

رهیافتی جدید در کنترل فازی چندمتغیره راکتورهای پلیمریزاسیون: تعریف و تعقیب مسیر های فازی

مهدی رفیع زاده، رضا سلگی و رسول وثوق

دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

تهران، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

Email:mehdi@cic.aut.ac.ir

چکیده

کنترل شرایط فرآیند پلیمریزاسیون جهت دستیابی به محصولی با خواص معین، ضروری است. در این تحقیق برای کنترل دما از یک کنترلر فازی استفاده شده است که علاوه بر خطای دمای راکتور از خطای دمای ژاکت نیز به عنوان ورودی استفاده می کند. اما میزان دمای مطلوب ژاکت متأثر از وجود نویز و اغتشاش در سیستم می باشد، در نتیجه در میزان مطلوب این متغیر عدم قطعیت وجود دارد. برای مدل سازی این عدم قطعیت از اعداد فازی استفاده شده است و نهایتاً مسیری فازی برای میزان مطلوب دمای ژاکت به دست آمده است. در ادامه برای تعقیب این مسیر نوع خاصی از کنترلر فازی که کنترلر فازی شبه سوگنو نامیده شده است طراحی شد. نتایج تجربی نشان دهنده عملکرد مطلوب این کنترلر در کنترل پلیمریزاسیون محلولی متیل متاکریلات می باشد.

واژه های کلیدی: کنترل راکتور؛ پلیمریزاسیون؛ کنترل فازی؛ مسیر فازی؛ کنترلر فازی شبه سوگنو

مقدمه

به منظور دستیابی به پلیمری با خواص نهایی مطلوب باید شرایط فرآیند در طی پلیمریزاسیون به شکل مطلوبی کنترل شود. از سوی دیگر اغلب خواص نهائی پلیمر از قبیل جرم مولکولی و توزیع آن، میزان تبدیل منومر، درجه شاخه‌های شدن، توزیع ترکیب در صد در کوپلیمر و... در حین فرآیند قابل اندازه گیری نیستند و برای کنترل حلقه بسته آنها باید پارامترهای دیگری از فرآیند را که در حین فرآیند قابل اندازه گیری هستند و دیگر خواص را میتوان بر اساس آنها

تخمین زد، کنترل کرد [۱]. دما، دانسیته، فشار، دبی جریان و... از جمله این متغیرها هستند.
پلیمریزاسیون ناپیوسته معمولاً در یک ظرف (بر اساس یک الگوی از پیش طرح ریزی شده) انجام می‌شود. کنترل پلیمریزاسیون ناپیوسته معمولاً شامل نحوه اختلاط ابتدائی واکنش دهنده‌ها و نحوه اختتام فرآیند نیز می‌شود. گرمایش و سرمایش مخلوط واکنش کننده از طریق انتقال حرارت با مایع داخل ژاکت انجام می‌گیرد.

و پلیمری گزارش شده است [۱۰]. **Abony** و همکارانش [۱۱] یک کنترلر فازی سوگنو تطبیقی با استفاده از مکانیسم تطبیقی **COEM** [۱۲] برای کنترل فرآیند پلیمریزاسیون طراحی کرده و نشان داده اند این کنترلر در مقابل کنترلر های **PID** سنتی از کارایی بهتری برخوردار است. **Asua** [۱۳] از یک سیستم فازی برای تعیین شرایط بهینه فرآیند و یک کنترلر مبتنی بر مدل برای کنترل راکتور پلیمریزاسیون امولسیون در شبیه سازی استفاده کرده است.

در این تحقیق ایده ایی جدید تحت عنوان مسیر های فازی و تعقیب آنها مطرح شده است. سپس برای تعقیب این مسیر کنترلر های فازی سوگنو به کنترلر فازی شبه سوگنو تعمیم یافته و تئوری آنها پایه ریزی شده است. در پایان نیز کارایی این کنترلر جدید در تعقیب مسیر پیش تعیین شده برای دمای یک راکتور آزمایشگاهی پلیمریزاسیون محلولی متیل متاکریلات، نشان داده شده است.

تجهیزات آزمایشگاهی

نمای کلی راکتور، سیستم کنترلی و متعلقات آن در شکل ۱ نشان داده شده است. راکتور مورد استفاده در آزمایش یک راکتور بوچی یک لیتری دوجداره است و از جدار بیرونی به عنوان ژاکت حرارتی استفاده می شود. راکتور مجهز به یک همزن سه پره ای است که توسط یک موتور سه فاز می تواند دور متغیر $0-2300 \text{ rpm}$ داشته باشد. ژاکت حرارتی به یک حمام روغن مرتبط است. جنس حمام از فولاد ضد زنگ ۳۰۴ و حجم آن برابر ۱۰ لیتر است. سیال جاری در حمام و ژاکت، روغن حرارتی شرکت بهران می باشد که دمای کاری آن تا 150°C است. گرمایش روغن توسط دو هیتر که هر یک توان حداکثر 1500 w دارند و در موقعیتی مناسب در حمام نصب شده اند انجام می پذیرد. سرمایش روغن نیز توسط یک لوله فولادی ضد زنگ به طول ۹۵ سانتی متر که به شکل کویل درآمده و در داخل حمام تعبیه شده صورت می گیرد. در داخل این کویل آب

کنترل دمای مخلوط واکنش کننده یکی از معمولترین استراتژیهای کنترلی در پلیمریزاسیون می باشد، چرا که دمای واکنش پلیمریزاسیون تاثیر غیرقابل انکاری بر خواص محصول نهائی دارد [۱ و ۲].

کنترل راکتور پلیمریزاسیون مورد مطالعه بسیاری از محققین قرار گرفته است. **Tzouanas** و **Shah** [۳] از روش کنترلی جایابی قطب تطبیقی برای کنترل راکتور پلیمریزاسیون ناپیوسته محلولی متیل متاکریلات استفاده کرده اند. آنها از تابع تبدیل تجربی با استفاده از مدل **ARMA** استفاده کرده اند. نتایج آنها نشانگر قابلیت کنترل میزان تبدیل منومر می باشد. **Soroush** و **Kravaris** [۴] و **Muta** و همکارانش [۵] کنترلی پیش بین مبتنی بر مدل غیرخطی را پیشنهاد داده اند. آنها آزمایشهای خود را بر روی یک واحد کوچک پلیمریزاسیون محلولی متیل متاکریلات انجام دادند. آنها یک تخمین زنده جدید بکار برده و از فیلتر کالمن سود جسته، راکتور را کنترل کرده اند.

Berber و همکارانش [۶] یک کنترلر غیرخطی ساده برای کنترل دمای راکتور پلیمریزاسیون استایرن طراحی کردند. روش آنها شامل استراتژی یک مرحله ایی نیوتن به همراه تخمین متغیرهای حالت بود.

Rho و همکارانش [۷] ضمن مروری بر مدل سازی پلیمریزاسیون ناپیوسته متیل متاکریلات، پارامترهای مدل را با استفاده از نتایج موجود در مراجع بدست آوردند. سپس در بخش کنترل از یک مدل تجربی بعنوان مدل فرآیند استفاده کردند. پارامترهای این مدل بطور **online** بصورت مدل **ARMAX** تخمین زده شده است.

پس از ابداع منطق و نظریه های مجموعه های فازی توسط **Zadeh** [۸] و پدیدار شدن کاربرد موفق آن در کنترل توسط **Mamdani** [۹]، کنترل فازی به رهیافتی قابل توجه در کنترل تبدیل شده است. کنترلرهای فازی را میتوان به دو خانواده کنترلرهای بر پایه مدل فازی و کنترلر های بر پایه قوانین فازی دسته بندی کرد. در دهه اخیر کاربردهای فراوانی از کاربرد نظریه فازی در کنترل فرآیند های شیمیایی

رهیافت تعریف مسیره‌های فازی و تعقیب آنها

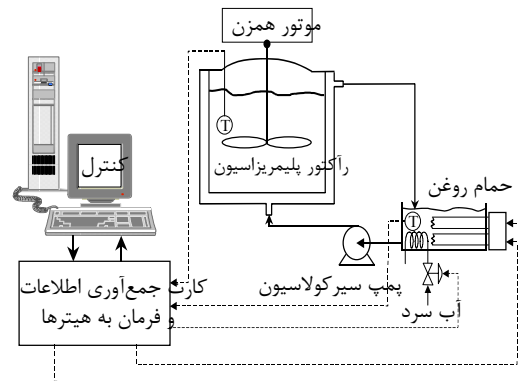
در این تحقیق برای کنترل دمای راکتور پلیمریزاسیون از یک کنترل کننده چند متغیره فازی استفاده شده است. برای جلوگیری از ایجاد ناپایداری و نوسان شدید در دمای راکتور، کنترلر فازی علاوه بر استفاده از میزان خطای دمای راکتور E_R ، باید از میزان خطای دمای ژاکت نیز استفاده کند. از آنجا که دمای مطلوب راکتور T_{dR} ، از پیش معین شده است خطای دمای راکتور به سادگی و با عبارت زیر تعریف میشود:

$$E_R = T_{dR} - T_R \quad (1)$$

به این ترتیب میزان خطای دمای راکتور به شکل یک عدد قطعی (غیر فازی یا **Crisp**) در اختیار خواهد بود و در صورت لزوم برای ورود آنها به یک کنترلر فازی میتوان آن را فازی سازی (**Fuzzification**) کرد.

اما برای محاسبه میزان خطای دمای ژاکت باید از میزان دمای مطلوب آن در هر زمان اطلاع داشت. در عمل میزان مطلوب دمای ژاکت از یکسو تابعی از دینامیک فرآیند است (که در مدلسازی آن عدم قطعیهایی در میزان پارامترهای فیزیکی وجود دارد)، و از سوی دیگر تابعی از نویز و اغتشاشات موجود در محیط است (که حداکثر اطلاعات ما از آن تخمینی از پارامترهای آماری تابع توزیع آن میباشد). به همین دلیل در میزان مطلوب دمای ژاکت نوعی عدم قطعیت وجود دارد، اما از سوی دیگر اطلاعاتی از آن در دست است: در زمانهایی که میزان گرم‌سازی و گرم‌گیری واکنش ناچیز است میتوان میزان آن را در حدود میزان دمای مطلوب راکتور دانست. همچنین در زمان گرم‌سازی و واکنش، این مقدار باید کوچکتر و در زمان گرم‌گیری و واکنش، بزرگتر از میزان دمای مطلوب راکتور باشد. ایده اصلی در تعریف مسیر فازی برای دمای ژاکت بر این اصل استوار است که دمای مطلوب ژاکت را در هر لحظه میتوان به صورت یک عدد فازی مثل شکل ۲ مدل کرد.

سرد لوله کشی شهری جریان دارد و جریان آب توسط یک شیر برقی قطع و وصل می شود.



شکل ۱- تجهیزات آزمایشگاهی

برای چرخش روغن در داخل ژاکت حرارتی از یک پمپ دنده ای با دور **1500 rpm** و حداکثر دبی **15 lit/min** استفاده شده است. برای اندازه گیری دما نیز از دو سنسور مقاومتی **PT100** با دقت $\pm 0.2^\circ C$ استفاده میشود. برای کنترل اتوماتیک راکتور یک سیستم جمع آوری اطلاعات و کنترل کامپیوتری طراحی و ساخته شده است. سیستم کامپیوتری استفاده شده، یک کامپیوتر **Pentium III 800** با **۱۲۸** مگابایت حافظه موقت میباشد. با استفاده از یک کارت واسطه **Advantech PCL-818L** که روی کامپیوتر نصب شده است، میتوان اطلاعات لازمه جهت کنترلر را از طریق مدارهای واسط سنسور ها جمع آوری کرده، به حافظه کامپیوتر منتقل و برای محاسبات و مطالعات بعدی ذخیره سازی کرد. هیترها و شیر برقی نیز توسط مدارهای راه انداز الکترونیکی، از کنترلر و از طریق کارت واسط فرمان می گیرند.

(۴)

$$\mu_{\tilde{A}-\tilde{B}}(z) = \sup\{T(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)) \mid z = x - y\}$$

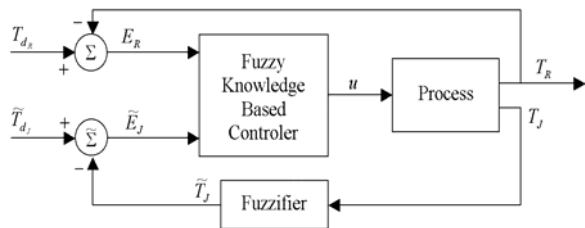
که در آن T یک t -نرم است. در رهیافت دوم برش α عدد فازی $\tilde{A} - \tilde{B}$ به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$\alpha(\tilde{A} - \tilde{B}) = \alpha\tilde{A} - \alpha\tilde{B} \quad (۵)$$

که در آن تفاضل دو بازه $[x, y]$ و $[x', y']$ چنین محاسبه می‌شود:

$$[x, y] - [x', y'] = [x - x', y - y'] \quad (۶)$$

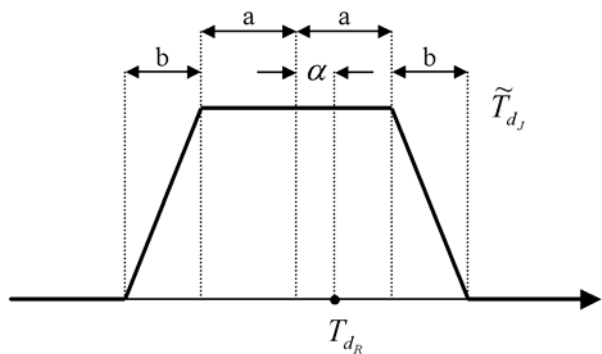
به سادگی می‌توان ثابت کرد در صورت فازی سازی منفرد دمای ژاکت، استفاده از هر کدام از دو روش فوق به نتیجه ای یکسان منجر خواهد شد. نمودار جعبه ایی حلقه بسته کنترلی در شکل ۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۳- نمودار جعبه ایی حلقه بسته کنترلی کنترلر فازی پیشنهاد شده

کنترلر شبه سوگنو

Takagi و **Sugeno** [۱۵] در سال ۱۹۸۵ روش جدیدی برای مدل سازی و کنترل سیستمهای غیر خطی ارائه کردند. امروزه کنترلر سوگنو، مرسوم ترین کنترلر فازی است. مهم ترین مشخصه این کنترلر شکل قوانین فازی آن است. قانون i ام در پایگاه قوانین فازی این کنترلر به صورت زیر است:



شکل ۲- مدلسازی عدم قطعیت موجود در دمای مطلوب ژاکت \tilde{T}_{dJ} به شکل یک عدد فازی

پارامترهای a و b تنظیم کننده میزان عدم قطعیت موجود در دمای مطلوب ژاکت هستند و با توجه به اطلاعات آماری ما از نویز و اغتشاشات معین میشوند و α پارامتری است که باید با توجه به درک طراح از میزان گرمایی واکنش تنظیم گردد.

به این ترتیب می‌توان میزان دمای مطلوب ژاکت در هر لحظه را به شکل عدد فازی \tilde{T}_{dJ} تعریف کرد. از سوی دیگر میزان دمای ژاکت در هر لحظه عددی غیر فازی است و برای محاسبه تفاضل این دو، ابتدا باید دمای ژاکت را فازی سازی کرد و سپس تفاضل آنها را محاسبه کرد. در این تحقیق از فازی ساز منفرد (Singleton) برای فازی سازی دمای ژاکت استفاده شده است:

$$\mu_{\tilde{T}_J}(T) = \begin{cases} 1 & T = T_J \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۲)$$

و برای محاسبه تفاضل دمای مطلوب ژاکت و دمای ژاکت به عنوان خطای دمای ژاکت باید از یک تفاضل فازی استفاده کرد:

$$\tilde{E}_J = \tilde{T}_{dJ} - \tilde{T}_J \quad (۳)$$

در ادبیات فازی برای محاسبه تفاضل دو عدد فازی دو روش عمده وجود دارد [۱۴]: ۱- استفاده از اصل توسیع **Extension Principle** و ۲- استفاده از برشهای α و جبر بازه ها. با استفاده از اصل توسیع عدد فازی $\tilde{A} - \tilde{B}$ به شکل زیر تعریف می‌شود:

که به وسیله آن بتوان میزان ارزش درستی عباراتی نظیر E_R is \tilde{A} و \tilde{E}_J is \tilde{A} (و بسط طسورکلی عبارت \tilde{X} is \tilde{A} که در قوانین کنترلر مورد استفاده قرار می گیرند) را، معین کرد.

خطای راکتور E_R یک عدد قطعی است، بنابراین میزان درستی عبارت E_R is \tilde{A} برابر $\mu_{\tilde{A}}(E_R)$ است. اما خطای ژاكت \tilde{E}_J یک عدد فازی است و روش سنتی موجود را نمیتوان برای تعیین میزان درستی \tilde{E}_J is \tilde{A} به کار برد. کنترلر پیشنهاد شده در این تحقیق از قوانینی نظیر

(۱۰)

$$IF E_R is A^{(i)} AND \dots AND \tilde{E}_J is B^{(i)} THEN u = c^{(i)}$$

استفاده میکند و به خاطر شباهت آن به کنترلرهای سوگنو سنتی میتوان آن را کنترلر شبه سوگنو نامید (بر خلاف کنترلرهای سوگنو یکی از ورودی های این کنترلر یک عدد فازی است). تنها تفاوت بین کنترلر های سوگنو و این کنترلر در مرحله دوم استنتاج یعنی تعیین ضریب $W^{(i)}$ برای هر قانون است. این ضریب برای یک کنترلر شبه سوگنو و برای قانونی نظیر قانون فوق به صورت زیر به دست می آید:

(۱۱)

$$w_i = tv \left[\left(E_R \text{ is } \tilde{A}^{(i)} \right) AND \left(\tilde{E}_J \text{ is } \tilde{B}^{(i)} \right) \right] \\ = T \left(\mu_{\tilde{A}^{(i)}}(E_R), hgt(\tilde{E}_J \cap \tilde{B}^{(i)}) \right)$$

(که در آن $tv(\bullet)$ نمایشگر عملگر فازی میزان ارزش درستی میباشد.)

(۷)

$$IF x_1 is \tilde{A}_1^{(i)} AND \dots AND x_n is \tilde{A}_n^{(i)} THEN u = f^{(i)}(x_1, \dots, x_n)$$

به طوری که $(x_1, \dots, x_n^{(i)})$ ورودی های کنترلر (متغیرهای حالت) و $f^{(i)}$ یک تابع خطی از متغیرهای حالت می باشد. ضمناً x_1, \dots, x_n و u اعداد قطعی و $\tilde{A}_1^{(i)}, \dots, \tilde{A}_n^{(i)}$ مجموعه های فازی هستند. در بسیاری از کاربردهایی که از کنترلر سوگنو، تالی قوانین به شکل اعداد ثابت فرض شده اند.

اگر پایگاه قوانین کنترلر حاوی m قانون به شکل فوق

باشد، استنتاج در طی مراحل زیر انجام می شود:

۱- به ازای ورودی $(x_1, \dots, x_n) = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ خروجی هر یک از m قانون با استفاده از رابطه $u^{(i)} = f^{(i)}(x_1^*, \dots, x_n^*)$ محاسبه می شود.

۲- ضریب $w^{(i)}$ که بیانگر میزان برقراری مقدم قانون i ام به ازای ورودی های (x_1^*, \dots, x_n^*) است، به صورت زیر محاسبه میشود:

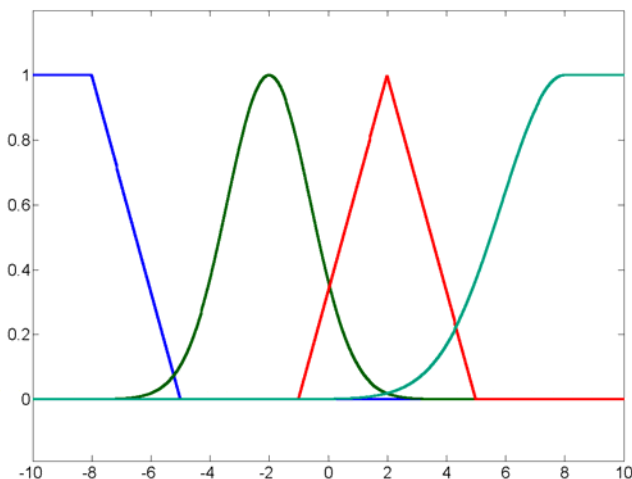
$$w^{(i)} = \prod_{j=1}^n \mu_{\tilde{A}_j^{(i)}}(x_j^*) \quad (۸)$$

به طوری که $\mu_{\tilde{A}_j^{(i)}}$ نشان دهنده تابع عضویت مجموعه فازی $\tilde{A}_j^{(i)}$ است. ضریب فوق نشان دهنده تأثیر هر قانون در خروجی کنترلر است.

۳- خروجی کنترلر به شکل مجموع وزنی تالی قوانین به صورت زیر به دست می آید:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^m w^{(i)} u^{(i)}}{\sum_{i=1}^m w^{(i)}} \quad (۹)$$

در این تحقیق برای کنترلر دمای راکتور از خطای راکتور (E_R) و خطای ژاكت (\tilde{E}_J) به عنوان ورودی های کنترلر استفاده می شود. بنابراین نیاز به معیاری وجود دارد



شکل ۴- نمونه هایی از شبه عدد های فازی که در پایگاه

قوانین فازی به برای نمایش متغیر های کلامی به کار میروند.

(۱۳)

$$tv(\tilde{X} \leq \tilde{A}) = \sup\{T(\mu_{\tilde{X}}(x), \mu_{\tilde{A}}(a)) | x \leq a\}$$

$$tv(\tilde{X} \geq \tilde{A}) = \sup\{T(\mu_{\tilde{X}}(x), \mu_{\tilde{A}}(a)) | x \geq a\}$$

به این ترتیب با جایگذاری رابطه (۱۳) در (۱۲) به عبارت زیر

میرسیم:

(۱۴)

$$tv(\tilde{X} \text{ is } \tilde{A}) \equiv T\left(\sup\{T(\mu_{\tilde{X}}(x), \mu_{\tilde{A}}(a)) | x \leq a\}, \sup\{T(\mu_{\tilde{X}}(x), \mu_{\tilde{A}}(a)) | x \geq a\}\right)$$

قضیه ۱- اگر \tilde{X} یک عدد فازی تعمیم یافته و \tilde{A} یک شبه عدد فازی باشد، میزان ارزش درستی عبارت کلامی $\tilde{X} \text{ is } \tilde{A}$ با استفاده از تعریف (۱۲) برابر ارتفاع مجموعه فازی $\tilde{X} \cap \tilde{A}$ است (که در آن \cap با استفاده از همان t -نرمی به دست آمده است که در تعریف (۱۲) به کار رفته است). به عبارت دیگر:

$$tv(\tilde{X} \text{ is } \tilde{A}) \equiv hgt(\tilde{X} \cap \tilde{A}) \quad (۱۵)$$

قضیه ۲- اگر \tilde{X} یک عدد فازی منفرد،

تعریف - مجموعه فازی \tilde{X} را که روی مجموعه اعداد حقیقی تعریف شده است، یک عدد فازی تعمیم یافته مینامیم، اگر: (۱) $Core(\tilde{X})$ ناتهی باشد و (۲) به ازای هر $0 < \alpha \leq 1$ بازه ای بسته باشد.

مزیت این تعریف نسبت به تعریف کلاسیک عدد فازی [۱۶] (که در آن علاوه بر شرایط فوق باید پشتیبان مجموعه فازی \tilde{X} نیز بازه ای بسته باشد) در این است که فازی سازی گوسین متغیر ها نیز به مجموعه هایی فازی منجر می شود که در تعریف فوق می گنجد.

تعریف - مجموعه فازی \tilde{A} را که روی مجموعه اعداد حقیقی تعریف شده است، یک شبه عدد فازی مینامیم، اگر: (۱) $Core(\tilde{X})$ ناتهی باشد و (۲) به ازای هر $0 < \alpha \leq 1$ بازه ای بسته یا به ازای هر $0 < \alpha \leq 1$ بازه ای نیمباز باشد.

به این ترتیب مجموعه های فازی نظیر مجموعه های شکل ۴ که به طرز وسیعی در پایگاه قوانین مجموعه های فازی برای تعریف متغیر های کلامی به کار میروند، را میتوان شبه عدد های فازی نامید.

چنانکه پیش از این گفته شد برای انجام فرآیند استنتاج در یک کنترلر شبه سوگو باید میزان ارزش درستی عبارت کلامی $\tilde{X} \text{ is } \tilde{A}$ را به دست آورد. به این منظور این عبارت کلامی را به عبارت \tilde{X} مساوی \tilde{A} است تعبیر و ارزش درستی آن را به شکل زیر تعریف میکنیم:

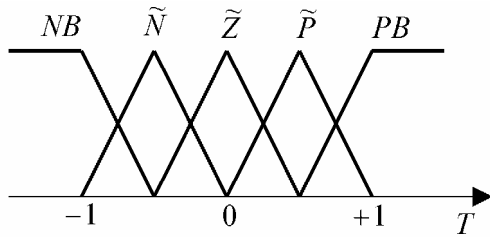
(۱۲)

$$tv(\tilde{X} \text{ is } \tilde{A}) \equiv tv(\tilde{X} \approx \tilde{A})$$

$$\equiv T(tv(\tilde{X} \leq \tilde{A}), tv(\tilde{X} \geq \tilde{A}))$$

برای محاسبه ارزش درستی عبارت $\tilde{X} \leq \tilde{A}$ و

$\tilde{X} \geq \tilde{A}$ نیز از تعریف زیر استفاده میشود [۱۷]:

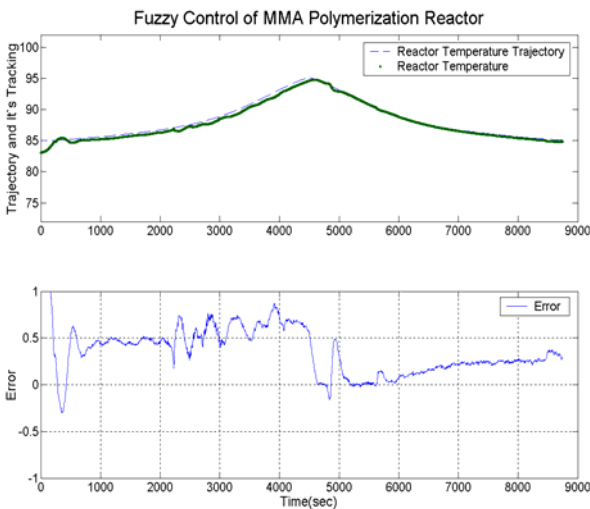


شکل ۶- مجموعه های فازی تعریف شده روی خطای دمای راکتور

سپس کنترلر شبه سوگنو طراحی شده، که بر اساس قضیه ۱ فرآیند استنتاج را انجام میدهد، در آزمایش بر فرآیند پلیمریزاسیون محلولی متیل متاکریلات اعمال شد. همچنین در استنتاج نیز از حاصلضرب جبری به عنوان t -نرم استفاده شد، به عبارت دیگر:

$$w_i = \mu_{\tilde{A}^{(i)}}(E_R) \text{hgt}(\tilde{E}_J \cap \tilde{B}^{(i)}) \quad (19)$$

توانایی کنترلر در تعقیب مسیر از پیش تعیین شده دمای راکتور و میزان خطای آن در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- توانایی کنترلر شبه سوگنو در تعقیب مسیر دمای راکتور

چنانکه از شکل پیداست حداکثر قدر مطلق خطا کمتر از $0.87^\circ C$ میباشد. همچنین میانگین قدر مطلق خطا نیز از $0.38^\circ C$ کمتر میباشد، که با توجه به دقت سنسورهای دما که در حدود $0.2^\circ C$ است، نتیجه ایی بسیار مطلوب میباشد.

$$\mu_{\tilde{X}}(x) = \begin{cases} 1 & x = x^* \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

و \tilde{A} یک شبه عدد فازی باشد، خواهیم داشت:

$$tv(\tilde{X} \text{ is } \tilde{A}) \equiv \mu_{\tilde{A}}(x^*) \quad (17)$$

قضیه ۲ نشان میدهد که اگر ورودی های کنترلر فازی شبه سوگنو مجموعه های فازی منفرد باشند، کنترلر فازی سوگنو به یک کنترلر سوگنو تقلیل می یابد.

حال با استفاده از تعاریف و قضایای گفته شده میتوان میزان برقراری مقدم هر یک از قوانین کنترلر شبه سوگنو را که پیش از این در معادله ۱۱ شرح داده شد به دست آورد:

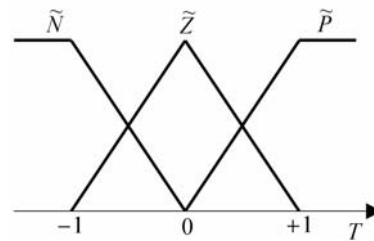
$$w_i = tv\left[\left(E_R \text{ is } \tilde{A}^{(i)}\right) \text{AND}\left(\tilde{E}_J \text{ is } \tilde{B}^{(i)}\right)\right] \quad (18) \\ = T\left(\mu_{\tilde{A}^{(i)}}(E_R), \text{hgt}(\tilde{E}_J \cap \tilde{B}^{(i)})\right)$$

نتایج

برای طراحی مسیر دمای ژاکت، پارامترهای شکل ۲ به صورت زیر انتخاب شدند:

$$a = 0.5^\circ C, \quad b = 0.5^\circ C, \quad \alpha = 0.3^\circ C$$

و روی مجموعه اعداد حقیقی، ۵ و ۳ مجموعه فازی مثلثی، به ترتیب به عنوان متغیرهای کلامی نمایش دهنده خطای دمای راکتور و ژاکت (مطابق شکل های ۵ و ۶) تعریف شدند. به این ترتیب پایگاه قوانینی متشکل از ۱۵ قانون فازی به دست می آید.



شکل ۵- مجموعه های فازی تعریف شده روی خطای دمای ژاکت

نتیجه گیری

در این تحقیق رهیافتی جدید به نام مسیر های فازی برای متغیرهایی همچون دمای ژاکت که در میزان مطلوب آنها عدم قطعیت وجود دارد پایه ریزی شد. سپس کنترلری موسوم به کنترلر شبه سوگنو برای تعقیب این مسیر طراحی و تئوری آن توسعه یافت و توانایی آن در تعقیب یک مسیر از پیش تعیین شده، در آزمایش روی فرایند پلیمریزاسیون محلولی متیل متاکریلات در یک راکتور آزمایشگاهی، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجربی به دست آمده نشان دهنده آن است که کنترلر طراحی شده میتواند با میزان خطایی قابل قبول مسیر دمای از پیش تعیین شده را به راکتور اعمال کند.

مراجع

- [9] Mamdani, E., "Application of Fuzzy Algorithm for Control of Simple Dynamic Plant" Proc. IEEE, 121(12), pp. 1585-1888, (1974).
- [10] King, P.J. and Mamdani, E. H., "The Application of Fuzzy Control System to Industrial Processes" Automatica, Vol. 13, pp. 235-242, 1997.
- [11] Abonyi, J., Nagy, L. and Szeifert, F., "Takagi-Sugeno Fuzzy Control of Batch Polymerization reactors" IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems, pp. 251-255, 1997.
- [12] Anderson, H. C., Lotfi, A. and Tsoi, A. C., "A New Approach to Adaptive Fuzzy Control: The Controller Output Error Method" IEEE Trans. Syst. Man Cybern., Part B, Vol. 27, Issue 4, pp. 686-691, August 1997.
- [13] Asua, J. M., "Control of Emulsion Polymerization Reactor Using a Hierarchical Fuzzy Logic/Model-Based Controller" Polymer Reaction Eng., 9(1), pp. 37-67, 2001.
- [14] Wang, Lie-Xin, "A Course in Fuzzy Systems and Control" Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 1997a.
- [15] Takagi, T and Sugeno, M., "Fuzzy Identification of Systems and its Application to Modeling and Control" IEEE Trans. Syst. Man Cybern., SMC-15(1), pp. 116-132, 1985.
- [16] Lin, Chin-Teng and Lee, C.S. George, "Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems" Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 1996.
- [17] Buckley, James J. and Eslami, Esfandiar, "An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets" Springer-Verlag Company, 2002.
- [1] Schork F. J., P. B. Deshpande and K. W. Leffew, "Control of Polymerization Reactors" Marcel Dekker Inc., 1993.
- [2] Rafizadeh, M., "Sequential Linearization Adaptive Control of Solution Polymerization of Methyl Methacrylate in a Batch Reactor" Polymer Reaction Eng., Vol. 10, No. 3, pp. 121-133, 2002.
- [3] Tzounanas V. K. and S. L. Shah, "Adaptive Pole-Assignment Control of a Batch Polymerization Reactor" Chem. Eng. Sci., Vol. 44, No. 5, pp. 1183-1193, 1989.
- [4] Soroush M. and C. Kravaris, "Nonlinear Control of a Batch Polymerization Reactor: An Experimental Study" AIChE J., Vol. 40, No. 9, 1992, pp. 1429.
- [5] Mutha R. K., W. R. Cluett and A. Penlidis, "On-Line Nonlinear Model-Based Estimation and Control of a Polymer Reactor" AIChE J., Vol. 43, No. 11, 1997, pp. 3042.
- [6] Berber R., K. Yetik, and A. Cahmh, "Nonlinear Model Predictive Control with State Estimation in Batch Polymerization" American Control Conference, 1998, pp. 3778.
- [7] Rho H. R., Huh Y. and H. Rhee, "Application of Adaptive Model-Predictive Control to a Batch MMA Polymerization Reactor" Chem. Eng. Sci., Vol. 53, No. 21, pp. 3728-3739, 1998.
- [8] Zadeh, L. A., "Fuzzy Sets", Information and Control, 8 (1965), pp. 338-353.