

استفاده از منطق فازی جهت نشان دادن همبستگی دمای نقطه شبنم با دیگر کمیت‌های احتراقی

محسن دوازده امامی^۱، فرید شیخ الاسلام^۲، حمید جان نثاری^۳، عبدالرضا میربها^۴
دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان
mohsen@cc.iut.ac.ir

چکیده

اندازه‌گیری دمای نقطه شبنم یکی از پارامترهای مهم در بسیاری از فرآیندها، از جمله فرآیند احتراق، محسوب می‌شود. با توجه به شرایط نامساعدی که در احتراق وجود دارد، روشهای ارزان قیمت (مانند استفاده از دمای نقاط تر و خشک) برای اندازه‌گیری این پارامتر در فرآیندهای احتراقی کاربرد ندارند. در این مقاله به کمک روش منطق فازی نشان داده شده است که درصد اکسیژن در گازهای خروجی محفظه احتراق و نسبت هوا به سوخت هر یک بطور جداگانه با نقطه شبنم ارتباط دارند و بر این اساس می‌توان هزینه اندازه‌گیری نقطه شبنم را کاهش داد. در این راستا به کمک داده‌های حاصل از آزمایشهایی که طی سه فصل متوالی بر روی یک مشعل گازسوز و دیگر استاندارد آن انجام شده است، همبستگی دمای نقطه شبنم با پارامترهای احتراقی فوق به صورت عملی به کمک مدل‌سازی فازی نشان داده شده است.

واژه‌های کلیدی: نقطه شبنم - منطق فازی - احتراق - حسگر نرم‌افزاری.

۱- مقدمه

دمای نقطه شبنم یکی از کمیت‌های مهم در بسیاری از فرآیندهای احتراقی محسوب می‌شود. در صورتیکه دمای سیستمی که حاوی مقدار قابل توجهی بخار آب است کاهش یابد بنحوی که از دمای نقطه شبنم در آن شرایط کاری کمتر شود، عمل تقطیر اتفاق می‌افتد که می‌تواند باعث بروز خسارات جبران ناپذیری گردد. مثلاً ممکن است باعث اکسید شدن و زنگ‌زدگی محفظه شده و یا اینکه در صورت حضور عامل‌های اسیدی (مانند دی‌اکسید گوگرد) باعث بوجود آمدن اسیدهای خورنده شود [۱]. از طرفی شرایط نامساعدی که در احتراق وجود دارد (مانند دماهای فوق‌العاده بالا و نیز گازهای مخرب)، عملاً روشهای ساده اندازه‌گیری دمای نقطه شبنم را غیر قابل استفاده می‌کنند. به عنوان مثال یکی از روشهای اندازه‌گیری دمای نقطه شبنم، روش آینه است که به کمک یک سنسور نوری و آینه انجام می‌شود. در صورت وجود دوده در سیستم احتراقی این سنسور نوری دچار اشکال شده و اندازه‌گیری صحیح نقطه شبنم میسر نمی‌گردد. از راه‌های رفع نواقص فوق‌الذکر استفاده از روش‌های حسگر نرم‌افزاری و بالاخص روش منطق فازی می‌باشد. این روش علاوه بر اینکه قادر به برخورد با مسائل غیر خطی و پیچیده است، زمان زیادی نیز برای پاسخ نیاز ندارد. این توانایی ناشی از امکان

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق

۳- دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی مکانیک

۴- کارشناس ارشد، شرکت پارس مشعل

استفاده از تجربه گذشته و هوشمند بودن سیستم‌های فازی می باشد. منطق فازی با توجه به اینکه یک روش هوشمند بوده و از تجربه گذشته جهت شناسایی شرایط جدید سیستم استفاده می نماید می تواند جوابهای مناسب تری نسبت به روشهای حل عددی داشته باشد [۲].

با وجود مقالات زیادی که در زمینه مونیتورینگ و کنترل صنعتی به کمک روشهای هوشمند انجام شده است، مطالعات چندانی بر روی سیستمهای احتراقی و مشعلها بویژه با استفاده از منطق فازی صورت نگرفته است. Xiang-Jie و همکارانش [۳] در سال ۲۰۰۳ با ترکیب روشهای AMN و نروفازی به مدل سازی و کنترل فشار بویلر در یک واحد نیروگاهی زغال سوز با ظرفیت ۳۰۰ MW پرداخته اند. نقاط کاری سیستم برحسب توان خروجی به ۵ ناحیه کاری تقسیم شده است و به کمک روش نروفازی برای هر حالت یک مدل خطی مرتبه دوم طراحی شده است که فشار در گام جدید را بر حسب فشار در دو گام قبل و میزان سوخت ورودی پیش بینی می کند. Zoltán Hímer و همکارانش [۴] در سال ۲۰۰۵ به کمک روابط استوکیومتری و یک مدل نروفازی با استفاده از کمیتهای زاویه دریچه ورود سوخت، هوای اولیه و هوای ثانویه به تخمین میزان توان واقعی سوخت ورودی و درصد اکسیژن در کانال خروج محصولات احتراق در یک واحد حرارتی بستر سیالی که سوخت آن مخلوطی از خاک اره، زغال سنگ نارس، پوسته درختان و خرده های چوب می باشد پرداخته اند. W.Li و همکارانش [۵] در سال ۱۹۹۹ به کمک روش مدل رفتار و منطق فازی با استفاده از پارامترهای فشار، جریان هوا و مقدار زغال ورودی به مدل سازی نوع رفتار دینامیکی سیستم و کنترل فشار در یک بویلر مجهز به سیستم تغذیه نقاله ای پرداخته اند. Tranci Baratti, Servida [۶] در سال ۲۰۰۲ به مونیتورینگ انتشار آلاینده ها در یک واحد نیروگاهی ۴/۸ MW پرداخته اند. ایشان به کمک ۸ ورودی و سه لایه مخفی گازهای اکسیژن، مونوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن را تخمین زده اند. Zou Hao و همکاران [۷] در سالهای (۲۰۰۴-۲۰۰۱) به بهینه سازی احتراق زغال سنگ بر پایه روشهای شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک پرداخته اند. A.Biyikoglu, Mahcoyol [۸] در سال ۲۰۰۴ به کمک روش فازی و بر اساس داده هایی که با حل عددی بدست آوردند دمای درون یک بویلر که با سوخت زغال کار می کند را تخمین زده اند. ورودی های سیستم فازی بکار رفته شامل نرخ هوا و نرخ سوخت ورودی و مختصات دکارتی می باشد. Mika Ruusaun, Kauko Keivisca [۹] در سال ۲۰۰۵ به کمک مدل فازی تاکاگی سوگنو، به تخمین دی اکسید کربن در یک فرایند احتراق چوب در مقیاس کوچک پرداختند.

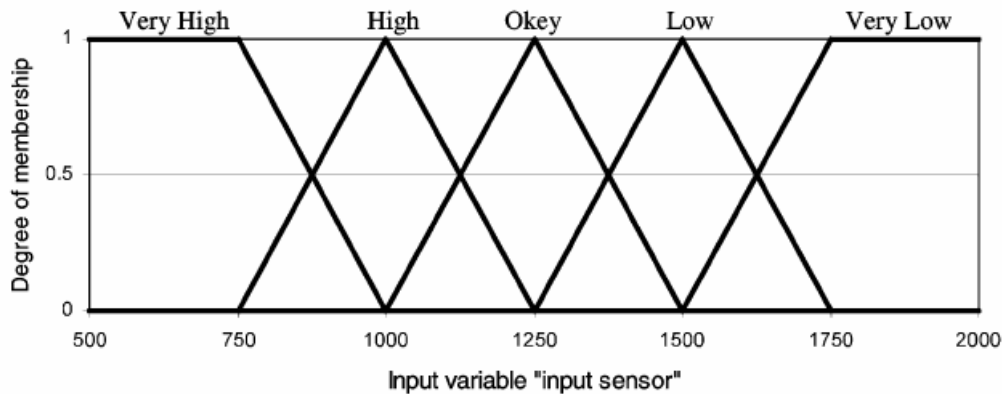
در مقاله حاضر، با استفاده از نتایج آزمایشهایی که در فصول مختلف سال بر روی یک مشعل و دیگ استاندارد آن در آزمایشگاه شرکت پارس مشعل انجام شده، به طراحی یک سیستم فازی پرداخته شده است. این سیستم فازی توانایی تخمین دمای نقطه شبنم گازهای خروجی محفظه احتراق را دارا می باشد. در بخش دوم توضیحاتی در مورد مجموعه ها و منطق فازی آمده است. در بخش سوم، آزمایشهای انجام شده توصیف خواهند شد و مدل مورد استفاده در تحقیق حاضر ارائه و نتایج حاصل از این مدل سازی در بخش چهارم بررسی خواهد شد.

۲- مجموعه های فازی و منطق فازی:

مفهوم مجموعه های فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفیسور زاده ارائه گردید. اگر فرض کنیم X مجموعه مرجع باشد، مجموعه فازی A به صورت زیر تعریف می شود:

$$A = \{x, \mu_A(x) | x \in X\} \quad (1)$$

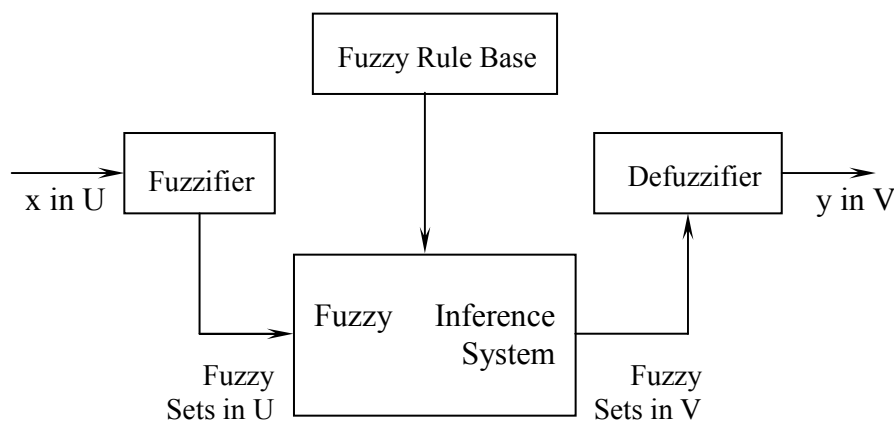
که در آن μ_A را تابع عضویت و $\mu_A(x)$ را درجه عضویت x در A می نامیم (مقدار $\mu_A(x)$ همواره بین صفر و یک می باشد). در واقع تابع عضویت نموداری است که به هر نقطه از فضای ورودی یک درجه عضویت بین صفر و یک نسبت می دهد. به این ترتیب می توان مفاهیم زبانی که در آنها ابهام وجود دارد را به زبان ریاضی ترجمه نمود. در شکل ۱ نمونه ای از توابع عضویت مثلثی که میزان مطلوب بودن دما را در یک سیستم بیان می کنند، آمده است. با توجه به تعریف مجموعه های فازی، مفاهیم مرتبط با ریاضیات مجموعه های فازی (مانند اجتماع، اشتراک، زیرمجموعه بودن و...) نیز توسعه یافته اند [۱۰].



شکل ۱- نمونه ای از توابع عضویت مثلثی

مفهوم منطق فازی نیز در سال ۱۹۷۳ توسط پروفسور زاده ارائه گردید [۱۱]. چنانچه منطق کلاسیک را علم اصول و قواعد استدلال رسمی در نظر بگیریم، منطق فازی علم استدلال تقریبی است که منطق کلاسیک حد آن است. در واقع منطق فازی قادر به نتیجه گیری از گزاره هایی است که با مقدم قوانین، دقیقاً یکسان نیستند. در شکل ۲ یک سیستم فازی در حات کلی مشخص گردیده است که شامل قسمتهای زیر می باشد:

۱. پایگاه دانش که از مجموعه ای از قواعد اگر-آنگاه^۱ فازی تشکیل می شود. ۲. موتور استنتاج فازی^۲ که قواعد پایگاه دانش را به یک نگاشت از مجموعه های فازی در فضای ورودی به مجموعه های فازی در فضای خروجی (براساس اصول منطق فازی) تصویر می کند. ۳ و ۴. رابط فازی و رابط نافازی سازی^۳. با توجه به اینکه در کاربردهای عملی همواره ورودیهای سیستم مقادیر عددی هستند، قسمت فازی سازی عمل فازی کردن اطلاعات ورودی را انجام می دهد. از سوی دیگر نتیجه استنتاج فازی به صورت یک مجموعه فازی می باشد، در حالی که در خروجی سیستم به مقادیر عددی نیاز می باشد. لذا از قسمت نافازی ساز استفاده می شود تا مجموعه فازی خروجی را به مقدار عددی تبدیل کند.



شکل ۲- ساختار اصلی سیستم های فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز

- 1 If-then
- 2 Fuzzy inference system
- 3 Fuzzifier and defuzzifier

در این مقاله از سیستم فازی با موتور استنتاج ضرب، فازی ساز منفرد، نا فازی ساز میانگین مراکز و تابع تعلق گوسین مطابق رابطه (۲) استفاده شده است. بدین معنا که سیستمی که می خواهیم طراحی کنیم از قوانینی به صورت زیر استفاده می کند:

$$\begin{aligned} \text{If } x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } A_2 \text{ and } \dots \text{ Then } y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots) \text{ and} \\ y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots) \text{ and } \dots \end{aligned} \quad (2)$$

که در اینجا A_1, A_2, \dots توابع عضویت گوسین و f_1, f_2, \dots توابع ثابت هستند. به این سیستم اصطلاحاً سیستم تاکاگی-سوگینو مرتبه صفر می گویند. بنابراین سیستمی که می خواهیم طراحی کنیم به صورت رابطه ۳ در می آید.

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l \left[\prod_{i=1}^n \exp\left(-\frac{(x_i - \bar{x}_i^l)^2}{\sigma_i^l}\right) \right]}{\sum_{l=1}^M \left[\prod_{i=1}^n \exp\left(-\frac{(x_i - \bar{x}_i^l)^2}{\sigma_i^l}\right) \right]} \quad (3)$$

که M تعداد قوانین بوده و $\bar{x}_i^l, \bar{y}^l, \sigma_i^l$ پارامترهای مربوط به تابع گوسین می باشند. ابتدا تعداد قوانین برای سیستم فازی انتخاب می شود و سپس با استفاده از یک روش بهینه سازی، پارامترهای مربوط به تابع گوسین اصلاح می شود [۱۲]. در این تحقیق از روش گرادیان نزولی برای این منظور استفاده شد. بطور مشخص، نگاشتی از ورودی $x \in U \subset R$ به خروجی $f(x) \in V \subset R$ را می توان مطابق عملیات زیر پیاده سازی نمود: ابتدا ورودی x از یک عملگر ضرب گوسین عبور کرده و

به $z^l = \prod_{i=1}^n \exp\left(-\frac{(x_i - \bar{x}_i^l)^2}{\sigma_i^l}\right)$ تبدیل می شود. سپس z^l از یک عملگر جمع کننده عبور کرده و عملگر جمع کننده

وزنی مقادیر $a = \sum_{l=1}^M \bar{y}^l z^l$ و $b = \sum_{l=1}^M z^l$ را نتیجه می دهد. سرانجام خروجی سیستم فازی بصورت $f(x) = a/b$ محاسبه می شود. برای بهینه سازی این سیستم، از الگوریتم پس انتشار خطا (Back-propagation) استفاده شده است. اگر تابع خطا را به صورت رابطه ۴ در نظر بگیریم:

$$e^p = \frac{1}{2} [f(x_0^p) - y_0^p]^2 \quad (4)$$

فرمولهای مربوط به اصلاح پارامترها که در این روش با مشتق گیری زنجیری از تابع خطا بدست می آیند شامل رابطه های ۵، ۶ و ۷ می باشند.

$$\bar{y}^l(q+1) = \bar{y}^l(q) - a \frac{f - y}{b} z^l \quad (5)$$

$$\bar{x}_i^l(q+1) = \bar{x}_i^l(q) - a \frac{f - y}{b} (\bar{y}^l(q) - f) z^l \frac{(x_{0i}^p - \bar{x}_i^l(q))}{\sigma_i^{l2}(q)} \quad (6)$$

$$\sigma_i^l(q+1) = \sigma_i^l(q) - a \frac{f - y}{b} (\bar{y}^l(q) - f) z^l \frac{(x_{0i}^p - \bar{x}_i^l(q))^2}{\sigma_i^{l3}(q)} \quad (7)$$

که $q=0,1,2,\dots, l=1,2,\dots,M, i=1,2,\dots,n$

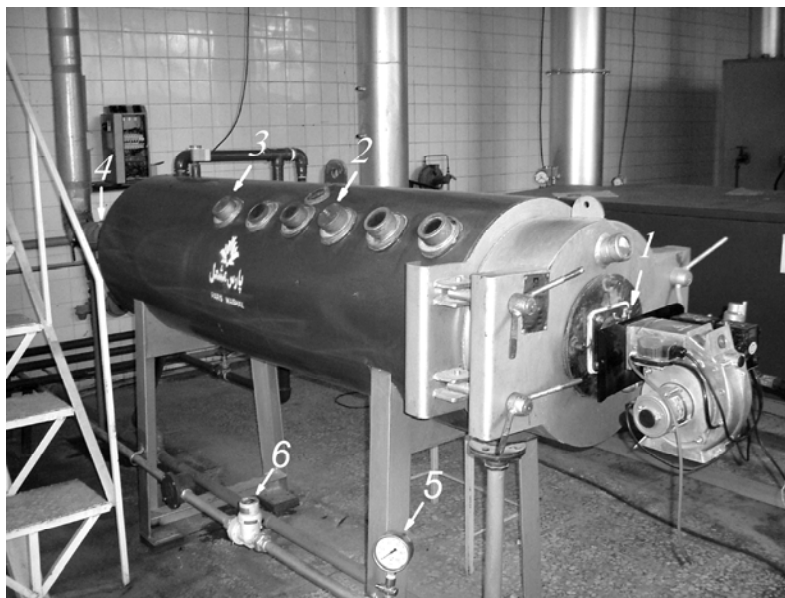
با توجه به این مطلب که ممکن است تابع خطا در یکی از مینیمم های محلی همگرا شده، یا نسبت به ورودی های شبکه حساس شده باشد (Overfitting) تعدادی داده دیگر به شبکه نشان داده می شود. در صورتیکه خروجی ها با خروجی مطلوب سازگار باشند، یادگیری صورت گرفته و سیستم طراحی شده است.

۳- نحوه انجام آزمایشها:

در این بخش آزمایشها روی یک دیگ استاندارد که جهت تست مشعل طراحی شده است، انجام گردیده است. این دیگ به صورت استوانه توخالی دو جداره می باشد که از داخل استوانه جریانهای احتراقی و از بین دو جداره آب عبور می کند (شکل ۳). ظرفیت مشعل مورد استفاده ۴۵ تا ۱۴۹ کیلووات می باشد.



شکل ۴- دستگاه آنالیز محصولات احتراق



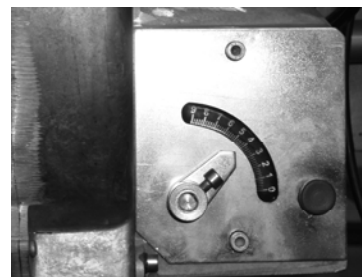
شکل ۳- مشعل و دیگ استاندارد آزمایش



ج



ب



الف

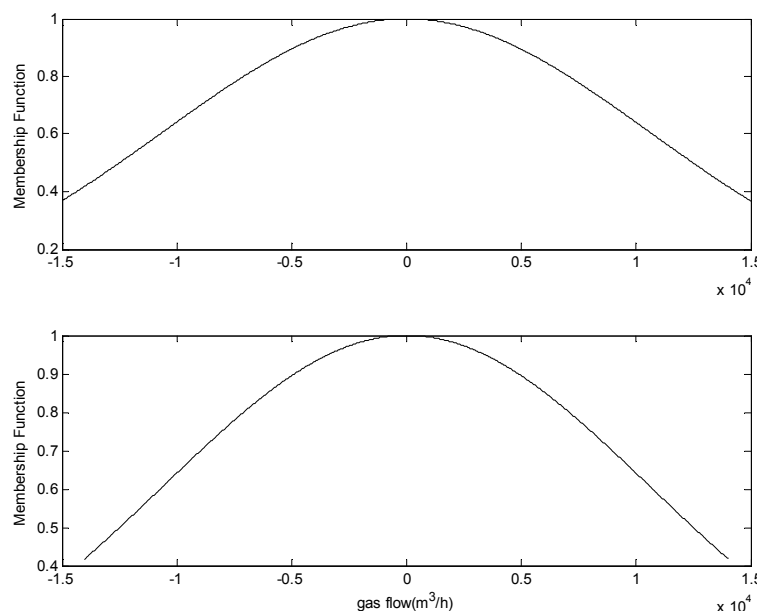
شکل ۵- ابزارهای تغییر وضعیت سیستم: الف- دریچه ورود هوا (دمپرها) ب- دریچه خروج محصولات احتراق واقع در قسمت کانال خروجی ج- شیر تنظیم دبی گاز ورودی

در شکل ۳ نقاطی که کمیت‌های اندازه گیری شده در آنها اندازه گیری شده، مشخص شده اند. در نقطه ۱ مقدار فشار سوخت قبل از شعله، در نقطه ۲ مقدار فشار وسط محفظه و در نقطه ۳ دریچه های موجود در روی دیگ نشان داده شده اند. توسط این دریچه ها می توان شعله ایجاد شده را مشاهده نمود. در نقطه ۴ (محل خروج گازهای احتراقی از دودکش) علاوه بر فشار، به کمک دستگاه آنالیزکننده گاز مدل Testo350M/XL، غلظت گازهای خروجی از محفظه احتراق شامل گازهای اکسیژن، دی اکسیدکربن، مونوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن و همچنین نسبت هوا به سوخت، بازده، دمای محیط، دمای گاز خروجی از دودکش و دمای نقطه شبنم اندازه گیری شده است. تصویر این دستگاه در شکل ۴ آمده است. با توجه به این نکته

که فشار استاندارد گاز ورودی به دستگاه برابر با ۱۸ میلی بار می باشد، میزان فشار گاز ورودی به کمک رگولاتور همواره روی این مقدار ثابت نگه داشته می شود. نقطه ۵ در شکل ۳ فشارسنج مربوط به کنترل این فشار را نشان می دهد. به کمک دبی سنج دیجیتالی میزان گاز ورودی به محفظه اندازه گیری شده است. این دبی سنج در نقطه ۶ شکل ۳ مشخص شده است. ابزارهایی که به کمک آنها وضعیت سیستم تغییر می کند شامل دریچه ورود هوا (دمپرها) واقع بر سر مشعل، دریچه خروج محصولات احتراق واقع در قسمت کانال خروجی و شیر تنظیم دبی گاز ورودی هستند. این ابزارها در شکل ۵ مشخص شده اند. به کمک ابزار تغییر وضعیت سیستم و در طی فصل های پاییز، زمستان و بهار تعداد ۳۱۹ سری آزمایش انجام گردیده است. سپس تعدادی از نتایج که از نظر آماری در وضعیت خیلی نامساعد قرار داشتند (برای مثال داده هایی که نسبت هوا به سوخت آنها کمتر از ۱۰۰۲ بود)، حذف شده اند و نتایج به دو گروه دسته بندی گردیده اند. گروه اول داده های آموزش به ۲۱۰ آرایه و گروه دوم داده های تست شبکه به ۶۶ آرایه تقسیم شده اند.

۴- جزئیات طراحی سیستم فازی و نتایج:

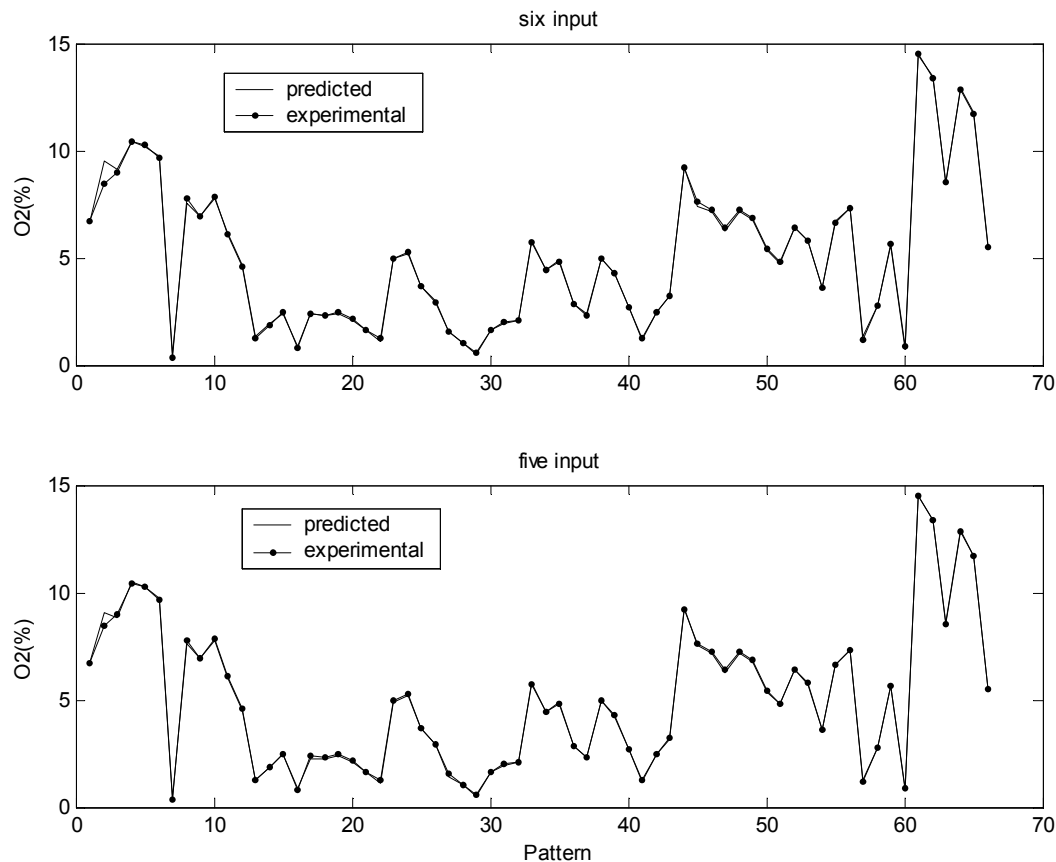
حدود سه چهارم از نتایج آزمایشها (۲۱۰ آرایه) برای تنظیم پارامترهای سیستم استفاده شده است. در ابتدا اکسیژن به عنوان خروجی سیستم فازی در نظر گرفته شد. براساس تئوری احتراق شش کمیت ورودی (دمای محیط، دمای گازهای خروجی، زاویه دریچه ورود هوا، زاویه دریچه خروج محصولات احتراق، دبی گاز ورودی و دمای نقطه شبنم) به عنوان ورودیهای شبکه استفاده گردیده است. با اجزای متعدد سیستمی که برای ورودی های یاد شده به ترتیب از ۲، ۳، ۲، ۳ و ۲ تابع عضویت استفاده می کند و دارای ۷۲ قانون می باشد مناسب ترین سیستم شناخته شد و این نتیجه حاصل گردید که سیستم فازی، مستقل از مقدار دبی گاز ورودی به تخمین گاز اکسیژن می پردازد. این نتیجه از آنجا حاصل شد که ضخامت معادل تمام توابع عضویت گوسین مربوط به دبی گاز ورودی پس از بهینه سازی از ۱۵۰۰۰ بیشتر می شوند، در حالیکه بازه تغییرات دبی ورودی [۴ ۱۵] است. توابع عضویت بهینه شده مربوط به دبی گاز ورودی در شکل ۶ آمده است.



شکل ۶- توابع عضویت بهینه شده مربوط به دبی گاز ورودی برای سیستم با شش ورودی

لذا عملاً در این بازه مقدار توابع عضویت مربوط به این کمیت همواره مقدار یک می شود و با توجه به اینکه از سیستم تاکاگی-سوگینو استفاده شده است، دبی گاز ورودی تاثیری روی وزن های قوانین ندارد. برای اطمینان بیشتر دبی گاز ورودی از بین ورودی های سیستم حذف شده و دوباره بهینه سازی پارامترها صورت گرفت. نتایج حاصل در شکل ۷ آمده است. با توجه

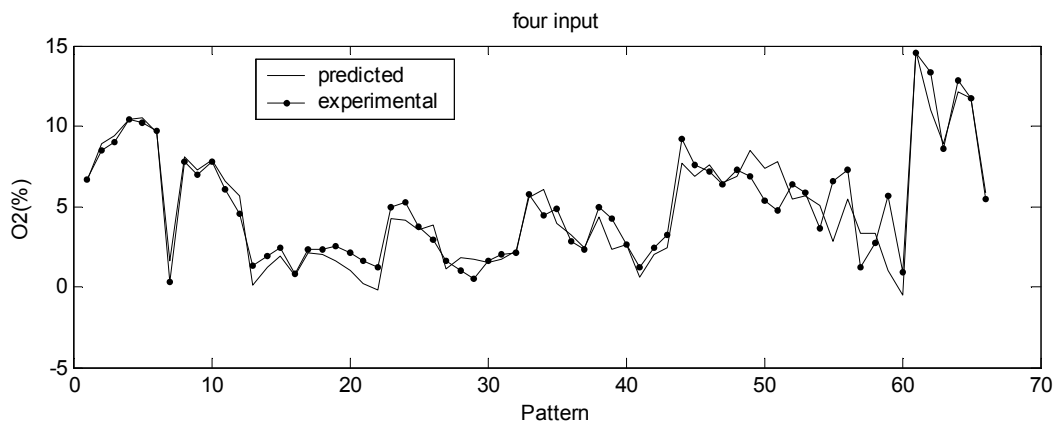
به این شکل دیده می شود که حذف دبی گاز ورودی در تعیین درصد اکسیژن تاثیر قابل ملاحظه ای ندارد. لذا درستی فرض اولیه تایید می شود. در این حالت قابلیت اطمینان نتایج برای خطای کمتر از ۱۵٪ حدود شش درصد از حالت قبل بهتر می شود (۹۷٪).



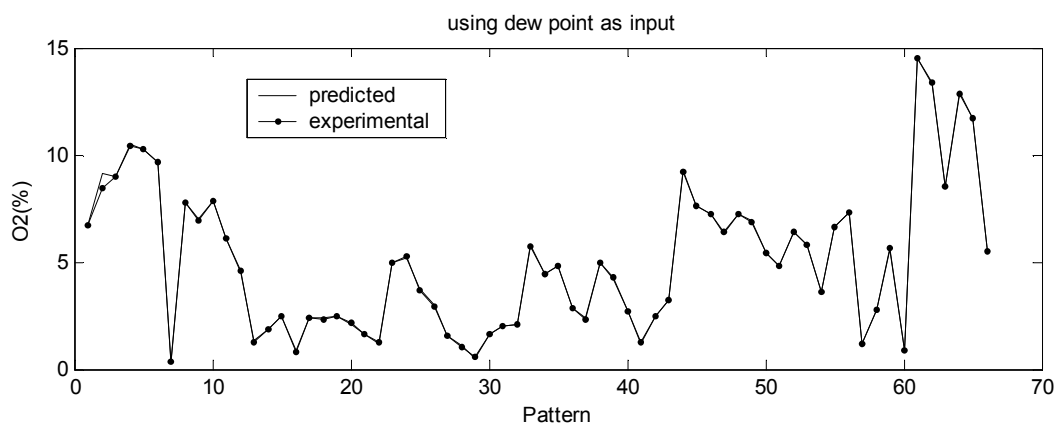
شکل ۷- مقایسه نتایج سیستم های شش و پنج ورودی (بررسی تاثیر حذف دبی گاز ورودی) در تخمین درصد اکسیژن در خروجی محفظه احتراق

از لحاظ فیزیکی به کمک دمای محیط و دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق می توان وضعیت انتقال حرارت در مرزها را تخمین زد. زاویه دمپر خروجی نیز میزان فشار درون محفظه را کنترل می کند. با داشتن دبی گاز ورودی و دریچه ورودی نیز می توان ادعا کرد که اطلاعات کافی در مورد ذرات ورودی به سیستم قابل دستیابی است. سه کمیت زاویه دریچه ورودی، زاویه دریچه خروجی و دمای محیط تابعی از عملکرد سیستم نیستند. اما دو پارامتر دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق و نقطه شبنم از عملکرد سیستم تاثیر می پذیرند. با توجه به اینکه دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق از وضعیت انتقال حرارت در مرزها تاثیر می پذیرد بنابراین تنها پارامتری که ممکن است حذف دبی گاز ورودی را جبران کند دمای نقطه شبنم می باشد.

برای بررسی صحت این فرضیه دمای نقطه شبنم از ورودی های سیستم حذف شد و پس از اجراهای متعدد مشاهده شد که سیستم فازی با چهار ورودی دبی گاز ورودی، دمای هوا، دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق و زاویه دمپر خروجی قادر به انجام تخمین با دقت مناسب، در شرایط جدید نمی باشد. نتایج یکی از سیستمها پس از بهینه سازی در شکل ۸ آمده است. در گام های بعدی دمای نقطه شبنم در ورودی قرار داده شده و بقیه ورودی های سیستم حذف گردیده است.



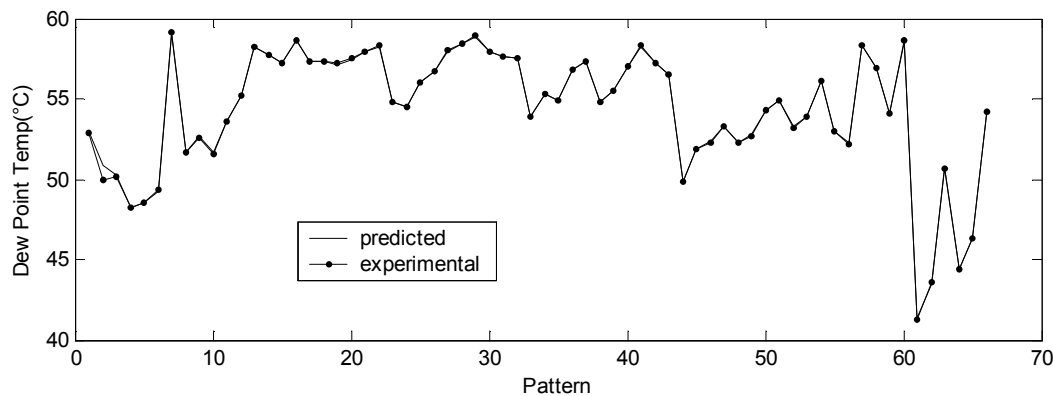
شکل ۸- نتایج تخمین درصد اکسیژن در خروجی محفظه احتراق بدون استفاده از دمای نقطه شبنم و دبی گاز ورودی در شکل ۹ مشاهده می شود در صورتیکه در ورودی سیستم تنها از هشت تابع عضویت نقطه شبنم و در خروجی از اکسیژن استفاده شود سیستم به خوبی درصد اکسیژن را تخمین می زند. در این حالت قابلیت اطمینان نتایج ۹۸/۵٪ است که از دو حالت قبل بالاتر است.



شکل ۹- نتایج تخمین درصد اکسیژن در خروجی محفظه احتراق به کمک دمای نقطه شبنم

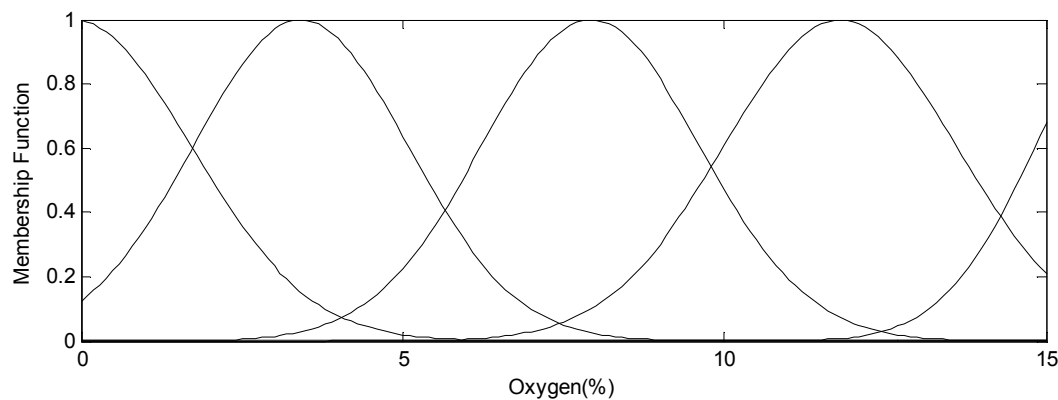
شایان ذکر است که در حالت استوکیومتری با داشتن درصد حجمی هر یک از کمیتها که در احتراق شرکت می کنند می توان درصد حجمی بقیه آنها را محاسبه کرد. با توجه به اینکه مقدار بخار آب تولید شده در فرایند احتراق بسیار بیشتر از مقدار رطوبت موجود در هوای ورودی است می توان از رطوبت موجود در هوای ورودی صرف نظر نمود. بنابراین با داشتن درصد حجمی اکسیژن در خروجی محفظه احتراق می توان درصد بخار موجود در محصولات احتراقی را بدست آورد. با توجه به اینکه دمای نقطه شبنم تابعی از فشار و درصد بخار آب موجود در مخلوط می باشد و مقدار فشار نیز تغییرات چندانی ندارد، لذا می توان با داشتن درصد حجمی اکسیژن دمای نقطه شبنم را تخمین زد.

در گام بعدی با انتخاب سیستم های فازی مختلف و بهینه سازی آنها به کمک روش گرادیان نزولی در نهایت سیستمی بدست آمد که به کمک سنسور اکسیژن به تخمین دمای نقطه شبنم می پردازد. شکل ۱۰ نتایج تخمین دمای نقطه شبنم محصولات احتراق به کمک درصد اکسیژن در خروجی محفظه احتراق را نشان می دهد.



شکل ۱۰- نتایج تخمین دمای نقطه شبنم محصولات احتراق به کمک درصد اکسیژن در خروجی محفظه احتراق

در شکل ۱۱ توابع عضویت بعد از اصلاح و در جدول ۱ مقادیر پارامترهای سیستم فازی بهینه شده نشان داده شده است.



شکل ۱۱- توابع عضویت مربوط به کمیت O2 بعد از اصلاح

جدول ۱- مقادیر اصلاح شده پارامترهای مربوط به سیستم فازی نهایی

σ_i^l	\bar{x}^l	\bar{y}^l
۹/۵۷۹	-۰/۱۱۳	۶۰/۷
۲/۳۶	۳/۴۱۳	۵۵/۲۴
۲/۳۹۶	۷/۹۲۱	۵۲/۷۶
۲/۵۵۵	۱۱/۸	۴۵/۳۳
۲/۰۲۹	۱۶/۲۶	۳۷/۴۶

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، بر اساس نتایج آزمایشگاهی که در فصل های زمستان، پاییز و بهار بر روی یک دیگ استاندارد و مشعل آن انجام شده است، یک سیستم فازی طراحی شده که توانایی تخمین درصد اکسیژن را در خروجی محفظه احتراق به کمک دمای محیط، دمای گازهای خروجی، زاویه دریچه ورود هوا، زاویه دریچه خروج محصولات احتراق، دبی گاز ورودی و دمای نقطه شبنم دارا می باشد. با بررسی توابع عضویت این نکته آشکار شد که سیستم از دبی گاز ورودی برای تخمین استفاده نمی کند. با بررسی های بیشتر همبستگی بین درصد اکسیژن و دمای نقطه شبنم اثبات شده است و با کمک یک سیستم فازی به

کمک مقدار اکسیژن دمای نقطه شبنم برای خطای زیر پانزده صدم درصد با قابلیت اطمینان نود و هشت و نیم تخمین زده شده است. این نتیجه به خوبی قابلیت روش فازی را در استخراج قوانین از داده های عددی نشان می دهد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از مهندس منوچهر سپهری مدیرعامل کارخانه پارس مشعل که امکانات تحقیق و توسعه کارخانه را برای انجام این تحقیقات در اختیار قرار داده اند، ابراز می دارند.

مراجع

- 1- Burkartknope, Martin Sch ulz, wolfgang Hessler, Flue gas analysis in industry, Testo, 2002
- 2- Soteris A. Kalogirou "Artificial intelligence for the modeling and control of combustion processes: a review", Progress in Energy and Combustion Science 29 515-566, 2003
- 3- Xiang-Jie Liu, Felipe Lara-Rosano, C.W.Chan, "Neurofuzzy network modeling and control of steam pressure in 300 MW steam-boiler system", Engineering Application of Artificial Intelligence, 16431-440, 2003
- 4- Zoltán Hímer, Géza Dévényi, Jenő Kovács, Urpo Kortela "CONTROL OF COMBUSTION BASE ON NEURO-FUZZY MODEL", 2005
- 5- Li W, Chang XG. "A neuro-fuzzy controller for a stoker-fired boiler, based on behavior modeling". Control Engng Pract; 7(4):469-81, 1999
- 6- Tronci S, Baratti R, Servida A., "Monitoring pollutant emissions in a 4.8 MW power plant through neural network Neurocomputin", 43:3-15, 2002
- 7- Zou Hau, Cen Kefa, Mao Jianbo, "Combustion neural network and genetic algorithms to optimize Low Nox pulverized coal combustion", Fuel 80:2163-2169 2001
- 8- A.Biyikoglu, Mahcoyol, V.Ozdemir, M.Sivrioglu, "Temperature prediction in a coal fired boiler whit a fixed bed by fuzzy logic based on numerical solution", Energy Conversion and Management 46 151-166, 2005
- 9- Mika Ruusaun, Kauko Keivisca, "Fuzzy modelling of carbon dioxide in a burning process, Control Engineering Practice" 12 607-614, 2004
- 10- Zadeh, L. A. " Fuzzy sets". Information and control, 8(3), 338-353, 1965
- 11- Zadeh, L. A. "fuzzy logic", IEEE Computer, 21:83-93 1988
- 12- Wang, L., Mendel, J., Generating fuzzy rules by learning from examples. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 22 (6), 1414-1427, 1992