کاربرد منطق فازی در پیش بینی بار

حسن قوجه‌بکلو

دانشکده برق و کامپیوتر

دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

پیش بینی بار بدلیل اهمیت فوق العاده‌ای که در بهره برداری و گسترش سیستم دارد یکی از مباحثی است که از بدو پیدایش صنعت برق به آن توجه خاص نشان داده شده است. روشهای مختلف پیش بینی الساعه بر پایه برازش یک الگو به اندازه گیریها و سپس پیش بینی از روی الگوی بدست آمده قرار دارند. بدلیل وابستگی قابل توجهی که حداکثر بار یک ماه از سال با حداکثر بار ماه قبل و یا حتی با حداکثر بار همان ماه از سال قبل دارد الگوهای ساده برازش منحنی نمی‌توانند به خوبی الگوهای SARIMA[1] به اندازه گیریها برازش پیدا کرده و در نتیجه پیش بینی‌های الگوهای SARIMA به مراتب بهتر خواهند بود.

کار با الگوهای SARIMA نیز مشکلات فراوانی به همراه دارد. اگر از مسائل مربوط به تعیین درجه الگو صرفه نظر کنیم برآورد پارامترهای الگو از روش‌های پیچیده‌ای امکان پذیر است که هر چه بر تعداد اندازه گیریها افزوده می‌شود نیاز به حافظه کامپیوتر بیشتری داشته و با لطبع حجم محاسباتی زیادتری نیز خواهند داشت و در صورت فراهم آمدن اندازه گیریهای جدیدتر معمولاً تصحیح پارامترهای الگوهای

---

[1] Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average (SARIMA)

SARIMA امکان پذیرنبوده ومحاسبات باید از ابتدا تکرار شوند. مشکلات همگرائی وعدم‌توانایی درتصحیح پارامترها سبب می‌شودتا این الگوها را نتوان در سیستمهای SARIMA بکارگرفت.

ازطرفی منطق فازی که‌درسال ۱۹۶۵ توسط پروفسورلطفی‌زاده (استاددانشکده برق وکامپیوتردانشگاه‌برکلی) ارائه‌شدوانقلابی دررشته‌کنترل بپاکردباساختاری که‌داردمی‌توانددهمهٔ محسنات الگوهای SARIMA را پیاده‌سازی کرده‌ودرعین حال هم تصحیح پارامترهای آن بسادگی امکان پذیرباشدوهم‌مشکل همگرایی نداشته‌باشد این مقاله‌بطورعملی منطق‌فازی‌را در پیش بینی حداکثربارماها نه‌بکاربرده‌ودرمورد مسائل مطرحه‌بررسی می کند.

شرح مقاله

پس‌ازارائه‌تئوری منطق فازی توسط پروفسورلطفی زاده‌درسال ۱۹۶۵، این روش‌کاربردهای فراوانی دررشته‌های مختلف مهندسی پیداکرده‌وکاربردهای بسیاری نیزمی‌توان درآینده‌برای آن متصورشد [۱۲]. به‌علت تعدادزیادمقالات درزمینه کاربردهای منطق فازی درکنترل وروباتیک ذکرآنها دراین مقاله‌غیرعملی بوده وتنها جهت‌آشنائی با بعضی ازاین نوع کاربردها به‌مقاله‌همدانی [۱۳] اشاره می‌شود. درمرجع [۱۱] درموردکاربردمنطق فازی درسیستم های خبره‌توضیحاتی داده‌شده‌است وپیش بینی مؤلفه‌های باراکتیووباررراکتیونیزدرمرجع [۷] مورد بررسی قرارگرفته‌است که‌دربخش بعدی این مقاله‌بعدازآشنایی با تئوری منطق فازی درموردآن توضیح داده‌خواهدشد.

مختصری درموردمنطق فازی [۱،۲،۳]

اگر X مجموعه‌ای ازاشیاء باشد، یک مجموعه‌فازی به‌صورت زیرنوشته‌می‌شود

$$\tilde{A} = \left\{ (x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X \right\}$$

که‌درآن $\mu_{\tilde{A}}$ تابع امکان پذیری بوده‌وبه‌صورت زیرتعریف می‌شود

$$\mu_{\tilde{A}} : X \longrightarrow [0,1]$$

وهرگاه داشته باشیم

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 1 & x = a \\ 0 & \text{سایرجاها} \end{cases}$$

دراینصورت مجموعه‌فازی $\tilde{A}$ را "تکی" [1] بانقطه‌ویژه a وبا $\widetilde{ST}_a$ نمایش می دهیم. اگر $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ مجموعه‌های فازی روی اشیاء X باشندمی‌توان اشتراک دو مجموعه‌فازی $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ را بصورت

$$\mu_{\tilde{A}\cap\tilde{B}}(x) = Min\left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\right)$$

واجتماع دومجموعه‌فازی $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ را بصورت

$$\mu_{\tilde{A}\cup\tilde{B}}(x) = Max\left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\right)$$

تعریف کرد.

اگرتابع R بصورت $X \xrightarrow{R} Y$ باشدومجموعه‌های فازی $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ به‌ترتیب روی اشیاء X و Y تعریف شده‌باشندمی‌توان ضرب دکارتی دومجموعه‌فازی $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ را چنین تعریف کرد

$$\tilde{R} = \tilde{A} \times \tilde{B} = \left\{((x,y), \mu_{\tilde{R}}(x,y)) \mid (x,y) \in X \times Y\right\}$$

که‌درآن

$$\mu_{\tilde{R}}(x,y) = Min\left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)\right)$$

می‌باشد. واگرتوابع R_1 و R_2 بصورت $X \xrightarrow{R_1} Y \xrightarrow{R_2} Z$ باشند، ضرب داخلی R_1 و R_2 را می‌توان چنین تعریف کرد.

$$\tilde{R} = \tilde{R}_1 \circ \tilde{R}_2 = \left\{((x,z), \mu_{\tilde{R}}(x,z)) \mid (x,z) \in X \times Z\right\}$$

که‌درآن

$$\mu_{\tilde{R}}(x,z) = \underset{y}{Max}\left\{Min\left(\mu_{\tilde{R}_1}(x,y), \mu_{\tilde{R}_2}(y,z)\right)\right\}$$

البته‌تعاریف بالامنحصربفردنبوده [۱۰] ودربعضی ازمسائل کنترل تعدادی ازتعاریف بهترازتعدادی دیگرعمل می‌کنندکه‌درمرجع[۸] این موضوع موردمطالعه قرارگرفته‌است.

بطورخلاصه‌روش استنتاج تقریبی زاده- همدانی بصورت زیربیان می‌شود. اگر سیستمی متشکل از N ورودی ویک خروجی باشدبرای هریک ازورودیها وخروجی تعداد مجموعه‌فازی مرجع تعریف می‌کنیم‌که‌معمولا"ازنوع‌تکی می‌باشند. اگر i امین اندازه‌گیری ورودی j ام را با u_i^j و i امین اندازه‌گیری خروجی را با y_i ومقادیر

---

1 - Singlton

فازی شده آنها را به ترتیب با $\tilde{U}_i^j$ و $\tilde{y}_i$ نمایش دهیم در اینصورت قرار می‌دهیم

$$\tilde{R}_i = \tilde{U}_i^1 \times \tilde{U}_i^2 \times \dots \times \tilde{U}_i^N$$

و

$$\tilde{R} = \bigcup_{i=1}^{k} \tilde{R}_i$$

که در آن k تعداد اندازه‌گیریها می‌باشد. روش استنتاج زاده همدانی به اینصورت است که برای ورودیهای جدید U^j می‌توان فازی شده خروجی را چنین استنتاج کرد.

$$\tilde{y} = \tilde{U}^1 \circ \tilde{U}^2 \circ \dots \circ \tilde{U}^N \circ \tilde{R}$$

برای تعیین مقدار عددی خروجی از مقدار فازی آن درصورتیکه مجموعه‌های فازی مرجع استفاده شده از نوع تکی باشد می‌توان رابطه زیر را بکار برد.

$$DF(\tilde{y}) = \frac{\sum_{i=1}^{m} p_i a_i}{\sum_{i=1}^{m} p_i}$$

که در آن m تعداد مجموعه‌های فازی مرجع تکی مربوط به خروجی و a_i نقاط ویژه این مجموعه‌های فازی تکی و p_i ها مؤلفه‌های خروجی نسبت به مجموعه‌های مرجع می‌باشند. در مرجع [۱] مثالهایی برای سیستم‌های یک ورودی و یک خروجی و در مرجع [۵] مثالی از یک سیستم دو ورودی و یک خروجی آورده شده است. انتخاب مجموعه‌های مرجع معمولاً بصورت تجربی انجام می‌گیرد و در مراجع [۶و۸] روشهایی برای مشخص کردن آنها ذکر شده است که در کنترل وفقی کاربرد دارند.

پیش بینی بار به روش فازی

در مورد پیش بینی بار با استفاده از منطق فازی کارهای زیادی گزارش نشده است. یک مورد که در مرجع [۷] بررسی شده است براساس تعیین مؤلفه‌های بار به روش فازی می‌باشد که در آن بار مصرفی گروه بزرگی از مصرف کنندگان به صورت زیر مدل سازی می‌شود.

$$P(t) + j\,Q(t) = \sum a_i(t)\, W_i(t) \left(\cos \varphi_i(t) + j \sin \varphi_i(t)\right)$$

که در آن $W_i(t)$ حداکثر بار و $\cos \varphi_i(t)$ ضریب قدرت متناظر مصرف کننده i ام در زمان t می‌باشد. $a_i(t)$ ضریبی است که مقداری در فاصله $[0,1]$ اتخاذ می‌کند. در مرجع ذکر شده روشی جهت تعیین ضرایب $a_i(t)$ به روش فازی پیشنهاد می‌کند که با مشخص کردن مقادیر $W_i(t)$ و $\cos \varphi_i(t)$ برای صنفی از مصرف کنندگان می‌توان بار مصرفی $P(t) + j\,Q(t)$ را در زمان t پیش بینی کرد. به علت

اطلاعات زیادی که این پیش بینی نیاز دارد (از قبیل $W_i(t)$ و $\cos\varphi_i(t)$) کاربرد این روش تنها بصورت محدود و در موارد خاص امکان پذیر است .

در مقاله فعلی در ابتدا اساس پیش بینی بر تعیین الگویی به صورت زیر قرار گرفت

$$y(t) = f(y(t-24), y(t-13), y(t-12), y(t-1))$$

منطق چنین الگویی همان است که در الگوی SARIMA در مرجع [۴] از آن صحبت شده است . بطور خلاصه حداکثر بار هر ماه وابستگی نسبتا زیادی به حداکثر بار ماه قبل و به حداکثر بار همان ماه در سال قبل و قس علی هذا دارد که از روی تابع مشخص است .

متأسفانه این روش به علت تغییرات زیادی که بار طی چند سال دارد (بعنوان مثال از حداکثر بار ۹۹۰ MW در فروردین ۱۳۵۲ به حداکثر بار ۶۲۳۵ MW در فروردین ۱۳۶۸) قابل انجام به روش فازی نمی باشد . با تعریف

$$d(t) = y(t) - y(t-12)$$

دامنه تغییرات $d(t)$ بسیار کمتر شده و بدین ترتیب با تعریف الگوی جدیدی به صورت

$$d(t) = g(d(t-24), d(t-13), d(t-12), d(t-1))$$

با همان منطقی که در الگوی SARIMA مطرح است می توان g را به روش فازی تعیین و نسبت به پیش بینی برای حداکثر بار ماههای بعد اقدام کرد . در بررسی اولیه الگوی SARIMA را می توان خطی شده الگوی پیشنهادی محسوب کرد و از اینرو انتظار داشت تا الگوی پیشنهادی از الگوهای SARIMA بهتر عمل کند . الگوهای به صورت

$$d(t) = h(t, d(t-13), d(t-12), d(t-1))$$

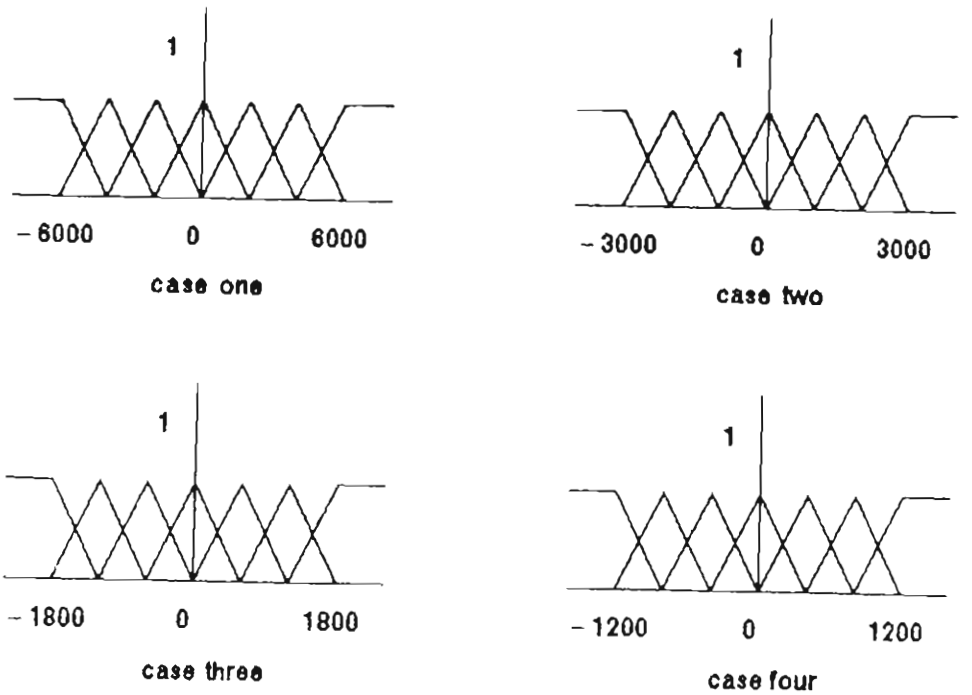
نیز اگرچه به علت پیچیدگی خاصی که دارند به سختی توسط روشهای مرسوم قابل بررسی می باشند ولی با استفاده از منطق فازی بسادگی قابل بررسی هستند . در آزمایشهای انجام شده الگوهای g نسبت به الگوهای h پیش بینی های بهتری را انجام دادند .

بررسیهای انجام شده

در این بررسیها حداکثر بار ماهانه سیستم سراسری سالهای ۱۳۶۵ الی ۱۳۶۸ به عنوان ورودی مورد استفاده قرار گرفت و پیش بینی حداکثر بار ماهانه برای سال ۱۳۶۹ با مقادیر اندازه گیری شده آنها مقایسه و اختلاف آنها با شاخص انحراف معیار نرمیز که از رابطه زیر بدست می آید مشخص شد .

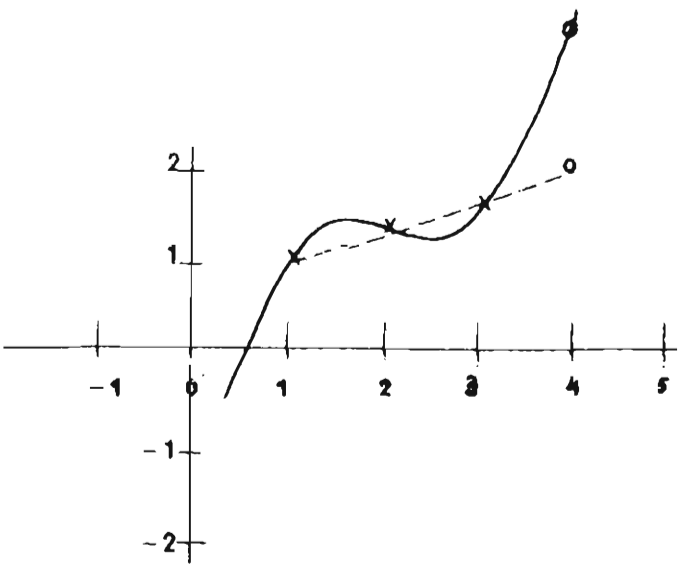
$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{M}(y(t) - \hat{y}(t))^2}{M}}$$

که‌در آن $y(t)$ مقدار پیش بینی، $z(t)$ مقدار اندازه‌گیری شده و $M = 12$ تعداد پیش بینی‌ها می‌باشد. همچنین برای مجموعه‌های مرجع چهار حالت درنظرگرفته‌شد که‌درشکل (۱) نشان داده‌شده‌اند (لازم‌به‌تذکر است که‌داده‌های ورودی درفاصله (1000 و 1000-) قرار دارند ونتیجه‌گیریهای زیربراین اساس بوده‌است) .



شکل ۱ ـ مجموعه‌های مرجع بررسی شده

البته‌بنظرمی‌رسدکه‌با افزایش تعداد مجموعه‌های مرجع (درواحدطول)ودرازای محاسبات بیشتردقت پیش بینی های انجام‌شده‌باید بیشترشودولی همانطورکه‌درزیر مشاهده‌خواهدشددقت محاسبات فازی تنها به‌تعداد مجموعه‌های مرجع بستگی ندارد چون هرگاه‌داده‌های ورودی کمی دراختیارباشدتعداد زیاد مجموعه‌های مرجع سبب می‌شودتا سیستم‌به‌اصطلاح به‌صورت " حافظه " عمل کندوویژگی تعمیمش راازدست بدهد ودرنتیجه‌نتواندکه‌پیش بینی های خوبی راانجام‌دهد. البته‌واضح است درصورتی که‌به‌اندازه‌کافی داده‌ورودی دراختیارباشدتعداد کم‌مجموعه‌های مرجع سبب عدم دقت درپیش بینی خواهدشد. برای درک بهتراین مطلب میتوان به‌برازش یک منحنی درجه‌سه‌به‌سه‌نقطه‌ورودی که‌درروی یک خط مستقیم قراردارندا شاره‌کرد (شکل ۲) و درصورتیکه‌هدف پیش بینی نقطه‌چهارم باشدکه‌درروی همان خط مستقیم قرارمی‌گیرد وبه‌علت تعداد کم‌ورودی مدل منحنی درجه‌سه نمی‌تواندپیش بینی قابل‌قبولی‌ارائه‌داد.



شکل ۲

البته اگر به چهار نقطه که در روی یک خط مستقیم قرار دارند یک منحنی درجه سه برداریش کنیم مطمئناً همان معادله خط ظاهر خواهد شد و پیش بینی نقطه پنجمی که در روی همان خط قرار داشته باشد با دقت انجام می‌گیرد.

در مورد پیش بینی به روش فازی تأثیر داده‌های ورودی به اندازهٔ مثال بالا حادنیست ولی بهرصورت تنها درصورتی دقت محاسبات فازی با افزایش تعداد مجموعه‌های مرجع بهتر خواهد شد که اندازه‌گیریهای ورودی به تعداد قابل توجهی زیاد شود. متأسفانه در مورد مسئله پیش بینی بارچون الگوی مصرفی کشور در طی دهه گذشته فراز و نشیب های مشکلات اقتصادی متفاوتی را طی کرده نمی‌توان انتظار داشت که تعداد زیاد اندازه‌گیریها بتوانند در تعیین یک الگوی بهتر موثر باشد. بنابراین تنها اندازه‌گیریهای چهار سال قبل از ۱۳۶۹ مورد استفاده قرار گرفتند و همانطور که قبلاً ذکر شد به علت کم بودن تعداد کم اطلاعات مفید ورودی برای حصول به نتایجی با دقتی بهتر نباید تعداد مجموعه‌های مرجع را زیاد انتخاب کرد.

در جدول (۱) مقادیر حداکثر با رپیش بینی شده با استفاده از مجموعه‌های مرجع حالتهای اول تا چهارم همراه با مقادیر حداکثر با راندازه‌گیری شده برای ماههای فروردین الی اسفند ۱۳۶۹ ذکر شده‌اند. و نیز برای هر حالت مقدار انحراف معیار نویز آن برای برازش الگو به داده‌های ورودی و بطور جداگانه انحراف معیار نویز برای اختلاف پیش بینی ۱۲ ماهه و اندازه‌گیریهای متناظر با آنها آورده شده است دیده می‌شود که پیش بینی حداکثر با رماه اول (فروردین) با دقت زیادی انجام گرفته ولی در هر صورت حداکثر خطا از ۱۳٪ (در یک مورد) کمتر است. همانطور که ذکر شد تعداد بیشتری

اندازه‌گیری مفیددرآینده می‌تواندا ین خطا را حتی‌کمترا زا ین مقدا رنما ید .

بطورکلی دیده می‌شودکه‌هرچه‌تعدا دمجموعه‌ها ی مرجع بیشترمی‌شودا نحرا ف معیا ر نویزپرا زش ا لگوکمترشده (بصورت حا فظه‌عمل می‌کند) ولی ا نحرا ف معیا رنویزا ختلاف پیش بینی‌ها وا ندا زه‌گیری هاابتدا کم شده‌وسپس ا فزا یش پیدا می‌کند (ویژگی تعمیم، دقت قا بل قبول را پیدا کرده‌وسپس آنرا ا زدست می‌دهد).

جدول (۱)

forecasted values (MW) for cases 1-4

	case one y (t) 1	case two y (t) 2	case three y (t) 3	case four y (t) 4	measured values (MW) z (t)
1	6583.53	6787.30	7027.33	6954.34	6987.00
2	7154.00	7275.31	7135.02	7277.70	7897.00
3	7523.38	7640.29	7364.20	7480.04	8394.00
4	7658.74	7790.96	7669.09	7595.80	8254.00
5	7989.71	8270.09	7940.21	7993.84	8342.00
6	7971.43	8160.09	8013.00	7997.85	8541.00
7	7158.19	7244.71	7196.68	6992.27	7801.00
8	7077.60	7084.83	6980.47	6790.55	8171.00
9	7352.72	7410.96	7227.73	7212.43	8048.00
10	7278.15	7574.49	7333.07	7392.31	7665.00
11	7781.24	7924.49	7872.80	7730.00	8281.00
12	7683.74	7815.96	7601.06	7697.46	8362.00
IDNSD (MW)	521.21	374.25	343.73	275.27	
FVNSD (MW)	660.00	554.35	691.73	715.71	

IDNSD = Input Data Noise Standard Deviation
FVNSD = Forecasted Values Noise Standard Deviation

نتیجه‌گیری

دراین مقا له‌پیش بینی‌حدا کثربا رما ها نه‌به‌روش منطق فا زی ا نجا مگرفت . ا ز ویژگیها ی با رزا ین روش ا ینست که‌با هردا ده‌جدیدبه‌سا دگی می‌توا ن ما تریس را بطه فا زی را تصحیح کرده‌ودرپیش بینی بکا ربرد . دیگرا ینکه‌ا ین روش مشکلات همگرا یی وحجم‌حا فظه‌زیا دکا مپیوتررا درتصحیح را بطه‌فا زی وپیش بینی نداشته‌وبه‌سا دگی می‌تواند درسیستم‌ها ی On- Line بدون نظا رت ا پرا توربکا رگرفته‌شود . درضمن ا ین سیستم کا ملا"وفقی بوده‌وبا تغییرا لگوی مصرف می‌توا ندپیش بینی‌ها یی مطا بق ا لگوی مصرف نها یی ا را ئه‌دهد . وچون دقت پیش بینی ها با تعدا دبیشتردا ده‌ها ی ورودی عموما" بهترمی‌شودمی‌توا ن ا نتظا ردا شت تا درپیش بینی با رسا عتی بصورت On- Line کا ربرد شا یسته‌ا ی بیا بد .

مراجع

۱ مازیار اولیائی‌نیا ، " معرفی نظریه مجموعه‌ها و منطق فازی و کاربرد آن در نظریه کنترل " ، پیک ریاضی ، جلد سوم ، شماره اول بهار ۱۳۶۷ ، صفحات ۳۵ – ۱۹ .

۲ منصور نخ کش ، " طراحی کنترل کننده‌های فازی " ، منصور نخ کش ، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد ، دانشکده برق و کامپیوتر ، دانشگاه صنعتی اصفهان ، زمستان ۱۳۶۹

۳ محمدمهدی کبیری ، " استنتاج تقریبی " ، گزارش پیشرفت پروژه کارشناسی ارشد ، دانشکده فنی ، دانشگاه تهران ، بهمن ماه ۱۳۶۹ .

۴ حسن قوجه‌بگلو ، پیش بینی منحنی استمرار با روانه و با رپیک ، ششمین کنفرانس بین المللی برق توانیر آبان ۱۳۷۰ ، صفحات ۲۱ – ۱۲

5 LEE C.C., " Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part II", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol.20,No.2, March/ April 1990. PP 419 - 435.

6 Sugano, M. and Kang G.T., " Structure Identification on Fuzzy Model", Fuzzy Sets and Systems 28 (1988) 15 - 33

7 Economakos, E., Application of Fuzzy concepts to power Demand Forecasting", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics Vol. SMC-9, No.10, Oct. 1979.

8 Sugeno M. and Tanaka K./ " Successive identification and its applications to prediction of a complex System," Fuzzy sets and Systems 42 (1991) 315 - 334.

9 Gupta M.M. and Qi J., " Design of Logic Controllers based on generalized T - operators", Fuzzy sets and systems 40(1991)413-489

10 Zhigiang C. and Kandel A., " Applicability of some Fuzzy Implication Operators", Fuzzy sets and systems, 31(1989) PP. 151 - 186 .

11 Zadeh L.A., " Knowledge Representation in Fuzzy Logic", IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, Vol.1, No.1 March 1984,PP 8a-100.

12 Toshiro, T." Future Vision for Fuzzy Engineering " Proceedings of the International Fuzzy Engineering Symposium, yokoham , Nov. 1991.

13 Mamadani E.H., " Application of Fuzzy set theory to Control Systems, a survey", Fuzzy Automata and Decision processes, Gupta M.M. etal, ed. Amsterdam: North Holland, 1977, PP. 77 - 88.