

فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۶، شماره پیاپی ۲۴، زمستان ۱۳۹۵

شاپای چاپی: ۶۷۳۵-۲۲۵۱ - شاپای الکترونیکی: ۷۰۵۱-۲۴۲۳

<http://jzpm.miau.ac.ir>

امکان سنجی پتانسیل انرژی بادی در شمال غرب ایران با استفاده از الگوریتم فازی

بتول زینالی^۱: استادیار گروه جغرافیا و اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

علی عظیمی: کارشناس ارشد جغرافیا و اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

دریافت: ۱۳۹۴/۸/۳۰ صص ۷۳-۸۸ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۲

چکیده

یکی از مهم‌ترین و قابل دسترس‌ترین انرژی‌های نو، انرژی بادی می‌باشد که بیشتر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه از این انرژی برای تأمین منابع نیروی خود بهره می‌گیرند. هدف از این تحقیق، امکان سنجی پتانسیل انرژی بادی در شمال غرب ایران با استفاده از الگوریتم فازی می‌باشد. روش تحقیق از نوع کاربردی - تحلیلی می‌باشد. بدین منظور اطلاعات داده‌های باد (سرعت و جهت باد) برای ایستگاه‌های شمال غرب ایران در دوره آماری ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۸ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. سپس فراوانی سرعت باد ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس معیار ۴ متر در ثانیه و بیشتر بدست آمد. این داده‌ها بر اساس روش خوشه‌بندی فازی (FCM)، در محیط نرم-افزار *Matlab* طبقه‌بندی گردیدند. الگوریتم *FCM* کاربرد وسیعی در تحلیل فراوانی ناحیه‌ای دارد. همچنین با استفاده از نرم‌افزار *WINROSE* باد غالب و جهت باد ایستگاه‌های مورد مطالعه تهیه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که ایستگاه اردبیل (خوشه اول)، در بین تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای بیشترین فراوانی وقوع باد با سرعت $4 \leq$ متر در ثانیه است که مقدار آن، ۵۱۸۳ بار تکرار در طول دوره آماری مورد مطالعه می‌باشد. ایستگاه‌های ارومیه و پارس‌آباد (خوشه پنجم)، دارای حداقل فراوانی وقوع باد با سرعت $4 \leq$ با مقدار میانگین ۵۷۷ بار تکرار در طول دوره آماری مورد مطالعه می‌باشند. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که خوشه اول، دوم و سوم برای استفاده از انرژی باد به صورت توربین بادی مقرون به صرفه می‌باشد و خوشه چهارم و پنجم برای استفاده از این انرژی نامناسب هستند.

واژه‌های کلیدی: شمال غرب، انرژی باد، خوشه‌بندی فازی، سرعت و جهت باد.

^۱. نویسنده مسئول: zeynali.b@uma.ac.ir ۰۹۱۴۱۵۴۹۱۴۷

بیان مسأله:

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 مهم‌ترین روش‌های کاهش و مهار بحران تقاضای انرژی مد نظر است (Rahim Zadeh, 2010: 156). امروزه، انرژی باد جزو انرژی‌های مناسب و قابل تجدید می‌باشد، که به عنوان یک تکنولوژی، منبع انرژی قابل تجدید شناخته شده است. تکنولوژی توربین‌های بادی در بسیاری از کشورها از جمله دانمارک، آلمان و چین به طور موفقیت آمیزی رشد داشته است (Promsen et al, 2014: 633). امروزه این انرژی به عنوان یک انرژی مهم، قابل تجدید و اثرگذار می‌باشد. به طور طبیعی، انرژی بادی حاصل از توربین‌های بادی به شدت به سرعت باد (وابسته به توپوگرافی) و شرایط جوی وابسته است. افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش تقاضای انرژی فسیلی بسیاری از کشورها را به سمت منابع انرژی دوست‌دار محیط طبیعی پیش می‌برد. نه تنها کشورهای پیشرفته بلکه کشورهای در حال توسعه نیز علاقه‌مند به دست یافتن به این انرژی می‌باشند (Promsen et al, 2014: 633). در حال حاضر، استفاده از انرژی باد با رشد متوسط سالیانه بیش از ۲۶٪ از سال ۱۹۹۰ به بعد، بالاترین میزان رشد را در بین منابع مختلف انرژی داشته است. در اواخر سال ۲۰۰۸ میزان ظرفیت نامی تولید برق بادی در سراسر جهان ۱۲۱/۹ گیگاوات بود. اگرچه این میزان چیزی در حدود یک و نیم درصد از کل انرژی الکتریکی تولیدی در جهان محسوب می‌شود، اما در طول بازه زمانی سه ساله بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ دو برابر شده است. هم اکنون در ایران، ظرفیت تولید ۱۰ هزار مگاوات برق از نیروگاه‌های بادی پیش بینی شده است، که در حال حاضر نیروگاه بادی منجیل با ظرفیت ۷۰ مگاوات و نیروگاه بادی بینالود با ظرفیت ۲۸ مگاوات برق تولید می‌کند (Saidi et al, 2012: 50). تجدید پذیری، عدم آلودگی، گسترش این منابع در تمام جهان و سادگی بهره برداری، انرژی‌های تجدید پذیر را بویژه برای کشورهای در حال توسعه از جاذبه فراوانی برخوردار کرده است. از این‌رو در برنامه‌ها و سیاست‌های ملی و بین‌المللی کشورها، نقش ویژه‌ای به منابع تجدید پذیر انرژی محول شده است. در این راستا کشور ما نیز تلاش‌های جدی و مؤثری را در جهت توسعه بهره‌برداری از پتانسیل انرژی باد آغاز نماید (Salahi, 2005: 88).

با توجه به کاهش میزان بارندگی در سال‌های اخیر و اعلام خشکسالی از طرف وزارت نیرو و این‌که زیرساخت‌های اغلب نیروگاه‌های کشور بویژه در شمال غرب برق - آبی می‌باشد. کاهش میزان آب قابل دسترس به عنوان یک مسئله مهم در کشور مطرح می‌باشد. همچنین در دهه‌های اخیر افزایش روز افزون 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. این پژوهش در پی پاسخ به این سؤال می‌باشد که کدام یک از ایستگاه‌های شمال غرب ایران از پتانسیل بیشتری برای تولید انرژی باد برخوردار می‌باشند؟ از این‌رو تحقیق حاضر در تلاش است با مشخص کردن مناطق دارای پتانسیل بالای انرژی بادی، از این توان برای تهیه نیروی الکتریسیته و سایر نیازهای موجود بهره‌گیری شود. لازم به ذکر است که معیار و روش بکار رفته در این پژوهش متفاوت از سایر پژوهشگران داخلی مطالعه کننده در این زمینه می‌باشد، بنابراین ضروری گردید که این مطالعه صورت گیرد و نتایج کار با نتایج کار سایر محققان مقایسه گردد.

پیشینه تحقیق:

شیرانی و همکاران (2004)، به بررسی انرژی باد در شش ایستگاه استان کردستان با استفاده از روش آماری و بیبول پرداخته و به این نتیجه رسیدند که مناطق بیجار، قروه برای نصب توربین بادی مناسب می‌باشند. زاهدی و همکاران (2006)، با بررسی توان باد در اردبیل با استفاده از روش‌های آماری و به کارگیری آمار ده ساله باد به این نتیجه رسیده‌اند که قدرت نظری و عملی توربین بادی در این ایستگاه با قطر پره چهار متر به ترتیب ۱۷۵۷/۹ و ۴۶۵/۶ وات در متر مربع است. همچنین اشاره کردند که این ایستگاه می‌تواند به عنوان یکی از نقاط مناسب به منظور بهره برداری از انرژی باد محسوب می‌شود.

گندمکار (2010)، با بررسی آمار ده ساله وزش باد در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران نشان داد که بسیاری از نواحی ایران از جمله نواحی ساحلی دریای عمان و خلیج فارس، نواحی ساحلی خوزستان و نواحی شرق کشور به همراه چند نقطه پراکنده مانند، منجیل، رفسنجان، اردبیل، بیجار، باد خیز هستند و در آنها توان تولید برق بادی بویژه در تابستان وجود دارد. شعرافیان (2009)، در مطالعه خود پتانسیل برق بادی کشور را در حدود ۳,۶ مگاوات برآورد نموده است. در این مطالعه ارزش حال خالص و نرخ بازده داخلی در سه استان گیلان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی محاسبه شده است و نشان می‌دهد که تولید برق بادی در این سه استان از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که نصب ظرفیت انرژی بادی ۳,۶ تا ۶ گیگاوات موجب صرفه جویی ۴۷ تا ۸۴ میلیون بشکه نفت خام در بخش نیروگاهی خواهد بود. نعمت الهی و همکاران (2012)، در پژوهشی پتانسیل انرژی باد در استان بوشهر در ۱۲ ماه متوالی بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که این استان از لحاظ نصب نیروگاه بادی در شرایط مناسبی قرار ندارد. فقط در منطقه بردخون قابلیت نصب توربین بادی جهت پمپاژ آب برای مصارف کشاورزی و دامپروری وجود دارد. محمدی و همکاران (2013)، در پتانسیل سنجی انرژی باد در استان کرمانشاه بر پایه سمت و سرعت سه ساعته باد ایستگاه‌های همدید کرمانشاه، سرپل ذهاب، اسلام آباد غرب، روانسر، کنگاور با بکارگیری نرم افزار گلباد و توزیع احتمال ویبول، به این نتیجه دست یافتند که سه ایستگاه روانسر، سرپل ذهاب و کنگاور پتانسیل مناسبی برای استفاده از انرژی باد دارند.

بدرانا و همکاران (2010)، در تحقیقی تحت عنوان به کارگیری منطق فازی برای ارزیابی تولید توان توربین‌های بادی به بررسی انرژی بادی پرداخته‌اند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که سایت الحریر به عنوان بهترین مکان برای تولید نیروی برق می‌باشد. احمد و محمد (2012)، تحقیقی از ناحیه پنجوان در سلیمانیه عراق انجام داده‌اند. در این مطالعه که بر اساس تجزیه و تحلیل آماری برای دوره ۲۰۰۱-۲۰۰۳ با استفاده از میانگین ماهانه، میانگین سالانه سرعت باد و تراکم باد با به کارگیری توزیع احتمال ویبول می‌باشد، این منطقه دارای پتانسیل مناسب برای استفاده از انرژی باد است. ایروانتو و همکاران (2014) در ارزیابی توان و سرعت باد در دو ناحیه چاپینگ و کانگار با استفاده از توزیع احتمال ویبول به این نتیجه رسیده‌اند که این دو ناحیه در مالزی از توان بادی خوبی برخوردارند و نصب توربین‌های برج بلند قادر خواهد بود نیرو و توان بادی زیادی را ایجاد کند.

مواد و روش تحقیق:

منطقه مورد مطالعه، شمال غرب ایران می‌باشد که برای انجام تحقیق حاضر از آمار سه ساعته سمت و سرعت باد در ۱۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ استفاده شد. بسیاری از محققین در تحقیقات خود سرعت لازم برای شروع حرکت یک توربین بادی را ۴ متر بر ثانیه دانسته‌اند (Amani and Shamchi, 2011: 4; Nematollahi et al, 2012: 5; Ezzatian and Behyar, 2004: 10; Gandomkar, 2010: 91). بخاطر اینکه ورودی مدل مورد استفاده در این تحقیق حداقل باید دو پارامتر باشد بنابراین در این تحقیق از فراوانی سرعت های $10 \geq 8$ گره (۴-۵ متر بر ثانیه) و $11 \leq 5,5$ گره (۵,۵ متر بر ثانیه) به عنوان داده‌های به ترتیب با سرعت بالا و بسیار بالا استفاده شد. که در جدول شماره ۱ فراوانی سرعت های مورد مطالعه برای ایستگاه های مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰ آورده شده است:

جدول ۱- فراوانی باد های با سرعت بالا و بسیار بالا بر حسب روز در ایستگاه های مورد مطالعه در دوره آماری (۲۰۰۰-۲۰۰۸)

نام ایستگاه	فراوانی باد با سرعت بسیار بالا	فراوانی باد با سرعت بالا
اردبیل	۱۳۷۹	۳۸۰۴
مشکین شهر	۱۳۰۶	۱۵۱۳
خلخال	۸۶	۱۱۷۷
پارس آباد	۹۲	۵۷۸
ارومیه	۶۶	۴۱۹
مهاباد	۲۷۵	۱۱۶۹
پیرانشهر	۲۱۷	۸۸۲
ماکو	۳۶۷	۱۰۴۳
سردشت	۴۲۰	۱۶۵۹
تکاب	۲۴۷	۱۶۶۴
اهر	۳۴۶	۱۵۰۶
جلفا	۵۵۳	۱۷۹۲
مراغه	۲۵۴	۱۷۷۱
میانه	۱۳۴	۷۹۷
سراب	۳۵۲	۱۵۴۴
تبریز	۲۸۴	۱۵۲۵

(منبع: نویسندگان، استخراج شده از آمار روزانه سازمان هواشناسی، ۱۳۹۴)

خوشه بندی فازی (FCM):

هدف از خوشه بندی، تقسیم داده ها به مجموعه ای از دسته ها است که در آن هر دسته شباهت و نزدیکی بیشتری در مقایسه با داده های سایر دسته ها به هم دارند (Afrakhteh and Amlashi, 2011: 210). در این تحقیق، روش خوشه بندی فازی بوسیله برنامه نویسی در محیط نرم افزار مطلب اجرا شد.

الگوریتم FCM توسط دان (Dunn, 1974: 32-57) و بز دک (Bezdek, 1981: 1265) مطرح گردیده و برای تحلیل فراوانی ناحیه ای به طور وسیع استفاده شده است (Dodangeh et al, 2012: 95; Rao and Srinivas, 2006: 57-79). به منظور بیان روش خوشه بندی فازی (FCM)، مجموعه ای از داده های $\{X_1, \dots, X_n\}$ مد نظر قرار می گیرد. هدف خوشه بندی فازی، دسته بندی داده ها به تعداد C خوشه است به صورت ماتریس $U = [\mu_{ik}]_{C \times n}$ که در آن μ_{ik} درجه عضویت و تعلق داده K به خوشه C ام است که به صورت زیر مدل می گردد:

$$0 \leq \mu_{ik} \leq 1 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^c \mu_{ik} = 1 \quad (2)$$

$$0 < \sum_{k=1}^n \mu_{ik} \leq n \quad (3)$$

$$K = 1, 2, \dots, n \quad i = 1, 2, \dots, c$$

در روابط فوق i تعداد خوشه ها و K تعداد داده ها می باشد. از طرف دیگر می توان نشان داد که با کمینه کردن تابع هدف زیر، داده های موجود در هر خوشه نسبت به داده های موجود در خوشه های دیگر از شباهت بیشتر برخوردار خواهند بود.

¹- Fuzzy c-means clustering (FCM)

$$J(P) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c [\mu_{ik}]^m \|X_k - V_i\|^2 \quad (4)$$

در رابطه فوق m عددی بزرگتر از یک است که میزان درجه عضویت را کنترل می‌کند، X_k بردار داده‌ها، V_i مرکز خوشه i ام و $\|X_k - V_i\|^2$ نیز فاصله اقلیدسی بین داده‌ها و مراکز خوشه هاست. در مباحث خوشه‌بندی داده‌ها، شاخص‌های مختلفی بیان می‌گردد که غالباً مبنی مراکز خوشه‌ها هستند. برای کمینه کردن (۴)، باید همواره (۵) و (۶) در تکرارهای مختلف به هنگام شوند.

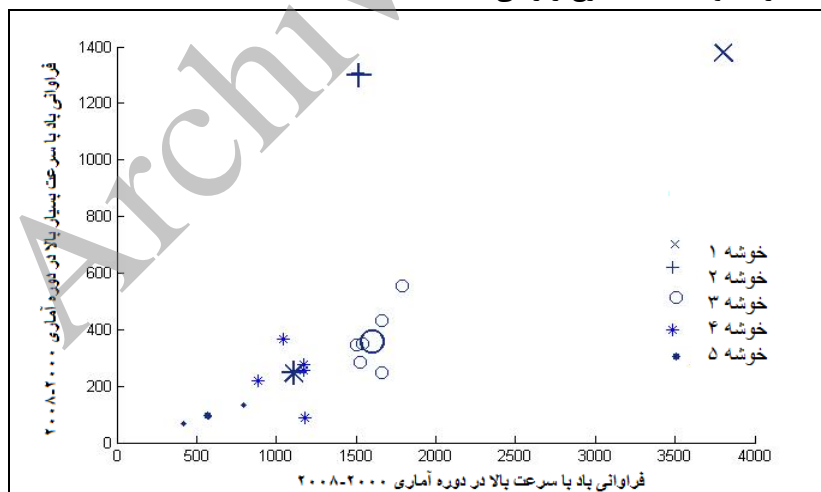
$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^n [\mu_{ik}] X_k}{\sum_{k=1}^n [\mu_{ik}]^m}, \quad i = 1, 2, \dots, c \quad (5)$$

$$\mu_{ik}^{(t+1)} = \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{\|X_k - V_i^{(t)}\|^2}{\|X_k - V_j^{(t)}\|^2} \right)^{\frac{1}{m-1}} \right]^{-1} \quad (6)$$

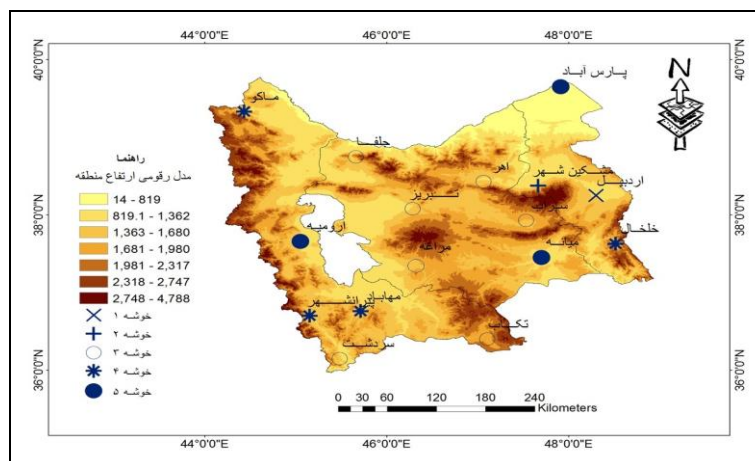
در روابط فوق $\mu_{ik}^{(t+1)}$ درجه عضویت داده k ام از دسته C ام در تکرار $(t+1)$ ام است. اجرای الگوریتم پیشنهادی دارای مراحل زیر بود: قدم اول: مقدار t را برابر صفر در نظر گرفته و یک کد اولیه $P^{(0)}$ ایجاد گردید. قدم دوم: در هر تکرار، مراکز خوشه‌ها را با استفاده از رابطه (۵) محاسبه کرده و یک مقدار برای m انتخاب گردید. قدم سوم: $\mu_{ik}^{(t+1)}$ را با استفاده از رابطه (۶) محاسبه کرده و کد اولیه را در تکرار $(t+1)$ ام به هنگام گردید.

یافته‌های تحقیق:

نتیجه تحلیل‌های صورت گرفته به وسیله FCM نشان داد که منطقه مورد مطالعه بر اساس دو عامل فراوانی سرعت باد با سرعت‌های $10 \geq 8$ گره (۵-۴ متر بر ثانیه) و $11 \leq 5,5$ متر بر ثانیه) در دوره آماری مورد مطالعه به ۵ خوشه طبقه بندی می‌شود (اشکال شماره ۱ و ۲) که به شرح زیر می‌باشد.

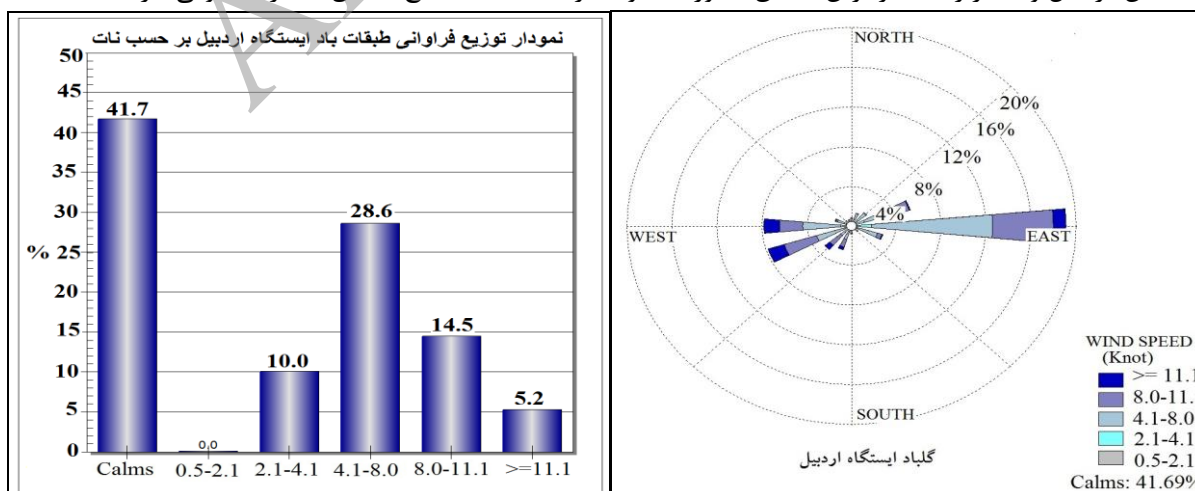


شکل ۱- خوشه بندی فراوانی بادهای شمال غرب ایران در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



شکل ۲- خوشه بندی فراوانی بادهای شمال غرب ایران در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

خوشه اول شامل فقط ایستگاه اردبیل می‌باشد که فراوانی بادهای با سرعت بالا و بسیار بالا در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) در این خوشه به ترتیب ۳۸۰۴ و ۱۳۷۹ بار می‌باشد که طبق نمودار گلباد سالانه ۱۹/۷ درصد از بادهای این ایستگاه با سرعت هشت نات و بالاتر می‌باشد. (شکل شماره ۳). همچنین گلباد ایستگاه سینوپتیک اردبیل نشان می‌دهد که باد غالب این ایستگاه، شرقی است. مکانیسم ایجاد باد شرقی در ایستگاه اردبیل، در نیمه گرم و نیمه سرد سال به ترتیب مربوط به فرابار دریای خزر و فرابار حرارتی سیبری است. بالا بودن فراوانی بادهای با سرعت بالا و بسیار بالا در این ایستگاه، بدلیل شرایط خاص جغرافیایی منطقه از جمله وزش توده هوای سرد سیبری از سمت شرق و شمال شرق و اثر ناهموازی سبلان که در غرب اردبیل قرار گرفته است می‌باشد. توزیع ماهانه فراوانی بادهای با سرعت ۸ نات و بالاتر ایستگاه اردبیل در دوره مورد مطالعه نشان داد. (جدول شماره ۲) که در تمامی ماه‌های سال بخصوص در ماه‌های دی، بهمن و اسفند فراوانی بادهای با سرعت ۸ نات و بیشتر در این ایستگاه بالا است. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق، ایستگاه اردبیل بدلیل فراوانی بالای وزش باد با سرعت بالای ۴ متر بر ثانیه و بیشتر در طول دوره مورد مطالعه و شرقی بودن جهت باد غالب برای نصب توربین بادی بویژه در سمت رو به شرق از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد. صلاحی (۲۰۰۵)، در تحقیق خود در مورد پتانسیل انرژی بادی استان اردبیل بر اساس تابع ویبول و رایله به این نتیجه رسیده است که این ایستگاه با ۳۴۲,۰۲۶ وات در متر مربع از توان مناسب برای استفاده از انرژی بادی بهره‌مند است. گندمکار (۲۰۱۰) بر اساس میانگین سالانه سرعت باد، نواحی ساحلی دریای عمان و جزایر خلیج فارس، نواحی ساحلی استان خوزستان و نواحی شرقی کشور به همراه چند نقطه پراکنده مثل منجیل، رفسنجان، اردبیل و بیجار را بادخیزترین مناطق کشور محسوب کرده اند، که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.



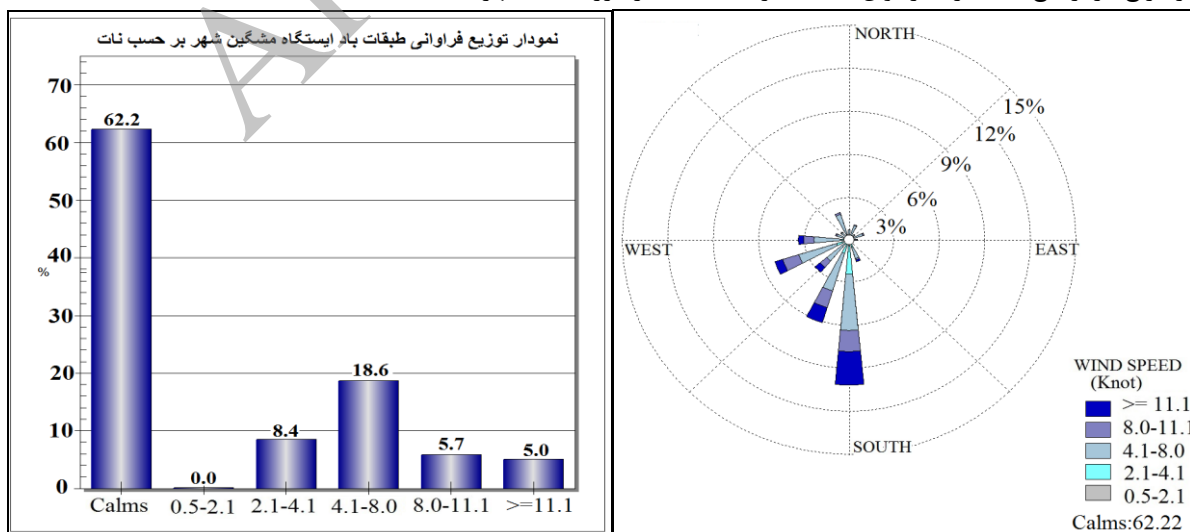
شکل ۳- گلباد و نمودار ایستگاه اردبیل در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

جدول ۲- توزیع ماهانه فراوانی بادهای با سرعت بیشتر از ۸ گره بر حسب روز

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اردبیل	۵۹۱	۵۷۵	۵۶۱	۴۵۸	۲۸۳	۳۰۱	۴۱۹	۴۴۱	۳۵۵	۳۲۸	۳۹۸	۴۸۶
مشکین	۳۲۷	۵۳۹	۴۵۸	۴۱۰	۲۰۴	۵۷	۳۳	۵۱	۵۵	۲۲۰	۲۷۸	۲۸۴
پارس	۶۰	۴۵	۹۶	۶۰	۵۶	۶۶	۴۹	۷۴	۴۰	۲۴	۲۷	۴۱
خلخال	۶۴	۱۰۱	۱۰۹	۹۷	۸۱	۱۳۲	۲۱۶	۱۵۵	۹۰	۵۶	۶۹	۹۷
مهاباد	۱۲۷	۱۷۳	۲۴۸	۲۲۹	۱۴۵	۶۹	۲۵	۴۶	۷۷	۹۹	۹۳	۱۱۱
ماکو	۵۷	۱۲۴	۲۴۵	۱۲۵	۱۴۰	۱۳۲	۶۰	۹۵	۸۶	۸۳	۱۰۱	۶۲
ارومیه	۲۲	۵۱	۱۰۱	۱۰۰	۵۹	۲۷	۸	۶	۲۵	۳۲	۳۶	۱۶
پیرانشهر	۹۹	۹۴	۱۷۱	۱۵۳	۱۰۲	۶۲	۳۹	۵۲	۷۸	۷۷	۹۷	۸۵
سردشت	۱۴۱	۱۵۲	۱۹۶	۱۸۶	۱۵۳	۲۴۲	۲۸۲	۲۱۹	۱۲۵	۱۲۰	۱۱۱	۱۶۳
تکاب	۹۴	۱۲۰	۱۷۳	۲۴۲	۲۲۴	۱۱۷	۱۸۵	۱۹۸	۱۵۱	۱۷۶	۱۰۶	۱۰۸
اهر	۱۸۶	۱۷۹	۱۸۶	۱۶۷	۱۳۷	۱۴۲	۲۱۹	۱۸۳	۶۳	۱۰۴	۱۱۸	۱۷۸
جلفا	۲۷	۵۱	۹۲	۱۰۲	۱۳۹	۴۰۹	۷۳۴	۴۶۸	۲۰۷	۵۴	۲۹	۱۱
مراغه	۵۹	۹۴	۱۵۷	۱۱۴	۱۴۸	۲۲۰	۴۴۵	۳۷۵	۲۰۸	۱۱۱	۵۳	۴۱
میانه	۸	۳۷	۷۱	۵۸	۵۹	۸۸	۱۰۴	۱۰۰	۲۸	۲۸	۹	۷
سراب	۱۲۹	۱۷۷	۲۴۹	۲۰۲	۱۴۶	۱۴۶	۲۱۵	۲۰۱	۱۲۲	۱۱۰	۹۸	۹۸
تبریز	۶۵	۱۱۶	۱۹۵	۱۹۹	۱۹۴	۱۷۷	۲۸۷	۲۲۶	۱۳۱	۹۶	۶۵	۴۳

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴.

خوشه دوم شامل ایستگاه مشکین شهر می‌باشد که در طی دوره مورد مطالعه فراوانی بادهای با سرعت بالا و بسیار بالا به ترتیب ۱۵۱۳ و ۱۳۰۶ بار می‌باشد. نمودار گلباد این ایستگاه نشان می‌دهد که جهت باد غالب جنوبی می‌باشد. (شکل شماره ۴). جهت باد جنوبی در این ایستگاه اثر رشته کوه سبلان را به خوبی نشان می‌دهد و در درجه دوم جهت باد غربی و جنوب غربی در این ایستگاه می‌باشد که تأثیر بادهای غربی آن هم در ماه‌های فصل زمستان را به خوبی مشخص می‌کند. نمودار گلباد سالانه (شکل ۴) این ایستگاه نشان می‌دهد که ۱۰/۷ درصد بادهای ایستگاه دارای سرعت بیش از ۴ متر در ثانیه است که از توزیع مناسب فصلی برخوردار نیست بطوریکه بیشترین وزش در ماه‌های فصل زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد. (جدول شماره ۲). با توجه به فراوانی بالای بادهای با سرعت هشت تا و بیشتر در این ایستگاه می‌توان گفت که این ایستگاه از توانایی تولید انرژی بخصوص در فصل پاییز، زمستان و اوایل فصل بهار برخوردار است. علمداری و همکاران (2012)، در تحقیق خود در مورد پتانسیل انرژی بادی استان اردبیل بر اساس تابع ویبول و رایله به این نتیجه رسیده است که این ایستگاه با ۳۳۳،۱۸ وات در متر مربع در ارتفاع ۴۰ متری از توان مناسب برای استفاده از انرژی بادی بهره‌مند است.

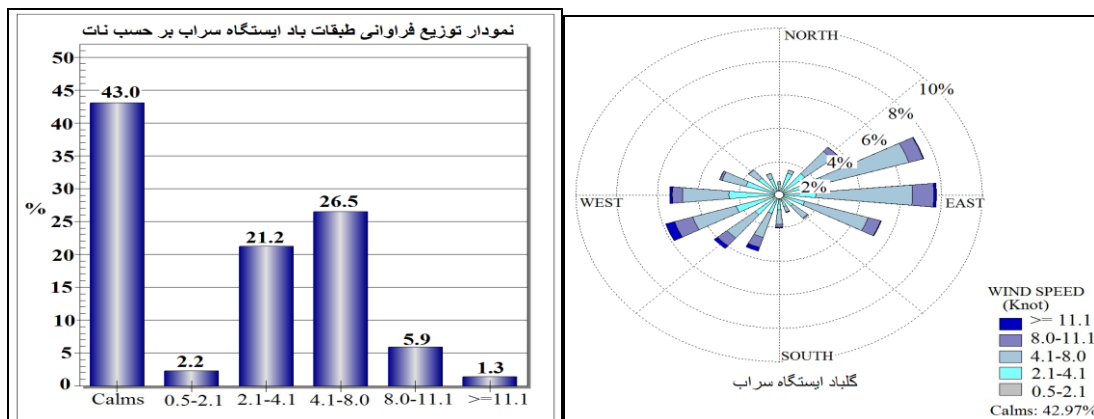


شکل ۴- گلباد و نمودار ایستگاه مشکین شهر در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

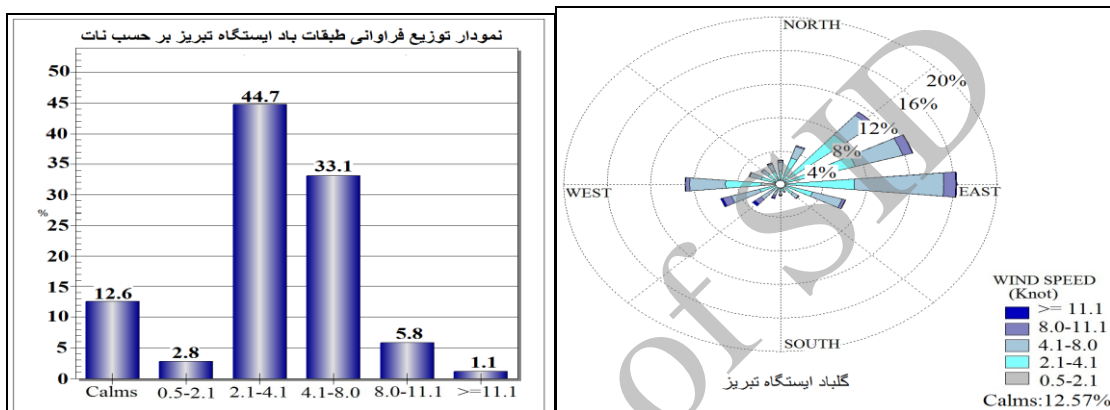
خوشه سه:

این خوشه شامل ایستگاه های سراب، تبریز، جلفا، اهر، تکاب، سردشت و مراغه می باشد که فراوانی بادهای با سرعت ۴ تا ۵ متر در ثانیه بین ۱۵۰۶ تا ۱۷۹۲ و فراوانی بادهای با سرعت بیشتر از ۵ متر در ثانیه در محدوده بین ۲۴۷ تا ۵۵۳ بار تکرار در طول دوره آماری می باشد. با توجه به شکل (۲) متوجه می شویم که ایستگاه های واقع در این خوشه دارای یک سری شرایط مشابه توپوگرافی و اقلیمی می باشند. از جمله این که همه ایستگاه های این خوشه در یک منطقه میان کوهی قرار دارد. یعنی به نحوی که یک سری رشته کوه این ایستگاه ها را از جهات مختلف احاطه کرده اند. گلباد سالانه ایستگاه سراب (شکل شماره ۵) جهت باد غالب را از سمت شرق و شمال شرق نشان می دهد. نمودار گلباد سالانه این ایستگاه (شکل ۵) نشان می دهد که ۷/۲ درصد بادهای ایستگاه دارای سرعت بیش از ۸ نات در ثانیه است. توزیع ماهانه فراوانی باد های با سرعت بالا و بسیار بالا در این ایستگاه نیز حاکی از بیشتر بودن فراوانی این بادهای در فصول زمستان، بهار و تابستان می باشد. (جدول ۲). گلباد سالانه ایستگاه تبریز نشان می دهد که جهت باد غالب از سمت شرق می باشد. نمودار گلباد سالانه این ایستگاه نشان می دهد که ۶/۹ درصد باد این ایستگاه دارای سرعتی بالاتر از ۸ نات در ثانیه است (شکل شماره ۶). توزیع ماهانه فراوانی بادهای این ایستگاه حاکی از بالا بودن فراوانی آن در فصول بهار و تابستان می باشد. جهت باد غالب ایستگاه اهر شرقی و ۷/۹ درصد از باد های این ایستگاه دارای سرعتی بیش از ۸ نات در ثانیه می باشد. (شکل شماره ۷). توزیع ماهانه فراوانی بادهای با سرعت بالا و بسیار بالا در این ایستگاه دارای توزیع یکسان بین تمام ماه های سال می باشد (جدول ۲). جهت باد غالب ایستگاه جلفا شمال شرقی می باشد. ۹/۷ درصد از بادهای این ایستگاه سرعتی بیش از ۸ نات در ثانیه دارد (شکل شماره ۸).

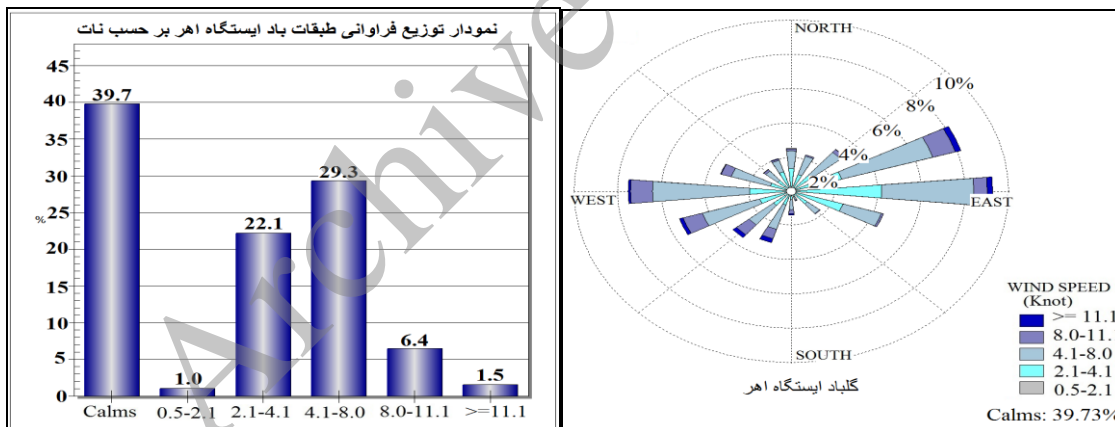
توزیع ماهانه فراوانی بادهای با سرعت بالا و بسیار بالا در این ایستگاه نشان می دهد که فراوانی این بادهای در فصل تابستان و بهار بیشتر می باشد. (جدول ۲). ایستگاه سردشت دارای جهت باد غالب شمالی و جنوبی و ۸/۳ درصد از بادهای این ایستگاه سرعتی بیش از ۸ نات در ثانیه دارد. (شکل شماره ۹). در جدول فراوانی ماهانه بادهای با سرعت بالا و بسیار بالا (جدول ۲)، تقریباً بین تمامی ماه های سال این ایستگاه یکنواختی از نظر فراوانی وزش وجود دارد. ایستگاه تکاب دارای جهت باد غالب غربی و ۷/۴ درصد از بادهای این ایستگاه دارای سرعتی بالای ۸ نات در ثانیه می باشد. (شکل شماره ۱۰). جدول توزیع فراوانی ماهانه بادهای با سرعت بالای هشت نات (جدول ۲) در این ایستگاه نشان می دهد که فصول تابستان و بهار از فراوانی وزش بالاتری نسبت به سایر فصول برخوردار می باشد و در نهایت ایستگاه مراغه دارای جهت باد غالب شرقی و ۷/۷ درصد از بادهای آن دارای سرعتی مساوی و بیشتر از ۸ نات می باشد. (شکل شماره ۱۱). در ایستگاه مراغه طبق جدول ۲، فصول بهار و تابستان از فراوانی بالای این بادهای برخوردار است. با توجه به نتایج این تحقیق خوشه سه برای تولید انرژی بادی در برخی از فصول سال مناسب می باشد. گندمکار (۲۰۰۵) نیز در مطالعه خود ایستگاه های بروجرد، تبریز، سراوان، امیدیه، سردشت، ایرانشهر، خاش، بهم، آبادان، روانسر، بیجار، گلمکان، اهر، بوشهر، زنجان، کرمان، بندر عباس، سبزوار، بافت، سیرجان، سقز، شهر بابک، ایلام، جلفا، بجنورد، مشهد و ملایر را در گروه دوم قرار داده و اشاره کرده اند که ایستگاه های مذکور در برخی از ماه های سال برای تولید انرژی بادی مناسب می باشند که ایستگاه های مطالعاتی خوشه ۳ تحقیق حاضر نیز در گروه مذکور مشاهده می گردد. علت قرار گرفتن این ایستگاه ها (سراب، تبریز، جلفا، اهر، تکاب، سردشت و مراغه) در خوشه سه بخاطر ایستگاه مشکین شهر می باشد که بعد از اردبیل از پتانسیل بالایی برای استفاده از انرژی بادی برخوردار می باشد که این ایستگاه در مطالعه گندمکار (۲۰۰۵) اصلاً بررسی نگردیده است. عبدلی و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق پتانسیل انرژی بادی استان آذربایجان شرقی از طریق تعیین تغییرات چگالی انرژی باد نسبت به ارتفاع و درجه حرارت، در درجه اول ایستگاه سهند و در درجات بعدی ایستگاه های به ترتیب جلفا، سراب، مراغه، اهر، تبریز و میانه را برای استفاده از انرژی بادی مناسب دانسته اند.



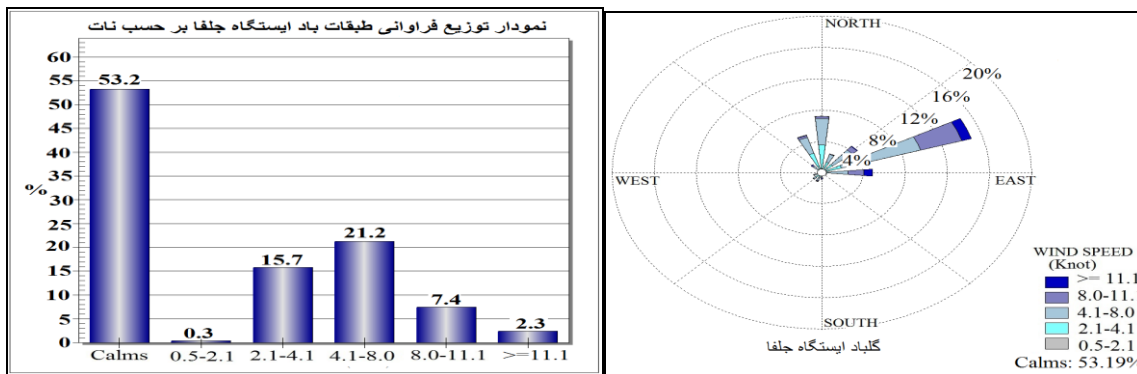
شکل ۵- گلپاد و نمودار ایستگاه سراب در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰)



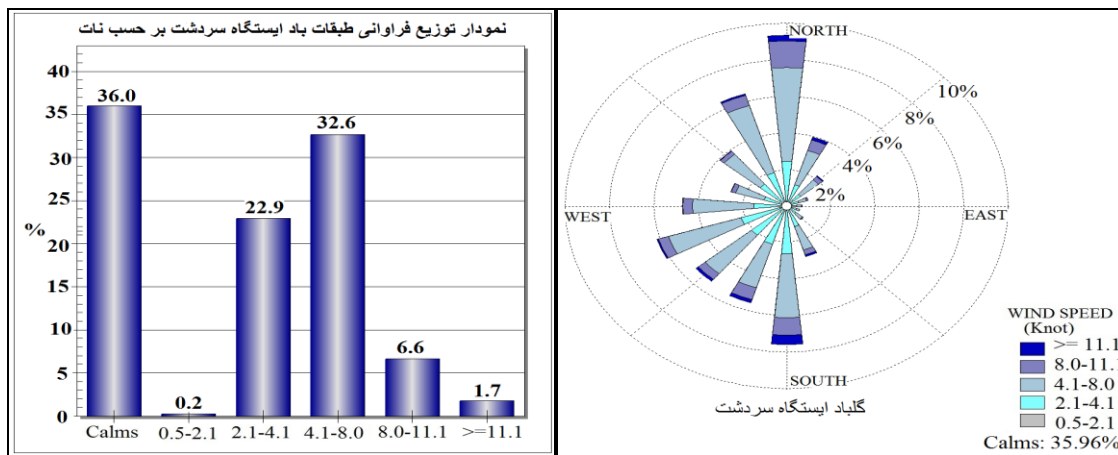
شکل ۶- گلپاد و نمودار ایستگاه تیریز در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰)



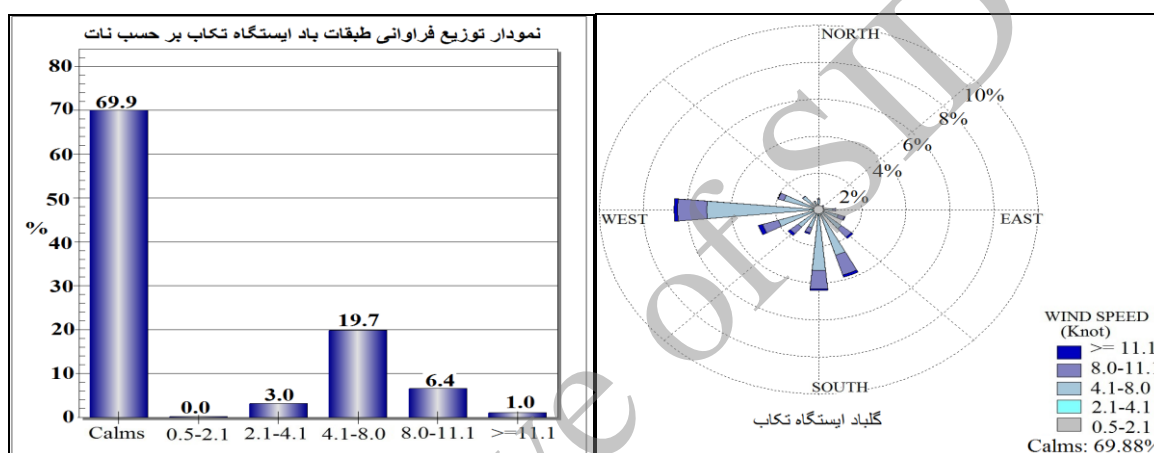
شکل ۷- گلپاد و نمودار ایستگاه اهر در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



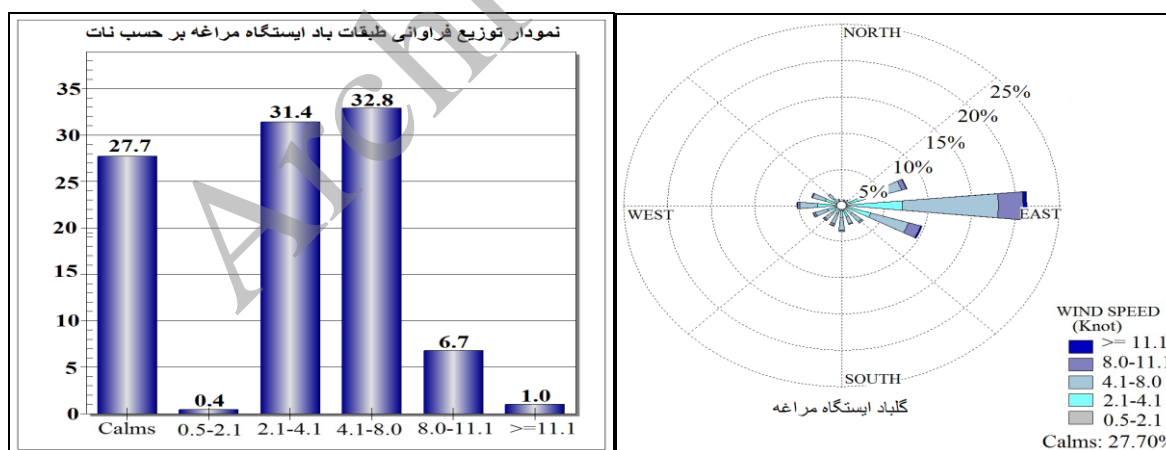
شکل ۸- گلپاد و نمودار ایستگاه چلفا در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



شکل ۹- گلباد و نمودار ایستگاه سردشت در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



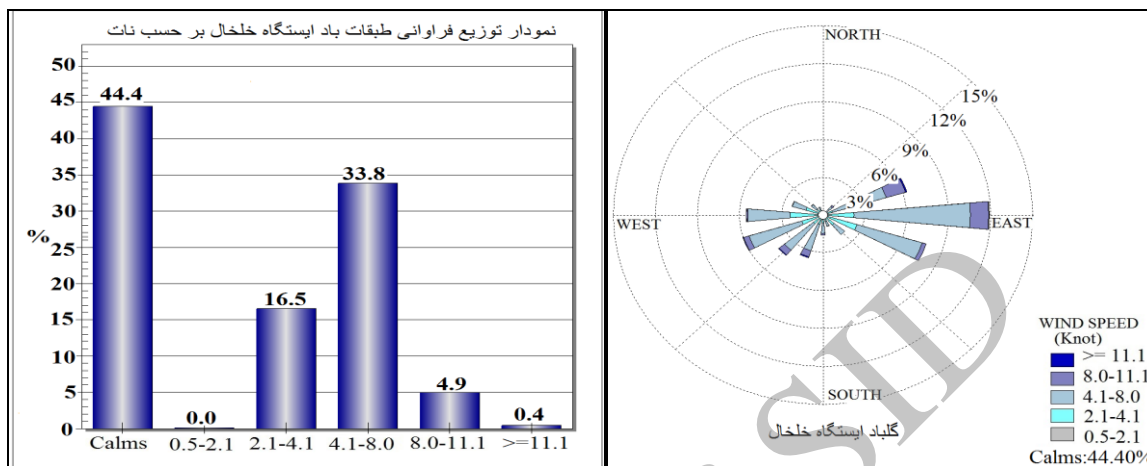
شکل ۱۰- گلباد و نمودار ایستگاه تکاب در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



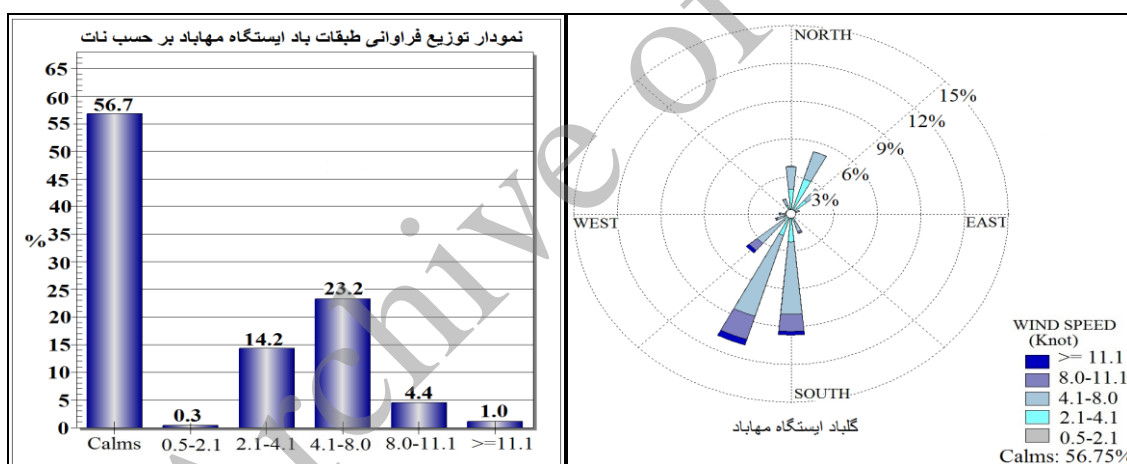
شکل ۱۱- گلباد و نمودار ایستگاه مراغه در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

خوشه چهارم شامل ایستگاه‌های خلخال، مهاباد، ماکو و پیرانشهر می‌باشد. فراوانی بادهای با سرعت بالای این خوشه بین ۸۸۲-۱۱۷۷ و بادهای با سرعت بسیار بالای بین ۸۶-۳۶۷ بار می‌باشد. با توجه به شکل (۲) سه ایستگاه ماکو، پیرانشهر و مهاباد در دامنه شرقی ارتفاعات زاگرس قرار دارند یعنی هر سه ایستگاه مذکور از موقعیت بادی پناهی برخوردارند و خلخال در دامنه غربی کوه‌های تالش قرار دارد. جهت باد غالب در ایستگاه‌های خلخال، مهاباد، ماکو و پیرانشهر به ترتیب شرق، جنوب-جنوب

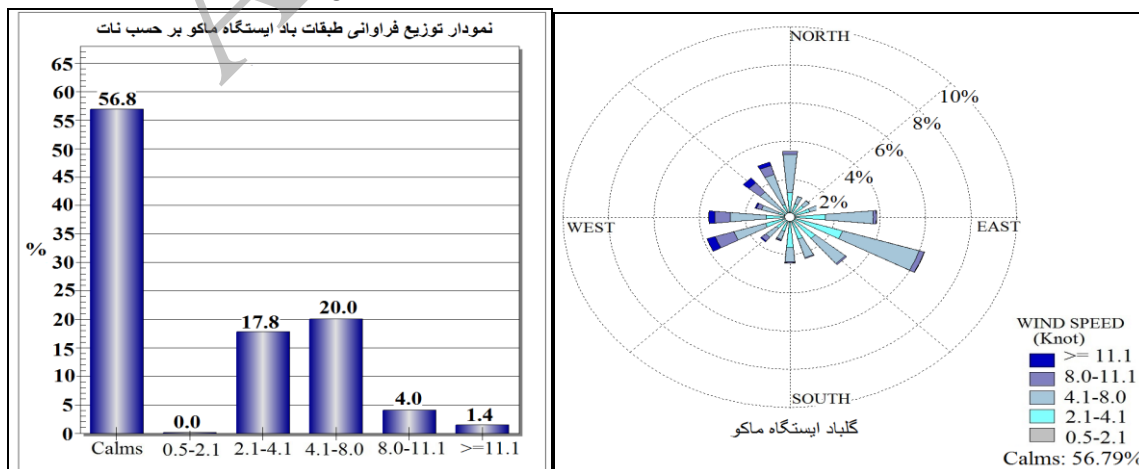
غربی؛ جنوب شرق و جنوب غربی می‌باشد. ۵/۳٪، ۵/۴٪، ۵/۴٪ و ۵/۲٪ از بادهای ایستگاه‌های به ترتیب خلخال، مهاباد، ماکو و پیرانشهر سرعتی بیش از ۸ نات در ثانیه دارد (اشکال ۱۲ تا ۱۵). توزیع فراوانی ماهانه بادهای با سرعت بالا و بسیار بالا در این ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که همه ایستگاه‌های واقع در این خوشه از فراوانی وقوع یکنواختی در طی سال برخوردارند. این خوشه برای استفاده از انرژی بادی مناسب نمی‌باشد که علت آن پایین بودن فراوانی بادهای با سرعت بیشتر از ۸ نات در این خوشه است.



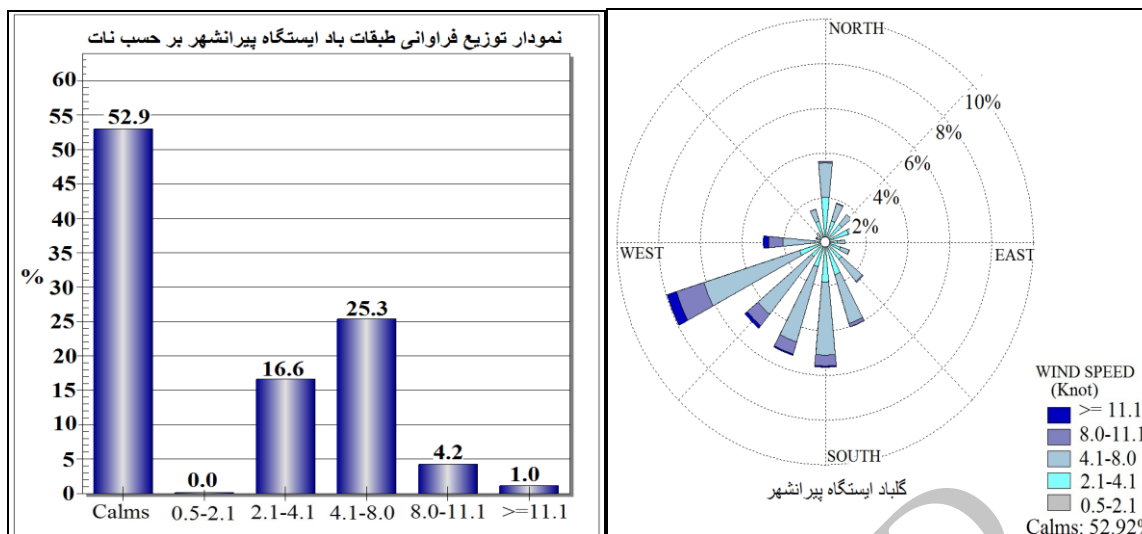
شکل ۱۲- گلباد و نمودار ایستگاه خلخال در دوره آماری (۲۰۰۰-۲۰۰۸) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



شکل ۱۳- گلباد و نمودار ایستگاه مهاباد در دوره آماری (۲۰۰۰-۲۰۰۸) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

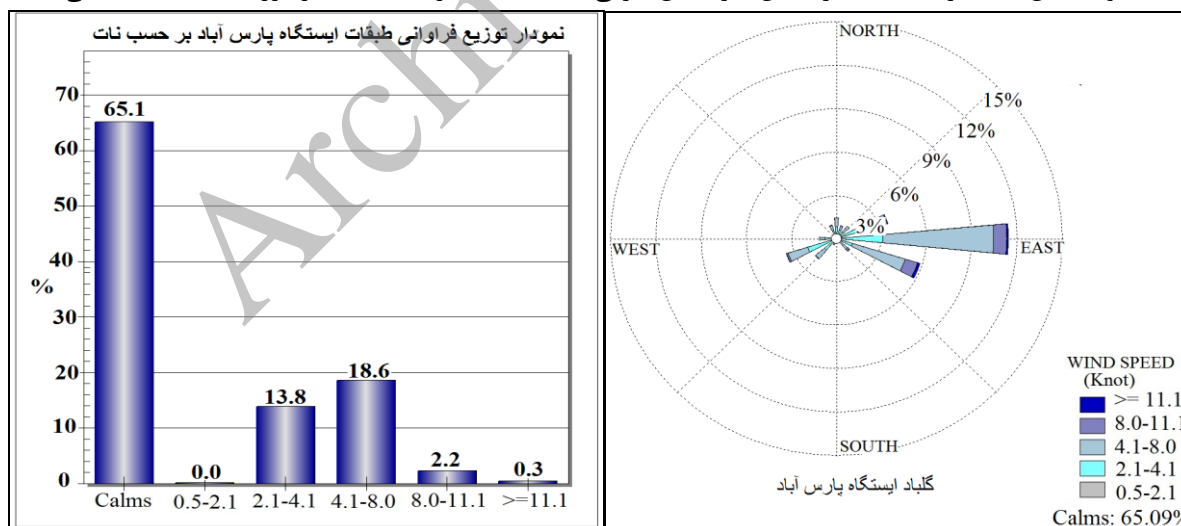


شکل ۱۴- گلباد و نمودار ایستگاه ماکو در دوره آماری (۲۰۰۰-۲۰۰۸) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

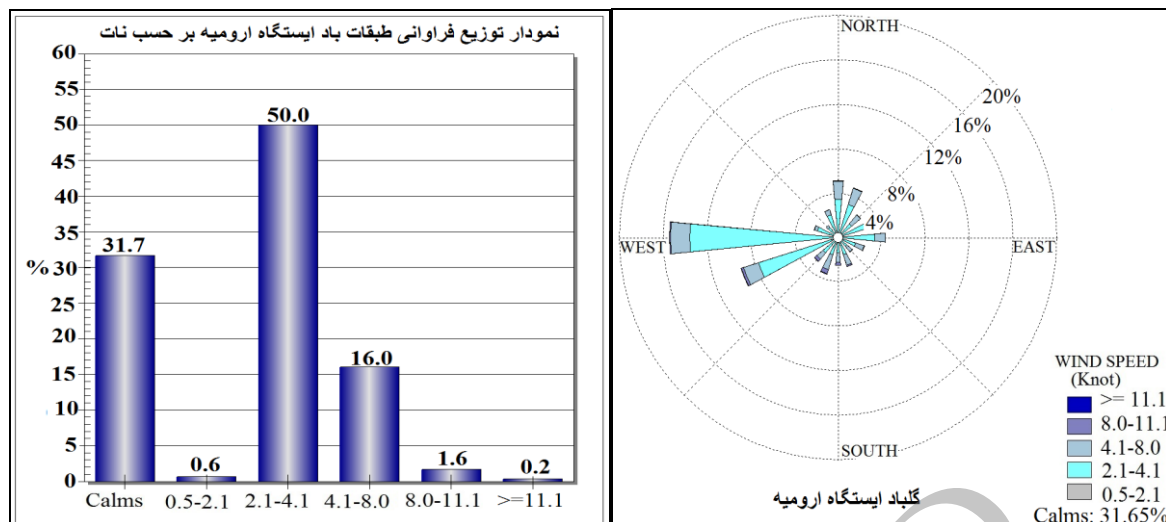


شکل ۱۵- گلباد و نمودار ایستگاه پیرانشهر در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

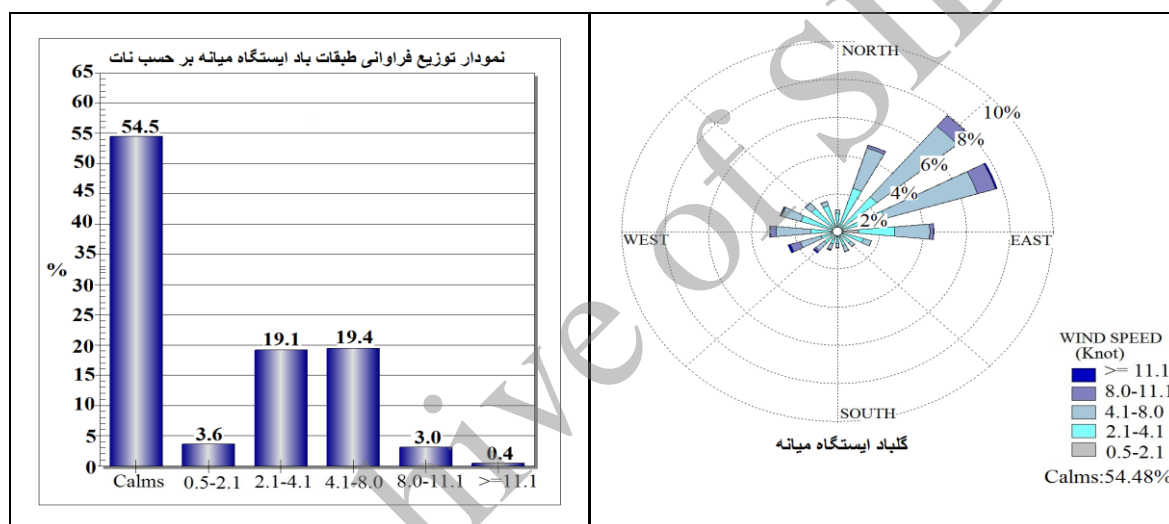
خوشه پنجم شامل ایستگاه‌های ارومیه، میانه و پارس آباد می‌باشد. هر سه ایستگاه از نظر زمانی و مکانی با هم فاصله زیادی دارند، با این حال از یک سری شرایط خاص توپوگرافیکی و اقلیمی همسان بهره‌مند هستند. هر سه ایستگاه دارای ارتفاع پایین می‌باشند، به صورت دشت هستند و به کوه خاصی تسلط ندارند. این شرایط باعث شده که این سه ایستگاه در یک خوشه قرار بگیرند. بررسی فراوانی تکرار باد با سرعت بالا و بسیار بالا با شرایط گفته شده هم‌خوانی دارد. هر سه ایستگاه دارای حداقل وزش باد با سرعت بالا و بسیار بالا می‌باشند. فراوانی وقوع سرعت بالا بین ۴۱۹-۷۹۷ بار تکرار و محدوده بادی با سرعت بسیار بالای بین ۶۶-۱۳۴ بار تکرار در طول دوره آماری را شامل می‌شود. ایستگاه ارومیه ۱/۷ درصد، ایستگاه پارس آباد ۲/۵ درصد و ایستگاه میانه ۳/۴ درصد باد با فراوانی بیش از ۸ نات بر ثانیه دارند. (اشکال ۱۶، ۱۷، ۱۸). طبق مطالعات گندمکار (2005) پارس آباد بر اساس میانگین سرعت وزش باد جزو آرام‌ترین مناطق کشور تعیین شده است. عبدلی و همکاران (2010) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که در استان آذربایجان شرقی ایستگاه میانه برای استفاده در انرژی بادی مناسب نمی‌باشد.



شکل ۱۶- گلباد و نمودار ایستگاه پارس آباد در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



شکل ۱۷- گلباد و نمودار ایستگاه ارومیه در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



شکل ۱۸- گلباد و نمودار ایستگاه میانه در دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۰۰) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

نتیجه‌گیری:

با توجه به اهمیت انرژی‌های تجدید پذیر در مدیریت ریسک در حوزه انرژی این تحقیق بر روی امکان سنجی پتانسیل انرژی بادی در شمال غرب ایران تمرکز نموده است. در این تحقیق بر روی پارامترهای مختلف از جمله فراوانی ماهانه و سالانه وقوع بادهای با سرعت هشت نات و بالاتر در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰ در ایستگاه‌های مطالعاتی، درصد وقوع آن‌ها، باد غالب و جهت آن و همچنین خوشه بندی این فراوانی‌ها بر اساس دو معیار با استفاده از روش فازی (FCM) تمرکز شد. نتایج خوشه بندی فراوانی بادهای با سرعت بالا ($8 \leq 10$) نات و بسیار بالا ($11 \geq 11$) نات، با استفاده از مدل فازی نشان داد که ایستگاه‌های اردبیل و مشگین‌شهر به عنوان خوشه‌های اول و دوم از پتانسیل بالایی برای استفاده از انرژی بادی برخوردار هستند. خوشه سوم شامل ایستگاه‌های تبریز، اهر، سراب، تکاب، جلفا، سردشت و مراغه از پتانسیل نسبتاً مناسبی برای استفاده از انرژی بادی برخوردار هستند. خوشه ۴ و ۵ شامل ایستگاه‌های خلخال، مهاباد، ماکو، پیرانشهر، ارومیه و میانه و پارس‌آباد برای استفاده از نیروی باد مناسب نیستند. بنابراین ایجاد توربین‌های بادی برای تولید انرژی در مکان‌های خوشه‌های یک، دو و سه مقرون به صرفه خواهد بود. در خوشه اول (ایستگاه اردبیل) تمامی ماه‌های سال بخصوص ماه‌های دی، بهمن و اسفند فراوانی بادهای با سرعت ۸ نات و بیشتر بالا می‌باشد. در خوشه دو (ایستگاه مشگین‌شهر) بیشترین فراوانی وزش بادهای با سرعت ۸ نات و بالاتر

در ماه‌های فصل زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد و در خوشه سه (ایستگاه‌های سراب، تبریز، جلفا، اهر، تکاب، سردشت و مراغه) فراوانی بادهای با سرعت ۸ نات و بالاتر بیشتر در فصول بهار و تابستان می‌باشد. بنابراین دلیل کمبود آبی که بیشتر در فصول گرم سال با آن مواجهیم استفاده از انرژی بادی کمک شایان توجهی در تولید برق خواهد داشت. نتیجه تحقیقات صلاحی (۲۰۰۵)، گندمکار (۲۰۱۰)، علمداری و همکاران (۲۰۱۲) و روشن و همکاران (۲۰۱۵) که با استفاده از روش‌های رایله، ویبول و میانگین سرعت باد سالانه پتانسیل انرژی بادی ایران و استان اردبیل را بررسی نموده‌اند با نتیجه تحقیق حاضر که بر اساس خوشه بندی فازی و فراوانی سرعت باد ۸ نات و بالاتر در منطقه شمال غرب ایران کار شده است، همخوانی دارد که بطور مفصل نتایج این محققان در بررسی خوشه‌های مورد مطالعه این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

References:

1. Abdoli, H. Sari Saraf, B. and Hosseini Samchi, A. (2010), *The feasibility of wind energy potential and its application in industrial development projects Case Study (East Azerbaijan), Geographical space Azad University of Ahar*, 28, pp: 57- 72. (in persian)
2. Afrakhteh, H. and Y. Amlashi, (2011): *Innovative method to clustering values recorded wind speed in wind power stations by Particle Swarm Optimizations (PSO), Journal of Electrical and Computer Engineering*, 3, pp: 210-214. (in persian)
3. Ahmeda, S.A., Mahammeda, H.O. (2012): *A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Ralyeigh models of "Penjwen Region" Sulaimani/ Iraq, Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol 6, Num 2, pp 135-140.
4. Alamdari, P. O. Nematollahi, S. M. Mirhosseini, and A. A. Alam Rajabi, (2012), *evaluate the wind energy potential in Ardabil province to build wind farm, International Conference on New Trends in energy conservation, Tehran*, pp: 3-8. (in persian)
5. Amani, A. and A. Hoseini Shamchi, (2011): *Evaluate the wind energy potential in South Aras basin stations, Geographical space Azad University of Ahar*, 29, pp: 1-26. (in persian)
6. Badrana, O., Abdulhadi, E., Touse, Y., (2011): *Fuzzy Logic Controller for Predicting Wind Turbine Power Generation, International journal of Mechanical and Material Engineering*, vol 6, No 1, pp 51-66.
7. Bezdek, J. C., (1981): *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*, Plenum Press, New York, pp 1-256.
8. Dodangeh, E., Shao, Y., and Daghestani, M., (2012): *L-Moments and fuzzy cluster analysis of dust storm frequencies in Iran, Aeolian Research*, 5, pp 91-99
9. Dunn, J. C., (1974), *A Fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact, well-separated clusters. J. Cybernetics* 3 (3), pp 32-57.
10. Ezzatian, V. and M. B. Behyar, (2004), *Estimation of wind potential energy in different climatic zones in order to the design and development of clean energy sources, Fourth National Conference on Energy*, pp: 1-13. (in persian)
11. Gandomkar, A. (2010), *Evaluation wind energy in Iran, Journal of Geography and Environmental Planning*, 36, pp: 86-100. (in persian)
12. Irwanto, M., Gomesh, N., Mamat, M.R., Yusoff, Y.M. (2014): *Assessment of wind power generation potential in perlis Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volum 38, p 296-308.
13. Mohammadi, H. SH. Rostami Jalilian, F, Taghavi, and A. Shamsipour, (2013), *Potential survey of wind energy in Kermanshah Province, Geographical Research Tehran University*, 2, pp: 19-32. (in persian)
14. Nematollahi, O. P. Alamdari, and A. A. Alam Rajabi, (2012), *Potential survey of Electrical energy from wind energy in Persian Gulf coast, Case Study Bushehr, Power Research Institute, Tehran*. (in persian)
15. Promsen, W., Janjai, S., Tantalechon, T., (2014): *An Analysis Wind Energy Potential of Kampot province Southern Cambodia, International Conference On Alternative Energy in Developing Countries and Emergency Economics, Energy Prosedia* 52, pp 633-641.

16. Rahim Zadeh, F., Pedram, M., Sedaghat Kerdar, A., and GH. Kamali, (2010), *Estimation of wind energy in synoptic stations of Esfahan province*, *Geography and Environmental Planning*, 20, pp: 155-172. (in persian)
17. Rao, A. R., and Srinivas, V. V., (2006): *Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis*, *Journal of Hydrology*, 318: (1-4), pp 57-79.
18. Roshan, GH. R., A. A. Ghanghormeh and E. SHahkoohi (2015), *Evaluation the potential of wind energy in selected stations in Iran*, 14, pp: 13-30. (in persian)
19. Saidi, D., O. Nematollahi, and A. A. Alam Rajabi (2012), *Evaluate the wind energy potential in North Khorasan Province in Iran*, *Management of energy*, pp: 49-56. (in persian)
20. Salahi, B. (2005), *Potential survey of Wind Energy and fitting the real possibilities of wind by Weibull probability density distribution function in synoptic stations of Ardabil*, *Geographical Research*, 72, pp: 88 & 92. (in persian)
21. Sheerbafiyani, N. (2009), *The estimation of wind power potential and take advantage of its effect on saving fossil fuel in Iran*, *Energy Economics Studies*, 5, pp: 17, 113, 140. (in persian)
22. Shirani, E., H. Ahmadikia, Talebi, F. and Mojib, JH. (2004), *Use the wind to produce energy in Kurdistan*, *International Journal of Engineering Science*, 5, pp: 62-80. (in persian)
23. Zahedi, M. B. Salahi, and M. Jamil (2006), *Calculate the wind energy density and in order to use its energy in Ardebil*, *Geographic Researches*, 53, pp: 41-55. (in persian)

Archive of SID