

ارزیابی قابلیت اطمینان پستها به کمک مجموعه‌های فازی

علیرضا حاتمی^۱، محمود رضا حقی فام^۲، سید حسن موسوی^۳

۳ و ۱: دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲: دانشگاه تربیت مدرس

ایران

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان پستها، مجموعه‌های فازی

چکیده

پستهای فوق توزیع و انتقال نقشی مهم در عملکرد صحیح سیستم قدرت بر عهده دارند. یکی از معیارهای مهم در ارزیابی عملکرد پستها- چه در مرحله طراحی و چه در مرحله بهره برداری- مطالعات قابلیت اطمینان می‌باشد. بعلت دسترس پذیری بالای تجهیزات سیستم قدرت، آمار اندکی از عملکرد و رفتار آنها موجود است به همین دلیل داده‌های لازم برای مطالعات قابلیت اطمینان پستها از دقت و قطعیت کافی برخوردار نمی‌باشند.

در این مقاله برای مدل نمودن عدم قطعیت داده‌های ورودی، استفاده از مجموعه‌های فازی پیشنهادی شده است و با انتخاب تابع عضویت مناسب برای داده‌های ورودی، الگوریتم محاسبات فازی قابلیت اطمینان پستها ارائه شده است. در انتها نیز روش پیشنهاد شده روی پست ۶۳/۲۰kV شماره ۳ همدان اجراء شده است که نتایج بدست آمده بیانگر موثر و کارا بودن روش در برخورد با عدم قطعیت داده‌های ورودی است.

۱-مقدمه

پستهای فوق توزیع و انتقال سیستمهای قدرت نقش حیاتی در عملکرد صحیح سیستم بر عهده دارند زیرا نقاط اتصال بین سیستمهای انتقال و سیستمهای توزیع می‌باشند و در صورت خرابی یا عدم عملکرد درست آنها، منطقه وسیعی از مشترکین تحت تاثیر قرار می‌گیرند. یکی از ابزارهای موثر در ارزیابی چگونگی عملکرد پستها- چه در مرحله طراحی و چه در مرحله بهره برداری- مطالعات قابلیت اطمینان پستها می‌باشد. بعلت دسترس پذیری بالای تجهیزات سیستمهای قدرت - بخصوص تجهیزات پستها- آمار بسیار کمی از رفتار تجهیزات آنها موجود است. [۱] [۲]؛ بهمین علت داده‌های لازم برای مطالعات قابلیت اطمینان پستها (متوسط نرخ خرابی و تعمیر عناصر و ...) از دقت و قطعیت کافی برخوردار نمی‌باشند. عدم دقت و قطعیت داده‌های ورودی سبب عدم دقت و قطعیت نتایج و اندیسه‌های بدست آمده از مطالعات قابلیت اطمینان

حقیقی در بازه $[0 \ 1]$ تعریف می‌شود. به عبارت دیگر تابع عضویت بصورت رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$\mu: X \rightarrow [0 \ 1] \quad (1)$$

و مجموعه فازی A با رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$A = \{ x, \mu_A(x), x \in X \} \quad (2)$$

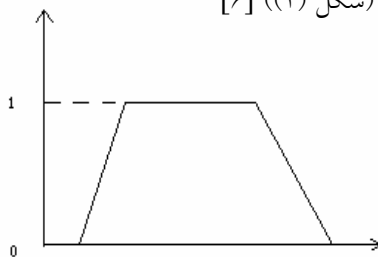
در رابطه فوق x مجموعه مرجع $(A \subset X)$ ، $\mu_A(x)$ درجه عضویت متغیر x به مجموعه A است.

۳- توابع عضویت داده‌های ورودی

در مطالعات قابلیت اطمینان پستها لازم است متوسط نرخ خرابی و تعمیر عناصر، متوسط زمان تعمیر و سوییچینگ عناصر و در مورد تجهیزات حفاظتی احتمال عملکرد صحیح عناصر مشخص باشد.

با توجه به آمار اندکی که از عملکرد تجهیزات وجود دارد، تعیین مقدار واقعی و قطعی مقادیر فوق ممکن نمی‌باشد، برای مدل نمودن عدم قطعیت ذکر شده، بهتر است پارامترهای ذکر شده با یک عدد فازی بیان شوند. یک عدد فازی مناسب برای این منظور عدد فازی دوزنقه ای (مثالی) است زیرا در توابع دوزنقه ای یک محدوده از نرخ خرابی، تعمیر و یا احتمال عملکرد تجهیزات حفاظتی دارای امکان حداکثر می‌باشد و این با واقعیت موجود کاملاً منطبق است همچنین با تنظیم شیب و نحوه تغییرات ضلعهای طرفین دوزنقه، می‌توان اطلاعات موجود در داده‌های ورودی را به نحو مناسبی

مدل نمود (شکل (۱)) [۶]



شکل (۱): تابع عضویت دوزنقه ای

می‌شود. برای غلبه بر مشکل فوق و مشکلات مشابه استفاده از مجموعه‌های فازی و تئوری امکان در مطالعات قابلیت اطمینان سیستمهای مهندسی پیشنهاد شده است [۳] [۴]. در سیستمهای قدرت نیز تا کنون مطالعات زیادی در زمینه استفاده از مجموعه‌های فازی و تئوری امکان در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستمهای تولید، انتقال و توزیع الکتریکی صورت گرفته است. [۲] [۵].

در این مقاله به کمک مجموعه‌های فازی برای مدل نمودن عدم قطعیت داده‌های ورودی، روشی جدید برای ارزیابی قابلیت اطمینان پستها ارائه می‌شود. ابتدا تابع عضویت مناسبی برای مدل نمودن عدم قطعیت داده‌های لازم برای مطالعات قابلیت اطمینان پستها ارائه می‌شود سپس با توجه به شرایط و فرضیات موجود مبنای مناسبی برای استفاده از مجموعه‌های فازی در مطالعات قابلیت اطمینان پستها برگزیده می‌شود و با توجه به مبنای انتخاب شده روابط بدست آمده از مدل مارکوف برای محاسبات قابلیت اطمینان مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و الگوریتم محاسبات فازی قابلیت اطمینان ارائه می‌شود و در ادامه روشی برای دفازه نمودن اندیسهای محاسبه شده بیان می‌شود. در انتها با استفاده از روش ارائه شده به ارزیابی قابلیت اطمینان پست $63/20 \text{ kV}$ شماره ۳ همدان پرداخته می‌شود.

۲- مجموعه‌های فازی

مجموعه‌های معمولی دارای مرز مشخصی می‌باشند. بنابراین تردیدی در تعلق یا عدم تعلق یک عضو به مجموعه وجود ندارد و یک عضو یا تعلق به مجموعه هست یا نیست.

برای معرفی پارامترهای غیر دقیق و غیر قطعی لازم است تعریف فوق تعمیم داده شود بطوریکه مرزهای مجموعه قابلیت انعطاف داشته باشد. بنابراین درجه تعلق یک عضو به مجموعه بجای صفر یا یک، عددی

۴- الگوریتم محاسبات

۴-۱- انتخاب مبنای مناسب

مطالعات قابلیت اطمینان کلاسیک بر مبنای دو فرض استوار است:

۱- فرض احتمالی که بیان می‌دارد رفتار عنصر بطور کامل احتمالی است.

۲- فرض دو حالتی بودن که بیان می‌دارد عنصر یا کاملاً سالم است و در حال انجام وظیفه یا خراب است و نمی‌تواند وظیفه پیش‌بینی شده را انجام دهد.

با در نظر گرفتن مجموعه‌های فازی و تئوری امکان در مطالعات قابلیت اطمینان سیستم‌های مهندسی چهار مبنای برای مطالعات قابلیت اطمینان متصور است [۴].

۱- PROBIST: قبول چهارچوب احتمال و داشتن حالات قطعی (قابلیت اطمینان کلاسیک)

۲- PROFUST: قبول چارچوب احتمال و داشتن حالات فازی

۳- POSBIST: قبول چارچوب امکان و داشتن حالات قطعی

۴- POSFUST: قبول چهارچوب امکان و داشتن حالات فازی

از میان مبنای فوق مناسبترین مبنای برای مطالعات قابلیت اطمینان پستها، PROFUST می‌باشد زیرا رفتار عنصر با تئوری احتمال قابل بیان است و حالات سیستم (عملکرد درست یا عدم عملکرد صحیح) فازی است به عبارت دیگر پارامترهای قابلیت اطمینان عناصر (مانند متوسط نرخ خرابی و ...) بجای یک عدد یک مجموعه فازی است، در این مبنای با توجه به احتمالی بودن رفتار عناصر - روابط محاسباتی قابلیت اطمینان بدست آمده از مدل مارکوف بقوت خود باقی خواهد بود زیرا در مدل مارکوف فرض بر این است که رفتار

عناصر کاملاً احتمالی است و این فرض کاملاً حفظ شده است، تنها تفاوتی که پیدا شده است این است که احتمال عملکرد درست یا خرابی عناصر بجای یک عدد تک مقداری یک تابع امکان (عددی فازی) است. بنابراین هنگام عملیات جبری روی اعداد فازی می‌بایستی دقت نمود تا از انتشار عدم قطعیت غیر ضروری پرهیز نمود. مثلاً برای محاسبه زمان لازم برای تعمیر دو عنصر موازی (رابطه (۳)) بایستی از رابطه (۴) استفاده نمود.

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (3)$$

$$r = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}} \quad (4)$$

۴-۲- الگوریتم محاسبات قابلیت اطمینان پستها

ارزیابی قابلیت اطمینان پستها معمولاً به دو روش صورت می‌گیرد.

۱- روش مونت کارلو

۲- روش آنالیز مدخظا

در این مقاله از روش آنالیز مدخظا استفاده می‌شود. در این روش ابتدا کات ستهای مینیمال متناظر با تقار بار محاسبه می‌شود، سپس با اعمال روابط بدست آمده از مدل مارکوف اندیسه‌های قابلیت اطمینان متناظر با هر کات ست و در نتیجه کل سیستم بدست می‌آید. از آنجائیکه متغیرهای ظاهر شده در روابط، توابع امکان (اعداد فازی) هستند بایستی با انجام عملیات جبری روی اعداد فازی، اندیسه‌های فازی را محاسبه نمود. عملیات جبری روی اعداد فازی را به دو طریق می‌توان انجام داد.

۱- روش تقریبی: این روش هنگامی قابل اعمال است که توابع امکان در نظر گرفته شده به شکل اعداد فازی

$$\tilde{A}_\alpha \div \tilde{B}_\alpha = |a_{1\alpha}, b_{2\alpha}, a_{2\alpha}, b_{1\alpha}| \quad (12)$$

۵- فازی زدایی شاخصهای قابلیت اطمینان

اگر چه شاخصهای فازی بدست آمده اطلاعات بسیار خوبی از چگونگی تغییرات اندیسها و درجه امکان هر یک از آنها ارائه می‌دهد اما برای مقایسه طرحهای مختلف (در مرحله طراحی و برنامه ریزی سیستم) و... بایستی اندیسها را دفازه نمود. برای دفازه نمودن اندیسهای خروجی روشهای زیادی وجود دارد یکی از مناسبترین روشها، روش گرانیگاه (COA) می‌باشد. در این روش متغیر دفازه شده از رابطه ذیل محاسبه می‌شود.

$$x^* = \frac{\int x\mu(x)dx}{\int \mu(x)dx} \quad (13)$$

۶- مطالعه و بررسی یک سیستم نمونه

سیستم انتخاب شده برای مطالعه، پست ۶۳/۲۰ kv فوق توزیع شماره ۳ همدان می‌باشد که در حال بهره برداری است. دیاگرام تک خطی ساده شده پست در شکل (۲) رسم شده است. توابع عضویت نرخهای خرابی و... تجهیزات در جدول (۱) بیان شده است. این اطلاعات با استفاده از آمارهای موجود در پست در ۱۰ سال گذشته و پستهای مشابه موجود در سطح شهر بدست آمده است [۹]. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، توابع فازی در نظر گرفته برای پارامترهای ورودی اعداد فازی دوزنقه ای (مثلثی) می‌باشند؛ برای مثال تابع عضویت نرخ خرابی ترانس بصورت شکل (۳) می‌باشد. عملیات تعمیر و نگهداری در پست یاد شده بصورت برنامه‌ریزی شده انجام می‌شود، جدول (۲) متوسط نرخ و زمان تعمیر و نگهداری برنامه ریزی شده را نشان می‌دهد.

دوزنقه ای یا مثلثی باشند. مزیت این روش سرعت انجام عملیات جبری است و در اغلب موارد نیز از دقت قابل قبول برخوردار است [۷] در صورتی که $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ و $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ دو عدد فازی دوزنقه ای مثبت باشند. عملیات جبری روی آنها بصورت ذیل است.

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \quad (5)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1) \quad (6)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} \cong (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4) \quad (7)$$

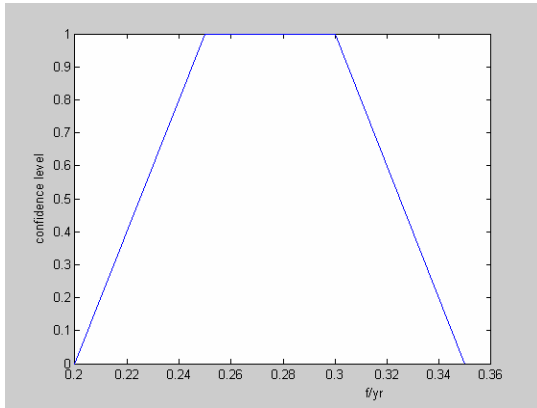
$$\tilde{A} \div \tilde{B} \cong (a_1 / b_4, a_2 / b_3, a_3 / b_2, a_4 / b_1) \quad (8)$$

۲- روش مبتنی بر محاسبات فاصله اطمینان: در این روش به ازاء درجه عضویت‌های گوناگون $-\alpha, (0 \leq \alpha \leq 1)$ برش (فاصله اطمینان) متناظر با هر تابع امکان (عدد فازی) پارامترهای ورودی بدست می‌آید، سپس با انجام اعمال جبری روی فاصله‌های اطمینان، $-\alpha$ برش متناظر با اندیس خروجی بدست می‌آید. با تکرار روش برای درجه عضویت‌های گوناگون می‌توان شاخصهای فازی سیستم را محاسبه نمود. مزیت روش در این است که اعداد فازی پارامترهای ورودی هر شکل دلخواهی می‌توانند داشته باشند و نتایج بدست آمده از دقت بیشتری نسبت به روش اول برخوردار است ولی حجم محاسبات در این روش بسیار بیشتر است [۸]. اعمال جبری روی فاصله‌های اطمینان $\tilde{B}_\alpha = [b_{1\alpha}, b_{2\alpha}]$ و $\tilde{A}_\alpha = [a_{1\alpha}, a_{2\alpha}]$ بصورت ذیل می‌باشد.

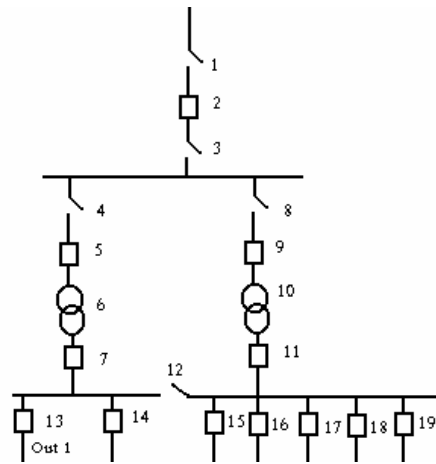
$$\tilde{A}_\alpha + \tilde{B}_\alpha = |a_{1\alpha} + b_{1\alpha}, a_{2\alpha} + b_{2\alpha}| \quad (9)$$

$$\tilde{A}_\alpha - \tilde{B}_\alpha = |a_{1\alpha} - b_{2\alpha}, a_{2\alpha} - b_{1\alpha}| \quad (10)$$

$$\tilde{A}_\alpha \times \tilde{B}_\alpha = [a_{1\alpha} \cdot b_{1\alpha}, a_{2\alpha} \cdot b_{2\alpha}] \quad (11)$$



شکل (۳): تابع امکان نرخ خرابی ترانس



شکل (۲): دیاگرام تک خطی پست ۲۰/۶۳ شماره ۳ همدان

جدول (۱): توابع عضویت پارامترهای ورودی

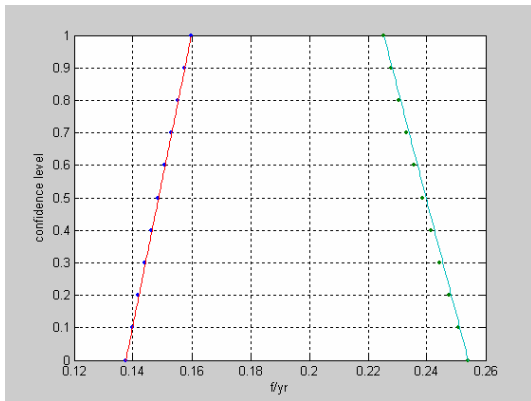
Component	Transformer	Breaker 63kv	Breaker 20kv	Sectionlizer
Failure rate (f/yr)	(0.2 0.25 0.3 0.35)	(0.02 0.025 0.03 0.035)	(0.03 0.035 0.05 0.055)	(0.004 0.006 0.008)
Active failure rate (f/yr)	(0.2 0.25 0.3 0.35)	(0.012 0.015 0.018 0.021)	(0.018 0.02 0.03 0.033)	(0.001 0.0015 0.002)
Maintenance rate (f/yr)	(1 1.2 1.4)	(1 1.3 1.6)	(1 1.5 2)	(1 1.5 2)
Repair time (hrs)	(36 48 72 84)	(4 4.5 5 5.5)	(4 4.5 5 5.5)	(2.5 3 3.5)
Switching time (hrs)	(1.5 2 2.5 3)	(1 1.5 2 2.5)	(1 1.2 1.5 1.7)	(1 1.2 1.4)
Maintenance time (hrs)	(9 10 11 12)	(5 5.5 6.5 7)	(4 5 6 7)	(2.5 3 3.5)
Stuck Prob.	-	(0 0.01 0.02)	(0 0.01 0.02)	(0 0.015 0.03)

جدول (۲): توابع عضویت تعمیر و نگهداری برنامه ریزی شده

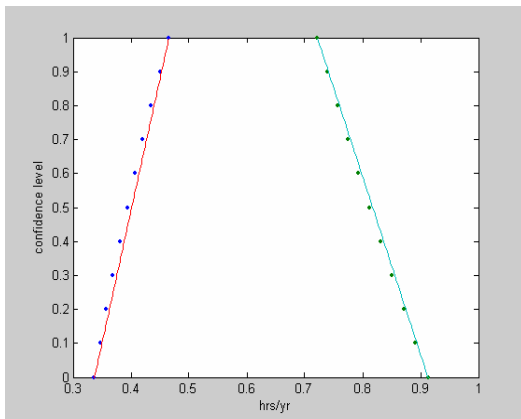
Component	Branch1: 8,9,10,11	branch 2: 4, 5, 6, 7
Maintenance rate (f/yr)	(1 1.5 2)	(1 1.5 2)
Maintenance time (hrs)	(12 13 14 15)	(12 13 14 15)

جدول (۳): مدهای خطای خروجی شماره ۱

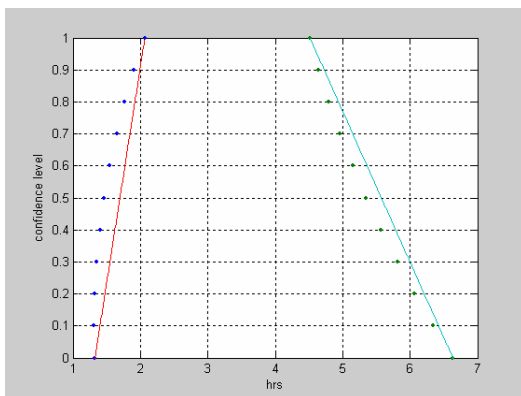
Order of outage	Total number	Component
1 St	4	1,2,3, 13
2nd	16	4+8, 4+9, 4+10, 4+11 5+8, 5+9, 5+10, 5+11 6+8, 6+9, 6+10, 6+11 7+8, 7+9, 7+10, 7+11
Active	7	12,14,15,16,17, 18, 19
Active+ Maintenance outage	8	4 +branch 1, 5 + branch 1 6 +branch 1,7+branch 1 8 +branch 2,9 + branch 2 10 + branch 2, 11 + branch2
Stuck + Active	2	7 + 6, 11 + 10



شکل (۴): تابع عضویت متوسط نرخ خرابی



شکل (۵): تابع عضویت متوسط عدم دسترس پذیری سالانه



شکل (۶): تابع عضویت متوسط زمان خروج

برای ارزیابی قابلیت اطمینان پستها- با فرض فازی بودن داده‌های ورودی - برنامه ای کامپیوتری نوشته شده است. این برنامه با استفاده از الگوریتم ارائه شده در [۱۰] کلیه مدهای خطای خروجی را محاسبه می‌کند. مدهای خطای خروجی محاسبه شده عبارتند از:

۱- خطای درجه اول و دوم و سوم

۲- خطای اکتیو درجه اول و دوم و سوم

۳- خطای همزمان اکتیو و غیراکتیو (از نوع درجه دو)

۴- خطای همزمان اکتیو یا غیراکتیو با خروج برنامه

ریزی شده یا برنامه ریزی نشده عناصر (از نوع

درجه دو)

۵- پدیده استاک تجهیزات حفاظتی و خطاهای اکتیو

درجه اول و دوم.

مدهای خطای خروجی شماره (۱) پست در جدول

(۳) بیان شده است. پس از تعیین کات ستهای مینیمال

شاخصهای فازی قابلیت اطمینان پست به دو روش

۱- روش تقریبی اعمال جبری اعداد فازی

۲- محاسبات بر مبنای فاصله اطمینان، محاسبه می‌شوند.

شکلهای (۴) و (۵) و (۶) به ترتیب توابع عضویت

متوسط نرخ خرابی (λ)، عدم دسترس پذیری سالانه

(U) و متوسط زمان خروج (T) خروجی شماره ۱

پست را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود هر

شکل شامل دو نمودار است: نمودار نقطه چین نتایج

بدست آمده بر مبنای محاسبات فاصله اطمینان و

نمودار دیگر بر مبنای روش تقریبی است. در صورتیکه

شاخصهای خروجی بدست آمده را دفازه نماییم.

مقادیر $U = 0/6556hrs / yr$, $\lambda = 0/199 f/yr$

بدست می‌آیند. $r = 4/101hrs$

۷- نتیجه گیری

مراجع

- 1- Dabois, D, and Prade, H., Fuzzy sets and systems, London, Academic Press, 1990.
- 2- El - Hawary, M.E., Electric Power application of fuzzy systems, IEE Press series ,1998.
- 3- Bastani, F.B., Chen, I.R. and Tsao T., "Reliability of systems with fuzzy-Failure Criterion", Proc. Annual Reliability and main tainability symposium, 1994, PP. 442-448.
- 4- Kai- Yuan, C., Chuan-Yuan, W. and Ming - Lian, Z., "Fuzzy variable as a Basis for a theory of fuzzy reliability in the possibility context", Fuzzy sets and systems (42) , 1991, PP.145-172.
- 5- Momoh, J.A., Ma, X.W. and Tomsovic K., "Overview and literature survey of fuzzy set theory in power systems", IEEE Trans. on Power Systems, vol.10, No.3, Aug. 1995, PP. 1676- 1690.
- 6- Podrycz, W., "Why traingular membership function", Fuzzy sas and systems, (64), 1994, pp.21-30.
- 7- Chen, S.M. "Fuzzy system reliability analysis using fuzzy number arithmetic operations", Fuzzy Sets and Systems (64), 1994, PP. 31-38.
- 8- Chen, C. H. and Mon. D. L., "Fuzzy system reliability analysis by interval of confidence", Fuzzy Sets and Systems (56), 1993, PP.29-35.
- ۹- حاتمی، ع.، موسوی، س.، «تحلیل فازی قابلیت اطمینان پستهای فوق توزیع و انتقال سیستمهای قدرت و محاسبه هزینه خروج»، طرح تحقیقاتی، گزارش فاز دوم، دانشگاه بوعلی سینا، ۱۳۸۲
- 10- Billinton, R., Lian, G., "A new teachnique for active minimal cut set selection used in substation reliability evaluation", Microelectron. Reliab., vol. 35, No. 5, 1995, PP. 797-805.

در این مقاله کاربرد نظریه مجموعه‌های فازی در ارزیابی قابلیت اطمینان پستها ارائه شد. برای مدل نمودن عدم قطعیت پارامترهای ورودی عدد فازی دوزنقه ای (مثلثی) پیشنهاد شد و پس از انتخاب مبنای مناسب برای مطالعات قابل اطمینان پستها، الگوریتم محاسبات بر مبنای روش آنالیز مدخطا ارائه شد و در انتها مطالعات عددی روی یک پست ۶۳/۲۰kV در حال بهره برداری انجام شد. نتایج حاصله نشان دهنده کارایی روش در مدل نمودن عدم قطعیتها پارامترهای ورودی و چگونگی تاثیر همزمان آنها بر اندیسهای خروجی است.