



پتانسیل یابی انرژی باد و کاربرد آن در مکان یابی نیروگاه بادی در استان کرمانشاه

آرش آذری¹، غلامعلی پرهام²، عبدالکریم بهنیا³ و علیجان بافکار⁴

خشکسالی در سالهای اخیر بر اهمیت موضوع می افزاید، در صورت تکیه بر انرژی حاصل از نیروگاههای آبی و حرارتی به عنوان منابع تولید برق در این مناطق، ممکن است در سالهای کم آبی، کشور با کمبود تولید برق مواجه شود. در داخل کشور برخی تحقیقات در این خصوص صورت گرفته است. جمیل، پتانسیل انرژی باد را در سایت پژوهشگاه مواد و انرژی مشکین دشت کرج بررسی نمود و نتیجه گرفت برای داده های بلند مدت باد و مشاهدات و اندازه گیریهای سرعت، تابع احتمال پیوسته ویبول نتایج خوبی ارائه می کند ولی بادهای آرام و کم سرعت را توجیه نمی کند [8]. نصیری، برخی از خصوصیات باد را از نظر سرعت متوسط، قدرت متوسط، سرعت اسمی، فاکتور ظرفیت و غیره با استفاده از آمار ایستگاه سینوپتیک خلخال محاسبه نمود [3]. صلاحی از تابع ویبول جهت پیش بینی احتمالات سرعت باد و محاسبه انرژی باد در ایستگاههای سینوپتیک استان اردبیل استفاده کرد که طبق آن بیشترین انرژی باد برای ایستگاه اردبیل بدست آمد [2]. ارنست، ادوگوگا و دوندر پتانسیل سنجی باد را در برخی نقاط جهان بر پایه روشهای آماری و استفاده از تابع ویبول انجام داده اند [7، 4 و 6]. جوستوس در تحقیقی ضمن مقایسه دو توزیع دو پارامتری لوگ نرمال و ویبول به این نتیجه رسید که داده های سرعت باد با توزیع ویبول تطابق بهتری دارد [9]. اسکیدمور و واگنر با استفاده از آمار ماهیانه، سمت و سرعت باد را شبیه سازی نموده و برتری توزیع ویبول را به صورت گسترده نسبت به توزیع نرمال به اثبات رساندند [10 و 11].

طبق بررسیهای بعمل آمده تاکنون بررسی جامعی در خصوص امکان سنجی استفاده از انرژی باد در استان کرمانشاه صورت نگرفته است. پژوهش حاضر می تواند نمایی از وضعیت انرژی باد

چکیده - هدف از اجرای این تحقیق تعیین پتانسیل انرژی باد و انتخاب نقطه بهینه، جهت احداث نیروگاه بادی با استفاده از آمار ایستگاههای سینوپتیک استان کرمانشاه می باشد. در این تحقیق ابتدا داده های بلند مدت سه ساعته سمت و سرعت باد، در ایستگاههای سینوپتیک استان کرمانشاه در طی دوره آماری 11 تا 25 ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. احتمال تجربی داده ها با استفاده از تابع توزیع پیوسته ویبول محاسبه شد و با توجه به آزمون نکویی برازش کای اسکوئر، این تابع به عنوان توزیع مناسب در برازش داده های باد شناخته شد. با توجه به مطالعات انجام شده، چگالی توان باد در ایستگاههای کرمانشاه، کنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب به ترتیب 0.66/8، 1.146/1، 0.270/9، 0.245/4 و 0.100/8 وات در هر متر مربع محاسبه شد. با توجه به تعداد ساعات وزش باد و همچنین درصد موجودیت باد لازم بین سرعتهای راه اندازی و توقف توربین های بادی به نظر می رسد ایستگاه سینوپتیک روانسر مکانی مناسب جهت بهره برداری از انرژی باد باشد.

واژه های کلیدی - انرژی باد، تابع احتمال ویبول، سرعت باد، نیروگاه بادی

1- مقدمه

در آینده ای نزدیک، انرژی های نو و تجدید شونده سهم بیشتری در تامین انرژی جهان را به خود اختصاص خواهند داد. تجدیدپذیری، عدم آلودگی، گسترش این منابع در تمام جهان و سادگی بهره برداری، انرژی های تجدیدپذیر را به ویژه برای کشورهای در حال توسعه از جاذبه بیشتری برخوردار کرده است. از این رو، در برنامه ها و سیاستهای ملی و بین المللی کشورها، منابع تجدیدپذیر انرژی مورد اهمیت قرار گرفته است. از آنجا که اکثر مناطق کشور بر اساس تقسیم بندی های اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می آید و افزایش شدت

1- دانشجوی دکتری هیدرولوژی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز - a_azari1384@yahoo.com

2- دانشیار گروه آمار دانشکده علوم ریاضی دانشگاه شهید چمران اهواز

3- استاد گروه هیدرولوژی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

4- عضو هیات علمی و مربی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی -

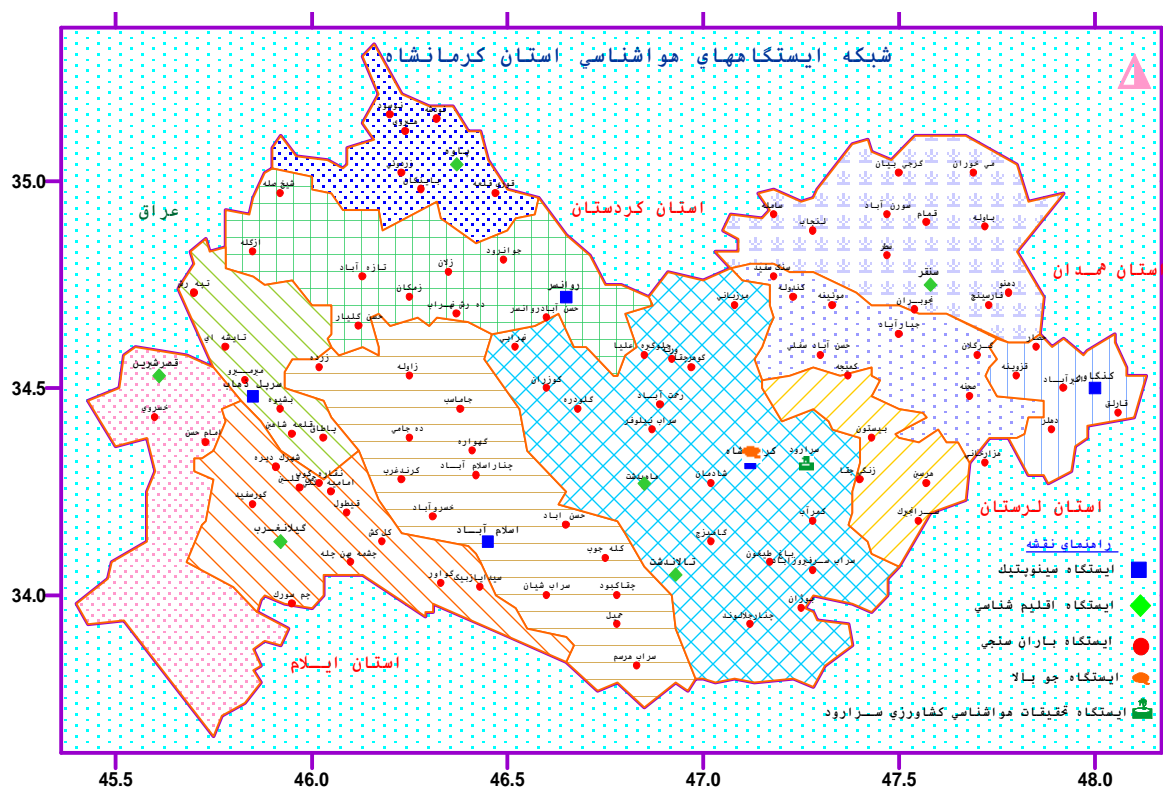
alibafkar@yahoo.com

از اجرای این تحقیق انجام مطالعات اولیه و پایه ای بر روی مربوط به ایستگاههای مزبور، خلاء شدید آماری در برخی ساعات انداه گیری روزانه بخصوص ساعات 00 و 18 و 21 (GMT) وجود داشت. از آنجایی که باد یک کمیت برداری بوده و دارای جهت و سرعت است و نیز تحت تاثیر توپوگرافی و نحوه استقرار جریانات فوقانی جو است، لذا تخمین سمت و سرعت باد در ساعات فاقد آمار غیرممکن بوده و در صورت تخمین نیز با خطا همراه است. از طرف دیگر در بررسی پتانسیل انرژی باد و تصمیم گیری در خصوص استفاده یا عدم استفاده از مبدلهای بادی در یک منطقه، وجود آمار پیاپی در کلیه ساعات شبانه روز و حداقل در یک دوره 4 الی 10 ساله الزامی است [6]. بنابراین آمار انتخاب شده جهت بررسی انرژی باد در سالهای ذکر شده در ایستگاههای سینوپتیک منتخب بدون خلاء آماری بوده و ایستگاههایی که شرایط فوق را دارا نبودند در مراحل اولیه مطالعات حذف شدند.

را در ایستگاههای سینوپتیک استان کرمانشاه نشان دهد. هدف اوضاع کلی باد و ویژگیهای سمت و سرعت آن و پیش بینی درصد وقوع احتمال هر یک از سرعتها و یا محدوده ای از سرعتها با استفاده از تابع توزیع پیوسته احتمال ویبول می باشد. تعیین پتانسیل انرژی باد و مکان یابی احداث نیروگاه بادی و انتخاب نقاط بهینه جهت احداث نیروگاه بادی در سطح استان از اهداف دیگر این تحقیق است.

2- مواد و روشها

برای انجام مراحل تحقیق آمار سمت و سرعت بادهای 3 ساعته روزانه ایستگاههای سینوپتیک کرمانشاه، کنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید که محل و موقعیت جغرافیایی این ایستگاهها در شکل (1) نشان داده شده است. بر اساس بررسیهای صورت گرفته آمار سمت و سرعت 3 ساعته باد ایستگاههای کرمانشاه و اسلام آباد غرب به ترتیب از سالهای 1981 و 1995 و در ایستگاههای کنگاور، سرپل ذهاب و روانسر از سال آماری 1992 لغایت 2005 میلادی به طور کامل و پیوسته موجود است. در بقیه سالهای آماری



شکل (1) - موقعیت ایستگاههای هواشناسی در استان کرمانشاه

در این رابطه، (K) یک پارامتر بدون بعد معروف به فاکتور شکل و (C) پارامتری به نام فاکتور مقیاس است که با واحد m/s محاسبه می شود. روشهای مختلفی برای محاسبه پارامترهای مقیاس و شکل تابع ویبول وجود دارد. یکی از این روشها که توسط اغلب پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است، روش برازش حداقل مربعات است که به کمک تابع احتمال جمععی به دست می آید. بدین منظور با استفاده از معادله رگرسیون، رابطه خطی بین مقادیر سرعت باد و احتمال وقوع آن به شکل زیر مشخص شد.

$$Y = Ax + b$$

در این معادله، A ضریب زاویه خط و B عرض تقاطع خط با محور Y ها است. مقادیر رابطه خطی بین Y_i و X_i برای تعیین مقادیر A و B مرتبط با پارامترهای C و K تابع ویبول به صورت زیر محاسبه شد.

$$X = Ln(V_i)$$

$$Y = Ln\{-Ln[1 - P(V)]\}$$

در روابط مذکور، V_i میانگین طبقات سرعت باد و $P(V)$ درصد فراوانی جمععی هر طبقه است. با مشخص شدن مقادیر X و Y ، مقادیر A و B با استفاده از معادلات دو مجهولی و یا روابط زیر قابل محاسبه شدند.

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=2}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i} = K$$

$$B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \frac{A}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

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

لازم به ذکر است که نتایج به دست آمده برای پارامترهای C و K با استفاده از روابط بالا بسیار دقیق تر از نتایج مشابه با استفاده از معادلات دو مجهولی می باشد. با داشتن پارامترهای شکل و مقیاس و با استفاده از V_i های موجود، مقادیر تابع احتمال پیوسته ویبول (P_w) محاسبه شد. سپس آزمون نکویی برازش صورت گرفت و مقادیر پیش بینی توسط مدل با حالت

بررسی داده های مربوط به جهت باد در ایستگاههای منتخب در دوره آماری ذکر شده انجام شد. بر اساس این مطالعات در ایستگاه اسلام آباد باد غالب، غربی است و در تمامی ماههای سال نیز وضع به همین منوال است. در ایستگاه کنگاور باد غالب، جنوب غربی است و در تمامی ماههای سال بجز شهریور و مهر ماه باد غالب، جنوب غربی است. در این دو ماه باد غالب، غربی است. در ایستگاه کرمانشاه باد غالب، غربی است و در تمامی ماههای سال بجز ماههای پاییز که در آنها باد غالب، جنوب شرقی است، این روند حاکم می باشد. در ایستگاه روانسر باد غالب، شمال غربی است و در تمامی ماههای سال بجز ماههای بهار که در آنها باد غالب غربی است وضع به همین صورت است. در ایستگاه سرپل ذهاب باد غالب، غربی است. ولی مطالعات درازمدت ماهیانه داده های باد نشان داد که در اکثر ماهها باد غالب، جنوب شرقی است و تنها در ماههای خرداد تا شهریور باد غالب، غربی است. جهت برازش داده ها با توزیع احتمالات از مدل ریاضی احتمال ویبول استفاده شد. این تابع توزیع احتمال، در بررسی های آماری باد در یک منطقه، کاربرد بیشتری دارد. با این حال جهت اطمینان، آزمون نکویی برازش در خصوص صحت کاربرد این مدل اجرا شد. آمار سرعت 3 ساعته باد در ایستگاههای منتخب پس از بررسی درستی طبقه بندی سپس در صد فراوانی وقوع هر طبقه محاسبه شد. با توجه به آمار باد و جدول درصد فراوانی وقوع، به نظر می رسد که تابع چنین احتمالی یک تابع گسسته است. اما سرعت باد، یک متغیر تصادفی پیوسته است که می تواند همه مقادیر واقع در یک فاصله را اختیار کند. به عبارت دیگر، نمودارهای توزیع فراوانی سرعتهای باد ایستگاههای مورد مطالعه را می توان به کمک تابع توزیع پیوسته احتمال ویبول جایگزین نمود. تابع ویبول حالت خاصی از توزیع گاما است. این تابع نسبت به توابع دیگر از انعطاف پذیری بیشتری برخوردار بوده و به صورت زیر تعریف می شود.

[6]

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

بحرانی در سطح 95% مقایسه گردید و صحت توزیع ویبول توسط معادله زیر بررسی شد.

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

که در آن O_i فراوانی مشاهده شده و E_i فراوانی مورد انتظار است.

با داشتن مقادیر سرعت متوسط باد و پارامترهای C و K وضعیت ایستگاههای سینوپتیک منتخب از نظر پتانسیل انرژی باد بررسی شد. گام اول جهت بررسی انرژی باد یک منطقه، محاسبه چگالی انرژی باد آن منطقه است. قدرت حاصل از انرژی باد در واحد سطح از رابطه زیر محاسبه شد.

$$\left\langle \frac{P}{A} \right\rangle = \frac{1}{2} \rho \cdot c^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)$$

که در آن Γ تابع گاما، C و K پارامترهای تابع ویبول و p چگالی هوا است. مقدار چگالی هوا در شرایط متعارف دما و فشار برابر 1/225 کیلوگرم در مترمکعب است. که این مقدار برای ایستگاههای سینوپتیک کرمانشاه، کنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب به ترتیب 1/052، 1/037، 1/131، 1/042 و 1/051 کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد. در مجموع مقدار چگالی انرژی باد یک منطقه، وابستگی کامل به پارامترهای ویبول دارد. با توجه به اینکه ارتفاع توربینها در حدود 30 تا 80 متری از سطح زمین قرار می گیرد، لذا چگالی انرژی باد در این ارتفاعات محاسبه شد. سرعت اسمی باد که در محاسبات انرژی باد با علامت V_{mec} نشان داده می شود، سرعتی است که بیشترین انرژی را در طول سال تولید می کند. این سرعت که از پارامترهای مهم در طراحی توربینهای بادی می باشد، از رابطه زیر به دست آمد.

$$V_{mec} = C \left(1 + \frac{2}{k}\right)^I$$

که در آن $I = \frac{1}{k}$ می باشد و C و K پارامترهای تابع ویبول و V_{mec} سرعت نامی باد در هر ایستگاه بر حسب متر بر ثانیه است. محتمل ترین سرعت باد یا سرعت بیشترین احتمال وقوع باد که با علامت (V_{inp}) نشان داده می شود از رابطه زیر محاسبه شد.

$$V_{inp} = C(1 - I)^I$$

که پارامترهای آن در فرمول بالا توضیح داده شده است. با توجه به مقادیر پارامترهای C و K مقدار (V_{inp}) بر حسب متر بر ثانیه به دست آمد. جهت تصمیم گیری در طراحی و نصب توربینهای بادی و با توجه به اینکه توربینهای بادی در یک سرعت مشخص، راه اندازی و در یک سرعت خاص از حرکت باز می ایستند، احتمال وقوع سرعتهای باد بالاتر از V^* را می توان با استفاده از رابطه زیر تعیین نمود [8].

$$P(V > V^*) = \exp\left[-\left(\frac{V^*}{C}\right)^K\right]$$

با توجه به اینکه سرعت راه اندازی و سرعت توقف اکثر توربینهای بادی به ترتیب 4 و 25 متر در ثانیه است لذا احتمال وقوع سرعتهای باد بین مقادیر مذکور با استفاده از رابطه زیر به دست آمد [2].

$$P(V_1 < V < V_2) = \exp\left[-\left(\frac{V_1}{C}\right)^K\right] - \exp\left[-\left(\frac{V_2}{C}\right)^K\right]$$

در رابطه بالا بجای V_1 و V_2 مقادیر 4 و 25 قرار داده شد. در نهایت با تفسیر تعداد ساعات موجودیت باد در سال با سرعت بین دو مقدار فوق و در نظر گرفتن ارتفاع کار گذاری توربینهای بادی نقاط بهینه از نظر سرعت باد تعیین و بر اساس آن نقاط مناسب جهت احداث نیروگاههای بادی پیشنهاد گردید.

3- نتایج و بحث

ابتدا مقادیر احتمالات تجربی و مقادیر پیش بینی توسط مدل ویبول، پس از دسته بندی اطلاعات در هریک از ایستگاههای سینوپتیک منتخب، محاسبه شد که در جداول (1) تا (5) آمده است. اشکال (2) تا (6) روابط بین پارامترهای X_i و Y_i و خط $y = Ax + b$ می باشد که بر این داده ها برازش داده شده را نشان می دهد. بر مبنای این روابط پارامترهای تابع ویبول محاسبه شدند. بر اساس روابط موجود مقادیر پارامتر K در ایستگاههای کرمانشاه، کنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب به ترتیب 1/66، 1/96، 1/41، 2/34 و 2/1 و مقادیر پارامتر C در

دهد و آزمون نکویی برازش این مطلب را تایید می کند (جدول 6)). جمیل نیز در مطالعات خود دریافت که برای داده های بلند مدت باد و مشاهدات و اندازه گیریهای سرعت، تابع احتمال پیوسته ویبول نتایج خوبی ارائه می کند ولی بادهای آرام و کم سرعت را توجیه نمی کند.

این ایستگاهها به ترتیب 4/22، 5/92، 5/96، 7/42 و 5/33 به دست آمد. شکل (7) مقادیر پیش بینی شده احتمال وقوع سرعتهای باد از طریق تابع ویبول که با خط ممتد نشان داده شده و مقادیر احتمال واقعی سرعت باد ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه را نشان می دهد. این شکل به خوبی برازش منحنی پیش بینی ویبول را نشان می دهد که نتیجه خوبی ارائه می

جدول (1) - مقادیر احتمالات تجربی و ویبول در ایستگاه سینوپتیک اسلام آباد (2005 - 1995)

ردیف	طبقات سرعت	میانہ طبقات	فراوانی	درصد فراوانی تجمعی	ساعت در سال تجمعی	Xi	Yi	مقادیر تابع ویبول
1	0/5-1/5	1	85	0/69	23/18	0/00	-4/98	6/042
2	1/5-2/5	2	1945	16/44	553/64	0/69	-1/72	11/777
3	2/5-3/5	3	2751	38/71	1303/91	1/10	-0/71	15/525
4	3/5-4/5	4	2455	58/59	1973/45	1/39	-0/13	16/641
5	4/5-5/5	5	1929	74/21	2499/55	1/61	0/30	15/344
6	5/5-6/5	6	1352	85/16	2868/27	1/79	0/65	12/472
7	6/5-7/5	7	795	91/60	3085/09	1/95	0/91	9/046
8	7/5-8/5	8	547	96/02	3234/27	2/08	1/17	5/497
9	8/5-9/5	9	191	97/57	3286/36	2/20	1/31	3/470
10	9/5-10/5	10	178	99/01	3334/91	2/30	1/53	1/847
11	10/5-11/5	11	49	99/41	3348/27	2/40	1/64	0/891
12	11/5-12/5	12	36	99/70	3358/09	2/48	1/76	0/390
13	12/5-13/5	13	5	99/74	3359/45	2/56	1/78	0/155
14	13/5-14/5	14	14	99/85	3363/27	2/64	1/88	0/056
15	14/5-15/5	15	10	99/94	3366	2/71	1/99	0/018
16	15/5-16/5	16	6	99/98	3367/64	2/77	2/17	0/005
17	16/5-17/5	17	0	99/98	3367/64	2/83	2/17	0/001
18	17/5-18/5	18	1	99/99	3367/91	2/89	2/24	0/000365
19	18/5-19/5	19	0	99/99	3367/91	2/94	2/24	0/000082
20	19/5-20/5	20	1	99/999	3368/18	3/00	2/44	0/000017

جدول (2) - مقادیر احتمالات تجربی و ویبول در ایستگاه سینوپتیک کنگاور (2005 - 1992)

ردیف	طبقات سرعت	میانہ طبقات	فراوانی	درصد فراوانی تجمعی	ساعت در سال تجمعی	Xi	Yi	مقادیر تابع ویبول
1	0/5-1/5	1	141	1/05	30/21	0/00	-4/55	5/831
2	1/5-2/5	2	1722	13/91	399/21	0/69	-1/90	10/370
3	2/5-3/5	3	2568	33/07	949/50	1/10	-0/91	13/235
4	3/5-4/5	4	1619	45/16	1296/43	1/39	-0/51	14/280
5	4/5-5/5	5	2144	61/16	1755/86	1/61	-0/06	13/716
6	5/5-6/5	6	1593	73/05	2097/21	1/79	0/27	12/004
7	6/5-7/5	7	1363	83/22	2389/29	1/95	0/58	9/693
8	7/5-8/5	8	1022	90/85	2608/29	2/08	0/87	7/276
9	8/5-9/5	9	333	93/33	2679/64	2/20	1/00	5/104
10	9/5-10/5	10	473	96/87	2781/00	2/30	1/24	3/356
11	10/5-11/5	11	98	97/60	2802/00	2/40	1/32	2/074
12	11/5-12/5	12	138	98/63	2831/57	2/48	1/46	1/207
13	12/5-13/5	13	42	98/94	2840/57	2/56	1/51	0/662
14	13/5-14/5	14	41	99/25	2849/36	2/64	1/59	0/343
15	14/5-15/5	15	61	99/70	2862/43	2/71	1/76	0/168
16	15/5-16/5	16	10	99/78	2864/57	2/77	1/81	0/078

17	16/5-17/5	17	14	99/88	2867/57	2/83	1/91	0/034
18	17/5-18/5	18	6	99/93	2868/86	2/89	1/97	0/014162
19	18/5-19/5	19	1	99/93	2869/07	2/94	1/99	0/005568
20	19/5-20/5	20	8	99/99	2870/79	3/00	2/25	0/002075
21	20/5-21/5	21	0	99/99	2870/79	3/04	2/25	0/000733
22	21/5-22/5	22	1	100/00	2871/00	3/09	2/44	0/000246

جدول (3)- مقادیر احتمالات تجربی و ویبول در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه (2005-1981)

ردیف	طبقات سرعت	میان طبقات	فراوانی	درصد فراوانی تجمعی	ساعت در سال تجمعی	Xi	Yi	مقادیر تابع ویبول
1	0/5-1/5	1	1826	4/70	219/12	0/00	-3/03	13/900
2	1/5-2/5	2	9823	29/96	1397/88	0/69	-1/03	17/979
3	2/5-3/5	3	7539	49/36	2302/56	1/10	-0/39	17/775
4	3/5-4/5	4	6055	64/93	3029/16	1/39	0/05	15/180
5	4/5-5/5	5	5290	78/54	3663/96	1/61	0/43	11/675
6	5/5-6/5	6	3481	87/49	4081/68	1/79	0/73	8/251
7	6/5-7/5	7	2244	93/26	4350/96	1/95	0/99	5/422
8	7/5-8/5	8	1383	96/82	4516/92	2/08	1/24	3/339
9	8/5-9/5	9	477	98/05	4574/16	2/20	1/37	1/938
10	9/5-10/5	10	458	99/23	4629/12	2/30	1/58	1/064
11	10/5-11/5	11	84	99/44	4639/20	2/40	1/65	0/555
12	11/5-12/5	12	127	99/77	4654/44	2/48	1/80	0/275
13	12/5-13/5	13	32	99/85	4658/28	2/56	1/87	0/130
14	13/5-14/5	14	31	99/93	4662/00	2/64	1/98	0/059
15	14/5-15/5	15	17	99/97	4664/04	2/71	2/11	0/025
16	15/5-16/5	16	2	99/98	4664/28	2/77	2/14	0/011
17	16/5-17/5	17	0	99/98	4664/28	2/83	2/14	0/004
18	17/5-18/5	18	2	99/98	4664/52	2/89	2/17	0/001607
19	18/5-19/5	19	0	9/98	4664/52	2/94	2/17	0/000591
20	19/5-20/5	20	6	99/999	4665/24	3/00	2/44	0/000209

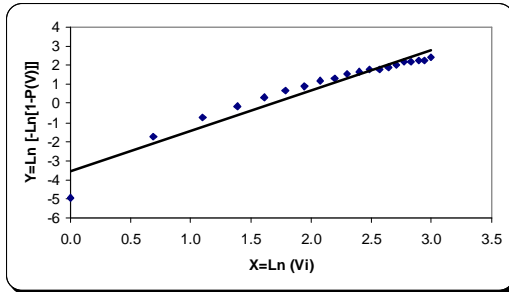
جدول (4)- مقادیر احتمالات تجربی و ویبول در ایستگاه سینوپتیک روانسر (2005-1992)

ردیف	طبقات سرعت	میان طبقات	فراوانی	درصد فراوانی تجمعی	ساعت در سال تجمعی	Xi	Yi	مقادیر تابع ویبول
1	0/5-1/5	1	19	0/10	4/07	0/00	-6/92	2/132
2	1/5-2/5	2	1202	6/34	261/64	0/69	-2/73	5/197
3	2/5-3/5	3	2923	21/52	888/00	1/10	-1/42	8/310
4	3/5-4/5	4	3105	37/64	1553/36	1/39	-0/75	10/885
5	4/5-5/5	5	3466	55/64	2296/07	1/61	-0/21	12/488
6	5/5-6/5	6	1939	65/70	2711/57	1/79	0/07	12/907
7	6/5-7/5	7	1962	75/89	3132/00	1/95	0/35	12/184
8	7/5-8/5	8	1557	83/98	3465/64	2/08	0/60	10/582
9	8/5-9/5	9	649	87/35	3604/71	2/20	0/73	8/489
10	9/5-10/5	10	1258	93/88	3874/29	2/30	1/03	6/303
11	10/5-11/5	11	271	95/29	3932/36	2/40	1/12	4/335
12	11/5-12/5	12	351	97/11	4007/57	2/48	1/27	2/764
13	12/5-13/5	13	144	97/86	4038/43	2/56	1/35	1/632
14	13/5-14/5	14	145	98/61	4069/50	2/64	1/45	0/893
15	14/5-15/5	15	169	99/49	4105/71	2/71	1/66	0/452
16	15/5-16/5	16	36	99/67	4113/43	2/77	1/74	0/212

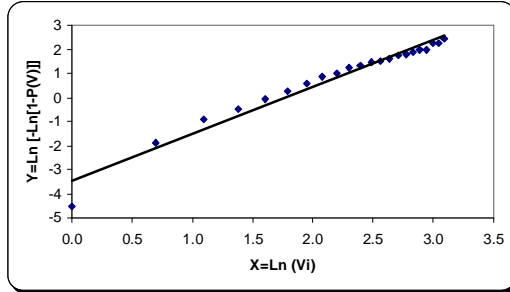
17	16/5-17/5	17	28	99/82	4119/43	2/83	1/84	0/092
18	17/5-18/5	18	14	99/89	4122/43	2/89	1/92	0/037
19	18/5-19/5	19	6	99/92	4123/71	2/94	1/97	0/013
20	19/5-20/5	20	11	99/98	4126/07	3/00	2/14	0/005
21	20/5-21/5	21	0	99/98	4126/07	3/04	2/14	0/001
22	21/5-22/5	22	1	99/98	4126/29	3/09	2/17	0/00041
23	22/5-23/5	23	1	99/99	4126/50	3/14	2/22	0/00011
24	23/5-24/5	24	1	99/99	4126/71	3/18	2/29	0/00003
25	24/5-25/5	25	1	99/999	4126/93	3/22	2/44	0/00001

جدول (5) - مقادیر احتمالات تجربی و ویبول در ایستگاه سینوپتیک سرپل ذهاب (1992 - 2005)

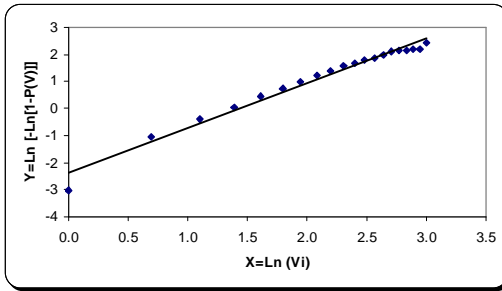
ردیف	طبقات سرعت	میان طبقات	فراوانی	درصد فراوانی تجمعی	ساعت در سال تجمعی	Xi	Yi	مقادیر تابع ویبول
1	0/5-1/5	1	197	1/50	42/21	0/00	-4/20	10/461
2	1/5-2/5	2	2753	22/39	632/14	0/69	-1/37	12/217
3	2/5-3/5	3	1849	36/42	1028/36	1/10	-0/79	12/204
4	3/5-4/5	4	2585	56/04	1582/29	1/39	-0/20	11/341
5	4/5-5/5	5	1328	66/12	1866/86	1/61	0/08	10/059
6	5/5-6/5	6	1843	80/11	2261/79	1/79	0/48	8/620
7	6/5-7/5	7	491	83/83	2367/00	1/95	0/60	7/186
8	7/5-8/5	8	825	90/10	2543/79	2/08	0/84	5/854
9	8/5-9/5	9	192	91/55	2584/93	2/20	0/90	4/676
10	9/5-10/5	10	371	94/37	2664/43	2/30	1/06	3/669
11	10/5-11/5	11	71	94/91	2679/64	2/40	1/09	2/833
12	11/5-12/5	12	278	97/02	2739/21	2/48	1/26	2/157
13	12/5-13/5	13	31	97/25	2745/86	2/56	1/28	1/620
14	13/5-14/5	14	84	97/89	2763/86	2/64	1/35	1/201
15	14/5-15/5	15	94	98/60	2784/00	2/71	1/45	0/880
16	15/5-16/5	16	64	99/09	2797/71	2/77	1/55	0/638
17	16/5-17/5	17	8	99/15	2799/43	2/83	1/56	0/458
18	17/5-18/5	18	23	99/32	2804/36	2/89	1/61	0/325
19	18/5-19/5	19	2	99/34	2804/79	2/94	1/61	0/229
20	19/5-20/5	20	28	99/55	2810/79	3/00	1/69	0/159
21	20/5-21/5	21	5	99/59	2811/86	3/04	1/70	0/110
22	21/5-22/5	22	20	99/74	2816/14	3/09	1/79	0/075
23	22/5-23/5	23	1	99/75	2816/36	3/14	1/79	0/051
24	23/5-24/5	24	7	99/80	2817/86	3/18	1/83	0/034
25	24/5-25/5	25	12	99/89	2820/43	3/22	1/92	0/023
26	25/5-26/5	26	5	99/93	2821/50	3/26	1/99	0/015
27	26/5-27/5	27	1	99/94	2821/71	3/30	2/00	0/010
28	27/5-28/5	28	1	99/95	2821/93	3/33	2/02	0/007
29	28/5-29/5	29	0	99/95	2821/93	3/37	2/02	0/004
30	29/5-30/5	30	2	99/96	2822/36	3/40	2/06	0/003
31	30/5-31/5	31	1	99/97	2822/57	3/43	2/09	0/002
32	31/5-32/5	32	0	99/97	2822/57	3/47	2/09	0/001
33	32/5-33/5	33	2	99/98	2823/00	3/50	2/17	0/001
34	33/5-34/5	34	0	99/98	2823/00	3/53	2/17	0/00045
35	34/5-35/5	35	2	100/00	2823/43	3/56	2/44	0/00028



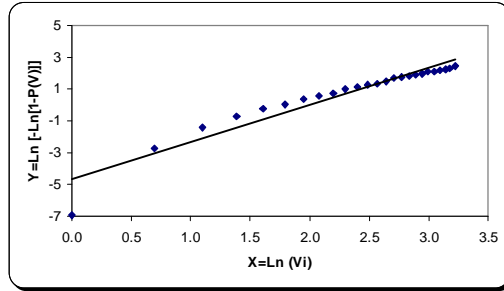
شکل (3)- رابطه خطی بین X_i و Y_i برای تعیین مقادیر A و B در ایستگاه سینوپتیک اسلام آباد



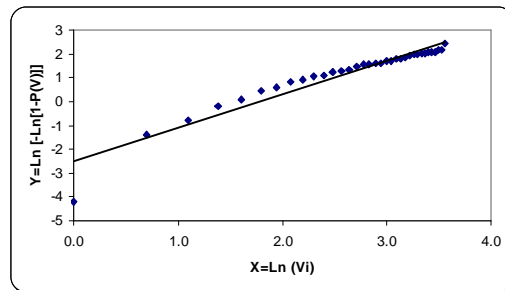
شکل (2)- رابطه خطی بین X_i و Y_i برای تعیین مقادیر A و B در ایستگاه سینوپتیک کنگاور



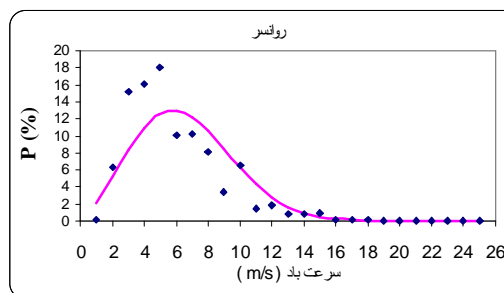
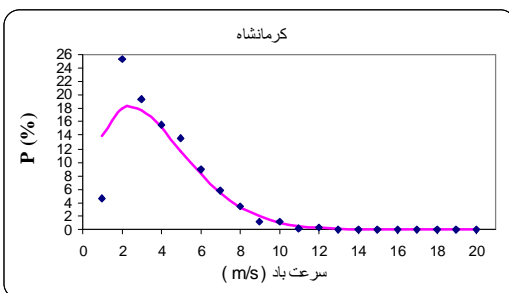
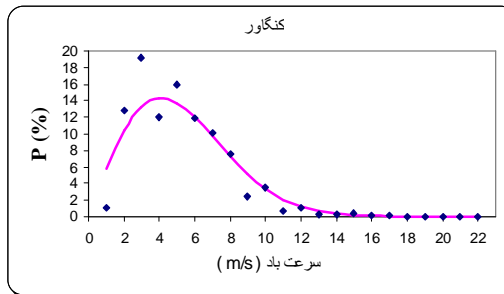
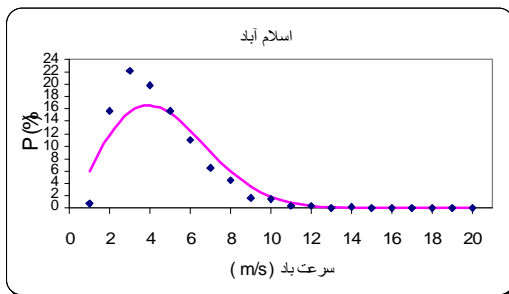
شکل (5)- رابطه خطی بین X_i و Y_i برای تعیین مقادیر A و B در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

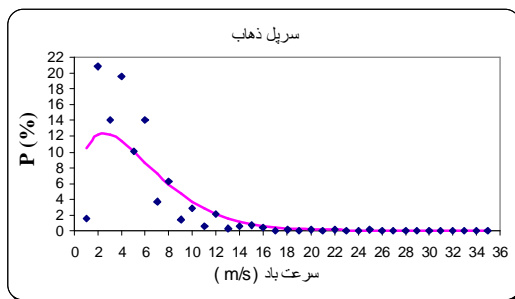


شکل (4)- رابطه خطی بین X_i و Y_i برای تعیین مقادیر A و B در ایستگاه سینوپتیک روانسر



شکل (6)- رابطه خطی بین X_i و Y_i برای تعیین مقادیر A و B در ایستگاه سینوپتیک سرپل ذهاب





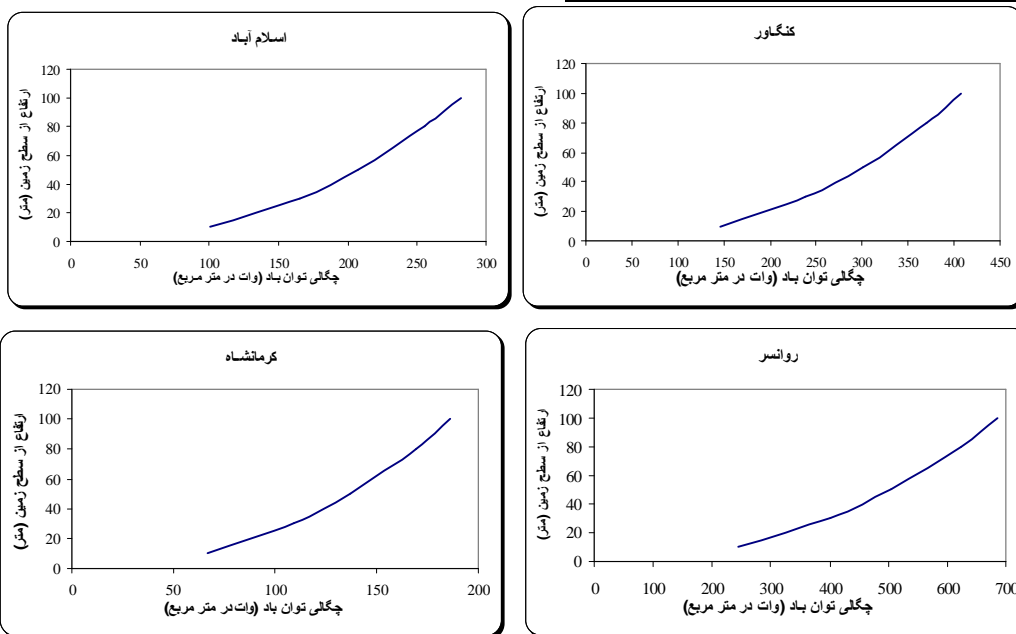
شکل (7) - برازش مقادیر احتمال سرعت‌های مشاهده شده با استفاده از مدل ریاضی ویبول در ایستگاههای مورد مطالعه

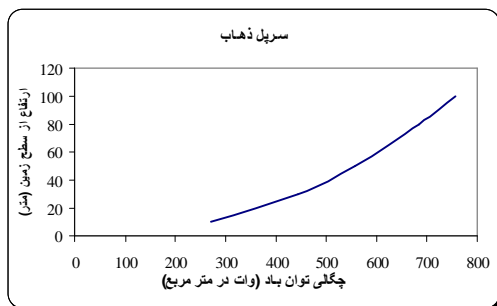
با توجه به رابطه انرژی باد در واحد سطح، مقدار چگالی انرژی باد در ایستگاههای کرمانشاه، کنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب به ترتیب 66/82، 146/1، 270/85، 245/39 و 100/82 وات در هر متر مربع در زمان موجودیت باد محاسبه شد. مقادیر چگالی انرژی محاسبه شده، مربوط به اطلاعات ثبت شده در ارتفاع 10 متری سطح زمین است. بررسی منابع نشان داد که ارتفاع محور اغلب توربینهای بادی تجاری حدود 30 الی 80 متر از سطح زمین است. لذا روند تغییرات چگالی انرژی باد با ارتفاع با توجه به تغییرات سرعت باد و چگالی هوا با ارتفاع بر اساس مدل ویبول محاسبه شد که در شکل (8) آورده شده است.

نتایج حاصل از آزمون نکویی برازش کای اسکوئر که در جدول (6) ارائه شده، نشان داد که در تمامی ایستگاهها مقادیر محاسباتی این آزمون از مقادیر بحرانی آن در سطح 95% کمتر است. لذا این نتیجه حاصل شد که سرعت‌های مشاهده شده باد در تمامی این ایستگاهها با توزیع ویبول همگن است.

جدول (6) - مقادیر کای اسکوئر در توزیع ویبول (آماره آزمون) و مقادیر بحرانی آن در ایستگاههای مورد مطالعه

پارامتر	کرمانشاه	اسلام آباد	روانسر	کنگاور	سرپل ذهاب
درجه آزادی	18	18	23	20	33
آماره آزمون	11/27	17/22	27/26	12/88	33/19
مقدار بحرانی 95%	28/9	28/9	35/2	31/4	47/4

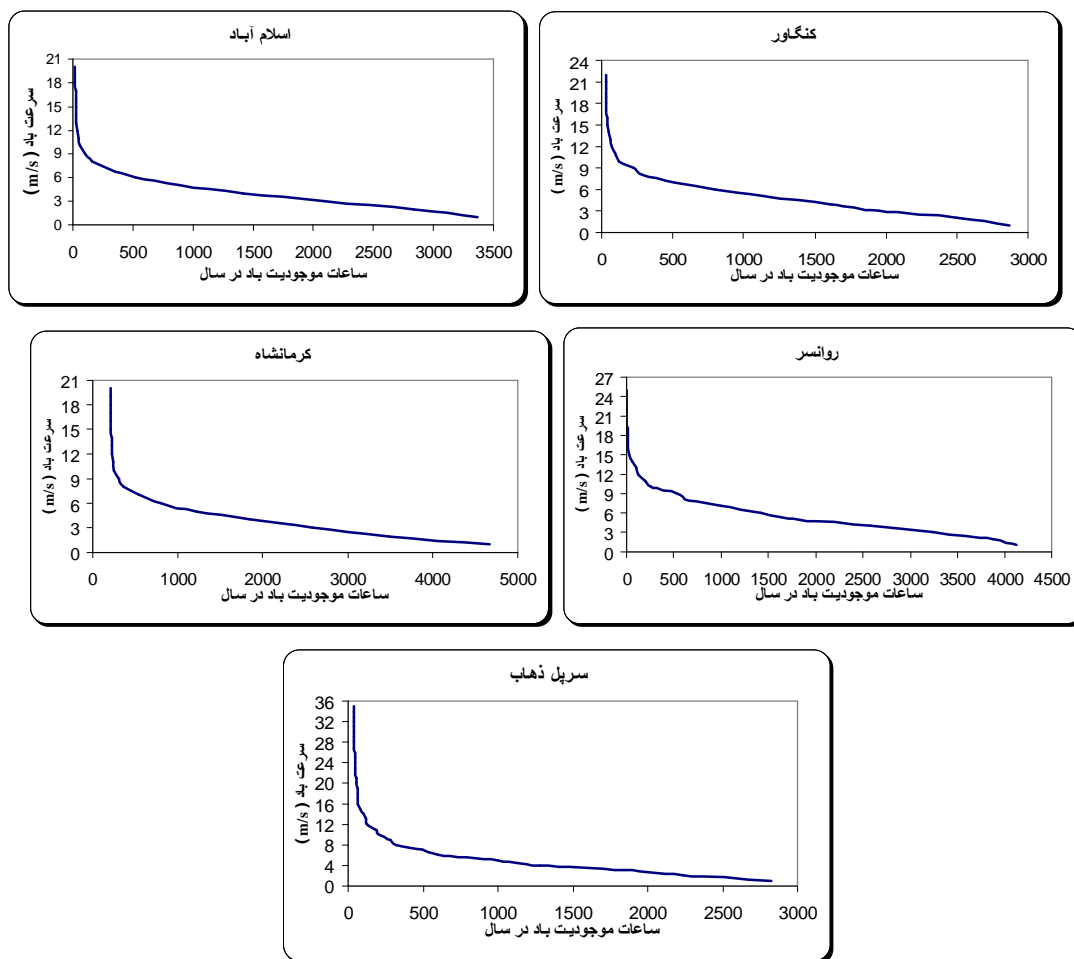




شکل (8) - چگالی توان باد (وات در متر مربع) در ارتفاعات مختلف از سطح زمین در ایستگاههای مورد مطالعه

4 تا 25 متر بر ثانیه بود. لذا ساعات موجودیت باد بین این دو که سرعتهای راه اندازی و توقف اکثر توربینهای بادی می باشند، به ترتیب در این ایستگاهها 1868/59، 1805/63، 1595/38، 3260/85 و 1948/59 ساعت در سال محاسبه شد. بر این اساس منحنی های سرعت-تداوم باد در تمامی ایستگاهها ترسیم شد که در شکل (9) آورده شده است.

سرعت اسمی باد با توجه به معادلات موجود در ایستگاههای کرمانشاه، کنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب به ترتیب 6/79، 8/48، 11/15، 9/66 و 7/33 متر بر ثانیه و محتمل ترین سرعت باد در این ایستگاهها به ترتیب 2/42، 4/11، 2/48، 5/85 و 3/92 متر بر ثانیه محاسبه شد. در ضمن در ایستگاههای ذکر شده به ترتیب 40، 63، 57، 79 و 58 درصد از ساعات موجودیت باد در این ایستگاهها، سرعت باد بین



شکل (9) - منحنی سرعت-تداوم باد در ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه در ارتفاع 10 متری

مناسب می داند [5]. مجریان طرح نیروگاه منجیل، وجود 2000 ساعت باد با سرعت بین 7 الی 25 متر بر ثانیه را جهت احداث نیروگاه بادی مقرون به صرفه می دانند [2]. با توجه به موارد ذکر شده و این مطلب که تعداد ساعات کارکرد توربینهای بادی در ایستگاه روانسر در صورت نصب در ارتفاع 80 متری حدود 3260/85 ساعت در سال با چگالی توان 622/1 وات در متر مربع می باشد، به نظر می رسد استفاده از انرژی باد در این ایستگاه به شرط استقرار محور توربینهای بادی در ارتفاع 80 متری سطح زمین، امکان پذیر و مقرون به صرفه تر از سایر ایستگاه باشد.

4- نتیجه گیری

نتایج مطالعات نشان داد که موجودیت سالانه باد در ایستگاه روانسر به میزان 4126/93 ساعت در سال پس از کرمانشاه در جایگاه دوم قرار دارد. اما تعداد ساعات وزش بادهای با سرعت بین سرعت راه اندازی و سرعت توقف توربینهای بادی در این ایستگاه بیشتر از بقیه ایستگاههاست. لذا از این نظر ایستگاه سینوپتیک روانسر بر سایر ایستگاهها برتری دارد. کاویانی عملکرد اقتصادی توربین های بادی را کارکرد حداقل 4000 ساعت در سال می داند [1]. آمبروسینی چگالی توان بیش از 600 وات در هر مترمربع در نیمی از ساعات سال را جهت استحصال انرژی باد

- [6] Dunder, C. and Inan, D. 2001. The analysis of wind data and wind energy potential in Irma, Turkey. Research Dept. State Meteorological Service. PP.538-543.
- [7] Ernest, W. Hennessy, P. and Jospeh, P. J. 1978. On the use of power laws for estimates of wind power potential. J. Appl. Meteorology. Vol. 17.PP.293-305.
- [8] Jamil, M. 1994. Wind power statistics and evaluation of wind energy. Wind Engineering, Vol. 18. No. 5. PP.278-287.
- [9] Justus, C. G. Hargraves, W. R. Mikhail, A. and Graber, D. 1978. Methods for estimating wind speed frequency distribution. Appl. Meteorology. V. 17. PP. 350-353.
- [10] Skidmore, E. L. and Tatarko, J. 1991. Wind in the Great Plaind and speed and direction distributions by month. Proceeding, USDA, ARS. PP. 245-263
- [11] Wagner, L. E, Tatarko, J. and Skidmore, E. L. 1992. A statistical data base and generator for wind data. Summer

5- مراجع

- [1] کاویانی، م، 1374. توربینهای بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره 36.
- [2] صلاحی، ب، 1382. پتانسیل سنجی انرژی باد و برآزش احتمالات واقعی وقوع باد با استفاده از تابع توزیع چگالی احتمال و بیبول در ایستگاههای سینوپتیک استان اردبیل. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره 72.
- [3] نصیری، ج، 1376. پتانسیل انرژی باد در ایران. مجموعه مقالات انرژیهای نو، وزارت نیرو، تهران.
- [4] Adodka, L, O. and Adewale, A, A. 1992. Wind energy potential of Nigeria, Reneable Energy, Vol.2. PP. 199-206.
- [5] Ambrosini, G. Benato, B. Garavaso, C and Botta, G. 1992. Wind energy potential in Emilia Romagna, Italy. Journal of wind engineering and industrial aerodynamic. Vol. 39.PP. 225-231

24.

Meeting. Transaction of ASAE, PP. 21-