جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی
سال ۲۰، شماره پیاپی ۳۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸
وصول: ۱۳۸۶/۴/۱۳ پذیرش: ۱۳۸۸/۲/۸
صص ۱۷۲ ـ ۱۵۵

برآورد انرژی باد در ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان

فاطمه رحیم‌زاده، مربی پژوهشکده هواشناسی*
مژده پدرام، مربی پژوهشکده هواشناسی
عبدا... صداقت کردار، دانشیار پژوهشکده هواشناسی
رمعلی کمالی، دانشیار پژوهشکده هواشناسی

چکیده

در این مطالعه، میانگین ماهانه سرعت باد و انرژی آن براساس داده‌های ساعتی یازده ایستگاه همدیدی (سینوپتیک) در دوره اقلیمی ۲۰۰۵-۱۹۹۲ محاسبه و تحلیل شده است. میانگین انرژی باد با استفاده از برازش نوع پیوندی (هیبرید) توزیع‌های ویبال و معکوس نرمال به داده‌های ساعتی سرعت باد و هم چنین روش مستقیم، برآورد شده است. نتایج نشان داد که سرعت باد در طول ماه‌های سرد سال (نوامبر، دسامبر و ژانویه) نسبت به سایر ماه‌ها کمتر است. با شروع فصل بهار (آوریل)، سرعت باد در منطقه کم کم افزایش می‌یابد و روند کاهشی از ماه سپتامبر به بعد مجدداً شروع می‌شود. انرژی باد برآورد شده در سطح ایستگاه‌های استان اصفهان نشان داد که در دوره‌ای که سرعت باد کمتر است، چگالی توان باد در ایستگاه‌های استان به کمتر از ۶۰ وات بر متر مربع می‌رسد. چگالی توان باد با شروع ماه فوریه (حدود ماه بهمن) به سبب افزایش سرعت باد در منطقه زیاد می‌شود، به طوری که در ایستگاه‌های اردستان، نائین، کاشک ترآباد به بیش از ۶۰ وات بر متر مربع و در ایستگاه شهرضا به بیش از ۱۴۰ وات بر متر مربع می‌رسد. پس از سپری شدن ماه آوریل، به جز در ایستگاه اردستان، دوباره چگالی توان باد همگام با کاهش سرعت باد، کاهش می‌یابد. به طور کلی، در بین این ایستگاه‌های منطقه، خورو بیابانک، داران و نطنز با سرعت و چگالی توان کم باد مواجه هستند. الگوی تغییرات چگالی ماهانه توان باد در ایستگاه اردستان نیز با سایر ایستگاه‌ها متفاوت است.

واژه‌های کلیدی: میانگین انرژی باد، سرعت باد، ویبال، معکوس نرمال، پیوندی، استان اصفهان.

* نویسنده مسؤول: ۰۹۱۲۳۸۷۴۴۵۱
E-mail: rahimzadeh_f@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر افزایش روزافزون جمعیت و تقاضای فزاینده انرژی و به موازات آن نگرانی از اتمام ذخایر سوخت‌های فسیلی، اهمیت توجه به انرژی‌های نو و تجدیدپذیر را بیشتر نمایان کرده است، به طوری که به کارگیری آن‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های کاهش و مهار بحران تقاضای جهانی انرژی مدنظر قرار گرفته است. در کارگاه آموزشی که در ژانویه سال ۲۰۰۸ میلادی در کشور آلمان برگزار شد، ابعاد جدید استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر تابش خورشیدی، باد، زمین گرمایی و غیره با توجه به مقوله تغییر اقلیم تشریح گردید (URL1). در نشست بیست و هشتم هیات بین دولی تغییر اقلیم[1] (IPCC) بر لزوم پتانسیل سنجی در سطح ملی و منطقه‌ای این نوع انرژی‌ها نیز تاکید شده است (URL2).

کشور ایران به لحاظ گستره جغرافیایی و تنوع اقلیمی، برنامه‌های ویژه‌ای را در سطح ملی، طی برنامه‌های پنج ساله توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در دست اقدام داشته و در بخش انرژی، بر استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر تأکید کرده است. در این راستا، تلاش برای شناسایی مناطق مستعد و پتانسیل‌سنجی انرژی بادی در سطح کشور به عنوان ضرورتی اجتناب ناپذیر در دستور کار سیاست گذاران و برنامه ریزان قرار گرفته است. مطالعات و تحقیقات مختلفی درباره این مهم، از جمله توسعه این صنعت، مقرون به صرفه بودن آن، تأثیرات زیست ـ محیطی و اجتماعی و... به طور پراکنده و گاه موازی انجام شده است.

تعریف و انجام پروژه پتانسیل سنجی و تهیه اطلس باد کشور، ترویج و برنامه‌ریزی برای اجرای طرح‌ها و بهره برداری از انرژی بادی، نصب سایت‌های ثبت آمار لحظه ای باد برای امکان سنجی احداث مزارع بادی، مدیریت طراحی، ساخت و نصب توربین‌های بادی در منجیل، دیزآباد استان خراسان و بجنورد، همکاری با صندوق تسهیلات جهانی زیست ـ محیطی[2] (GEF) برای شناخت موانع و توسعه نیروگاه‌های برق بادی، از جمله اقدامات معاونت انرژی‌های نو وزارت نیرو و هم چنین همکاری با سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) بوده است (سازمان انرژی‌های نوین ایران، ۱۳۷۵ و۱۳۸۳).

از صرفه پروژه اطلس باد کشور، با هدف برآورد پتانسیل انرژی باد در تعدادی از ایستگاه‌های هواشناسی کشور به انجام رسید (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۷۶). در این پروژه توزیع ویبل[3] در نظر گرفته به داده‌های سه ساعته سرعت باد ایستگاه‌های دماسنجی (سینوپتیک[4]) برازش داده شد و میانگین مکعب سرعت باد از طریق گشتاور مرتبه سوم محاسبه گردید (رحیم زاده و جهانگیری، ۱۳۸۲ و جهانگیری و رحیم زاده، ۱۳۸۳). در پروژه دیگری که در سازمان هواشناسی کشور (۱۳۸۵) با

1. Intergovermental Panel on Climate Change
2. Global Enviroment Facility

3. Weibull
4. Siap

Archive of SID

www.SID.ir

عنوان «تحلیل سینوپتیکی انرژی باد در کشور ایران» انجام شد، ابتدا با استفاده از تحلیل خوشه ای بر روی داده‌های سمت و سرعت باد پهنه‌های بادی مشخص شدد و سپس انرژی باد از دیدگاه سینوپتیکی بررسی گردید.

در پژوهشگاه مواد و انرژی نیز تحقیقاتی در زمینه روش‌های محاسبه و تعیین پتانسیل انرژی باد با استفاده از داده‌های سمت و سرعت باد مورد بررسی گرفته (جمیل، ۱۳۸۰) است. در یکی از طرح‌های انجام شده در این پژوهشگاه، پس از نصب یک بادسنج معمولی سیمپ[1] در یکی از نواحی نه چندان بادخیز کشور، نحوه محاسبه چگالی انرژی باد از طریق توابع احتمال ویبال به طور کامل مشخص شده است.

هدف اصلی این مقاله، شناسایی رژیم باد در ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان و برآورد انرژی باد در آن‌ها، با استفاده از روش‌های آماری است. از آنجا که ایستگاه‌های سنجش باد در نقاط مختلف این استان پراکنده شده‌اند، این فعالیت می‌تواند شناخت پایه‌ای و مقدماتی مناسبی را در رابطه با پتانسیل انرژی باد در منطقه اصفهان، برای مطالعات مورد نیاز بعدی در اختیار برنامه‌ریزان قرار دهد.

۲- برآورد انرژی باد

جا به جایی هوا از نقطه ای به نقطه دیگر انرژی باد را ایجاد می‌کند که میزان کمی با استفاده از معادله (۱) قابل برآورد است.

$$P = \frac{1}{2}\rho v^3 \quad (۱)$$

در این رابطه P چگالی توان باد (وات بر متر مربع)، ρ چگالی هوا (گرم بر سانتیمتر مکعب) و v سرعت باد (متر بر ثانیه)، است، بنابراین متوسط انرژی باد نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\overline{P} = \frac{1}{2}\overline{\rho v^3} \quad (۲)$$

با توجه به دسترس بودن روش‌های مختلف موجود برای برآورد ρ و اختلاف ناچیز در مقادیر حاصل از آن‌ها، برآورد انرژی باد با متوسط توان سوم سرعت باد مرتبط بوده، به صورت رابطه (۳) قابل برآورد است.

$$W = \overline{v}^3 \quad (۳)$$

از طریق برازش یک توزیع احتمال به داده‌های سرعت باد، می‌توان میانگین مکعب سرعت باد را از طریق رابطه (٤) که معرف برآورد گشتاور مرتبه سوم v است، به دست آورد، که در آن $g(v)$ تابع چگالی توزیع سرعت باد است

$$W_I = \int_0^\infty (v)\,g(v)\,dv \quad (٤)$$

برای تعیین $g(v)$، تلاش‌های متعددی، به ویژه در سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۷۰ صورت پذیرفته است. برای مثال، هنسی[1] (۱۹۷۷) و همکاران، استوارت و اسن وانگر[2] (۱۹۷۸) توزیع ویبال را به شکل دو پارامتره در برازش به سرعت باد به کار گرفته‌اند. باردسلی[3] (۱۹۸۰) تابع معکوس نرمال را به عنوان جایگزینی برای برازش به

1. Hennessey
2. Stewart & Essenwanger
3. Bardsley
4. Bryukhan
5. Diab
6. Rayleiyh

Archive of SID

www.SID.ir

سرعت باد توصیه نمود. بریخوان[1] و دیاپ[2] (۱۹۹۵) با تاکید بر اهمیت ارزیابی پتانسیل انرژی باد، توجه محققان را به برآورد و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ترازهای بالایی جو جلب نمودند و پتانسیل انرژی باد را در ترازهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از توزیع نرمال دو متغیره، ارزیابی نمودند.

۲-۱- تابع توزیع ویبال

توزیع ویبال دو پارامتره و یا شکل خاص آن توزیع رایله[3]، یکی از بهترین توابع برای برازش به داده‌های سرعت باد است که برای برآورد توزیع پیوسته سرعت باد از مقادیر گسسته مشاهده ای، بسیار مناسب است. بیان ریاضی تابع چگالی ویبال دو پارامتره متغیر x، با پارامترهای α و β که به ترتیب عوامل شکل[4] و مقیاس[5] نام دارند، به صورت زیر است:

$$f(x,\alpha,\beta)=\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)\times\left(\frac{x}{\beta}\right)^{x-1}\exp\left[-(\frac{x}{\alpha})^{\alpha}\right] \quad (۵)$$

در رابطه فوق، $\beta \succ 0$، $\alpha \succ 0$ و $x \geq 0$ هستند.

میانگین و واریانس توزیع به ترتیب عبارتند از:

$$\bar{x}=\overline{\beta}\left(1+\frac{1}{\alpha}\right) \quad (۶)$$

$$\sigma^2=\beta^2\left[\Gamma\left(1+\frac{2}{\alpha}\right)-\Gamma\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)\right] \quad (۷)$$

در رابطه (۷)، $\Gamma(z)=\int_0^{\infty} t^{z-1}.e^{-t}dt$ تابع شناخته شده گاما ست. میانگین توان r ام توزیع نیز از رابطه (۸) به دست می‌آید.

$$\bar{x}^r=\beta^r\Gamma\left(1+\frac{r}{\alpha}\right) \quad (۸)$$

بنابراین، میانگین توان سوم متغیر x (گشتاور مرتبه سوم x) یا عبارت مورد نیاز برای محاسبه انرژی باد مطابق رابطه (۹) پس از برآورد α و β به یکی از روش‌های برآورد آماری به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$\bar{x}^3=\beta^3\Gamma\left(1+\frac{r}{\alpha}\right) \quad (۹)$$

برای برآورد پارامترهای شکل و مقیاس ویبال دو پارامتره می‌توان از چندین روش مختلف آماری نظیر کاغذ احتمال، روش برازش حداقل مربعات (جاستوس[6] و همکاران، ۱۹۷۸؛ حبیبی، ۱۳۸۰) و یا روش بیشینه درست نمایی (جاستوس و همکاران، ۱۹۷۸؛ سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۷۶) استفاده نمود. خصوصیات توزیع ویبال دو پارامتره و برآورد پارامترهای آن در مقالات متعددی (هنسی، ۱۹۷۷؛ ریموند[7]، ۱۹۷۷؛ جاستوس، ۱۹۷۸؛ پاویا[8] و ابرین[9]، ۱۹۸۶؛ شوتی و همکارانش، ۱۹۸۶) ارائه شده است. استوارت و اسن وانگر (۱۹۷۸) توزیع ویبال سه پارامتره را در برازش به

1. Justus
2. Raymond
3. Pavia
4. O'brien
5. Sutte
7. shape
8. scale

Archive of SID
www.SID.ir

سرعت باد به کار برده اند. در مورد ویبال سه پارامتره (هیپرگاما یا گامای بهبود یافته) باید اذعان نمود که با وجود کارا بودن این توزیع برای برازش به سرعت باد، برآورد پارامتر سوم توزیع، سبب به وجود آمدن مشکلاتی در تابع بیشینه درست نمایی آن می‌گردد.

۲-۲- تابع معکوس نرمال

باردسلی (۱۹۸۰) توزیع معکوس نرمال را به عنوان جایگزینی برای توزیع خانواده ویبال (ویبال سه پارامتره، سه پارامتره و رایله) معرفی و ادعا نمود که برآورد پارامترها در این توزیع به سادگی امکان پذیر است. تابع توزیع معکوس نرمال از رابطه ریاضی زیر تبعیت می‌کند:

(۱۰)

$$F_x(x)=\left[\mu\phi\left(2nx^3\right)^{\frac{1}{2}}\exp\left(-\frac{1}{2}\phi x\mu^{-1}+\phi-\frac{1}{2}\mu\phi x^{-1}\right)\right],$$
$$x\succ 0,\ \mu\succ 0,\ \phi\succ 0$$

در رابطه (۱۰)، μ میانگین توزیع و ϕ پارامتر شکل و n تعداد مشاهدات است. با افزایش ϕ توزیع به تدریج به سمت نرمال میل می‌کند. این توزیع مانند توزیع ویبال دو پارامتره دارای چولگی مثبت بوده، خواص مناسبی در رابطه با برازش توزیع سرعت باد دارد. برآورد پارامترهای این توزیع، برای n مشاهده غیر صفر $x_i=1,2,\cdots,n$ با استفاده از روش بیشینه درست نمایی از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$\hat{\mu}=\bar{x}$$ (۱۱)

$$\hat{\phi}=\left(\bar{x}\ \bar{y}-1\right)^{-1}$$ (۱۲)

در رابطه فوق $y_i=x_i^{-1}$ است (باردسلی، ۱۹۸۰). بنابراین، می‌توان $\hat{\mu}$ و $\hat{\phi}$ را به سادگی برای هر مجموعه داده غیر صفر محاسبه کرد. گشتاور مرتبه سوم؛ یعنی $E\left(x^3\right)$ که در این توزیع برحسب پارامترهای μ و ϕ محاسبه می‌شود، عبارت است از:

$$E\left(x^3\right)=\mu^3\left(1+3\phi^{-1}+3\phi^{-2}\right)$$ (۱۳)

از رابطه (۱۳) نیز نتیجه می‌شود که با افزایش ϕ، معکوس نرمال به سمت توزیع نرمال میل می‌کند. در استفاده از این توزیع باید دقت نمود که برخلاف توزیع ویبال، در صورت برازش به سرعت باد، پتانسیل انرژی باد دارای توزیع معکوس نرمال نیست. در این جا باید به دو نکته مهم در زمینه به کارگیری توزیع‌های احتمال معرفی شده، اشاره کرد: نکته اول آنکه هرگاه توزیع ویبال به داده‌های ساعتی سرعت باد برازش داده شود، تابع توزیع در نقطه صفر؛ یعنی احتمال وقوع داده‌های مساوی یا کمتر از صفر برابر با رابطه (۱۶) خواهد بود (تاکله[1] و براون[2]، ۱۹۷۷).

$$F_x(0)=P(X\leq 0)=0$$ (۱۶)

این در صورتی است که در بسیاری از اوقات داده‌های سرعت برابر صفر (باد آرام) یا نزدیک به آن است و درصدی از فراوانی داده‌های سرعت باد را شامل می‌شود. برای حل این مسأله و کاهش خطا باید از توزیع‌های پیوندی(هیبرید[3]) استفاده نمود. در این صورت تابع توزیع سرعت باد به رابطه (۱۷) تبدیل خواهد شد:

1. Takle
2. Brown
3. hybrid

Archive of SID

www.SID.ir

$$F_x^H(x)=\begin{cases}F_0+(1-F_0)F_x^w(x) & x\geq 0\\ 0\end{cases} \quad (۱۷)$$

که در آن F_0 ، احتمال صفر بودن مقادیر سرعت باد، $F_x^w(x)$ تابع توزیع به کار گرفته شده، و $F_x^H(x)$ شکل پیوندی آن می‌باشد.

ملاحظه می‌شود با به کارگیری رابطه (۱۷)، تابع تجمعی در نقطه صفر برابر F_0 خواهد بود. بدین ترتیب، مشکل وجود داده‌های برابر صفر (روزهای آرام) حل خواهد شد. البته، می‌توان از طریق سری کسب سرعت باد، برآوردی برای $\bar{v}^3$ از رابطه زیر به دست آورد که در آن n تعداد مشاهدات، v_i سرعت باد و W_d انرژی باد به روش مستقیم[1] هستند.

$$W_d=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}v_i^3 \quad (۱۸)$$

هرچه تعداد مشاهدات بیشتر باشد و داده‌ها در فواصل زمانی کمتری اندازه گیری شوند، برآورد به دست آمده مناسب تر خواهد شد.

نکته دوم، تعیین مقدار چگالی هوا ست که یکی از پارامترهای مؤثر بر انرژی باد است. هر چند درصد تأثیر تغییرات آن (به سبب استفاده از فرمول‌های مختلف) ناچیز و بین ۳ تا ۵ درصد است، اما به لحاظ در دسترس بودن داده‌های پارامترهای هواشناسی، نظیر: نسبت آمیزه، فشار و دما، در این مقاله از فرمول محاسبه نسبتاً دقیق آن (رابطه ۱۹) که به طور تجربی به دست آمده و با شرایط ایران مطابقت دارد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۷۶)، استفاده شده است.

$$\rho=\left[\frac{(1000+r)}{(1000+0.62198r)}\right]\left[\frac{QFE}{(2.8704+(T_d+273.15))}\right] \quad (۱۹)$$

در رابطه (۱۹) r نسبت آمیزه برحسب گرم بر کیلو گرم (gr/kgr)، QFE فشار تبدیل شده ایستگاه[2] به تراز متوسط دریا بر حسب هکتوپاسکال (hPa) و T_d نقطه شبنم بر حسب درجه سلسیوس است.

۳- مواد و روش‌ها

شناخت علمی و دقیق رژیم باد و تغییرات آن در هر منطقه باید از طریق تحلیل داده‌های حاصل از دیدبانی روزانه و ساعتی باد و همچنین دیگر پارامترهای جوی مؤثر که به طور صحیح و دقیق در پوشش مکانی و دوره زمانی مناسب اندازه گیری شده اند، صورت پذیرد. بر طبق استانداردهای سازمان هواشناسی جهانی[3] (WMO) پارامتر برداری باد در ارتفاع ده متری از سطح زمین، در ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی و اقلیم شناسی سازمان هواشناسی کشور، اندازه گیری می‌شود.

در ایستگاه‌های همدیدی، حداقل هر سه ساعت یک بار پارامترهای جوی اندازه گیری و ثبت می‌گردند، در حالی که در ایستگاه‌های اقلیم شناسی در فاصله ساعات ۰۳ تا ۱۵به وقت UTC[4]، مطابق با ۶/۵ صبح تا ۶/۵ بعدازظهر به وقت محلی؛ یعنی ۱۲ ساعت از شبانه روز، دیدبانی انجام می‌شود. بنابراین، ملاحظه می‌شود که به کار گیری داده‌های ساعتی ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی، به

1. Direct
2. World Meteorological Organization
3. Universal Time Coordination

Archive of SID

www.SID.ir

دلیل عدم توزیع یکنواخت در طول شبانه روز، برآورد مناسبی از انرژی باد به دست نمی‌دهد. به علاوه، یکسان نبودن فاصله زمانی ما بین دیدبانی‌های ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی با ایستگاه‌های سینوپتیک، سبب می‌شود که نتایج تحلیل داده‌های حاصل از آن‌ها با یکدیگر قابل مقایسه نباشند.

جدول شماره (۱) مختصات جغرافیایی، طول دوره و شکاف‌های آماری هر یک از ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان را نمایش می‌دهد. در بین این ایستگاه همدیدی پارامترهای جوی ایستگاه گلپایگان، مانند ایستگاه‌های اقلیم شناسی، تنها در ساعات ۰۳ تا ۱۵ اندازه گیری شده‌اند و محاسبات این ایستگاه فقط مربوط به داده‌هایی است که در طول روز اندازه گیری و ثبت شده اند. در این مقاله هرچند نتایج محاسبات این ایستگاه ارائه شده اما در عمل با دیگر ایستگاه‌ها مقایسه نگردیده است.

قبل از برآورد انرژی باد در استان اصفهان، ابتدا به منظور شناخت اولیه از میزان سرعت باد در این استان، میانگین‌های ماهانه سرعت باد محاسبه و گلبادهای ماهانه رسم و تحلیل شد که به علت حجم زیاد آن‌ها در بخش بعد فقط به ذکر اجمالی نتایج اکتفا می شود. سپس مقادیر برآورد شده چگالی توان باد در ایستگاه‌های مورد مطالعه به سه روش مستقیم، ویبال و معکوس نرمال محاسبه شده است که در جداول و نمودارهای ارائه شده مقایسه خواهند شد.

٤-نتایج

همان گونه که در جدول شماره ۱ ملاحظه می شود، در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه فقط دو ایستگاه اصفهان و کاشان دارای آمار بلند مدت هستند. آمار سایر ایستگاه-ها از سال ۱۹۹۲ میلادی به بعد اندازه گیری شده است. به این ترتیب می‌توان دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۹۲ میلادی را به طور مشترک برای یازده ایستگاه مذکور در نظر گرفت.

براساس نمودارهای شماره ۱ و ۲ و جدول شماره ۲، روند خطی میانگین سالانه سرعت باد و میانگین دهه-ای آنها به ترتیب در دو ایستگاه اصفهان و کاشان، در طی دوره آماری موجود هر ایستگاه، کاهشی بوده است. نتایج نشان داد که روند میانگین سالانه سرعت باد در دو ایستگاه فوق در دوره بلند مدت در مقایسه با روند آنها در کوتاه مدت کاملاً متفاوت است. بنابراین، برای دو ایستگاه کاشان و اصفهان، برآورد چگالی توان باد براساس دوره‌های بلند مدت، برآورد دست بالایی از انرژی باد خواهد بود. با در نظر گرفتن این نتیجه و وجود دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۹۲ میلادی به طور مشترک برای اغلب ایستگاه‌ها و هم چنین وجود داده‌های توام شب و روز در این دوره کوتاه مدت برای اکثر ایستگاه-های همدیدی استان، محاسبات انرژی باد برای این دوره صورت پذیرفت.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱: ایستگاههای سینوپتیک

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی شمالی	عرض جغرافیایی شرقی	ارتفاع متر	سال تاسیس	اطلاعات ۱۹۵۱ ۱۹۵۶ ۱۹۶۱ ۱۹۶۶ ۱۹۷۱ ۱۹۷۶ ۱۹۸۱ ۱۹۸۶ ۱۹۹۱ ۱۹۹۶ ۲۰۰۱
۱	اصفهان(فرودگاه سنجی)	۵۱.۴۰	۳۲.۳۷	۱۵۵۰	۱۹۵۱	
۲	اردستان	۵۲.۲۳	۳۳.۲۳	۱۲۵۲	۱۹۹۳	
۳	داران	۵۰.۲۲	۳۲.۵۸	۲۲۹۰	۱۹۸۹	
۴	خورپایابانک	۵۵.۰۵	۳۳.۴۷	۸۴۵	۱۹۸۶	
۵	قالیان	۵۲.۰۵	۳۲.۵۱	۱۵۴۹	۱۹۹۳	
۶	نطنز	۵۱.۵۴	۳۳.۳۲	۱۶۴۸	۱۹۹۳	
۷	کاشان	۵۱.۲۷	۳۳.۵۹	۹۸۲	۱۹۶۶	
۸	کهوتر آباد	۵۱.۵۱	۳۲.۳۱	۱۵۴۵	۱۹۸۱	
۹	گلپایگان	۵۰.۱۷	۳۳.۲۸	۱۸۷۰		
۱۰	شورق اصفهان	۵۱.۵۲	۳۲.۴۰	۱۵۴۳		
۱۱	شهرضا	۵۱.۵۰	۳۱.۰۹	۱۸	۱۹۹۳	

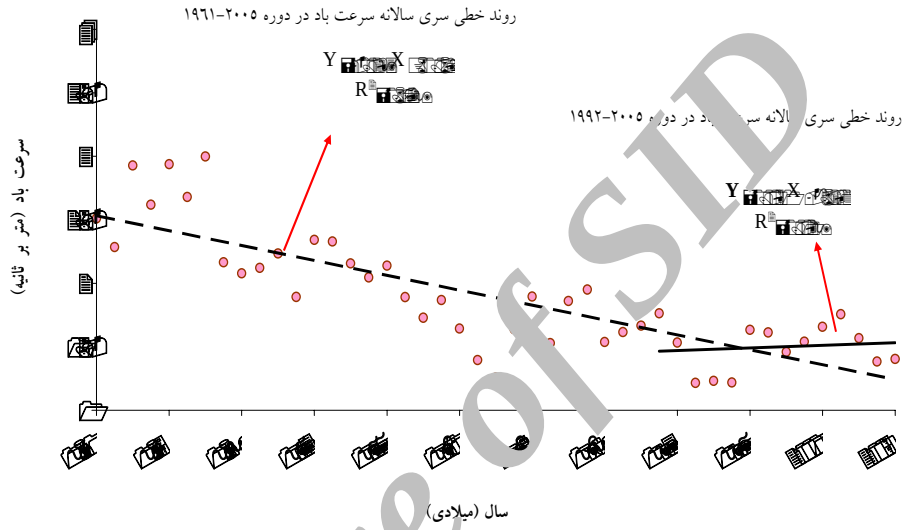
سال دارای اطلاعات آماری
سال دارای نقص اطلاعات آماری
عدم وجود اطلاعات آماری در سال

Archive of SID

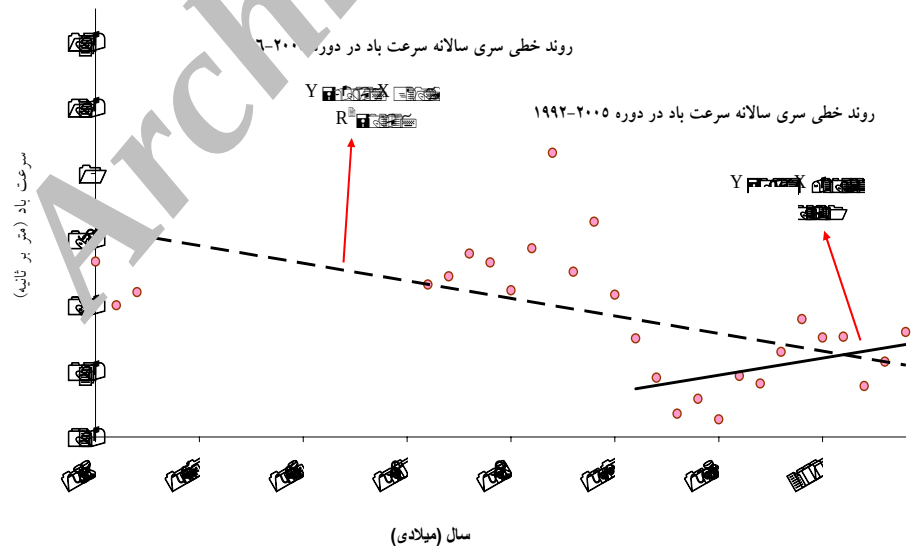
www.SID.ir

جدول شماره ۲- میانگین سرعت باد ایستگاه‌های اصفهان و کاشان در دهه‌های مختلف (بر حسب متر بر ثانیه).

دهه / ایستگاه	۱۹۶۱-۷۰	۱۹۷۱-۸۰	۱۹۸۱-۹۰	۱۹۹۱-۲۰	۲۰۰۱-۰۵
اصفهان	۲/۵	۱/۲	۱/۶	۱/۵	۱/۵
کاشان	۰/۸	-	۰/۸	۰/٤	۰/۵



شکل شماره ۱ مقایسه سری سالانه میانگین سرعت باد به همراه روند خطی آن در ایستگاه اصفهان برای دوره‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۲ و ۲۰۰۵-۱۹۶۱



شکل شماره ۲ مقایسه سری سالانه میانگین سرعت باد به همراه روند خطی آن در ایستگاه کاشان برای دوره‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۲و ۲۰۰۵-۱۹۶۶

Archive of SID

www.SID.ir

٤-١- سرعت باد

مقایسه میزان میانگین ماهانه سرعت باد در طول سال برای ایستگاه‌های استان نشان داد که از این لحاظ ایستگاه‌های استان از حالت یکنواختی برخوردار نیستند. سرعت وزش باد در ایستگاه کاشان نسبت به سایر ایستگاه‌های دیگر استان، بسیار کمتر و در بعضی ماه‌ها ناچیز است. در مقابل سرعت باد در ایستگاه اردستان بیش از سایر ایستگاه‌ها ست.

با شروع فصل سرد سال (ماه‌های نوامبر دسامبر و ژانویه) سرعت وزش باد کمتر از دیگر مواقع سال می‌شود؛ به طوری که در ماه دسامبر کمترین مقدار میانگین سرعت باد (۰/۱ متر بر ثانیه) و بیشترین آن (۲/۲ متر بر ثانیه) به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های کاشان و نایین است.

پس از ماه ژانویه، سرعت باد در منطقه کم کم افزایش یافته؛ به طوری که در ایستگاه‌های اردستان، نایین، شهرضا و شرق اصفهان سرعت باد به بیش از ۳ متر بر ثانیه می‌رسد. میانگین سرعت باد در سایر ایستگاه-های استان کمتر از ۲ متر بر ثانیه است. بیشترین مقدار سرعت باد در ایستگاه‌های استان اغلب مربوط به ماه آوریل (فروردین) است. در برخی ایستگاه‌ها مانند اردستان و خور و بیابانک بالاترین میزان میانگین سرعت باد، در ماه ژوئیه به دست می‌آید. ایستگاه‌های اردستان و کاشان دارای بیشترین و کمترین میانگین سرعت باد، ٤/٧ و۰/۸ متربرثانیه در ماه ژوئیه هستند.

از اوایل ماه می تا اواخر ژوئیه سرعت باد، به ویژه در اردستان همچنان افزایش یافته، حتی به میزان ٤ متر بر ثانیه می‌رسد. روند کاهشی از ماه سپتامبر به بعد شروع می‌شود. به طور کلی ایستگاه‌های اردستان، نایین، شرق اصفهان و شهرضا در طول مدت سال نسبت به سایر ایستگاه‌ها از سرعت باد بیشتری برخوردارند. تغییرات میانگین ماهانه سرعت باد ایستگاه نایین به مراتب کمتر از دیگر ایستگاه‌ها بوده است.

٤- ٢- سمت باد

در فصل زمستان سمت باد غالب در جنوب استان عمدتاً غربی و نیمه غربی، اما در مرکز و شمال استان در نیمه شمالی دیده می‌شود. سمت باد غالب در فصل بهار کمابیش مشابه فصل زمستان است. در فصل تابستان باد غالب در اکثر ایستگاه‌ها، از سمت شرق و شمال شرق می‌وزد. این حالت به صورت همگن در همه ایستگاه‌های استان به چشم می‌خورد. از آنجا که سرعت وزش باد منطقه در فصل پاییز نسبتاً کاهش می‌یابد، و به علاوه این فصل با تغییر ساختار و گذر از کاهش سرعت بادهای شرقی و افزایش بادهای غربی روبروست، تعیین دقیق

Archive of SID

www.SID.ir

الگوی واحد برای جهت غالب باد منطقه کمی دشوار است. شایان گفتن است که بررسی علل وزش باد از یک سمت معین در بازه زمانی خاص در منطقه، به مطالعه و تحقیق جداگانه‌ای در مقیاس محلی و سینوپتیکی نیاز دارد که از موضوع و هدف این مقاله بیرون است.

٤-٣- چگالی توان باد

میانگین چگالی توان باد بر استان اصفهان به سه روش مستقیم، برازش توزیع هیبرید ویبال و هیبرید معکوس نرمال و با استفاده از داده‌های ساعتی یازده ایستگاه همدیدی استان، برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲، برآورد شده است. هرچند مقادیر به دست آمده از سه روش فوق در جدول شماره (۳) ارائه شده، اما با توجه به کارایی بیشتر مدل ویبال، تحلیل نتایج بر اساس این روش صورت گرفته است. در این روش برآوردها غالبا کمتر از دو روش دیگر بوده است. در نمودار شماره ۳ چگالی توان باد در ده ایستگاه استان به طور مقایسه‌ای (همه ایستگاه‌ها به جز گلپایگان) در دوازده ماه سال نمایش داده شده است.

با نگاهی به این نمودار در می یابیم که غالباً بیشترین مقدار چگالی توان باد ایستگاه‌های استان مربوط به ماه آوریل است. در برخی ایستگاه‌ها، مانند: نطنز و کبوترآباد، ماه مارس و در ایستگاه اردستان، ماه ژوئن، ژوئیه و اوت، ماه‌هایی با بیشترین چگالی توان باد به شمار می‌روند.

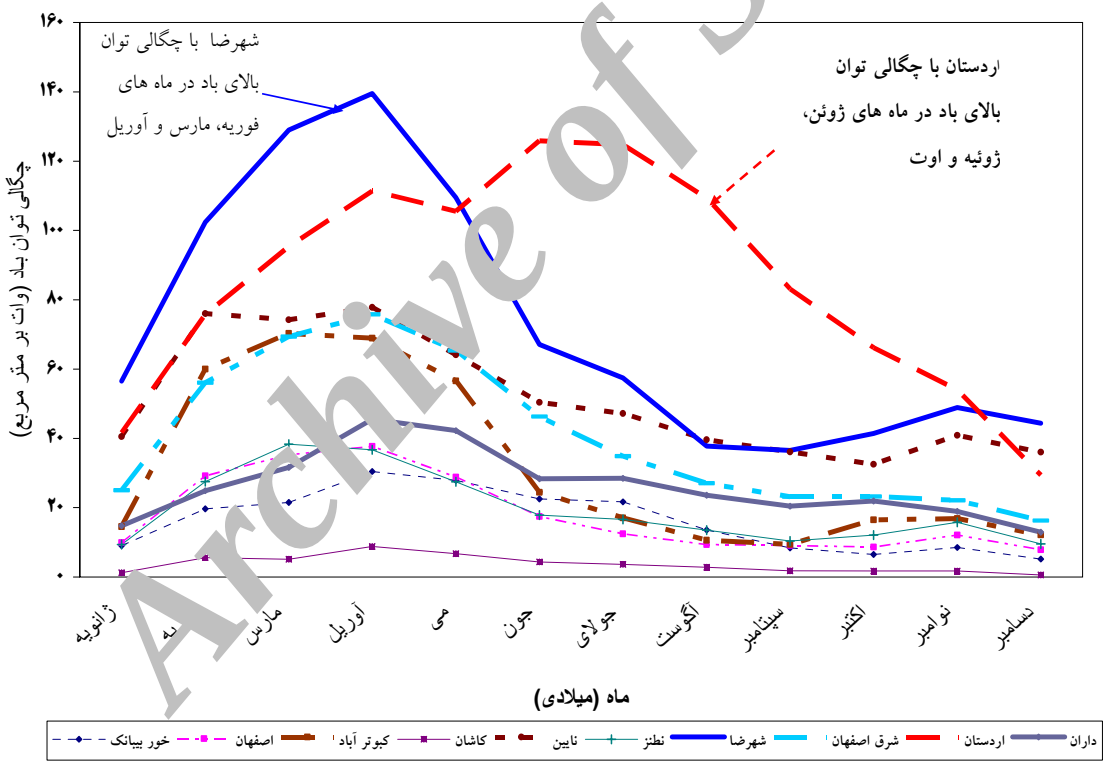
کمترین چگالی توان باد در ایستگاه‌های استان نیز اغلب مربوط به ماه دسامبر است. در ایستگاه‌هایی، مانند: نطنز و شهرضا نیز ماه سپتامبر کمترین مقدار انرژی باد را دارست. کمترین مقدار چگالی توان باد ایستگاه نایین مربوط به ماه اکتبر است.

در نمودارهای شماره ٤-الف تا ٤-د چگالی توان باد، به ترتیب در چهار ماه مارس، آوریل، ژوئن و ژوئیه به عنوان نمونه ارائه شده است، زیرا همان طور که پیش از این نیز اشاره شد، در ماه‌های مارس و آوریل اکثر ایستگاه‌های استان بیشترین مقدار چگالی توان باد را دارند. همچنین بیشینه چگالی توان باد ایستگاه اردستان در ماه‌های ژوئن و ژوئیه مشاهده می‌شود. در دوره‌ای که سرعت باد در استان اصفهان کمتر است؛ یعنی ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه، چگالی توان باد در ایستگاه‌های استان اصفهان به کمتر از ۲۰ وات بر متر مربع می‌رسد. با اتمام دوره و شروع ماه فوریه (حدود بهمن) به سبب افزایش سرعت باد در منطقه چگالی توان باد زیاد می‌شود. به طوری که در ایستگاه‌های اردستان، نایین و کبوترآباد به بیش از ٦٠ وات بر متر مربع و در ایستگاه شهرضا به بیش از ١٤٠ وات بر متر مربع می‌رسد. پس از

Archive of SID

www.SID.ir

طی ماه آوریل به جز در ایستگاه اردستان دوباره چگالی توان همگام با کاهش سرعت باد کاهش می‌یابد، به طور کلی در بین ایستگاه‌های منطقه ایستگاه‌هایی مانند خور و بیابانک، داران و نطنز که از سرعت باد کمی برخوردارند و در نتیجه چگالی توان باد آن‌ها نیز کم است. الگوی تغییرات چگالی ماهانه توان با در ایستگاه اردستان با سایر ایستگاه‌ها متفاوت است.



شکل شماره ۳ مقایسه چگالی توان باد بر حسب وات بر متر مربع برای ایستگاه‌های همدیدی (سینوپتیک) استان اصفهان

Archive of SID

www.SID.ir

جدو ل ۳ برآورد چگالی توان باد با استفاده از روش‌های مستقیم، ویبال و معکوس نرمال برای ایستگاه‌های همدیدی (سینوپتیک) استان اصفهان (بر حسب وات بر متر مربع)
در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۹۲

ایستگاه	روش	ماه											
		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اردستان	مستقیم	۴۷/۱۰	۹۰/۴۸	۱۱۲/۴۲	۱۲۰/۹۹	۱۱۰/۷۲	۱۲۳/۵	۱۱۰/۴۲	۱۰۵/۹۴	۸۱/۴۴	۶۸/۰۴	۵۷/۲۸	۳۶/۲۰
	ویبال	۴۱/۶۱	۷۵/۷۲	۹۵/۲۹	۱۱۱/۳۸	۱۰۵/۵۱	۱۱۵/۸۱	۱۲۴/۷۵	۱۰۹/۳۵	۸۳/۱۲	۶۶/۱۹	۵۳/۹۶	۲۹/۳۷
	معکوس نرمال	۵۶/۴۰	۱۰۳/۷۶	۱۲۸/۸۸	۱۴۵/۹۸	۱۲۹/۱۵	۱۶۲/۰۰	۱۶۱/۳۳	۱۳۷/۳۹	۱۰۶/۳۱	۸۴/۲۳	۷۶/۷۸	۳۸/۷۸
اصفهان	مستقیم	۱۲/۳۱	۳۵/۹۳	۴۳/۷۵	۵۰/۴۰	۱۸/۰۰	۲۰/۱۶	۱۳/۷۰	۱۰/۸۳	۱۰/۸۶	۹/۸۲	۱۸/۱۶	۱۱/۴۸
	ویبال	۹/۹۴	۲۹/۲۰	۳۵/۲۶	۳۷/۷۳	۲۸/۸۵	۱۷/۴۶	۱۲/۴۶	۹/۳۶	۹/۱۰	۸/۶۵	۱۲/۰۸	۷/۸۴
	معکوس نرمال	۱۰/۲۹	۳۲/۸۵	۴۰/۸۵	۴۰/۵۷	۳۲/۵۲	۱۸/۴۰	۱۲/۸۶	۹/۷۳	۹/۴۰	۸/۶۶	۱۳/۲۹	۸/۰۹
خوربیابانک	مستقیم	۱۳/۱۹	۲۷/۸۳	۲۹/۶۲	۳۰/۰۱	۳۸/۹۸	۲۷/۷۲	۲۳/۶۶	۱۵/۷۱	۱۰/۹۸	۸/۴۶	۱۵/۸۷	۸/۳۰
	ویبال	۹/۰۶	۱۹/۶۷	۲۱/۰۰	۳۰/۴۷	۲۷/۸۶	۲۲/۵۴	۲۱/۷۰	۱۳/۵۸	۸/۴۰	۶/۵۱	۸/۵۳	۵/۱۸
	معکوس نرمال	۱۱/۱۹	۲۷/۰۰	۳۰/۰۰	۳۷/۶۷	۳۳/۳۴	۲۶/۰۰	۲۴/۷۸	۱۴/۷۴	۹/۰۳	۷/۱۲	۱۰/۱۲	۵/۸۵
داران	مستقیم	۱۵/۸۱	۲۶/۱۰	۳۴/۱۰	۵۰/۰۳	۴۶/۹۶	۳۰/۳۴	۳۰/۴۰	۲۵/۱۴	۲۱/۶۵	۲۴/۶۶	۲۰/۸۱	۱۴/۱۳
	ویبال	۱۴/۷۷	۲۷/۹۲	۳۱/۶۴	۴۵/۵۰	۴۲/۲۵	۲۸/۳۸	۲۸/۴۶	۲۳/۵۹	۲۰/۴۲	۲۱/۹۱	۱۸/۹۴	۱۲/۹۴
	معکوس نرمال	۱۹/۱۶	۳۲/۷۰	۳۸/۸۸	۵۶/۲۱	۵۳/۶۲	۳۳/۶۷	۳۳/۴۱	۲۸/۲۹	۲۴/۲۷	۲۶/۴۲	۲۳/۰۱	۱۶/۴۸
شرق اصفهان	مستقیم	۳۲/۱۱	۶۶/۸۵	۸۲/۳۳	۹۰/۲۹	۷۸/۶۸	۵۱/۴۷	۳۷/۸۳	۳۰/۱۸	۲۵/۸۹	۳۰/۲۸	۲۹/۴۰	۱۹/۹۸
	ویبال	۲۵/۰۴	۵۶/۰۳	۶۹/۳۶	۷۵/۷۷	۶۵/۳۶	۴۶/۲۶	۳۴/۸۵	۲۷/۰۳	۲۳/۱۹	۲۳/۲۵	۲۲/۰۷	۱۶/۲۹
	معکوس نرمال	۲۷/۸۷	۶۷/۰۶	۸۵/۳۵	۹۲/۷۸	۷۹/۳۶	۵۳/۰۶	۳۸/۹۸	۲۹/۲۰	۲۴/۸۷	۲۵/۱۶	۲۴/۰۸	۱۶/۷۹

Archive of SID

www.SID.ir

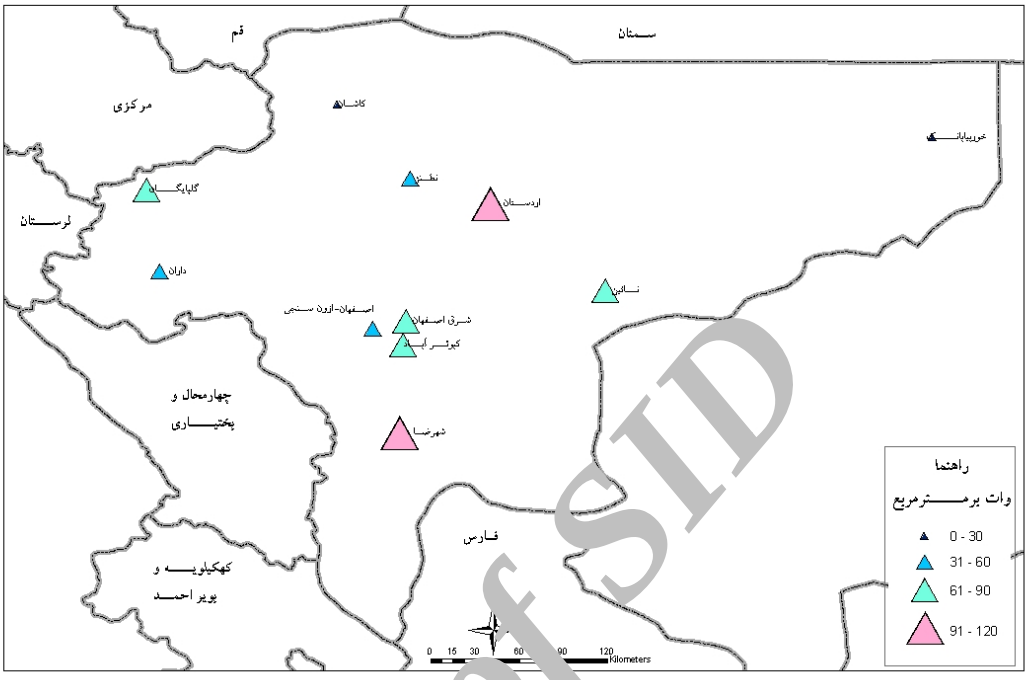
ادامه جدول ۳

ایستگاه	روش	ماه											
		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	[illegible]	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شهرضا	مستقیم	۶۱/۰۲	۱۱۰/۹۵	۱۵۰/۵۴	۱۵۱/۰۲	۱۲۴/۶۲	۷۰/۹۲	۶۰/۰۳	۳۹/۰۶	۳۹/۹۹	۴۸/۲۸	۶۱/۷۱	۴۷/۴۷
	ویبال	۵۶/۵۲	۱۰۲/۴۰	۱۲۸/۹۹	۱۳۹/۵۲	۱۰۹/۴۹	۶۷/۰۶	۵۷/[illegible]	۳۷/۷۵	۳۶/۵۳	۴۱/۴۳	۴۸/۹۳	۴۴/۳۸
	معکوس نرمال	۷۶/۴۹	۱۴۴/۳۵	۱۹۷/۲۳	۲۰۸/۲۳	۱۵۹/۳۷	۸[illegible]	۷۴/۷۸	۴۶/۲۱	۴۷/۶۵	۵۵/۳۹	۶۷/۶۲	۵۸/۸۰
کاشان	مستقیم	۲/۲۲	۷/۷۹	۶/۶۴	۱۳/۷۴	۸/۷۶	۵/۴[illegible]	۴/۱۳	۳/۵۹	۲/۱۹	۲/۱۱	۲/۴۷	۰/۷۶
	ویبال	۱/۲۵	۵/۵۸	۵/۱۳	۸/۷۹	[illegible]/۷۵	[illegible]	۳/۶۴	۲/۸۳	۱/۸۰	۱/۷۵	۱/۷۲	۰/۶۱
	معکوس نرمال	۱/۳۳	۶/۲۶	۵/۷۵	۱۰/۳۱	۷/۶۶	۴/۸۴	۳/۹۶	۲/۹۹	۱/۸۳	۱/۸۶	۱/۸۳	۰/۶۲
کبوترآباد	مستقیم	۱۷/۲۷	۸۷/۵۵	۹۰/۵۴	[illegible]/۲۳	۸۸/۹[illegible]	۲۱/۹۱	۲۱/۶۳	۱۴/۶۷	۱۱/۵۳	۳۳/۲۸	۲۶/۵۹	۱۳/۱۱
	ویبال	۱۵/۵۶	۶۰/۰۱	۷۰/۲۸	[illegible]	۵۶/۵۷	۲۴/۴۱	۱۷/۰۱	۱۰/۶۱	۹/۳۸	۱۶/۵۰	۱۶/۸۶	۱۲/۱۶
	معکوس نرمال	۲۱/۳۳	۱۰۱/۷۲	۱۱[illegible]	[illegible]/۰۶	۹۶/۸۱	۳۶/۳۸	۲۳/۴۴	۱۳/۹۱	۱۲/۴۲	۲۶/۴۵	۲۶/۷۷	۱۸/۹۵
گلپایگان	مستقیم	۲۷/۶۸	۵۸/۷۱	[illegible]/۲۹	۸۰/۱۶	۶۶/۲۸	۴۴/۷۱	۳۳/۲۱	۲۹/۰۲	۳۷/۹	۴۹/۷۹	۳۲/۶۳	۲۲/۵۶
	ویبال	۲۵/۲۲	۵۴/۳۶	[illegible]/۲۲	۷۴/۴۸	۶۲/۲۱	۴۱/۶۱	۳۱/۲۹	۲۶/۵۸	۳۴/۸۳	۴۵/۳۷	۲۹/۶۲	۲۱/۳۱
	معکوس نرمال	۲۹/۷۶	۶۱/[illegible]	۷۶/[illegible]	۹۱/۶۳	۷۵/۵۶	۴۸/۸۶	۳۶/۶۳	۲۹/۶۱	۴۰/۱۸	۵۴/۲۸	۳۵/۳۵	۲۵/۳۸
نایین	مستقیم	۴۶/۵۹	۸۷/۵۴	۸۵/۱۵	۸۹/۶۳	۷۵/۱۳	۵۴/۹۰	۴۹/۵۵	۴۲/۴۲	۳۸/۷۷	۳۶/۹۸	۴۹/۷۳	۴۶/۲۲
	ویبال	۴۰/۵۳	۷۰/[illegible]	۷۴/۱۹	۷۷/۷۸	۶۴/۱۰	۵۰/۴۲	۴۷/۲۰	۳۹/۶۳	۳۶/۱۳	۳۲/۵۴	۴۰/۸۸	۳۶/۰۲
	معکوس نرمال	۴۷/۴۰	۹۳/۹۲	۹۲/۲۹	۹۵/۲۶	۷۷/۶۲	۵۷/۷۲	۵۳/۰۶	۴۴/۳۸	۳۹/۹۰	۳۶/۰۳	۴۷/۶۱	۴۲/۳۴
نظنز	مستقیم	۱۷/۱۱	۴۹/۴۹	۷۸/۰۹	۵۰/۵۵	۴۰/۴۵	۲۰/۴۵	۱۷/۸۴	۱۴/۶۸	۱۲/۷۴	۱۵/۹۲	۲۷/۱۹	۱۶/۲۵
	ویبال	۹/۳۷	۲۷/۵۱	۳۸/۳۲	۳۶/۷۰	۲۷/۴۸	۱۷/۸۵	۱۶/۶۴	۱۳/۵۴	۱۲/۱۲	۱۰/۳۴	۱۵/۷۷	۹/۵۲
	معکوس نرمال	۱۲/۰۶	۳۸/۶۶	۵۷/۳۵	۴۹/۲۵	۳۵/۴۱	۲۰/۴۹	۱۸/۷۴	۱۵/۱۳	۱۴/۲۶	۱۱/۸۲	۲۰/۶۸	۱۲/۳۲

Archive of SID

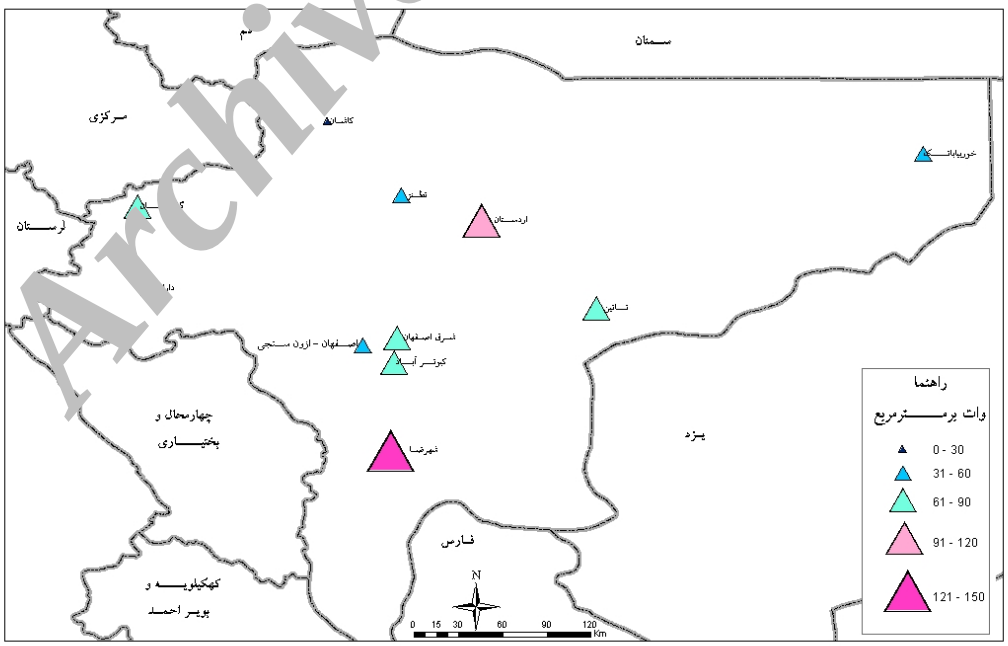
www.SID.ir

چگالی توان باد در ایستگاههای سینوپتیک استان اصفهان در ماه مارس برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲



الف) مارس

چگالی توان باد در ایستگاههای سینوپتیک استان اصفهان در ماه آوریل برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲

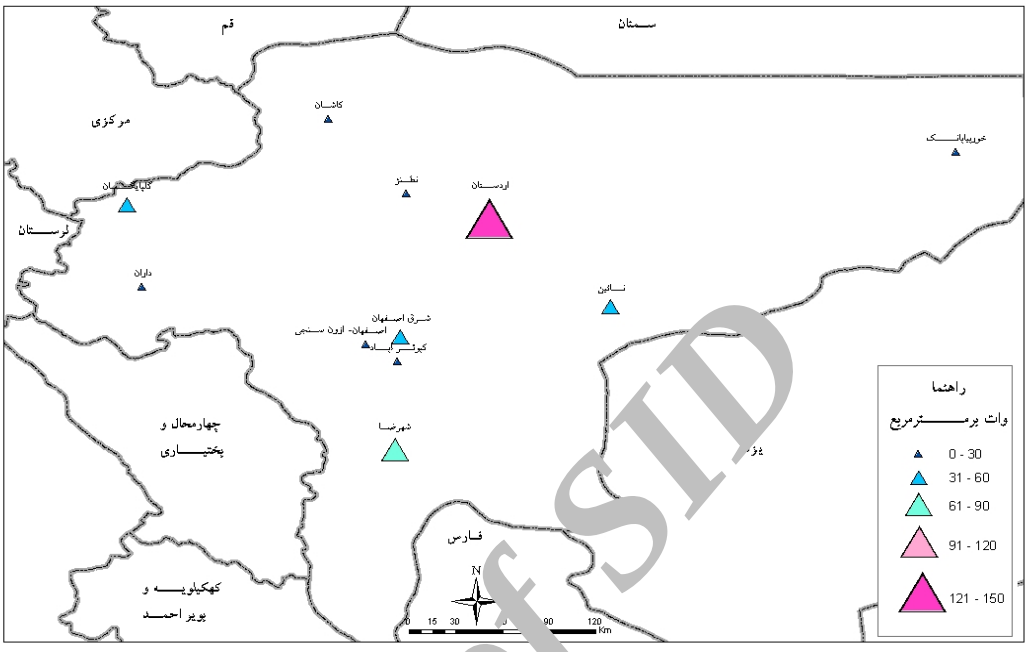


ب) آوریل

Archive of SID

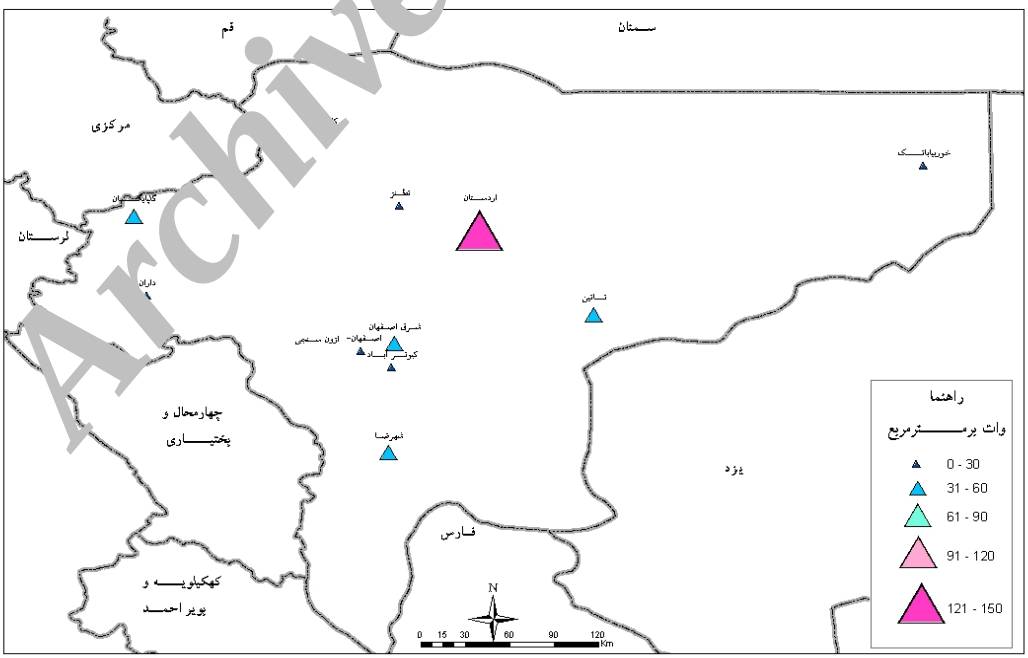
www.SID.ir

چگالی توان باد در ایستگاههای سینوپتیک استان اصفهان در ماه ژوئن برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲



ج) ژوئن

چگالی توان باد در ایستگاههای سینوپتیک استان اصفهان در ماه ژوئیه برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲



د) ژوئیه

شکل شماره ٤ چگالی توان باد در ایستگاه برای ایستگاه‌های همدیدی (سینوپتیک) برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲؛ الف) مارس، ب) آوریل، ج) ژوئن، د) ژوئیه.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱- سازمان هواشناسی کشور، (۱۳۸۵)، گزارش پروژه ارزیابی انرژی پتانسیل باد در پهنه‌های بادخیز ایران.

۲- سازمان انرژی‌های نوین ایران (سانا)، (۱۳۸۳)، از انرژی‌های نو چه می‌دانید؟ گزارش سوم، انرژی باد.

۳- سازمان انرژی‌های نوین ایران (سانا)، (۱۳۷۵)، گزارش پروژه منابع انرژی تجدیدپذیر نوین، وزارت نیرو، معاونت امور انرژی، دفتر انرژی‌های نو

٤- سازمان هواشناسی کشور، (۱۳۷٦)، گزارش پروژه اطلس انرژی باد در کشور.

۵- ثقفی، م، (۱۳۸۲)، انرژی‌های تجدیدپذیر نوین، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۹

٦- جمیل، م.، (۱۳۸۰)، چگالی انرژی باد، نیوار، شماره ٤۲و٤۳ پاییز و زمستان، ص۵۰-۲۷.

۷- جهانگیری، ز.، ف.، رحیم زاده، (۱۳۸۳)، بررسی انرژی باد در استان آذربایجان غربی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس اکوانرژی ایران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه.

۸- رحیم زاده، ف.، ز.، جهانگیری، (۱۳۸۲)، مکان یابی مناسب برای استفاده از انرژی باد در کشور، سومین همایش بین المللی بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران.

۹- رحیم زاده، ف.، ن.، محمدیان، و ج.، اکبری نژاد، (۱۳۸۵)، بررسی تغییر پذیری سرعت باد در تعدادی از شهرهای بزرگ کشور در ارتفاع ده متری از سطح زمین، نیوار، شماره ٦۲ و٦۳ پاییز و زمستان، ص ۷-۲۱.

10- Bardsley, E. W., 1980, Note on the Use of the Inverse Gaussian Distribution for Wind Energy Applications, , J. Appl. Meteor., 19, 1126-1130.

11- Bryukhan, F. F., Diab, D. R., 1995, Wind Energy Resource Estimation of the Upper Atmosphere over Southern Africa. Appi. Meteor.,34, 2565-2571.

12- Hennessy, J. P., 1977, Some Aspects of wind Power Statistics. J. Appl. Meteor., 1, 119-128.

13- Justus, C. G., W. R. Hargraves, A. Milhai, and D. Garber, 1978, Methods for Estimatating Wind Speed Frequency Distributions. J. Appl. Meteor., 17, 350-353.

14- Justus, C. G., Mikhail, 1976, Height Variation of wind speed and wind speed distribution statistics, Geophys. Res. Lett., 3, 261-264.

15- Pavia, E. G., and J., O Brien, 1986, Weibul statistics of wind speed over the

Archive of SID

www.SID.ir

ocean, J of climate and applied Meteor., 25, 1324-1332.

16- Stewart, D.A., and O.M., Essenwanger, 1978, Frequency Distribution of Wind Speed Near the Surface. J. Appl. Meteor., 17, 1633-1642.

17- Shutte, [illegible], Cislka and S. Israelssor, 1987, The [illegible]e of the weibull Distribution for thunderstorm Parameters, J. of App. Meteor. Vol 26. 457-463.

18- Takle, E. S., Brown, J. M., 1977, Note on the Use of Weibull Statistics to Characterize Wind- Speed Data. J. Appl. Meteor., 17, 556-559.

19- Raymond, K., W., Wong, 1977, Weibull Distribution, Iterative likelihood Techniques and Hydro meteorological Data, J. of applied Meteor. 16, 1360-1364.

20- URL1: http://www.ipcc.ch/meetings/session29/doc2.pdf, "Meeting for the Special Report on Renewable Energy", January 2008, Lübeck, Germany.

21- URL2: http://www.ipcc.ch/meetings/session28.htm, "Session of the IPCC", April 2008, Budapest Hungary

Archive of SID

www.SID.ir