صورت فراوانی و درصد وزش باد در جهات مختلف جغرافیایی و طبقات مختلف سرعت در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۳-۱ از مجموع ۱۱۵۷۷ مورد برداشت باد (شامل تمام سرعت‌های باد و رخداد صفر) در تعداد ۶۸۲۳ مورد مشاهده (شامل تمام سرعت‌های باد بدون رخداد صفر) باد اتفاق افتاده است یا به عبارتی ۵۸/۹۳ درصد از کل موارد برداشت بیانگر وجود باد بوده است. سرعت باد یک کمیت یا یک متغیر تصادفی است و مقادیر آن با یک احتمال همراه می‌باشد. لذا برای شناخت رژیم باد در یک منطقه و نیز برآورد میزان انرژی قابل حصول سالیانه آن، لازم است اطلاعات مربوط به سرعت و جهت باد را که از مشاهدات و اندازه‌گیری‌های مکرر حاصل می‌شوند، مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

### میانگین سرعت باد

میانگین سرعت باد در مدت زمان اندازه‌گیری  $t$  ( $t_2 - t_1$ ) در حالت کلی از رابطه (۳-۱) محاسبه می‌شود.

$$\bar{V} = \left( \frac{1}{t} \right) \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt \quad t = t_2 - t_1 \quad (۳-۱)$$

که در رابطه مذکور  $V$  سرعت باد در بازه زمانی ( $t$ ) و  $dt$  برآیند فواصل زمانی  $t_1$  و  $t_2$  است. اما چون اندازه‌گیری سرعت‌ها به صورت گسسته و در فواصل زمانی مشخصی (سه‌ساعته) انجام گرفته است، لذا متوسط سرعت باد از رابطه (۲-۳) قابل محاسبه است.

$$\bar{V} = \left( \frac{1}{n} V_1 + V_2 + \dots + V_n \right) = 1/n \sum_{i=1}^n v_i \quad (۲-۳)$$

که در رابطه مذکور  $V_i$  سرعت باد در مشاهده ( $i$ ) و  $n$  تعداد مشاهداتی است که در دوره مورد مطالعه برای باد غیر آرام گزارش شده است. بدیهی است هر قدر فواصل زمانی برداشت مقادیر سرعت‌ها کوتاه‌تر باشد، نتایج دقیق‌تر خواهند بود.

جدول ۱-۳ فراوانی و درصد وزش باد در طبقات مختلف سرعت و جهات اصلی جغرافیایی - ایستگاه سینوپتیک شهر کرد طی دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۱۳)

(۲۰۰۴ میلادی مطابق با (۱۳۹۲-۱۳۸۲) شمسی

جمع کل	NW	W	SW	S	SE	E	NE	N	طبقات سرعت (m/s)	
	شمال غربی	غرب	جنوب غربی	جنوب	جنوب شرقی	شرق	شمال شرقی	شمال	F <sub>i</sub> فراوانی	درصد
۱۷۹	۳۶	۳۲	۱۹	۲۲	۸	۱۲	۱۷	۳۳	F <sub>i</sub> فراوانی	۰/۵-۲
۲/۶	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۴	۰/۲۸	درصد	
۲۷۹۲	۳۷۵	۴۶۴	۴۵۹	۳۹۶	۲۷۰	۳۷۶	۲۲۴	۲۲۸	F <sub>i</sub> فراوانی	۲-۳
۴۰/۹۲	۳/۲۳	۴/۰۰۷	۳/۹۶	۳/۴۲	۲/۳۳	۳/۲۴	۱/۹۳	۱/۹۶	درصد	
۲۱۹۸	۱۲۸	۶۴۰	۶۰۲	۲۶۰	۸۷	۳۱۵	۹۴	۷۲	F <sub>i</sub> فراوانی	۳-۵
۳۲/۲۱	۱/۱	۵/۵۲	۵/۱۹	۲/۲۴	۰/۷۵	۲/۷۲	۰/۸	۰/۶۲	درصد	
۱۲۷۴	۳۹	۴۲۰	۵۷۸	۱۱۴	۲۰	۶۰	۲۱	۲۲	F <sub>i</sub> فراوانی	۵-۸
۱۸/۶۷	۰/۳۳	۳/۶۲	۴/۹۹	۰/۹۸	۰/۱۷	۰/۵۱	۰/۱۸	۰/۱۹	درصد	
۲۲۵	۷	۷۱	۱۱۹	۲۰	۲	۳	۱	۲	F <sub>i</sub> فراوانی	۸-۱۰
۳/۲۹	۰/۰۶	۰/۶۱	۱/۰۲	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱	درصد	
۱۱۲	۱	۲۶	۷۱	۸	۱	۱	۱	۳	F <sub>i</sub> فراوانی	۱۰-۱۳
۱/۶۴	۰/۰۰۸	۰/۲۲	۰/۶۱	۰/۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۲	درصد	
۳۲	۱	۶	۲۲	۱	۱	۱	۰	۰	F <sub>i</sub> فراوانی	۱۳-۱۶
۰/۴۶	۰/۰۰۸	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰	۰	درصد	
۸	۰	۰	۶	۲	۰	۰	۰	۰	F <sub>i</sub> فراوانی	۱۶-۲۰
۰/۱۱	۰	۰	۰/۵	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	درصد	
۳	۰	۱	۲	۰	۰	۰	۰	۰	F <sub>i</sub> فراوانی	-۲۷/۵
۰/۰۴	۰	۰/۰۵	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	درصد	۲۴
۶۸۲۳	۵۸۷	۱۶۶۰	۱۸۷۸	۸۲۳	۳۸۹	۷۶۸	۳۵۸	۳۶۰	F <sub>i</sub> فراوانی	جمع
۱۰۰	۵/۰۷	۱۴/۳۳	۱۶/۲۲	۷/۱	۳/۳۶	۶/۶۳	۳/۰۹	۳/۱	درصد	کل

### میانگین سرعت عددی باد

میانگین سرعت عددی باد با توجه به آمار طبقه‌بندی شده از رابطه (۳-۳) به دست می‌آید.

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \cdot v_i \quad (3-3)$$

که در رابطه مذکور  $V_i$  سرعت باد در مشاهده  $(i)$ ،  $n$  تعداد مشاهدات گزارش شده و  $F_i$  میزان فراوانی هر طبقه سرعت باد است.

### انحراف معیار سرعت باد

انحراف معیار سرعت‌های باد با توجه به آمار طبقه‌بندی شده از رابطه (۴-۳) به دست می‌آید.



$$S = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n Fi(Vi - V)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3-4)$$

### چگالی توان باد

چگالی توان باد از رابطه (۳-۵) محاسبه می‌شود.

$$P = \frac{1}{2} \rho A \sum_{i=1}^n P(Vi) \cdot (Vi)^3 / 100 \quad (3-5)$$

در رابطه (۳-۵)،  $\rho$  چگالی هوا در شرایط متعارف است که معمولاً برابر با  $1/225$  کیلوگرم بر مترمکعب است.<sup>۱</sup> (چگالی هوا در ایستگاه شهرکرد برابر با  $1/2 \text{ kg/m}^3$  محاسبه شده است). علامت  $A$  واحد سطح است که در بررسی‌های محاسبه چگالی توان باد معمولاً به صورت واحد ( $1 \text{ m}^2$ ) در نظر گرفته می‌شود و  $P(Vi)$  احتمال فراوانی نسبی سرعت‌های باد (بر مبنای یک) است که از رابطه (۳-۶) به دست می‌آید.

### احتمال فراوانی نسبی $P(Vi)$

به صورت حاصل تقسیم تعداد فراوانی یک طبقه سرعت باد بر تعداد کل فراوانی طبقات سرعت، تعریف می‌شود.

$$P(Vi) = \frac{\text{تعداد فراوانی یک طبقه سرعت باد}}{N} \quad (3-6)$$

برای محاسبه میانگین سرعت باد، انحراف معیار و چگالی توان باد در گام نخست بایستی مقادیر  $vi$ ،  $fi$ ،  $vi^3$  و  $Pvi$  را به دست آورد که محاسبه این مقادیر در جدول‌های ۳-۲ و ۳-۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۲ رده‌بندی سرعت‌های باد - ایستگاه سینوپتیک شهرکرد برای دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴) بدون محاسبه باد آرام

$P(Vi) \cdot Vi^3$	$P(vi)$	$Fi \cdot Vi$	$P(vi)\%$	$Vi^3$	$Fi$	$Vi$	$V \text{ m/s}$	گروه‌های باد
۰/۰۲۶۰۲۳۳۹	۰/۰۲۶۰۲۳	۱۷۸	۲/۶	۱	۱۷۸	۱	۰/۵-۱/۵	نسیم ملایم
۶/۵۰۶۰۴۹۷۲	۰/۴۱۶۵۲	۷۱۲۲/۵	۴۱/۶۵	۱۵/۶۲	۲۸۴۹	۲/۵	۲/۰-۳/۰	
۲۴/۴۵۳۲۲۲۲	۰/۳۱۸۵۶۷	۹۲۶/۷۵	۳۱/۸۵	۷۶/۷۶	۲۱۷۹	۴/۲۵	۳/۵-۵/۰	
۵۶/۶۰۷۱۴۳۳	۰/۱۸۴۰۶۴	۸۴۹۸/۲۵	۱۸/۴	۳۰۷/۵۴	۱۲۵۹	۶/۷۵	۵/۵-۸/۰	باد متوسط
۲۷/۹۵۲۲۶۷۵	۰/۰۳۲۶۰۲	۲۱۱۸/۵	۳/۲۶	۸۵۷/۳۷	۲۲۳	۹/۵	۸/۵-۱۰/۵	باد تند
۲۹/۸۳۱۴۱۲۳	۰/۰۱۶۲۲۸	۱۳۵۹/۷۵	۱/۶۲	۱۸۳۸/۲۶	۱۱۱	۱۲/۲۵	۱۱/۰-۱۳/۵	باد شدید
۱۶/۵۹۲۱۴۰۴	۰/۰۰۴۶۷۸	۴۸۸	۰/۴۶	۳۵۴۶/۵۷	۳۲	۱۵/۲۵	۱۴/۰-۱۶/۵	تندباد
۶/۴۷۹۷۲۸۰۷	۰/۰۰۱۰۲۳	۱۲۹/۵	۰/۱	۶۳۳۱/۶۲	۷	۱۸/۵	۱۷/۰-۲۰/۰	طوفان
۴/۹۹۲۳۵۳۸	۰/۰۰۰۲۹۲	۵۱/۵	۰/۰۲	۱۷۰۷۳/۸۵	۲	۲۵/۷۵	۲۴/۰-۲۷/۵	
۱۷۳/۴۴۰۳۴۱	۱	۲۹۲۰۶/۷۵	۱۰۰	۳۰۰۴۸/۵۹	۶۸۴۰			کل

۵. چگالی هوا در شرایط متعارف، معمولاً برابر با  $1/225$  کیلوگرم بر متر مکعب است.

جدول ۳-۳ رده‌بندی سرعت‌های باد - ایستگاه سینوپتیک شهرکرد برای دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴) با محاسبه باد آرام

P(Vi).Vi3	Pvi	Fi.Vi	P(vi)%	Vi3	Fi	V i	V m/s	گروه‌های باد
۰/۱۷۸۷۳۴۹۹	۴۲۴۵۴۹	۳۶۸۶/۲۵	۴۲/۴۵	۰/۴۲۱	۴۹۱۵	۷۵	۰/۵-۱/۵	نسیم ملایم و باد آرام
۳/۸۴۳۹۴۷۴۸	۲۴۶۰۹۱	۷۱۲۲/۵	۲۴/۶	۱۵/۶۲	۲۸۴۹	۲/۵	۲/۰-۳/۰	
۱۴/۴۴۷۶۱۵۱	۱۸۸۲۱۸	۹۲۶/۷۵	۱۸/۸۲	۷۶/۷۶	۲۱۷۹	۴/۲۵	۳/۵-۵/۰	باد متوسط
۳۳/۴۴۵۰۰۸۲	۱۰۸۷۵	۸۴۹۸/۲۵	۱/۸۷	۳۰۷/۵۴	۱۲۵۹	۶/۷۵	۵/۵-۸/۰	
۱۶/۵۱۴۹۴۴۳	۱۹۲۶۲	۲۱۱۸/۵	۱/۹۲	۸۵۷/۳۷	۲۲۳	۹/۵	۸/۵-۱۰/۵	باد تند
۱۷/۶۲۵۱۹۳۱	۹۵۸۸	۱۳۵۹/۷۵	۹۵	۱۸۳۸/۲۶	۱۱۱	۱۲/۲۵	۱۱/۰-۱۳/۵	باد شدید
۹/۸۰۳۰۷۸۵۳	۲۷۶۴	۴۸۸	۲۷	۳۵۴۶/۵۷	۳۲	۱۵/۲۵	۱۴/۰-۱۶/۵	تندباد
۳/۸۲۸۳۹۵۹۶	۶۰۵	۱۲۹/۵	۶	۶۳۳۱/۶۲	۷	۱۸/۵	۱۷/۰-۲۰/۰	
۲/۹۴۹۶۱۵۶۲	۱۷۳	۵۱/۵	۱۷	۱۷۰۷۳/۸۵	۲	۲۵/۷۵	۲۴/۰-۲۷/۵	طوفان
۱۰۲/۶۳۶۵۳۳۲	۱	۳۲۶۱۹	۱۰۰		۱۱۵۷۷			جمع کل

### ضریب تغییرات باد (C.V)

این ضریب که به صورت درصد بیان شده و آشفتگی نیز نام دارد به صورت حاصل تقسیم انحراف معیار بر میانگین تعریف می‌شود.

$$C.V = \frac{S}{\bar{V}} \cdot 100 \quad (۷-۳)$$

### ضریب تداوم باد (C.P)

این ضریب که ضریب ثبات باد نیز نامیده می‌شود، در بررسی انرژی باد یک منطقه حائز اهمیت است. این ضریب، مقایسه‌ای نسبی بین میانگین‌های عددی و برداری باد و در نتیجه مقیاسی برای میزان تداوم باد از نظر امتداد یا جهت است [۳۳]. به منظور محاسبه‌ی سرعت متوسط برداری باد، با توجه به این که در هواشناسی، جهت سرعت باد از غرب به شرق و از جنوب به شمال مثبت در نظر گرفته می‌شود، چنانچه جهت غرب به شرق، محور X و جهت جنوب به شمال، محور Y قرار داده شود و تصاویر سرعت متوسط برداری باد روی محور X با  $\bar{U}_X$  و روی محور Y با  $\bar{U}_Y$  نشان داده شوند، برای محاسبه‌ی این مقدار از روابط (۸-۳) و (۹-۳) استفاده می‌شود:

$$\bar{U}_X = \frac{\sum W - \sum E + 0.707(\sum NW + \sum SW) - 0.707(\sum NE + \sum SE)}{n} \quad (۳-۸)$$

$$\bar{U}_Y = \frac{\sum S - \sum N + 0.707(\sum SW + \sum SE) - 0.707(\sum NE + \sum NW)}{n} \quad (۳-۹)$$

در روابط (۸-۳) و (۹-۳) تعداد دیدبانی‌های باد است که در محاسبه بکار رفته، NW و W، SW، SE، E، N، NE، سرعت‌های منفرد باد از جهات مختلف و عدد  $\cos 0.707$  کسینوس زوایایی است که بادهای جهات NE و NW، SW، SE، NW و NE

با محورهای  $x$  و  $y$  می‌سازند. تعداد دیدبانی‌ها و سرعت‌های منفرد باد از اطلاعات مندرج در جدول ۳-۱ (فراوانی‌ها) قابل استخراج است. اندازه باد منتج از رابطه‌ی (۳-۱۰) قابل محاسبه است.

$$R = \sqrt{\overline{U_X^2} + \overline{U_Y^2}} \quad (3-10)$$

زاویه‌ی جهت وزش باد منتج در ایستگاه مورد مطالعه دارای مقدار  $\tan$  (تانژانتی) است که از رابطه‌ی (۳-۱۱) قابل محاسبه است:

$$\tan \beta = \frac{\overline{U_X}}{\overline{U_Y}} \quad (3-11)$$

ضریب ثبات باد با توجه به مقادیر  $\overline{U_X}$ ،  $\overline{U_Y}$ ،  $R$  و  $\overline{V}$  طبق رابطه (۳-۱۲) به دست می‌آید:

$$C.P = \frac{R}{\overline{V}} \quad (3-12)$$

در رابطه (۳-۱۲)،  $R$  متوسط سرعت برداری باد و  $\overline{V}$  متوسط سرعت عددی باد است.

### قدرت نظری و عملی توربین بادی

قدرت نظری توربین بادی در صورت محاسبه‌ی دقیق سرعت متوسط باد و دانسیته‌ی هوا در محل خاص قابل استخراج است. قدرت نظری توربین بادی با استفاده از رابطه (۳-۱۳) به دست می‌آید:

$$P_{Theoric} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (3-13)$$

که در آن  $P_{Theoric}$  قدرت نظری توربین ( $W$ )،  $\rho$  دانسیته هوا ( $kg/m^3$ )،  $A$  سطح ( $m^2$ ) و  $v$  سرعت باد ( $m/s$ ) می‌باشد.

قدرت عملی توربین بادی از رابطه (۳-۱۴) محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{1}{2} e \cdot k \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (3-14)$$

در رابطه (۳-۱۴)،  $e$  بازده واقعی پره‌های توربین بادی است. معمولاً بازده واقعی توربین‌های بادی را معادل ۳۰ درصد به حساب می‌آورند و  $K$  ضریب مربوط به واحدهای انتخاب شده است. چنانچه در محاسبه قدرت عملی توربین‌های بادی، سرعت و سطح جارو شده توسط پره‌های توربین بادی برحسب مترمربع بیان شود، مقدار  $K$  معادل  $\frac{1}{2} \rho$  در نظر گرفته می‌شود [۲۴].

بازده پره‌های توربین بادی عبارت است از نسبت انرژی جنبشی که پره‌ها از باد می‌گیرند به انرژی جنبشی کل باد که از مقابل پره‌ها عبور می‌کند. پره‌های توربین بادی کلیه انرژی جنبشی باد را نمی‌گیرند زیرا در این صورت باد پس از برخورد با پره‌ها سرعتش به صفر رسیده و متوقف می‌شود. بنابر نظریه بتز و طبق نظر مارکس [۵]، به‌طور نظری حداکثر قدرت باد در یک توربین بادی که ممکن است تبدیل به انرژی مکانیکی شود ۵۹/۳ درصد انرژی جنبشی باد است که تحت عنوان ضریب توان ماکزیم مطرح است. البته به سبب پارامترهایی چون درگ پره‌ها، راندمان آئرو دینامیکی روتور، تلفات برقی و تلفات ناشی از بخش‌های مکانیکی هر سیستم عملی، این ضریب کمتر از مقدار مذکور است. معمولاً بازده واقعی توربین‌های بادی را معادل ۳۰ درصد به حساب می‌آورند [۲۴].

### دانسیته (چگالی هوا)

دانسیته هوا بسته به ارتفاع و شرایط اتمسفری مانند فشار و درجه حرارت متغیر می‌باشد. قدرت خروجی توربین بادی متناسب با جرم حجمی هوای عبوری بوده و متقابلاً جرم هوا متناسب با فشار آن است. با افزایش ارتفاع از سطح آزاد دریا، فشار هوا کاهش می‌یابد. با کاهش فشار با ارتفاع از سطح دریا، جرم حجمی هوا کاهش یافته و در نتیجه در سرعت‌های مشابه در ارتفاع پایین و بالا، قدرت خروجی در مناطق مرتفع‌تر کمتر خواهد بود. دانسیته هوا در شرایط متعارف جوی (۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد و در سطح دریا) برابر با ۱/۲۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب است [۵]. نسبت دانسیته هوا در ارتفاعات مختلف به دانسیته هوا در ارتفاع سطح دریا تحت عنوان نسبت دانسیته در ارتفاع (DRA) نامیده می‌شود. دانسیته هوا با درجات مختلف دما نیز تغییر می‌یابد. مقدار آن برای ارتفاعات مختلف در جدول ۳-۴ آمده است.

جدول ۳-۴ مقدار DRA در ارتفاعات مختلف در دمای ۶۰ درجه فارنهایت [۵].

ارتفاع به فوت	۰	۲۵۰۰	۵۰۰۰	۷۵۰۰	۱۰۰۰۰
DRA در ۶۰ F	۱	۰/۹۱۲	۰/۸۳۲	۰/۷۵۶	۰/۶۸۷

نسبت دانسیته هوا در درجات مختلف حرارت به دانسیته هوا در دمای ۶۰ درجه فارنهایت (۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد) را نسبت دانسیته در درجه حرارت (DRT) می‌نامند. مقدار آن برای درجه حرارت‌های مختلف در جدول ۳-۵ آمده است.

جدول ۳-۵ مقدار DRT در دماهای مختلف [۵].

درجه حرارت به F	۰	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۰
DRT	۱/۳۰	۱/۰۸۳	۱/۰۴۰	۱	۰/۹۶۳	۰/۹۲۹	۰/۸۹۷

جهت تعیین دانسیته هوا در یک ایستگاه خاص که دارای ارتفاع معین و درجه حرارت مشخص است، لازم است DRA و DRT ایستگاه موردنظر را با دانسیته متعارف هوا در هم ضرب کرد تا دانسیته موردنظر به دست آید. مقدار DRA، DRT،  $\rho$  و K در ایستگاه سنوپیتیک شهرکرد به ترتیب ۰/۷۰۸، ۱/۴۱، ۱/۲۰ و ۰/۶۰۳۹ است. بنابراین قدرت عملی توربین بادی را می‌توان از رابطه‌ی (۳-۱۵) به شکل دقیق‌تری محاسبه کرد:

$$P = k \cdot e \cdot \text{DRA} \cdot \text{DRT} \cdot A \cdot V^3 \quad (3-15)$$

e : بازده توربین بادی (۳۰ درصد)

### سرعت راه‌انداز، توقف و نامی باد

با توجه به رابطه قدرت در توربین‌های بادی، قدرت خروجی با توان سوم سرعت و با سطح روتور متناسب است و لذا تغییرات کوچک در سرعت باد باعث تغییرات بزرگی در قدرت خروجی می‌شود که این تغییرات قدرت با توجه به تغییرات ناگهانی سرعت باد، برای شبکه سراسری مناسب نمی‌باشد. به علت افت شدید راندمان و قدرت در سرعت‌های پایین باد توسط توربین‌های بادی، این توربین‌ها جهت کارکرد از یک حداقل سرعت به بعد طراحی می‌گردند. این سرعت حداقل، سرعت راه‌انداز نام دارد. جهت محافظت توربین از خرابی در مقابل بادهای شدید، توربین‌ها طوری طراحی می‌شوند که در سرعتی زیاد به نام سرعت توقف از عملکرد باز بایستند. جهت تعیین سرعت راه‌انداز و سرعت توقف در توربین‌های بادی، ویژگی‌های بیش از ۵۰ نوع محصول ۷ کارخانه عظیم سازنده توربین‌های بادی جهان نظیر Nordex, Enercon, Vestas, Vergent, Bornay, و غیره از سایت‌های اینترنتی مربوطه اخذ، بررسی و محدوده‌های سرعت راه‌انداز و توقف آن‌ها که عموماً بین ۳/۵ تا ۲۵ متر در ثانیه بود، مشخص گردید. مهم‌ترین عامل در طراحی توربین‌های بادی، سرعت نامی باد است. سرعت نامی باد از رابطه‌ی (۱۶-۳) محاسبه می‌شود [۳۲]:

$$V_{mec} = C(1 + \frac{2}{K})^{\frac{1}{K}} \quad (3-16)$$

در رابطه‌ی (۱۶-۳)، C و K پارامترهای مقیاس و شکل در تابع ویبول هستند. سرعت باد در محاسبات انرژی باد به‌عنوان یک متغیر تصادفی پیوسته موردنظر است [۳۷]. ولی در عمل برداشت‌های سرعت باد در ایستگاه‌های سینوپتیک با فواصل زمانی سه‌ساعته انجام می‌پذیرد که تابع چنین احتمالی، یک تابع گسسته است. به‌عبارت‌دیگر، ابتدا باید نمودار توزیع فراوانی سرعت‌های باد مکان مورد مطالعه را با یک تابع توزیع پیوسته جایگزین نمود.

### تابع توزیع احتمال ویبول

تابع ویبول حالت خاصی از توزیع گاما است. این تابع نسبت به توابع دیگر نظیر رایله از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار بوده و از رابطه‌ی (۱۷-۳) بیان می‌شود [۳۱].

$$P(W) = \frac{K}{C} \cdot \left[\frac{V}{C}\right]^{K-1} \exp\left(-\left[\frac{V}{C}\right]^K\right) \quad (17-3)$$

در رابطه‌ی (۱۷-۳)، P(W) میزان تابع توزیع احتمال ویبول، V سرعت باد برحسب متر بر ثانیه، k فاکتور شکل و C فاکتور مقیاس است. روش‌های مختلفی برای محاسبه فراسنج‌های C و k تابع ویبول ارائه گردید است. یکی از رایج‌ترین این روش‌ها، روش برازش حداقل مربعات است که به کمک تابع احتمال تجمعی به دست می‌آید. بدین منظور لازم است با استفاده از معادله رگرسیون، رابطه خطی بین مقادیر سرعت باد و احتمال وقوع آن‌ها به شکل روابط (۱۸-۳)، (۱۹-۳)، (۲۰-۳) و (۲۱-۳) مشخص شود [۱۷]:



$$Y = Ax + B \quad (3-18)$$

$$X = \ln(V_i) \quad (3-19)$$

$$Y = \ln(-\ln(1 - P(v))) \quad (3-20)$$

$$C = \exp\left(\frac{-B}{A}\right) \quad (3-21)$$

در روابط (۳-۱۸)، (۳-۱۹)، (۳-۲۰) و (۳-۲۱)،  $(V_i)$  میان‌طبقات سرعت باد و  $P(v)$  احتمال فراوانی تجمعی هر طبقه که از حاصل جمع احتمال فراوانی نسبی طبقات سرعت باد به‌طور متوالی با همدیگر به دست می‌آید،  $A$  ضریب زاویه خط  $Y = Ax + B$  و  $B$  عرض نقطه تقاطع خط با محور  $Y$  هاست. محاسبات این قسمت با نرم‌افزار SPSS انجام شد.

### آزمون نیکویی برازش، تست کی دو

در قسمت قبل، احتمال تجربی مقادیر سرعت باد، با تابع توزیع ویبول جایگزین گردیدند. صحت این جایگزینی را می‌توان با آزمون‌های مختلفی ارزیابی کرد. آزمون کی دو که مجذور خی نیز نامیده می‌شود. یکی از آزمون‌های نیکویی برازش است که با آن می‌توان صحت جایگزینی احتمال تجربی داده‌ها با توزیع داده شده را سنجید [۱۸]. آزمون آماره در تست کی دو از رابطه‌ی (۳-۲۲) به دست می‌آید [۱۷].

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3-22)$$

در رابطه‌ی (۳-۲۲):

$O_i$ : فراوانی مشاهده شده و  $E_i$  فراوانی مورد انتظار.

$H_0$ : سرعت‌های مشاهده شده‌ی باد در ایستگاه مورد مطالعه دارای توزیع ویبول اند.

$H_1$ : سرعت‌های مشاهده شده‌ی باد در ایستگاه مورد مطالعه دارای توزیع ویبول نیستند.

### انرژی خورشید

### روش آنگستروم

مطالعه حاضر بر اساس داده‌های تشعشع‌سنجی ایستگاه سینوپتیک شهرکرد صورت گرفت و پس از پالایش این داده‌ها، از آن‌ها برای انتخاب مدل مناسب استفاده شد. پس از مطالعه و بررسی مدل‌های موجود، سه مدل ریاضی آنگستروم - پریسکات، روش حداکثر احتمال و روش هیبرید برای تخمین میانگین تابش ماهانه و روزانه بر سطح افق، پیشنهاد شد [۴۷]. از میان مدل‌های ریاضی مذکور، با توجه به مطالعه تنها یک ایستگاه، مدل آنگستروم برای برازش مناسب‌تر است. داده‌های آماری ایستگاه سینوپتیک شهرکرد برای مدت ۱۰ سال در دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴) که توسط فتومترها و نورسنج‌های دیجیتال ایستگاه مورد مطالعه ثبت شده‌اند برای این مطالعه اخذ گردید.

### میانگین گیری داده‌های خام

برای اینکه داده‌ها برای انجام محاسبات آماده شود، ابتدا اطلاعات خام به وسیله نرم افزار Excel در کنار هم قرار داده شد و متوسط‌های روزانه برای ۳۶۵ روز سال و متوسط ماهانه برای ۱۲ ماه سال به دست آمد که مقادیر آن در جدول ۳-۷ قابل مشاهده است. همچنین با استفاده از فرمول‌های ریاضی و فیزیکی طول روز، زاویه‌ی ساعت خورشیدی، زاویه‌ی سمت‌الرأس خورشیدی، زاویه‌ی میل تابش خورشیدی و سایر موارد مورد نیاز محاسبه شد که در ادامه به نحوه‌ی محاسبه‌ی هر کدام اشاره می‌شود.

جدول ۳-۶ اطلاعات میانگین گیری شده از داده‌های خام ایستگاه سینوپتیک شهرکرد دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴).

ماه‌ها	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
تعداد روز ماه	۳۱	۲۸	۳۱	۳۰	۳۱	۳۰	۳۱	۳۱	۳۰	۳۱	۳۰	۳۱
روز متوسط ماه	۱۷	۱۶	۱۶	۱۵	۱۵	۱۱	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۰	
حداکثر دما C°	۴/۹	۸/۷	۱۴/۷	۱۸/۶	۲۴/۶	۳۱/۰/۸	۳۴	۳۲/۸	۲۹	۲۲/۸	۱۳/۶	۸/۳
متوسط رطوبت نسبی	۶۴/۶	۶۰/۰/۵	۴۸/۹	۵۲/۴	۴۷/۷	۳۶/۸	۳۲/۳	۳۲/۳	۳۵/۰/۱	۴۲/۳	۵۸/۴	۶۱/۷
ساعات آفتابی کل	۲۰۱/۹	۲۰۸/۳	۲۵۱/۵	۲۴۲/۳	۲۹۷/۳	۳۴۴/۵	۳۳۵/۷	۳۳۷/۴	۳۱۴/۹	۲۷۶/۵	۲۰۵/۹	۲۰۶/۵
ساعات آفتابی متوسط	۶/۴۷	۷/۳	۸/۰/۶	۸/۰/۲	۹/۵	۱۱/۴	۱۰/۸	۱۰/۸	۱۰/۴	۸/۹	۶/۸	۶/۶
طول روز (H)	۱۳/۵۸	۱۲/۹۶	۱۲/۱۴	۱۱/۲۷	۱۰/۵۳	۱۰/۱۵	۱۰/۳۳	۱۰/۹۷	۱۱/۸۲	۱۲/۶۹	۱۳/۴۲	۱۳/۷۸
ساعات آفتابی به طول روز	۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۷۲	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۰/۴	۰/۹۸	۰/۸۸	۰/۷۰	۰/۲۸	۰/۲۷
تعداد روزهای بارانی ماه	۷/۹	۷/۹	۶/۷	۸/۱	۳/۹	۰/۷۲	۰/۳۶	۰	۰/۳۶	۲/۳	۶/۰/۹	۶/۱
تعداد روزهای بارانی به کل روزها	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۰/۲۴	۰/۰/۱	۰	۰/۰/۱۲	۰/۷۶	۰/۲	۰/۱۹

رابطه آنگستروم- میانگین انرژی تابشی رسیده به یک سطح افقی

مدل آنگستروم یا به عبارت دیگر مدل آنگستروم پریسکات آسان‌ترین و مناسب‌ترین روشی است که می‌توان با آن به آسانی میزان انرژی تابشی دریافتی در یک سطح افقی در روی زمین را محاسبه نمود [۲۷].

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (3-23)$$

در رابطه‌ی (۳-۲۳)،  $H$  میانگین انرژی تابشی رسیده به یک سطح افقی و  $H_0$  میانگین انرژی تابشی رسیده به یک سطح افقی در روزهای صاف و بدون ابر می‌باشد.  $a$  و  $b$  ضرایب بدون دیمانسیون و  $n$  ساعات آفتابی و  $N$  تعداد ساعات آفتابی ممکن می‌باشد. ضرائب  $a$  و  $b$  به صورت تجربی به دست می‌آیند. ضرائب فوق مقادیر ثابتی نبوده بلکه به بسیاری از پارامترها از قبیل عرض جغرافیایی و فصول سال و غیره بستگی دارد. دانشمندان دیگری هم کوشش نمودند تا مقادیر  $a$  و  $b$  را به دست آورند [۴۵].

جدول ۳-۷ مقادیر  $a$  و  $b$  پارامترهای میانگین انرژی تابشی رسیده به سطح افقی، ارائه شده توسط [۴۵].

b	a	دانشمندان
۰/۲۲	۰/۷۸	کیمبال (Kimbal)
۰/۲۳۵	۰/۷۶۵	آنگستروم (Angstrom)
۰/۵۴	۰/۴۶	موس‌بای (Mossby)

برخی از دانشمندان بر این باورند که ضریب  $a$  به عرض جغرافیایی بستگی دارد و از این رو رابطه (۳-۲۴) را جهت برآورد میزان انرژی رسیده به سطح زمین پیشنهاد نموده‌اند [۴۴].

$$\frac{H}{H_0} = 3.5 \cos \phi + 3.85 \frac{n}{N} \quad (3-24)$$

که در رابطه‌ی (۳-۲۴)،  $\phi$  عرض جغرافیایی می‌باشد. در محاسبه‌ی میزان تابش نور خورشید به یک سطح افقی پارامترهای زیادی می‌توانند تأثیرگذار باشند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ساعات آفتابی، ابرناکی، گرد و خاک، رطوبت نسبی، ارتفاع و میزان بارش اشاره کرد [۲۱].

### تابش کل خورشیدی در بالای جو

به‌عنوان قدم اول و با استفاده از رابطه‌ی (۳-۲۵) میزان شدت تابش کل انرژی خورشیدی در بالای جو برای ۳۶۵ روز سال محاسبه گردیده است [۸].

$$G_{on} = G_{sc} \left[ 1 + 0.33 \cos \left( \frac{360(N+79)}{365} \right) \right] \quad (3-25)$$

در رابطه‌ی (۳-۲۵):

$G_{on}$ : شدت کل تابش خورشیدی در بالای جو قابل محاسبه در روز شماره  $N$  ام.  
 $\bar{N}$ : برابر یک برای روز اول ژانویه و ۳۶۵ برای روز آخر دسامبر می‌باشد.  
 $G_{sc}$ : ثابت خورشیدی است که مقدار آن برابر با ۱۳۶۷ وات بر مترمربع است [۲۳].

#### مدل‌های محاسبه‌ی انرژی خورشیدی

مدل‌های متعددی برای پیش‌بینی مقدار تابش خورشیدی وجود دارد که هر کدام از این مدل‌ها تابعی از پارامترهای مختلف نظیر: ساعات آفتابی، عرض جغرافیایی محل، ارتفاع از سطح دریا، تغییرات دمای هوا، میزان بارش، مقدار ابر، رطوبت نسبی و... می‌باشد. در این مطالعه برای محاسبه‌ی انرژی خورشید از مدل پیچ استفاده شد زیرا مدل پیچ اصلاح‌شده‌ی مدل آنگستروم است [۸]. علاوه بر مدل‌های مذکور مدل یعقوبی - جعفرپور نیز پیشنهاد می‌شود، به دلیل شباهت، یکی بودن پایه مدل‌ها و با ضمن رعایت تبدیل واحدها می‌توان از یک مدل بومی هم استفاده کرد.

#### مدل یعقوبی - جعفرپور

مدل یعقوبی - جعفرپور بر پایه مدل آنگستروم ارائه شده و بر اساس ساعات آفتابی متوسط و تابش کل بالای جو، میزان کل انرژی خورشیدی را از رابطه‌ی (۳-۲۶) محاسبه می‌کند [۲۰].

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = 0.23 + 0.54 \left( \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \right) \quad (3-26)$$

در رابطه‌ی (۳-۲۶):

$\frac{\bar{n}}{\bar{N}}$ : متوسط ساعات آفتابی

$\bar{H}_0$ : مقدار متوسط تابش در بالای جو بر حسب ژول بر مترمربع در روز و از رابطه‌ی (۳-۳۰) محاسبه می‌شود.

#### مدل پیچ

این مدل بر اساس میزان ساعات آفتابی بنا نهاده شده است که ابتدا به وسیله کمبال در سال ۱۹۱۹ میلادی و پنج سال بعد مبنای ریاضی آن توسط آنگستروم ارائه شده است. امروز بعد از گذشت سال‌ها، هنوز هم به شکل اصلی آن به نام معادله‌ی آنگستروم و شکل اصلاح‌شده‌ی آن به نام مدل پیچ کاربرد دارد [۸].

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad (3-27)$$

در رابطه‌ی (۳-۲۷):

$\bar{H}$ : متوسط ماهانه تابش کل روزانه در سطح افقی

$\bar{H}_0$ : متوسط میزان تابش کل خورشیدی بالای جو در محل موردنظر است و از رابطه‌ی (۳-۳۰) محاسبه می‌شود.

$a$  و  $b$ : ثابت‌های آروینی هستند که به شرایط اقلیمی محل بستگی دارند و از روابط زیر به دست می‌آیند [۲۳].

$$a = 0.1 + 0.24 \left( \frac{\bar{n}}{N} \right) \quad (3-28)$$

$$b = 0.38 + 0.08 \left( \frac{\bar{n}}{N} \right) \quad (3-29)$$

در روابط (۲۸-۳) و (۲۹-۳):

$\bar{n}$ : متوسط ماهانه کل ساعات آفتابی در روز

$\bar{N}$ : متوسط ماهانه کل ساعات آفتابی مقدور در روز و یا طول روزی که برای آن‌ها متوسط روزها محسوب می‌شود.

پارامترهای  $\bar{n}$  و  $\bar{N}$  توسط نرم‌افزار Excel محاسبه شد. مقادیر متوسط ماهانه  $\bar{N}$  در جدول ۳-۷ مشاهده می‌شود. همچنین مقادیر  $N$  (طول روز نجومی) برای تمام روزهای سال و  $\bar{n}$  مقادیر روزانه و متوسط ماهانه ساعات آفتابی که در پیوست‌های شماره ۱۷ تا ۲۸ درج شده است. برای محاسبه‌ی میزان انرژی خورشیدی با استفاده از روابط (۲۸-۳) و (۲۹-۳) ابتدا نیاز است که میزان تابش کل انرژی خورشیدی در بالای جو از رابطه‌ی (۳۰-۳) به دست آید [۸].

$$H_0 = \frac{24(360)}{\pi} G_{sc} \left[ 1 + 0.33 \cos \left( \frac{360(N + 79)}{365} \right) \right] [\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \cdot \sin \delta] \quad (3-30)$$

در رابطه‌ی (۳۰-۳):

$\phi$ : عرض جغرافیایی محل برحسب درجه

$N$ : شماره‌ی هر روز از سال

$\delta$ : زاویه انحراف یا میل است و از رابطه‌ی (۳۱-۳) به دست می‌آید.

$$\delta = 23.45 \sin \left( \frac{360(N + 284)}{365} \right) \quad (3-31)$$

در رابطه‌ی (۳۰-۳):

$\omega_s$ : زاویه سمت‌الرأس خورشید است و از رابطه‌ی (۳۲-۳) به دست می‌آید.

$$\omega_s = \cos^{-1}(\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (3-32)$$

نتایج محاسبات تابش بالای جو  $H_0$  و متوسط ماهانه‌ی آن در پیوست‌های شماره ۱۷ تا ۲۸ ارائه شده است.

### روزهای کلاین

روزهای کلاین روزهایی از سال است، به این ترتیب که در هر یک از ماه‌های سال یک روز به‌عنوان روز متوسط ماه در نظر گرفته می‌شود که نتایج محاسبات در این روزها تقریباً برابر با میانگین اندازه‌گیری‌ها در هر یک از ماه‌های سال می‌باشد. روزهای پیشنهادی کلاین در جدول ۳-۸ ارائه شده است [۸].

محاسبات مربوط به میزان ساعات آفتابی، طول روز، تابش بالای جو و تابش کل رسیده به سطح افقی منطقه مورد مطالعه انجام شد و با استفاده از نتایج به‌دست آمده میزان ضریب صافی آسمان شهرکرد نیز مشخص شد. این نتایج تحت عنوان پیوست‌های شماره ۱۷ تا ۲۸ برای تمام ماه‌های سال ارائه گردید.



### ضریب صافی آسمان

نسبت میزان تابش کل انرژی خورشیدی در روی زمین به میزان تابش کل خورشید در بالای جو در یک مدت زمان (مثلاً روزانه) را ضریب صافی آسمان می‌نامند. این ضریب کاربردهای متعددی دارد از جمله آن می‌توان تعداد روزهای با آسمان صاف در طول سال و... را به وسیله آن محاسبه کرد [۲۰]. میزان ضریب صافی آسمان طبق رابطه‌ی (۳-۳۳) محاسبه و نتایج آن به صورت روزانه در پیوست شماره ۱۴ آورده شده است.

$$K_t = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (3-33)$$

در رابطه‌ی (۳-۳۳):

$K_t$ : میزان ضریب صافی آسمان

$\bar{H}$ : متوسط ماهانه تابش کل روزانه در سطح افقی

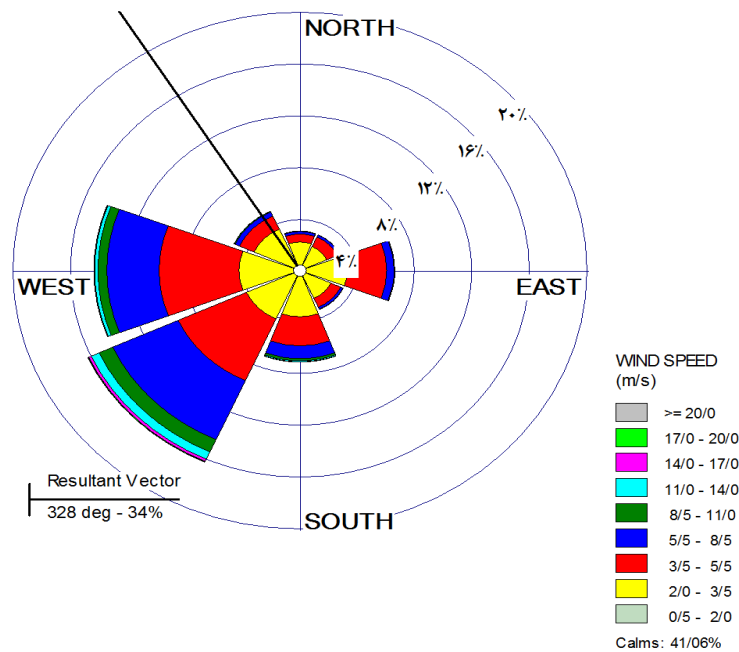
$\bar{H}_0$ : متوسط میزان تابش کل خورشیدی بالای جو در محل مورد نظر است.

جدول ۳-۸ روزهای پیشنهادی کلان

ماه شمسی	شماره روز در ماه شمسی	شماره روز در ماه میلادی	شماره روز در سال میلادی	ماه میلادی	ردیف
دی	۲۷	۱۷	۱۷	ژانویه	۱
بهمن	۲۷	۱۶	۴۷	فوریه	۲
اسفند	۲۵	۱۶	۷۵	مارس	۳
فروردین	۲۶	۱۵	۱۰۵	آوریل	۴
اردیبهشت	۲۵	۱۵	۱۳۵	می	۵
خرداد	۲۱	۱۱	۱۶۲	ژوئن	۶
تیر	۲۶	۱۷	۱۹۸	جولای	۷
مرداد	۲۵	۱۶	۲۲۸	آگوست	۸
شهریور	۲۴	۱۵	۲۵۸	سپتامبر	۹
مهر	۲۳	۱۵	۲۸۸	اکتبر	۱۰
آبان	۲۳	۱۴	۳۱۸	نوامبر	۱۱
آذر	۱۹	۱۰	۳۴۴	دسامبر	۱۲

### نتایج و بحث

در خصوص انرژی باد، شکل ۴-۱ گلباد سالانه ایستگاه سینوپتیک شهر کرد را نشان می‌دهد که از کل میزان وزش باد، بیشترین وزش مربوط به بادهای جنوب غربی با ۱۶/۲۲ درصد و کمترین آن مربوط به جهت بادهای شمالی با ۳/۱ درصد است.



شکل ۴-۱ گلباد سالانه ایستگاه سینوپتیک شهرکرد در دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴)

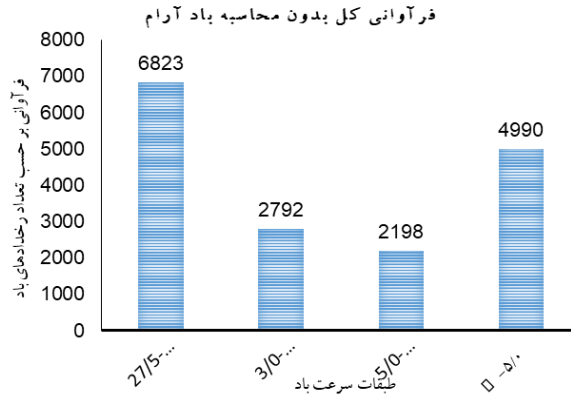
با توجه به شکل ۴-۱ بادهای غربی پس از بادهای جنوب غربی با چیزی حدود ۱۴/۳۳ درصد بیشترین میزان وزش باد را در دوره آماری داشته است. نتایج حاصل از آنالیز داده‌های خام به صورت میزان فراوانی هر یک از طبقات سرعت باد در جهات جغرافیایی محاسبه و در جدول ۴-۱ ارائه شده است.

#### نتایج میزان فراوانی سرعت‌های باد

با توجه به جدول ۴-۱ و همچنین شکل ۴-۲ نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشترین میزان فراوانی سرعت‌های باد مربوط به طبقات سرعت ۲-۳ متر بر ثانیه و به میزان ۲۷۹۲ رخداد (مشاهده) یا به عبارتی ۴۰/۹۲ درصد از کل مشاهدات انجام شده و همچنین سرعت‌های ۳/۵-۵ به میزان ۲۱۹۸ رخداد که برابر ۳۲/۲۱ درصد از کل مشاهدات انجام شده را شامل می‌شود. از این رو می‌توان چنین نتیجه گرفت که در مجموع، محدوده‌ی سرعت‌های ۲-۵ متر بر ثانیه چیزی برابر ۷۳/۱۳ درصد از کل مشاهدات انجام شده را در برمی‌گیرد و از مجموع ۶۸۲۳ مشاهده بدون محاسبه باد آرام، ۴۹۹۰ مشاهده مربوط به طبقات مذکور می‌باشد که این نتایج در شکل ۴-۲ قابل مشاهده است. از آنجایی که سرعت شروع کار توربین‌های بادی ۳/۵ متر بر ثانیه می‌باشد [۳۲] محدوده‌ی سرعت مذکور، مناسب پتانسیل سنجی باد نیست.

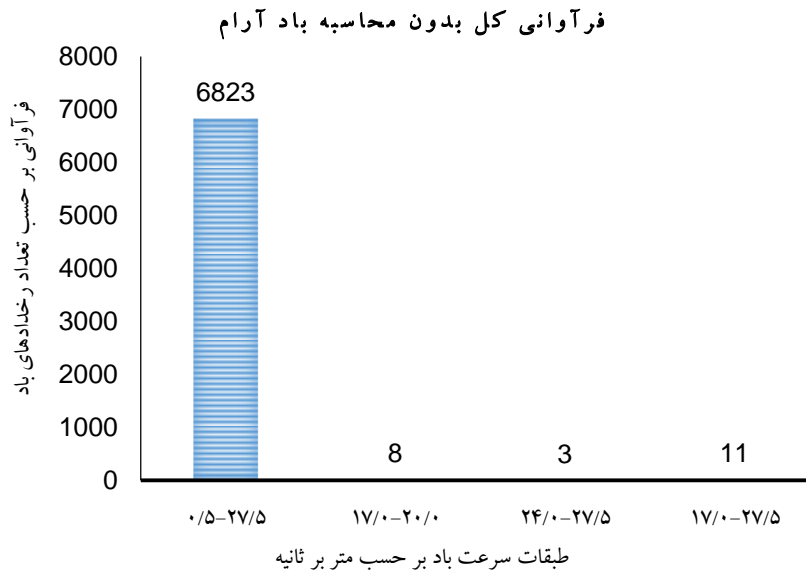
جدول ۴-۱ فراوانی و درصد وزش باد در طبقات مختلف سرعت و جهات اصلی جغرافیایی در ایستگاه سینوپتیک شهر کرد طی دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴ میلادی مطابق با (۱۳۹۲-۱۳۸۲) شمسی

جمع کل	NW	W	SW	S	SE	E	NE	N	طبقات سرعت (m/s)	
	شمال غربی	غرب	جنوب غربی	جنوب	جنوب شرقی	شرق	شمال شرقی	شمال	Fi	درصد
۱۷۹	۳۶	۳۲	۱۹	۲۲	۸	۱۲	۱۷	۳۳	۰/۵-۲	۰/۲۸
۲/۶	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸
۲۷۹۲	۳۷۵	۴۶۴	۴۵۹	۳۹۶	۲۷۰	۳۷۶	۲۲۴	۲۲۸	۲-۳	۰/۲۸
۴۰/۹۲	۳/۲۳	۴/۰۰۷	۳/۹۶	۳/۴۲	۲/۳۳	۳/۲۴	۱/۹۳	۱/۹۶	۲-۳	۰/۲۸
۲۱۹۸	۱۲۸	۶۴۰	۶۰۲	۲۶۰	۸۷	۳۱۵	۹۴	۷۲	۳-۵	۰/۲۸
۳۲/۲۱	۱/۱	۵/۵۲	۵/۱۹	۲/۲۴	۰/۷۵	۲/۷۲	۰/۸	۰/۶۲	۳-۵	۰/۲۸
۱۲۷۴	۳۹	۴۲۰	۵۷۸	۱۱۴	۲۰	۶۰	۲۱	۲۲	۵-۸	۰/۲۸
۱۸/۶۷	۰/۳۳	۳/۶۲	۴/۹۹	۰/۹۸	۰/۱۷	۰/۵۱	۰/۱۸	۰/۱۹	۵-۸	۰/۲۸
۲۲۵	۷	۷۱	۱۱۹	۲۰	۲	۳	۱	۲	۸-۱۰	۰/۲۸
۳/۲۹	۰/۰۶	۰/۶۱	۱/۰۲	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۸-۱۰	۰/۲۸
۱۱۲	۱	۲۶	۷۱	۸	۱	۱	۱	۳	۱۰-۱۳	۰/۲۸
۱/۶۴	۰/۰۰۸	۰/۲۲	۰/۶۱	۰/۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۱۰-۱۳	۰/۲۸
۳۲	۱	۶	۲۲	۱	۱	۱	۰	۰	۱۳-۱۶	۰/۲۸
۰/۴۶	۰/۰۰۸	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰	۰	۱۳-۱۶	۰/۲۸
۸	۰	۰	۶	۲	۰	۰	۰	۰	۱۶-۲۰	۰/۲۸
۰/۱۱	۰	۰	۰/۵	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۱۶-۲۰	۰/۲۸
۳	۰	۱	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴-۲۷/۵	۰/۲۸
۰/۰۴	۰	۰/۰۵	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴-۲۷/۵	۰/۲۸
۶۸۲۳	۵۸۷	۱۶۶۰	۱۸۷۸	۸۲۳	۳۸۹	۷۶۸	۳۵۸	۳۶۰	جمع کل	۰/۲۸
۱۰۰	۵/۰۷	۱۴/۳۳	۱۶/۲۲	۷/۱	۳/۳۶	۶/۶۳	۳/۰۹	۳/۱	جمع کل	۰/۲۸



شکل ۴-۲ بیشترین فراوانی سرعت باد در طبقات مختلف سرعت در ایستگاه مورد مطالعه

با توجه به نتایج به دست آمده کمترین میزان فراوانی مربوط به طبقات سرعت ۲۷/۵-۲۴ متر بر ثانیه به میزان ۳ مشاهده از میزان کل مشاهدات بدون محاسبه باد آرام و همچنین ۸ مشاهده از کل مشاهدات با محاسبه باد آرام و مقداری حدود ۰/۴ درصد می‌باشد و همچنین طبقات سرعت ۱۷-۲۰ متر بر ثانیه به میزان ۸ مشاهده از کل مشاهدات بدون محاسبه باد آرام و مقداری حدود ۰/۱۱ درصد بوده است. در پایان نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که در مجموع محدوده طبقات سرعت ۱۷-۲۷/۵ متر بر ثانیه، دارای ۱۱ مشاهده و چیزی حدود ۰/۱۵ درصد از کل مشاهدات انجام شده را در برمی‌گیرد. نتایج به دست آمده در شکل ۴-۳ قابل مشاهده است.

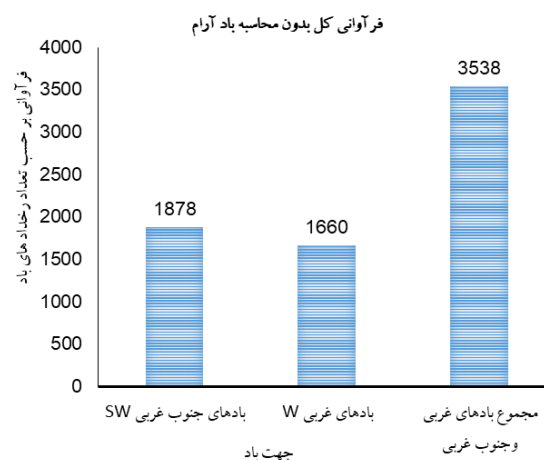


شکل ۴-۳ کمترین فراوانی سرعت باد در طبقات مختلف سرعت باد در ایستگاه مورد مطالعه

با توجه به شکل ۴-۳ بهترین محدوده‌ی سرعت بین طبقات سرعت باد بدون محاسبه باد آرام در ایستگاه مورد مطالعه بین سرعت‌های ۵/۵ تا ۸ متر بر ثانیه می‌باشد که متأسفانه تنها ۱۸/۶۷ درصد از کل مشاهدات سرعت باد را به خود اختصاص داده است.

### نتایج میزان وزش و جهات باد

با توجه به جدول ۴-۱ جهت باد غالب یا بیشترین میزان وزش باد مربوط به بادهای جهت جنوب غربی است. از میزان کل مشاهدات، جهت باد جنوب غربی با تعداد ۱۸۷۸ مشاهده معادل ۱۶/۲۲ درصد از کل مشاهدات جهت باد وزیده شده را به خود اختصاص داده است و بعد از آن بادهای غربی با تعداد ۱۶۶۰ مشاهده و معادل ۱۴/۳۳ درصد از کل مشاهدات جهت باد دارای بیشترین میزان وزش باد در جهت مذکور هستند با همهی این تفاسیر بیشترین محدوده وزش باد بین بادهای جنوب غربی تا غرب را در برمی‌گیرد که در مجموع این میزان برابر ۳۵۳۸ مشاهده معادل ۵۱/۸۵ درصد (بیش از نیمی) را در برمی‌گیرد. نتایج به دست آمده در شکل ۴-۴ قابل مشاهده است.



شکل ۴-۴ نتایج جهت باد غالب یا بیشترین میزان وزش باد در ایستگاه مورد مطالعه.

از دیدگاه دیگر می‌توان این گونه بیان نمود که با ۵۱/۸۵ درصد از کل بادهایی که در ایستگاه مورد مطالعه می‌وزند از جهات غرب و جنوب غربی به جهات شرق و شمال شرقی در حال وزیدن می‌باشند.

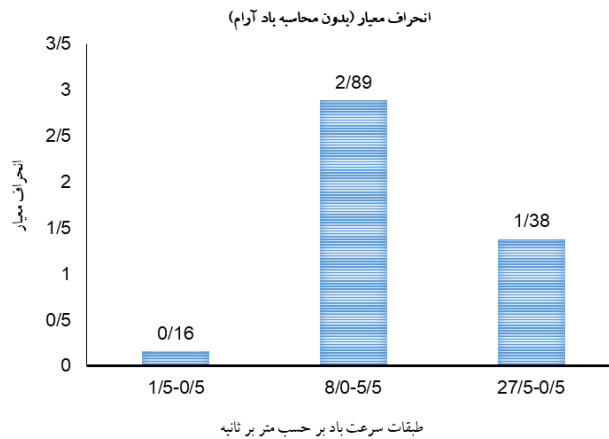
### نتایج میانگین سرعت عددی بدون محاسبه باد آرام / با محاسبه باد آرام

با توجه به جدول ۴-۱ میانگین سرعت عددی در هر یک از طبقات سرعت باد در ایستگاه مورد مطالعه بدون محاسبه باد آرام نشان می‌دهد که بیشترین میزان میانگین سرعت عددی مربوط به سرعت‌های ۵-۳/۵ متر بر ثانیه و میزان فراوانی این طبقه از سرعت باد نیز برابر ۲۱۷۹ مشاهده (رخداد) است. نتیجه حاصل از این مشاهدات میانگین سرعت عددی ۱/۳۵ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد که از نظر تقسیم‌بندی گروه‌های باد نیز، جز بادهای با نسیم ملایم محسوب می‌شود. از نظر محدوده‌ی طبقات سرعت باد، بیشترین میزان میانگین سرعت عددی باد مربوط به سرعت‌های ۸-۳/۵ متر بر ثانیه است. در نتیجه از نظر تقسیم‌بندی گروه‌های بادی نیز تلفیقی از نسیم ملایم و باد متوسط می‌باشد. میانگین سرعت عددی کل طبقات سرعت باد بدون محاسبه باد آرام برابر ۴/۲۶ متر بر ثانیه است. کمترین میزان میانگین سرعت عددی در طبقات مختلف سرعت باد به ترتیب مربوط به سرعت‌های ۲۰-۱۷ و ۲۷/۵-۲۴ متر بر ثانیه می‌باشد.



### نتایج انحراف معیار سرعت باد

با توجه به نتایج به دست آمده کمترین میزان انحراف معیار در هر یک از طبقات سرعت باد مربوط به سرعت‌های ۰/۵-۱/۵ متر بر ثانیه و برابر ۰/۱۶ می‌باشد. همچنین بیشترین میزان انحراف معیار در هر یک از طبقات سرعت باد بدون محاسبه باد آرام به ترتیب مربوط به سرعت‌های ۵/۵-۸ و ۳/۵-۵ متر بر ثانیه و به میزان ۲/۸۹ و ۲/۳۹ می‌باشد.



شکل ۴-۵ روند تغییرات میزان انحراف معیار در هر یک از طبقات سرعت باد بدون محاسبه باد آرام.

### نتایج چگالی توان باد بدون محاسبه باد آرام

با توجه به نتایج پیوست شماره (۱۱) چگالی توان باد در هر یک از طبقات سرعت باد بدون محاسبه باد آرام در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که کمترین میزان چگالی توان باد مربوط به طبقات سرعت ۰/۵-۱/۵ متر بر ثانیه و به میزان ۰/۰۰۱۸ وات بر مترمربع است. که در رده‌ی بادهای با نسیم ملایم قرار می‌گیرد. بیشترین میزان چگالی توان باد مربوط به طبقات سرعت ۵/۵-۸ متر بر ثانیه و به میزان ۰/۳۹ وات بر مترمربع می‌باشد و در رده‌ی بادهای متوسط قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد میزان چگالی توان باد برای ایستگاه شهرکرد ۱/۲۲ وات بر مترمربع در طول دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴) می‌باشد.

### نتایج چگالی توان باد با محاسبه باد آرام

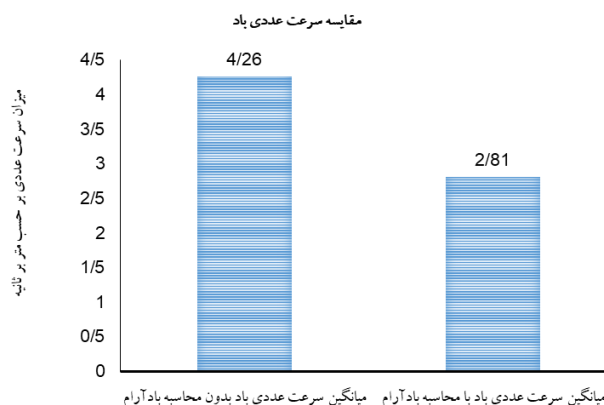
با توجه به نتایج پیوست شماره (۱۲) چگالی توان باد در هر یک از طبقات سرعت باد با محاسبه باد آرام در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد که کمترین میزان چگالی توان باد مربوط به طبقات سرعت ۰-۱/۵ متر بر ثانیه به میزان ۰/۰۰۱۲ وات بر مترمربع و مربوط به باد آرام و نسیم ملایم می‌باشد. براساس نتایج حاصل از جدول مذکور بیشترین میزان چگالی توان باد مربوط به طبقات سرعت ۵/۵-۸ متر بر ثانیه به میزان ۰/۲۳ وات بر مترمربع است. در مجموع چگالی توان باد با محاسبه باد آرام برای تمام طبقات سرعت باد برابر ۰/۷۲ وات بر مترمربع می‌باشد.



شکل ۴-۶ چگالی توان باد برای هر یک از طبقات سرعت باد با محاسبه باد آرام.

#### نتایج میانگین سرعت عددی با محاسبه باد آرام و بدون محاسبه باد آرام

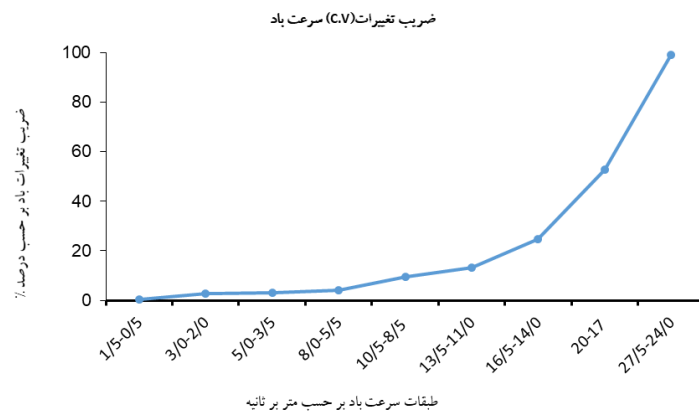
با توجه به نتایج پیوست‌های شماره (۷) و (۸) میانگین سرعت عددی در هر یک از طبقات سرعت باد در ایستگاه مورد مطالعه با محاسبه باد آرام نشان می‌دهد که بیشترین میزان میانگین سرعت عددی در طبقات مختلف سرعت باد مربوط به سرعت‌های ۳/۵-۵ و ۵/۵-۸ متر بر ثانیه است. با توجه به میزان فراوانی طبقات مذکور که به ترتیب برابر ۲۱۷۹ و ۱۲۵۹ مشاهده است میانگین سرعت عددی باد نیز برای طبقات مذکور به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۷۳ متر بر ثانیه محاسبه شده است. از این رو نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که میانگین سرعت عددی باد برای تمام طبقات سرعت باد با محاسبه باد آرام برابر ۲/۸۱ متر بر ثانیه می‌باشد که در مقایسه با میانگین سرعت عددی باد بدون محاسبه باد آرام که میزان آن برابر ۴/۲۶ متر بر ثانیه است اختلاف چشم‌گیری حدود ۱/۴۵ متر بر ثانیه در دو حالت محاسبه با توجه به نمودار زیر کاملاً مشهود است. از این جهت صرف نظر کردن از محاسبه باد آرام در محاسبات امکان‌پذیر نیست.



شکل ۴-۷ مقایسه میانگین سرعت عددی باد بدون محاسبه باد آرام و با محاسبه باد آرام در ایستگاه مورد مطالعه

### نتایج ضرایب تغییرات باد (C.V) / ثبات باد (C.P)

از آنجایی که ضریب تغییرات باد بیان‌کننده‌ی میزان آشفتگی باد است از این رو محاسبات آن بر اساس در نظر گرفتن میزان باد آرام انجام می‌گیرد. با توجه به پیوست شماره (۱۴) میزان ضریب تغییرات سرعت باد برای هر یک از طبقات سرعت باد با محاسبه باد آرام در شکل ۴-۸ قابل مشاهده است.



شکل ۴-۸ روند مشاهدات ضریب تغییرات سرعت باد در هر یک از طبقات سرعت با محاسبه باد آرام برای ایستگاه مورد مطالعه.

با توجه به بالا بودن میزان ضریب تغییرات سرعت باد (۴۸/۹۸ درصد) و از طرفی دیگر پایین بودن ضریب ثبات باد (۱۷/۴۳ درصد) برای ایستگاه مورد مطالعه تمامی شواهد حاکی از آن است که ناپایداری باد در منطقه مورد مطالعه کاملاً مشهود و این امر سبب کاهش توان و پتانسیل انرژی باد در منطقه گردیده است.

### نتایج قدرت نظری و عملی توربین بادی

با توجه به محاسبات انجام شده در تعیین میزان قدرت نظری و عملی توربین بادی فرضی در ایستگاه مورد مطالعه نتایج نشان می‌دهد که قدرت نظری به دست آمده برای توربین بادی فرضی در ایستگاه مورد مطالعه، ۱۶۷/۲ وات است. با مقایسه قدرت نظری به دست آمده با مطالعات انجام شده در سایر مناطق کشور از جمله مناطق مستعد از نظر انرژی بادی، میزان قدرت نظری مذکور بسیار ناچیز است. علاوه بر آن محاسبات مربوط به قدرت عملی توربین بادی نیز نشان می‌دهد که میزان ۳۰/۲۹ وات برای قدرت عملی یک توربین بادی در مقایسه با مطالعات مشابه در سایر مناطق کشور، توانی ناچیز است و عملاً از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

### سرعت راه‌انداز-توقف و سرعت نامی باد برای توربین بادی

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که سرعت راه‌انداز برای توربین بادی به طور معمول برابر ۳/۵ متر بر ثانیه است که با توجه به سرعت ۲/۸۱ متر بر ثانیه برای ایستگاه مورد مطالعه، این امر قابل اجرا نیست. علاوه بر آن یکی از فاکتور مهم دیگر سرعت نامی است که با بررسی فرمول ۳-۱۶ برای محاسبه سرعت نامی بر اساس فاکتورهای C و K نتایج نشان می‌دهد که سرعت

نامی برای ایستگاه مورد مطالعه برابر  $1/42$  متر بر ثانیه است که این میزان از سرعت راه انداز توربین های استاندارد هم پایین تر است و بهتر است برای مطالعات بیشتر استفاده از توربین های خاص و کوچک در ارتفاعات بالاتر مورد بررسی قرار گیرد.

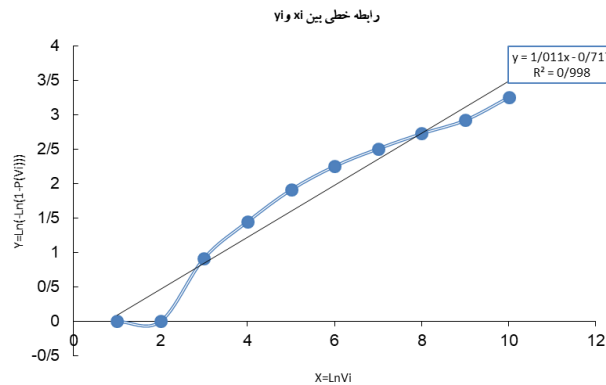
### نتایج محاسبه مقادیر $X$ و $Y$ ، احتمال تجمعی، احتمال ویبول

نتایج حاصل از محاسبه مقادیر  $X_i$  و  $Y_i$  برای تعیین مقادیر  $A$  (ضریب زاویه خط  $Y$ ) و  $B$  (عرض نقطه تقاطع خط با محور  $Y$ ها) مرتبط با فراسنج های  $C$  و  $K$  تابع ویبول در جدول ۴-۲ نشان می دهد که پس از محاسبه سرعت میانه و احتمال تجمعی برای هر یک از طبقات سرعت باد، مقادیر مذکور با استفاده از نرم افزار SPSS و معادله خط رگرسیون محاسبه شد و نتایج نشان می دهد که مقادیر  $C$  و  $K$  در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد به ترتیب برابر با  $0/4920$  و  $1/011$  است. نتایج حاصل از محاسبه مقادیر مذکور برای هر یک از ماه های سال در پیوست شماره ۱۵ ارائه شده است.

جدول ۴-۲ محاسبه مقادیر  $X$ ،  $Y$  احتمال تجمعی و احتمال ویبول برای هر یک از طبقات سرعت در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد

ردیف	$X = \ln V_i$	$Y = \ln(-\ln(1-P(v)))$	سرعت میانه $V_i$	احتمال تجمعی $P(v)$	احتمال ویبول $P(W)$
۱	۰	-۰/۶۴۱۹	۰	۰/۴۰۹۲	۰
۲	۰	-۰/۵۹۳	۱	۰/۴۲۴۵	۰/۲۶۷
۳	۰/۹۱۶۲	۰/۱۰۴۹	۲/۵	۰/۶۷۰۶۶	۰/۱۱۸۶
۴	۱/۴۴۶۹	۰/۶۷۲	۴/۲۵	۰/۸۵۸۸۸	۰/۰۰۰۳۰۳۳
۵	۱/۹۰۹۵	۱/۲۳۲۷	۶/۷۵	۰/۹۶۷۶	۰/۰۰۰۰۰۱۶
۶	۲/۲۵۱۲	۱/۴۶۶۷	۹/۵	۰/۹۸۶۸	۰/۰۰۰۰۰۱۹
۷	۲/۵۰۵۵	۱/۷۳۱۷	۱۲/۲۵	۰/۹۹۶۴	۰/۰۰۰۰۰۱۸
۸	۲/۷۲۴۵	۱/۹۷۳۳	۱۵/۲۵	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۰۰۰۱۷
۹	۲/۹۱۷۷	۲/۱۷۸۲	۱۸/۵	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۰۰۱۶
۱۰	۳/۲۴۸۴	۲/۲۲۰۳	۲۵/۷۵	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۰۰۰۱۵

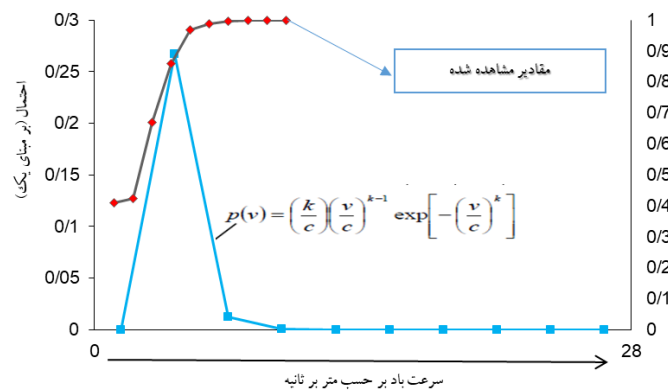
ضمناً ناچیز بودن میزان مقادیر احتمال ویبول در جدول ۴-۲ برای هر یک از طبقات سرعت در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد نشان می دهد که مقادیر مشاهده شده سرعت باد از احتمال مذکور تبعیت نمی کنند.



شکل ۴-۹ رابطه خطی بین  $x_i$  و  $y_i$  برای تعیین مقادیر A و B مرتبط با فراسنج‌های C و K در ایستگاه سینوپتیک شهر کرد

نتایج حاصل از برازش مقادیر مشاهده شده در تابع احتمال ویبول نشان می‌دهد که مقادیر مذکور از تابع ویبول دو پارامتری تبعیت نمی‌کنند در مطالعات مشابه از این قبیل موارد نیز وجود داشته است برای مثال در موردی دیگر [۷] امکان استفاده از انرژی باد برای پمپ‌های کشاورزی برقی در منطقه بروجرد را در یک دوره ۱۰ ساله با استفاده از روش پیش‌بینی تابع احتمال ویبول دو پارامتره تحلیل کردند که ابتدا دریافتند نتایج کل دوره آماری از تابع مذکور تبعیت نمی‌کند بنابراین با محاسبه‌ی جداگانه احتمال ویبول برای هر یک از ماه‌های سال به این نتیجه رسیدند که به غیر از ماه سپتامبر سایر ماه‌های سال از این تابع تبعیت می‌کنند و محاسبه احتمال پیش‌بینی در ماه سپتامبر نیز با استفاده از تابع توزیع ویبول دو نمایی انجام شده است. همچنین در مطالعه‌ای دیگر [۱] پتانسیل سنجی نیروی باد برای تولید انرژی در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد را در یک دوره ۱۰ ساله با استفاده از روش پیش‌بینی تابع احتمال ویبول دو پارامتره تحلیل نمودند و دلیل تبعیت نتایج حاصل از برازش مقادیر مشاهده شده از تابع احتمال ویبول را ناچیز بودن اختلاف بین بیشترین احتمال رخداد سرعت باد با سرعت نامی توربین بادی (فرضی) در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌دانند. که میزان این اختلاف کمتر از  $3/7$  متر بر ثانیه برآورد شده است. با این تفاسیر نتایج حاصل از برازش مقادیر مشاهده شده سرعت‌های باد در ایستگاه سینوپتیک شهر کرد نیز نشان می‌دهد که به دلایلی از قبیل پایین بودن سرعت نامی باد، اختلاف زیاد بین بیشترین میزان انحراف معیار با کمترین میزان انحراف معیار در ایستگاه مورد مطالعه، تابع ویبول دو پارامتری برای محاسبه‌ی مقادیر مشاهده شده سرعت باد در کل دوره آماری مناسب نمی‌باشد و بهتر است در مطالعات بعدی برازش داده‌ها برای هر یک از ماه‌های سال به صورت مجزا انجام شود و در صورت نیاز از تابع ویبول دو نمایی برای مواردی که از تابع دو پارامتره تبعیت نمی‌کنند استفاده شود.



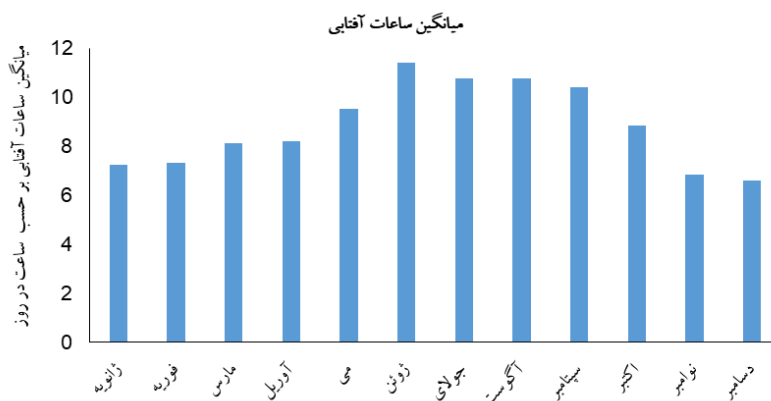


شکل ۴-۱۰ برازش مقادیر احتمال مشاهده شده رخداد سرعت‌های باد با استفاده از مدل ویبول در ایستگاه سینوپتیک شهر کرد

نتایج حاصل از آزمون نیکویی برازش رابطه‌ی (۳-۲۲) نشان می‌دهد که میزان این آماره برابر ۵۷ درصد می‌باشد. آزمون کی دو مبتنی بر جدول خاصی است. اگر آماره آزمون از مقدار جدول کوچک‌تر باشد. فرض صفر پذیرفته می‌شود در غیر این صورت فرض صفر رد می‌شود. در نتیجه آماره آزمون به‌دست آمده نشان می‌دهد که فرض صفر رد است و سرعت‌های مشاهده شده باد در ایستگاه مورد مطالعه دارای توزیع ویبول دو پارامتری نیستند.

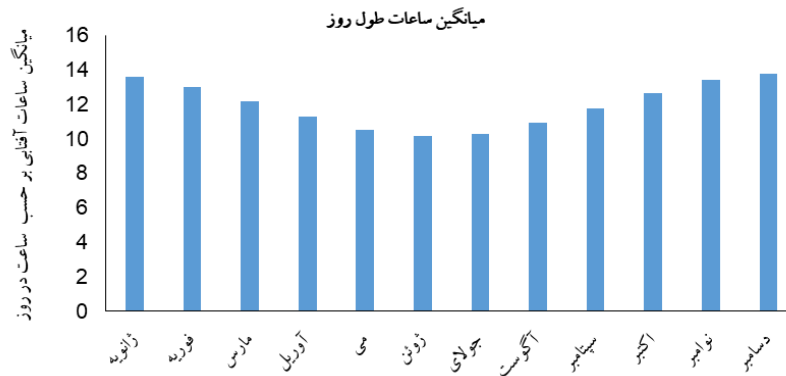
### نتایج میزان میانگین ساعات آفتابی

نتایج به‌دست آمده از محاسبات مربوط میزان ساعات آفتابی، طول روز، تابش بالای جو و تابش کل رسیده به سطح افقی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در زمینه نتایج حاصل از میانگین ساعات آفتابی برای ماه‌های مختلف سال در جدول ۳-۱ ارائه گردیده که بیان‌کننده‌ی بیشترین ساعات آفتابی برای ماه ژوئن به میزان ۱۱/۴۰ ساعت در ماه در مقابل کمترین ساعات آفتابی برای ماه دسامبر به میزان ۶/۶۱ ساعت در ماه برآورد شده است. مقادیر به‌دست آمده برای میانگین ساعات آفتابی ماه‌های مختلف سال در پیوست‌های شماره ۱۷ تا ۲۸ ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده از روند تغییرات میانگین ساعات آفتابی در شکل ۴-۱۱ قابل مشاهده است.



شکل ۴-۱۱ روند تغییرات میانگین ساعات آفتابی در ماه‌های مختلف - ایستگاه مورد مطالعه در دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴).

میزان میانگین ساعات آفتابی برای کل سال در طول دوره آماری برابر ۸/۸۲ ساعت در روز می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از محاسبات طول روز N در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین ساعات طول روز متعلق به ماه دسامبر به میزان ۱۳/۷۸ ساعت در روز و در مقابل کمترین ساعات روز متعلق به ماه ژوئن به میزان ۱۰/۱۵ ساعت در روز می‌باشد. مقادیر به‌دست آمده برای میزان ساعات طول روز در ماه‌های مختلف سال در پیوست‌های شماره ۱۷ تا ۲۸ ارائه گردیده است و روند تغییرات آن نیز در شکل ۴-۱۲ قابل مشاهده است.

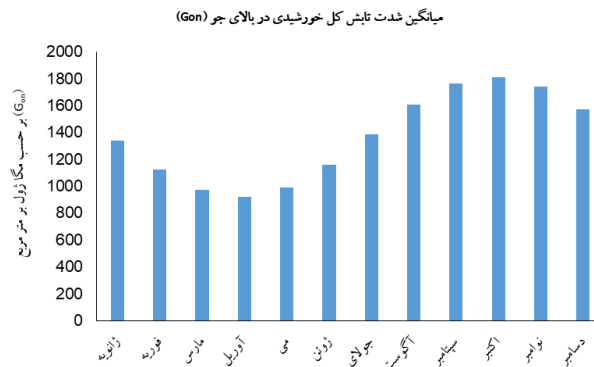


شکل ۴-۱۲ روند میانگین ساعات طول روز برای ماه‌های مختلف سال در طول دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴)

با توجه به نتایج به‌دست آمده میانگین طول روز برای کل سال در طول دوره آماری برابر ۱۱/۹۶ ساعت در روز می‌باشد.

#### نتایج شدت تابش خورشید در بالای جو (Gon)

نتایج به‌دست آمده از محاسبات مربوط به شدت تابش خورشید در بالای جو (Gon) که تحت عنوان قدم اول معرفی شد نشان می‌دهد که بیشترین شدت تابش کل خورشیدی در بالای جو مربوط به ماه اکتبر به میزان ۱۸۱۲/۱۹ مگا ژول بر مترمربع در روز و در مقابل کمترین شدت تابش کل خورشیدی در بالای جو مربوط به ماه آوریل به میزان ۹۲۱/۱۵ مگا ژول بر مترمربع در روز برآورد شده است. مقادیر به‌دست آمده برای میزان شدت تابش کل خورشید در بالای جو برای ماه‌های مختلف سال در پیوست‌های شماره ۱۷ تا ۲۸ ارائه گردیده است و روند تغییرات آن نیز در شکل ۴-۱۳ قابل مشاهده است.

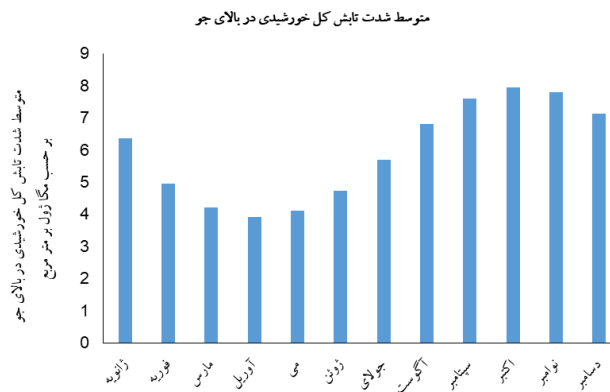


شکل ۴-۱۳ روند تغییرات میانگین شدت تابش کل خورشیدی در بالای جو (Gon) برای ماه‌های مختلف

با توجه به نتایج به دست آمده میانگین تابش کل خورشیدی در بالای جو برای کل سال در طول دوره آماری برابر  $1365/36$  مگا ژول بر مترمربع در روز می‌باشد.

### نتایج متوسط شدت تابش خورشید در بالای جو ( $\bar{H}_0$ )

نتایج به دست آمده از محاسبات مربوط به متوسط شدت تابش خورشید در بالای جو  $\bar{H}_0$  نشان می‌دهد که بیشترین مقدار متوسط شدت تابش کل خورشیدی در بالای جو مربوط به ماه اکتبر به میزان  $7/94$  مگا ژول بر مترمربع در روز و در مقابل کمترین مقدار متوسط شدت تابش کل خورشیدی در بالای جو مربوط به ماه آوریل به میزان  $3/92$  مگا ژول بر مترمربع در روز برآورد شده است. مقادیر به دست آمده برای متوسط میزان شدت تابش کل خورشید در بالای جو  $\bar{H}_0$  برای ماه‌های مختلف سال در پیوست‌های شماره ۱۷ تا ۲۸ ارائه گردیده است و روند تغییرات آن نیز در شکل ۴-۱۴ قابل مشاهده است.



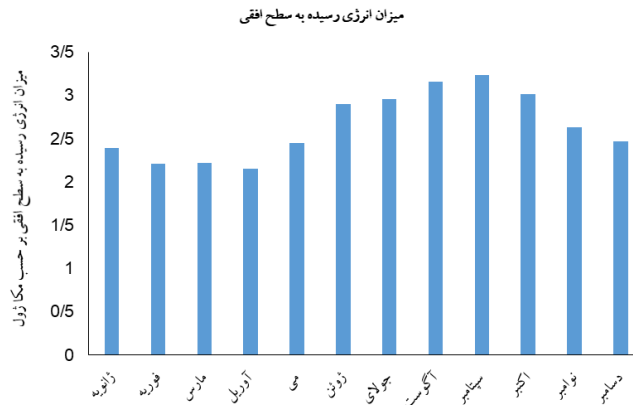
شکل ۴-۱۴ روند تغییرات متوسط شدت تابش کل خورشیدی در بالای جو  $\bar{H}_0$  برای ماه‌های مختلف

با توجه به نتایج به دست آمده متوسط تابش کل خورشیدی در بالای جو برای کل سال در طول دوره آماری برابر  $5/91$  مگا ژول بر مترمربع در روز می‌باشد.

### نتایج میزان انرژی خورشیدی رسیده به سطح افقی

نتایج ارائه شده در پیوست‌های شماره ۱۷ تا ۲۸ نشان می‌دهد کمترین میزان انرژی خورشیدی رسیده به سطح افقی در ایستگاه مورد مطالعه مربوط به ماه‌های آوریل و فوریه به ترتیب  $2/15$  و  $2/21$  مگا ژول بر مترمربع در روز بوده است. بیشترین میزان انرژی خورشیدی رسیده به سطح افقی در ایستگاه مورد مطالعه مربوط به ماه‌های سپتامبر و آگوست به ترتیب به میزان  $3/24$  و  $3/16$  مگا ژول بر مترمربع در روز بوده است و در نهایت میزان انرژی خورشیدی رسیده به سطح افقی در طول یک سال به طور متوسط  $2/65$  مگا ژول بر مترمربع در روز بوده است. روند تغییرات میزان انرژی رسیده به سطح افقی  $\bar{H}$  برای ماه‌های مختلف سال در شکل ۴-۱۵ قابل مشاهده است.

با توجه به نتایج به دست آمده میزان انرژی رسیده به سطح افقی  $\bar{H}$  برای کل سال در طول دوره آماری برابر  $2/65$  مگا ژول بر مترمربع در روز می‌باشد.



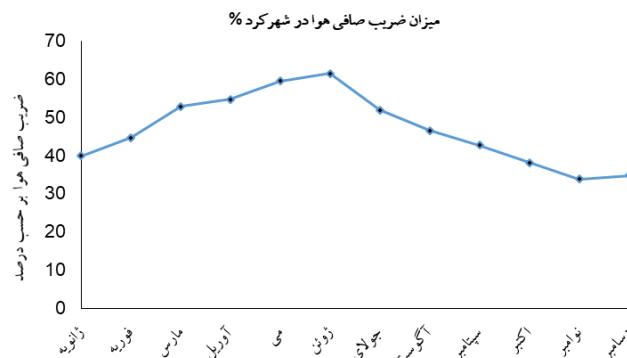
شکل ۴-۱۵ روند تغییرات میزان انرژی رسیده به سطح افقی  $\bar{H}$  برای ماه‌های مختلف

### نتایج میزان ساعات آفتابی

نتایج ارائه شده در پیوست شماره ۶ نشان می‌دهد که بیشترین ساعات آفتابی مربوط به ماه ژوئن به میزان ۳۴۴/۵ ساعت در ماه است. بیشترین میزان ساعات آفتابی در سال هم حدود ۳۷۷۴/۱ ساعت می‌باشد. از سوی دیگر کمترین ساعات آفتابی در سال مربوط به ماه ژانویه به میزان ۲۰۱/۹۷ ساعت در ماه و کمترین میزان ساعات آفتابی در سال هم حدود ۲۲۱۱/۸۷ ساعت می‌باشد.

### نتایج ضریب صافی آسمان

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد بیشترین میزان ضریب صافی آسمان مربوط به ماه‌های ژوئن و می به ترتیب ۶۱/۴۱ و ۵۹/۵۱ درصد بوده است. به طور متوسط ضریب صافی آسمان شهرکرد در طول سال برابر ۴۶/۷۲ درصد برآورد شده است. نتایج به دست آمده در شکل ۴-۱۶ قابل مشاهده است.



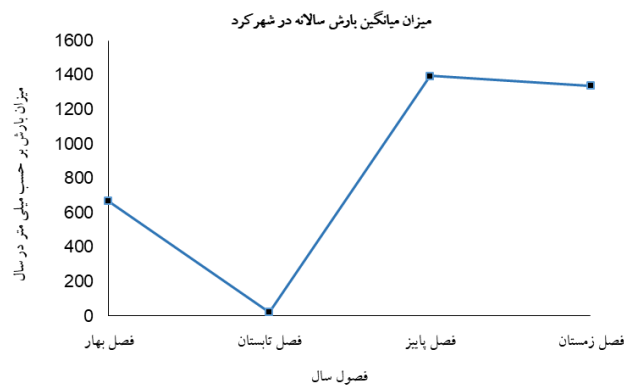
شکل ۴-۱۶ میزان ضریب صافی هوا به تفکیک ماه‌های سال - ایستگاه سینوپتیک شهرکرد در دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴)

### نتایج تعداد روزهای بارندگی

با توجه به نتایج ارائه شده در پیوست‌های شماره ۲ و ۳ بررسی تعداد روزهای بارندگی در ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ماه آوریل با ۹۰ روز بارندگی و همچنین ۲۳۹ روز بدون بارندگی از ۳۲۹ روز ثبت شده در طول دوره آماری، بیشترین میزان بارندگی را داشته است.

### نتایج میزان میانگین بارش

با توجه به نتایج ارائه شده در پیوست‌های شماره ۲ و ۳ بررسی میزان میانگین بارش در ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ماه نوامبر با متوسط ۱۰/۸۲ میلی‌متر بارش در روز و در طول دوره آماری میزان بیشترین بارش را داشته است. فصل پاییز نیز با ۱۳۹۵/۵۴ میلی‌متر در سال بیشترین میزان بارش و فصل تابستان با ۲۲ میلی‌متر در سال کمترین میزان میانگین بارش را به خود اختصاص دادند. نتایج به دست آمده در شکل ۵-۱۶ قابل مشاهده است.



شکل ۵-۱۶ میزان میانگین بارش به تفکیک فصول سال - ایستگاه سینوپتیک شهرکرد در دوره آماری (۲۰۱۴-۲۰۰۴)

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

#### نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از انرژی‌های نو نیازمند به‌کارگیری علم و فناوری است. ضروری است برای دستیابی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در زمینه‌های مختلف از مطالعات و اندازه‌گیری‌های محلی و منطقه‌ای شروع کرد. در این پژوهش پتانسیل شهرستان شهرکرد در راستای استفاده از دو انرژی بادی و خورشیدی جهت بهره‌برداری در مصارف گوناگون بررسی شد. در این میان در مبحث انرژی باد شرایط منطقه‌ای، اقلیمی و آب و هوایی شهرستان شهرکرد، مطالعات ۱۰ ساله‌ای بر روی داده‌های اقلیمی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ انجام گرفته است و نتایج به دست آمده از این مطالعات نشان می‌دهد در ایستگاه مورد مطالعه ۵۳/۳ درصد از اوقات سال در این منطقه هیچ بادی نمی‌وزد و در ۴۶/۷ درصد باقی‌مانده نیز چگالی توان بادی معادل ۶۹/۱۲ وات در هر مترمربع می‌باشد که این میزان برای بهره‌برداری در سطح وسیع بسیار ناچیز است. پس از نتایج به دست آمده می‌توان دریافت که ایستگاه سینوپتیک شهرکرد دارای پتانسیل بادی ضعیف است.

علاوه بر مبحث انرژی باد، در این پژوهش با بررسی پتانسیل انرژی خورشید در سطح شهرستان شهرکرد میزان تابش خورشیدی رسیده به سطح افقی محاسبه و نتایج به دست آمده نشان داد ایستگاه مورد مطالعه با قرار داشتن در عرض جغرافیایی مناسب (۳۱ درجه) و ارتفاع بالا (۲۰۶۱ متر) از سطح دریا و با داشتن ۴۶/۷۲ درصد روز آفتابی با آسمانی صاف در تمام طول سال و با میزان متوسط انرژی دریافتی ۲/۶۵ مگا ژول در هر مترمربع در روز، پتانسیل بهره‌برداری از انرژی خورشیدی را دارا می‌باشد. مدل استفاده شده در این پژوهش مدل پیچ است که با شرایط این منطقه نسبت به سایر مدل‌های مذکور سازگارتر است.

### پیشنهادها

در مبحث انرژی باد در شهرستان شهرکرد پیشنهاد می‌شود در صورتی که هدف از پتانسیل سنجی استفاده از انرژی باد می‌باشد بهتر است ابتدا در سطح تحقیقاتی با توربین‌های بسیار کوچک و ترجیحاً برای مناطق مرتفع و ایستگاه‌های دیده‌بانی که در سلسله جبال زاگرس قرار دارند مورد استفاده قرار گیرد تا در صورت رسیدن به نتایج مطلوب اقدام به بهره‌برداری منطقه‌ای شود. نتایج سرعت باد در ارتفاعات بالاتر نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع توربین در ایستگاه مورد مطالعه در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین، سرعت باد از ۲/۸۱ متر بر ثانیه به بیشتر از ۳/۸۷ متر بر ثانیه خواهید رسید و نیز قدرت قابل حصول از توربین‌های بادی حدود ۶۷ درصد افزایش خواهد یافت.

در مبحث انرژی خورشید در شهرستان شهرکرد نیز پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی نیز مدل‌های دیگر تابش سنجی مورد مطالعه قرار گیرد و با تهیه اطلس‌های خورشیدی از حداکثر پتانسیل منطقه استفاده شود.

### تشکر و قدردانی

سپاس خدایی را که تمام داشته‌هایم را مدیون او هستیم. بدین وسیله مراتب قدردانی خود را از اساتید محترم (راهنما) جناب آقای دکتر مجتبی نادری بلداجی و جناب آقای دکتر سجاد رستمی کندری، همچنین استاد (مشاور)، جناب آقای دکتر مهدی قاسمی و برنامه‌خواستی به خاطر زحمات مستمر و بی‌دریغشان که با صبر و بردباری بنده حقیر را تحمل نمودند، سپاس گذارم.

### منابع

۱. امیدوار، ک. و دهقان طرزجانی، م. ۱۳۹۱. پتانسیل سنجی و برآورد مشخصه‌های نیروی باد برای تولید انرژی در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد. شماره ۲: صفحات ۱۸۲۱۷-۱۸۱۹۷.
۲. ابراهیمی رضائی، الف. ۱۳۷۷. بررسی انرژی خورشیدی بر روی ایران. سمینار کارشناسی ارشد هواشناسی رشته‌ی هواشناسی.
۳. ایزدی، م. ۱۳۵۹. محاسبه‌ی انرژی خورشیدی در ده شهر ایران و مقایسه‌ی آن با مقادیر اندازه‌گیری شده پایان نامه- کارشناسی ارشد. گروه فیزیک فضایی موسسه ژئوفیزیک. دانشگاه تهران.
۴. باقری، س. و ذوالفقاری، م. ۱۳۸۲. تعیین مناطق مستعد ایران جهت استفاده از انرژی خورشیدی با توجه به میانگین تابش کلی رسیده به سطح زمین (TSR) در ماه‌های مختلف سال. اداره کل هواشناسی استان قم.



۵. ثقفی، م. ۱۳۷۲. انرژی بادی و کاربرد آن در کشاورزی. دانشگاه تهران.
۶. ثقفی، م. ۱۳۸۲. انرژی‌های تجدید پذیر نوین. تهران. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. چاپ دوم: صفحات ۳۹۰-۳۹۱.
۷. جلال‌وند، م. باخدا، ح. و الماسی، م. ۱۳۹۳. پتانسیل سنجی امکان استفاده از انرژی باد برای پمپ‌های کشاورزی برقی در منطقه بروجرد. نشریه ماشین‌های کشاورزی فردوسی مشهد. جلد ۴. شماره ۲: صفحات ۳۶۸-۳۷۷.
۸. جعفرپور، خ. ۱۳۶۴. انرژی قابل دسترس در شیراز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی مکانیک. دانشگاه شیراز.
۹. حسنی، غ. ۱۳۷۸. اصول اندازه‌گیری تابش خورشیدی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم و فنون دریایی. گروه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
۱۰. ذوالفقاری، م. ۱۳۸۲. برآورد شار تابش خالص روزانه ایستگاه قم با استفاده از داده‌های هواشناسی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم و فنون دریایی. گروه هواشناسی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
۱۱. سبزی‌پور، ع. ۱۳۸۴. گزارش پروژه مدل‌سازی اطلس تابش خورشیدی کشور با استفاده از مدل‌های فیزیکی. داده‌های زمینی و اطلاعات ماهواره‌ای. سازمان هواشناسی کشور. معاونت پژوهشی و آموزشی. دانشکده بوعلی سینا.
۱۲. شتایی، ح. ۱۳۵۹. اندازه‌گیری تابش کلی خورشید بر روی سطح شیب‌دار متوجه استوا در تهران و مقایسه آن با مقادیر محاسبه شده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه فیزیک فضا. موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
۱۳. صدرنژاد، خ. و کرمانپور، الف. ۱۳۸۰. سوخت و انرژی. موسسه انتشارات علمی. دانشگاه صنعتی شریف.
۱۴. صفاری‌پور، م. ۱۳۷۴. انرژی خورشیدی قابل دسترس در استان کرمان و مدل‌های پیش‌بینی کننده‌ی آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۱۵. صمیمی، ج. ۱۳۷۳. پتانسیل انرژی خورشیدی در ایران. مجله شریف. تهران. سال دهم. شماره ۸: صفحات ۴۶-۵۰.
۱۶. صفائی، ب. خلجی‌اسدی، م. تقی‌زاده، ح. جیلاوی، الف. طالقانی، گ. و دانش، م. ۱۳۸۳. برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن. نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق. تهران. شماره ۹۸.
۱۷. صلاحی، ب. ۱۳۸۳. پتانسیل سنجی انرژی باد و و برآزش احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال و بیول در ایستگاه‌های همدیدی استان اردبیل (پژوهش‌های جغرافیایی). جلد ۷۲: صفحات ۸۷ تا ۱۰۴.
۱۸. عبدالله‌زاده، ک. و عبدالله‌زاده، ی. ۱۳۷۹. مفاهیم کاربردی آمار و احتمالات. تهران. چاپ اول. نشر آیت. ۲۱۶ صفحه.
۱۹. عدالتی، ت. ۱۳۷۹. زمین در فضا. انتشارات دانشگاه پیام نور. چاپ دوم.
۲۰. عرب‌یعقوبی، م. و همکاران. ۱۳۸۱. تخمین مقدار کل انرژی تابشی خورشید در یاسوج با استفاده از مدل‌های تجربی. نشریه انرژی ایران. سال هشتم. شماره ۱۶: صفحات ۴۴-۶۲.
۲۱. علیجانی، ب. ۱۳۸۳. آب و هوای ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور. ۲۲۱ صفحه.
۲۲. علیجانی، ب. و کاویانی، م. ۱۳۸۲. مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت. چاپ نهم: ۵۹۲ صفحه.

۲۳. کارشناس، م. ۱۳۷۷. انرژی خورشیدی قابل دسترس در ایران و مدل‌های پیش‌بینی کننده‌ی آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی مکانیک. دانشگاه شیراز.
۲۴. کاویانی، م. ۱۳۷۴. توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۳۶: صفحات ۱۲۷-۱۴۴.
۲۵. نیرنوری، ع. ۱۳۴۵. سهم ایران در تمدن جهان. بررسی‌های تاریخی ششم. انتشارات شرکت ملی نفت ایران. جلد ۳۳: ۲۴۷ صفحه.
۲۶. هالاسی، د. مترجم: اجلالی، ح. ۱۳۵۶. آغاز عصر انرژی خورشیدی. انتشارات بنگاه ترجمه و نشر کتاب. تهران.
27. Angstrom, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Q.J. Roy. Met.Soc, 50:121.
28. Al-Mohamad, A. 2004. Global, direct and diffuse Solar radiation in Syria. Appl Energy, 79:2: 191.
29. Chang, T.J. Wu, Y.T. Hsu, H.Y. and Chu, Ch.R. 2003. Assessment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan. Renewable Energy, 28:851-871.
30. Chaharmahal and Bakhtiari Physical Geography Administration (2015). <http://www.chaharmahalmet.ir/c1.asp>
31. Dundar, C. and Inan, D. 2001. Wind energy potential of Cesme Turkey. Solar world congress Taejon Korea.
32. Gamel, M. 1994. Wind Power Statistics and Evaluation of Energy Density. Wind Engineering: 5-18.
33. ISAT. 2000. Wind Energy Report Germany 1999-2000 Annual Evaluation of WMEP Kassel: 227-240.
34. Iran Meteorological Organization (2015). <http://www.irimo.ir/far/wd/2703>.
35. Iran Moshanir companies (2015). <http://www.moshanir.co.ir/fa/map.aspx>.
36. Iran Renewable Energy Organization (2015). <http://www.suna.org.ir/fa/aboutorganization/ationoffice/sunenergyoffice>.
37. Karsli, V.M. and Gecit, C. 2003. An investigation on wind power potential of Nurdag-Gaziantep Turkey. Renewable Energy, 28: 823-830.
38. Keyhani, A. Ghasemi-Varnamkhasti, M. Khanali, M. and Abbaszadeh, R. 2010. An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran Tehran. Energy, 35:188-201.
39. Kiss, P. and Janosi, I. M. 2008. Comprehensive empirical analysis of ERA-40 surface wind speed distribution over Europe. Energy Conversion and Management, 49:2142-2151.
40. Liu, X. and Li, B. Meitan Zhuanhua. 1998. Recent progress in models of coal pyrolysis in Chinese, 21: 3:42-46.
41. Pishgar-Komleh, S.H. Keyhani, A. and Sefeedpari, P. 2014. A Wind speed and power density analysis based on Weibull and Rayleigh distributions a case study: Firouzkooh country of Iran. Renewable Energy, 42:313-322.
42. Rehman, SH. Solar radiation over Saudi Arabia and comparisons with empirical models. Energy, 23: 1077-1082.
43. Reddy, S.J. 1971. An Empirical method for the Estimation if total Solar Radiation. Solar Energy, 13: 289.



44. Smith, M. 1990. Report Consultation on Revision of FAO Methodology for CROP Water Requirements: 385-397. Available from: <http://www4.fao.org/cgi-bin/faobib>.
45. Steward, R. Spencer, D.W. and Perez, R. 1985. The measurement of solar radiation, plenum Pul Comp New York, 2:1-40.
46. Wei, Zh. Hongxing, Y. and haohong, F. 2005. Wind power potential and characteristic analysis of the Pearl River Delta region China. Renewable Energy, 31:739-753.
47. Yang, K. Huang, G.W. and Tamai, N. 2001. A Hybrid Model for Estimating Global Solar Radiation Solar Energy, 70:13-22.

## Potential Survey of Wind and Solar Energy in Shahrekord A thesis presented

Shahram Akashehe<sup>1\*</sup>, Mojtaba Naderi Boldaji<sup>2</sup>, Sajad Rostami Kondori<sup>3</sup> and Mahdi Ghasemi Varnamkhashti<sup>4</sup>

1. Master of Science, Agricultural Mechanization Engineering University of Shahrekord
2. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Shahrekord
3. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Shahrekord
4. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Shahrekord

### Abstract

The future of energy is undoubtedly towards using the renewable energy resources as the resources of fossil energy are diminishing. This study aimed at analyzing the potential of wind and solar energy in Shahrekord. The wind energy potential was assessed using the daily data recorded during the past ten years at synoptic station of Shahrekord. Averaged wind velocity, wind power density with considering the slow winds, coefficient of variation of wind velocity and the coefficient of wind stability were found to be 2.81 m s<sup>-1</sup>, 69.12 W m<sup>-2</sup>, 49.11% and 19.2%, respectively. The direction of the dominant wind at Shahrekord station was found to be south west with a frequency of 16.22%. The largest wind availability was found at 12 P.M and the smallest at 3 A.M in each day. At this station, there is no significant wind in 53.3% of the year. With implementing small-size turbines, 4032 hours can be used annually to generate energy although with a low power. The theoretical and practical powers of the turbine with a 4 m diameter vane were calculated to be 124.4 and 37.66 W m<sup>-2</sup>, respectively. It was found that the wind energy production in Shahrekord may not be economical because of low velocity of wind, high variations and non-stable conditions. Analysis of solar energy at this station showed that minimum monthly average of daily radiation energy is 2.15 MJ m<sup>-2</sup> in April with a maximum of 3.24 MJ m<sup>-2</sup> in September. The sky filter coefficient for entire the year indicated that 46.72% of the year, Shahrekord has a clear sky and the rest of the time is cloudy or partially cloudy. Regarding the values of received energy, the sky and transparent filter coefficients it was indicated that there is a high potential of solar energy. The best model for estimating the solar energy in the study area was the Paige model. However, because of high similarities, the Iranian model of Yaghoubi-Jafarpoor can be used in combination with the Paige model.

**Keywords:** wind energy potential, prevailing wind, wind power, wind velocity, wind turbine, Shahrekord synoptic station.

\*Corresponding Author Shahram Akashehe.

E-mail: shahram.akashehe@yahoo.com