

طراحی و پیاده‌سازی یک نرم‌افزار کارشناس برای تبدیل PFD به P&ID

تاریخ دریافت: ۸۹/۴/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۸

پژوهش نفت

سال بیست و یکم

شماره ۶۷

صفحه ۲۹-۱۴، ۱۳۹۰

بهنام بلوچی* و رامین بزرگمهری

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

Baloochy@gmail.com

چکیده

در این مقاله یک سیستم کارشناس فازی به منظور کمک در تبدیل PFD به P&ID توسعه داده شد. طراحی بستر دانش این سیستم براساس ترکیب دو تکنیک رایج نمایش دانش شامل نمایش بر مبنای قوانین و نمایش بر مبنای چهارچوب‌ها، انجام شد. این سیستم کارشناس فازی شامل دو بخش عمده پایگاه داده‌ها و برنامه اجرایی می‌باشد. پایگاه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Rational Rose طراحی و توسط نرم‌افزار InterBase پیاده‌سازی شد. برنامه اجرایی نیز بر مبنای ایده شیء‌گرایی و استاندارد UML طراحی و سپس با استفاده از کامپایلر Borland C++ Builder پیاده‌سازی گردید. در نهایت کارایی این نرم‌افزار کارشناس فازی با اعمال PFD واحد صنعتی Super Fractionation یک پالایشگاه گاز ارزیابی شد. این مطالعه نشان داد که نرم‌افزار کارشناس توسعه داده شده به شرط داشتن یک بستر دانش غنی به خوبی قادر به تبدیل PFD واحدهای صنعتی می‌باشد.

مقدمه

افراد خبره برای حل مسائل، همه اطلاعات فرآیند مورد بررسی را با دانش خود ترکیب می‌کنند. یک سیستم خبره یا سیستم کارشناس^۱ نیز از همین روش برای حل مسائل استفاده می‌کند. با این تفاوت که برخی فاکتورها که باعث کاهش کارایی تشخیص کارشناس می‌شود (مانند فشارهای روحی، خستگی و غیره) در سیستم کارشناس وجود ندارد [۱]. می‌توان با استفاده از تکنیک منطق فازی^۲ در موتور استنتاج^۳، یک سیستم کارشناس را به نحوی طراحی نمود که قادر باشد مسائل دارای اطلاعات ناقص و یا راه حل‌های غیر دقیق را حل کند [۱]. سیستم‌های کارشناس فازی با استفاده از قوانین فازی^۴ موجود در بستر دانش^۵ خود و با به‌کارگیری روش پردازش استدلال فازی^۶، نتایجی را از داده‌های ورودی کاربر استخراج می‌کنند [۲-۴]. کارایی این سیستم‌ها برای نمایش دانش یا اطلاعات مبهم به خوبی اثبات شده [۵-۷] و هم اکنون به‌طور گسترده برای انجام

1. Expert System
2. Fuzzy Logic
3. Inference Engine
4. Fuzzy Rules
5. Knowledge Base
6. Fuzzy Reasoning Process

واژه‌های کلیدی: P&ID، PFD، سیستم کارشناس، منطق فازی، صنایع شیمیایی

افزوده شده و بر پیچیدگی اطلاعاتی که ارائه می‌دهند، اضافه می‌شود. ابتدا از نقشه‌های ساده ورودی-خروجی آغاز می‌شود در ادامه موازنه کامل انرژی و مواد در نقشه‌های PFD و جزئیات اتصالات تجهیزات و ابزار دقیق در نقشه‌های P&ID اضافه می‌گردد.

هدف از این مقاله، توسعه یک سیستم کارشناس فازی جهت ساده‌سازی کار تبدیل نقشه‌های PFD به P&ID می‌باشد. از آنجا که این روند تبدیل الگوریتمیک نیست و نیاز به تصمیم‌گیری در شرایط متفاوت براساس قوانین سرانگشتی وجود دارد، نمی‌توان از روش‌های رایج برنامه‌نویسی برای توسعه آن استفاده نمود و لازم است از تکنیک‌های هوش مصنوعی استفاده شود. مطالعه روی مقالات، منابع و مراجع موجود نشان می‌دهد که تا زمان نوشتن این مقاله، هنوز هیچ کار مشابهی در این سطح برای طراحی چنین سیستم کارشناسی در سطح دنیا انجام نشده است. در این مقاله، هدف توسعه یک سیستم کارشناس با قابلیت پیشنهاد یک سیستم کنترلی مطلوب برای PFD فرآیندی می‌باشد.

تصویر کلی یک سیستم کارشناس فازی

سیستم کارشناس، یک برنامه کامپیوتری است که برای مدل کردن توانمندی حل مسأله توسط یک فرد کارشناس طراحی می‌شود [۲۸]. دو خصوصیت شخص کارشناس که تلاش می‌شود در سیستم کارشناس مدل گردد، عبارتند از: دانش شخص کارشناس و قدرت استدلال او. برای مدل کردن هر کدام از این خصوصیات، این سیستم باید دارای دو بخش اصلی بستر دانش و موتور استنتاج باشد. بستر دانش شامل دانش شخص کارشناس درباره موضوعی است که مسأله مورد نظر روی آن طرح می‌شود. این بستر حاوی قوانین، مفاهیم، روابط و حقایق لازم برای حل مسأله می‌باشد. چگونگی ذخیره این دانش درون بستر دانش، موضوع مبحث نمایش دانش^۴ است.

عملیات‌های کنترلی و عیب‌یابی در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. سادگی کار با سیستم‌های کارشناس و شباهت‌های این گونه سیستم‌ها با نحوه استدلال شخص خبره، علت گسترده‌گی کاربرد آنها می‌باشد [۲-۴ و ۸]. سیستم‌های کارشناس فازی به‌جای استفاده از منطق بولی^۱، از یک مجموعه قوانین فازی برای استدلال درباره داده‌ها استفاده می‌کند [۹]. بنابراین این سیستم‌ها می‌توانند به‌طور مؤثر، دانش کیفی را به استدلال عددی ترجمه نموده [۱۰] و در عین حال با همان زبان طبیعی کاربر، با آنها ارتباط برقرار کنند [۴]. تئوری منطق فازی ابتدا توسط پروفیسور لطفی‌زاده ابداع و سپس توسط دیگران توسعه داده شد [۱۱]. استدلال بر مبنای منطق فازی قادر است عدم قطعیت و درک انسان‌ها از تجربیاتشان را به‌راحتی دریافت نماید [۳ و ۱۲].

بسیاری از کاربردهای منطق فازی در طی سال‌ها تحقیقات محققان، مشخص شده است. این کاربردها مواردی مانند صنایع تولیدی [۲، ۴، ۸ و ۱۳]، اقتصاد [۲-۴ و ۸] و حتی پزشکی [۱۰، ۱۴ و ۱۵] را نیز شامل می‌شود. منطق فازی همچنین در چندین زمینه کاربردی در حوزه مرتبط با مهندسی نفت مانند پتروفیزیک [۱۶ و ۱۷]، ارزیابی مخازن [۱۸]، ازدیاد برداشت [۱۹]، حفاری [۲۰]، آنالیز تصمیم‌گیری [۲۱] و شبیه‌سازی چاه [۲۲ و ۲۳] به‌کار برده شده است.

در سال‌های اخیر، مطالعات روی سیستم‌های کارشناس فازی در مهندسی شیمی بیشتر با هدف رفع گلوگاه‌های فرآیندی^۲ [۲۴ و ۲۵] و ردیابی و حذف خطاهای فرآیندی^۳ [۲۶ و ۲۷] انجام شده است.

طراحی فرآیندهای پیچیده در صنایع شیمیایی و نفت، نیازمند جمع‌آوری و ادغام حجم بسیار وسیعی از اطلاعات متفاوت می‌باشد. طراحان خبره فرآیند برای کمک به توسعه و انتقال این حجم اطلاعات، از یک سری نمادهای گرافیکی استاندارد استفاده می‌کنند. طراحی فرآیند معمولاً از یک الگوی منظم پیروی می‌کند. این کار با توسعه و تکمیل یک سری از نقشه‌ها انجام می‌شود که در هر مرحله هر یک از این نقشه‌ها کمی با نقشه متناظرشان در مرحله قبلی متفاوتند. زیرا در هر مرحله اطلاعات بیشتری به آنها

1. Boolean Logic
2. Trouble Shooting
3. Fault Detection
4. Knowledge Representation

موجود در PFD به محیط نرم‌افزار به نحوی که تمام خصوصیات شیء که برای عملکرد نرم‌افزار لازم می‌باشد، در این نگاشت انتقال داده شود.

۲- تهیه یک ساختار برای نمایش و اعمال ساختارهای کنترلی^۱.

طراحی ساختار اشاره شده در بند اول، از کلاس PFD Based Object آغاز شده است. این کلاس به همراه مشتقاتش تا سطح دوم در شکل ۱ نشان داده شده است [۲۹ و ۳۰].

هر کدام از کلاس‌های Unit Operation و Logical Operation نیز دارای مشتقاتی هستند.

برای نمایش ساختارهای کنترلی می‌توان به روش‌های مختلف عمل کرد. هر ساختار کنترلی قابل اعمال به یک دستگاه عملیاتی خاص، دارای تعدادی زوج^۳ است که هر زوج دارای یک یا چند متغیر قابل اندازه‌گیری (ورودی) و یک یا چند متغیر اعمال کننده کنترل (خروجی) می‌باشد. زوج‌ها می‌توانند تک ورودی- تک خروجی و یا چند ورودی- چند خروجی باشند.

بهترین روش نمایش ساختارهای کنترلی، در نظر گرفتن کلاس Variable به عنوان سنگ بنای این مجموعه است. این مدل در شکل ۲ نشان داده شده است.

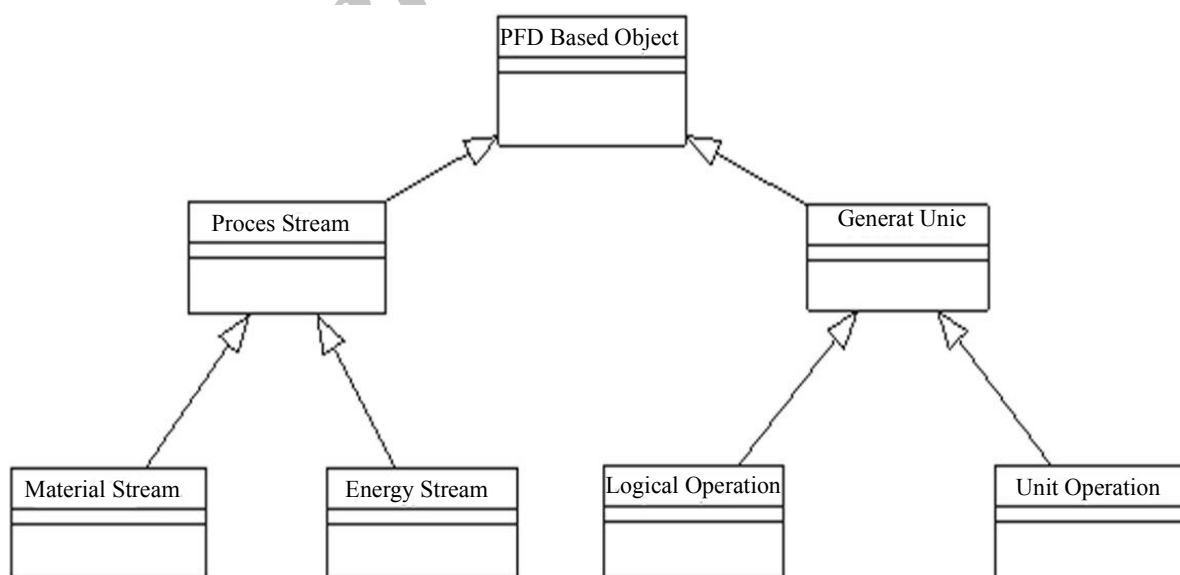
موتور استنتاج در واقع یک پردازنده دانش است. این پردازشگر، اطلاعات موجود روی یک مسأله خاص را با دانش ذخیره شده در بستر دانش ترکیب می‌کند، تا بدین طریق نتایج و یا توصیه‌هایی استخراج شود. چگونگی طراحی این پردازشگر، موضوع مبحث روش‌های استنتاج^۱ است.

یک سیستم کارشناس فازی، سیستمی است که قوانین موجود در بستر دانش آن دارای آرگومان‌های فازی باشد [۲۸]. موتور استنتاج این سیستم باید به گونه‌ای طراحی شود که بتواند با این قوانین کار کند. موتور استنتاج فازی تلاش می‌کند با استفاده از اطلاعات داده شده درباره آرگومان‌های فازی قانون مورد نظر، قطعیتی را درباره نتیجه قانون به دست آورد.

توسعه سیستم کارشناس تبدیل PFD به P&ID

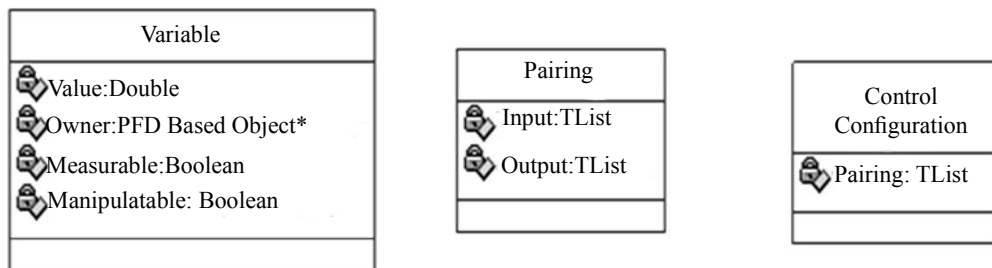
طراحی و پیاده‌سازی موتور استنتاج به شیوه شیء‌گرایی در بخش مقدمه چهارچوب عملکرد نرم‌افزار شرح داده شد. برای عملی کردن آن لازم است یک طراحی دقیق جهت پوشش دادن تمام جزئیات و احتمالات انجام شود. این طراحی باید شامل موارد زیر باشد:

۱- یک ساختار سلسله مراتبی برای نگاشت تمام اشیاء



شکل ۱- دو سطح از کلاس‌های مشتقی از کلاس PFD Based Object

1. Inference Techniques
2. Control Configurations
3. Pairing



شکل ۲- استفاده از کلاس Variable برای نمایش ساختارهای کنترلی

جملات در قالب کتاب، مقاله، گزارش و غیره منتشر کرد. بالاترین و سومین سطح شناسایی، مربوط به دانش است. هنگامی که این استعداد بالقوه وجود داشته باشد که اطلاعات درک شده به‌طور هوشمندانه در یک زمینه خاص به‌کار برده شود، در این صورت به مجموعه این اطلاعات درک شده، دانش گفته می‌شود. اطلاعات درک شده، اطلاعاتی هستند که با ساختاری مناسب برای استفاده طبقه‌بندی، مرتب و ترکیب شده باشند. بنابراین، دانش به یک دانا نیاز دارد. به عنوان مثال اطلاعات موجود در یک کتاب دانش نیست و هنگامی تبدیل به دانش می‌شود که توسط شخصی مطالعه و درک شود.

از تفاوت بین مفاهیم داده و دانش می‌توان به تفاوت بین پایگاه داده‌ها و بستر دانش پی برد. پایگاه داده‌ها مجموعه‌ای از داده‌های ذخیره شده در جداول می‌باشد که توسط برنامه‌های کاربردی یا افراد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. پایگاه داده‌ها موجودیت مستقلی دارد به عبارت دیگر وابسته به برنامه‌ای که از آن استفاده می‌کند، نیست بلکه برنامه‌های کاربردی به آن نیاز دارند. ویژگی دیگر پایگاه داده‌ها این است که سنگ بنای آن جدول می‌باشد یعنی جداول در یک پایگاه داده به عنوان یک موجودیت مستقل به یکدیگر مربوطند. به همین علت محدودیت‌های موجود در جدول به عنوان المان ذخیره کننده داده‌ها، به پایگاه داده‌ها نیز منتقل می‌شود. این محدودیت‌ها به شرح زیر است [۳۱ و ۳۲]:

- پایگاه داده‌ها پایا است. یعنی در صورت نیاز هنگام کار کردن با آن، نمی‌تواند خود را توسعه دهد. به عبارت بهتر یک جدول نمی‌تواند در صورت لزوم، هنگام اضافه شدن یک سطر به‌طور اتوماتیک، ستونی به خود بیفزاید و نیز تعداد ستون‌های همه سطرها باید یکسان باشد.

عملکرد این ساختار به این صورت است که درون هر کدام از خاصیت‌های Input و Output از کلاس زوج، یک شیء (برای حالت تک ورودی- تک خروجی) و یا چند شیء (برای حالت چند ورودی- چند خروجی) از کلاس Variable قرار می‌گیرد. هر شیء در کلاس Variable مربوط به آن شیء در PFD است که در خاصیت Owner آن مشخص شده است. ورودی یا خروجی بودن این متغیرها توسط دو خاصیت Measurable و Manipulatable مشخص می‌شود. چون ممکن است حالتی پیش آید که یک متغیر برای یک زوج نه ورودی و نه خروجی باشد. نهایتاً تمام شیء‌های زوج مربوط به یک ساختار کنترلی خاص، در آرایه مختص همان شیء از کلاس Control Configuration ذخیره می‌شود.

برای پیاده‌سازی موارد طراحی شده به شیوه شیء‌گرا، از زبان برنامه نویسی C++ و کامپایلر Borland C++ Builder استفاده شده است.

طراحی و پیاده‌سازی بستر دانش

از دیدگاه تحلیلی، سه سطح از شناسایی دنیای خارج قابل طبقه‌بندی است. پایین‌ترین سطح مربوط به داده‌ها است. داده از یک سری اعداد یا کلمات مربوط به هم که هنوز روابط و ویژگی‌های آنها نسبت به هم ارزیابی نشده، تشکیل شده است. این اعداد و کلمات صرفاً برای تفسیر یا استفاده در مراجعات بعدی ذخیره شده‌اند.

سطح دوم که کمی پخته‌تر از سطح اول است، مربوط به اطلاعات می‌باشد. هنگامی که داده‌هایی از یک زمینه خاص مورد پردازش قرار گیرد و نتیجه‌گیری‌هایی به فرم گزاره و نمودار حاصل شود، اطلاعاتی در مورد آن موضوع به‌دست آمده است. این اطلاعات را می‌توان به‌صورت یک سری

یک مفهوم مانند متغیر، دستگاه، قانون و یا ساختار می باشد. البته برای بهبود سرعت نرم افزار در بستر دانش نیز همانند پایگاه داده ها، روی اعداد پردازش انجام می گیرد. ولی در اینجا هدف، در واقع پردازش روی مفاهیمی است که اعداد نماد آن هستند.

پس می توان گفت، بستر دانش نوعی از پایگاه داده ها است که دارای یک سری برنامه نویسی اضافی برای غلبه بر محدودیت های ذاتی پایگاه داده ها و دادن قابلیت های اضافی به آن می باشد. بنابراین، ابتدا پایگاه داده ها طراحی شده و سپس به یک سری از کلاس های موجود در بدنه نرم افزار ارتباط داده می شود. از آنجا که مهم ترین جزء و محل اصلی ذخیره داده ها در پایگاه داده ها، جداول آن می باشد، ابتدا طراحی از آنها آغاز می شود.

برای طراحی پایگاه داده ها از نرم افزار Rational Rose استفاده شده است. برای پیاده سازی پایگاه داده های طراحی شده در Rational Rose نوعی سیستم مدیریت پایگاه داده رابطه ای به نام Inter Base مورد استفاده قرار گرفته است. دانش لازم جهت تبدیل PFD به P&ID را می توان به صورت زیر تفکیک نمود:

- مجموعه ای از تمام ساختارهای کنترلی موجود برای تمامی دستگاه های عملیاتی تعریف شده در نرم افزار.

- مجموعه ای از قوانین (به فرم اگر... و... و... آنگاه...) که تعیین می نماید، در یک شرایط معین، بهتر است از کدام ساختار کنترلی برای یک دستگاه عملیاتی خاص استفاده شود.

بنابراین دو دسته از جداول وجود دارد. آن دسته که مسؤول ذخیره ساختارهای کنترلی هستند و دسته دوم که قرار است قوانین حامی این ساختارهای کنترلی را حفظ کنند. این دو دسته جدول با هم رابطه و برهم کنش دارند. در ادامه نحوه ارتباط و عملکرد برخی از این جداول که نقشی کلیدی در ذخیره دانش دارند، شرح داده می شود.

جدول مربوط به ذخیره سازی ساختارهای کنترلی در شکل ۳ نشان داده شده است. به علت اینکه از مجموعه اشیاء موجود در PFD فقط برای واحدهای عملیاتی می توان ساختار کنترلی تعریف نمود، جدول Control Configuration به طور مستقیم با جدول PFD Based Object ارتباط ندارد.

1. Frame

- پایگاه داده ها مسطح است. به عبارت دیگر دارای سلسله مراتب نیست و تمام داده ها را در یک سطح ذخیره می کند. به همین علت است که در پایگاه داده ها، زیر ساختار معنی ندارد. مثلاً نمی توان در یکی از خانه های یک جدول، جدولی دیگر را ذخیره نمود.

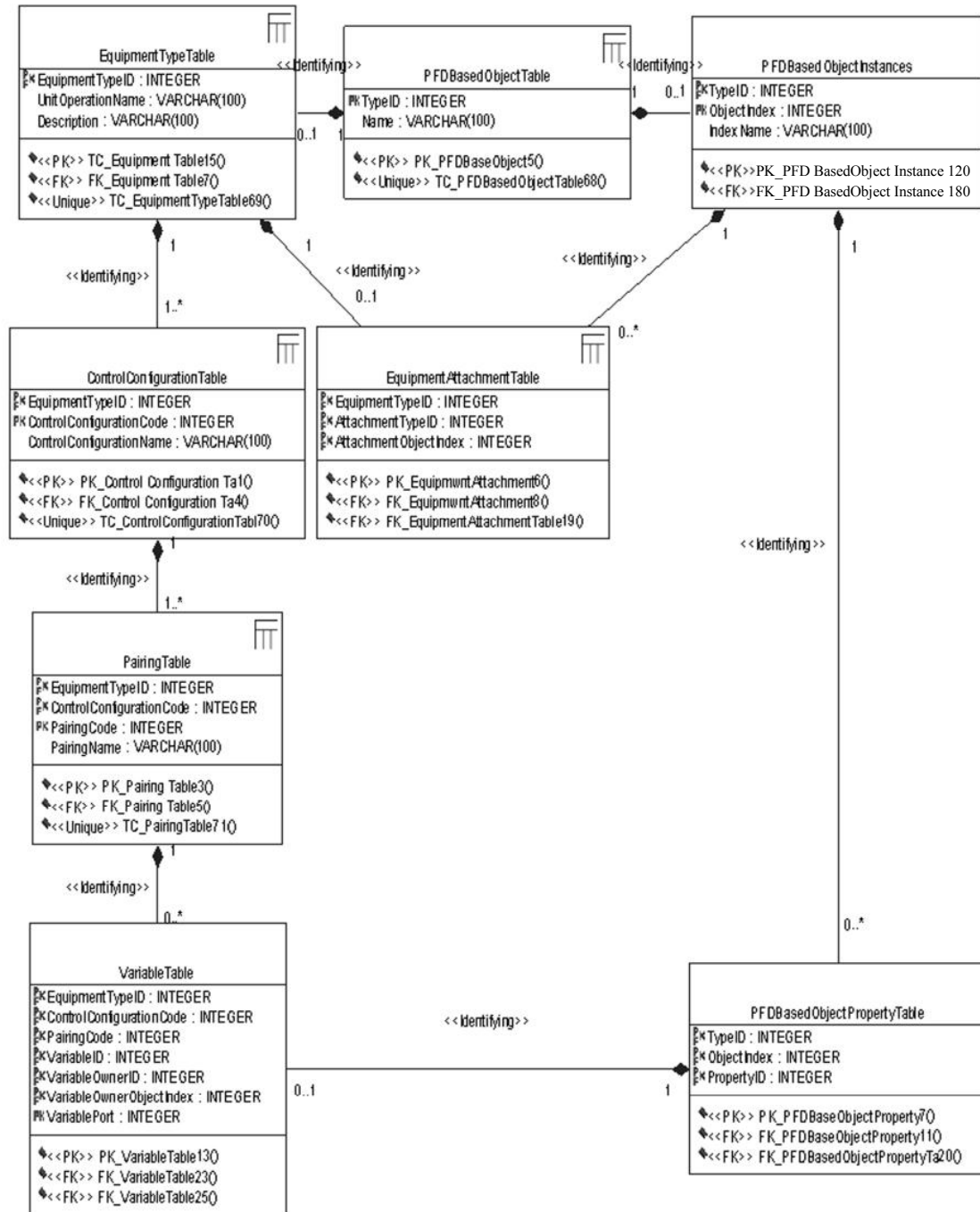
- پایگاه داده ها همگن است. یعنی تمام سطرهای مربوط به یک ستون جدول باید دارای یک نوع داده باشد و نمی توان داده هایی با انواع متفاوت ولی با عنوان یکسان را کنار هم ذخیره کرد.

- پایگاه داده ها غیرفعال است. به عبارت دیگر فقط داده ها را ذخیره می کند و هیچ عملیاتی روی آنها انجام نمی دهد. تنها راه انجام عملیات روی داده ها، این است که یک برنامه خارجی با استخراج داده ها، عملیات لازم را روی آنها انجام دهد و داده های جدید را جایگزین داده های قدیمی نماید. در طرف دیگر این بحث، بستر دانش قرار دارد. در نگاه اول، بستر دانش از همان جداول دارای محدودیت تشکیل شده است. اما نگاهی دقیق تر ارتباط تنگاتنگ بین این جداول و یک سری برنامه نویسی اضافی را نشان می دهد. این روال های برنامه نویسی که به آنها موتور استخراج گفته می شود، بر خلاف حالت پایگاه داده ها، جزئی از بستر دانش می باشند. در واقع، ترکیب این برنامه ها با جداول موجود و ارتباط بین جداول، ساختارهای جدیدی را ایجاد می کند. در بستر دانش بر خلاف پایگاه داده ها، یک جدول برای نرم افزار، مفهوم کاربردی ندارد. هر چند که بستر دانش دارای تعدادی جدول است، اما سنگ بنای آن جدول نیست. بلکه مفاهیمی مانند قانون، چهارچوب^۱ و غیره می باشد که از روابط بین جداول با هم و یا جداول و روال های برنامه نویسی مربوط به آنها برخاسته است. این مفاهیم دارای محدودیت های یک جدول نیست که در نتیجه آن بستر دانش تمام محدودیت های ذاتی پایگاه داده ها را پشت سر می گذارد.

یک تفاوت مهم دیگر بین پایگاه داده ها و بستر دانش وجود دارد. در پایگاه داده ها، اعداد ذخیره شده در جداول به عنوان یک عدد به خودی خود مورد توجه و پردازش قرار می گیرند. اما در بستر دانش اعداد ذخیره شده نمادین هستند. به عبارت دیگر، هر کدام از این اعداد، نمایانگر

به عبارت دیگر جدول PFD Based Object شامل همه اشیاء موجود در PFD می‌شود، در صورتی که جدول Equipment Type فقط آن دسته از اشیاء را شامل می‌گردد که بتوان برای آنها ساختار کنترلی تعریف کرد. از طرفی، وجود جدول Equipment Type برای تعریف جدول PFD Based Object برای تعریف جدول PFD لازم است. این جدول برای ثبت همه ملحقات هر یک از واحدهای عملیاتی ایجاد شده است. (هر کدام از این ملحقات خود از اشیاء موجود در PFD هستند.) جدول Property تمام خواص تعریف شده برای اشیاء PFD را در خود ذخیره می‌کند.

به عبارت دیگر جدول PFD Based Object شامل همه اشیاء موجود در PFD می‌شود، در صورتی که جدول Equipment Type فقط آن دسته از اشیاء را شامل می‌گردد که بتوان برای آنها ساختار کنترلی تعریف کرد. از طرفی، وجود جدول Equipment Type برای تعریف جدول PFD Based Object برای تعریف جدول PFD لازم است. این جدول برای ثبت همه ملحقات هر یک از واحدهای عملیاتی ایجاد شده است. (هر کدام از این ملحقات خود از اشیاء موجود در PFD هستند.) جدول Property تمام خواص تعریف شده برای اشیاء PFD را در خود ذخیره می‌کند.



شکل ۳- جداول پایه مربوط به ذخیره‌سازی ساختارهای کنترلی

شود. به همین علت برای ایجاد این امکان که چند قانون بتوانند از یک ساختار کنترلی به عنوان عبارت آنگاه یا تالی خود حمایت کنند، جدول Rules Info ایجاد شده است. در این جدول ستون Rule ID تعیین کننده اندیس این قوانین می باشد. در نهایت تمام این اطلاعات برای تشکیل قانون‌هایی کامل در جدول Rules استفاده می شوند.

لازم به ذکر است که در آموزش این نرم افزار و مجوز نمودن بستر دانش با اطلاعات از اطلاعات ساختارهای کنترلی موجود در مراجع مختلف استفاده شده است [۳۳].

نتایج و بحث

در این بخش عملکرد سیستم طراحی و پیاده سازی شده که پیشتر شرح داده شد، ارزیابی می شود. این سیستم کارشناس فازی برای تبدیل نقشه های PFD به P&ID مراحل زیر را طی می کند:

۱- ساختار و اجزاء PFD در سیستم کارشناس توسط کاربر تعریف می شود.

۲- سیستم کارشناس متناظر با هر کدام از اجزاء PFD، اشیایی را در محیط کاری خود ایجاد و خواص آنها را تنظیم می کند.

۳- سیستم کارشناس، هر کدام از این اشیاء را به ترتیب با مراجعه به بستر دانش خود بررسی می نماید. سپس برای هر کدام از آنها ساختار کنترلی و سیستم ابزار دقیق مناسب را با توجه به شرایط آن شیء انتخاب و پیاده سازی می کند.

۴- در نهایت سیستم یک گزارش نهایی از P&ID تهیه می نماید.

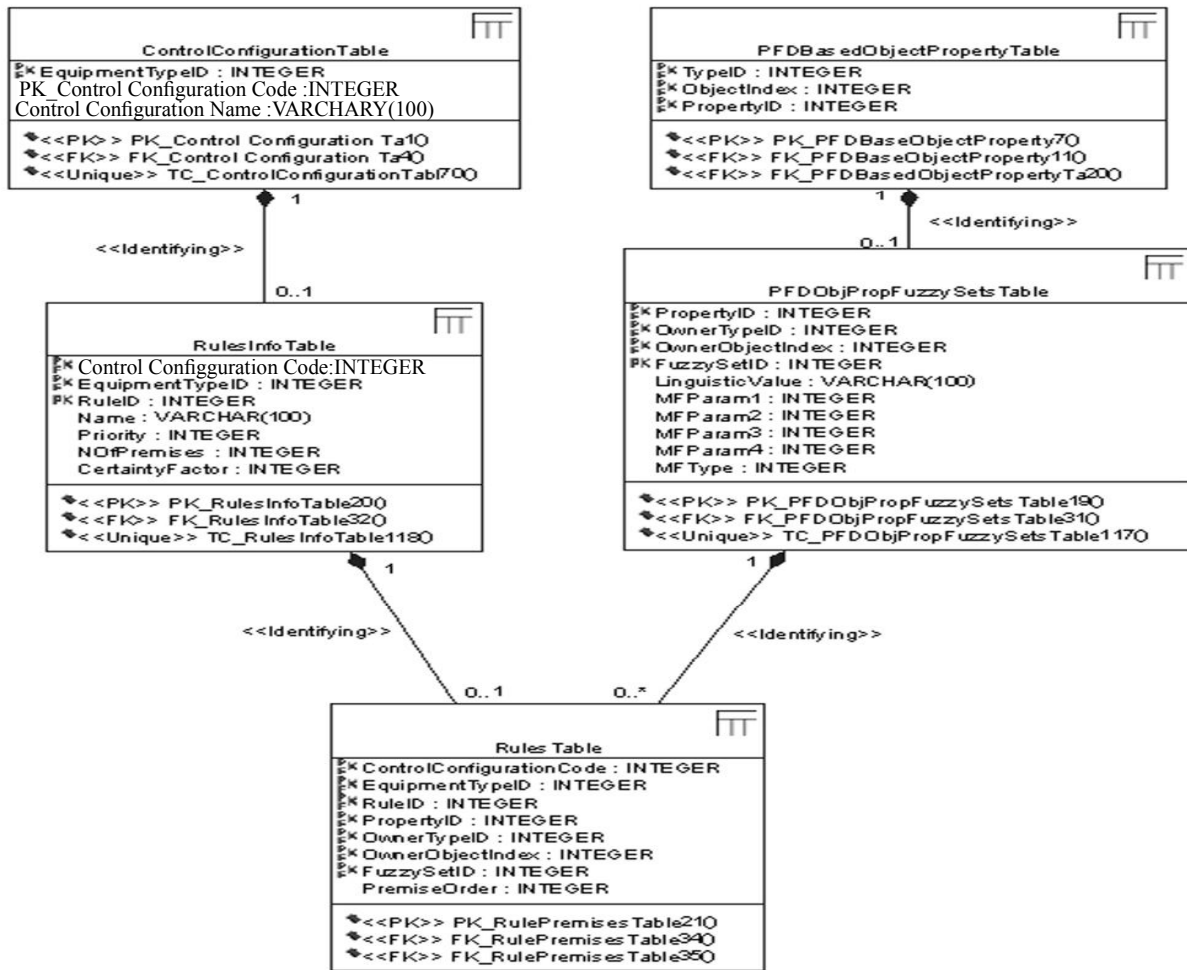
رابط کاربری این سیستم شامل یک پنجره اصلی و چندین جعبه محاوره‌ای^۳ جهت دریافت خصوصیات دستگاه‌ها یا انتخاب یک ساختار کنترلی از میان چندین ساختار کنترلی مناسب می باشد. قسمت عمده پنجره اصلی از یک ناحیه گزارش تشکیل شده است. پس از فشار دادن دکمه Convert و پاسخ دادن به جعبه های محاوره‌ای، گزارش P&ID نهایی در این ناحیه ظاهر می شود. تصویر پنجره اصلی نرم افزار در شکل ۵ نشان داده شده است.

از جدول Control Configuration برای ثبت ساختارهای کنترلی مربوط به واحدهای عملیاتی و از جدول Pairing جهت ثبت زوج‌های مربوط به ساختارهای کنترلی استفاده می شود. متغیرهای تمام زوج‌ها در جدول Variable ذخیره می شود.

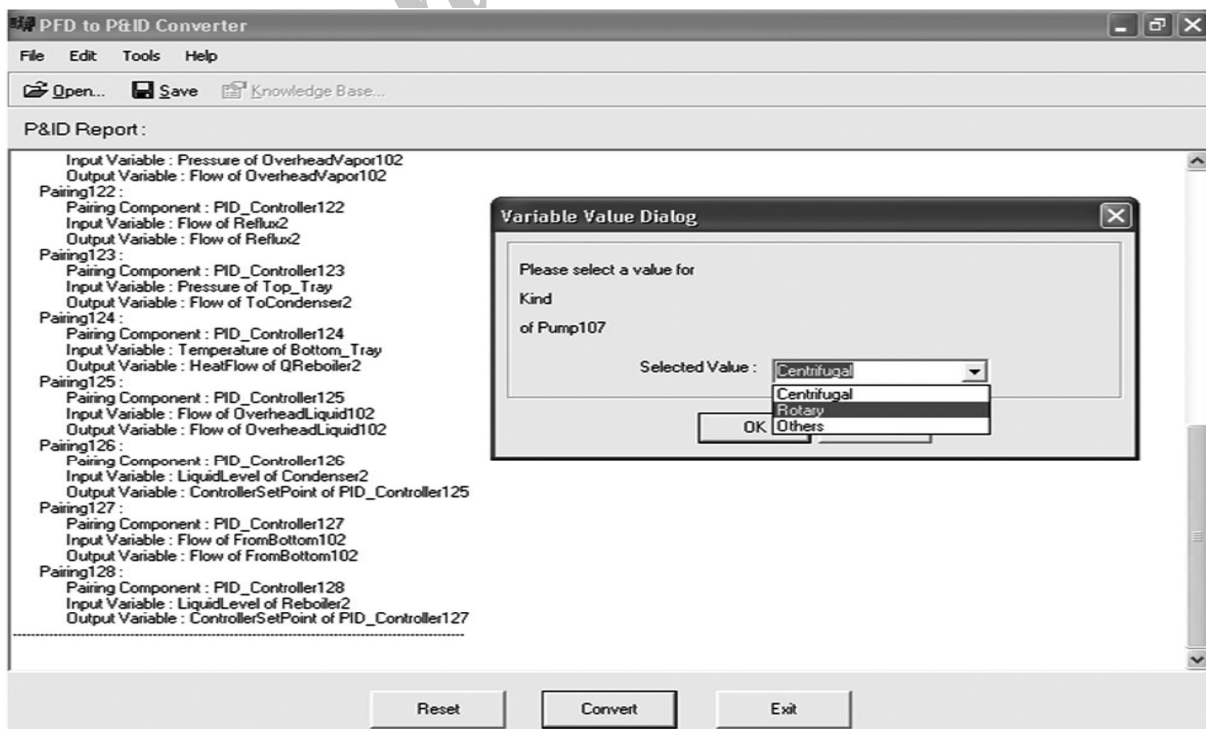
به روش‌های مختلفی می توان جداول مربوط به ذخیره سازی قوانین را طراحی نمود. در شکل ۴ بهترین روش برای این منظور نشان داده شده است. در این روش آرگومان مربوط به هر قانون به صورت یک متغیر فرض می شود. تمام این متغیرها به همراه متغیرهای دیگر سیستم در جدولی به نام PFD Based Object Property جمع آوری می گردد. فرض بر این است که تمام متغیرهای مورد استفاده در آرگومان قوانین، متغیرهای گفتاری^۱ هستند. بنابراین جدولی برای تعریف مقادیر فازی برای این متغیرها پیش بینی شده است. این جدول که متغیر و مالک آن را به صورت کلید خارجی^۲ از جدول قبل دریافت می کند PFD Object Property Fuzzy Sets نام دارد. در این جدول ستون Fuzzy Set ID شماره انواع مجموعه های فازی را که هر یک از متغیرها می تواند دریافت کند، مشخص می نماید. ستون Linguistic Value نیز دارای نام توصیفی هر کدام از این مجموعه های فازی می باشد. مجموعه های فازی به صورت دوزنقه ای با چهار گوشه مشخص شده در ستون های MFParam1 تا MFParam4 فرض می شوند. با تغییر در مقادیر این چهار MF Parameter، می توان علاوه بر تولید مجموعه های فازی متفاوت، مقادیر عددی را برای ایجاد حالت نامساوی در متغیر (تبدیل دوزنقه به مستطیل) و مقادیر عددی صریح (تبدیل دوزنقه به یک خط عمودی) تولید نمود. منظور از استنتاج فازی، استفاده از این مجموعه های فازی به عنوان مقادیر متغیرها توسط موتور استنتاج و ترکیب آنها براساس قوانین منطق فازی است.

در حالت کلی، نحوه اتصال آرگومان های یک قانون در همه قوانین به صورت AND فرض می شود. در حالتی که دو آرگومان به صورت OR به هم متصل باشند، آن قانون به دو قانون با ساختار کنترلی یکسان شکسته می شود، به نحوی که تمام اتصالات این دو قانون به صورت AND

1. Linguistic Variables
2. Foreign Key
3. Dialog Box



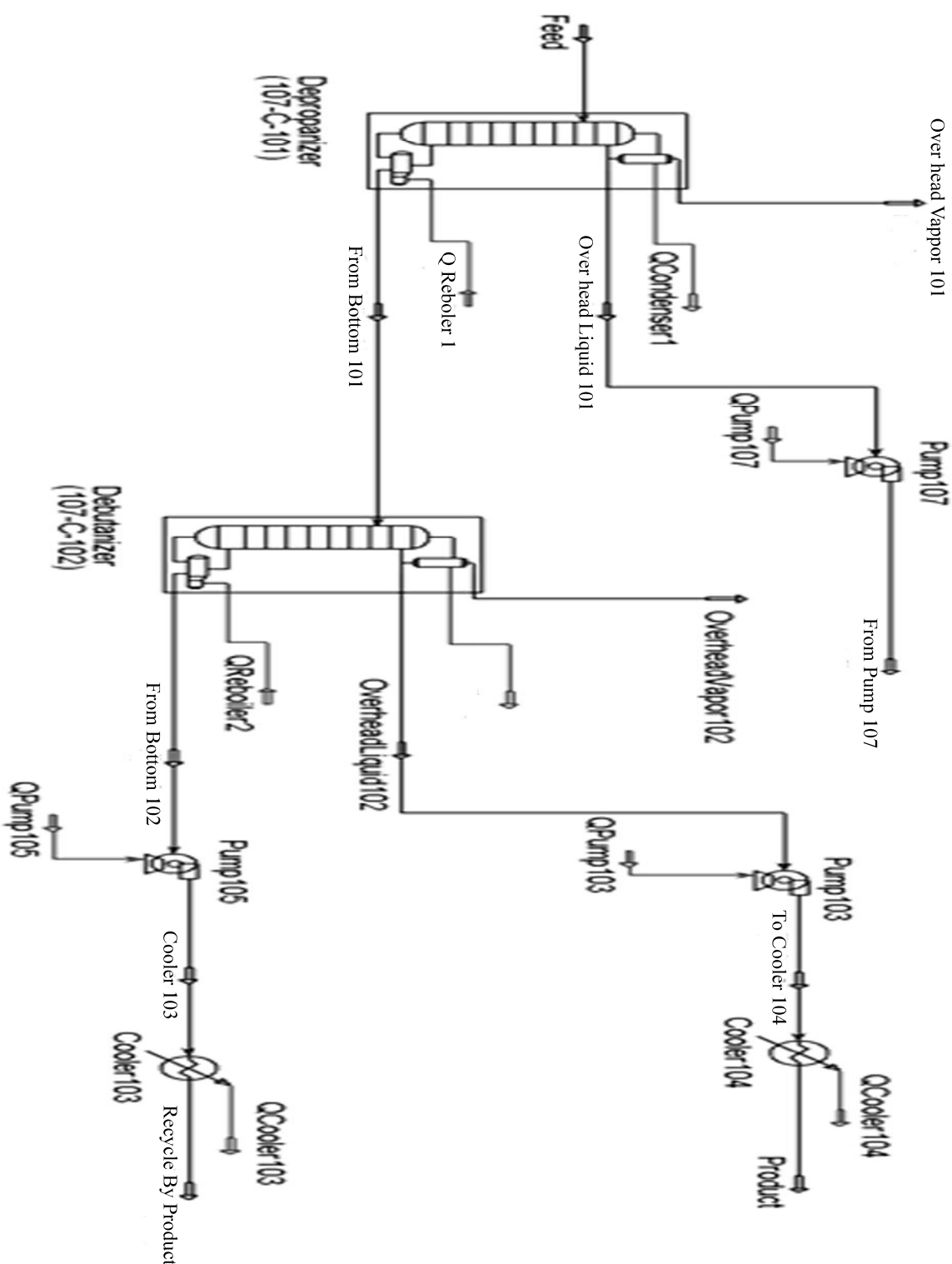
شکل ۴- جداول پایه ذخیره‌سازی قوانین



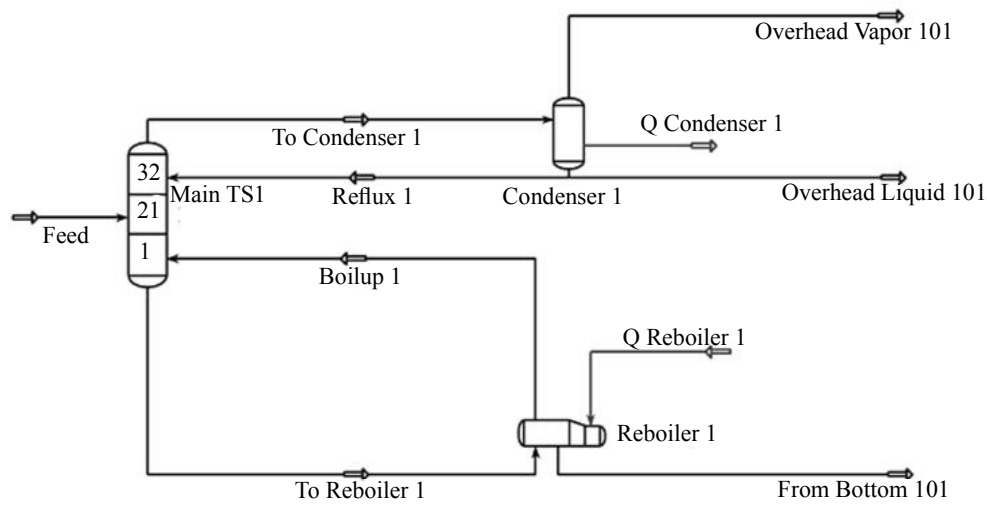
شکل ۵- پنجره اصلی سیستم

گاز مربوط به فاز ۴ و ۵ پارس جنوبی است. این فرآیند نمونه‌ای صنعتی می‌باشد و P&ID آن کاملاً شناخته شده است. نمودار این فرآیند در شکل‌های ۶ تا ۸ نشان داده شده است.

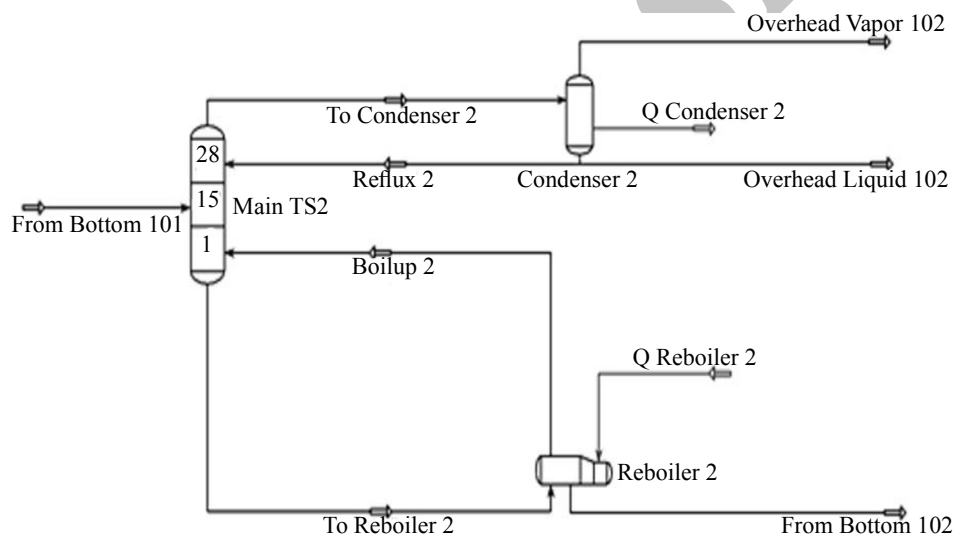
برای ارزیابی عملکرد نرم‌افزار و بستر دانش آن، از PFD یک فرآیند صنعتی استفاده شده است. این فرآیند مربوط به واحد ۱۰۷ از مجموعه Super fractionation است [۳۴]. این واحد از جمله واحدهای زیرمجموعه پالایشگاه



شکل ۶- PFD مربوط به واحد ۱۰۷



شکل ۷- محیط برج Depropanizer



شکل ۸- محیط برج Debutanizer

طراحی شده، گزارش P&ID زیر حاصل می‌شود:

پس از وارد کردن PFD (شکل‌های ۶ تا ۸) به سیستم کارشناس

P&ID Report:

Selected control configuration applies on Depropanizer is:

Pairing111:

Pairing Component: PID_Controller111

Input Variable: Pressure of OverheadVapor101

Output Variable: Flow of OverheadVapor101

Pairing112:

Pairing Component: PID_Controller112

Input Variable: Flow of Reflux 1

Output Variable: Flow of Reflux 1

Pairing113:

Pairing Component: PID_Controller113

Input Variable: Pressure of Top_Tray

Output Variable: Flow of ToCondenser1

Pairing114:

Pairing Component: PID_Controller114

Input Variable: Temperature of Bottom_Tray

Output Variable: HeatFlow of QReboiler1

Pairing115:

Pairing Component: PID_Controller115
 Input Variable: Flow of OverheadLiquid101
 Output Variable: Flow of OverheadLiquid101
 Pairing116:
 Pairing Component: PID_Controller116
 Input Variable: LiquidLevel of Condenser1
 Output Variable: ControllerSetPoint of PID_Controller115
 Pairing117:
 Pairing Component: PID_Controller117
 Input Variable: Flow of FromBottom101
 Output Variable: Flow of FromBottom101
 Pairing118:
 Pairing Component: PID_Controller118
 Input Variable: LiquidLevel of Reboiler1
 Output Variable: ControllerSetPoint of PID_Controller117

 Selected control configuration applies on Debutanizer is:

Pairing121:
 Pairing Component: PID_Controller121
 Input Variable: Pressure of OverheadVapor102
 Output Variable: Flow of OverheadVapor102
 Pairing122:
 Pairing Component: PID_Controller122
 Input Variable: Flow of Reflux2
 Output Variable: Flow of Reflux2
 Pairing123:
 Pairing Component: PID_Controller123
 Input Variable: Pressure of Top_Tray
 Output Variable: Flow of ToCondenser2
 Pairing124:
 Pairing Component: PID_Controller124
 Input Variable: Temperature of Bottom_Tray
 Output Variable: HeatFlow of QReboiler2
 Pairing125:
 Pairing Component: PID_Controller125
 Input Variable: Flow of OverheadLiquid102

Output Variable: Flow of OverheadLiquid102
 Pairing126:
 Pairing Component: PID_Controller126
 Input Variable: LiquidLevel of Condenser2
 Output Variable: ControllerSetPoint of PID_Controller125
 Pairing127:
 Pairing Component: PID_Controller127
 Input Variable: Flow of FromBottom102
 Output Variable: Flow of FromBottom102
 Pairing128:
 Pairing Component: PID_Controller128
 Input Variable: LiquidLevel of Reboiler2
 Output Variable: ControllerSetPoint of PID_Controller127

 Selected control configuration applies on Pump107 is:

Pairing211:
 Pairing Component: PID_Controller211
 Input Variable: Flow of FromPump107
 Output Variable: Flow of FromPump107

 Selected control configuration applies on Pump103 is:

Pairing221:
 Pairing Component: PID_Controller221
 Input Variable: Flow of ToCooler104
 Output Variable: Flow of ToCooler104

 Selected control configuration applies on Pump105 is:

Pairing231:
 Pairing Component: PID_Controller231
 Input Variable: Flow of ToCooler103
 Output Variable: Flow of ToCooler103

 Selected control configuration applies on Cooler104 is:

Pairing311:
 Pairing Component: PID_Controller311
 Input Variable: Temperature of Product

Output Variable: HeatFlow of QCooler104

Selected control configuration applies on Cooler103 is:

Pairing321:

موضوع تحقیقات آینده باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک سیستم کارشناس بر مبنای منطق فازی برای تبدیل نقشه‌های PFD به نقشه‌های P&ID توسعه داده شد. در این تحقیق، هدف توسعه یک سیستم کارشناس با قابلیت پیشنهاد یک سیستم کنترل مطلوب برای واحد (یا یک ساختار کنترلی مناسب برای هر دستگاه) براساس PFD فرآیند می‌باشد. برای اینکه نرم‌افزار بتواند یک P&ID کامل با تمام جزئیات ارائه دهد، لازم است قابلیت‌های نرم‌افزار و دانش موجود در بستر دانش آن توسعه بیشتری پیدا کند. این می‌تواند، موضوع تحقیقات بیشتر در کارهای آینده باشد.

سیستم کارشناس طراحی شده جهت کاهش زمان تبدیل نقشه‌های PFD به P&ID، افزایش کارایی و قابلیت اطمینان در روند تبدیل و اجتناب از اشتباهات معمول در تبدیل این دو نقشه بسیار مؤثر است. بستر دانش این سیستم، با جمع‌آوری دانش از مهندسان فرآیند مجرب و کتاب‌های مرجع در این زمینه، توسعه داده شده است. یک فرآیند استاندارد صنعتی نیز جهت آزمایش کارایی این سیستم و ارزیابی صحت خروجی آن به‌کار برده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که این سیستم در برخورد با مسائل واقعی بسیار موفق است و روش به‌کار رفته توسط این سیستم کارشناس در استخراج یک سیستم کنترل برای فرآیند، قابل اعمال روی طیف وسیعی از واحدهای صنعتی و عملیاتی در زمینه‌های نفت، گاز و پتروشیمی می‌باشد.

همان‌گونه که پیشتر بیان شد، در طراحی سیستم کارشناس نگرش فرایند گسترده وجود ندارد. از این دیدگاه که سیستم کارشناس فقط با هدف کمک به شخص

Pairing Component: PID_Controller321

Input Variable: Temperature of RecycleByProduct

Output Variable: HeatFlow of QCooler103

همان‌گونه که از گزارش P&ID مشخص است، در این PFD برای تمام دستگاه‌ها، ساختارهای کنترلی بهینه یافت شده است. ساختارهای کنترلی به کار رفته برای هر دستگاه، آن دستگاه را از سایر دستگاه‌های عملیاتی مجزا فرض می‌کند. به عبارت دیگر الگوی کنترلی هر عملیات با نگرش فرایند گسترده تهیه نشده است. در این مورد، سیستم کنترلی به‌دست آمده بسیار شبیه نقشه‌های بهینه موجود در صنعت می‌باشد.

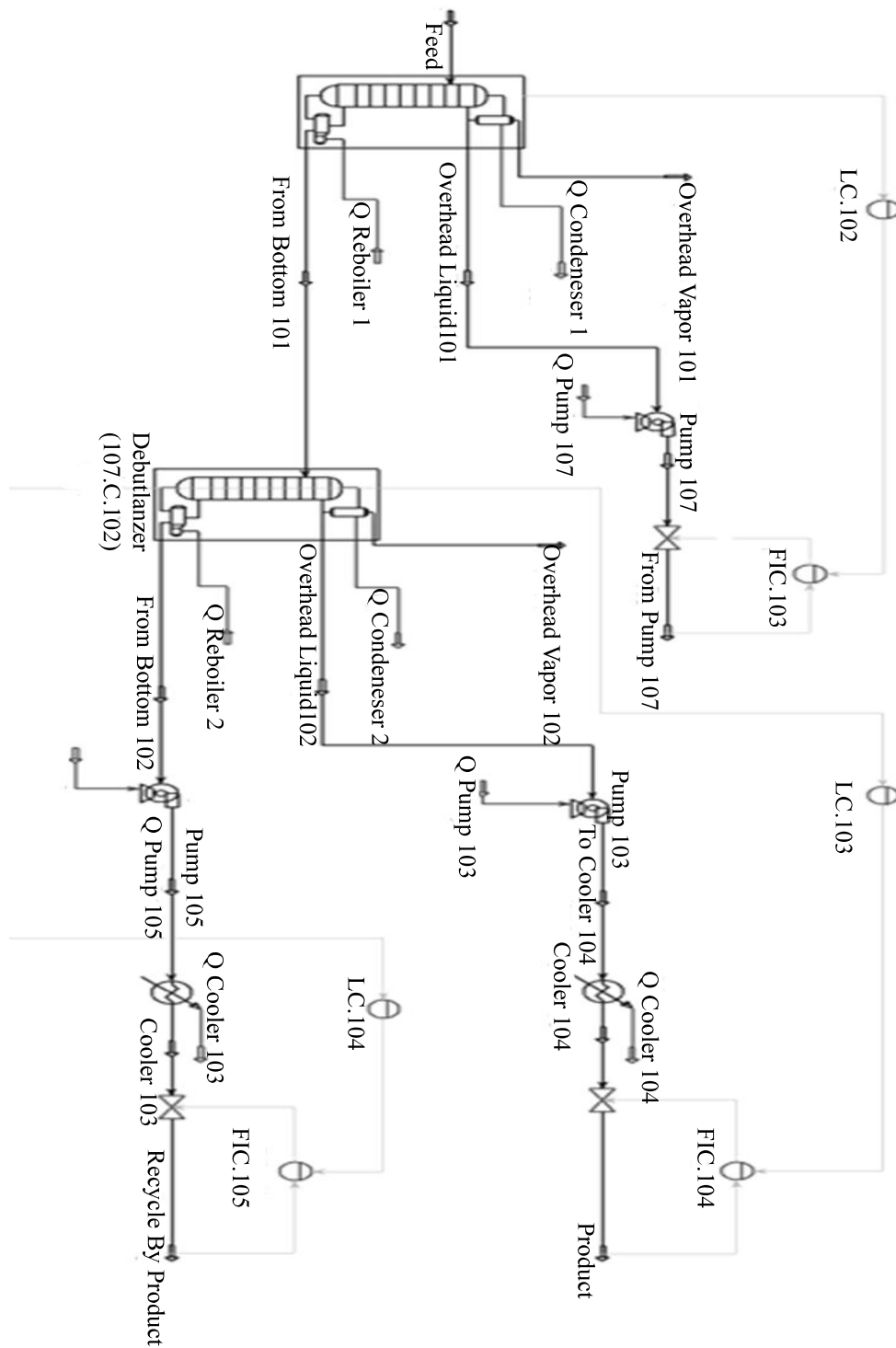
لازم به ذکر است که این سیستم کارشناس، سیستم کنترلی را تنها تا سطح اول کنترل ایجاد می‌کند. ایجاد P&ID های پیچیده‌تر نیازمند توسعه بیشتر بستر دانش این نرم‌افزار است.

برای مقایسه نتیجه حاصل این سیستم کارشناس، سیستم کنترلی به‌کار رفته در فاز ۴ و ۵ پالایشگاه میدان گازی پارس جنوبی در شکل‌های ۹ تا ۱۱ آورده شده است [۳۴]. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تفاوت‌های محدودی بین سیستم کنترل سیستم کارشناس و سیستم کنترل به‌کار رفته در نقشه‌های صنعتی وجود دارد. اما همین تفاوت‌های محدود یکی از مهم‌ترین نقاط ضعف سیستم کارشناس طراحی شده به شمار می‌رود.

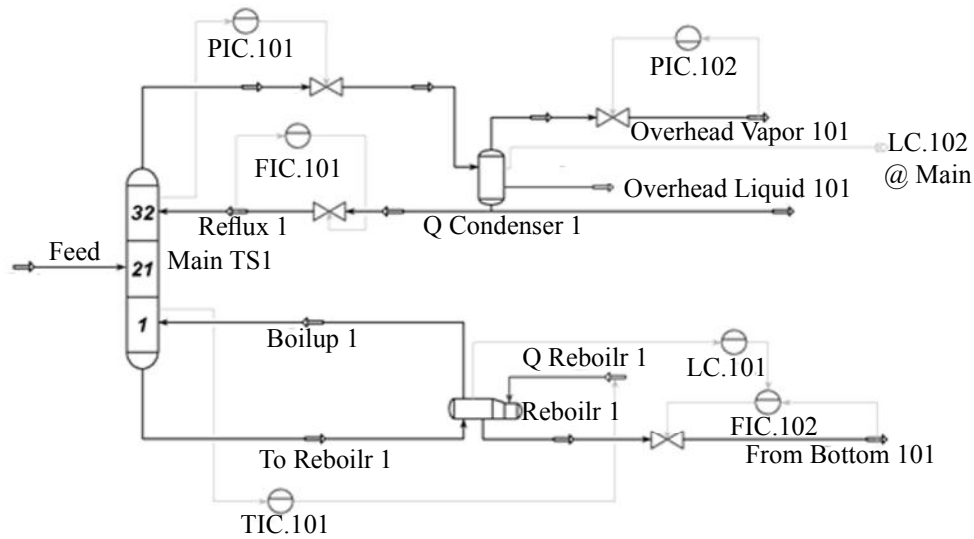
در P&ID سیستم کارشناس، سطح مایع چگالنده برج Depropanizer و Debutanizer و سطح مایع جوش آور برج Debutanizer توسط جریان‌های مایع خروجی از پایین همان چگالنده یا جوش آور کنترل می‌شود. از طرفی شدت جریان عبوری همین جریان‌ها پس از عبور از پمپ‌های مربوطه (در قالب ساختار کنترلی پمپ) دوباره کنترل می‌شوند که در حلقه‌های کنترلی ایجاد تداخل می‌کند. در صورتی که در سیستم کنترل صنعتی (شکل‌های ۹ تا ۱۱) این مشکل وجود ندارد. علت این مشکل در P&ID سیستم کارشناس، نبودن نگرش کنترل فرآیند گسترده در انتخاب ساختارهای کنترلی هر دستگاه می‌باشد که می‌تواند

یا همه آنها را رد کند و ساختار خود را اعمال نماید. یا حتی پس از اعمال تغییرات مورد نظر خود در یکی از ساختارهای پیشنهادی سیستم، آن را در P&ID نهایی اعمال کند.

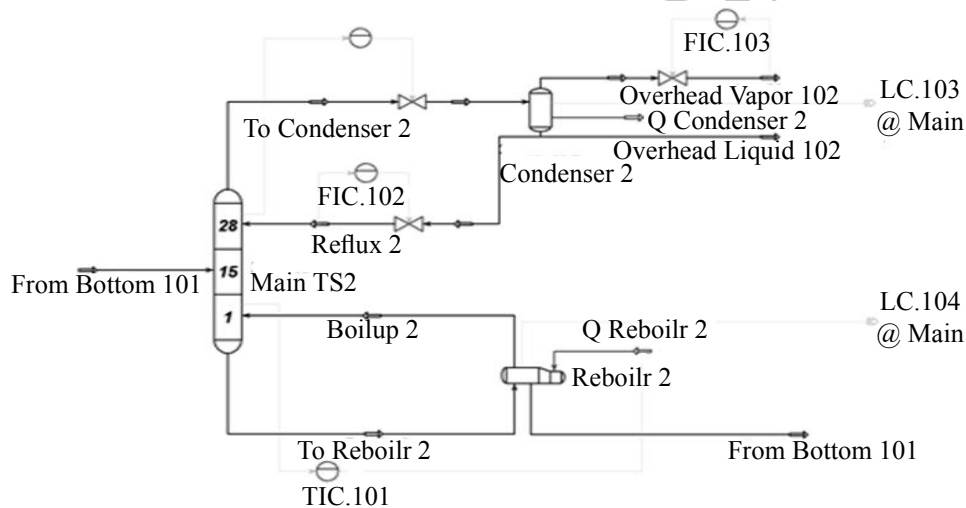
کارشناس (و نه جایگزین شدن) برای انتخاب ساختارهای کنترلی بهینه طراحی شده است. سیستم کارشناس به شخص کارشناس در انتخاب ساختار کنترلی یک دستگاه، چند ساختار را پیشنهاد می‌کند. شخص کارشناس می‌تواند یکی از ساختارها را انتخاب کرده و



شکل ۹- P&ID صنعتی واحد ۱۰۷



شکل ۱۰- محیط برج Depropanizer مربوط به P&ID صنعتی



شکل ۱۱- محیط برج Debutanizer مربوط به P&ID صنعتی

منابع

- [1] Carrasco E.F., Rodriguez J., Punal A., Roca E. & Lema J.M., "Rule-based diagnosis and supervision of a pilot-scale wastewater using fuzzy logic techniques", Expert Systems Application, Vol. 22, pp. 11–20, 2002.
- [2] Kandel A., *Fuzzy Expert Systems*, CRC Press, Orlando, 1992.
- [3] Zimmermann H.J., *Fuzzy sets decision making and experts system*, Kluwer Academic, Dordrecht, 1987.
- [4] Hong T.P. & Lee C.Y., "Introduction of fuzzy rules and membership functions from training examples", Fuzzy Sets Systems, Vol. 84, pp. 33–47, 1996.
- [5] Cheung C., Shen Q. & Milne R., *A fuzzy expert system for turbo machinery diagnosis*, Intelligent Application, 1996.
- [6] Kandel A., *Fuzzy expert systems*, CRC Press, Orlando, 1991.
- [7] Ross P. & Shen Q., *Expert systems*, University of Edinburgh, 1995.
- [8] Graham I. & Jones P., *Expert system-knowledge uncertainty and decision*, Chapman Computing, pp. 117–158, 1988.

- [9] Liao T., "Classification of welding flaw with fuzzy experts systems", Expert Systems Application, Vol. 25, pp. 101–111, 2003.
- [10] Sadiq R., Al-Zahrani M., Sheikh A., Husain T. & Farooq S., "Performance evaluation of slow sand filters using fuzzy rule-based modeling, Environmental Modeling Software", Vol. 19, pp. 507–515, 2004.
- [11] Zadeh L.A., "Fuzzy sets", Information Control, Vol. 8, pp. 338–353, 1965.
- [12] Arroyo G., Solis E. & Villavicencio A., "SADEP— a fuzzy diagnostics system shell-an application to fossil power plant operation", Expert system application, Vol. 14, pp. 43–52, 1998.
- [13] Lawry J., "A methodology for computing with words", Inter. J. Approximate Reasoning, Vol. 28, pp. 51–89, 2001.
- [14] Lascio L.D., Gisolfi A., Alburnia A., Galardi G. & Moschi F., "A fuzzy based methodology for the analysis of diabetic neuropathy", Fuzzy Sets System, Vol. 129, pp. 203–228, 2002.
- [15] Roychowdhury D., Pratihar N., Sankaranarayanan K.B. & Sudhakar N., "Diagnosis of the disease-using a GA-fuzzy approach", Information Sci. J., Vol. 3, pp. 1–16, 2004.
- [16] Zhanggui L., "Integration of fuzzy methods into geostatistics for petrophysics property distribution", Paper SPE 49964, presented at Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 1998.
- [17] Chen H.C., Fang J.H., Kortright M.E. & Chen D.S., "Novel approach to the determination of archie parameters: Fuzzy logic regression", Paper SPE 26288, presented at SPE Annual Technical Conference, 1993.
- [18] Zhou C.D., Wu X.L. & Cheng J.A., "Determining of reservoir properties in the reservoir studies using fuzzy neural network", Paper SPE 26430, presented at Annual Technical Conference, 1993.
- [19] Chung T.H., Carroll H.B. & Lindsey R., "Application of fuzzy expert system for EOR project risk analysis", P. SPE 30741, presented at SPE Annual Technical Conference, 1995.
- [20] Wu C.H., Lu G.F. & Yen J., "Statistical and fuzzy infill drilling recovery models for carbonated reservoir", P. SPE 37728, presented at Middle East Oil Conference, 1997.
- [21] Yong Q., Hu Y. & Xiao F., "Fuzzy grey element relational decision making analysis and its application", Paper SPE 39579, presented at the 1998 SPE India Oil and Gas Conference, 1998.
- [22] Xiong H., "An investigation into the application of fuzzy logic to well simulation treatment design", P. SPE 27672, presented at the SPE Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, 1994.
- [23] Mohaghegh S., Reeves S. & Hill D., "Development of an intelligent system approach to resimulation candidate selection", P. SPE 59767, presented at the SPE Conference, 2000.
- [24] Zahedi G., Saba S., Al-Otaibi M. & Mohd-Yusof K., "Troubleshooting of crude oil desalination plant using fuzzy expert system", Vol. 266, pp. 162-170, 2011.
- [25] Abdul-Wahab S.A., Elkamel A., Al-Weshahi M.A. & Al-Yahmadi A.S., "Troubleshooting the brine heater of the MSF plant fuzzy logic-based expert system", Vol. 217, pp. 100-117, 2007.
- [26] Renjith V.R., Madhu G., Lakshmana Gomathi Nayagam V., & Bhasi A.B., "Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation", Vol. 183, pp. 103-110, 2010.
- [27] Chuk O.D., Ciribeni V., & Gutierrez L.V., "Froth collapse in column flotation: A prevention method using froth density estimation and fuzzy expert systems", Vol. 18, pp. 495-504, 2005.

- [28] Durkin J., *Expert systems design and development*, Macmillan Publishing Company, 1994.
- [29] Boggs W. & Boggs M., *Mastering UML with Rational Rose 2002*, SYBEX Inc., 2002.
- [30] Riel A. J., *Object-oriented design heuristics*, Addison Wesley, 1996.
- [31] Forsyth R., *Expert systems principles and case studies*, 2nd Ed., Chapman and Hall Computing, 1989.
- [32] Shaldon R., *SQL: A Beginner's Guide*, 2nd Ed., McGraw-Hill, 2003.
- [33] Liptak B.G., *Instrument engineer's handbook: process control*, 3rd Ed., Vol. I & II, Butterworth-Heinemann Ltd., 1995.
- [34] Pars oil & gas Company, *Process Basis of Design and Overall Process Description*, Iran, South Pars Gas Field, Phase 4&5, Onshore Facilities.

Archive of SID