



اولین کنفرانس انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران

The First Iranian Conference on Renewable Energies and Distributed Generation
ICREDG 2010



روشی جدید به منظور تعیین ظرفیت نیروگاه های بادی با کمک FCM و زنجیره گسسته مارکوف

حسین افراخته، یاسر بستانی املشی

این منابع در سال های اخیر رشد چشمگیری پیدا کرده است. تحقیقات نشان می دهد تا سال 2010 بیش از 20% تولید انرژی الکتریکی جهان را تولیدات پراکنده تشکیل خواهد داد [3]. به طور کلی هر نوع تولید انرژی در ظرفیت های نسبتا کم در محل مصرف یا نزدیک آن بدون در نظر گرفتن تکنولوژی مورد استفاده در پروسه تولید آن، نوعی تولید پراکنده محسوب می شود [4]. از مزایای استفاده از این منابع در سیستم های قدرت می توان به مواردی از جمله کاهش هزینه های انتقال، کاهش تلفات، آزادسازی ظرفیت فیدرها، کاهش آلودگی محیط زیست و بهبود قابلیت اطمینان سیستم اشاره کرد [5]. تکنولوژی مورد استفاده در تولیدات پراکنده شامل منابع تجدید پذیر و تجدیدناپذیر انرژی است. از منابع تجدید پذیر انرژی می توان به سلول های فتوولتائیک، توربین های آبی کوچک، انرژی زمین گرمایی و توربین های بادی اشاره کرد. پیل های سوختی، توربین های گازی کوچک و موتورهای احتراق داخلی نیز از جمله منابع تجدیدناپذیر انرژی هستند [6]. آژانس ها و اتحادیه های انرژی، تعاریف مختلفی از DG را ارائه کرده اند که عمده تفاوت آنها در، میزان توان خروجی این منابع است [7]. همچنین، منابع DG را در مقیاس های کوچک، متوسط و بزرگ دسته بندی می کنند [2]. بدیهی است، استفاده از انرژی های تجدید پذیر به دلیل پاک بودن و در دسترس پذیری آن، اهمیت روزافزونی پیدا کرده است. توربین های بادی، نیز یکی از انواع انرژی های تجدید پذیر است که به سرعت در حال گسترش است. استفاده از انرژی باد برای تامین انرژی الکتریکی یکی از مباحث مهم تولیدات پراکنده است. از آنجایی که باد قابل ذخیره نبوده و راندمان انرژی برداشت شده از آن، بسیار کم است، لذا

چکیده - در این مقاله، روشی جدید برای تعیین ظرفیت نیروگاه های بادی ارائه شده است. مطالعه انرژی باد در راستای نصب مزارع بادی به دلیل تغییرات اتفاقی سرعت باد در مناطق مختلف همواره در حال تغییر است. در این مقاله با الگوریتم خوشه بندی فازی FCM (Fuzzy C-Means)، سرعت باد به چند سطح دسته بندی شده و توان چند سطحی خروجی این نیروگاه ها با استفاده از زنجیره گسسته مارکوف به دلیل تغییرات اتفاقی سرعت باد بدست می آید.

واژه های کلیدی - زنجیره گسسته مارکوف، سرعت باد، نیروگاه های بادی، FCM (fuzzy c-means)

1- مقدمه

هدف اساسی سیستم های قدرت، فراهم نمودن توان الکتریکی ارزان و قابل اطمینان به مصرف کنندگان است [1]. در یک سیستم قدرت حدود 13% توان در مسیر تولید به مصرف تلف می شود. علی رغم وجود تلفات در تمامی بخش های تولید، انتقال و توزیع سیستم قدرت، حدود 75% این تلفات به بخش توزیع اختصاص دارد که یکی از علل این امر، بالا بودن جریان خطوط به دلیل پایین بودن ولتاژ در شبکه های توزیع و شعاعی بودن آن است [2]. وجود تلفات در سطح زیاد، همواره یکی از مشکلات عمده سیستم های قدرت بوده که زیاد بودن فاصله نقاط تولید و مصرف از مهمترین علل آن است [2]. یکی از روش های موثر در کاهش تلفات توان در خطوط، استفاده از منابع تولیدات پراکنده (DG) است. استفاده از

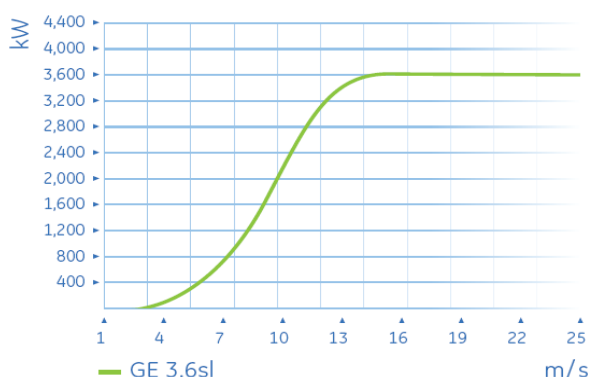
حسین افراخته، دانشکده فنی - دانشگاه گیلان، رشت، کد پستی 3756-41635

E-Mail: ho_afraakte@guilan.ac.ir

یاسر بستانی املشی، دانشکده فنی - دانشگاه گیلان، کد پستی 3756-41635

E-Mail: yaser.bostani@yahoo.com

نامی آن از، پارامترهای تعیین کننده توان باد هستند. این مقادیر در شکل (1) به ترتیب 3/5، 25 و 13 متر بر ثانیه است.



شکل (1) - منحنی توان یک توربین باد

3- الگوریتم خوشه بندی FCM

به منظور تشریح روش خوشه بندی، مجموعه ای از داده های $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ مد نظر قرار می گیرد. هدف خوشه بندی فازی، دسته بندی داده ها به C خوشه است که به صورت یک ماتریس $U = [u_{ik}]_{C \times n}$ بیان می شود که در آن u_{ik} درجه عضویت و تعلق داده k به خوشه C است که بصورت زیر بیان می شود:

$$0 \leq m_{ik} \leq 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^c m_{ik} = 1 \quad (4)$$

$$0 < \sum_{k=1}^n m_{ik} \leq n \quad (5)$$

$$k=1,2,\dots,n \text{ و } i=1,2,\dots,c$$

که در آن، i تعداد خوشه ها و k تعداد داده ها است. همچنین، 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 [12].

$$J(p) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c [m_{ik}]^m \|x_k - V_i\|^2 \quad (6)$$

که در آن:

m : عددی بزرگتر از یک است که میزان درجه عضویت

را

کنترل می کند.

X_k : بردار داده ها است.

مطالعه انرژی باد در راستای نصب و احداث مزارع بادی بسیار مهم خواهد بود. سرعت باد در مناطق مختلف، همواره در حال تغییر است. از طرف دیگر، استفاده از نیروگاه های بادی به عنوان یکی از منابع تولید پراکنده جهت نیل به مزایای مورد اشاره این تولیدات، مستلزم استفاده از روشی برای تخمین قابل قبولی از توان خروجی نیروگاه های بادی است. در این مقاله، با استفاده از الگوریتم خوشه بندی فازی FCM، داده های مربوط به سرعت باد در یک منطقه به چند سطح دسته بندی شده و با استفاده از مدل زنجیره گسسته مارکوف، توان چند سطحی احتمالی خروجی این نیروگاه ها برآورد می شود. بدیهی است چنانچه میزان قابل استحصال واحدهای بادی با عدم قطعیت کمتری همراه باشد، مکان یابی نصب و تعیین ظرفیت بهینه این واحدها از اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود. در این مقاله، پس از مروری بر انرژی جنبشی باد به عنوان یکی از انرژی های تجدیدپذیر، الگوریتم خوشه بندی فازی FCM بیان شده و با استفاده از این الگوریتم، داده های سرعت باد بطور مطلوب دسته بندی خواهد شد. سپس با کمک روش زنجیره گسسته مارکوف، مقدار سطح احتمالی سرعت باد و نیز توان خروجی و توان تجمعی این سطوح تعیین خواهد شد.

2- انرژی باد

مقدار انرژی جنبشی باد نسبت به زمان، بصورت تابعی از توان سوم سرعت باد بصورت رابطه (1) بیان می شود [5].

$$W = 1/2 \times \rho \times A \times V^3 \quad (1)$$

که در آن، ρ چگالی هوا بر حسب kg/m^3 ، A مساحت فضای ایجاد شده بوسیله چرخش پره های توربین بر حسب m^2 و V سرعت باد بر حسب m/s است. در عمل، با استفاده از توربین های بادی مدرن، حداکثر 45% از توان فوق به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. با استفاده از رابطه (2)، ماکزیمم توان قابل استخراج از انرژی باد را می توان بصورت زیر بدست آورد.

$$W_{out} = 1/2 \times C_p \times \rho \times A \times V^3 \quad (2)$$

که در آن C_p ، ضریب بهره ژنراتور و گیربکس است [3].

شکل (1)، منحنی توان توربین های بادی مدرن GE 3.6 MW را نشان می دهد. در این منحنی، حداقل و حداکثر سرعت و مقدار

مقادیر آهنگ‌های گذر از یک حالت (یک خوشه) به حالت دیگر (خوشه دیگر) را می‌توان با استفاده از رابطه (7) بدست آورد [2].

$$\lambda_{ij} = \frac{\text{تعداد تغییر حالت از } i \text{ به } j}{\text{کل زمانی که سیستم در حالت } i \text{ است}} \quad (7)$$

برای بدست آوردن احتمال حدی هر یک از حالت‌ها (خوشه‌ها)، روابط زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$I_{11}p_1 + I_{12}p_2 + I_{13}p_3 + I_{14}p_4 = p_1 \quad (8)$$

$$I_{21}p_1 + I_{22}p_2 + I_{23}p_3 + I_{24}p_4 = p_2 \quad (9)$$

$$I_{31}p_1 + I_{32}p_2 + I_{33}p_3 + I_{34}p_4 = p_3 \quad (10)$$

$$I_{41}p_1 + I_{42}p_2 + I_{43}p_3 + I_{44}p_4 = p_4 \quad (11)$$

از طرفی دیگر، با توجه به دسته‌بندی کل داده‌ها به چهار حالت، مجموع احتمال وقوع این حالت‌ها مطابق رابطه (12) برابر یک خواهد بود [3].

$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1 \quad (12)$$

5- مطالعات موردی

به منظور ارزیابی قابلیت‌های روش پیشنهادی در تعیین توان قابل استحصال توربین‌های بادی، مقادیر متعدد اندازه گرفته شده سرعت باد مندرج در سایت اطلس بادی کشور¹ در دوره‌های زمانی ساعت، روز و هفته خوشه‌بندی می‌شود. در نهایت، بر اساس روش پیشنهادی مقدار توان الکتریکی و مکانیکی قابل استحصال از این داده‌ها تعیین خواهد شد.

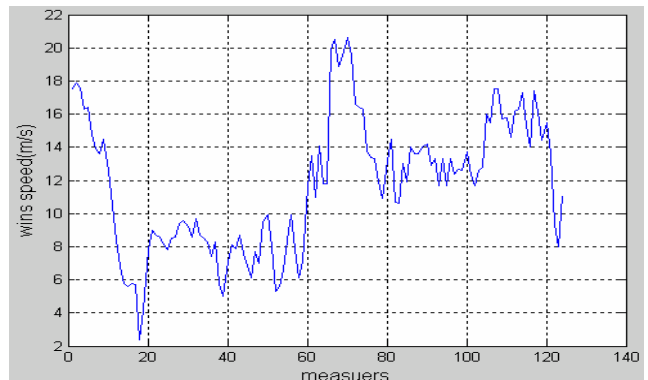
5-1- مطالعه موردی اول

در این مطالعه، داده‌های مربوط به سرعت باد در منطقه چالدران مربوط به یک بازه زمانی 24 ساعت مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از روش ارائه شده، این داده‌ها به 4 دسته خوشه‌بندی خواهند شد. شکل (4)، نتیجه بدست آمده از خوشه‌بندی داده‌های سرعت باد به 4 دسته در بازه زمانی 24 ساعت به را نشان می‌دهد.

V_k : مرکز خوشه نام است. و $\|x_k - V_i\|^2$ نیز فاصله اقلیدسی بین بردار داده‌ها و مراکز خوشه‌ها است.

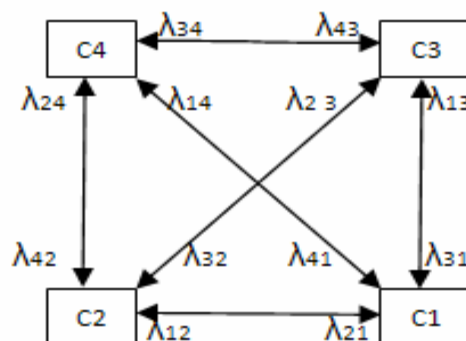
4- مدل چند حالت زنجیره مارکوف:

شکل (2)، منحنی مقادیر اندازه گرفته شده سرعت باد در بازه‌های زمانی 10 دقیقه مربوط به یک دوره زمانی 24 ساعته را نشان می‌دهد.



شکل (2) - منحنی مقادیر اندازه گرفته شده سرعت باد در بازه‌های زمانی مختلف

چنانچه بیان شد، یکی از روش‌های کاربردی برای ارزیابی و تحلیل داده‌ها، دسته‌بندی آنها با الگوریتم خوشه‌بندی FCM است. با این روش می‌توان داده‌های مربوط به سرعت ثبت شده باد را به چند خوشه دسته‌بندی کرد. سپس با استفاده از فرآیند زنجیره گسسته مارکوف، مقدار احتمال حدی حالت‌ها و مقادیر آهنگ گذر بین آنها (I_{ij}) را بدست آورد. قابل ذکر است، برای اعمال زنجیره گسسته مارکوف به مسئله، باید مقادیر احتمالی حدی هر یک از خوشه‌های مربوط به سرعت باد و آهنگ گذر بین خوشه‌ها را بدست آوریم. شکل (3)، دیاگرام حالت زنجیره مارکوف داده‌های فوق را نشان می‌دهد.

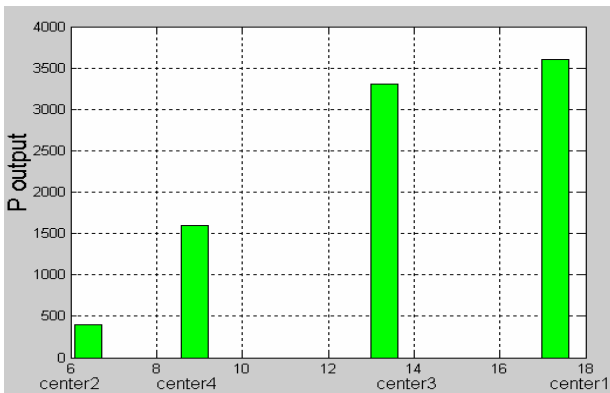


شکل (3) - دیاگرام چند حالت زنجیره مارکوف داده‌های سرعت باد مطابق شکل (2)

جدول 2- نتایج شبیه سازی مطالعه موردی اول

حالت	مراکز خوشه ها (m/s)	احتمال حالت	توان مطلوب (Kw)	توان تجمعی (Kw)
1	17/3	0/18	3600	3600
2	6/4	0/11	400	4000
3	13/3	0/37	3300	7700
4	8/9	.34	1600	9300

همچنین، شکل (6) مقادیر توان قابل استحصال توربین بصورت تابع توزیع احتمالی بر حسب حالت های دیاگرام زنجیره گسسته مارکوف را نشان می دهد.

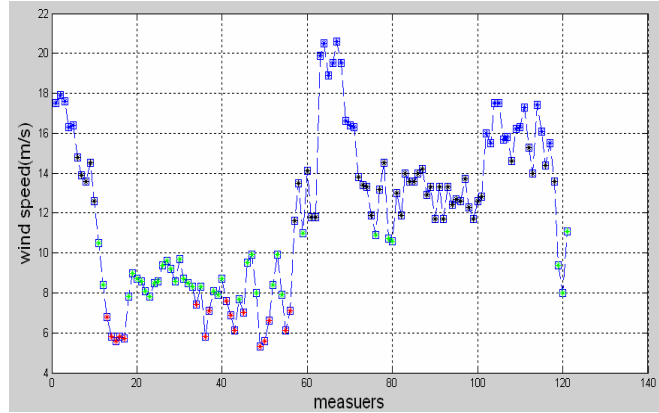


شکل (6) - توان قابل استحصال از مطالعه موردی اول

5-2- مطالعه موردی دوم

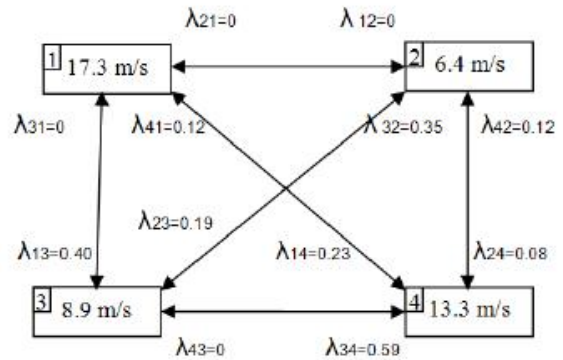
در این شرایط، داده های مربوط به سرعت باد در منطقه مذکور در مدت زمان بیشتری (بمدت یک هفته) مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از روش خوشه بندی FCM، این داده را به 4 دسته تقسیم کرده و احتمال حدی و آهنگ های گذر بین حالت ها (خوشه ها) و توان خروجی قابل استحصال در هر سطح از سرعت باد با استفاده از روابط (7) و (8) بدست آمده است.

شکل (7) نتیجه خوشه بندی داده های سرعت باد به 4 دسته در منطقه مذکور در بازه زمانی یک هفته را نشان می دهد.



شکل (4) - دسته بندی سرعت باد به 4 دسته در مطالعه موردی اول

با استفاده از مقادیر بدست آمده مراکز خوشه ها، دیاگرام زنجیره چندحالتی مارکوف مطابق شکل (5) تشکیل خواهد شد.



شکل (5) - دیاگرام چند حالتی زنجیره مارکوف برای مراکز خوشه های مربوط به داده های سرعت باد در مطالعه موردی اول

چنانچه مشاهده می شود، مراکز خوشه های 1 الی 4 به ترتیب 17.3 m/s، 6.4 m/s، 17.3 m/s، 8.9 m/s می باشد. جدول (1) مقادیر آهنگ گذر بین حالت های دیاگرام فوق را نشان می دهد.

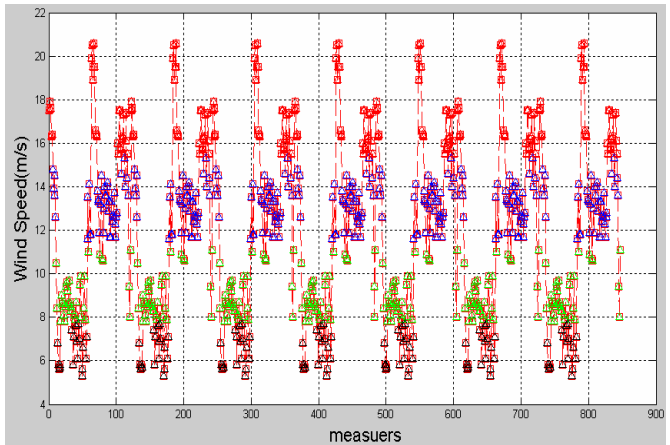
جدول (1) - نرخ تغییر حالت در دیاگرام (5)

نرخ تغییر (I_{ij})	حالت 1	حالت 2	حالت 3	حالت 4
حالت 1	0/73	0	0/40	0/23
حالت 2	0	0/72	0/19	0/08
حالت 3	0	0/35	0/59	0/59
حالت 4	0/12	0/12	0	0/77

در نهایت، مقدار توان خروجی توربین های بادی برای چهار حالت فوق با استفاده از رابطه (2) تعیین شده که نتایج بدست آمده با روش FCM در جدول (2) داده شده است.

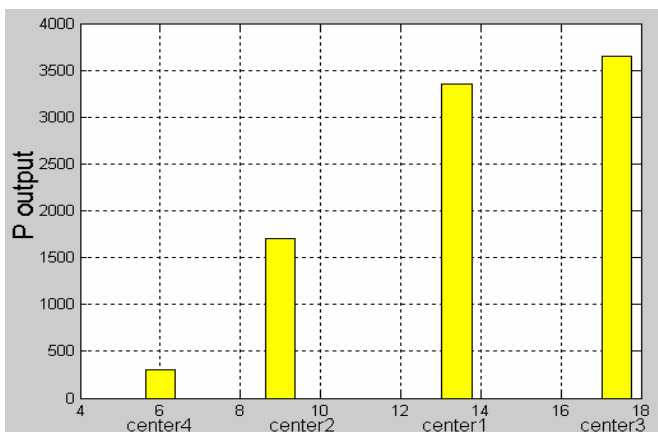
جدول 4- نتایج شبیه سازی مطالعه موردی دوم

حالت	مراکز خوشه ها (m/s)	احتمال حالت	توان مطلوب (Kw)	توان تجمعی (Kw)
1	13/4	0/15	3350	3350
2	9	0/14	1700	5050
3	17/4	0/34	3650	8700
4	6	.37	300	9000



شکل (7) - دسته بندی سرعت باد به 4 دسته در مطالعه موردی دوم

در این شرایط، با استفاده از مقادیر بدست آمده مراکز خوشه ها، دیاگرام زنجیره چند حالت مارکوف مطابق شکل (8) تشکیل می شود.

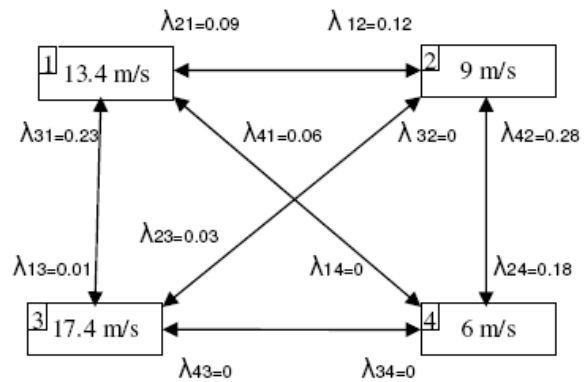


شکل (9) - توان قابل استحصال از مطالعه موردی دوم

در شکل (9) نیز، توان قابل استحصال در این شرایط، برحسب حالت های دیاگرام زنجیره گسسته مارکوف شکل (8) را نشان می دهد.

6- نتیجه گیری

هدف اصلی این مقاله، استفاده از ترکیب الگوریتم خوشه بندی فازی FCM و زنجیره گسسته مارکوف برای بدست آوردن تخمینی قابل قبول از توان خروجی نیروگاه های بادی است. این مسئله از آنجا اهمیت دارد که سرعت باد همواره در حال تغییر بوده و بدست آوردن توان خروجی این نیروگاه مستلزم استفاده از روش های کاربردی است. در این مقاله، با استفاده از الگوریتم خوشه بندی FCM، سرعت باد را به چند سطح تقسیم بندی کرده و با استفاده از زنجیره چند حالت گسسته مارکوف، احتمال حدی هر حالت، توان خروجی هر سطح و در نهایت توان تجمعی قابل استخراج از نیروگاه بدست می آید.



شکل (8) - دیاگرام چند حالت زنجیره مارکوف برای مراکز خوشه های مربوط به داده های سرعت باد در مطالعه موردی دوم

نتایج بدست آمده برای نقاط مراکز خوشه ها به ترتیب 13.4 m/s، 9 m/s، 17.4 m/s، 6 m/s بوده و جدول (3) نیز، مقادیر آهنگ گذر بین حالت های دیاگرام فوق را نشان می دهد.

جدول (3) - نرخ تغییر حالت در دیاگرام (8)

نرخ تغییر (I_{ij})	حالت 1	حالت 2	حالت 3	حالت 4
حالت 1	0/88	/12	0/01	0
حالت 2	0/09	0/72	0/03	/18
حالت 3	/23	0	/77	0
حالت 4	/06	/28	0	0/66

جدول (4)، مقدار توان خروجی و نیز مقدار توان تجمعی در این مطالعه را نشان می دهد.

7- مراجع

- [1] P. Wang and R. Bilinton, "Reliability Benefit Analysis of adding WTG to a Distribution Systems", Electric Power Systems Research, Vol. 57, pp. 195-204, 2001.
- [2] C. L. T. Borges and J. P. Galvao, "Evaluation of wind Energy Sources Influence on Composite Generation and Transmission Systems Reliability", Proceedings of the Power Systems Computation Conference, Liege, Belgium, August 2005.
- [3] R. Bilinton and R. Allan, Reliability Evaluation of Power Systems, Plenum Press- New York, Second Edition, 1996.
- [4] C. Singh, Y. Kim, "An Efficient Technique for Reliability Analysis of Power Systems Including Time Dependent Sources", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, August 1988.
- [5] W. S. Andrade and C. L. T. Borges, "Modeling Reliability Aspects of Distributed Generation Connected to Distribution Systems", Proceedings of IEEE PES General Meeting, Oct. 2006.
- [6] G. Pepermans and J. Driesen and D. Belmans, "Distributed Generation: Definition, Benefits and Issues", Energy Policy, pp. 787-798, 2005.
- [7] A. P. Leite and C. L. T. Borges, D. M. Falcao, "Probabilistic wind Farms Generation Model for Reliability Studies Applied to Brazilian Sites", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, pp. 1493-1501, 2006.
- [8] P. Wang and R. Bilinton, "Distribution Systems Reliability Cost/ Worth Analysis Using Analytical and Sequential Simulation Techniques", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, Nov, 1998.
- [9] R.J. Hathaway and J. C. Bezdek, "Recent convergence result for fuzzy c-means clustering algorithms", Journal of Classification, 5(1988), 237-247.
- [10] T. Gu and B. Dubuisson, "Similarity of classes and fuzzy clustering", Fuzzy Sets and systems, 340(2002), 213-221.
- [11] E. Mehdizafeh, S. Sadi-Nezhad, "Optimization of Fuzzy Clustering Criteria by a Hybrid Pso and Fcm clustering Algorithm", Iranian Journal of Fuzzy systems Vol. 5, No. 3, (2008) pp. 1-14.
- [12] محمد تشنه لب، نیما صفار پور، داریوش آفیونی، " سیستم های فازی و کنترل فازی"، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، 1378.