کنترل فازی سطح درام بویلر نیروگاه‌های حرارتی

نگارش
دکتر غلامرضا نوشیروانی | مهندس رضا فرزانه | مهندس محمود رحیمی

کلمات کلیدی: کنترل فازی، نیروگاه حرارتی، بویلر، کنترل سطح درام

در یک نیروگاه بخار، قدم اول تبدیل انرژی شیمیایی یک ماده سوختنی مانند زغال سنگ، مازوت، گازوییل و یا گاز طبیعی به انرژی حرارتی است. این فرآیند در بویلر نیروگاه اتفاق می‌افتد.
کنترل سطح درام در بویلر نیروگاه‌های حرارتی، به لحاظ پایداری واحد تولید کننده‌ی برق و تثبیت قدرت شبکه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
واحد مورد شناسایی در این مقاله، بویلر نیروگاه حرارتی شازند و موضوع مقاله شناسایی و کنترل سه المانه‌ی سطح درام بویلر نیروگاه شازند به روش فازی است که با هدف مقایسه‌ی کنترل کننده‌های کلاسیک و کنترل کننده‌های فازی انجام گرفته است.

مقدمه

کنترل سطح درام در بویلر نیروگاه‌های حرارتی، به لحاظ پایداری واحد تولید کننده‌ی برق و تثبیت قدرت شبکه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کنترل سطح درام به روش سه المانه، از جدیدترین فناوری‌های کنترل سطح درام در دنیا محسوب می‌شود که به دلیل ناکارآمدی کنترل‌کننده‌های یک المانه و دو المانه در بویلرهای ظرفیت بالا و عدم پاسخگویی سریع و مناسب آن‌ها به تغییر وضعیت ناگهانی گاورنروالوهای توربین و نوسانات غیر عادی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. واحد مورد شناسایی در این مقاله، بویلر نیروگاه حرارتی شازند و موضوع مقاله شناسایی و کنترل سه المانه سطح درام بویلر نیروگاه شازند به روش فازی است که با هدف مقایسه‌ی کنترل کننده‌های کلاسیک و کنترل کننده‌های فازی انجام گرفته است. در این مقاله از منطق فازی به روش ممدانی و با استفاده از قواعد IF-THEN جهت کنترل سطح درام استفاده شده است، که در آن ورودی‌های در نظر گرفته شده به فرم فازی عبارتند از:

۱. اختلاف سطح اندازه‌گیری شده درام با سطح مطلوب یا نقطه‌ی تنظیم[1]؛

۲. اختلاف بین دبی جرمی بخار خروجی از درام و دبی جرمی آب ورودی به درام؛

۳. فشار درام

قواعد فازی تعریف شده در این سامانه حاصل بررسی‌های رفتار کنترل‌کننده‌ی کلاسیک سطح درام (PID) و جمع‌آوری ۲۰۰۰۰ داده از سامانه DCS نیروگاه و حاصل تجربیات چندین ساله‌ی بهره‌برداری از نیروگاه حرارتی شازند می‌باشد.

معرفی فرآیند تحت کنترل

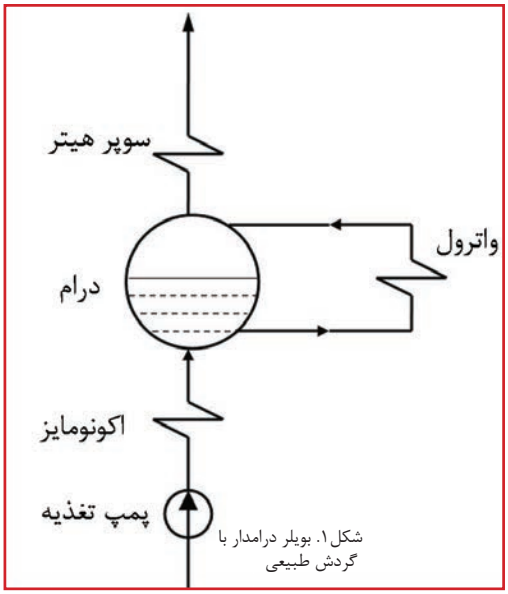
در یک نیروگاه بخار، قدم اول تبدیل انرژی شیمیایی یک ماده سوختنی مانند زغال سنگ، مازوت، گازوییل و یا گاز طبیعی به انرژی حرارتی است. این فرآیند در بویلر[2] نیروگاه اتفاق می‌افتد. بویلرها به‌طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از بویلرهای درام[3]دار و بویلرهای بدون درام. بویلرهای درام‌دار خود به دو دسته با گردش طبیعی و با گردش اجباری تقسیم می‌شوند و بویلرهای بدون درام نیز شامل بویلرهای بنسون و سلولزر هستند.

متداول‌ترین بویلر درام‌دار در شکل ۱ نمایش داده شده است. در اینجا پمپ‌های آب تغذیه[4]، آب را از طریق اکونومایزر[5] به بویلر می‌رانند. آب در لوله‌های رایزر[6] در اثر انرژی حرارتی به مخلوطی از آب و بخار تبدیل می‌شود و سپس وارد درام می‌گردد. عمل گردش آب، در اثر اختلاف دانسیته در لوله‌های رایزر و لوله‌های پایین رونده[7] حاصل می‌شود و به همین دلیل به آن‌ها بویلرهای با گردش طبیعی گفته می‌شود.

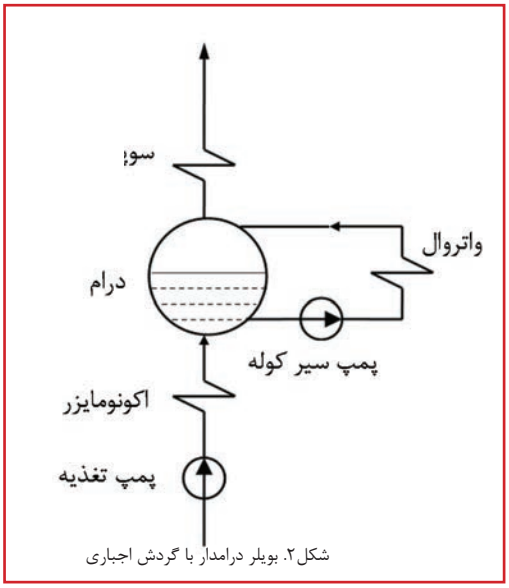
در بویلرهای درام‌دار با گردش اجباری، آب درلوله‌ها توسط پمپ گردشی[8] تقویت می‌شود. به عبارتی دیگر گردش طبیعی توسط پمپ تقویت می‌شود. شکل ۲ این نوع بویلر را نشان می‌دهد.

درام که در همه‌ی بویلرهای پیشرفته به استثنای بویلرهای یکبارگذر (بویلر بدون درام) به‌کار می‌رود، محفظه‌ای است که در آن بخار اشباع از آب جوشان جدا می‌شود و بقیه‌ی آب مجدداً به گردش درمی‌آید.

درام همچنین برای تصفیه‌ی شیمیایی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد و با تخلیه‌ی آن از زیر[9] می‌توان میزان مواد جامد مربوط در آب را کاهش داد. انتقال مواد جامد به همراه بخار و ورود آن به توربین اثرات زیان‌بخشی مانند رسوب این مواد بر پره‌های توربین را به دنبال دارد که پر دردسرترین آن‌ها رسوب سیلیس است که به آسانی از بین نمی‌رود. درام باید دارای حجم کافی باشد تا تغییرات سطح آب را که ناشی از تغییرات بار است تحمل کند؛ به همین دلیل جهت بهبود عملکرد و پیوستگی تولید، این عمل به وسیله‌ی کنترل‌کننده‌ی سطح درام انجام می‌شود.



شکل ۱. بویلر درامدار با گردش طبیعی



شکل ۲. بویلر درامدار با گردش اجباری

بالا بودن بیش از حد مجاز سطح آب در درام، موجب وارد شدن آب به منطقه‌ی سوپرهیترها[10] می‌شود، که این مسأله موجب به وجود آمدن دو امر خطیر است، اولاً که باعث پدید آمدن تنش‌های شدید حرارتی در اثر اختلاف دما در سوپرهیترها می‌شود و ثانیاً باعث افت دمای بخار سوپرهیت خروجی از بویلر می‌شود، که این مسأله می‌تواند باعث ایجاد خسارت‌های جبران ناپذیری برای توربین شود؛ چرا که اگر دمای بخار سوپرهیت از حد معینی پایین‌تر باشد، یا به نوعی از مرز سوپرهیت به مرز اشباع برسد، قطرات آب موجود در بخار می‌تواند آسیب‌های جدی به پره‌های توربین وارد کرده و حتی موجب شکسته شدن آن‌ها شود. از طرفی، پایین بودن سطح درام از یک حد معین، نمایانگر کمبود آب در بویلر است که اگر این مسأله اتفاق بیفتد باعث گرم شدن بیش از اندازه‌ی لوله‌های اواپراتور[11] و واتروال‌ها[12] می‌شود، که این مورد هم خسارت‌های بسیار سنگینی را از لحاظ مسایل فنی و مالی متوجه نیروگاه می‌کند؛ بنابراین همان‌طور که ملاحظه می‌شود، کنترل سطح در این مخزن تحت فشار بسیار مهم است و از اهمیت ویژه‌ای در نیروگاه‌ها برخوردار است.

معرفی نیروگاه حرارتی شازند

نیروگاه حرارتی شازند یکی از پروژه‌های عظیم ملی است که پس از پیروزی شکوهمند انقلاب اسلامی ایران به بهره‌برداری رسیده است.

1. Set Point
2. Boiler
3. Drum
4. Feed Water Pump
5. Economizer
6. Riser
7. Down Commer
8. Boiler Circulating Pump
9. Below Down
10. Super Heater
11. Evaporator
12. Water Wall

ساخت این نیروگاه که متشکل از ۴ واحد بخار با ظرفیت نامی ۱۳۰۰ MW می‌باشد در سال ۱۳۷۳ در زمینی به مساحت ۲۴۰ هکتار در شرق پالایشگاه هفتم اراک واقع در ۱۰ کیلومتری شهر شازند توسط شرکت مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران (مپنا) آغاز گردید. ارتفاع نیروگاه از سطح دریا حدوداً ۱۹۱۰ m می‌باشد. رطوبت نسبی هوا تقریباً ۶۳ درصد و سرعت باد حداکثر ۱۲۵km/h پیش‌بینی شده است. برق تولیدی از طریق پست ۲۳۰ KV نیروگاه، که توسط شرکت سهامی برق منطقه‌ای باختر احداث گردیده به شبکه‌ی سراسری انتقال داده می‌شود. در راستای سیاست‌های وزارت نیرو وظیفه‌ی راهبری، تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری از نیروگاه به شرکت مدیریت تولید برق شازند واگذار گردیده است. این شرکت تحت پوشش شرکت برق منطقه‌ای باختر به عنوان یکی از شرکت‌های وابسته به وزارت نیرو انجام وظیفه می‌نماید.

مشخصات فنی نیروگاه حرارتی شازند

تعداد واحدها: ۴ واحد بخار با قدرت نامی ۳۲۵ مگاوات؛

برج خنک کن: خشک از نوع هلر؛

کندانسور: نوع پاششی، تماس مستقیم؛

بویلر: از نوع درامدار و با گردش طبیعی، ارتفاع سازه ۶۷ m، دارای ۲۴ مشعل گازسوز و مازوت سوز، دارای سیکل ری‌هیتر، ظرفیت تولید بخار ۱۰۶۵ t/h و دمای بخار سوپرهیت و ری‌هیت ۵۴۰ °C؛

توربین: ۳ سیلندر (فشار قوی، فشار متوسط، فشار ضعیف)؛

ژنراتور: قدرت نامی ۴۰۶ MVA، ولتاژ خروجی ۲۰ KV، ضریب قدرت ۰/۸، کلاس عایقی F، هیدروژن به عنوان سامانه‌ی خنک کن روتور و آب به عنوان سامانه‌ی خنک کن استاتور

سامانه‌ی کنترل سه المانه‌ی سطح درام نیروگاه شازند

کنترل سه المانه‌ی سطح درام در نیروگاه‌های درامدار زمانی مطرح می‌شود، که سایر کنترل کننده‌ها پاسخ مناسبی نسبت به تغییرات سطح ندارند، البته در بویلرهای ظرفیت پایین و بویلرهایی که تحت شرایط خاص مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، ممکن است کنترل کننده‌های یک المانه و دو المانه نیز پاسخ خوبی داشته باشند، یعنی سیگنال انحراف سطح از مقدار درخواستی، یک ورودی مناسب برای کنترل‌کننده و در نهایت یک فرمان مناسب برای شیر کنترلی آب تغذیه باشد. اما در بویلرهای ظرفیت بالا که برداشت بخار در حداکثر بار نامی به مقداری در حدود ۱۰۶۰ t/h می‌رسد و یا شرایط خاصی که بویلر باید پاسخگوی تغییرات گاورنر والوهای توربین باشد، دیگر کنترل یک المانه و یا دو المانه نمی‌توانند به خوبی کنترل سطح درام را انجام دهند.

در جدیدترین جدیدترین فناوری‌های کنترل سه المانه، سیگنال فشار درام جهت ساختن نرخ افزایش و یا کاهش فشار درام، به عنوان یک سیگنال پیشخور مطرح شده است، به طوری‌که نمونه سیگنال فشار پس از عبور از دو مرحله مشتقگیر (در نیروگاه شازند) و بزرگ نمایی حداقل تغییرات فشار، نرخ افزایش و یا کاهش را به‌دست آورده و یک سیگنال مناسب برای پیش‌بینی شرایط آینده‌ی سطح درام تهیه می‌کند. افزایش و یا کاهش فشار درام، ناشی از تغییرات فشار سیال در لوله‌های اواپراتور می‌باشد. نرخ افزایشی فشار درام، نشانگر این است که فشار در لوله‌های اواپراتور افزایش داشته است که این امر نیز نتیجه‌ی افزایش میزان فلوی آب تغذیه در یک مقطع ثابت است و برعکس نرخ کاهشی فشار درام، نشانگر این است که فشار در لوله‌های اواپراتور کاهش داشته که این امر نیز نتیجه‌ی کاهش میزان فلوی آب تغذیه بوده است. بنابراین تغییرات نرخ فشار می‌تواند به عنوان یک سیگنال پیش‌بینی کننده در این وضعیت برای کنترل شیرهای آب تغذیه باشد که در کنار سیگنال‌های اصلی کمک شایانی در کنترل سطح درام خواهد داشت. همچنین در کنترل سه المانه حالت‌های فیزیکی مثل پدیده‌های فومینگ و پرایمینگ نیز پیش‌بینی شده است.

در پدیده‌ی پرایمینگ، براثر باز شدن ناگهانی شیرهای کنترل توربین، فشار از سطح درام برداشته می‌شود و در این حالت آب داخل درام که در فاز مایع قرار دارد تغییر ماهیت داده و به فاز بخار می‌رود، این عمل باعث بوجود آمدن حباب‌هایی در ته درام می‌شود که قلیان آن‌ها موجب پدید آمدن سطوح کاذب در درام می‌شود. این قلیان ممکن است کنترل‌کننده‌ی سطح را دچار اشتباه کند؛ اما در کنترل سه المانه و با استفاده از سیگنال دبی بخار خروجی از درام این حالت نیز پیش‌بینی شده و به خوبی نوسانات سطح را از بین می‌برد.

اما با توجه به گذشت زمان و مستهلک شدن تجهیزات، تنظیمات اولیه‌ی کنترل‌کننده‌های PID، پاسخگوی وضعیت موجود نمی‌باشد و پاسخ مطلوب آن‌ها به نوسانات سطح درام به مرور زمان از بین می‌رود و از آن‌جایی که تنظیم مجدد کنترل کننده‌های PID کار بسیار پیچیده و زمان‌بری است، لزوم وجود کنترل کننده‌هایی که عملکرد آن‌ها مشمول گذشت زمان نمی‌شود مطرح می‌گردد. از این رو کنترل کننده‌های فازی می‌توانند در چنین شرایطی عملکرد بسیار خوبی داشته باشند.

در بویلر نیروگاه حرارتی شازند، مسیر ورودی آب به درام به دو قسمت مسیر ۳۰٪ و ۱۰۰٪ تقسیم شده است. مسیر ۳۰٪ که در بارهای کمتر از ۳۰٪ بار نامی مورد استفاده قرار می‌گیرد، شامل یک شیر کنترل پنوماتیکی است که در زمان بهره‌برداری از این مسیر، کنترل سطح درام به روش یک المانه صورت می‌گیرد و فرمان شیر کنترل پنوماتیکی آب تغذیه‌ی ناشی از انحراف تغییرات سطح نسبت به مقدار درخواستی سطح درام است. در بارهای بیشتر از ۳۰٪ بار نامی، مسیر ۱۰۰٪ مورد استفاده قرار می‌گیرد و در این شرایط کنترل سطح درام به روش سه المانه انجام گرفته و فرمان خروجی کنترل کننده‌ی PID به عملگر پمپ‌های آب تغذیه جهت تنظیم فلوی آب ورودی به درام، اعمال می‌گردد. شکل ۳ نمایی از سامانه‌ی کنترل سه عنصری سطح درام نیروگاه حرارتی شازند را نشان می‌دهد.

در این سامانه، ورودی اول فشار درام، ورودی دوم اختلاف سطح درام و سطح مطلوب و ورودی سوم فلوی بخار اصلی منهای مجموع آب اسپری و فلوی آب تغذیه می‌باشد. خروجی y که خروجی این سامانه‌ی کنترلی است به عملگر پمپ‌های آب تغذیه جهت تصحیح سطح درام اعمال می‌شود.

بکارگیری منطق فازی در کنترل سطح درام

در این پروژه، درام بویلر واحد شماره دو نیروگاه حرارتی شازند مورد بررسی قرار گرفته است. از آن‌جایی که برای شناسایی بهتر یک سامانه به صورت غیر فعال[13] بهتر است ورودی‌ها دارای نوسانات متعدد باشند، اطلاعات مورد نیاز برای اعمال به سامانه‌ی فازی در شرایطی که واحد از حالت نرمال بهره‌برداری خارج شده و کلیه‌ی پارامترها دارای نوسانات شدید بوده، استخراج شده است. برای دستیابی به نتایج دقیق در حدود ۲۰۰۰۰ داده از سامانه‌ی DCS نیروگاه جمع‌آوری شده که این اطلاعات مربوط به کلیه پارامترهایی بوده که به نحوی در سامانه‌ی کنترل سه المانه‌ی سطح درام دخالت داشته است و اطلاعات در دو حالت شرایط بدون نوسان واحد و حداکثر نوسان واحد جمع آوری شده است. شناسایی سامانه‌ی کنترل سطح در حوزه‌ی فازی در هر دو حالت مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته و یک بار در حالت حداکثر نوسان و بار دیگر در حالت بدون نوسان و شرایط نرمال بهره‌برداری تست گردیده است که مقایسه‌ی بین خروجی کنترل‌کننده‌ی فازی و کنترل‌کننده‌ی PID در ادامه ارایه شده است. لازم به ذکر است تعیین قوانین فازی بر اساس تجربیات فردی در بهره‌برداری از واحدهای نیروگاه و مطالعه‌ی رفتار سامانه با کنترل کننده‌های PID

13. Passive Identification

بوده است.

برای سامانه‌ی کنترل سطح درام در حوزه‌ی فازی سه ورودی و دو خروجی تعریف شده است.

ورودی‌های این سامانه‌ی فازی عبارتند از:

- اختلاف سطح اندازه‌گیری شده درام با سطح مطلوب یا Set Point؛
- اختلاف بین دبی جرمی بخار خروجی از درام[14] و دبی جرمی آب ورودی به درام[15]؛
- فشار درام؛
- خروجی نهایی این سامانه که حاصل جمع دو خروجی فازی می‌باشد، فرمانی است که برای عملگر پمپ‌های آب تغذیه صادر می‌شود. این پمپ‌ها با استفاده از کوپلینگ‌های هیدرولیکی خود، قادر هستند فلو و فشار آب ورودی به درام را تغییر داده و بدین ترتیب سطح آب درام را کنترل نمایند.

تعیین ورودی‌ها، خروجی‌ها و انتخاب توابع عضویت

اولین ورودی سامانه‌ی فازی که MS-FW نام گذاری شده است، اختلاف بین فلوی Main Steam و فلوی آب تغذیه می‌باشد. این ورودی شامل شش تابع تعلق از نوع گوسی[16] با نام‌های F۳N , F۲N, F۱N, F۱P, F۲P, F۳P می‌باشد و بازه‌ی تغییرات این ورودی از ۲۵۰ t/h- تا ۲۵۰ t/h+ در نظر گرفته شده است. مفهوم این نام‌ها به صورت زیر می‌باشد:

F3N: اختلاف بین فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیار منفی باشد.

F2N: اختلاف بین فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار منفی باشد.

F1N: اختلاف بین فلوی Main Steam و فلوی Feed Water کمی منفی باشد.

F1P: اختلاف بین فلوی Main Steam و فلوی Feed Water کمی مثبت باشد.

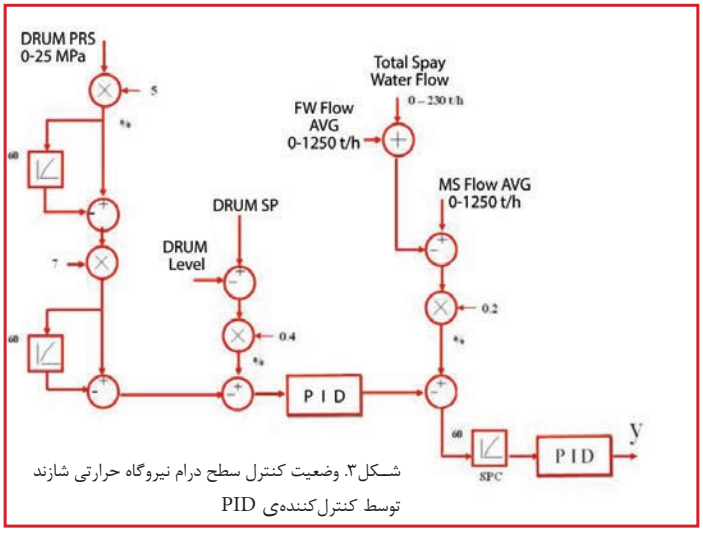
F2P: اختلاف بین فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار مثبت باشد.

F3P: اختلاف بین فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیار مثبت باشد.

شکل ۴ وضعیت توابع تعلق این ورودی را نشان می‌دهد.

دومین ورودی سامانه فازی که با SP- LVL نام گذاری شده است، اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام می‌باشد. این ورودی شامل هشت تابع تعلق از نوع گوسی با نام‌های L4N, L3N, L2N, L1N, L1P, L2P, L3P, L4P می‌باشد و بازه‌ی تغییرات این ورودی از ۲۰۰ mm- تا ۲۰۰ mm+ در نظر گرفته شده است. مفهوم این نام‌ها به صورت زیر می‌باشد:

14. Main Steam Flow
15. Feed Water Flow
16. Gaussian



شکل ۳. وضعیت کنترل سطح درام نیروگاه حرارتی شازند توسط کنترل‌کننده‌ی PID

- L4P: اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار بسیار بسیار مثبت باشد.
- L3P: اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار بسیار مثبت باشد.
- L2P: اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار مثبت باشد.
- L1P: اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام کمی مثبت باشد.
- L1N: اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام کمی منفی باشد.
- L2N: اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار منفی باشد.
- L3N: اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار بسیار منفی باشد.
- L4N: اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار بسیار بسیار منفی باشد.

شکل ۵ وضعیت توابع تعلق این ورودی را نشان می دهد.

سومین ورودی سامانه فازی که با Press نامگذاری شده است، فشار درام بوده که دارای هشت تابع تعلق از نوع مثلثی[17] با نام‌های P۱ تا P۸ می‌باشد و بازه‌ی تغییرات این ورودی از ۱۴/۴ Mpa تا ۲۰ Mpa انتخاب شده است. شکل ۶ وضعیت توابع تعلق این ورودی را نشان می دهد.

اولین خروجی این سامانه فازی out put1 نام دارد و دارای هشت تابع تعلق از نوع مثلثی با نام‌های 4I, 3I, 2I, 1I, 1D, 2D, 3D, 4D می‌باشد و بازه‌ی تغییرات این خروجی از ۲۰٪- تا ۲۰٪+ در نظر گرفته شده است. مفهوم این نام‌ها به صورت زیر می‌باشد:

- ۴D: کاهش بسیار بسیار زیاد؛
- ۳D: کاهش بسیار زیاد؛
- ۲D: کاهش زیاد؛
- ۱D: کمی کاهش؛
- ۱I: کمی افزایش؛
- ۲I: افزایش زیاد؛
- ۳I: افزایش بسیار زیاد؛
- ۴I: افزایش بسیار بسیار زیاد؛

شکل ۷ وضعیت توابع تعلق خروجی ۱ را نشان می‌دهد.

دومین خروجی این سامانه‌ی فازی out put2 نام دارد و دارای هشت تابع تعلق از نوع مثلثی با نام‌های O۱ تا O۸ می‌باشد و بازه‌ی تغییرات این خروجی از ۵۷ ٪ تا ۸۳ ٪ در نظر گرفته شده است. شکل ۸ وضعیت توابع تعلق خروجی شماره ۲ را نشان می‌دهد.

قابل ذکر است که در این سامانه فازی، خروجی فازی شماره ۲ با توجه به ورودی شماره ۳ یعنی فشار درام یک مقدار ثابت برای عملگر پمپ‌های آب تغذیه تعیین می‌کند و خروجی فازی شماره ۱ با توجه به ورودی‌های شماره ۱ و ۲ یعنی اختلاف بین فلوی Main Steam و فلوی Feed Water و اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام، یک فرمان افزایش یا کاهش تولید می‌کند. در نتیجه فرمانی که برای عملگر صادر می‌شود مجموع دو خروجی فازی است.

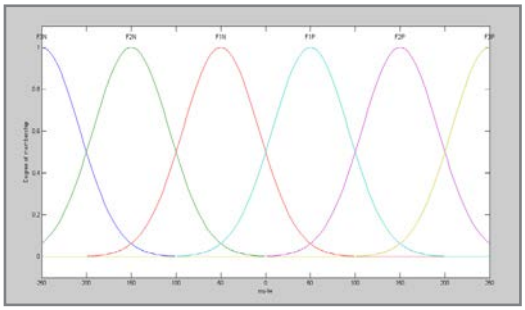
قوانین زبانی که در این پروژه از آن‌ها استفاده شده است به صورت زیر می‌باشد:

۱. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیار منفی بود، آنگاه خروجی ۱ کاهش بسیار زیاد داشته باشد.

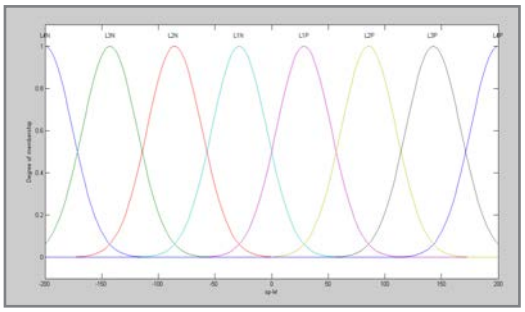
۲. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار منفی بود، آنگاه خروجی ۱ کاهش زیاد داشته باشد.

۳. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water کمی منفی بود، آنگاه خروجی ۱ کمی کاهش داشته باشد.

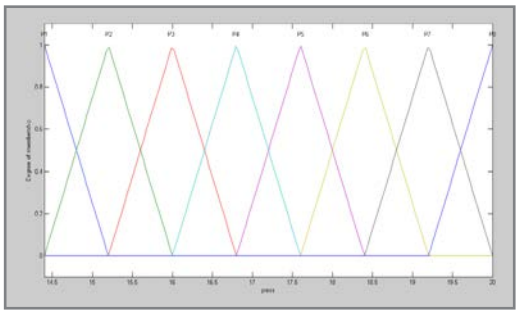
17. Triangular



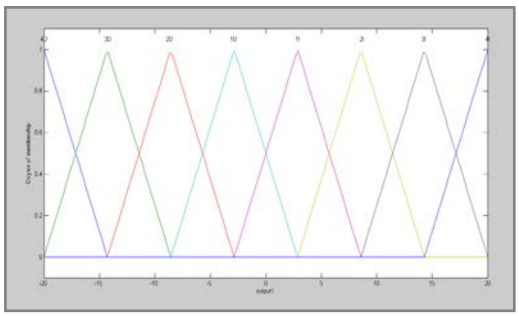
شکل۴. وضعیت توابع تعلق ورودی شماره ۱



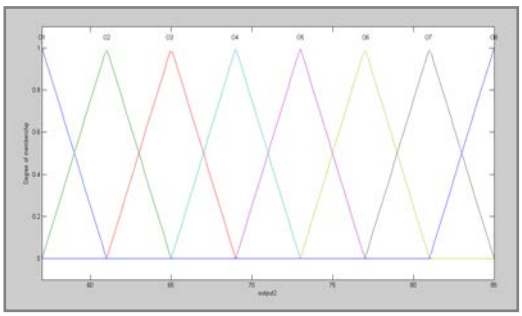
شکل۵. وضعیت توابع تعلق ورودی شماره ۲



شکل۶. وضعیت توابع تعلق ورودی شماره ۳



شکل۷. وضعیت توابع تعلق خروجی شماره ۱



شکل۸: وضعیت توابع تعلق خروجی شماره ۲

۴. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water کمی مثبت بود، آنگاه خروجی ۱ کمی افزایش داشته باشد.

۵. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار مثبت بود، آنگاه خروجی ۱ افزایش زیاد داشته باشد.

۶. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیارمثبت بود، آنگاه خروجی ۱ افزایش بسیار زیاد داشته باشد.

۷. اگر اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار بسیار بسیار منفی بود، آنگاه خروجی ۱ کاهش بسیار بسیار زیاد داشته باشد.

۸. اگر اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار بسیار منفی بود، آنگاه خروجی ۱ کاهش بسیار زیاد داشته باشد.

۹. اگر اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار منفی بود، آنگاه خروجی ۱ کاهش زیاد داشته باشد.

۱۰. اگر اختلاف Set Point و سطح درام کمی منفی بود، آنگاه خروجی ۱ کمی کاهش داشته باشد.

۱۱. اگر اختلاف Set Point و سطح درام کمی مثبت بود، آنگاه خروجی ۱ کمی افزایش داشته باشد.

۱۲. اگر اختلاف Set Point و سطح درام بسیار مثبت بود، آنگاه خروجی ۱ افزایش زیاد داشته باشد.

۱۳. اگر اختلاف Set Point و سطح درام بسیار بسیارمثبت بود، آنگاه خروجی ۱ افزایش بسیار زیاد داشته باشد.

۱۴. اگر اختلاف Set Point و سطح درام بسیار بسیار بسیار مثبت بود، آن‌گاه خروجی ۱ افزایش بسیار بسیار زیاد داشته باشد.

۱۵. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیاربسیار منفی بود و اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار بسیار مثبت بود، آنگاه خروجی ۱ کاهش بسیار بسیار زیاد داشته باشد.

۱۶. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیار منفی بود و اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار مثبت بود، آنگاه خروجی ۱ کاهش بسیار زیاد داشته باشد.

۱۷. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیار منفی بود و اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام مثبت بود، آنگاه خروجی ۱ کاهش زیاد داشته باشد.

۱۸. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیار منفی بود و اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام کمی مثبت بود، آنگاه خروجی ۱ کاهش زیاد داشته باشد.

۱۹. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیار مثبت بود و اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام کمی منفی بود، آنگاه خروجی ۱ افزایش زیاد داشته باشد.

۲۰. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیار مثبت بود و اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام منفی بود آنگاه خروجی ۱ افزایش زیاد داشته باشد.

۲۱. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیار مثبت بود و اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار منفی بود، آن‌گاه خروجی ۱ افزایش بسیار زیاد داشته باشد.

۲۲. اگر اختلاف فلوی Main Steam و فلوی Feed Water بسیار بسیار مثبت بود و اختلاف بین Set Point سطح درام و مقدار واقعی سطح درام بسیار منفی بود، آنگاه خروجی ۱ افزایش بسیار بسیار زیاد داشته باشد.

۲۳. اگر فشار درام P1 بود، آنگاه خروجی ۲، O1 باشد.

۲۴. اگر فشار درام P2 بود، آنگاه خروجی ۲، O2 باشد.

۲۵. اگر فشار درام P3 بود، آن‌گاه خروجی ۲، O3 باشد.

۲۶. اگر فشار درام P4 بود، آن‌گاه خروجی ۲، O4 باشد.

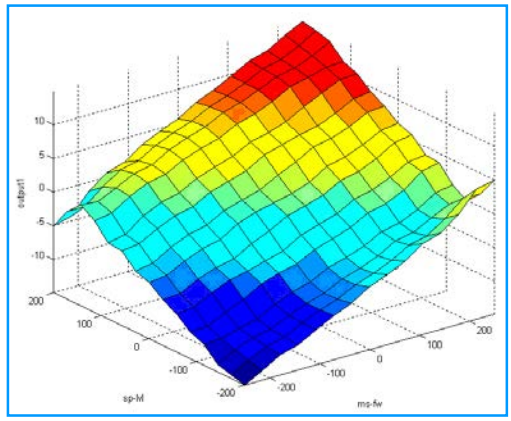
۲۷. اگر فشار درام P5 بود، آن‌گاه خروجی ۲، O5 باشد.

۲۸. اگر فشار درام P6 بود، آن‌گاه خروجی ۲، O6 باشد.

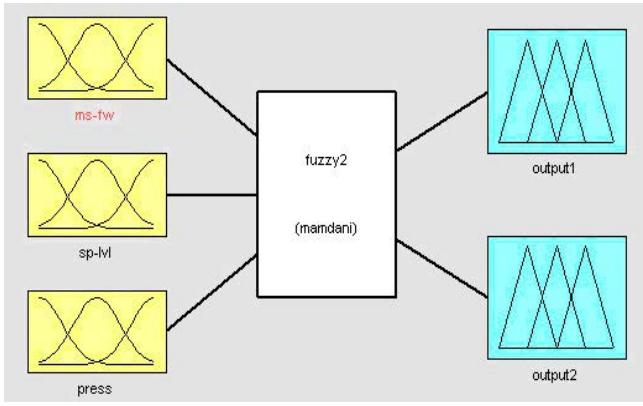
۲۹. اگر فشار درام P7 بود، آن‌گاه خروجی ۲، O7 باشد.

۳۰. اگر فشار درام P8 بود، آن‌گاه خروجی ۲، O8 باشد.

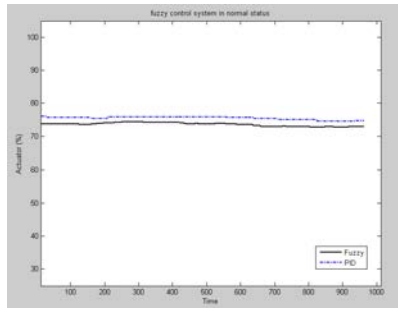
قابل ذکر است در این سامانه‌ی فازی به دلیل



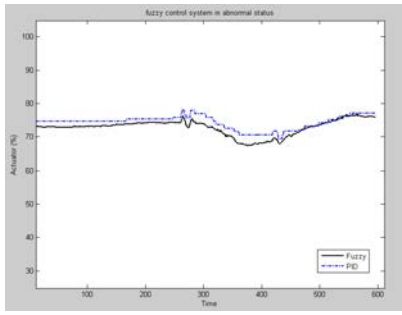
شکل۱۰: نمودار سطحی سامانه‌ی کنترل فازی سطح درام



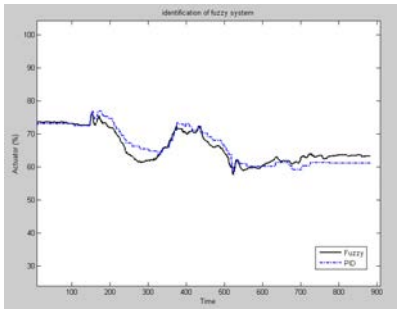
شکل۹: وضعیت ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه کنترل فازی سطح درام



شکل۱۳. مقایسه‌ی خروجی کنترل کننده‌ی فازی و خروجی کنترل‌کننده‌ی PID در حالت تست سامانه‌ی فازی در شرایط نرمال سطح درام



شکل۱۲. مقایسه‌ی خروجی کنترل‌کننده‌ی فازی و خروجی PID کنترل‌کننده در حالت تست سامانه‌ی فازی در شرایط غیر نرمال سطح درام



شکل۱۱. مقایسه‌ی خروجی کنترل‌کننده‌ی فازی و خروجی PID کنترل‌کننده در حالت شناسایی سامانه در شرایط غیر نرمال سطح درام

رفتار غیر خطی ورودی‌های شماره ۱ و ۲ ، توابع تعلق آن‌ها از نوع گوسی انتخاب شده و با توجه به تأثیر مستقیم فشار درام بر فرمان خروجی سامانه کنترل، توابع تعلق ورودی شماره ۳ از نوع مثلثی انتخاب شده است.

شکل ۹ نمای کلی و شکل ۱۰ نمودار سطحی این سامانه فازی را نشان می‌دهد.

مقایسه‌ی خروجی سامانه کنترل فازی با کنترل کننده‌ی PID سطح درام

در شکل ۱۱ نتایج خروجی سامانه‌ی کنترل فازی در حالت شناسایی سامانه و مقایسه آن با خروجی کنترل کننده‌ی PID سطح درام، در شرایط غیر نرمال و در حالتی که سطح درام نوسان شدیدی دارد را می‌توان مشاهده نمود. شکل ۱۲ مربوط به حالت تست سامانه‌ی کنترل فازی است که در آن سطح درام کاملاً نوسانی و غیرنرمال می‌باشد. در این شکل نیز می‌توان خروجی سامانه‌ی فازی را با خروجی کنترل کننده‌ی کلاسیک مقایسه نمود و در پایان شکل ۱۳ مربوط به حالت تست سامانه‌ی کنترل فازی سطح درام و مقایسه‌ی آن با خروجی PID در شرایط کاملاً نرمال و بدون نوسان سطح درام می‌باشد.

نگارندگان:

۱. دکتر غلامرضا نوشیروانی عضو هیأت علمی جهاد دانشگاهی- دپارتمان مهندسی برق- استان مرکزی
rnoshirvani@gmail.com
۲. مهندس رضا فرزانه کارشناس مهندسی الکترونیک، تکنسین مسئول بهره برداری توربین بخار
r.fazane@gmail.com
۳. مهندس محمود رحیمی کارشناس مهندسی الکترونیک، تکنسین مسئول بهره برداری بویلر
mahmoodrahimi45@gmail.com

منابع:

۱. لی وانگ ـ سامانه‌های فازی و کنترل فازی ـ ترجمه دکتر محمد تشنه لب، نیما صفارپور، داریوش افیونی ـ انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ـ ۱۳۷۸
۲. بارت کاسکو ـ تفکر فازی ـ ترجمه علی غفاری، عادل مقصودپور، علی رضا پورممتاز، جمشید قسیمی ـ انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. ک.اوگاتا ـ سامانه‌های کنترل دیجیتال ـ ترجمه دکتر علی خاکی صدیق، دکتر پرویز جبهدار مارالانی ـ انتشارات دانشگاه
تهران ـ بهار ۱۳۷۹
۴. محمد محمد الوکیل ـ نیروگاه‌های حرارتی ـ مترجم کاظم سرابچی ـ جلد اول ـ مرکز نشر دانشگاهی
۵. Birtish Electricity International ـ تجربیات نیروگاه‌های پیشرفته ـ ترجمه جمشید فتحی ـ جلد سوم، بویلر و تجهیزات جانبی ـ چاپ اول ـ مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران ـ ۱۳۷۹
6- W.J. Peet / T.K.P. Leung, IMPROVED DRUM LEVEL CONTROL FOR LOAD CYCLING, IEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, December 1993, Hong Kong