برآورد انرژي باد و كاربرد آن در مكان‌يابي نيروگاه بادي در استان كرمانشاه

علی بافکار[1]، آرش آذری[2]، مریم احمدی[3]
1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی کرمانشاه
2- دانشجوی دکترا هیدرولوژی اهواز
3- فوق لیسانس آبیاری و زهکشی

چكيده

هدف از انجام اين تحقيق تعيين پتانسيل انرژي باد و انتخاب مكان بهينه، جهت احداث نيروگاه بادي دراستان كرمانشاه مي‌باشد. بدين منظور ابتدا داده‌هاي بلند مدت سه ساعته سمت و سرعت باد، در ايستگاه‌هاي همديد استان كرمانشاه طي دوره آماري 11 تا 25 ساله مورد ارزيابي قرار گرفت. احتمال تجربي داده‌ها با استفاده از تابع توزيع پيوسته ويبول محاسبه شد و با توجه به آزمون نكويي برازش كاي اسكوئر، اين تابع به عنوان توزيع مناسب در برازش داده‌هاي باد شناخته شد. بر اين اساس، چگالي توان باد در ايستگاه‌هاي كرمانشاه، كنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب به ترتيب 66/8، 146/1، 270/9، 245/4 و 100/8 وات بر متر مربع محاسبه شد. با توجه به تعداد ساعات وزش باد و همچنين درصد موجوديت باد لازم بين سرعت‌هاي راه‌اندازي و توقف توربين‌هاي بادي، ايستگاه همديد روانسر به عنوان مكاني مناسب جهت بهره‌برداري از انرژي باد پيشنهاد شد.

كلمات كليدی: انرژي باد، تابع احتمال ويبول، سرعت باد، نيروگاه بادي.

مقدمه

در آينده‌اي نزديك، انرژي‌هاي نو و تجديد شونده سهم بيشتري را در تامين انرژي جهان به خود اختصاص خواهند داد. تجديدپذيري، عدم آلايندگی، گسترش اين منابع در تمام جهان و سادگي بهره‌برداري، انرژي‌هاي تجديدپذير را به ويژه براي كشورهاي در حال توسعه از جاذبه بيشتري برخوردار كرده است. از اين رو، در برنامه‌ها و سياست هاي ملي و بين المللي كشورها، منابع تجديدپذير انرژي مورد اهميت قرار گرفته است. از آنجا كه اكثر مناطق ايران براساس تقسيم بندي‌هاي اقليمي جزء مناطق خشک و نيمه خشک به حساب مي‌آيد و با توجه به افزايش شدت خشكسالي در سال‌هاي اخير، در صورت تكيه بر انرژي حاصل از نيروگاه‌هاي آبي و حرارتي به عنوان منابع توليد برق، ممكن است در سال‌هاي كم آبي، با كمبود توليد برق مواجه شويم. از اين رو استفاده از انرژي‌هاي تجديد شونده در كشور ما نيز اهميت زيادي دارد. يكي از انرژی‌های تجديدپذير انرژی باد مي‌باشد. بهره‌برداري از انرژي باد جهت توليد برق با استفاده از توربي‌هاي بادي، يكي از كاربردهاي مهم در اين زمينه است. يكي ديگر از كاربردهاي انرژي باد، استفاده از اين انرژي جهت پمپاژ آب در نواحي مختلف است. اولين قدم در استفاده از انرژي باد شناسايي مناطقي است كه پتانسيل خوبي براي نصب توربين‌هاي بادی دارند. تحقيقات زيادي در زمينه پتانسيل‌يابي انرژي باد در نقاط مختلف كشور انجام شده است. جهانگيري و همكاران (1390) پتانسيل سنجي انرژي باد را در استان خراسان رضوي و نعمت‌الهي و همكاران (1390) در استان تهران انجام دادند. جميل (1374)، پتانسيل انرژي باد را در سايت پژوهشگاه مواد و انرژي مشكين دشت كرج بررسي نمود و نتيجه گرفت كه براي داده‌هاي بلند مدت باد و مشاهدات و

2. Capacity factor

اندازه گيري‌هاي سرعت، تابع احتمال پيوسته ويبول نتايج خوبي ارائه مي‌كند ولي بادهاي آرام و كم سرعت را توجيه نمي كند). نصيري (1376)، برخي از خصوصيات باد را از نظر سرعت متوسط، توان متوسط، سرعت اسمی[1]، فاكتور ظرفيت[1] و غيره با استفاده از آمار ايستگاه همديد خلخال محاسبه نمود. صلاحي (1382) از تابع ويبول جهت پيش‌بيني احتمالات سرعت باد و محاسبه انرژي باد در ايستگاه‌هاي همديد استان اردبيل استفاده كرد كه طبق آن بيشترين انرژي باد براي ايستگاه اردبيل بدست آمد. ارنست[2]، ادوكوگا[3] و دوندر[4] پتانسيل سنجي باد را در برخي نقاط جهان بر پايه روش‌هاي آماري و استفاده از تابع ويبول انجام داده‌اند. جوستوس[5] و همكاران (1976) در تحقيقي ضمن مقايسه دو توزيع دو پارامتري لوگ نرمال و ويبول به اين نتيجه رسيدند كه داده‌هاي سرعت باد با توزيع ويبول تطابق بهتري دارد. اسكيدمور[6] و واگنر[1] با استفاده از آمار ماهيانه، سمت و سرعت باد را شبيه‌سازي نموده و برتري توزيع ويبول را به صورت گسترده نسبت به توزيع نرمال به اثبات رساندند. كيهاني و همكاران (2010) داده‌هاي يازده ساله باد را در استان تهران مورد بررسي قرار دادند و پارامترهاي تابع ويبول را در اين ايستگاه مشخص نمودند. با توجه به نتايج بدست آمده از اين بررسي، انرژي باد در اين ايستگاه براي توليد برق كافي نيست ولي براي استفاده‌هاي محلي مثل شارژ باتري و پمپ آب مناسب است.

1. Nominal velocity
2. Adodka
4. Justus
6. Wagner

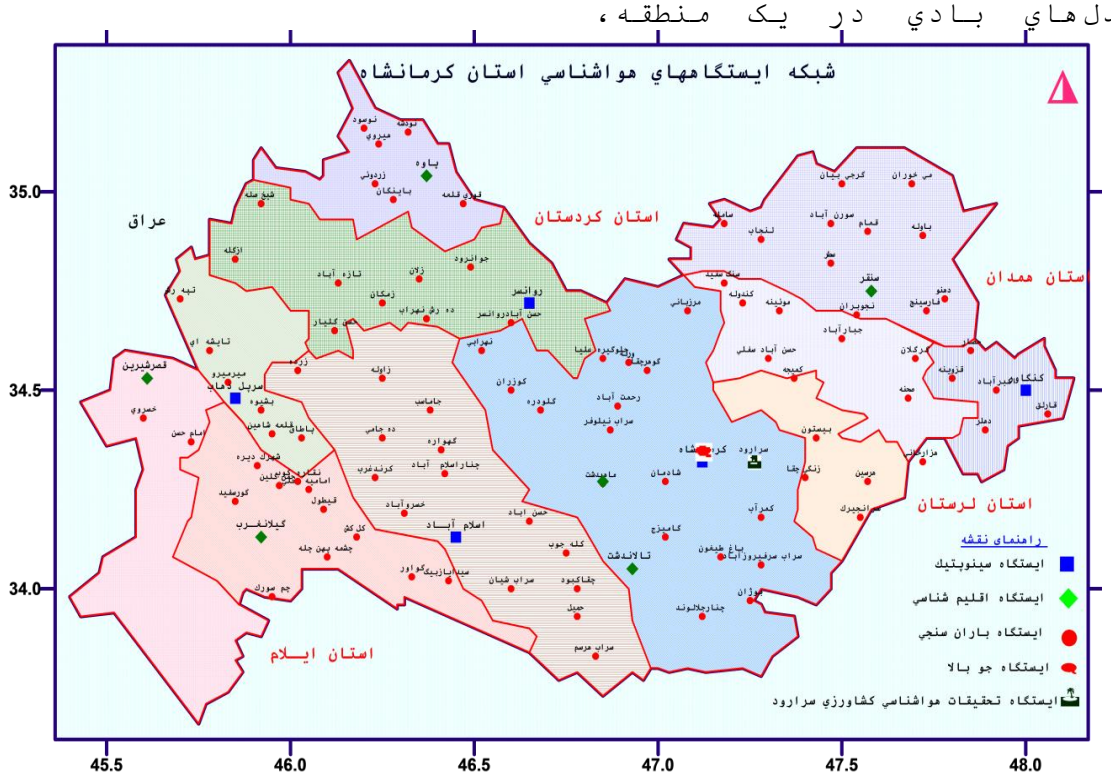
از آنجايي كه طبق بررسي‌هاي بعمل آمده تاكنون مطالعه جامعي در خصوص امكان‌سنجي استفاده از انرژي باد در استان كرمانشاه صورت نگرفته است، پژوهش حاضر مي‌تواند نمايي از وضعيت انرژي باد را در ايستگاه‌هاي همديد استان كرمانشاه نشان دهد. هدف از اجراي اين تحقيق انجام مطالعات اوليه و پايه بر روي اوضاع كلي باد و ويژگي‌هاي سمت و سرعت آن و پيش‌بيني درصد احتمال وقوع هر يک از سرعت‌ها و يا محدوده‌اي از سرعت‌های باد با استفاده از تابع توزيع پيوسته احتمال ويبول مي‌باشد. برآورد پتانسيل انرژي باد و انتخاب مكان بهينه جهت احداث نيروگاه بادي در سطح استان از اهداف ديگر اين تحقيق است.

مواد و روش‌ها

براي انجام مراحل تحقيق، آمار سمت و سرعت بادهاي 3 ساعته روزانه ايستگاه‌هاي همديد كرمانشاه، كنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام‌آباد غرب از سازمان هواشناسي كشور تهيه شد. محل و موقعيت جغرافيايي اين ايستگاه‌ها در شكل (1) نشان داده شده است. بر اساس بررسي هاي صورت گرفته آمار سمت و سرعت 3 ساعته باد ايستگاه‌هاي كرمانشاه و اسلام آباد غرب به ترتيب از سال‌هاي 1981 و 1995 و در ايستگاه‌هاي كنگاور، سرپل ذهاب و روانسر از سال 1992 لغايت 2005 ميلادي به طور كامل و پيوسته موجود است. در بقيه سال هاي آماري مربوط به ايستگاه‌هاي مزبور، خلاء شديد آماري در برخي ساعت‌های اندازه‌گيري روزانه باد بخصوص ساعت‌های 00 و 18 و 21 (GMT) وجود داشت. از آنجايي

1. Ernest
3. Dunder
5. Skidmore

كه باد يک كميت برداري بوده و داراي جهت و سرعت است و نيز تحت تاثير توپوگرافي و نحوه استقرار جريانات فوقاني جو مي‌باشد، لذا برآورد سمت و سرعت باد در ساعت‌هاي فاقد آمار غيرممكن بوده و در صورت تخمين نيز با خطا همراه است. از طرف ديگر در بررسي پتانسيل انرژي باد و تصميم‌گيري در خصوص استفاده يا عدم استفاده از مبدل‌هاي بادي در يک منطقه، وجود آمار پيايي در كليه ساعت هاي شبانه روز و حداقل در يک دوره 4 الي 10 ساله الزامي است. بنابراين آمار انتخاب شده جهت بررسي انرژي باد در سال‌هاي ذكر شده در ايستگاه‌هاي همديد منتخب بدون خلاء آماري بوده و ايستگاه‌هايي كه شرايط فوق را دارا نبودند در مراحل اوليه مطالعه حذف شدند.



شكل شماره 1- موقعيت ايستگاه‌هاي هواشناسي در استان كرمانشاه

سپس بررسي داده‌هاي مربوط به جهت باد در ايستگاه‌هاي منتخب در دوره آماري گفته شده انجام شد.

جهت برازش داده‌ها با توزيع احتمالات از مدل رياضي احتمال ويبول استفاده شد. اين تابع توزيع احتمال، در بررسي‌هاي آماري باد در يك منطقه، كاربرد بيشتري دارد. با اين حال جهت اطمينان، آزمون نكويي برازش در خصوص صحت كاربرد اين مدل اجرا شد. آمار سرعت 3 ساعته باد در ايستگاه‌هاي منتخب طبقه‌بندي شد و پس از بررسي درستي طبقه‌بندي در صد فراواني وقوع هر طبقه محاسبه شد.

تابع ويبول حالت خاصي از توزيع گاماست. اين تابع نسبت به توابع ديگر از انعطاف‌پذيري بيشتري برخوردار بوده و به صورت زير تعريف مي‌شود.

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

2. Scale factor

در اين رابطه، V سرعت باد بر حسب m/s، (K) يك پارامتر بدون بعد معروف به فاكتور شكل[1] و (C) پارامتري به نام فاكتور مقياس[1] است كه با واحد m/s محاسبه مي‌شود. روش‌هاي مختلفي براي محاسبه پارامترهاي مقياس و شكل تابع ويبول وجود دارد. يكي از اين روش‌ها كه توسط اغلب پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است، روش برازش حداقل مربعات است كه به كمك تابع احتمال تجمعي به دست مي‌آيد. بدين منظور با استفاده از معادله وايازی، رابطه خطي بين مقادير سرعت باد و احتمال وقوع آن به شكل زير مشخص شد.

$$Y = Ax + b \qquad (2)$$

در اين معادله، A ضريب زاويه خط و b عرض تقاطع خط با محور Yها است. مقادير رابطه خطي بين X_i و Y_i براي تعيين مقادير A و b مرتبط با پارامترهاي C و K تابع ويبول به صورت زير محاسبه شد.

$$X = Ln(V_i) \qquad (3)$$

$$Y = Ln\{-Ln[1-P(V)]\} \qquad (4)$$

در روابط مذكور، V_i ميانه طبقات سرعت باد و P(V) درصد فراواني تجمعي هر طبقه است. با مشخص شدن مقادير x و y، مقادير A و bبا استفاده از معادلات دو مجهولي و يا روابط زير قابل محاسبه شدند.

$$A = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\sum_{i=2}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} x_i} = K \qquad (5)$$

$$b = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i - \frac{A}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (6)$$

$$C = \exp\left(-\frac{b}{A}\right) \qquad (7)$$

لازم به ذكر است كه نتايج به دست آمده براي پارامترهاي C و K با استفاده از روابط بالا بسيار دقيق تر از نتايج مشابه با استفاده از معادلات دو مجهولي مي‌باشد. با داشتن پارامترهاي شكل و مقياس و با استفاده از V_iهاي موجود، مقادير تابع احتمال پيوسته ويبول (Pw) محاسبه شد. سپس آزمون نكويي برازش (كاي دو) صورت گرفت و مقادير پيش‌بيني توسط مدل با حالت بحراني در سطح 95% مقايسه گرديد و صحت توزيع ويبول توسط معادله زير بررسي شد.

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \qquad (8)$$

X^2 آماره آزمون كاي دو است كه در آن O_i فراواني مشاهده شده و E_i فراواني مورد انتظار است.

با داشتن مقادير سرعت متوسط باد و پارامترهاي C و K وضعيت ايستگاه‌هاي همديد منتخب از نظر پتانسيل انرژي باد بررسي شد. گام اول جهت بررسي انرژي باد يك منطقه، محاسبه چگالي انرژي باد آن منطقه است. توان حاصل از انرژي باد در واحد سطح از رابطه زير محاسبه شد.

$$\left(\frac{P}{A}\right) = \frac{1}{2}\rho.c^3.\Gamma\left(1+\frac{3}{k}\right) \qquad (9)$$

كه در آن Γ تابع گاما، c و k پارامترهاي تابع ويبول و ρ چگالي هوا است. مقدار چگالي هوا در شرايط متعارف دما و فشار برابر 1/225 كيلوگرم بر متر مكعب است. كه اين مقدار براي ايستگاه‌هاي همديد كرمانشاه، كنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب به ترتيب 1/052، 1/037، 1/131، 1/042 و 1/051 كيلوگرم بر متر مكعب به دست آمد. در مجموع مقدار چگالي انرژي باد يك منطقه، وابستگي كامل به پارامترهاي ويبول

1. Form factor

دارد. با توجه به اينكه توربين ها در ارتفاع حدود 30 تا 80 متري از سطح زمين قرار مي گيرند، لذا چگالي انرژي باد در اين ارتفاعات محاسبه شد. سرعت اسميباد كه در محاسبات انرژي باد با علامت V_{mec} نشان داده مي شود، سرعتي است كه بيشترين انرژي را در طول سال توليد مي كند. اين سرعت كه از پارامترهاي مهم در طراحي توربين‌هاي بادي مي‌باشد، از رابطه زير به دست آمد.

$$V_{mec} = C(1+\frac{2}{k})^{\lambda} \qquad (10)$$

كه در آن $\lambda=\frac{1}{k}$ مي باشد و C و K پارامترهاي تابع ويبول و V_{mec} سرعت اسميباد در هر ايستگاه بر حسب متر بر ثانيه است. محتمل‌ترين سرعت باد يا سرعت بيشترين احتمال وقوع باد كه با علامت (V_{inp}) نشان داده مي‌شود از رابطه زير محاسبه شد.

$$V_{inp} = C(1-\lambda)^{\lambda} \qquad (11)$$

كه پارامترهاي آن در فرمول 10 توضيح داده شده است. با توجه به مقادير پارامترهاي C و K مقدار (V_{inp}) بر حسب متر بر ثانيه به دست آمد. جهت تصميم گيري در طراحي و نصب توربين‌هاي بادي و با توجه به اينكه توربين‌هاي بادي در يك سرعت مشخص، راه اندازي و در يك سرعت خاص از حركت باز مي‌ايستند، احتمال وقوع سرعت‌هاي باد بالاتر از V* را مي‌توان با استفاده از رابطه زير تعيين نمود.

$$P(V\rangle V^*) = \exp\left[-\left(\frac{V^*}{V}\right)^K\right] \qquad (12)$$

با توجه به اينكه سرعت راه اندازي و سرعت توقف اكثر توربين‌هاي بادي به ترتيب 4 و 25 متر برثانيه است لذا احتمال وقوع سرعت‌هاي باد بين مقادير مذكور با استفاده از رابطه زير به دست آمد.

(13)

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

در رابطه بالا بجاي V_1 و V_2 مقادير 4 و 25 قرار داده شد. در نهايت با تفسير تعداد ساعات موجوديت باد در سال با سرعت بين دو مقدار فوق و در نظر گرفتن ارتفاع كارگذاري توربين هاي بادي نقاط بهينه از نظر سرعت باد تعيين و براساس آن نقاط مناسب جهت احداث نيروگاه هاي بادي پيشنهاد شد.

نتايج و بحث

براساس بررسي‌هاي به عمل آمده در اين تحقيق در ايستگاه اسلام آباد باد غالب، غربي است و در تمامي ماه‌هاي سال نيز وضع به همين منوال است. در ايستگاه كنگاور باد غالب، جنوب غربي است و در تمامي ماه‌هاي سال بجز شهريور و مهر ماه باد غالب، جنوب غربي است. در اين دو ماه باد غالب، غربي است. در ايستگاه كرمانشاه باد غالب، غربي است و در تمامي ماه‌هاي سال بجز ماه‌هاي پاييز كه در آنها باد غالب، جنوب شرقي است، اين روند حاكم مي‌باشد. در ايستگاه روانسر باد غالب، شمال غربي است و در تمامي ماه‌هاي سال به جز ماه‌هاي بهار كه در آنها باد غالب غربي است وضع به همين صورت است. در ايستگاه سرپل ذهاب باد غالب، غربي است. ولي مطالعات درازمدت ماهيانه داده‌هاي باد نشان داد كه در اكثر ماه‌ها باد غالب، جنوب شرقي است و تنها در ماه‌هاي خرداد تا شهريور باد غالب، غربي است.

با توجه به آمار باد و جدول درصد فراواني وقوع، به نظر مي رسد كه تابع چنين احتمالي يك

تابع گسسته است. اما سرعت باد، يك متغير تصادفي پيوسته است كه مي‌تواند همه مقادير واقع در يك فاصله را اختيار كند. به عبارت ديگر، نمودارهاي توزيع فراواني سرعت‌هاي باد ايستگاه‌هاي مورد مطالعه را مي‌توان به كمك تابع توزيع پيوسته احتمال ويبول جايگزين نمود. بنابراين مقادير احتمالات تجربي و مقادير پيش بيني توسط مدل ويبول، پس از دسته‌بندي اطلاعات در هريک از ايستگاه‌هاي همديد منتخب، محاسبه شد كه در جداول (1) تا (5) آمده است. شكل هاى (2) تا (6) روابط بين پارامترهاي X_i و Y_i و خط $y=Ax+b$ را كه بر اين داده‌ها برازش داده شده است را نشان مي‌دهد. بر مبناي اين روابط پارامترهاي تابع ويبول محاسبه شدند. بر اساس روابط موجود مقادير پارامتر K در ايستگاه‌هاي كرمانشاه، كنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب به ترتيب 1/66، 1/96، 1/41، 2/34 و 2/1 و مقادير پارامتر C در اين ايستگاه‌ها به ترتيب 4/22، 5/92، 5/96، 7/42 و 5/33 به دست آمد. شكل (7) مقادير پيش‌بيني شده احتمال وقوع سرعت هاي باد از طريق تابع ويبول كه با خط ممتد نشان داده شده و مقادير احتمال واقعي سرعت باد ايستگاه‌هاي مورد مطالعه را نشان مي‌دهد. اين شكل به خوبي برازش منحني پيش‌بيني ويبول را نشان مي‌دهد و آزمون نكويي برازش اين مطلب را تاييد مي‌كند (جدول 6). جميل (1374) نيز در مطالعات خود دريافت كه براي داده‌هاي بلند مدت باد و مشاهدات و اندازه‌گيري‌هاي سرعت، تابع احتمال پيوسته ويبول نتايج خوبي ارائه مي‌كند ولي بادهاي آرام و كم سرعت را توجيه نمي‌كند.

جدول شماره 1- مقادير احتمالات تجربي و ويبول در ايستگاه همديد اسلام آباد (2005-1995)

رديف	طبقات سرعت	ميانه طبقات	فراواني	درصد فراواني	درصد فراواني تجمعي	ساعت در سال	ساعت در سال تجمعي	Xi	Yi	مقادير تابع ويبول
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

جدول شماره 2- مقادير احتمالات تجربي و ويبول در ايستگاه همديد كنگاور (2005-1992)

ردیف	طبقات سرعت	میانه طبقات	فراواني	درصد فراواني	درصد فراواني تجمعي	ساعت در سال	ساعت در سال تجمعي	Xi	Yi	مقادير تابع ويبول

ادامه جدول شماره 2- مقادير احتمالات تجربي و ويبول در ايستگاه همديد كنگاور (2005- 1992)

ردیف	طبقات سرعت	میانه طبقات	فراواني	درصد فراواني	درصد فراواني تجمعي	ساعت در سال	ساعت در سال تجمعي	Xi	Yi	مقادير تابع ويبول

جدول شماره 3- مقادير احتمالات تجربي و ويبول در ايستگاه همديد كرمانشاه (2005- 1981)

رديف	طبقات سرعت	میانه طبقات	فراواني	درصد فراواني	درصد فراواني تجمعي	ساعت در سال	ساعت در سال تجمعي	Xi	Yi	مقادير تابع ويبول

جدول شماره 4- مقادير احتمالات تجربي و ويبول در ايستگاه همديد روانسر (2005- 1992)

رديف	طبقات سرعت	ميانه طبقات	فراواني	درصد فراواني	درصد فراواني تجمعي	ساعت در سال	ساعت در سال تجمعي	Xi	Yi	مقادير تابع ويبول

ادامه جدول شماره 4- مقادير احتمالات تجربي و ويبول در ايستگاه همديد روانسر (2005- 1992)

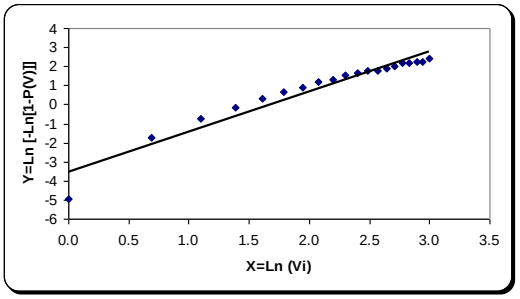
رديف	طبقات سرعت	ميانه طبقات	فراواني	درصد فراواني	درصد فراواني تجمعي	ساعت در سال	ساعت در سال تجمعي	Xi	Yi	مقادير تابع ويبول

جدول شماره 5- مقادير احتمالات تجربي و ويبول در ايستگاه همديد سرپل ذهاب (2005- 1992)

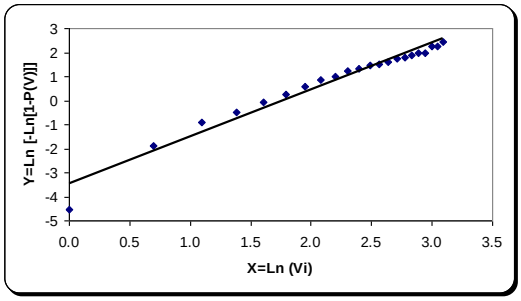
مقادير تابع ويبول	Yi	Xi	ساعت در سال تجمعي	ساعت در سال	درصد فراواني تجمعي	درصد فراواني	فراواني	ميانه طبقات	طبقات سرعت	رديف
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

ادامه جدول شماره 5- مقادير احتمالات تجربي و ويبول در ايستگاه همديد سرپل ذهاب (2005- 1992)

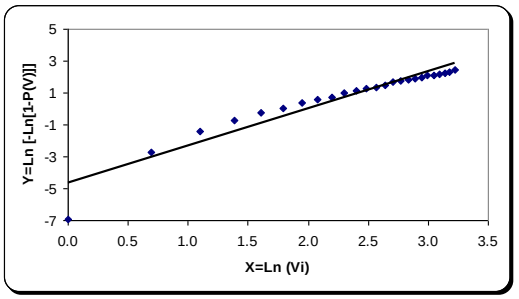
مقادير تابع ويبول	Yi	Xi	ساعت در سال تجمعي	ساعت در سال	درصد فراواني تجمعي	درصد فراواني	فراواني	ميانه طبقات	طبقات سرعت	رديف



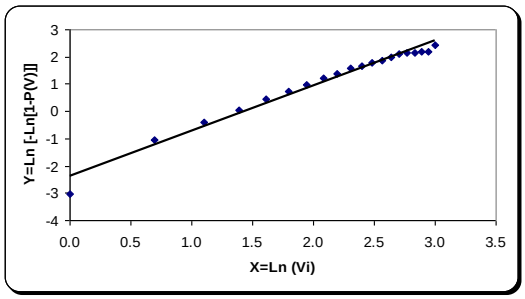
شكل شماره 2- رابطه خطي بين Xi و Yi براي تعيين مقادير A و bدر ايستگاه همديد كنگاور



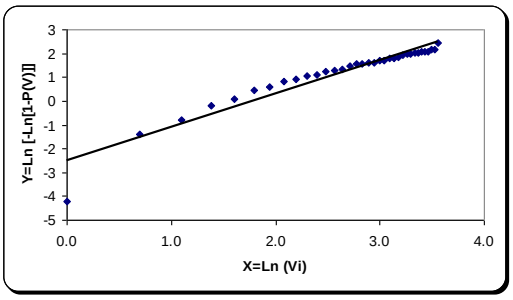
شكل شماره 3- رابطه خطي بين Xi و Yi براي تعيين مقادير A و b در ايستگاه همديد اسلام آباد



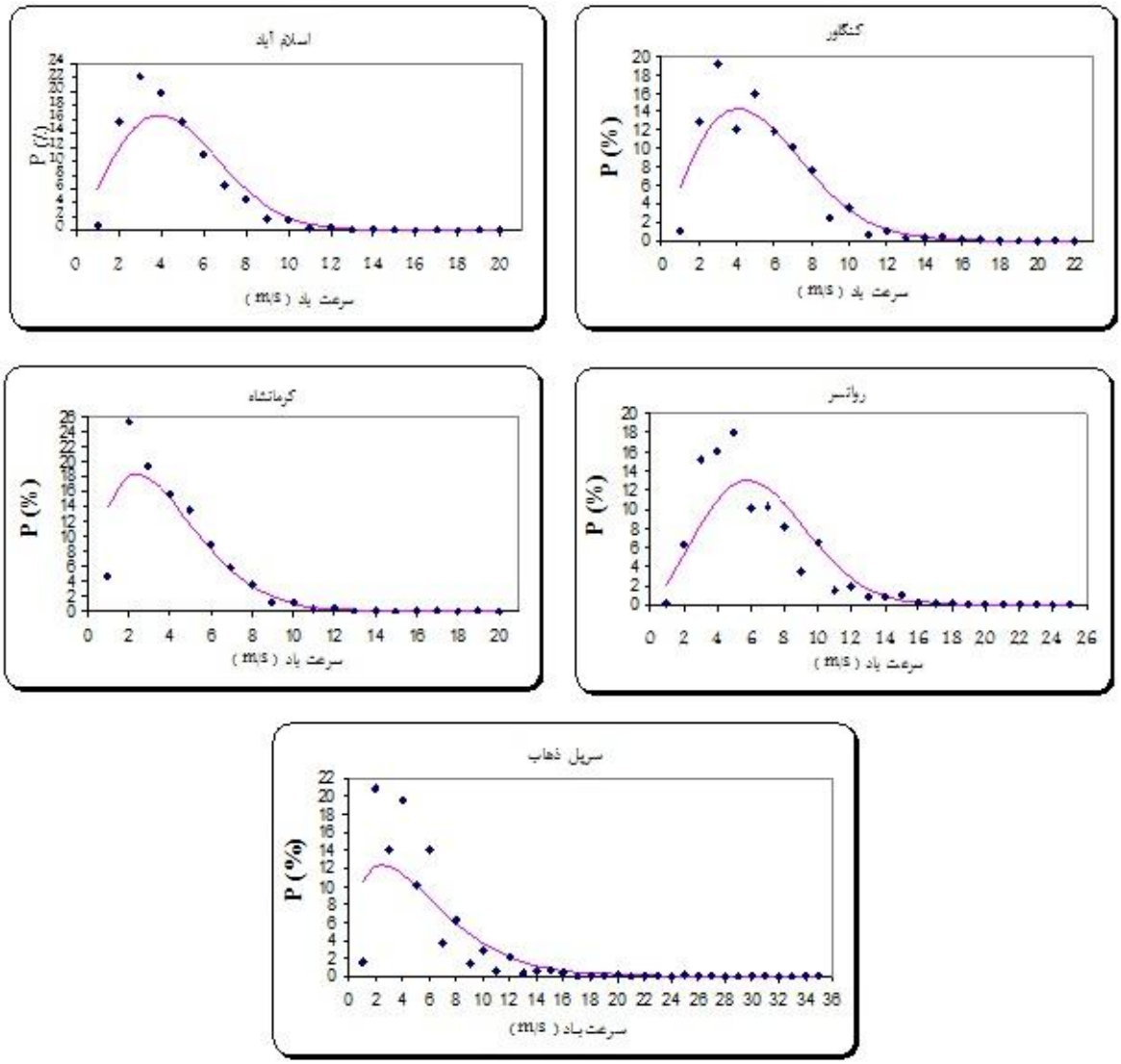
شكل شماره 4- رابطه خطي بين Xi و Yi براي تعيين مقادير A و b در ايستگاه همديد روانسر



شكل شماره 5- رابطه خطي بين Xi و Yi براي تعيين مقادير A و b در ايستگاه همديد كرمانشاه



شكل شماره 6- رابطه خطي بين Xi و Yi براي تعيين مقادير A و b در ايستگاه همديد سرپل ذهاب



شکل شماره 7- برازش مقادير احتمال سرعت‌هاي مشاهده شده با استفاده از مدل رياضي ويبول در ايستگاه‌هاي مورد مطالعه

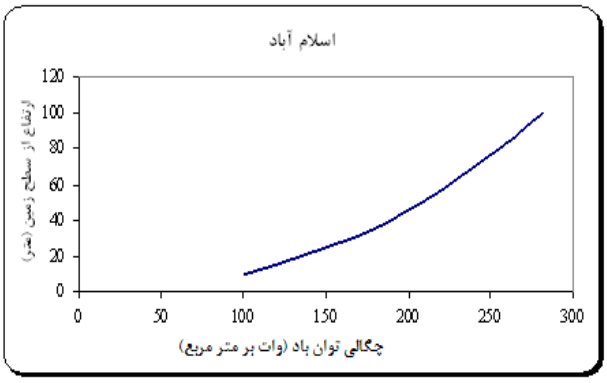
نتايج حاصل از آزمون نکويي برازش کاي اسکوئر که در جدول (6) ارائه شده، نشان داد که در تمامي ايستگاه‌ها مقادير محاسباتي اين آزمون از مقادير بحراني آن در سطح 95% کمتر است. لذا اين نتيجه حاصل شد که سرعت‌هاي مشاهده شده باد در تمامي اين ايستگاه‌ها با توزيع ويبول همگن است.

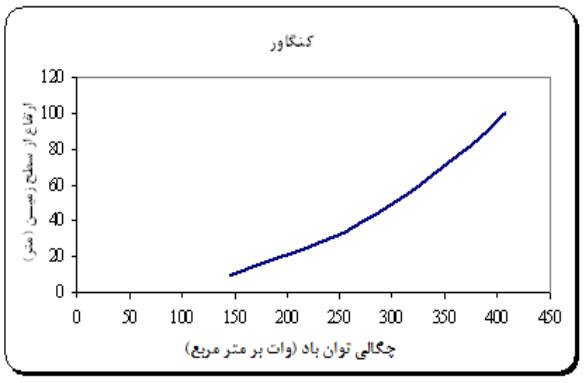
با توجه به رابطه انرژي باد در واحد سطح، مقدار چگالي انرژي باد در ايستگاه‌هاي کرمانشاه، کنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب به ترتيب 66/82، 146/1، 270/85، 245/39 و 100/82 وات بر متر مربع در زمان موجوديت باد محاسبه شد. مقادير چگالي انرژي باد محاسبه شده، مربوط به اطلاعات باد ثبت شده در ارتفاع 10 متري سطح زمين است. بررسي منابع نشان داد که ارتفاع محور اغلب توربين‌هاي بادي تجاري حدود 30 الي 80 متر از سطح زمين است. لذا روند تغييرات چگالي انرژي باد با ارتفاع با توجه به تغييرات سرعت باد و چگالي هوا

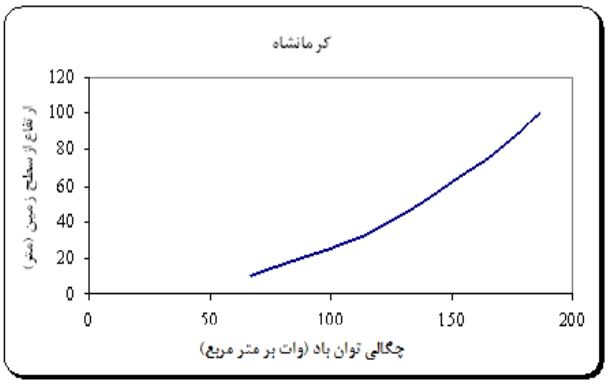
با ارتفاع بر اساس مدل ويبول شده است. محاسبه شد كه در شكل (8) آورده

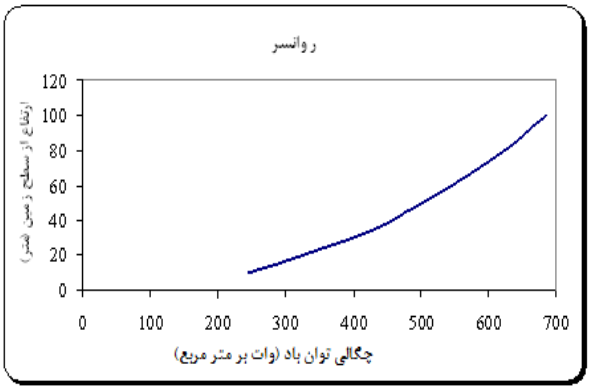
جدول شماره 6- مقادير كاي اسكوئر در توزيع ويبول (آماره آزمون) و مقادير بحراني آن در ايستگاه‌هاي مورد مطالعه

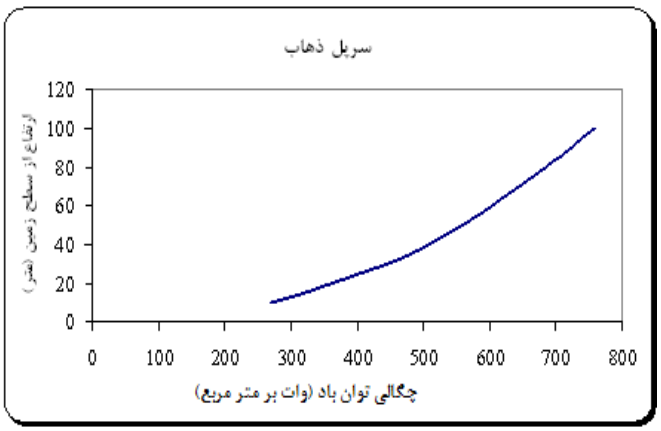
پارامتر	كرمانشاه	اسلام آباد	روانسر	كنگاور	سرپل ذهاب
درجه آزادي	18	18	23	20	33
آماره آزمون	11/27	17/22	27/26	12/88	33/19
مقدار بحراني 95%	28/9	28/9	35/2	31/4	47/4





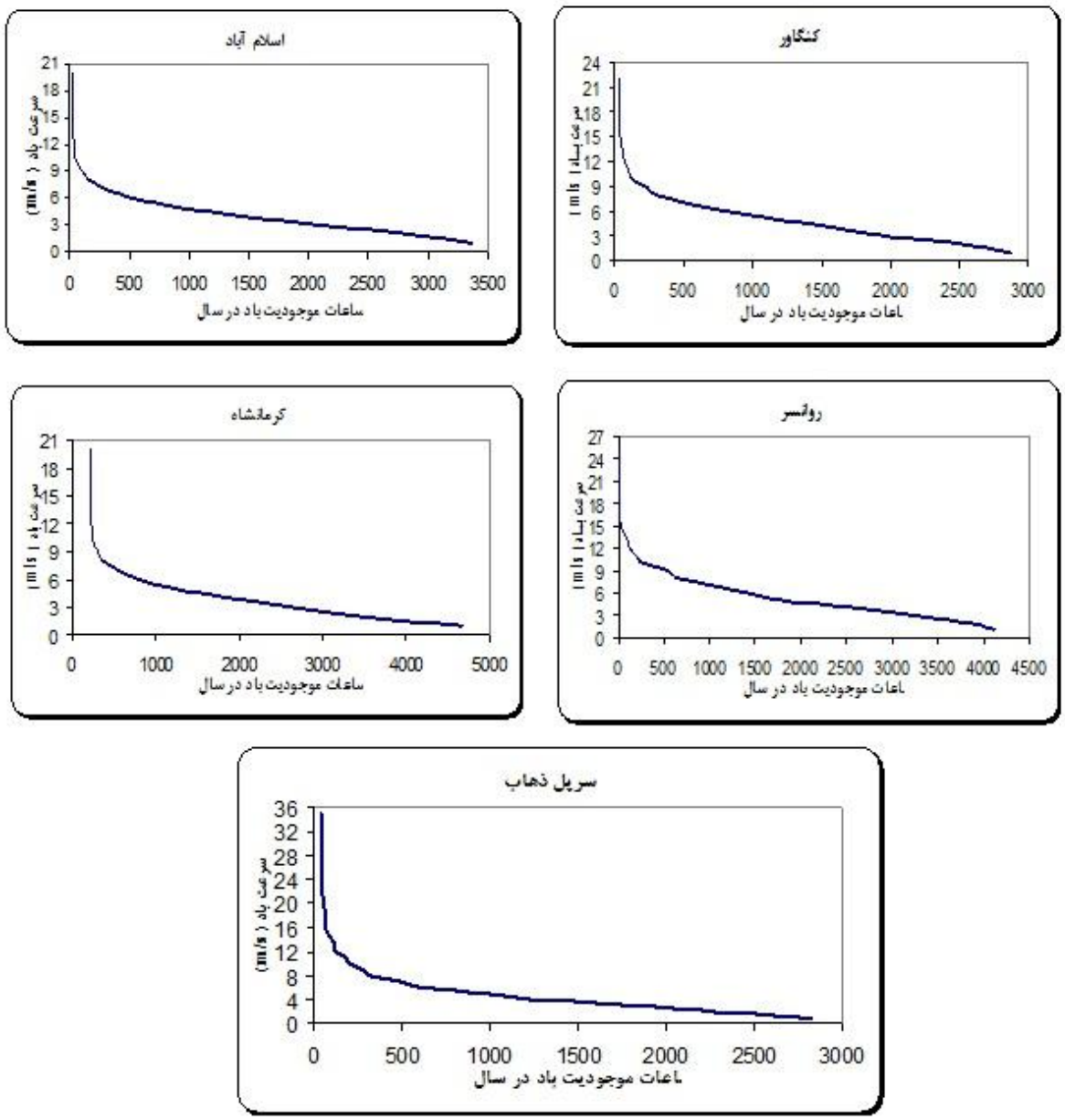






شكل شماره 8- چگالي توان باد (وات بر متر مربع) در ارتفاعات مختلف از سطح زمين در ايستگاه‌هاي مورد مطالعه

سرعت اسمی باد با توجه به معادلات موجود در ايستگاه‌هاي كرمانشاه، كنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام آباد غرب به ترتيب 6/79، 8/48، 11/15، 9/66 و 7/33 متر بر ثانيه و محتمل‌ترين سرعت باد در اين ايستگاه‌ها به ترتيب 2/42، 4/11، 2/48، 5/85 و 3/92 متر بر ثانيه محاسبه شد. در ضمن در ايستگاه‌هاي ذكر شده به ترتيب 40، 63، 57، 79 و 58 درصد از ساعات موجوديت باد، سرعت باد بين 4 تا 25 متر بر ثانيه بود. لذا ساعات موجوديت باد بين اين دو كه سرعت‌هاي راه اندازي و توقف اكثر توربين‌هاي بادي مي‌باشند، به ترتيب در اين ايستگاه‌ها 1868/59، 1805/63، 1595/38، 3260/85 و 1948/59 ساعت در سال محاسبه شد. بر اين اساس منحني‌هاي سرعت- تداوم باد در تمامي ايستگاه‌ها ترسيم شد كه در شكل (9) آورده شده است.



شکل شماره 9- منحني سرعت- تداوم باد در ايستگاه‌هاي همديد مورد مطالعه در ارتفاع 10 متري

نتيجه‌گيري

نتايج مطالعات نشان داد كه موجوديت سالانه باد در ايستگاه روانسر به ميزان 4126/93 ساعت در سال پس از كرمانشاه در جايگاه دوم قرار دارد. اما تعداد ساعات وزش بادهايي با سرعتی بين راه‌اندازي و توقف توربين‌هاي بادي در اين ايستگاه بيشتر از بقيه ايستگاه‌هاست. لذا از اين نظر ايستگاه روانسر بر ساير ايستگاه‌ها برتري دارد. كاوياني (1374) عملكرد اقتصادي توربين‌هاي بادي را كاركرد حداقل 4000 ساعت در سال مي‌داند. آمبروسيني (1992) چگالي توان بيش از 600 وات بر مترمربع در نيمي از ساعات سال را جهت استحصال انرژي باد مناسب مي داند. مجريان طرح نيروگاه منجيل، وجود 2000 ساعت باد با

سرعت بين 7 الي 25 متر بر ثانيه را جهت احداث نيروگاه بادي مقرون به صرفه مي‌دانند. با توجه به موارد ذكر شده و اين مطلب كه تعداد ساعات كاركرد توربين‌هاي بادي در ايستگاه روانسر در صورت نصب در ارتفاع 80 متري حدود 3260/85 ساعت در سال با چگالي توان 622/1 وات بر متر مربع مي‌باشد، به نظر مي‌رسد استفاده از انرژي باد در اين ايستگاه به شرط استقرار محور توربين‌هاي بادي در ارتفاع 80 متري سطح زمين، امكان‌پذير و مقرون به صرفه‌تر از ساير ايستگاه‌ها در استان كرمانشاه باشد.

منابع

1- جهانگيري مهدي، عليرضا حجي ملايري، احمد صداقت، احسان آقايي، 1390، پتانسيل سنجي انرژي باد براي توليد الكتريسيته در استان خراسان رضوي مطالعه موردي: ايستگاه قدمگاه. نخستين همايش ملي انرژي باد وخورشيد، مركز همايش‌هاي صدا و سيما، تهران.

2- صلاحي برومند، 1382، پتانسيل سنجي انرژي باد و برازش احتمالات واقعي وقوع باد با استفاده از تابع توزيع چگالي احتمال ويبول در ايستگاه‌هاي سينوپتيک استان اردبيل. فصلنامه تحقيقات جغرافيايي، شماره 72.

3- عالم رجبي علي اكبر، داود سعيدي، اميد نعمت الهي، 1390، بررسي پتانسيل انرژي باد در استان خراسان شمالي. مجله مديريت انرژي، شماره يك، ص 6.

4- كاوياني محمد رضا، 1374، توربين‌هاي بادي و ارزيابي پتانسيل انرژي باد در ايران. فصلنامه تحقيقات جغرافيايي، شماره 36.

5- نصيري جواد، 1376، پتانسيل انرژي باد در ايران. مجموعه مقالات انرژي‌هاي نو، وزارت نيرو، تهران.

6- نعمت الهي اميد، پوريا علمداري، مهدي جهانگيري، عليرضا حجي ملايري، 1390، پتانسيل سنجي توليد برق از انرژي باد در استان تهران مطالعه موردي: ايستگاه لتمان. نخستين همايش ملي انرژي باد وخورشيد، مركز همايش‌هاي صدا و سيما، تهران.

7- Adodka, L, O. and Adewale, A, A. 1992. «Wind energy potential of Nigeria» .Renewable Energy, Vol. 2. PP. 199-206.

8- 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

9- 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.

10- 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.

11- Jamil, M. 1994. «Wind power statistics and evaluation of wind energy». Wind Engineering, Vol. 18. No. 5. PP.278-287.

12- 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.

13- Keyhani, A. Ghasemi-Varnamkhasti, M. Khanali, M. Abbaszadeh, R. 2010. «An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran». Journal of energy, Volume 35, Issue 1, January 2010, Pages 188–201.

14- Skidmore, E. L. and Tatarko, J. 1991. «Wind in the Great plains and speed and direction distributions by month. Proceeding». USDA, ARS. PP. 245-263

15- Wagner, L. E, Tatarko, J. and Skidmore, E. L. 1992. «A statistical data base and generator for wind data». Summer Meeting. Transaction of ASAE, PP. 21-24.