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

تاریخ دریافت: ۸۹/٤/۸ ؛ تاریخ پذرش:۹۰/٦/۸

بهنام بلوچی* و رامین بزرگمهری
دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت
Baloochy@gmail.com

پژوهش نفت
سال بیست و یکم
شماره ۶۷
صفحه ۲۹-۱۴، ۱۳۹۰

چکیده

در این مقاله یک سیستم کارشناس فازی به‌منظور کمک در تبدیل PFD به P&ID توسعه داده شد. طراحی بستر دانش این سیستم براساس ترکیب دو تکنیک رایج نمایش دانش شامل نمایش برمبنای قوانین و نمایش برمبنای 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 برمبنای 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.

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

مقدمه

افراد خبره برای حل مسائل، همه اطلاعات فرآیند مورد بررسی را با دانش خود ترکیب می‌کنند. یک سیستم خبره یا سیستم کارشناس[1] نیز از همین روش برای حل مسائل استفاده می‌کند. با این تفاوت که برخی فاکتورها که باعث کاهش کارایی شخص کارشناس می‌شود (مانند فشارهای روحی، خستگی و غیره) در سیستم کارشناس وجود ندارد [۱]. می‌توان با استفاده از تکنیک منطق فازی[2] در موتور استنتاج[3]، 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[4] موجود در بستر دانش[5] خود و با به‌کارگیری روش پردازش استدلال فازی[6]، نتایجی را از داده‌های ورودی کاربر استخراج می‌کنند [۲-٤]. کارایی این سیستم‌ها برای نمایش دانش یا اطلاعات مبهم به‌خوبی 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

عملیات‌هـای کنترلی و عیب‌یابـی در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. سادگی کار با سیستم‌های کارشناس و شـباهت‌های این‌گونه سیستم‌ها با نحوه استدلال شخص خبره، علت گستردگی کاربرد آنها می‌باشد [۲-٤ و ۸].

سیسـتم‌های کارشـناس فازی به‌جای استفاده از منطق بولی[1]، از یک مجموعه قوانین فازی برای اسـتدلال درباره داده‌ها استفاده می‌کند [۹]. بنابراین این سیستم‌ها می‌توانند به‌طور مؤثر، دانش کیفی را به استدلال عددی ترجمه نموده [۱۰] و در عیـن حـال با همان زبان طبیعـی کاربر، با آنها ارتبـاط برقرار کننـد [٤]. تئوری منطق فازی ابتدا توسـط پروفسـور لطفی‌زاده ابداع و سـپس توسط دیگران توسعه داده شد [۱۱]. استدلال برمبنای منطق فازی قادر است عدم قطعیت و درک انسان‌ها از تجربیاتشان را به‌راحتی دریافت نماید [۳ و۱۲].

بسـیاری از کاربردهـای منطـق فازی در طی سـال‌ها تحقیقات محققان، مشخص شده است. این کاربردها مواردی مانند صنایـع تولیـدی [۲، ٤، ۸ و ۱۳]، اقتصاد [۲-٤ و۸] و حتی پزشـکی [۱۰، ۱٤و۱۵] را نیز شامل می‌شود. منطق فازی همچنیـن در چندین زمینه کاربردی در حوزه مرتبط با مهندسـی نفـت ماننـد پتروفیزیـک [۱٦و۱۷]، ارزیابی مخازن [۱۸]، ازدیاد برداشـت [۱۹]، حفـاری [۲۰]، آنالیز تصمیم‌گیری [۲۱] و شبیه‌سـازی چاه [۲۲و۲۳] به‌کار برده شده است.

در سال‌های اخیر، مطالعات روی سیستم‌های کارشناس فازی در مهندسـی شیمی بیشـتر با هدف رفع گلوگاه‌های فرآینـدی[2] [۲٤و۲۵] و ردیابی و حذف خطاهای فرآیندی[3] [۲٦و۲۷] انجام شده است.

طراحی فرآیندهای پیچیده در صنایع شـیمیایی و نفت، نیازمند جمع آوری و ادغام حجم بسیار وسیعی از اطلاعات متفاوت می‌باشـد. طراحـان خبره فرآیند بـرای کمک به توسعه و انتقال این حجم اطلاعات، از یک سری نمادهای گرافیکی استاندارد استفاده می‌کنند. طراحی فرآیند معمولاً از یـک الگـوی منظم پیروی می‌کند. این کار با توسـعه و تکمیل یک سری از نقشه‌ها انجام می‌شود که در هر مرحله هر یک از این نقشـه‌ها کمی با نقشه متناظرشان در مرحله قبلی متفاوتند. زیرا در هر مرحله اطلاعات بیشـتری به آنها افزوده شـده و بـر پیچیدگی اطلاعاتی کـه ارائه می‌دهند، اضافه می‌شـود. ابتدا از نقشه‌های ساده ورودی- خروجی آغـاز می‌شـود در ادامـه موازنـه کامل انـرژی و مواد در نقشه‌های PFD و جزئیات اتصالات تجهیزات و ابزار دقیق در نقشه‌های P&ID اضافه می‌گردد.

هـدف از این مقاله، توسـعه یک سیسـتم کارشـناس فـازی جهـت ساده‌سـازی کار تبدیل نقشـه‌های PFD به P&ID می‌باشـد. از آنجا که ایـن روند تبدیل الگوریتمیک نیسـت و نیاز به تصمیم‌گیری در شرایط متفاوت براساس قوانین سرانگشتی وجود دارد، نمی‌توان از روش‌های رایج برنامه‌نویسـی برای توسعه آن اسـتفاده نمود و لازم است از تکنیک‌های هوش مصنوعی اسـتفاده شود. مطالعه روی مقـالات، منابع و مراجع موجود نشـان می‌دهد که تا زمان نوشتن این مقاله، هنوز هیچ کار مشابهی در این سطح برای طراحی چنین سیسـتم کارشناسی در سطح دنیا انجام نشده اسـت. در این مقاله، هدف توسـعه یک سیستم کارشناس با قابلیت پیشنهاد یک سیسـتم کنترلی مطلوب برای PFD فرآیندمی‌باشد.

تصویر کلی یک سیستم کارشناس فازی

سیسـتم کارشـناس، یک برنامه کامپیوتری است که برای مدل کردن توانمندی حل مسـأله توسط یک فرد کارشناس طراحی می‌شود [۲۸]. دو خصوصیت شخص کارشناس که تلاش می‌شود در سیستم کارشناس مدل گردد، عبارتند از: دانش شـخص کارشـناس و قدرت استدلال او. برای مدل کردن هر کدام از این خصوصیات، این سیسـتم باید دارای دو بخش اصلی بستر دانش و موتور استنتاج باشد.

بسـتر دانش شـامل دانش شـخص کارشـناس 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[4] است.

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

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[1] 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 به‌دست 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 موجود در PFD به محیط نرم‌افزار به نحوی که تمام خصوصیات شیء که برای عملکرد نرم افزار لازم می‌باشد، در این نگاشت انتقال داده شود.

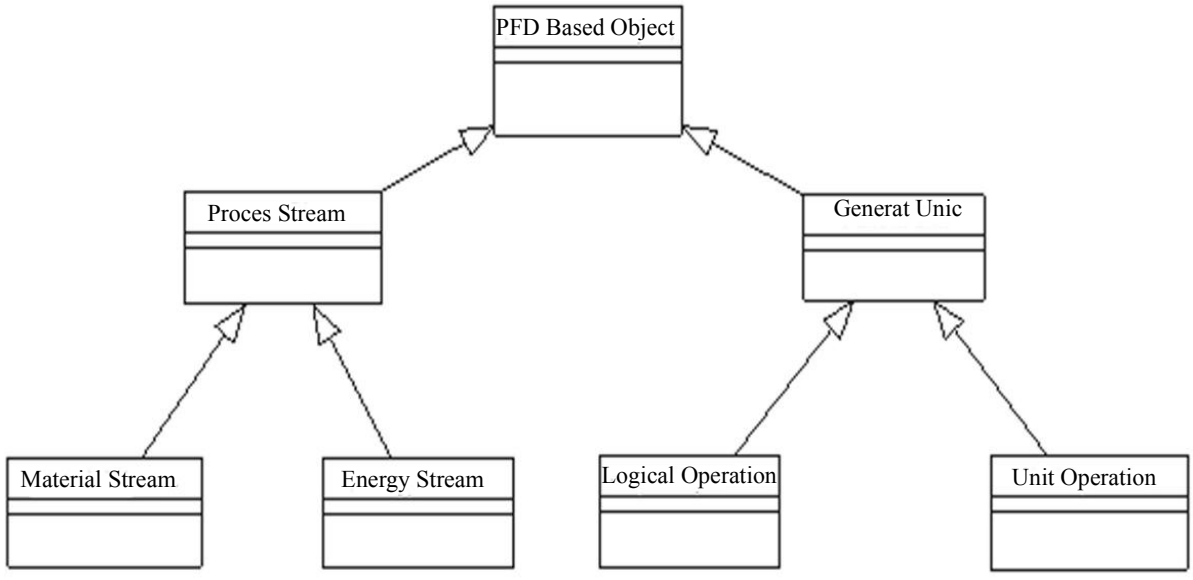
۲- تهیه یک ساختار برای نمایش و اعمال ساختارهای کنترلی[2].

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 [۲۹و ۳۰].

هر کدام از کلاس‌های UnitOperation و LogicalOperation نیز دارای مشتقاتی هستند.

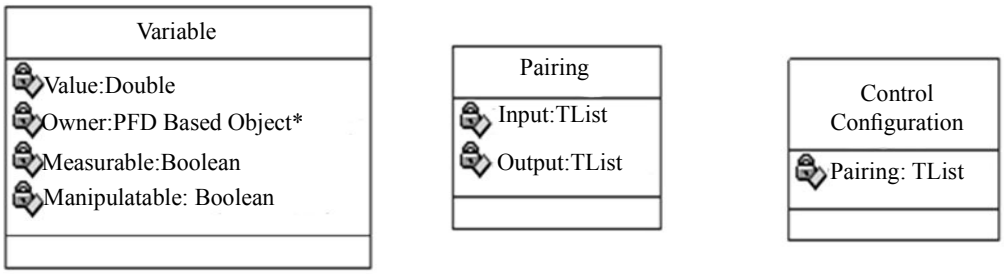
برای نمایش ساختارهای کنترلی می‌توان به روش‌های مختلف عمل کرد. هر ساختار کنترلی قابل اعمال به یک دستگاه عملیاتی خاص، دارای تعدادی زوج[3] است که هر زوج دارای یک یا چند متغیر قابل اندازه‌گیری (ورودی) و یک یا چند متغیر اعمال کننده کنترل (خروجی) می‌باشد. زوج‌ها می‌توانند تک ورودی- تک خروجی و یا چند ورودی- 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.



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

1. Inference Techniques
2. Control Configurations
3. Pairing



شکل۲- استفاده از کلاس Variable برای نمایش ساختارهای کنترلی

عملکـرد این سـاختار به این صورت اسـت که درون هر کـدام از خاصیت‌هـای Input و Output از کلاس زوج، یک شـیء (برای حالت تـک ورودی- تک خروجی) و یا چند شـیء (برای حالت چنـد 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 مشـخص شده است. ورودی یا خروجی بودن این متغیرها توسط دو خاصیت Measurable و Manipulatable مشخص می‌شود. چون ممکن اسـت حالتی پیش آید که یک متغیر برای یک زوج نه ورودی و نه خروجی باشـد. نهایتاً تمام شیءهای زوج مربوط به یک ساختار کنترلی خاص، درآرایه مختـص همـان شـیء 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، سـه سـطح از شناسـایی دنیای خارج قابل طبقه‌بندی اسـت. پایین‌ترین سـطح مربوط به داده‌ها اسـت. 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. هنگامی‌که 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 اسـت. این اطلاعات را می‌توان به‌صورت یک سری جملات در قالب کتاب، مقاله، گزارش و غیره منتشر کرد.

بالاترین و سـومین سـطح شناسـایی، مربوط به دانش اسـت. هنگامی‌که این اسـتعداد بالقوه وجود داشـته باشد که اطلاعات درک شـده به‌طور هوشـمندانه در یک زمینه خاص به‌کار برده شـود، در این صـورت به مجموعه این اطلاعات درک شـده، دانش گفته می‌شود. اطلاعات درک شده، اطلاعاتی هستند که با ساختاری مناسب برای استفاده طبقه‌بندی، مرتب و ترکیب شـده باشند. بنابراین، دانش به یـک دانا نیاز دارد. به عنوان مثال اطلاعات موجود در یک کتاب دانش نیسـت و هنگامی تبدیل به دانش می‌شـود که توسط شخصی مطالعه و درک شود.

از تفـاوت بیـن مفاهیم داده و دانش می‌توان به تفاوت بیـن پایگاه داده‌ها و بسـتر دانـش پی برد. پایـگاه داده‌ها مجموعه‌ای از داده‌های ذخیره شـده در جداول می‌باشـد که توسـط برنامه‌های کاربردی یا افراد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. پایگاه داده‌ها موجودیت مسـتقلی دارد به عبارت دیگر وابسـته به برنامه‌ای که از آن اسـتفاده می‌کند، نیست بلکـه برنامه‌های کاربردی به آن نیـاز دارند. ویژگی دیگر پایگاه داده‌ها این اسـت که سنگ بنای آن جدول می‌باشد یعنی جداول در یـک پایگاه داده به عنوان یک موجودیت مستقل به یکدیگر مربوطند. به همین علت محدودیت‌های موجـود در جدول به عنوان المـان ذخیره کننده داده‌ها، به پایگاه داده‌ها نیز منتقل می‌شـود. این محدودیت‌ها به شرح زیر است [۳۱ و ۳۲]:

- پایگاه داده‌ها پایا اسـت. یعنی در صورت نیاز هنگام کار کردن با آن، نمی‌تواند خود را توسـعه دهد. به عبارت بهتر یک جدول نمی‌تواند در صورت لزوم، هنگام اضافه شـدن یک سـطر به‌طور اتوماتیک، سـتونی به خود بیفزاید و نیز تعداد ستون‌های همه سطرها باید یکسان باشد.

– پایگاه داده‌ها مسطح است. به عبارت دیگر دارای سلسله مراتب نیست و تمام داده‌ها را در یک سطح ذخیره می‌کند. به همین علت است که در پایگاه داده‌ها، زیر ساختار معنی ندارد. مثلاً نمی‌توان در یکی از خانه‌های یک جدول، جدولی دیگر را ذخیره نمود.

– پایگاه داده‌ها همگن است. یعنی تمام سطرهای مربوط به یک ستون جدول باید دارای یک نوع داده باشد و نمی‌توان داده‌هایی با انواع متفاوت ولی با عنوان یکسان را کنار هم ذخیره کرد.

– پایگاه داده‌ها غیرفعال است. به عبارت دیگر فقط داده‌ها را ذخیره می‌کند و هیچ عملیاتی روی آنها انجام نمی‌دهد. تنها راه انجام عملیات روی داده‌ها، این است که یک برنامه خارجی با استخراج داده‌ها، عملیات لازم را روی آنها انجام دهد و داده‌های جدید را جایگزین داده‌های 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 دقیق‌تر ارتباط تنگاتنگ بین این جداول و یک سری برنامه‌نویسی اضافی را نشان می‌دهد. این روال‌های برنامه‌نویسی که به آنها موتور استنتاج گفته می‌شود، بر خلاف حالت پایگاه داده‌ها، جزئی از بستر دانش می‌باشند. در واقع، ترکیب این برنامه‌ها با جداول موجود و ارتباط بین جداول، ساختارهای جدیدی را ایجاد می‌کند. در بستر دانش بر خلاف پایگاه داده‌ها، یک جدول برای نرم‌افزار، مفهوم کاربردی ندارد. هر چند که بستر دانش دارای تعدادی جدول است، اما سنگ بنای آن جدول نیست. بلکه مفاهیمی مانند قانون، چهارچوب[1] و غیره می‌باشد که از روابط بین جداول با هم و یا جداول و روال‌های برنامه‌نویسی مربوط به آنها برخاسته است. این مفاهیم دارای محدودیت‌های یک جدول نیست که در نتیجه آن بستر دانش تمام محدودیت‌های ذاتی پایگاه داده‌ها را پشت سر می‌گذارد.

یک تفاوت مهم دیگر بین پایگاه داده‌ها و بستر دانش وجود دارد. در پایگاه داده‌ها، اعداد ذخیره شده در جداول به عنوان یک عدد به خودی خود مورد توجه و پردازش قرار می‌گیرند. اما در بستر دانش اعداد ذخیره شده نمادین هستند. به عبارت دیگر، هر کدام از این اعداد، نمایانگر یک مفهوم مانند متغیر، دستگاه، قانون و یا ساختار می‌باشد. البته برای بهبود سرعت نرم‌افزار در بستر دانش نیز همانند پایگاه داده‌ها، روی اعداد پردازش انجام می‌گیرد. ولی در اینجا هدف، در واقع پردازش روی مفاهیمی است که اعداد نماد آن هستند.

پس می‌توان گفت، بستر دانش نوعی از پایگاه داده‌ها است که دارای یک سری برنامه‌نویسی اضافی برای غلبه بر محدودیت‌های ذاتی پایگاه داده‌ها و دادن قابلیت‌های اضافی به آن می‌باشد. بنابراین، ابتدا پایگاه داده‌ها طراحی شده و سپس به یک سری از کلاس‌های موجود در بدنه نرم‌افزار ارتباط داده می‌شود. از آنجا که مهم‌ترین جزء و محل اصلی ذخیره داده‌ها در پایگاه داده‌ها، جداول آن می‌باشد، ابتدا طراحی از آنها آغاز می‌شود.

برای طراحی پایگاه داده‌ها از نرم‌افزار Rational Rose استفاده شده است. برای پیاده‌سازی پایگاه داده‌های طراحی شده در Rational Rose نوعی سیستم مدیریت پایگاه داده رابطه‌ای به نام Inter Base مورد استفاده قرار گرفته است. دانش لازم جهت تبدیل PFD به P&ID را می‌توان به صورت زیر تفکیک نمود:

– مجموعه ای از تمام ساختارهای کنترلی موجود برای تمامی دستگاه‌های عملیاتی تعریف شده در نرم‌افزار.

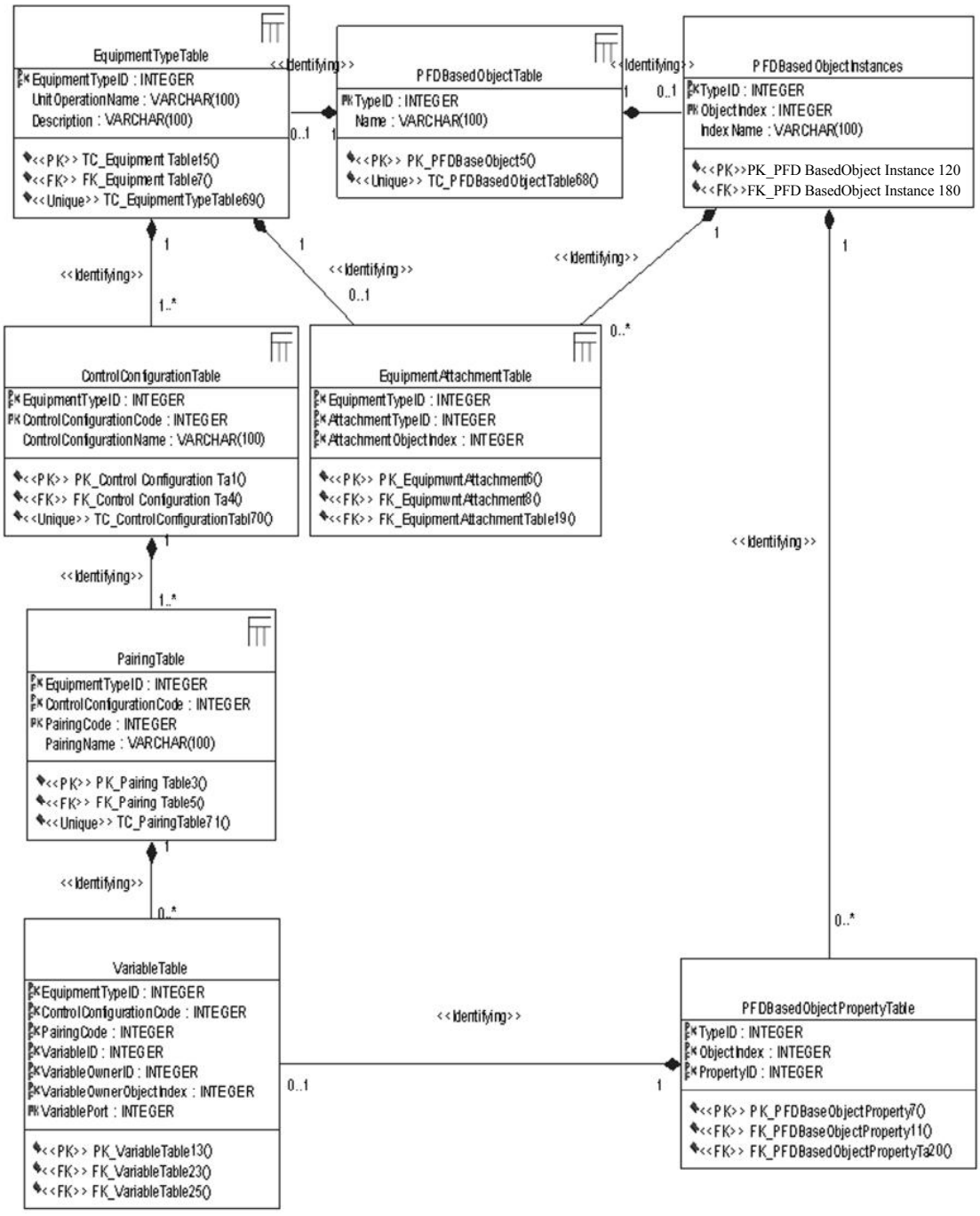
– مجموعه‌ای از قوانین (به فرم اگر...و...و... آنگاه...) که تعیین می‌نماید، در یک شرایط معین، بهتر است از کدام ساختار کنترلی برای یک دستگاه عملیاتی خاص استفاده شود.

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 برهم‌کنش دارند. در ادامه نحوه ارتباط و عملکرد برخی از این جداول که نقشی کلیدی در ذخیره دانش دارند، شرح داده می‌شود.

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

1. Frame

به عبارت دیگـر جدول PFD Based Object شـامل همه اشـیاء موجود در PFD می‌شـود، در صورتـی که جدول Equipment Type فقط آن دسـته از اشیاء را شامل می‌گردد که بتوان برای آنها سـاختار کنترلی تعریف کرد. از طرفی، وجـود جـدول Equipment Type بـرای تعریـف جدول Equipment Attachment لازم است. این جدول برای ثبت همه ملحقات هـر یک از واحدهای عملیاتی ایجاد شـده اسـت. (هر کدام از این ملحقات خود از اشـیاء موجود در PFD هسـتند.) جدول Property تمام خواص تعریف شده برای اشیاء PFD را در خود ذخیره می‌کند.



شکل۳- جداول پایه مربوط به ذخیره‌سازی ساختارهای کنترلی

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

به روش‌های مختلفی می‌توان جداول مربوط به ذخیره‌سازی قوانین را طراحی نمود. در شکل ٤ بهترین روش برای این منظور نشان داده شده است. در این روش آرگومان مربوط به هر قانون به‌صورت یک متغیر فرض می‌شود. تمام این متغیرها به همراه متغیرهای دیگر سیستم در جدولی به نام PFD Based Object Property جمع‌آوری می‌گردد. فرض بر این است که تمام متغیرهای مورد استفاده در آرگومان قوانین، متغیرهای گفتاری[1] هستند. بنابراین جدولی برای تعریف مقادیر فازی برای این متغیرها پیش‌بینی شده است. این جدول که متغیر و مالک آن را به‌صورت کلید خارجی[2] از جدول قبل دریافت می‌کند PFD Object Property Fuzzy Sets نام دارد. در این جدول ستون Fuzzy Set ID شماره انواع مجموعه‌های فازی را که هر یک از متغیرها می‌تواند دریافت کند، مشخص می‌نماید. ستون Linguistic Value نیز دارای نام توصیفی هر کدام از این مجموعه‌های فازی می‌باشد. مجموعه‌های فازی به‌صورت ذوزنقه‌ای با چهار گوشه مشخص شده در ستون‌های MFParam1 تا MFParam4 فرض می‌شوند. با تغییر در مقادیر این چهار MF Parameter، می‌توان علاوه بر تولید مجموعه‌های فازی متفاوت، مقادیر عددی را برای ایجاد حالت نامساوی در متغیر (تبدیل ذوزنقه به مستطیل) و مقادیر عددی صریح (تبدیل ذوزنقه به یک خط عمودی) تولید نمود. منظور از استنتاج فازی، استفاده از این مجموعه‌های فازی به‌عنوان مقادیر متغیرها توسط موتور استنتاج و ترکیب آنها براساس قوانین منطق فازی است.

در حالت کلی، نحوه اتصال آرگومان‌های یک قانون در همه قوانین به‌صورت AND فرض می‌شود. در حالتی که دو آرگومان به‌صورت OR به هم متصل باشند، آن قانون به دو قانون با ساختار کنترلی یکسان شکسته می‌شود، به نحوی که تمام اتصالات این دو قانون به‌صورت AND شود. به همین علت برای ایجاد این امکان که چند قانون بتوانند از یک ساختار کنترلی به‌عنوان عبارت آنگاه یا تالی خود حمایت کنند، جدول Rules Info ایجاد شده است. در این جدول ستون Rule ID تعیین‌کننده اندیس این قوانین می‌باشد. در نهایت تمام این اطلاعات برای تشکیل قانون‌هایی کامل در جدول Rules استفاده می‌شوند.

لازم به ذکر است که در آموزش این نرم‌افزار و مجهز 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 پیاده‌سازی شده که پیشتر شرح داده شد، ارزیابی می‌شود. این سیستم کارشناس فازی برای تبدیل نقشه‌های PFD به P&ID مراحل زیر را طی می‌کند:

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

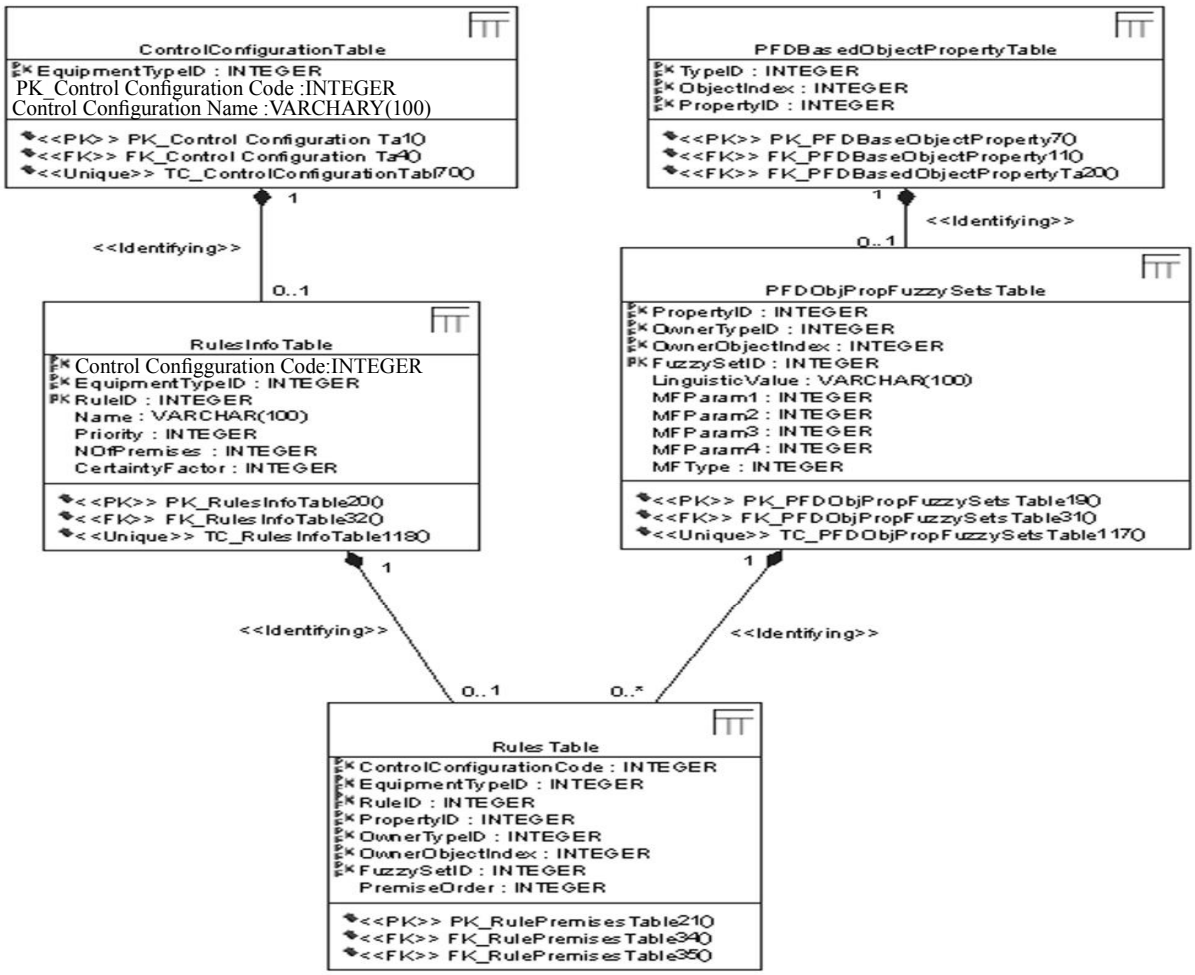
۲- سیستم کارشناس متناظر با هرکدام از اجزاء PFD، اشیایی را در محیط کاری خود ایجاد و خواص آنها را تنظیم می‌کند.

۳- سیستم کارشناس، هر کدام از این اشیاء را به ترتیب با مراجعه به بستر دانش خود بررسی می‌نماید. سپس برای هرکدام از آنها ساختار کنترلی و سیستم ابزار دقیق مناسب را با توجه به شرایط آن شیء انتخاب و پیاده‌سازی می‌کند.

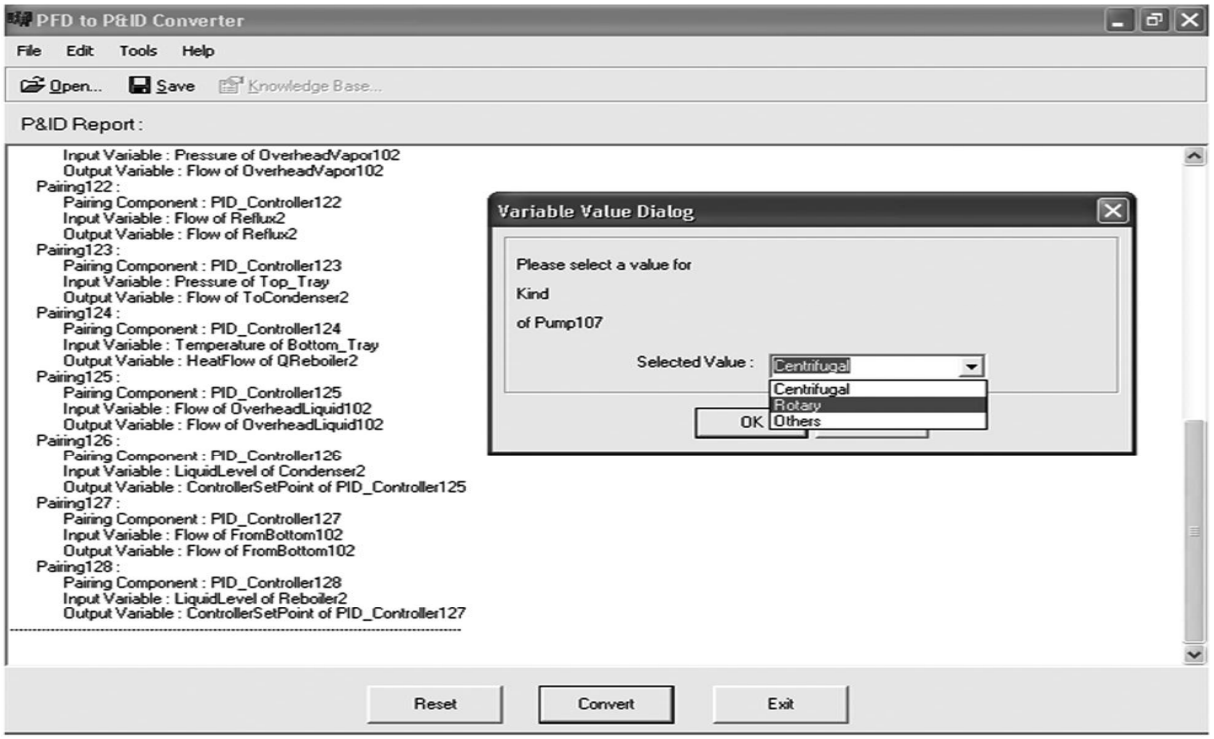
٤- در نهایت سیستم یک گزارش نهایی از P&ID تهیه می‌نماید.

رابط کاربری این سیستم شامل یک پنجره اصلی و چندین جعبه محاوره‌ای[3] جهت دریافت خصوصیات دستگاه‌ها یا انتخاب یک ساختار کنترلی از میان چندین ساختار کنترلی مناسب می‌باشد. قسمت عمده پنجره اصلی از یک ناحیه گزارش تشکیل شده است. پس از فشار دادن دکمه Convert و پاسخ دادن به جعبه‌های محاوره‌ای، گزارش P&ID نهایی در این ناحیه ظاهر می‌شود. تصویر پنجره اصلی نرم‌افزار در شکل ۵ نشان داده شده است.

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

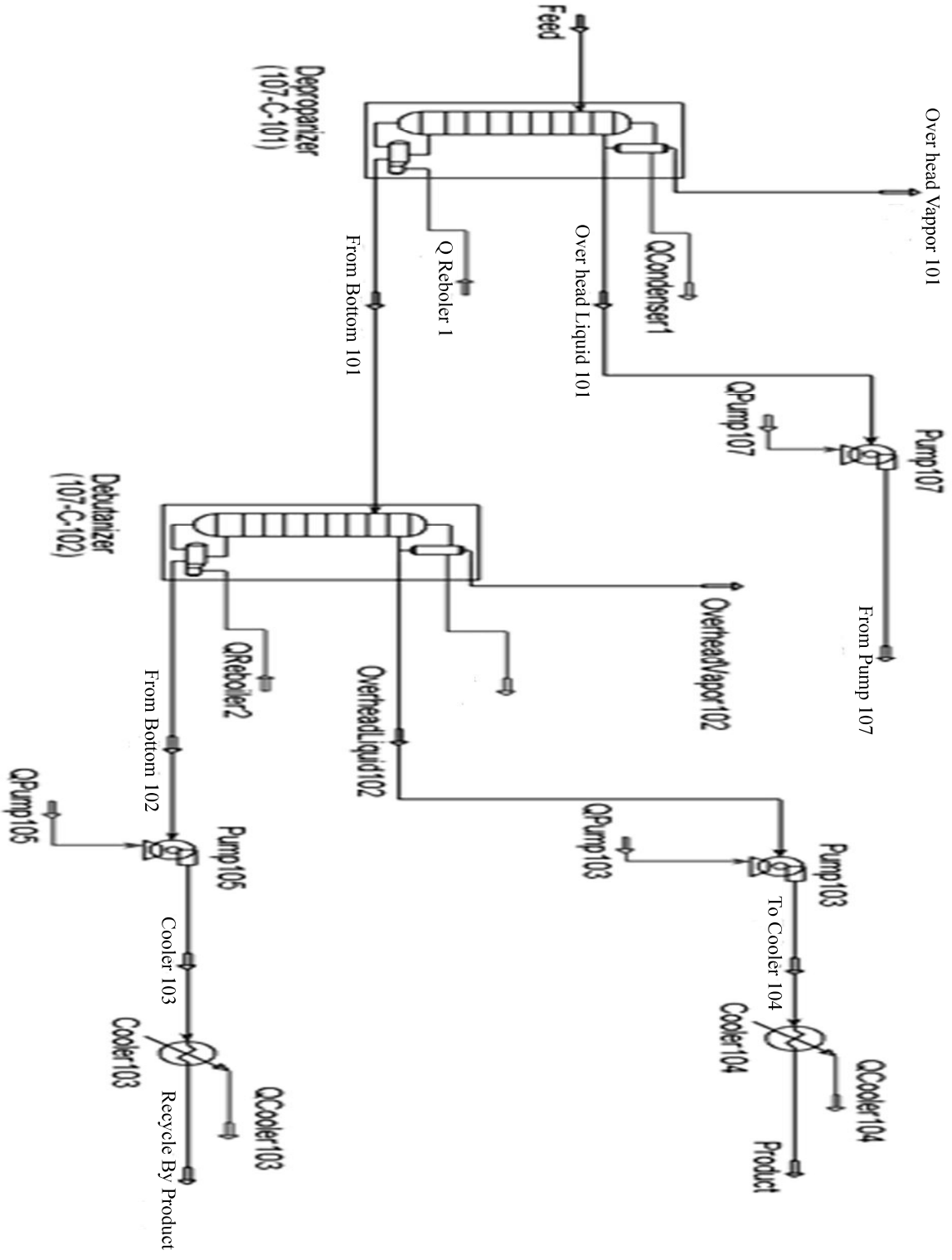


شکل ٤- جداول پایه ذخیره‌سازی قوانین

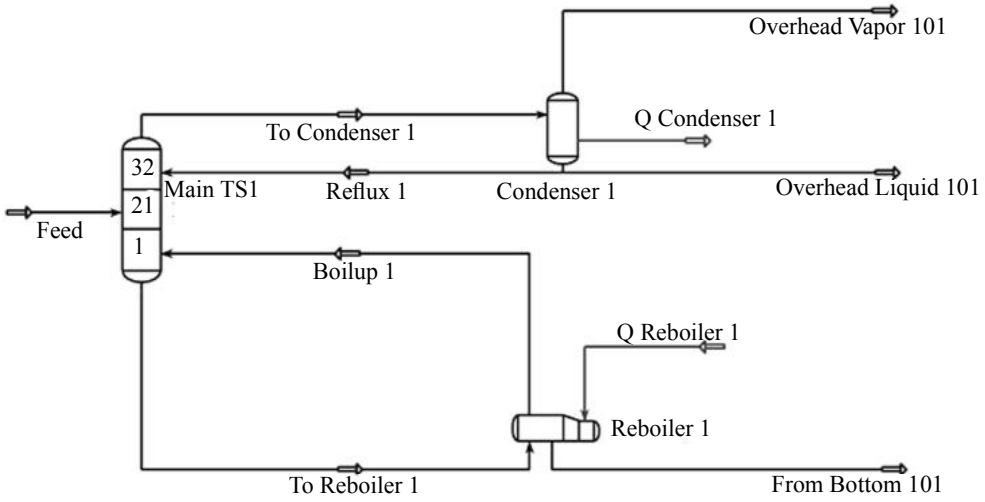


شکل ٥- پنجره اصلی سیستم

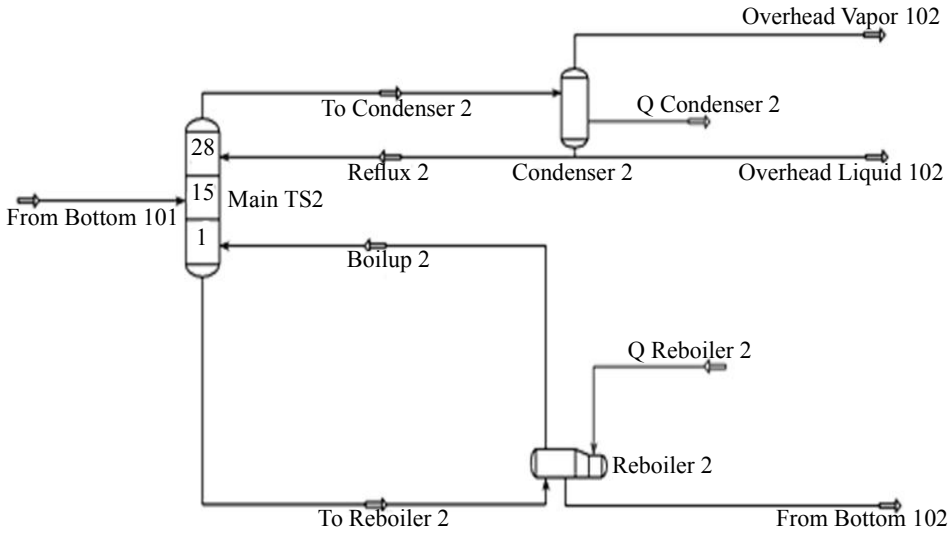
برای ارزیابی عملکرد نرم‌افزار و بستر دانش آن، از PFD یک فرآیند صنعتی استفاده شده است. این فرآیند مربوط به واحد ۱۰۷ از مجموعه Super fractionation است [۳٤]. این واحد از جمله واحدهای زیرمجموعه پالایشگاه گاز مربوط به فاز ٤ و ٥ پارس جنوبی است. این فرآیند نمونه‌ای صنعتی می‌باشد و P&ID آن کاملاً شناخته شده است. نمودار این فرآیند در شکل‌های ٦ تا ٨ نشان داده شده است.



شکل٦- PFD مربوط به واحد ۱۰۷



شکل۷- محیط برج Depropanizer



شکل۸- محیط برج Debutanizer

پس از وارد کردن PFD (شکل‌های ٦ تا ٨) به سیستم کارشناس طراحی شده ، گزارش P&ID زیر حاصل می‌شود:

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 Reflux1

Output Variable: Flow of Reflux1

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

Pairing Component: PID_Controller321
Input Variable: Temperature of RecycleByProduct
Output Variable: HeatFlow of QCooler103

Output Variable: HeatFlow of QCooler104

Selected control configuration applies on Cooler103 is:
Pairing321:

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[1] 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 ٤ و ٥ پالایشگاه میدان گازی پارس جنوبی در شکل‌های ۹ تا ۱۱ آورده شده است [٣٤]. همان گونه 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 صورتی‌که 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 موضوع تحقیقات آینده باشد.

نتیجه‌گیری

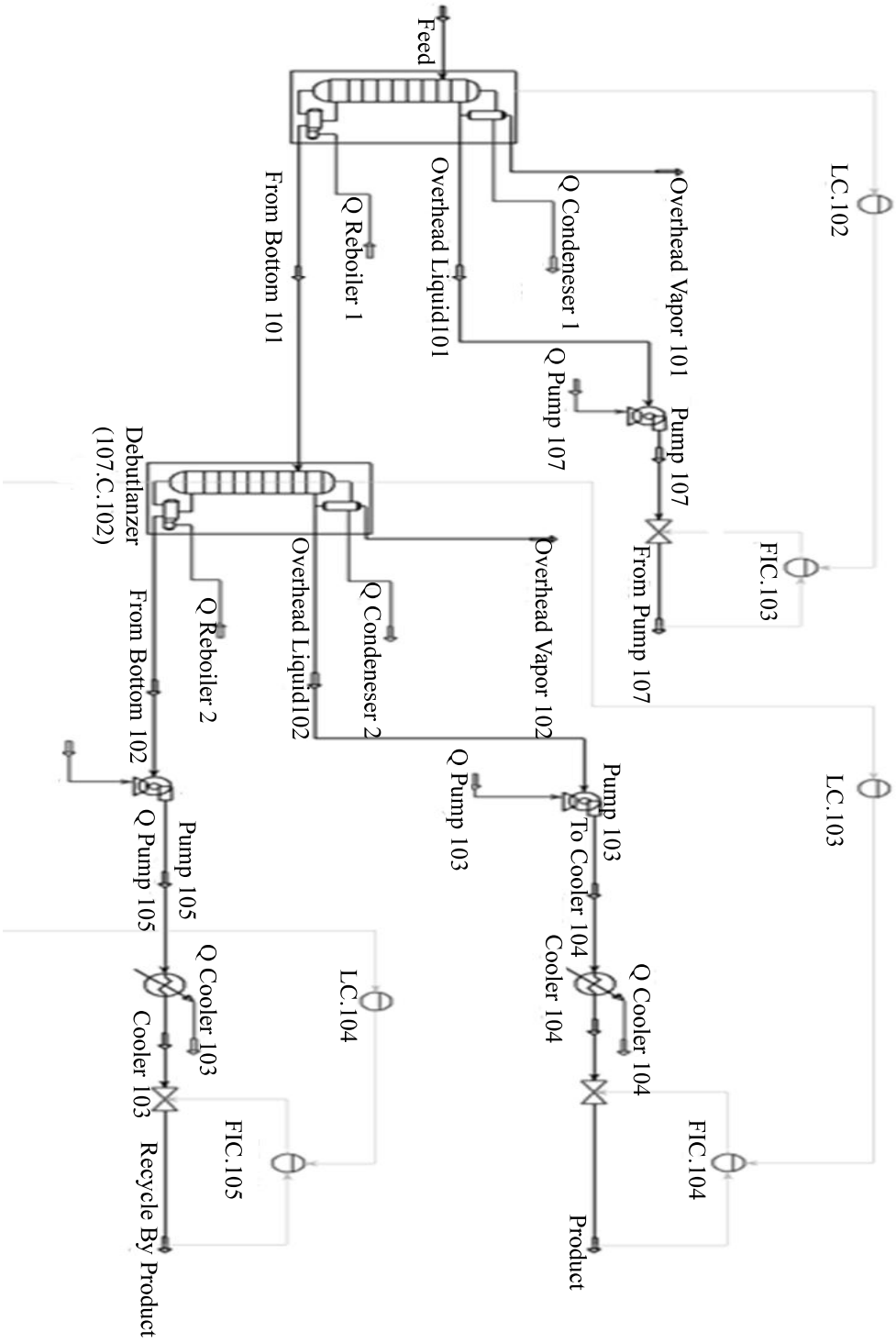
در این مقاله یک سیستم کارشناس بر مبنای منطق فازی برای تبدیل نقشه‌های PFD به نقشه‌های P&ID توسعه داده شد. در این تحقیق، هدف توسعه یک سیستم کارشناس با قابلیت پیشنهاد یک سیستم کنترل مطلوب برای واحد (یا یک ساختار کنترلی مناسب برای هر دستگاه) براساس PFD فرآیند می‌باشد. برای اینکه نرم‌افزار بتواند یک P&ID 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.

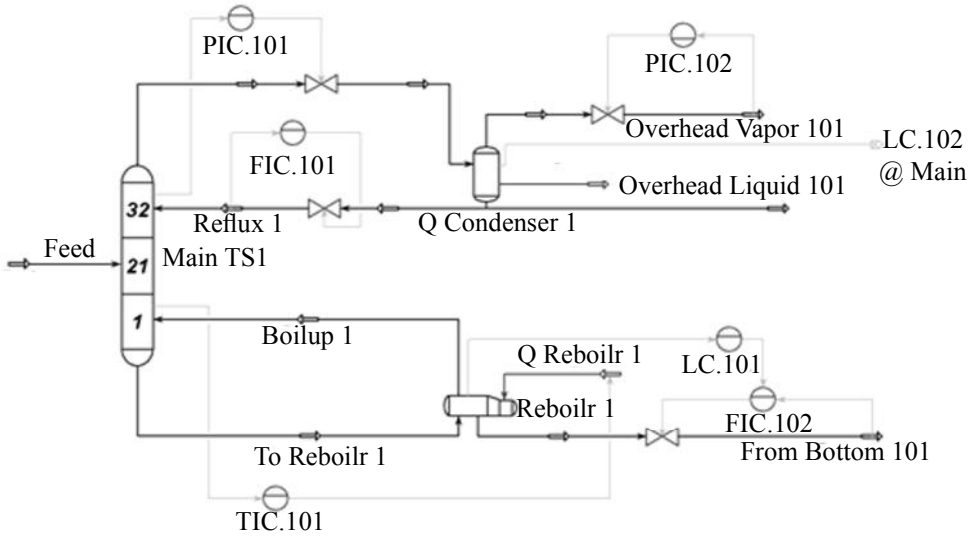
همان گونه که پیشتر بیان شد، در طراحی سیستم کارشناس نگرش فرایند گسترده وجود ندارد. از این دیدگاه که سیستم کارشناس فقط با هدف کمک به شخص

1. Plant Wide

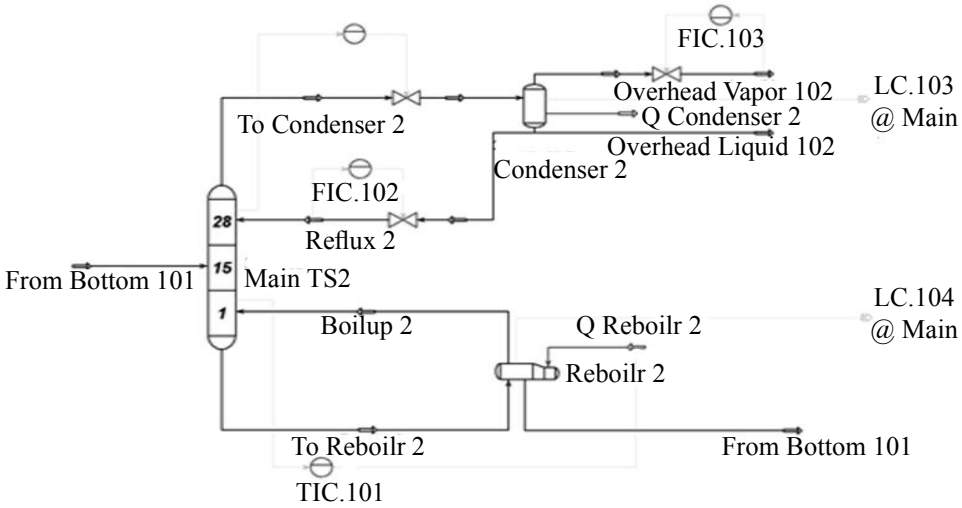
کارشناس (و نه جایگزین شدن) برای انتخاب ساختارهای کنترلی بهینه طراحی شده است. سیستم کارشناس به شخص کارشناس در انتخاب ساختار کنترلی یک دستگاه، چند ساختار را پیشنهاد می‌کند. شخص کارشناس می‌تواند یکی از ساختارها را انتخاب کرده و یا همه آنها را رد کند و ساختار خود را اعمال نماید. یا حتی پس از اعمال تغییرات مورد نظر خود در یکی از ساختارهای پیشنهادی سیستم، آن را در P&ID نهایی اعمال کند.



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 system*s", 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., Albunia 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. & Sudhahar 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. & Lindesy 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 Permain 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.