استفاده از داده کاوی فازی در یافتن میزان هوای اضافی بهینه در سیستم بویلر نیروگاه حرارتی فولاد مبارکه

[۱] مهدی پارسا*، [۲] علی وحیدیان کامیاد، [۳] محمد باقر نقیبی سیستانی
[۱] دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی، parsa4mpt@yahoo.com
[۲] دانشکده علوم ریاضی دانشگاه فردوسی مشهد، avkamyad@yahoo.com
[۳] دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی ، naghib@yahoo.com

چکیده

فرایند احتراق در سیستم بویلر نیروگاه‌های حرارتی یک فرایند چندورودی چندخروجی، متغیر با زمان، به شدت غیرخطی و متداخل می باشد. به همین خاطر تنظیم پارامترهای کنترل‌پذیر اصلی آن با استفاده از روشهای کلاسیک مبتنی بر مدلسازی مشکل می باشد. از آنجایی که سیستم‌های کنترل توزیع شده به طور گسترده در نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، داده‌های مربوط به پارامترهای بویلر جمع‌آوری و ثبت می شوند به همین خاطر استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی یک روش بسیار موثر به منظور تنظیم بهینه پارامترهای احتراق می باشد. همچنین چون در صنعت اغلب با داده‌های نویزی و نادقیق سروکار داریم و به منظور کاهش اثرات برازش کردن مقادیر عددی در بازه‌های مختلف در روش قواعد انجمنی استفاده از مجموعه‌های فازی بسیار مفید می‌باشد. در این مقاله یک روش داده-کاوی فازی ارائه شده و سپس از این روش به منظور یافتن میزان هوای اضافی بهینه در بویلر شماره ۱ نیروگاه حرارتی فولاد مبارکه استفاده می‌شود.

واژه های کلیدی: داده کاوی فازی، هوای اضافی، راندمان بویلر.

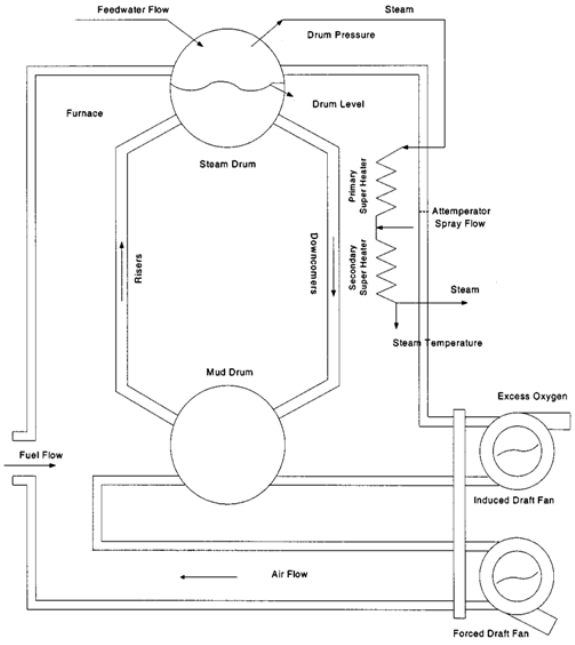
۱- مقدمه

امروزه با توجه به افزایش قیمت و ارزش انرژی در کشورهای مختلف جهان یکی از علاقه مندی ها در صنایع نیروگاهی بهینه سازی بازده احتراق به صورت کاهش مصرف سوخت و کاهش آلودگی های زیست محیطی منتشر شده می باشد. مسئله بهینه سازی کارکرد سیستم احتراق در یک نیروگاه حرارتی ایجاد یک توازن بین افزایش بازده احتراق و مینیمم سازی انتشار گازهای نامطلوب (از لحاظ زیست محیطی) می باشد. از آنجایی که سیستم بویلر و مخصوصاً سیستم احتراق آن یک سیستم چندورودی چندخروجی، متغیر با زمان، به شدت غیرخطی و متداخل می باشد بدست آوردن یک مدل دقیق و استفاده از روشهای کلاسیک مبتنی بر مدل مشکل می باشد. مقالات متعددی نیز به کاربرد روشهای کلاسیک در این زمینه پرداخته اند که از آن جمله می توان به روشهای کنترل بهینه [3]، کنترل پیش بین [2] کنترل چند متغیره و رباست [7] اشاره کرد. به دلیل اینکه در اکثر نیروگاه های حرارتی از سیستم های کنترل توزیع شده استفاده می شود، استفاده از روشهای داده کاوی در تنظیم پارامترهای مختلف یک روش کارامد می باشد که از جمله مقالات [4,6] به این مطلب پرداخته اند. در مقالات اشاره شده از روشهای داده کاوی معمولی (کلاسه بندی، خوشه بندی، شبکه عصبی و ...) استفاده شده است. همانطوریکه می دانیم بیشتر داده ها در صنعت همراه با نویز و نادقیق هستند به همین خاطر استفاده از مجموعه های فازی در پردازش این داده ها و بدست آوردن نتایج دقیق تر بسیار مفید می باشد و از طرفی در برخی از روشهای داده کاوی مانند کشف قواعد انجمنی نیاز به برازش داده ها در بازه های مختلفی داریم که این امر باعث بوجود آمدن یک عدم قطعیت بخصوص در مرزهای بازه های مشخص شده می شود به همین خاطر در نظر گرفتن این بازه ها به صورت مجموعه های فازی باعث کاهش خطا در سیستم می شود. از این رو در این مقاله یک روش داده کاوی مبتنی بر مجموعه های فازی ارائه می شود و سپس از این روش به منظور بدست آوردن میزان هوای اضافی بهینه در بویلر شماره ۱ نیروگاه حرارتی کارخانه فولاد مبارکه استفاده می شود.

۲- شرح مسئله

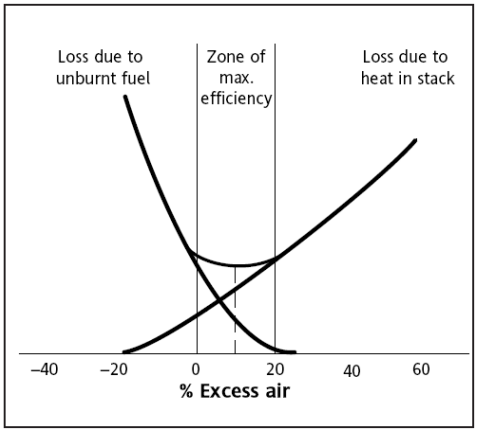
یکی از تجهیزات نیروگاه‌های حرارتی که نقش بسیار مهم تولید بخار را بر عهده دارد، بویلر می باشد. بویلر مورد نظر از نوع لوله آبی درام دار است. این نمونه از بویلرها معمولاً دارای دو قسمت مجزا هستند. قسمت اول سیستم آب- بخار می باشد که به آن سیستم سمت آب نیز گفته می شود. در این سیستم آب پیش گرم شده از اکونومایزر وارد درام بخار می شود سپس در داخل لوله هایی به سمت پایین جریان پیدا می کند و به درام گل وارد می شود. درام گل آب را در لوله هایی که به سمت بالا حرکت می کند تقسیم می کند، آب در این بین حرارت داده شده تا به حالت اشباع می رود. مخلوط بخار و آب اشباع دوباره به درام بخار بر

می گردد و بخار از آب جدا شده و از درام بخار خارج شده و وارد سوپر هیتر می شود. سوپر هیتر دارای دو مرحله است در سوپر هیتر ها درجه حرارت بخار تنظیم شده و در نهایت بخار وارد کلکتور و از آنجا وارد توربین می شود. سیستم دوم، سیستم سوخت– هوا – گازهای دودکش می باشد که به آن سیستم سمت سوخت بویلر نیز گفته می شود. در این سیستم سوخت و هوا با هم ترکیب شده و مشعل بویلر را مشتعل می کنند. نتیجه احتراق تبدیل انرژی شیمیایی سوخت به انرژی گرمایی می باشد. گازهای حاصل از احتراق پس از عبور از سوپر هیتر و لوله های بالابرنده و پایین برنده آب در درام بخار، بویلر را از طریق دودکش ترک می کنند. یک شماتیک از این نمونه بویلر ها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱) شماتیک بویلر

از جمله عوامل بسیار مهم و تاثیر گذار روی بازده بویلر و انتشار گازهای خطرناک در سیستم بویلر، میزان هوای اضافی ترکیب شونده با سوخت می باشد. هوای اضافی به معنای میزان هوایی می باشد که بیش از حد تئوری و برای احتراق کامل سوخت نیاز است. شکل ۲ رابطه بین درصد هوای اضافی و تلفات بویلر را نشان می دهد. همانطوریکه در این شکل نشان داده شده است ماکزیمم بازده بویلر در یک ناحیه محدودی حاصل می شود. در صورتیکه میزان هوای اضافی بیشتر از حد مورد نیاز باشد گرمای جذب شده به وسیله این هوای اضافی به جای قرار گرفتن در خروجی مفید سیستم به تلفات سیستم اضافه می شود و راندمان بویلر را کاهش می دهد. همچنین هنگامی که میزان هوای اضافی کمتر از حد مورد نیاز باشد احتراق به صورت ناقص انجام می گیرد و بخشی از کربن موجود در ترکیب هیدروکربنی سوخت به جای تبدیل به دی اکسید کربن (CO_2)، به مونواکسید کربن (CO) تبدیل خواهد شد. تبدیل نشدن کامل کربن موجود در ترکیب سوخت به دی اکسید کربن، نوعی تلفات انرژی به شمار آمده و مقدار این تلفات، متناسب با مقدار مونواکسید کربن تولیدی خواهد بود که همراه با محصولات احتراق به محیط پیرامون تخلیه می شود و علاوه بر آن از لحاظ زیست محیطی نیز در صورتی که از حد استاندارد بیشتر شود خطرناک می باشد.



شکل ۲) نمودار مربوط به بازده بویلر بر حسب excess air

از همین رو تنظیم میزان هوای اضافی در سیستم احتراق بویلر یک پارامتر بسیار مهم می باشد. از آنجایی که فرایند احتراق در سیستم بویلر یک فرایند چند ورودی چند خروجی، متغیر با زمان، به شدت غیر خطی و متداخل می باشد به دست آوردن میزان هوای اضافی بهینه از روشهای کلاسیک که احتیاج به مدل سیستم دارند بسیار مشکل می باشد. به همین دلیل و با توجه به بکارگیری سیستم های کنترل توزیع شده در اکثر نیروگاه های حرارتی استفاده از روشهای داده کاوی یک ایده بسیار مفید می باشد. مقالات متعددی به کاربرد دانش داده کاوی در سیستم بویلر پرداخته اند. در پروسه های صنعتی بدلیل اینکه اغلب داده ها دقیق نیستند و همراه با نویز می باشند استفاده از روش های فازی بسیار مفید می باشد به همین خاطر در این مقاله از تکنیک داده کاوی فازی به منظور یافتن میزان هوای اضافی بهینه در بویلر شماره ۱ نیروگاه حرارتی فولاد مبارکه استفاده می شود..

۳- داده کاوی

هدف داده کاوی استخراج دانش از میان داده های خام می باشد. کشف قوانین انجمنی یکی از مهمترین مسائل تحقیقاتی مطرح شده در زمینه داده کاوی است. تکنیک قوانین انجمنی یکی از رایج ترین تکنیک های علم داده کاوی است که طی سالیان اخیر، کاربرد آن در

حوزه های مختلف علمی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است .قوانین انجمنی، الگو های پنهان میان اقلام موجود در پایگاه داده های بزرگ را شناسایی می کند. با داشتن یک پایگاه داده که شامل نمونه های زیادی از ویژگیهای مختلف می باشد یک قانون وابستگی عبارتی است به شکل $X \to Y$ که در آن X و Y مجموعه ای از ویژگیها هستند. قوانین وابستگی را با استفاده از معیارهایی مانند پشتیبانی (support) و اطمینان (confidence) ارزیابی می کنند. از این رو کشف قوانین وابستگی مسئله کشف همه قوانین $X \to Y$ است که دارای حداقل پشتیبان و اطمینان تعریف شده باشند. پشتیبان (X,Y) نشان دهنده درصد یا تعداد مجموعه از نمونه هایی است که شامل هر دو ویژگی X,Y باشد و اطمینان یک قاعده میزان وابستگی یک ویژگی به ویژگی دیگر را نشان می دهد و طبق رابطه (۱) محاسبه می گردد.

$$confidence(X \to Y) = \frac{\sup port(X,Y)}{\sup port(X)} \quad (۱)$$

این شاخص درجه وابستگی بین دو ویژگی X,Y را نشان می دهد و به عنوان شاخصی برای اندازه گیری توان یک قاعده در نظر گرفته می شود و غالباً قانونی انتخاب می شود که عدد اطمینان بزرگتری داشته باشد..

۴- قواعد انجمنی فازی

الگوریتم های کاوش قواعد انجمنی کلاسیک (crisp) فقط روی ویژگی های دودویی (باینری) اعمال می شود[1]. در این صورت نیاز است که هر ویژگی عددی به صورت یک ویژگی باینری تبدیل شود. روشهایی که تاکنون به صورت معمول برای این تبدیل مورد استفاده قرار می گیرد از بازه ها استفاده می‌کنند. این روشها بر اساس برازش کردن مقادیر عددی ویژگی ها در بازه ها کار می کنند. به عنوان مثال فرض کنید که سه دامنه برای داده های ورودی به صورت ۲۰ کیلو به پایین، بازه بین ۲۰ کیلو تا ۱۰۰ کیلو و ۱۰۰ کیلو به بالا در نظر گرفته می شود. در روش معمولی تبدیل ویژگی های عددی به باینری دو داده ۵۰ کیلو و ۹۹ کیلو در دامنه دوم قرار می گیرد. که این امر باعث بوجود آمدن یک عدم قطعیت بخصوص در مرزهای دامنه های مشخص شده می شود. و همچنین باعث عدم دقت نتایج و از بین رفتن اطلاعات اصلی پایگاه داده می شود. علاوه بر این یک تغییر کوچک در داده های بین رنج ها باعث نتایج بسیار متفاوتی خواهد شد از این رو باعث بوجود آمدن خطاهای بزرگی در نتایج استخراجی از پایگاه داده می شود. یک روش مناسب برای غلبه بر مشکل عنوان شده این است که مقادیر ویژگیها را به جای تبدیل به دو مقدار صفر و یک به بازه [۰ , ۱] تبدیل کنیم که در این روش نمونه های مربوط به ویژگیهای مختلف بر اساس دامنه [۰ , ۱] بیان می شوند. دراین روش ویژگیهای باینری به وسیله مجموعه های فازی بیان می شوند که بسیار مطلوبتر است [5]. فرم کلی یک قاعده انجمنی فازی به صورت رابطه (۲) می باشد.

$$if\ \ X\ is \tilde{A}\ and\ \ y\ \ is\ \tilde{B}\ then\ y\ is\ \tilde{C} \quad (۲)$$

که در این قاعده x , y , z مجموعه از ویژگیهای موجود در پایگاه داده می باشد و $\tilde{C}, \tilde{B}, \tilde{A}$ مجموعه های فازی هستند که به ترتیب توصیف کننده ویژگی های تعریف شده هستند. روش ارائه شده در این مقاله به منظور تولید قوانین انجمنی فازی در پنج مرحله کلی زیر خلاصه می شود:

۱) جمع آوری داده ها: در این مرحله داده های بویلر توسط سیستم کنترل توزیع شده جمع آوری و ثبت می شود.

۲) انتخاب ویژگی ها: پس از جمع آوری داده ها ویژگیهای مهم و تاثیرگذار در سیستم احتراق بویلر به منظور اعمال فرایند داده کاوی انتخاب می شوند

۳) کاهش داده ها: به منظور کاهش حجم داده ها، حجم محاسبات و فضای مورد نیاز برای ذخیره داده ها از تکنیکهای کاهش داده استفاده می شود.

۴) اعمال روش داده کاوی مورد نظر به داده های پیش پردازش شده و بدست آوردن نتیجه مناسب از روی این داده ها که روش بکارگرفته شده در اینجا قواعد انجمنی می باشد.

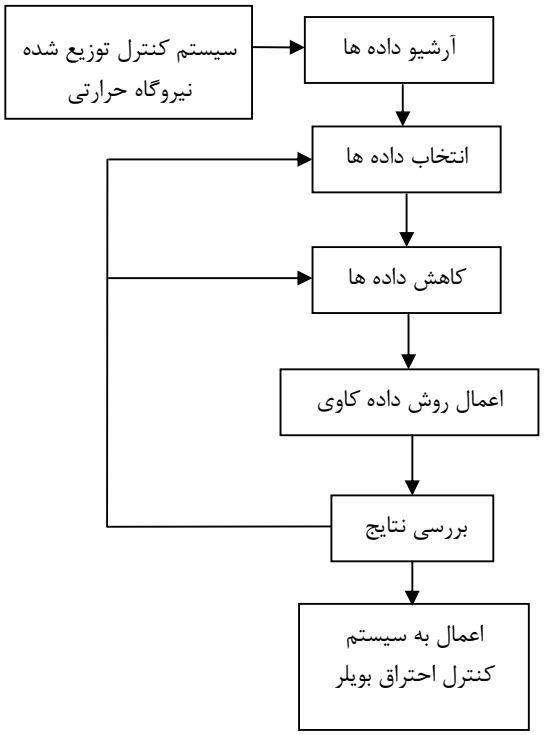
۵) بررسی نتایج بدست آمده از فرایند داده کاوی

نکته قابل توجه این است که در مرحله ای که نتایج بررسی می شود در صورت مناسب نبودن نتایج حاصله امکان وجود اشتباه در مراحل کاهش داده یا انتخاب داده می باشد. (شکل ۳)

۴-۱- الگوریتم کاوش قواعد انجمنی فازی

در روش ارائه شده از تئوری مجموعه های فازی به منظور کاوش قوانین از داده های کمی استفاده می شود. در این الگوریتم ابتدا هر مقدار کمی توسط توابع تعلق به مجموعه های فازی با مفاهیم زبانی تبدیل می شود. سپس مقادیر اسکالر هر نمونه را محاسبه کرده و در یک مجموعه میانی ذخیره می کند.سپس پروسه استخراج قوانین فازی برای یافتن قواعد انجمنی فازی بکار گرفته می شود. در این الگوریتم ورودی ها شامل یک پایگاه داده شامل n نمونه از m ویژگی مختلف (یک پایگاه داده n×m از داده)، یک مجموعه از توابع تعلق فازی و مینیمم پشتیبان و اطمینان تعیین شده می باشد. P امین ویژگی در نمونه n ام بوسیله k تابع عضویت بصورت $\mu_p^j(R_s^p)$ بیان می شود که در آن j=1,2,…,n تعداد نمونه ها، s=1,2,…,k تعداد ویژگیها و R_s^p توابع تعلق مربوط به ویژگی p ام را نشان می دهد. همچنین

خروجی این روش یک مجموعه از قوانین انجمنی فازی با پشتیبان و اطمینان بزرگتر یا مساوی مینیمم اطمینان و پشتیبان از قبل تعیین شده می باشد.



شکل ۳) فلوچارت روش بکارگرفته شده

مراحل الگوریتم:

۱) تبدیل مقدار کمی t_i^j در هر تراکنش T_i به مجموعه فازی f_i^j به طوریکه i=1,2,…,m ویژگی و j=1,2,…,n نمونه می باشد. t_i^j با استفاده از رابطه (۳) به مجموعه های فازی تبدیل می شود:

$$f_p^j = \frac{\mu_p^j(R_1^p)}{R_1^p} + \frac{\mu_p^j(R_2^p)}{R_2^p} + \ldots + \frac{\mu_p^j(R_k^p)}{R_k^p} \quad (۳)$$

۲) تشکیل یک مجموعه میانی C_1 به طوریکه جفت ($\mu_p^j(R_s^p)$, R_s^p) برای هر داده در آن قرار می گیرد و برای هر تابع تعلق ذخیره شده در این مجموعه، برای هر ویژگی وزن مربوطه از طریق رابطه (۴) محاسبه می شود:

$$weight_{p,s}^j = \sum_{j=1}^{n} \mu_p^j(R_s^p) \quad (۴)$$

که در اصل این پارامتر وزن کلی ویژگی p ام در توابع عضویت مربوط به آن می باشد.

۳) در این مرحله ماکزیمم وزن ویژگی p ام در توابع عضویتی که برای آن تعریف کرده ایم به صورت (۵) محاسبه می شود:

$$weight_p^{\max} = \max_{s=1}^{k}(weight_{p,s}^j),\ p = 1,2,\ldots,m \quad (۵)$$

۴) در این مرحله شرط بزرگتر یا مساوی بودن وزن محاسبه شده در مرحله قبل از مینیمم پشتیبان تعریف شده بررسی می گردد. در صورتیکه این شرط براورده شود تابع تعلق مربوطه در مجموعه مکرر L_1 قرار می گیرد. بنابراین مجموعه L_1 به صورت زیر تعریف می شود:

$$L_1 = \left\{ R_p^{\max} \,\middle|\, weight_p^{\max} \geq \min \sup\ port, 1 \leq p \leq m \right\}$$

به عبارت دیگر در این مرحله تابع عضویت با بیشترین وزن برای ویژگی p ام در مجموعه L_1 قرار می گیرد.

۵) قرار دادن r=1 ، بطوریکه r تعداد آیتم های قرار گرفته در مجموعه اقلام مکرر L_1 می باشد.

۶) در این مرحله مجموعه کاندید C_{r+1} با به کارگیری الگوریتم پیوند L_r با L_r تشکیل می شود. دو مجموعه از L_r با یکدیگر قابل پیوند می باشند اگر r-1 عضو اول آنها با یکدیگر برابر باشند و مجموعه ترکیب شده دارای r+1 عضو خواهد بود که عنصر آخر از مجموعه دوم خواهد بود.

۷) برای مجموعه r+1 آیتمی C_{r+1} با اعضای t_ε بطوریکه ε=1,2,…,r+1 می باشد دو زیر مرحله ۷-۱ و ۷-۲ و ۷-۳ را به ترتیبی که عنوان خواهد شد انجام می دهیم:

۷-۱) مقدار فازی مربوط به هر یک از t_ε را به صورت رابطه (۶) حساب می کنیم:

$$\mu_{t_\varepsilon}^j = \mu_{p1}^j(R_{p1}^{\max}) \wedge \mu_{p2}^j(R_{p2}^{\max}) \wedge \ldots \wedge \mu_{pr+1}^j(R_{pr+1}^{\max}) \quad (۶)$$

اگر به جای عملگر اشتراک از مینیمم استفاده کنیم خواهیم داشت:

$$\mu_{t_\varepsilon}^j = \min_{\varepsilon}^{r+1} \mu_{p_\varepsilon}^j(R_{p_\varepsilon}^{\max})$$

۷-۲) وزن هر یک از t_ε را با استفاده از رابطه (۷) حساب می کنیم:

$$weight_{t_\varepsilon} = \sum_{j=1}^{n} \mu_{t_\varepsilon}^j \quad (۷)$$

۷-۳) اگر وزن محاسبه شده ($weight_{t_\varepsilon}$) بزرگتر یا برابر مینیمم پشتیبان بود، (t=t_1,t_2,…,t_{r+1}) در مجموعه L_{r+1} قرار می گیرد.

۸) اگر L_{r+1} تهی بدست آمد به مرحله ۹ می رویم و در غیر اینصورت r=r+1 قرار داده و مراحل ۶ تا ۸ را تکرار می کنیم.

۹) قواعد انجمنی را برای مجموعه q آیتمی t با آیتم های $(t_1,t_2,\ldots,t_q)$ به صورت زیر بدست می آوریم:

۹-۱) فرم همه قواعد انجمنی که احتمال وجود آنها هست به صورت رابطه (۸) می باشد:

$$t_1 \wedge \ldots \wedge t_{k-1} \wedge \ldots \wedge t_q \Rightarrow t_k \quad , \; k=1,2,\ldots,q \qquad (۸)$$

۹-۲) پارامتر اطمینان قوانین انجمنی بدست آمده به صورت (۹) محاسبه می شود:

$$\frac{\sum_{j=1}^{n} \mu_{t_\varepsilon}^{j}}{\sum_{j=1}^{n} (\mu_{t_1}^{j} \wedge \ldots \wedge \mu_{t_{k-1}}^{j} \wedge \mu_{t_{k+1}}^{j} \wedge \ldots \wedge \mu_{t_q}^{j})} \qquad (۹)$$

خروجی الگوریتم قواعدی دارای مقدار اطمینان بزرگتر یا مساوی مینیمم اطمینان می باشد.

۵- نتایج شبیه سازی

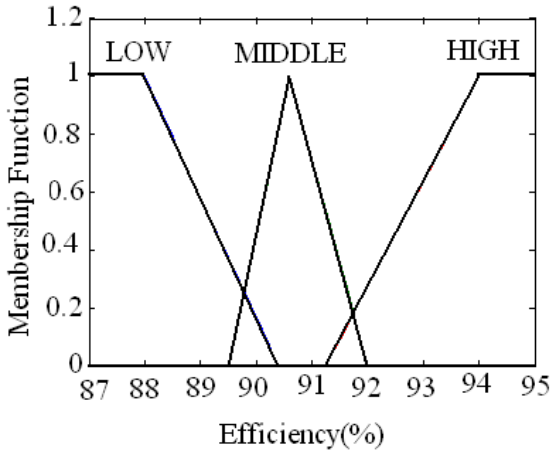
در این بخش به منظور ارزیابی روش ارائه شده، مراحل مختلف این روش به داده های مربوط به بویلر شماره ۱ نیروگاه حرارتی فولاد مبارکه اعمال می شود. ویژگیهای انتخاب شده در مرحله انتخاب ویژگیها شامل بار بویلر(MW)، میزان هوای اضافی (٪)، درجه حرارت هوای ترکیبی با سوخت(°C) و راندمان بویلر (٪) که با استفاده از روابط و جداول مربوطه[4] بدست آمده است می باشد که یک نمونه از این داده ها در جدول ۱ نشان داده شده است. داده های در نظر گرفته شده مربوط به داده های کاری آذرماه بویلر شماره ۱ می باشد.

جدول ۱) نمونه ای از داده های بویلر

بازده	دمای هوا	بار بویلر	هوای اضافه	زمان
۹۱.۹۵	۱۳۹	۳۶.۲۵	۱۱.۰۶۹	۱۳۸۹/۹/۱ ۰:۰۰
۹۱.۹۰	۱۴۰	۳۷	۱۰.۵۳۱	۱۳۸۹/۹/۱ ۲:۰۰
۹۱.۷۵	۱۴۰	۳۷	۱۲.۱۶۲	۱۳۸۹/۹/۱ ۴:۰۰
۹۱.۷۵	۱۳۹	۳۶.۷۵	۱۴.۴۱۹	۱۳۸۹/۹/۱ ۶:۰۰

در مرحله کاهش داده ها، داده های مربوط به یک روز یا ۲۴ ساعت به ۲ تقسیم می شود و در این بازه زمانی از داده ها میانگین گرفته می شود که با انجام این کار علاوه بر کاهش حجم محاسبات و فضای مورد نیاز، تاثیر داده های اشتباه و همراه با نویز در خروجی کاهش می یابد. پس از انجام پیش پردازش های عنوان شده روش ارائه شده را به داده ها اعمال می کنیم.

هدف اصلی یافتن رابطه بین بازده بویلر با میزان هوای اضافی در بارهای مختلف می باشد. حداقل اطمینان و پشتیبان را به ترتیب برابر ۷۰ درصد و ۵۰ تعیین می کنیم. به همین منظور ابتدا باید توابع تعلق فازی مربوط به هر یک از پارامترها را مشخص کنیم. در اینجا طبق شکل ۴ برای هر یک از ویژگیها سه تابع تعلق Low , Middle , High در نظر می گیریم.



شکل ۴) توابع عضویت مربوط بار خروجی

با اعمال روش ارائه شده به داده های بویلر جداول ۲ تا ۵ به ترتیب حاصل می شوند. در این جداول از حروف ابتدایی L,M,H توابع عضویت و حروف O برای بیان بار بویلر، E برای میزان هوای اضافی، F برای بازده و T برای درجه حرارت به منظور خلاصه سازی استفاده شده است. به عنوان مثال HO نشان دهنده تابع عضویت High مربوط به پارامتر بار بویلر می باشد.

جدول ۲) مجموعه اقلام مکرر تک عضوی L_1

مجموعه اقلام	وزن
HO	۱۰۰
ME	۱۴۷.۹۴
HF	۱۱۷
MT	۱۵۵

جدول ۳) مجموعه اقلام کاندید دو عضوی C_2

مجموعه اقلام	وزن
HO , ME	۷۰.۴۶۹۴
HO , HF	۷۴.۹۲۸۳
HO , Md	۶۲.۳۷۵۰
ME , HF	۷۵.۵۵۱۵
ME , MT	۷۸.۷۰۳۴
HF , MT	۷۷.۰۴۱۳

از آنجایی که در مجموعه اقلام کاندید C_2 مقدار همه پشتیبان ها از مینیمم پشتیبان بیشتر است پس اقلام مکرر L_2 همان C_2 می باشد.

جدول ۴) مجموعه اقلام کاندید سه عضوی C_3

مجموعه اقلام	وزن
HO , ME , HF	۵۴.۰۴۳
HO , HF , MT	۴۷.۳۸۷۶
HO , ME , MT	۴۵.۱۹۱۷
ME , HF , MT	۴۹.۳۸۰۷

همانطوریکه از C_3 مشخص است تنها اقلام ردیف اول دارای پشتیبانی بزرگتر از مینیمم پشتیبان می باشد بنابراین قانون بدست آمده از پایگاه داده مربوط به بویلر مورد نظر به صورت (۱۰) می باشد.

$$if\ LOAD\ is\ HIGH\ and\ EXCESS\ AIR\ is\ middle\ then\ EFFICIENCY\ is\ high \quad (10)$$

همانطوریکه بدست آمد این قانون از لحاظ پشتیبان از حداقل پشتیبان بیشتر بوده و اطمینان آن به صورت زیر بدست می آید:

$$confidence(LO\ and\ ME \Rightarrow HF) = \frac{54.043}{70.469} = .767$$

اطمینان این قاعده برابر با ۷۶ درصد است که از حداقل اطمینان تعیین شده بیشتر است. این قاعده نشان دهنده این است که اگر بار بویلر در بازه ماکزیمم (۴۰ MW~۳۷) قرار داشته باشد و میزان هوای اضافی نیز در بازه متوسط (۱۷~۹) باشد آنگاه بازده بویلر در بازه ماکزیمم (۹۴~۹۱.۵) قرار دارد. در نهایت با استفاده از یکی از غیر فازی سازهای ماکزیمم، میانگین مراکز یا مرکز ثقل می توان مقدار بهینه میزان هوای اضافی را برای دستیابی به ماکزیمم راندمان در بارهای مختلف بدست آورد. در اینجا با استفاده از غیر فازی ساز میانگین مراکز خروجی های ۳۷.۸۶۵ برای بار بویلر، ۱۲.۲۳۳ برای میزان هوای اضافی بهینه و ۹۲.۲۵ برای راندمان بویلر بدست می آید. از این قانون برای تنظیم Set Point میزان هوای اضافی برای رسیدن به بالاترین راندمان ممکن استفاده می شود.

۶- نتیجه گیری

یکی از پارامترهای مهم و تاثیرگذار در بهبود عملکرد و راندمان سیستم احتراق بویلر نیروگاه های حرارتی تنظیم میزان هوای اضافی ترکیب شونده با سوخت در مشعل می باشد. در این مقاله با توجه به مزیتهای روشهای داده کاوی فازی نسبت به روشهای کلاسیک داده کاوی یک روش بهینه، سریع و آسان به منظور کاوش قواعد انجمنی فازی در پایگاه های داده بزرگ ارائه شده و سپس با اعمال این روش به پایگاه داده مربوط به بویلر نیروگاه حرارتی فولاد مبارکه قانونی با بیشترین اطمینان و پشتیبان بدست آمده که با استفاده از این قانون انجمنی استخراجی، میزان هوای بهینه بر اساس سایر پارامترهای بویلر به منظور دستیابی به بیشترین راندمان بدست می آید. از مزیتهای دیگر روش اعمالی این است که تمام شرایط کاری سیستم ناشی از کارکرد واقعی بویلر در نظر گرفته می شود.

۷- مراجع

[1] Agrawel. R, Srikant. R,"Fast Algorithms for Mining Association Rules",*In proc of the VLDB Conference*, 1994.

[2] Havlena. V and Findejs. J, "Application of model predictive control to advanced combustion control," *Control Eng. Practice*, vol. 13, no. 6, pp. 671–680, 2005.

[3] Kuprianov. V. I, "Applications of a cost-based method of excess air optimization for the improvement of thermal efficiency and environmental performance of steam boilers," *Renew. Sustain. Energy Rev.*,vol. 9, no. 5, pp. 474–498, 2005.

[4] Kusiak. A and Song. Z, "Combustion Efficiency Optimization and Virtual Testing: A Data-Mining Approach, " *IEEE Trans. Ind. Inform.*,vol. 2, no. 3, pp.176-184, Aug.2006.

[5] Krishna. G and Krishna. P, "A novel approach for statistical and fuzzy association rule mining on quantitive data", *Journal of scientific & industrial Research*, Vol.67, July 2008, pp.512-517.

[6] Ming. L, Baoling. L and Jun. H,"Data Mining In Conditions Analysis At A Coal-Fired Utility Boiler, " *Int. Conf . Inf. Eng and Computer* , pp. 1-4, 2009.

[7] Pellegrinetti. G and Bentsman. J, "H_∞ controller design for boilers," *Int. J. Robust Nonlinear Contr.*, vol. 4, pp. 645–671, 1994.