روشی جدید به‌منظور خوشه‌بندی داده‌های سرعت باد در نیروگاه‌های بادی با استفاده از الگوریتم‌های FCM و PSO

حسین افراخته و یاسر بستانی املشی

چکیده: یکی از روش‌های رایج در خوشه‌بندی داده‌ها، استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی FCM است. اما معمولاً استفاده از این روش هنگامی که حجم داده‌ها زیاد باشد، منجر به توزیع ناهمگون داده‌ها می‌گردد. در این مقاله روشی جدید برای خوشه‌بندی داده‌های سرعت باد در نیروگاه‌های بادی ارائه شده است. در این روش، داده‌های سرعت باد با استفاده از الگوریتم PSO خوشه‌بندی شده و نتایج به‌دست آمده با پاسخ‌های روش‌های خوشه‌بندی FCM و K - means مقایسه گردیده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش ارائه‌شده همگرایی بهتری نسبت به روش‌های FCM و K - means داشته و این وضعیت به‌ویژه در شرایطی که حجم بالاتری از داده‌ها در اختیار باشد، محسوس‌تر خواهد بود.

کلید واژه: **خوشه‌بندی، نیروگاه بادی، FCM، K - means، PSO.**

۱- مقدمه

یکی از مسایلی که نیروگاه‌های بادی همواره با آنها مواجه هستند، وجود عدم قطعیت در میزان ظرفیت قابل استحصال توان الکتریکی به‌وسیله این واحدها است. این مسئله ناشی از رفتار و عملکرد تصادفی مؤلفه‌های مختلف حاکم بر نیروگاه‌های بادی از جمله تغییرات اتفاقی انرژی ورودی مکانیکی آن است که به‌وسیله نیروی باد تأمین می‌گردد. به‌عبارت دیگر، به‌دلیل تغییرات مستمر عوامل مختلف، از جمله شرایط جوی و اقلیمی، سرعت و زمان تداوم باد همواره به‌صورت تصادفی تغییر می‌کند. همچنین به‌دلیل تعدد اطلاعات ثبت‌شده سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی که تعیین‌کننده مقدار توان مکانیکی ورودی به توربین‌های بادی است، بررسی دقیق آنها بدون استفاده از روش‌های کاربردی امکان‌پذیر نخواهد بود. بدیهی است چنانچه بتوان رفتار و مقادیر سرعت باد را به درستی ارزیابی نمود، میزان ظرفیت قابل استحصال واحدهای تولیدی بادی نیز با قطعیت بیشتری برآورد خواهد شد [۱].

یکی از روش‌های کاربردی در ارزیابی و تحلیل اطلاعات متعدد ثبت‌شده سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی و یا ایستگاه‌های نصب‌شده در مزارع بادی[1]، خوشه‌بندی داده‌هاست. به کمک این روش ضمن کاهش حجم داده‌های ثبت‌شده سرعت باد، می‌توان مقدار سطوح توانی قابل تولید به‌وسیله این واحدها را به‌صورت مقادیر احتمالی چندسطحی تعیین نمود. بدیهی است، برآورد دقیق‌تر میزان توان قابل برداشت به‌وسیله واحدهای بادی می‌تواند مبنای سرمایه‌گذاری و توسعه بیشتر این واحدها قرار گیرد.

این مقاله در تاریخ ۲۶ بهمن ماه ۱۳۸۸ دریافت و در تاریخ ۱۳ دی ماه ۱۳۸۹ بازنگری شد.

حسین افراخته، گروه مهندسی برق – قدرت، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، گیلان (email: ho_afrakhte@guilan.ac.ir).

یاسر بستانی املشی، گروه مهندسی برق – قدرت، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، گیلان (email: bostani.yaser@gmail.ir).

1. Wind Farm

خوشه‌بندی داده‌ها در قالب مباحث شناسایی الگو مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در این فرآیند، داده‌هایی که ارتباط قوی‌تری با یکدیگر دارند در یک خوشه قرار می‌گیرند، به‌طوری که ارتباط این خوشه با سایر خوشه‌ها حداقل ممکن باشد [۲]. به‌عبارت دیگر داده‌های مربوط به یک خوشه تا حد ممکن مشابه هم و متفاوت با داده‌های خوشه‌های دیگر خواهند بود. معیارهای مختلفی برای خوشه‌بندی با توجه به نوع داده‌ها به‌کار گرفته می‌شود که از جمله آنها می‌توان به معیارهای فاصله– شدت[2] و وابستگی اشاره کرد [۳]. از آنجایی که در کاربردهای واقعی، اغلب مرز دقیقی بین داده‌ها وجود ندارد، معمولاً خوشه‌بندی فازی (FCM)[3] به خوشه‌بندی کلاسیک ترجیح داده می‌شود. در خوشه‌بندی کلاسیک، هر داده دقیقاً به یک خوشه اختصاص دارد؛ در حالی که در خوشه‌بندی فازی هر داده بر اساس موقعیت مربوطه می‌تواند به بیش از یک خوشه هم تعلق داشته باشد. میزان تعلق هر داده به خوشه مربوطه با درجه عضویت بیان می‌گردد [۴] تا [۵].

تاکنون مطالعات بسیاری در مورد خوشه‌بندی داده‌ها انجام شده است. از جمله در [۶] روشی برای دسته‌بندی داده‌ها با استفاده از الگوریتم PSO انجام شده است. در [۷] روشی برای دسته‌بندی فازی برای داده‌های مشخص مربوط به یک سیستم ارائه شده است. در مراجع فوق از یک تابع هدف کاملاً جداگانه برای نیل به خوشه‌بندی استفاده شده است. در [۸] روشی بر اساس ترکیب الگوریتم‌های FCM و PSO که از تابع هدف FCM بهره می‌برد، استفاده شده است.

در این مقاله اطلاعات واقعی مقادیر ثبت‌شده سرعت باد در یکی از ایستگاه‌های هواشناسی کشور با استفاده از روش ابتکاری PSO به‌صورت فازی خوشه‌بندی شده و نتایج به‌دست آمده از این روش با پاسخ‌های حاصل از روش FCM مقایسه می‌گردد. همچنین برای نشان‌دادن قابلیت‌های روش ارائه‌شده، نتایج حاصل از خوشه‌بندی با این روش با نتایج خوشه‌بندی به روش K - means نیز مقایسه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر روش PSO، همگرایی بهتری در مقایسه با الگوریتم‌های FCM و K-means داشته و در زمان کمتری به جواب بهینه خواهد رسید. در نهایت، مطالعات موردی با استفاده از داده‌های حقیقی سرعت باد در بازه‌های زمانی مشخص انجام شده و نتایج به‌دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

۲- خوشه‌بندی

هدف از خوشه‌بندی، تقسیم داده‌ها به مجموعه‌ای از دسته‌ها است که در آن داده‌های هر دسته شباهت و نزدیکی بیشتری در مقایسه با داده‌های سایر دسته‌ها به هم دارند. الگوریتم‌های مختلفی برای خوشه‌بندی ارائه

2. Density - Distance

3. Fuzzy Clustering

Archive of SID

www.SID.ir

شده که از جمله آنها می‌توان به روش ابتکاری[1]، سلسله‌مراتبی[2] و خوشه‌بندی به کمک افرازکردن اشاره کرد. الگوریتم‌های خوشه‌بندی فازی، روش‌های افرازکننده‌ای هستند که جهت تخصیص داده‌ها به مجموعه‌ای از خوشه‌ها به کار می‌روند. در این الگوریتم‌ها با استفاده از یک تابع هدف که به‌عنوان شاخص ارزیابی به کار می‌رود، داده‌های موجود به‌صورت بهینه خوشه‌بندی می‌شوند.

۲-۱ خوشه‌بندی فازی (FCM)

به‌منظور بیان روش خوشه‌بندی فازی (FCM)، مجموعه‌ای از داده‌های $\{x_1,\ldots,x_n\}$ مد نظر قرار می‌گیرد. هدف خوشه‌بندی فازی، دسته‌بندی داده‌ها به تعداد C خوشه است که به‌صورت ماتریس $U=[\mu_{ik}]C.n$ بیان شده و در آن μ_{ik}، درجه عضویت و تعلق داده kام به خوشه Cام است که به‌صورت زیر مدل می‌گردد

$$0 \le \mu_{ik} \le 1 \qquad (1)$$

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

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

$$k = 1,2,\ldots,n \quad , \quad i = 1,2,\ldots,c$$

که در آن i تعداد خوشه‌ها و k تعداد داده‌ها می‌باشد. از طرف دیگر می‌توان نشان داد که با کمینه‌کردن تابع هدف زیر، داده‌های موجود در هر خوشه نسبت به داده‌های موجود در خوشه‌های دیگر از شباهت بیشتر برخوردار خواهند بود [۳]

$$J(p) = \sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{c} [\mu_{ik}]^m \, \|x_k - V_i\|^2 \qquad (4)$$

که در آن m عددی بزرگ‌تر از یک است که میزان درجه عضویت را کنترل می‌کند، x_k بردار داده‌ها، V_k مرکز خوشه iام و $\|x_k - V_i\|^2$ نیز فاصله اقلیدسی بین بردار داده‌ها و مراکز خوشه‌ها است.

۲-۲ الگوریتم اجرای FCM برای حل بهینه

در مباحث خوشه‌بندی داده‌ها، شاخص‌های مختلفی بیان می‌گردد که غالباً مبتنی بر مراکز خوشه‌ها هستند. برای کمینه‌کردن (۴)، باید همواره (۵) و (۶) در تکرارهای مختلف به‌هنگام شوند

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

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

که در آن $\mu_{ik}^{(t+1)}$ درجه عضویت داده kام از دسته Cام در تکرار $(t+1)$ام است. اجرای الگوریتم پیشنهادی دارای مراحل زیر خواهد بود:

قدم اول: مقدار t را برابر صفر در نظر گرفته و یک کد اولیه $p^{(0)}$ ایجاد کنید.

قدم دوم: در هر تکرار، مراکز خوشه‌ها را با استفاده از (۵) محاسبه کرده و یک مقدار برای m انتخاب کنید.

قدم سوم: $\mu_i^{(t+1)}$ را با استفاده از (۶) محاسبه کرده و کد اولیه را در تکرار $(t+1)$ام به‌هنگام کنید.

قدم چهارم: $p^{(t)}$ و $p^{(t+1)}$ را با یکدیگر مقایسه نمایید. اگر $\left|p^{(t+1)} - p^{(t)}\right| \le \varepsilon$، روند تکرارها متوقف شود. در غیر این صورت به مرحله دوم بازگشته و مقدار t را افزایش دهید.

لازم به ذکر است که بر اساس محاسبات تحلیلی، تاکنون در الگوریتم FCM هیچ مقدار مشخصی برای m محاسبه نشده است، اما ثابت شده است که اگر m به سمت بی‌نهایت میل کند، الگوریتم FCM، فازی‌تر می‌شود. معمولاً مقدار m را عددی بزرگ‌تر از ۱ در نظر می‌گیرند [۹].

۲-۳ الگوریتم پیشنهادی PSO

الگوریتم PSO یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر قواعد احتمال است که در سال ۱۹۹۵ برای اولین بار با الهام از رفتار پرندگان در هنگام جستجوی غذا، توسط کندی و ابرهارت ابداع شد [۱۰]. در این الگوریتم ابتدا یک مجموعه جواب اولیه تولید می‌شود. سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای پاسخ‌های ممکن، با به‌هنگام کردن نسل‌ها، جستجوی پاسخ انجام می‌گیرد. هر ذره به‌صورت چندبعدی با دو مقدار موقعیت و سرعت تعریف می‌گردد و در هر مرحله از حرکت ذره، با دو شاخص سرعت و موقعیت، بهترین پاسخ‌ها از لحاظ شایستگی برای تمام ذرات تعیین می‌شوند [۱۱]. برای حل مسایل خوشه‌بندی فازی، بردارهای مرکزی خوشه‌ها را به‌عنوان متغیرهای اصلی مسئله در نظر گرفته و با عملگرهای خاص، موقعیت و سرعت آنها به‌هنگام می‌شود. قدم‌های اجرای الگوریتم پیشنهادی به شرح ذیل است:

قدم اول: مقدار t را برابر صفر در نظر گرفته و پارامترهای x، w، c، c_1، c_2، ε، v و m را در (۴)، (۷) و (۸) مقداردهی کنید.

قدم دوم: $\mu_{ik}^{(t)}$ را با استفاده از (۶) برای همه ذرات محاسبه کرده و مقدار $p^{(t+1)}$ را به‌هنگام نمایید.

قدم سوم: بهترین موقعیت را برای هر ذره و نیز برای تمام ذرات تعیین کنید.

قدم چهارم: پارامترهای سرعت و موقعیت را برای تمام ذرات با استفاده از (۷) و (۸) به‌هنگام کنید

$$V_{id}(t+1) = V_{id}(t) + Vel_{id}(t+1) \qquad (7)$$

$$Vel_{id}(t+1) = \omega Vel_{id}(t) + c_1\phi_1[\rho_{id}(t) - V_{id}(t)] + c_2\phi_2[(\rho_{gd}(t) - V_{id}(t)] \qquad (8)$$

که در آن:

$V_{id}(t)$: بیانگر مرکز ذره iام در تکرار tام.

$Vel_{id}(t)$: سرعت ذره iام در تکرار tام.

c_1 و c_2: اعداد ثابت بین ۱/۴ الی ۲.

W: وزن پارامتر سرعت که معمولاً ۰/۴ الی ۰/۹ است.

$P_{id}(t)$: بهترین جواب ذره iام در تکرار tام.

$P_{gd}(t)$: بهترین جواب به‌دست آمده بین تمام ذرات تا تکرار tام.

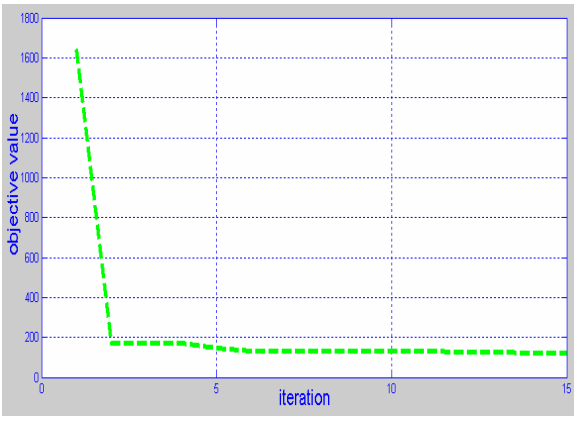
قدم پنجم: مقدار $p^{(t+1)}$ را به‌هنگام نمایید.

قدم ششم: $p^{(t+1)}$ و $p^{(t)}$ را با هم مقایسه نمایید. چنانچه $\left|p^{(t+1)} - p^{(t)}\right| \le \varepsilon$، روند بهینه‌سازی متوقف شده و در غیر این صورت، مقدار t را یک واحد افزایش داده و به قدم سوم برگردید.

1. Heuristics
2. Hierarchical

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱: مقدار تابع هدف با روش PSO در مطالعه موردی اول با دو خوشه.

۳- مطالعات موردی

در این مرحله، شبیه‌سازی‌های مختلفی با استفاده از دو الگوریتم FCM و PSO انجام گرفته که نتایج مربوطه داده شده است. اطلاعات مورد استفاده، مقادیر ثبت‌شده سرعت باد در منطقه چالدران است [۱۲]. در شبیه‌سازی با روش PSO، مقدار c_1 و c_2 برابر ۲، وزن اولیه معادل ۰/۹ و وزن نهایی معادل ۰/۲ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است با توجه به تصادفی‌بودن مجموعه جواب‌های اولیه در الگوریتم PSO، اجرای این الگوریتم، پنج بار تکرار و میانگین پاسخ‌های به‌دست آمده، مد نظر قرار می‌گیرد. این مسئله با رفتار و تغییرات اتفاقی شدید داده‌های سرعت باد تطابق بیشتری دارد.

۳-۱ مطالعه موردی اول

در این مطالعه، داده‌های مربوط به سرعت باد در منطقه چالدران در بازه زمانی ۶ ساعت (از ساعت ۱۲ شب تا ۶ صبح) در تاریخ ۲۰۰۷/۱۱/۲۸ مورد استفاده قرار گرفته است. این داده‌ها به دو خوشه تقسیم شده و پس از شبیه‌سازی، مقدار تابع هدف با استفاده از روش PSO برابر ۱۰۵/۱۱۲۳ به‌دست آمده است. همچنین این داده‌ها با روش PSO به سه خوشه دسته‌بندی شده‌اند که مقدار تابع، معادل ۴۳/۶۳۲۲ به‌دست آمده که در جدول‌های ۱ و ۲ داده شده است.

۳-۲ مطالعه موردی دوم

در این شرایط، داده‌های مربوط به سرعت باد در منطقه مذکور در تاریخ ۲۰۰۷/۱۱/۲۸، به مدت زمان ۱۲ ساعت (از ساعت ۰۰:۰۰ تا ۱۱:۵۸) مورد استفاده قرار گرفته است. مقدار تابع هدف در دسته‌بندی به دو و سه خوشه با روش PSO به‌ترتیب معادل ۲۷۷/۰۱۹۴ و ۱۴۵/۲۳۳۹ به‌دست آمده است.

۳-۳ مطالعه موردی سوم

در این شرایط، داده‌های مربوط به سرعت باد در منطقه مذکور در تاریخ ۲۰۰۷/۱۱/۲۸، از ساعت ۰۰:۰۰ تا ۲۳:۵۸ به‌مدت ۲۴ ساعت مد نظر قرار گرفته است. نتایج مربوط به این مطالعه نیز در جدول‌های ۱ و ۲ داده شده است.

۳-٤ مطالعه موردی چهارم

در این مرحله، داده‌های مربوط به سرعت باد در منطقه مذکور در بازه زمانی یک هفته از تاریخ ۲۰۰۷/۱۱/۲۷ تا ۲۰۰۷/۱۲/۳، مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه، مقدار تابع هدف با روش PSO، در مقایسه با

جدول ۱: مقایسه تابع هدف با روش‌های FCM و PSO برای خوشه‌بندی داده‌های سرعت باد به دو خوشه.

مطالعه موردی	روش	مقدار تابع هدف
مطالعه اول	FCM	۱۰۵/۴۲۷۶
	PSO	۱۰۵/۱۱۲۳
مطالعه دوم	FCM	۲۷۷/۰۹۷۷۸
	PSO	۲۷۷/۰۱۹۴
مطالعه سوم	FCM	۴۵۴/۷۹۴۸
	PSO	۴۵۳/۰۱۹۸
مطالعه چهارم	FCM	۲۷۲۸/۷۶۹۰
	PSO	۲۷۱۸/۱۰۹۶
مطالعه پنجم	FCM	۱۴۰۹۸/۶۴۰۰
	PSO	۱۴۰۴۴/۰۳۲۲

جدول ۲: مقایسه تابع هدف با روش‌های FCM و PSO برای خوشه‌بندی داده‌های سرعت باد به سه خوشه.

مطالعه موردی	روش	مقدار تابع هدف
مطالعه اول	FCM	۴۳/۸۳۹۴
	PSO	۴۳/۶۳۲۲
مطالعه دوم	FCM	۱۴۵/۹۶۴۹
	PSO	۱۴۵/۲۳۳۹
مطالعه سوم	FCM	۲۰۱/۲۴۰۲
	PSO	۲۰۰/۱۳۹۶
مطالعه چهارم	FCM	۱۲۰۷/۴۴۱۹
	PSO	۱۲۰۱/۰۹۷۴
مطالعه پنجم	FCM	۶۲۳۸/۴۴۸۳
	PSO	۶۲۰۴/۷۱۶۶

نتایج روش FCM، نسبت به حالت‌های قبلی اختلاف بیشتری را نشان می‌دهد که در جدول‌های ۱ و ۲ به وضوح دیده می‌شود.

۳-۵ مطالعه موردی پنجم

در این مرحله، داده‌های سرعت باد در بازه زمانی یک ماه (از تاریخ ۲۰۰۷/۱۱/۲۷ تا ۲۰۰۷/۱۲/۲۷) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل از خوشه‌بندی این داده‌ها شامل مقادیر مقایسه‌ای تابع هدف در جدول‌های ۱ و ۲ داده شده است.

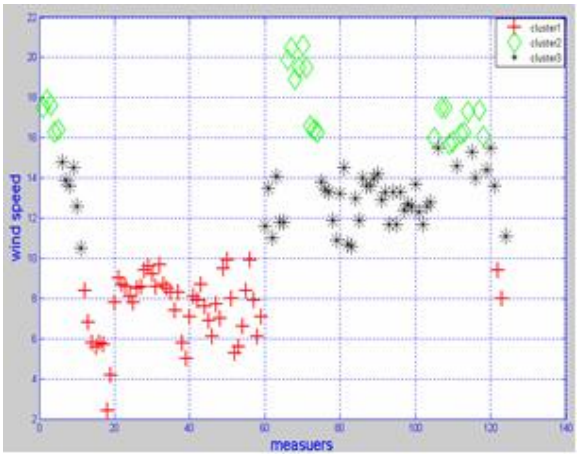
نتایج به‌دست آمده در این حالت‌ها نشان می‌دهد که مقدار محاسبه‌شده تابع هدف با الگوریتم PSO کمتر از مقادیر به‌دست آمده از الگوریتم FCM است. همچنین ملاحظه می‌گردد که با افزایش تعداد داده‌ها، تفاوت دو روش بیشتر نمایان می‌گردد. در واقع زمانی که مقدار تابع هدف کمتر شود، بردار مرکزی خوشه‌ها مقدار بهینه‌تری به خود اختصاص می‌دهند. نتیجه دیگری که از مقایسه این دو جدول حاصل می‌شود، آن است که با افزایش تعداد خوشه‌ها، مقدار تابع هدف به مراتب کاهش بیشتری پیدا خواهد کرد.

شکل ۱ مقدار به‌دست آمده تابع هدف با روش PSO در مطالعه موردی اول را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۲ آرایش داده‌های مطالعه موردی سوم در تقسیم به سه خوشه را نشان می‌دهد.

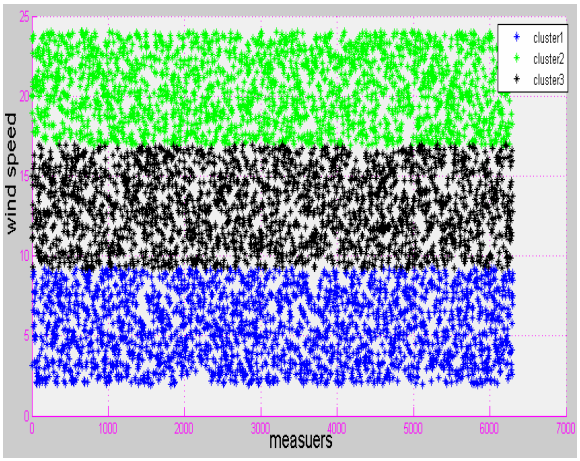
شکل ۳ آرایش داده‌های مطالعه موردی چهارم جهت خوشه‌بندی داده‌ها با روش PSO به سه خوشه را نشان می‌دهد.

در شکل‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب آرایش دسته‌بندی داده‌های مربوط به مطالعه موردی چهارم و پنجم به سه خوشه داده شده است.

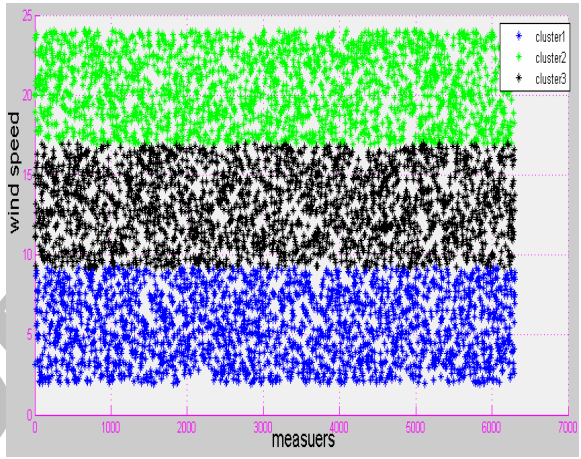
Archive of SID
www.SID.ir



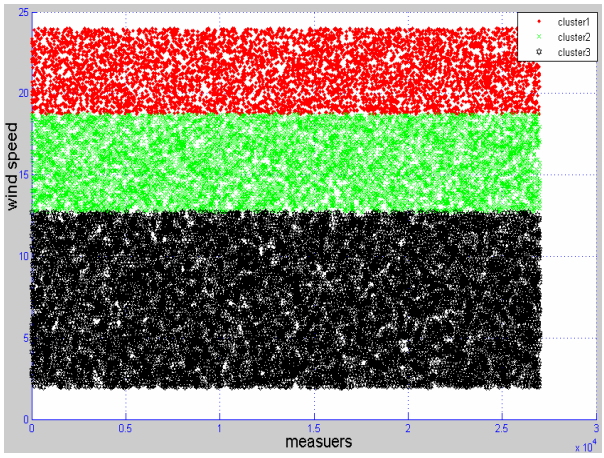
شکل ۲: آرایش دسته‌بندی داده‌ها با الگوریتم PSO در مطالعه موردی سوم با سه خوشه.



شکل ۳: دسته‌بندی داده‌ها با الگوریتم PSO در مطالعه موردی چهارم با سه خوشه.



شکل ۴: آرایش دسته‌بندی داده‌ها با الگوریتم FCM در مطالعه موردی چهارم با سه خوشه.



شکل ۵: آرایش دسته‌بندی داده‌ها با الگوریتم PSO در مطالعه موردی پنجم با سه خوشه.

جدول ۳: مقایسه مقادیر شاخص حداقل مجموع مربعات خطا (MLSE) حاصل از خوشه‌بندی داده‌های سرعت باد به دو خوشه با استفاده از روش‌های PSO، FCM و K - MEANS.

مطالعات موردی	PSO		FCM		K-means	
	Cen.۱	Cen.۲	Cen.۱	Cen.۲	Cen.۱	Cen.۲
مطالعه اول	۰/۸۸	۰/۶۷	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۰
مطالعه دوم	۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۵	۰/۶۳	۰/۶	۰/۷۲
مطالعه سوم	۰/۷۷	۰/۳۵	۰/۸۵	۰/۴۱	۰/۹۵	۰/۴۴
مطالعه چهارم	۰/۷۶	۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۷۱	۰/۹۱	۰/۸
مطالعه پنجم	۰/۶۹	۱/۱۱	۰/۷۱	۱/۲۰	۰/۷۲	۱/۱۸

برای نشان‌دادن قابلیت‌ها و اعتبار روش پیشنهادی که مبتنی بر الگوریتم PSO است، علاوه بر مقایسه نتایج به‌دست آمده با روش خوشه‌بندی FCM، در هر پنج مطالعه موردی، خوشه‌بندی با استفاده از روش K - means که یکی دیگر از رایج‌ترین روش‌های خوشه‌بندی است، انجام شده است. برای مقایسه نتایج حاصل از به‌کارگیری این روش‌ها، از شاخص حداقل مجموع مربعات خطا (MLSE)[1] نسبت به مراکز خوشه‌های تعیین‌شده از هر روش استفاده شده است. مقدار این شاخص در مطالعات موردی انجام‌شده بر اساس مراکز داده‌های هر خوشه در جدول ۳ داده شده است.

با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که شاخص MLSE در هر خوشه با روش PSO مقدار کمتری نسبت به سایر روش‌ها داشته و در نتیجه آن، الگوریتم PSO دسته‌بندی مناسب‌تری از داده‌ها در مقایسه با دو روش دیگر ارائه خواهد داد.

٤- نتیجه‌گیری

در این مقاله، دسته‌بندی فازی با روش ابتکاری PSO انجام شده و نتایج به‌دست‌آمده با الگوریتم‌های FCM و K - means مقایسه گردیده است. با بررسی دقیق نتایج به‌دست آمده ملاحظه می‌گردد که با افزایش تعداد داده‌ها، روش دسته‌بندی با الگوریتم PSO نتیجه بهتری نسبت به روش‌های FCM و K - means خواهد داشت. به عبارت دیگر، روش مذکور با کمینه‌کردن تابع هدف، مقدار متغیرهای مربوطه که همان بردار مرکزی خوشه‌ها هستند، را به‌هنگام کرده و بهترین حالت را برای آنها برازش می‌نماید. همچنین نتیجه مهم دیگر آنست که با افزایش تعداد خوشه‌ها، مقدار تابع هدف به مراتب کاهش پیدا کرده و داده‌های هر خوشه وابستگی بیشتری به هم خواهند داشت.

1. Minimum Least Squared Error

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

[1] B. Boukhezzar and H. Siguerdidjane, "Comparison between linear and nonlinear control strategies for variable speed wind turbine power capture optimization," *Control Engineering Practice*, vol. 18, no. 12, pp. 1357-1368, Dec. 2010.

[2] L. X. Wang, A Course in Fuzzy System and Control, Hall Co., 1996.

[3] R. J. Hathaway and J. C. Bezdek, "Recent convergence result for fuzzy c-means clustering algorithms," *J. of Classification*, vol. 5, no. 2, pp. 237-247, Sep. 1988.

[4] J. G. Klir and B. Yuan, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Theory and Applications*, Prentice - Hall Co., 2003.

[5] T. Gu and B. Ddubuissonb, "Similarity of classes and fuzzy clustering," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 340, no. 1, pp. 213-221, Jan. 2002.

[6] D. W. van der Merwe and A. P. Engelbrecht, "Data clustering using particle swarm optimization," in *Proc. of the IEEE Congeress on Evaluation Computations*, vol. 1, pp. 215-220, Canbera, Australia, 2007.

[7] J. Li, C. -H. Chu, Y. Wang, and W. Yan, "An improved fuzzy clustering methode for cellular manufacturing," *Int. J. of Prod. Research*, vol. 45, no. 5, pp. 1049-1062, Mar. 2007.

[8] E. Mehdizadeh and S. Sadi-Nezhad, "Optimization of fuzzy clustering criteria by a hybrid PSO and FCM clustering algorithm," *Iranian J. of Fuzzy Systems*, vol. 5, no. 3, pp. 1-14, Jan. 2008.

[9] H. J. Zhang, M. Limoun, and A. Essaid, "A new cluster-validity for fuzzy clustering," *Pattern Recognition*, vol. 32, no. 7, pp. 1089-1097, Jul. 1999.

[10] J. Kenedy and R. C. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proc. of the IEEE Int. Joint Conf. on Neural Networks*, vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.

[11] C. Y. Chen and F. Ye, "Particle swarm optimization and its application to clustering algorithm," in *Proc. Int. Conf. on Networking, Sensing and Control*, pp. 789-794, Taipei, Taiwan, 2004.

[۱۲] سازمان انرژی های نو ایران، http://www.suna.org.ir

حسین افراخته تحصیلات مقطع کارشناسی رشته مهندسی برق – قدرت را در سال ۱۳۷۰ در دانشگاه تبریز و مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق – قدرت را در سال ۱۳۷۹ در دانشگاه تربیت مدرس به پایان رساند. سپس، در سال ۱۳۸۶ موفق به اخذ درجه دکترای مهندسی برق- قدرت از دانشگاه تربیت مدرس گردید. وی هم‌اکنون استادیار گروه مهندسی برق دانشگاه گیلان می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: سیستم‌های توزیع، قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت، منابع تولیدات پراکنده و بازیابی سیستم‌های قدرت.

یاسر بستانی املشی تحصیلات خود را در مقاطع کاردانی و کارشناسی ناپیوسته خود را به ترتیب در سال‌های ۸۳ و ۸۵ در دانشگاه‌های شیراز و تربیت معلم سبزوار به پایان رسانده است. سپس تحصیلات در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق- قدرت خود را در سال ۱۳۸۹ در دانشگاه گیلان به پایان رساند. وی هم‌اکنون به عنوان عضو هیئت علمی در گروه برق دانشگاه آزاد واحد رودبار فعالیت می‌کند. زمینه‌های مورد علاقه تحقیقاتی ایشان سیستم‌های قدرت، الگوریتم‌های فرابتکاری و تولیدات پراکنده است.

Archive of SID

www.SID.ir