جايگزيني انرژي باد به‌جاي سوخت‌هاي فسيلي در پمپاژ آب جهت مصارف كشاورزي

حامد حوري جعفري - سهيل شهيدي نژاد
شركت مديريت هيربدان

چكيده

تمدن ايران باستان قرن‌ها قبل از ميلاد مسيح دانش بهره‌برداري عملي از انرژي باد مناطق مستعد را در اختيار داشته است. يكي از افتخارات ايرانيان باستان طراحي و ساخت آسياب‌هاي بادي در نواحي بادخيز از جمله شمال سيستان امروزي مي‌باشد كه آثار آن همچنان باقي است.

امروزه با توسعه نگرش‌هاي زيست محيطي و راهبردهاي صرفه‌جويانه در بهره‌برداري از منابع تجديدناپذير انرژي سهم باد در منابع انرژي مورد استفاده رو به فزوني گذاشته است. توربين‌هاي بادي مولّد برق جايگزين مناسبي براي نيروگاه‌هاي گازي و بخاري رايج به شمار مي‌آيند و شمار پمپ توربين‌هاي بادي در حال كار تنها در سه كشور آرژانتين ، آمريكا و هند به حد يك ميليون دستگاه مي‌رسد.

در ايران، اقليم متنوع با مناطق بادخيز و سطح منابع آب زيرزميني مناسب بستر مناسبي براي گسترش بهره‌براري از توربين‌هاي بادي مولد برق و پمپ توربين‌هاي بادي به ويژه در مناطق دور از شبكه برق سراسري فراهم آورده است و اين در حالي است كه تأمين يارانه سوخت مورد نياز ديزل ژنراتورهاي چاه‌هاي كشاورزي با توجه به وارداتي بودن فرآورده‌هاي سوختي سالانه بار مالي قابل توجهي بر بودجه ملي تحميل مي‌نمايد كه خود بر محدوديت منابع مالي مورد نياز گسترش اجراي طرحهاي توسعه دولت مي‌افزايد.

مقالة حاضر نتايج فاز مطالعاتي پروژه «مطالعه جايگزيني باد به جاي سوخت‌هاي فسيلي در پمپ نمودن آب»مي‌باشد كه ميان سازمان بهينه‌سازي مصرف سوخت كشور و شركت مديريت هيربدان منعقد شده است. در اين مقاله ضمن معرفي پارامترهاي مهم باد، نحوة تحليل رياضي اطلاعات ثبت شده مشخصه‌هاي وزش باد (جهت و سرعت) تشريح و راهنمايي‌هاي لازم جهت انتخاب بهينه پمپ توربين بادي ارائه مي‌گردد.

*در ادامه با پردازش اطلاعات باد (آخرين دورة ده ساله تمامي ايستگاه‌هاي سينوپتيك كشور با كمك نرم‌افزار **WIND TOOL**) و تحليل آمار سطح آب‌هاي زيرزميني كشور به‌همراه بررسي اطلاعات كشاورزي، راهنماي جامعي بر تحليل باد، آب و كشاورزي مناطق مساعد جهت بهره‌برداري از پمپ توربين‌هاي بادي را در اختيار خواننده قرار مي‌دهد.*

در انتها مناطق مناسب جهت بهره‌برداري از انرژي باد در پمپاژ آب، انتخاب و نتايج پردازش اطلاعات بادسنجي، منابع آب و كشاورزي آنها ارائه شده است.

واژه‌هاي كليدي: *توربين بادي(Wind Turbine)- پمپ توربين بادي (Wind Pump)- پتانسيل انرژي باد (Wind Energy Potential)- چاه‌هاي نيمه عميق (Shallow Boreholes)*

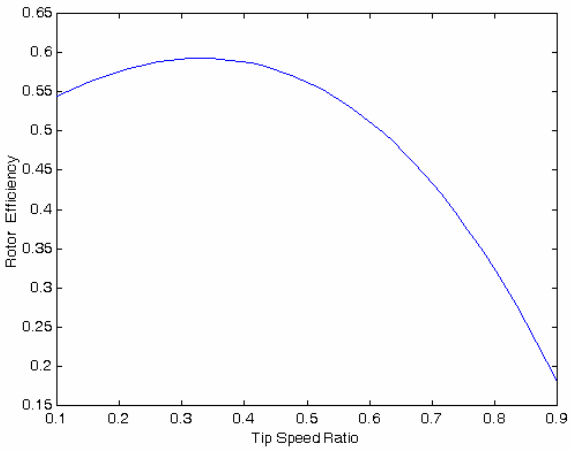
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

مقدمه:

توان قابل دريافت از باد به سه عامل سرعت باد، سطح مؤثر عبوري جريان هوا (سطح جاروب شده توسط پره‌هاي توربين بادي) و چگالي هوا بستگي دارد. با تقسيم توان باد بر سطح مؤثر عبوري جريان هوا، پتانسيل باد به‌دست مي‌آيد. بنابراين پتانسيل انرژي باد منطقه وابسته به توربين مورد استفاده و مشخصات هندسي آن نيست. چگالي هوا معمولاً ثابت بوده و به سادگي تغيير نمي‌كند. از آنجا كه پتانسيل انرژي باد با توان سوم سرعت باد متناسب است، مهمترين كار در برآورد پتانسيل انرژي باد يك منطقه و تعيين بهترين جايگاه براي نصب مولدهاي بادي، شناسايي مشخصه‌هاي باد منطقه (سرعت، فراواني و جهت) مي‌باشد. توان قابل دريافت از باد طبق رابطة (١) محاسبه مي‌گردد:

$$P= \frac{1}{2}\rho\, AV^3.C_p \qquad (١)$$

در رابطه (١)، ρ چگالي هوا، A سطح جاروب شده توسط روتور توربين‌بادي، V سرعت هوا و C_p ضريب توان توربين بادي مي‌باشد. نسبت سرعت نوك پره برابر با سرعت خطي نوك پرة توربين بادي تقسيم بر سرعت باد مي‌باشد و با علامت TSR نمايش داده مي‌شود. مقدار تئوري حداكثر ضريب توان برابر با و درحالت٠/٥٩٣ واقعي بين ٠/٤ تا ٠/٥ مي‌باشد. تغييرات C_p با نسبت سرعت نوك پره[1] در شكل١ نشان داده شده است.



شكل ١- ضريب توان توربين بادي بازاي نسبت سرعت نوك پره

بادسنجي و روش‌هاي تخمين پتانسيل انرژي باد

روش‌هاي مختلفي براي محاسبه توان و پتانسيل انرژي باد وجود دارد. امكانات و اطلاعات مورد نياز روشهاي مختلف يكسان نيست. وسائل اندازه‌گيري در محل نصب توربين‌هاي بادي،

1- Tip-Speed-Ratio

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

ثبت وپردازش اطلاعات، حجم محاسبات و هزينه‌هاي مربوطه بستگي به نوع توربين و محل نصب آن دارد. به عنوان مثال براي بررسي محل نامزد شده براي احداث مزرعه بادي علاوه بر اطلاعات ده‌ساله نزديك‌ترين ايستگاه هواشناسي، با نصب تجهيزات مناسب به اندازه‌گيري سرعت، فراواني وزش و جهت باد پرداخته مي‌شود. در صورت لزوم الگوي موضع‌نگاري منطقه در تونل‌هاي باد مورد آزمايشهاي آئروديناميكي ويژه قرار مي‌گيرد. در برخي مواقع استفاده از روش‌هاي محاسباتي ديناميك جريان سيال (CFD) براي بررسي و مطالعه الگوي وزش باد ضرورت مي‌يابد. در اين مقاله روش رياضي براي محاسبه توان و چگالي توان باد با استفاده از داده‌هاي ثبت شده با فواصل زماني مشخص (هر يك ثانيه به‌طور استاندارد) معرفي مي‌گردد. نمونه‌اي از بادسنج‌هاي مورد استفاده جهت ثبت سالانة اطلاعات باد در شكل٢ نشان داده شده است.

شكل ٢- نمونه‌اي از دستگاه‌هاي بادسنجي به همراه **Data Logger**
(نصب شده در منطقة گدوك فيروزكوه)

توزيع سرعت باد

توان باد با مكعب سرعت رابطه مستقيم دارد. بنابراين سرعت باد مهمترين پارامتري است كه بايد براي برآورد پتانسيل باد در يك ناحيه در دست باشد. سرعت باد به طور دائم در هر دقيقه، ساعت، روز، فصل و يا سال تغيير مي‌كند. بنابراين براي بدست‌آوردن سرعت متوسط ساليانه احتياج به اطلاعات مدت زماني برابر مضرب صحيحي از يك سال مي‌باشد. هر چه تعداد سالهاي مورد بررسي بيشتر باشد دقت محاسبات بالاتر خواهد بود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

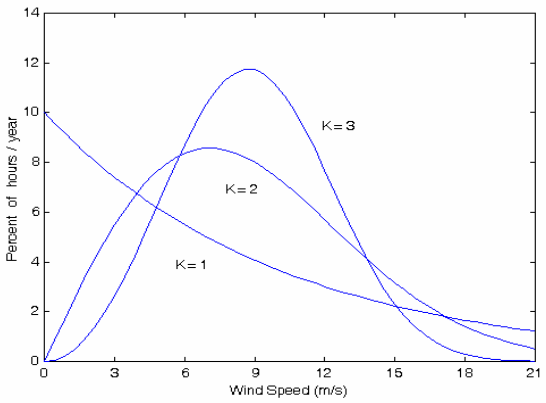
لازم به ذكر است بررسي‌هاي طولاني مدت، بسيار پرهزينه هستند و عموماً در چارچوب زماني بسياري از پروژه‌ها نمي‌گنجند. بنابراين، با مدل‌كردن اطلاعات باد يك‌ساله مي‌توان رفتار آن را در سال‌هاي بعد مدل نمود. اين كار از مطالعات طولاني مدت جلوگيري مي‌كند. جريان باد با فصول سال تغيير مي‌كند. الگوي باد نيز بيانگر اطلاعات آن در طول ٤ فصل (يك سال) مي‌باشد. از آنجا كه سرعت باد يك متغيير تصادفي مي‌باشد، تغييرات سرعت باد را مي‌توان با توزيع‌هاي احتمالاتي مدل نمود.

توزيع احتمالي ويبول[1]

بهترين توزيع احتمالي كه بوسيله آن مي‌توان رفتار باد را مدل كرد، توزيع ويبول (h) مي‌باشد. توزيع ويبول داراي دو پارامتر K (فاكتور شكلي) و C (فاكتور مقياس) است. احتمال اينكه باد در مدت زمان مشخصي داراي سرعت v باشد طبق رابطة زير محاسبه مي‌شود:

$$h(v) = \left(\frac{K}{C}\right)\left(\frac{v}{C}\right)^{K-1} e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^{K}} \quad \text{for } 0 < v < \infty \qquad (۲)$$

شكل۳ در صفحه بعد توزيع h را با متغير v به ازاي سه مقدار مختلف K نشان مي‌دهد.



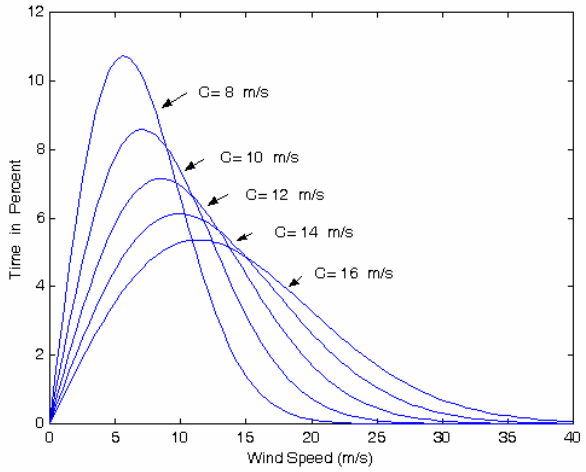
شكل ۳- توزيع احتمالي ويبول با پارامتر مقياس C=۱۰ و پارامترهاي شكلي ۳ و۲و ۱=K

منحني (K=۱) داراي تمايل زيادي به سمت چپ است بدين معني كه روزهاي بسياري بدون باد ($v = 0$) بوده است. منحني (K=۳) شباهت زيادي به توزيع نرمال دارد. يعني بسياري از روزها داراي باد زياد و تقريبا به همان تعداد روزهاي بدون باد وجود داشته است. منحني مياني با (K=۲) همان توزيعي است كه در بسياري از مناطق ديده مي‌شود. در اين توزيع بسياري از روزها بادي با سرعت كمتر از سرعت ميانگين دارند و روزهاي كمي با باد شديد ديده مي شود. مقدار ضريب K شكل منحني را مشخص مي‌كند، به همين دليل فاكتور شكلي ناميده مي‌شود. شكل

1 - Weibull

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

٤ توزيع ويبول را براي K=۲ به ازاي مقادير مختلف C نشان مي‌دهد. در اين منحني‌ها C از ۸ تا ١٦ مايل بر ساعت تغيير كرده است.



شكل ٤- توزيع ويبول با پارامتر شكل۲ =**K**، پارامترهاي مقياس۸- ١٦

در بسياري از مناطق توزيع سرعت باد داراي فاكتور مقياس بين ۵ تا ۱۰ متربرثانيه و همچنين فاكتور شكلي بين ۱/۵ تا ۲/۵ مي‌باشد. بنابر آنچه بيان شد با بدست آوردن پارامترهاي توزيع ويبول (C,K) براي داده‌هاي ثبت شدة باد مي‌توان رفتار آن را شبيه‌سازي نمود. براي تعيين پارامترهاي ويبول روش‌هاي مختلف رياضي موجود است كه با دقت‌ترين آنها به شرح زير آورده شده است.

محاسبة **C** و**K** به كمك تابع احتمال تجمعي

يكي از روش‌هاي تعيين مقادير c وK با داشتن داده‌هاي آماري سرعت باد مناطق مختلف، به‌كارگيري تابع احتمال تجمعي است كه به روش برآزش حداقل مربعات در توزيع آماري سرعت باد معروف مي‌باشد. اگر در يك بررسي آماري باد p(v) احتمال وقوع سرعت v و P(v) احتمال وقوع سرعت v و بيشتر (احتمال تجمعي) باشند آنگاه بر طبق تعريف توابع احتمالي رابطه زير را مي‌توان نوشت:

$$\int_{\circ}^{V} p(V)dV + \int_{V}^{\infty} p(V)\,dV = 1 \qquad (۳)$$

طبق تعريف، انتگرال اول از طرف چپ برابر P(V) مي‌باشد، از اين‌رو:

$$\int_{V}^{\infty} p(V)\,dV = 1 - P(V) \qquad (٤)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

بعد از محاسبه انتگرال طرف چپ رابطه (۳)، براي تابع ويبول تعريف شده در رابطة (۲)، رابطه زير به‌دست مي‌آيد:

$$e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^K} = 1 - P(V) \qquad (۵)$$

$$P(V) = 1 - e^{\left(\frac{V}{C}\right)^K} \qquad (٦)$$

چنانچه لگاريتم طبيعي طرفين رابطه (۵) گرفته شود، به صورت زير در مي‌آيد:

$$-\left(\frac{V}{C}\right)^K = \log\left[1 - P(V)\right] \qquad (۷)$$

اگر لگاريتم طبيعي رابطه (۷) مساوي يكديگر قرار داده شود:

$$K\log(V) - K\log(C) = \log\left\{-\log\left[1 - P(V)\right]\right\} \qquad (۸)$$

با فرض:

$$x = \log(V) \;,\; y = \log\left\{-\log\left[1 - P(V)\right]\right\} \qquad (۹)$$

رابطه (۸) به صورت معادله خطي $y = Ax + B$ درمي‌آيد كه در آن $A = K$ و $B = -\log(C)$ مي‌باشد. در نتيجه پارامترهاي ويبول به صورت زير خواهند بود:

$$C = e^{\frac{-B}{A}} \;,\; K = A \qquad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰)، A ضريب زاويه خط $y = Ax + B$ و B عرض نقطه تقاطع خط با محور yها مي‌باشند. بدين ترتيب توزيع ويبول براي باد منطقة مورد مطالعه بدست مي‌آيد.

در ادامه با طراحي و تهية نرم‌افزار WIND TOOL بر اساس روش مذكور، اطلاعات كلية ايستگاه‌هاي سينوپتيك كشور مورد پردازش قرار گرفته است كه در ادامه خلاصة آن آورده مي‌شود.

قابليتهاى نرم‌افزار **WIND TOOL**

در نرم‌افزار WIND TOOL ابتدا نمودار فراوانى رسم مى‌گردد. با استفاده از روابط آمارى ستون‌هاى فراوانى نسبى، فراوانى تجمعى نسبى و احتمال آمارى هر سرعت بدست مى‌آيد. همچنين با استفاده از فراوانى تجمعى نسبى پارامترهاى x و y بدست آمده و با به كارگيرى روش برگشت خطى (Linear Regression) بهترين خط براى Y=AX+B بدست مى‌آيد. در نهايت پارامترهاى توزيع ويبول با داشتن پارامترهاى A و B محاسبه مى‌گردند. در نرم‌افزار WIND TOOL پس از انجام محاسبات فوق با دقت بالا، نمودارهاى لازم در ارتباط با توزيع ويبول رسم مى‌گردد. نتايج انجام محاسبات فوق توسط نرم‌افزار عبارتند از:

متوسط سرعت باد، انحراف معيار سرعت باد، محتملترين سرعت باد در منطقه، سرعت بادى متناظر ماكزيمم انرژى و پتانسيل انرژى باد منطقه.

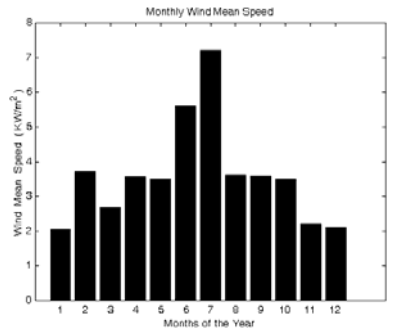
على‌رغم كاربرد گسترده توزيع ويبول، از آن نمى‌توان در شبيه‌سازى سرعتهاى كم باد استفاده نمود. در صورت عدم اطلاعات دقيق بادسنجى و يا در سرعت‌هاى كم، از روشهاى آمارى به

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

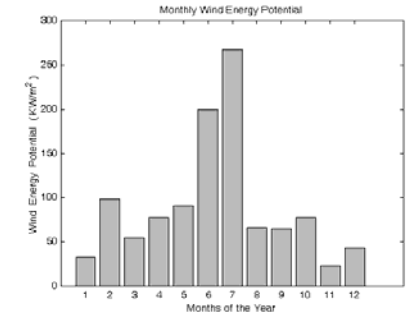
منظور محاسبه متوسط پتانسیل انرژی باد (ماهانـه وسـالانه) در ۸ جهـت اصـلی(شـمال، شـمال غربی، غرب، جنوب غربی، جنوب، جنوب شرقی، شرق و شمالشرقی) استفاده مـی‌شـود.نـرم‌افـزار WIND TOOL قابلیت پردازش کامل اطلاعات باد را با روشهای آماری علاوه بر برآورد توزیع ویبول دارا مي‌باشد. در نرم افزار مذکور با وارد کردن اطلاعات آمـاری بـاد (سـرعت، فراوانـی و جهت) پارامترهای زیر علاوه بر توزیع ویبول محاسبه می‌گردند:

۱) متوسط ماهانه سرعت باد
۲) متوسط ماهانه پتانسیل انرژی باد
۳) متوسط سالانه سرعت باد
۴) متوسط سالانه پتانسیل انرژی باد
۵) رسم گلباد

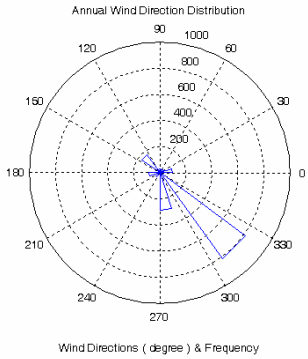
در اشکال ۵ الي۱۱ نمونه اطلاعات پردازش شده توسط نرم‌افزار WIND TOOL و هیستوگرام‌های مربوطه بر مبنای اطلاعات سال ۱۹۹۸ ایستگاه آبادان آورده شده است. در شرکت مدیریت هیربدان نرم‌افزار Iran Wind Data Analysis (IWDA) ، شامل اطلاعات پردازش شدة ۱۰ سال اخیر مربوط به ۱٦٥ ایستگاه سینوپتیك کشور طراحي و تهیه گشته است.



شکل ۵- هیستوگرام متوسط ماهانه سرعت باد

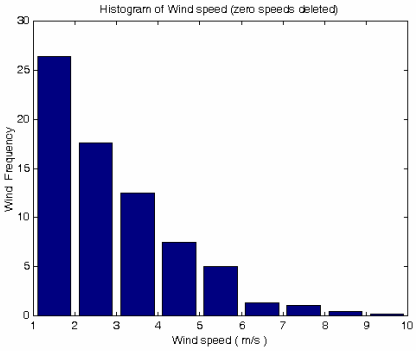


شکل ٦- هیستوگرام متوسط ماهانه پتانسیل انرژی باد

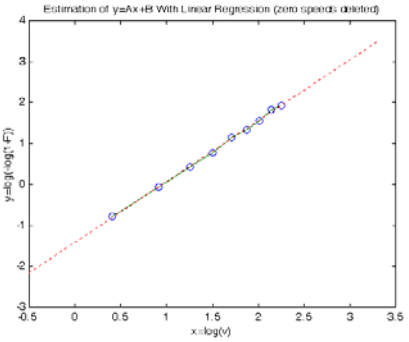


شکل ۷- گلباد ایستگاه آبادان

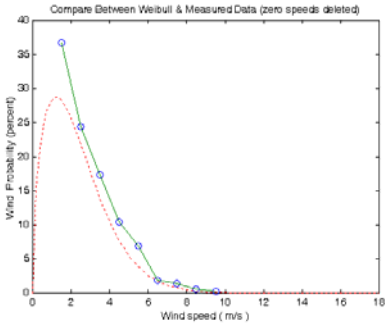
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]



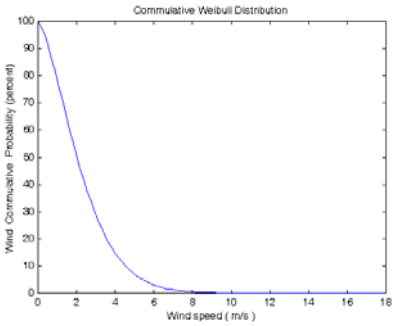
شکل ۸- هیستوگرام فراوانی مطلق سرعتهای اندازه‌گیری شده



شکل ۹- برازش خط **Y=AX+B** به نقاط **x** و **y** به روش برگشت خطی



شکل ۱۰- توزیع ویبول برآزش شده بر داده‌های بادسنجی



شکل ۱۱- توزیع تجمعي ویبول ایستگاه آبادان

انتخاب جايگاه پمپ توربين‌هاي بادي

عملكرد توربين بادي وابستگي مستقيم به انتخاب جايگاه با باد مناسب دارد. از كل انرژي باد دريافتي، مولدهاي بادي تنها مي‌توانند بخشي از آن را به كار مكانيكي تبديل نمايند. در مورد پمپ توربين‌هاي بادي شرايط و عوامل متعددي بر كارايي آنها موثر است. عملكرد مطلوب پمپ توربين‌هاي بادي مستلزم وجود منابع آب زيرزميني كافي و باد مناسب در فصول كشاورزي مي‌باشد.

الف- منابع آب

آب منابع زيرزميني به‌طور مستقيم و يا غير مستقيم از نزولات جوي تامين مي‌شود. تقسيم بندي منابع آب بر اساس تعيين حوزه‌هاي آبريز عمده انجام مي‌گيرد. حوزه‌هاي آبريز به مناطق متشكل از درياچه‌ها، درياها و يا اقيانوسها اطلاق مي‌شود كه آب تمامي رودها و چشمه‌هاي منطقه به آنها سرازير مي‌گردد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

ايران به شش حوزه بزرگ آبريز (خزر، خليج‌فارس، درياچه اروميه، مركزي، هامون و سرخس) تقسيم مي‌گردد. سطح آب منابع زيرزميني با زمان تغيير مي‌كند. آبنمودهاي معرف[1] در هر منطقه عمق متوسط چاه‌ها را در ماه‌ها و سالهاي متوالي نمايش مي‌دهند.

معمولا اطلاعات يك دوره ده ساله روند تغييرات سطح آبهاي زيرزميني يك منطقه را به خوبي نشان مي‌دهند. معمولاً اطلاعات يك دوره ده ساله روند تغييرات سطح آبهاي زيرزميني يك منطقه را به خوبي نشان مي‌دهد. هر چند از اين اطلاعات مي‌توان در برآورد سطح آبهاي زيرزميني در سال‌هاي آتي استفاده نمود ولي اين چنين برآوردهايي به دليل تغييرات ميزان نزولات جوي در سال‌هاي مختلف معمولا قابل اعتماد نيست.

بديهي است تغيير سطح آب چاه و ميزان آبدهي، بر كاركرد پمپ توربين بادي تاثير گذار مي باشد. از اين رو داشتن اطلاعات بهنگام از سطح آبهاي زيرزميني و چاه‌هاي مناطق مورد بررسي در گزينش جايگاه مناسب پمپ توربين بادي حائز اهميت فراوان مي‌باشد. اين اطلاعات شامل متوسط و حداكثر دبي چاه‌هاي منطقه (عميق و غير عميق)، متوسط و حداكثر عمق چاه، آبدهي سالانه چاه و كيفيت آب مي‌باشد.

ب- مصارف كشاورزي

هر چند استفادة عمدة پمپ توربين‌هاي بادي در پمپ نمودن آب در جهت تامين نيازهاي كشاورزي است، از آنها مي‌توان در تامين آب شرب انسان و دام ويا به‌كارگيري كمپرسور در تامين هواي فشرده به منظور هوادهي استخرهاي پرورش ماهي بهره‌برداري نمود. سطح زير كشت و نوع محصول كشاورزي تعيين كننده ميزان آب لازم جهت آبياري مي‌باشد. همچنين اطلاع از نوع محصول و نحوه كشت، زمان مربوط به كاشت، داشت و برداشت را مشخص مي‌نمايد. بديهي است در فصول مختلف نياز به آب متفاوت مي‌باشد و در نظر داشتن اين نيازها در گزينش جايگاه پمپ توربين مناسب لازم است. جنگلها و مراتع نيز از جمله مناطق مناسب در بكارگيري پمپ توربينهاي بادي مي‌باشد. دوربودن چنين مناطقي از شهرها و مشكل بودن به كارگيري روشهاي دائم پمپ نبودن آب (ديزل‌ها ويا استفاده از شبكه برق سراسري) از سويي و لزوم تامين آب مورد نياز دام و گياهان از سوي ديگر بر اهميت بهره‌برداري از پمپ توربين‌هاي بادي در مناطق مستعد و بادخيز مي‌افزايد.

ج- باد

وجود باد با سرعت مناسب (بين ۲ تا ۱۰ متر بر ثانيه) و با تداوم كافي (حداقل۲۰ درصد اوقات) لازمة بهره‌برداري بهينه و اقتصادي از پمپ توربين‌هاي بادي است. تعيين مناطق مساعد و بادخيز با روشهايي كه شرح آن در مورد انتخاب جايگاه مولدهاي بادي گذشت، در خصوص پمپ توربين‌هاي بادي نيز صادق است. بايد در نظر داشت اطمينان از وجود پتانسيل باد كافي در بهره‌برداري از مولدهاي بادي، از نظر اقتصادي بسيار حائز اهميت مي‌باشد. حجم سرمايه‌گذاري

1- Unit Hydrograph

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

اوليه در نصب مولدهاي بادي و ساعات بهره‌برداري از آنها در محاسبة نرخ و زمان بازگشت سرمايه لحاظ مي‌گردد و از اين رو با افزايش سرمايه‌گذاري اولية مولدهاي بادي اطمينان از تداوم و سرعت مناسب باد، عدم وجود موانع بادپناه، در امان بودن از آسيب‌هاي طبيعي (صاعقه، سيلاب، زلزلــه) شرايط آب و هوايي از نظر خوردگي قطعات ويا سايش در مقابل شن بادها از درجه اهميت بيشتري برخوردار مي‌گردد. هرچه مولد بادي بزرگتر باشد، سرمايه گذاري اوليه بيشتر و حساسيت در مكايابي دقيق‌تر بيشتر خواهد بود.

روش انتخاب جايگاه پمپ توربين‌هاي بادي

گزينش جايگاه مناسب با در نظر داشتن سه عامل اصلي (منابع آب، كشاورزي، باد) صورت مي‌پذيرد. تعيين مناطق با منابع آب‌هاي زيرزميني مناسب با بررسي اطلاعات عمق، آبدهي و تعداد چاههاي مناطق مختلف صورت مي‌گيرد. تجربه به‌كارگيري پمپ توربين‌هاي بادي نشان مي‌دهد مناسب‌ترين عمق بهره‌برداري از پمپ توربين‌هاي بادي ۲۰ تا ۵۰ متر (چاههاي نيمه عميق) مي‌باشد. براي توان ثابت پمپ با افزايش عمق چاه با همان نسبت دبي آب پمپ شده كاهش مي‌يابد. توان پمپ نمودن پمپ توربين بادي به قطر پروانه توربين باد، ارتفاع دكل، قطر و كورس پيستون پمپ بستگي دارد. ميزان آبدهي چاه به ميزان ذخيره آب‌زيرزميني، عمق نفوذ چاه به داخل سفره آب زيرزميني و قطر چاه وابسته است. عموماً در مناطق با ذخاير آب زيرزميني قابل توجه، كشاورزي رونق فراواني دارد. از اين رو بسته به نيازهاي كشاورزي، حجم آب مورد نياز وبه تبع آن ويژگيهاي فني پمپ توربين، انتخاب و طراحي مي‌گردد. در نتيجه جمع آوري اطلاعات كشاورزي مناطق با ذخاير آبي مناسب گام بعدي گزينش جايگاه مي‌باشد. در اين مرحله با در نظر داشتن نوع كشت و ميزان آب لازم جهت آبياري مزارع، ويژگيهاي فني و تعداد پمپ توربين‌ها مشخص مي‌گردد. با مشخص بودن نيازهاي فصلي جايگاه‌هاي نامزد به آب، گام نهايي در راستاي گزينش بهترين جايگاه تعيين شرايط منطقه از لحاظ چگونگي وزش باد مي‌باشد. همانطور كه قبلاً هم اشاره شد، با تحليل آماري نتايج بادسنجي ايستگاه‌هاي هواشناسي در ساليان گذشته و با به‌كارگيري روشهاي تحليل احتمال مي‌توان توزيع احتمال باد را در محل ايستگاه هواشناسي به‌دست آورد و با روشهاي رياضي با ترتيب قابل قبولي آن را براي نواحي اطراف ايستگاه تا شعاع چند ده كيلومتر تعميم داد. تعميم شرايط يك محل به مناطق اطراف با توجه به نقشه‌هاي موضع‌نگاري منطقه صورت مي‌پذيرد. با دردست داشتن اطلاعات مذكور براي جايگاههاي نامزد و با بررسي نتايج بادسنجي، انتخاب بهترين جايگاه انجام مي‌پذيرد. نماي يك جايگاه نمونه پمپ توربين بادي در شكل۱۲ نشان داده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

شکل ۱۲- نماي يك جايگاه نمونه پمپ توربين بادي

تنظيم مناطق بادخيز با سطح آبهاي زيرزميني مناسب و اعلام ۵۰ منطقه

به‌منظور تعيين نقاط برتر جهت استفاده از پمپ توربين‌هاي بادي جدول بادآب كه در انتهاي همين بخش آمده است، تهيه گشته است. در اين جدول سرعت و پتانسيل انرژي باد به همراه اطلاعات مربوط به سطح آبهاي زيرزميني آورده شده است. جدول باد آب براي كليه مناطقي كه داراي ايستگاه ثبت اطلاعات باد مي‌باشند تهيه گشته است. در اين بخش پس از تحليل اطلاعات مندرج در جدول مذكور، ۵۰ نقطه برتر جهت بهره‌برداري از انرژي باد در پمپاژ آب معرفي مي‌گردند. معيار انتخاب نقاط برتر، مناسبت كاربري جهت تامين آب مورد نياز در كشاورزي است. انتخاب نقاط مذكور به معني اين نيست كه نمي‌توان از پمپ توربين‌هاي بادي در نقاط ديگر كشور استفاده نمود. چرا كه اكثر نقاط كشور جهت استفاده از پمپ توربين‌هاي بادي براي تأمين آب شرب و دامپروري مناسب هستند. زيرا دبي مورد نياز جهت تأمين آب مقاصد مذكور زياد نمي‌باشد.

اعلام مناطق بادخيز با سطح آبهاي زيرزميني مناسب

با توجه به جدول بادآب كه خلاصة بررسي‌هاي صورت گرفته بر روي اطلاعات باد و آب مناطق منتخب كشور مي‌باشد، همچنين كشاورزي رايج مناطق مختلف، ۵۰ نقطه برتر كشور جهت بهره‌برداري از انرژي باد به شرح زير به ترتيب الويت معرفي مي‌گردند:

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

۱- منجیل ۲- زابل ۳- بینالود ٤- اقلید فارس

مناطق مذکور از نظر پتانسیل انرژي باد و سطح آبهاي زیرزميني داراي شرایط بسیار مطلوب مي‌باشند. و در این مناطق مي‌توان با استفاده از يك دستگاه پمپ توربین بادي بزرگ (قطر روتور بیش از ۷ متر) ٦ الي ۷ هکتار زمین زراعي را زیر کشت آبي برد. پتانسیل انرژي باد چهار منطقه ذکر شده بیش از W/m^2 ۲۰۰ مي‌باشد. همچنین عمق متوسط چاه‌هاي نیمه عمیق منطقه ۱۰ متر براي منجیل و حدود ۲۰ متر براي دیگر نقاط مي‌باشد. لازم به ذکر است از میان مناطق مذکور شهرهاي اقلید فارس، زابل و بینالود داراي کشاورزي گسترده مي‌باشند.

۵- اردبیل ٦- سهند ۷- بیجار ۸- قروه ۹- زرینه اوباتو ۱۰- خدابنده ۱۱- بوشهر

مناطق مذکور از نظر پتانسیل انرژي باد و سطح آبهاي زیرزميني داراي شرایط بسیار مطلوبي هستند و در این مناطق مي‌توان با استفاده از پمپ توربین‌هاي بادي بزرگ تا ٦ هکتار زمین زراعي را زیر کشت برد. اگر در این مناطق از توربین‌هاي بادي با قطر حدود ۵ تا ٦ متر استفاده شود با هر توربین مي‌توان ۲ هکتار زمین را زیر کشت آبي برد. پتانسیل انرژي باد در این مناطق بیش از W/m^2 ۱۰۰ مي‌باشد. همچنین عمق متوسط چاه‌هاي نیمه عمیق مناطق اردبیل، بیجار، قروه و زرینه اوباتو، حدود ۱۰ متر و در مناطق سهند و خدابنده ۲۰ متر و حدود ٤۰ متر در بوشهر مي‌باشد. تمامي مناطق مذکور داراي کشاورزي وسیع مي‌باشند. در میان آنها بیجار، قروه و زرینه اوباتو داراي پتانسیل فراواني جهت استفاده از پمپ توربین‌هاي بادي در مزارع کشت گندم بوده و در این نواحي مي‌توان با آبي کردن کشت دیم به محصولي حدود ۵ برابر محصول فعلي (حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار) دست یافت.

۱۲- الیگودرز ۱۳- آوج ۱٤- مروست ۱۵- رفسنجان

۱٦- چابهار ۱۷- بروجرد ۱۸- خرم‌دره ۱۹- راونسر

۲۰- بندر دیر

مناطق مذکور از نظر پتانسیل انرژي باد، سطح آبهاي زیرزميني و کشاورزي براي بهره‌برداري از پمپ توربین‌هاي بادي داراي شرایط مطلوبي مي‌باشند. سرعت و پتانسیل انرژي باد در آنها به‌ترتیب بیش از m/s ٤ و W/m^2 ۷۰ مي‌باشد. سطح آبهاي زیرزميني بالا بوده و متوسط عمق چاه‌هاي نیمه عمیق در آنها حدود ۲۲ متر مي‌باشد. کلیه مناطق مذکور از وسعت کشاورزي مطلوبي برخوردار مي‌باشند.

۲۱- جاسك ۲۲- جزیره کیش ۲۳- زاهدان ۲٤- جزیره سیري ۲۵- خاش ۲٦- سراوان ۲۷- بندر ماهشهر ۲۸- نائین

۲۹- شوشتر ۳۰- همدان ۳۱- سیرجان ۳۲- کهنوج

سرعت و پتانسیل انرژي باد در مناطق مذکور به‌ترتیب بیش m/s ۳/۵ و W/m^2 ۵۰ مي‌باشد. عمق متوسط چاه‌هاي نیمه عمیق در مناطق مذکور بجز زاهدان در حدود ۲۰ متر مي‌باشد و از میان آنها شهرهاي خاش، سراوان و زاهدان در استان سیستان و بلوچستان قرار دارند که فقط زاهدان از نظرتعداد چاه‌هاي نیمه عمیق و گستردگي کشاورزي نسبت به دیگر شهرها ضعیف‌تر مي‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

۳۳- ايرانشهر ۳٤- جزيره ابوموسي ۳۵- تبريز ۳٦- زنجان ۳۷- بروجن ۳۸- مشهد ۳۹- جزبره قشم ٤۰- بافت ٤۱- لنگان ٤۲- ملاير ٤۳- نهبندان ٤٤- اميريه ٤۵- آغاجاري ٤٦- فيروزكوه

- سرعت و پتانسيل انرژي باد در مناطق مذكور به‌ترتيب بيش از ۳ m/s و ٤۰ W/m^2 مي‌باشد. عمق متوسط چاه‌هاي نيمه عميق حدود ۲۰ متر مي‌باشد و از كشاورزي مطلوبي برخوردار هستند. از ميان مناطق فوق منطقه مشهد نسبت به ديگر نقاط داراي تعداد چاه‌هاي نيمه عميق كمتري مي‌باشد. همچنين نواحي ملاير، نهبندان، آغاجاري و اميديه از كشاورزي گسترده‌تري نسبت به ديگر نقاط برخوردار مي‌باشند. از ميان نواحي فوق فيروزكوه داراي پتانسيل انرژي باد W/m^2 ۱۰۰ و سرعت بيش از ٤ m/s مي‌باشد ولي از نظر كشاورزي داراي زمين‌هاي زراعي زيادي نيست، در عوض داراي مراتع بسيار و گسترده مي‌باشد. قابليت بكارگيري پمپ توربين‌هاي بادي در فيروزكوه علاوه بر مصارف كشاورزي براي تهيه آب شرب دام بسيار زياد مي‌باشد.

٤۷- آهار ٤۸- كرمان ٤۹- بم ۵۰- شهرضا ۵۱- بندر لنگه ۵۲- بجنورد ۵۳- آباده

مناطق مذكور داراي سرعت باد بيش از ۲/٦ m/s و پتانسيل باد بيش از ۳۵ W/m^2 مي‌باشند. سطح آبهاي زيرزميني در آنها در حدود عمق ۱۷ متر مي‌باشد و داراي كشاورزي مطلوبي هستند.

همانطور كه در قبل اشاره شد مناطق معرفي شده جهت بهره‌برداري از پمپ توربين‌هاي بادي در مصارف كشاورزي داراي شرايط بهتري مي‌باشند اما اين بدين معني نيست كه در ديگر نقاط كشور نمي‌توان از پمپ‌هاي بادي استفاده نمود. لازم به ذكر است شهرهاي خور بيرجند، تربت جام، اردستان و يزد علي‌رغم داشتن پتانسيل انرژي باد بسيار خوب به‌علت بالا نبودن سطح آبهاي زيرزميني معرفي نشده‌اند. در اين نواحي برداشت آب تنها با حفر چاه‌هاي بسيار عميق ميسر مي‌باشد.

شهرهاي حاشيه درياي خزر از نظر كشاورزي و سطح آبهاي زيرزميني مساعدترين مناطق كشور مي‌باشند اما بدليل پائين بودن پتانسيل انرژي باد در اين مناطق نمي‌توان از پمپ توربين‌هاي بادي در كشاورزي به‌طور مستقل بهره‌برداري نمود ولي امكان بهره‌برداري از آنها به‌صورت رزرو براي پمپ‌هاي ديزلي و يا برقي وجود دارد.

جدول بادآب

در اين جدول سرعت و پتانسيل انرژي باد به همراه اطلاعات مربوط به سطح آبهاي زيرزميني آورده شده است. جدول بادآب براي كليه مناطقي كه داراي ايستگاه ثبت اطلاعات باد مي‌باشند، تهيه شده است. در زير خلاصه جدول بادآب آورده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

جدول ۱- جدول بادآب شامل خلاصه اطلاعات باد و آب کشور

Station	Wind Mean Speed (m/s)	Wind Mean Energy Potential (W/m^2)	Number of Shallow boreholes	Maximum Depth (m)	Mean Flow Rate (m^3/h)
ABADAN	2.3	32.3	**	**	**
ABADEH	2.2	49.5	**	**	**
ABALI	1.8	34.3	TEH.	TEH.	TEH.
AHAR	2.6	39.0	1045	36.00	5.90
AHVAZ	2.5	25.5	18	18.52	5.00
ALESHTAR	2.1	26.2	13	**	**
ALIGOODARZ	4.6	74.20	483	45.00	7.00
ANAR	2.5	47.9	**	**	**
ARAK	1.1	13.3	1522	**	10.80
ARDEBIL	4.6	161.7	1779	29.00	5.13
ARDESTAN	3.6	90.8	15	49.00	5.10
ASTARA	0.9	5.50	**	**	**
AVAJ	4.2	83.80	626	70.00	3.00
BABOLSAR	1.8	12.2	24767	24.00	3.80
BAFGH	1.6	13.0	133	64.00	13.40
BAFT	2.9	57.4	17	40.00	10.80.
BAM	2.6	37.5	KER.	KER.	KER.
BANDAR ABASS	2.5	23.2	**	**	**
BANDAR ANZALI	1.9	22.2	**	**	**
BANDAR DAIER	2.9	76.8	636	85.00	8.80
BANDAR LENGEH	2.5	31.3	218	70.00	7.03
BANDAR MAHSHAHR	3.2	60.8	**	**	**
BEHBAHAN	1.2	9.13	153	14.00	12.63
BIRJAMAND	2.4	44.0	21	13.00	2.00
BIJAR	4.5	94.50	879	20.00	4.00
BIRJAND	2.0	25.8	44	52.00	2.50
BOJNURD	2.3	50.8	478	50.00	2.71
BOROOJEN	3.0	36.6	81	48.00	5.00
BOSHROOYEH	0.9	7.30	25	45.00	12.70
BOSTAN	2.6	30.0	**	**	**
BROUJERD	3.8	65.3	664	45.00	6.50
BUSHEHR	2.0	25.0	**	**	**

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

Station	Wind Mean Speed (m/s)	Wind Mean Energy Potential (W/m^2)	Number of Shallow boreholes	Maximum Depth (m)	Mean Flow Rate (m^3/h)
BUSHEHR COASTAL	4.4	135.56	**	**	**
CHAHBAHAR	3.9	55.8	25	40.00	5.00
CHITGAR	1.1	14.2	TEH.	TEH.	TEH.
DARAN	1.9	36.2	192	48.00	5.60
DEHLORAN	1.3	9.40	**	**	**
DEZFUL	1.3	12.3	96	15.00	20.69
DOGONBADAN	2.0	36.0	32	25.00	8.00
DOUSHAN TAPPEH	1.9	14.3	TEH.	TEH.	TEH.
EGHLIDE FARS	4.3	209.9	289	90.00	7.40
ESFAHAN	1.6	13.7	332	48.00	28.30
ESLAMABAD GHARB	1.3	17.1	420	38.00	9.80
FASSA	1.1	10.4	316	70.00	12.00
FERDOUS	2.4	17.9	22	40.00	7.84
FIROUZKOOH	1.9	33.4	56	46.00	6.54
FIROUZKOOH (POLL.)	**	***	56	46.00	6.54
FOROUDGAH LAMERD	2.1	30.3	698	80.00	10.00
GARMSAR	2.0	25.5	110	50.00	4.00
GHAEN	2.5	40.4	165	55.00	3.78
GHARAKHIL GHAEMSHAHR	1.9	11.0	16154	24.00	2.60
GHAZVIN	1.3	10.4	2298	100.00	4.90
GHOM	1.7	20.0	484	48.00	80.00
GHOOCHAN	1.5	8.00	468	60.00	3.00
GHORVEH	3.2	94.4	2155	50.00	6.00
GOLMAKAN	2.4	43.7	**	**	**
GOLPAIGAN	1.9	38.6	604	47.00	9.20
GONABAD	1.7	16.6	156	100.00	4.48
GONBADE GHABOOS	0.8	5.20	10179	25.00	7.00

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

Station	Wind Mean Speed (m/s)	Wind Mean Energy Potential (W/m^2)	Number of Shallow boreholes	Maximum Depth (m)	Mean Flow Rate (m^3/h)
GORGAN	0.7	2.50	10179	25.00	7.00
HAJIABAD HORMOZGAN	**	***	64	49.00	10.25
HAMEDAN FOROUDGAH	1.8	23.7	1080	54.00	8.00
HAMEDAN NOZHEH	3.0	46.9	1080	54.00	8.00
HASANABADE DARAB	2.0	34.2	2574	80.00	14.00
ILAM	2.1	28.0	38	45.00	13.00
IRANSHAHR	3.3	47.5	422	48.00	15.70
IZEH	1.6	13.1	21	18.00	7.00
JASK	3.7	48.8	87	32.50	6.80
JAZIREH ABOMOOSA	3.2	47.6	**	**	**
JAZIREH GHESHM	2.9	42.3	255	90.00	3.53
JAZIREH KISH	3.6	69.2	12	25.00	3.80
JAZIREH SIRI	3.5	64.6	**	**	**
JEOPHISICS TEHRAN	2.5	21.1	12111	60.00	3.65
JOLFA	2.2	46.4	100	50.00	4.58
KABOOTARABAD	1.0	11.3	**	**	**
KAHNOUJ	2.7	65.7	**	**	**
KANGAN JAM	2.8	53.8	624	54.00	4.00
KANGAVAR	1.3	21.8	1493	42.00	7.50
KARAJ	2.3	26.6	12111	60.00	3.65
KASHAN	0.4	2.80	337	48.00	9.50
KASHMAR	1.2	8.30	14	60.00	17.00
KENARAK CHAHBAHAR	2.5	39.0	25	40.00	5.00
KERMAN	2.7	44.0	61	70.00	4.50
KERMANSHAH	2.1	17.8	1639	35.00	9.00
KHALKHAL	1.4	15.5	658	29.00	4.50
KHASH	3.5	59.9	198	49.00	22.00

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

Station	Wind Mean Speed (m/s)	Wind Mean Energy Potential (W/m^2)	Number of Shallow boreholes	Maximum Depth (m)	Mean Flow Rate (m^3/h)
KHODABANDEH	3.8	96.6	**	**	**
KHOOR BIABANAK	1.2	10.8	**	**	**
KHOOR BIRJAND	4.5	133.4	44	52.00	2.50
KHORRAMABAD	2.7	25.6	212	20.00	13.00
KHORRAMDAREH	3.7	65.2	**	**	**
KHOY	0.8	16.7	534	35.00	4.50
KOOHRANG	1.6	25.4	**	**	**
KOUDASHT	1.7	15.9	124	33.00	**
LAR	1.8	35.8	258	50.00	10.00
LORDEGAN	1.2	11.8	46	45.00	13.00
MAHABAD	1.6	27.2	797	35.00	7.62
MAKOO	1.6	38.9	**	**	**
MALAYER	2.8	43.6	483	48.00	8.00
MANJIL	6.3	476.1	27	35.00	13.00
MARAGHEH	1.8	31.4	5612	38.00	4.94
MARIVAN	1.8	18.0	148	16.70	6.10
MARVAST	4.0	62.7	195	69.00	23.00
MASHHAD	3.0	27.8	2180	110.00	3.50
MASJED SOLEYMAN	1.6	21.1	17	15.00	9.83
MESHKINSHAHR	1.2	44.2	569	28.00	4.71
MIANDEH JIROFT	1.0	11.1	4280	40.00	16.80
MIANEH	1.7	26.5	2935	32.00	5.03
MINAB	0.7	5.50	967	50.00	8.78
MORAVEH TAPPEH	2.0	27.8	123	24.00	2.00
NAEIN	3.2	55.5	20	37.00	50.00
NAHAVAND	1.0	10.7	152	40.00	14.00
NATANZ	1.5	30.3	**	**	**
NEHBANDAN	2.8	65.8	32	50.00	17.55
NEYSHABOOR	1.3	16.7	131	110.00	3.24
NOUSHAHR	2.4	24.0	4230	24.00	2.80
OMIDIYEH	2.6	45.2	**	**	**

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

Station	Wind Mean Speed (m/s)	Wind Mean Energy Potential (W/m^2)	Number of Shallow boreholes	Maximum Depth (m)	Mean Flow Rate (m^3/h)
OMIDIYEH(PGN)	2.6	45.2	**	**	**
OMIDIYEH (AGHAJARI)	2.2	58.9	**	**	**
OROOMIEH	2.0	15.2	16684	40.80	5.10
PARSABAD MOGHAN	1.5	11.8	100	25.00	3.68
PAYAM	**	***	**	**	**
PIRANSHAHR	1.6	27.2	131	36.00	4.32
RAFSANJAN	3.9	79.9	73	50.00	10.48
RAMHORMOZ	2.1	20.3	80	12.00	12.84
RAMSAR	2.6	20.8	3227	24.00	1.70
RASHT	1.0	10.1	**	**	**
RAVANSAR	3.0	81.5	608	43.00	10.00
ROBAT POSHTBADAM	2.8	25.8	**	**	**
SABZEVAR	2.5	28.9	611	80.00	2.30
SAD DOROUDZAN	1.8	13.9	**	**	**
SAFIABAD DEZFUL	0.7	5.90	96	15.00	20.69
SAGHEZ	2.3	44.9	1283	32.00	5.48
SAHAND	4.9	139.4	**	**	**
SANANDAJ	2.2	29.2	1287	38.00	4.00
SAR POL ZOHAB	0.9	18.5	146	30.00	10.00
SARAB	1.9	27.9	584	48.00	12.34
SARAKHS	2.4	27.5	54	35.00	5.00
SARAVAN	3.5	60.1	283	45.00	8.00
SARDASHT	2.2	28.1	106	30.00	5.50
SAVEH	1.8	34.8	114	**	0.40
SEMNAN	0.9	7.50	35	40.00	3.40
SHAHR BABAK	2.4	39.8	239	48.00	14.50
SHAHRE KORD	1.0	8.20	302	48.00	10.60
SHAHREZA	2.9	30.8	**	**	**
SHAHROUD	0.9	7.30	88	20.00	2.20

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

Station	Wind Mean Speed (m/s)	Wind Mean Energy Potential (W/m^2)	Number of Shallow boreholes	Maximum Depth (m)	Mean Flow Rate (m^3/h)
SHARGH ESFAHAN	2.6	30.8	332	48.00	28.30
SHIRAZ	2.2	20.7	1561	122.00	8.50
SHOMALE TEHRAN	1.0	7.90	12111	60.00	3.65
SHOSHTAR	3.1	65.2	286	15.50	24.36
SIRJAN	2.8	69.4	181	48.00	14.20
TABASS	1.2	11.7	7	45.00	11.00
TABRIZ	3.3	42.1	2571	60.00	3.11
TAKAB	1.8	52.9	80	12.00	6.00
TEHRAN MEHRABAD	2.3	23.5	12111	60.00	3.65
TORBATE HEYDARIEH	2.0	28.0	378	55.00	13.00
TORBATE JAM	3.7	90.0	45	65.00	4.50
YASOUJ	0.9	12.4	134	30.00	8.00
YAZD	3.1	30.3	979	69.00	4.00
ZABOL	6.7	352.3	**	**	**
ZAHAK	5.1	209.9	**	**	**
ZAHEDAN	3.6	80.5	186	49.00	5.00
ZANJAN	3.2	30.3	2770	37.00	6.09
ZARGHAN	1.1	7.70	1204	36.00	10.00
ZARINEH OBATO	4.1	110.2	**	**	**
SHARGH TABRIZ	**	***	2571	60.00	3.11

جمع بندي

با توجه به جدول بادآب ملاحظه مي‌گردد كه نقاط مستعد بسياري در كشور جهت بهره‌برداري از پمپ توربين‌هاي بادي در كاربردهايي همچون پرورش ماهي، تامين آب شرب دام، تامين آب كشاورزي، تامين آب پارك‌ها و استفاده در مراتع كشور داراي سرعت متوسط و متوسط پتانسيل انرژي باد لازم مي‌باشند. اطلاعات لازم در تدوين مقاله حاضر با مراجعه به تمامي سازمان‌هاي مرتبط با موضوع پروژه از جمله سازمان هواشناسي كشور، مركز تحقيقات علوم جوي و هواشناسي، مركز تحقيقات علوم جوي و اقيانوسي، دانشگاه‌ها و مراكز پژوهشي، پژوهشگاه نيرو وابسته به وزارت نيرو، پژوهشگاه مواد و انرژي، پژوهشكده انرژي دانشگاه صنعتي شريف،

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]

سازمان نقشه‌برداري كشور، سازمان تحقيقات منابع آب، وزارت كشاورزي، سازمان جنگلها و مراتع كشور، سازمان انرژي‌هاي نو ايران، مركز توسعه انرژي‌هاي نو سازمان انرژي اتمي ايران، تهيه، پردازش و ارائه گرديده است.

منابع

1- Fraenkel, P. ,Barlow, R. , Crick, F. , Derrick, A. , Bakalders V. , Windpumps: A guide for development workers, IT publication, IT power and Stockholm Environment Institute, 1993.

2- W. D. Musial, S. M. Hock, Wind Energy 1995: Solar Energy Division, Presented at the Energy and Environmental Expo. 95, Houston, Texas, (Jan. 29 - Feb. 1), ASME press, 1995.

3- D. A. Spera, Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering, ASME pres, new york, 1995.

4- R. Hunter, G. Elliot. Wind-Diesel Systems: A guide to the technology and its implementation, Cambridge University Press, UK, 1994.

5- Jamil,M. , Parsa, S./ " Wind Energy Density of MERC Solar Site, " Renewable Energy Conference and Workshop " Cairo- Egypt, April 14-18 1996.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-10-06]