Archive of SID

ارایه یک سیستم اتوماتیک برای مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات

فاطمه زاجکانیها، محمود رضا پیشوایی و داوود رشتچیان*+
تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، صندوق پستی ۹۴۶۵- ۱۱۳۶۵

چکیده: امروزه مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات، HAZard and OPerability Study ، به عنوان یک روش استاندارد مؤثر و گستردهای در جهت تضمین ایمنی فرایندها مورد استفاده قرار میگیرد. این روش با بررسی سیستماتیک نمودارهای لولهکشی و ابزار دقیق واحد، هرگونه انحراف قابل تصور متغیرهای فرایندی از شرایط نرمال، دلایل و عواقب نامطلوب آنها را شناسایی میکند. مطالعه HAZOP روشی پرزحمت، وقتگیر و پرهزینه است. یک سیستم اتوماتیک میتواند هزینهها و کوششهای لازم را کاهش داده، در وقت صرفهجویی کرده و مطالعه را دقیقتر و با جزییات کاملتری انجام دهد. در راستای تحقق این هدف، سعی شده است یک سیستم اتوماتیک مطالعه مخاطرهها طراحی و ارایه شود. سیستم خبره ارایه شده تحت عنوان HAZOPEN، شامل چهار بخش دانش ویژه فرایندی، دانش عمومی فرایندی، ماشین استنباط و واسط کاربر است. در این مقاله جنبههای مهم سیستم خبره HAZOPEN برای دو نمونه مطالعاتی مورد بررسی قرارگرفته است. سیستم خبره HAZOPEN با ساختاری شیءگرا طراحی و در محیط نرم افزاری C++ Builder-۵ توسعه یافته است.

واژههای کلیدی: ایمنی فرایندها، مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات، سیستم خبره، اتوماسیون.

KEY WORDS: *Process safety, HAZard and Operability study (HAZOP), Expert systems, Automation.*

مقدمه

امروزه ایمنی فرایندها، سلامت محیط کار و جنبههای زیست محیطی بیش از پیش مورد توجه قرارگرفته و از امور اولویتدار صنایع شیمیایی و پتروشیمیایی به شمار میرود تا پاسخگوی نگرانیها و توجهات عمومی به حوادث زیانبار باشد. از آنجاییکه صنایع فرایندی به دلیل سروکار داشتن با مواد شیمیایی خطرزا و واحدهای عملیاتی تحت شرایط فشار و دمای بالا نظیر راکتورها و تانکهای ذخیره، به طور بالقوه در معرض حوادث مخرب قرار دارند، اهمیت این امور مشخص میشود [۳-۱]. رشد صنایع در کنار رشد جمعیت انسانی،نه تنها باعث تکرار حوادث، بلکه موجب افزایش خسارات ناشی از حوادث نیز شده است [۴ و ۵]. برخی مواقع این خسارتها سنگین و جبران ناپذیرند. از جمله حوادث خسارتبار میتوان به حادثه مصیبتبار بوپال[1] هند اشاره کرد که بیش از ۲۰۰۰۰ نفر کشته و زخمی به جا گذاشته است [۶].

www.SID.ir

Archive of SID

نخستین قدم در ایجاد و حفظ ایمنی فرایندها، تعیین و شناسایی مخاطرات بالقوهای است که واحدها را تهدید میکنند. در این راستا روشهای متفاوتی از قبیل بازنگری ایمنی[۲]، تجزیه فهرست

+E-mail: rashtchian@ sharif.edu

(۱) Bhopal (۲) Safe

جامع[۱]، تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر[۲]، تجزیه پرسش[۳]، مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات[۴](HAZOP) و ... توسعه یافتهاند [۷].

از میان روشهای متفاوت شناسایی مخاطرات، مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات به عنوان یک روش سیستماتیک و استاندارد مؤثر و گستردهای در راستای تضمین ایمنی فرایندها مورد استفاده قرار میگیرد. این روش افزون بر شناسایی خطرات بالقوه، میتواند مشکلات عملیاتی را نیز که باعث کاهش بازده فرایند میشوند، مشخص کند.

فن HAZOP، اوایل دهه ۱۹۷۰ در شرکت ICI [۵] واقع در بریتانیا به کار برده شد. اساس مطالعه HAZOP بر پایه مخاطراتی است که به دلیل انحرافات متغیرهای فرایندی از شرایط عادی در واحد عملیاتی مورد ملاحظه ایجاد میشوند. در این روش نمودارهای لولهکشی و ابزار دقیق واحد به طور سیستماتیک توسط گروهی از متخصصین با تجربه در رشتههای متفاوت مهندسی شامل فرایند، نگهداری، کنترل و ابزار دقیق بررسی شده، دلایل غیرعادی و عواقب نامطلوب تمامی انحرافات ممکن متغیرهای فرایندی واحد مورد مطالعه تعیین میشوند. گروه HAZOP برای استفاده از ساختار سیستماتیک این روش در جهت تعیین کلیه عملکردهای نادرست واحد از مفاهیم کاربردی مختص HAZOP بهره گرفته و الگوریتم ارایه شده را به کار میبرند [۲]. مفاهیم کاربردی روش HAZOP عبارتاند از [۸ و ۹]:

ـ گره: قبل از شروع مطالعه، هر واحد فرایندی به طور متناسب به اندازههای کوچکتری تقسیم میشود که گره نام دارند. هر گره شامل خطوط فرایندی و تجهیزات به کار رفته است.

ـ پارامترها: پارامترها در واقع همان متغیرهای فرایندی هستند که متناسب با گره مورد نظر به کار میروند. پارامترهایی که بهطور معمول برای همه گرهها به کار میروند عبارتاند از: جریان، فشار و دما. پارامترهای دیگری نیز از قبیل سطح، ترکیب مواد شیمیایی با توجه به گره مورد نظر و تجهیزات به کار رفته، ممکن است لازم باشند.

ـ کلمههای راهنما: شامل کلماتی از قبیل No، Less و More هستند که تغییرهای کمی پارامترها را نشان می دهند.

ـ انحراف: از ترکیب یک پارامتر و کلمه راهنمای متناسب با آن تشکیل میشود. ترکیب ایجاد شده باید به گونهای باشد که انحراف تشکیلشده با معنی باشد. جدول ۱، پارامترها و کلمههای

جدول ۱ـ کلمههای راهنما و مفهوم فیزیکی آنها، پارامترها و انحرافات.

Guide Word	Meaning	Parameter	Deviation
No	Negation intention	Flow	No Flow
Less	Quantitative decrease	Flow	Less Flow
More	Quantitative increase	Flow	More Flow
Low	Quantitative decrease	Level Temperature Pressure	Low Level Low Temperature Low Pressure
High	Quantitative increase	Level Temperature Pressure	High Level High Temperature High Pressure
As Well As	Qualitative Increase	Flow	Leak

راهنمای متداول واحدها و ترکیب منطقی آنها را نشان میدهد.

ـ دلایل: گروه HAZOP پس از تعیین گره مورد نظر، انحرافات متناسب با آنها را به ترتیب اهمیت بهکار برده، دلایل بالقوه انحرافات را تعیین کرده، گزارش میکنند. دلایل انحرافات را میتوان به سه گروه اصلی طبقهبندی کرد: خطای انسانی، نقص تجهیزات و حوادث خارجی.

ـ عواقب: نقش مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات در واقع تعیین نتیجهها و عواقب بالقوه انحرافات مورد بررسی است. این عواقب با توجه به محدودیت اطلاعات در دسترس و میزان تجربه و تخصص گروه، تشخیص داده میشوند. شکل ۱ فلوچارت روش HAZOP را نشان میدهد.

تفکر استفاده از سیستمهای اتوماتیک HAZOP

جنبههای متفاوتی در ایجاد تفکر مطالعه اتوماتیک مخاطرات و راهبری عملیات سهیم بودهاند. برخی از این عوامل شامل نقاط ضعف روش مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات هستند و برخی نیز ویژگیهای مثبت این روش را دربرمیگیرند. بهطور کلی این عوامل عبارتاند از [۲ و ۳]:

ـ به منظور اجرای موفق روش، لازم است که گروهی متشکل از شش نفر یا تعداد بیشتری از متخصصین در زمینههای

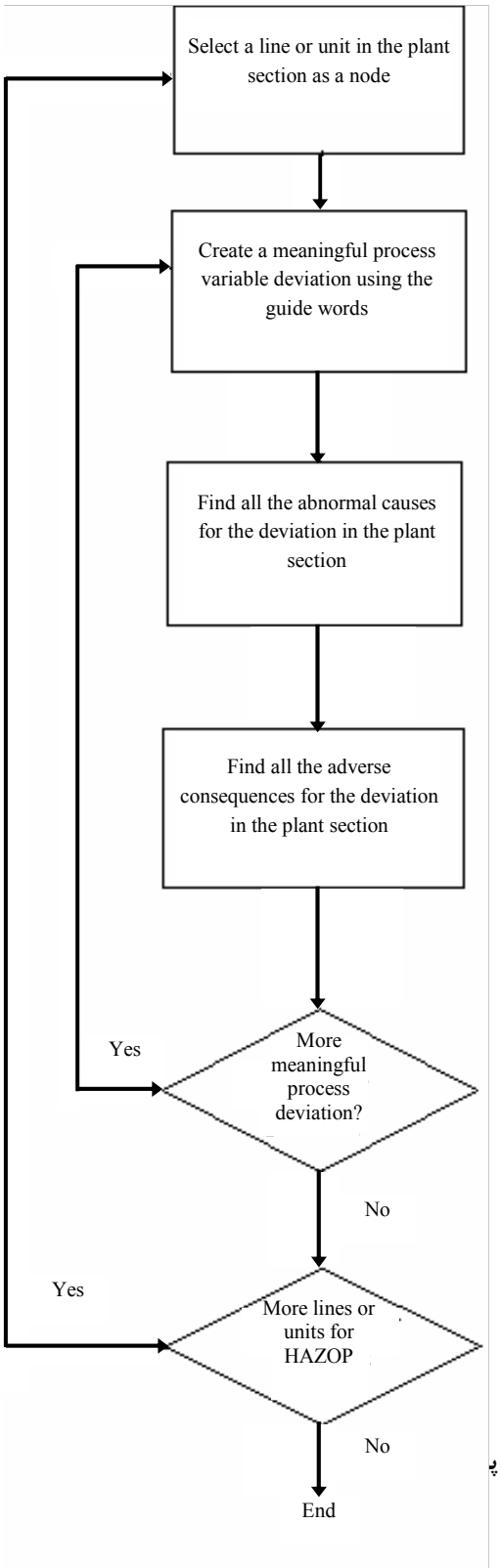
(۱) Check-List Analysis (۳) What-If Analysis (۵) Imperial chemical Industry
(۲) Preliminary Hazard (۴) Hazard and Operability Study (HAZOP)

www.SID.ir

Archive of SID

متفاوت مهندسی به طور سیستماتیک نمودارهای لولهکشی و ابزاردقیق فرایند را با توجه به شرایط فرایندی و عوامل انسانی بررسی کنند. این گروه باید موقعیتهای متفاوت و ترکیب انحرافات متفاوتی که ممکن است در طی عملیات واحد رخ دهند

شکل ۱ـ فلوچارت روش HAZOP.



همچنین عواقب ناخوشایند این انحرافات را تعیین کند.

ـ به منظور تعیین صحت و درستی مطالعه همان طور که در قسمت قبل اشاره شد گروه مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات باید گروهی متشکل از متخصصین در زمینههای متفاوت طراحی، عملیاتی و جنبههای نگهداری واحد فرایندی باشد.

متخصصین باید به اندازه کافی با تجربه باشند تا بتوانند تمامی راههای ممکن ایجاد خطر و مشکلات عملیاتی واحد فرایندی را پیشبینی کنند.

بنابراین، با توجه به آنچه در بالا ذکر شد مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات به دلیل نیاز به نیروی انسانی قابل توجه و صرف زمان قابل ملاحظه روشی هزینهبر و وقتگیر است. از آنجایی که مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات پیشنیازی برای سایر مراحل تشخیص مخاطرات و جلوگیری از خسارات محسوب میشود، توافق روی دقت این روش ایمن به نظر نمیرسد. به عبارت دیگر کاهش هزینهها با عدم جامعیت مطالعه، خطرناک خواهد بود. برخی محدودیتهای دیگر این روش عبارتاند از:

ـ عدم دسترسی به متخصصین با تجربه: برخی مواقع با وجود آنکه شرکتی حاضر است تمام هزینههای مربوط را بپردازد و امکانات لازم را فراهم آورد، ممکن است افراد متخصص مورد نیاز که مهارت و تجربه کافی داشته باشند در دسترس نباشند.

ـ تکرار پذیری روش: تعداد زیادی از انحرافات محتمل از شرایط نرمال، از جمله عوامل رایجی هستند که گروه باید مورد ملاحظه قرار داده و هر یک را مطالعه کند. این جنبه از مطالعه به نسبت خسته کننده است. از طرفی گروه نمیتواند از تعداد قابل توجهی علل رایج چشمپوشی کند، زیرا هر یک از آنها پتانسیل ایجاد حادثه را دارند.

در کنار نقاط ضعف مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات، جنبههای مثبتی نیز وجود دارند که تفکر استفاده از مطالعه اتوماتیک مخاطرات و راهبری عملیات را تقویت میکند. این جنبهها عبارتاند از:

www.SID.ir

Archive of SID

ـ ساختار سیستماتیک و منطقی مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات، میتواند الگوریتمی را برای اتوماتیککردن روش، پیشنهاد کند.

ـ رشد روزافـزون و توسعـه سیستمهای نرمافـزاری همـراه با گسترش کاربرد آنها در رشتههای متفاوت فنی و مهندسی، نویدبخش راهی برای استفاده از این سیستمها برای مطالعه اتوماتیک مخاطرات و راهبری عملیات میباشد[۱۰ و ۱۱].

بـا ملاحظـه عـوامل و جنبههای متفاوت ذکـر شده، این نتیجه حاصل میشود کـه اگـر مطالعـه مخاطـرات واحـدهـای عملیاتی متداول و رایج به طور اتوماتیک انجام شود، به میزان قابل تو- ۳ از حجـم کـاری متخصصین کاسته شده و زمان بیشتری در ا- ـ ـ خواهنـد داشـت تـا روی مطالعـه مخاطـرات تجهیـزات فـرایندی پیچیدهتر که قابلیت خودکار شدن را ندارند، متمرکز شوند [۸].

اقدامات انجام شده برای مطالعه اتوماتیک مخاطرات

هـر چنـد کـه متخصصین بـه لـزوم اتوماتیک کـردن مطالعه مخاطـرات و راهبـری عملیات پـی بـردهانـد و تحقیقـات قابـل ملاحظهای نیـز در ایـن زمینه صورت گرفته اسـت [۱۴-۱۲]، امـا سیستمهای ارایهشده کارآیی محدودی داشته و حتی موفقیتهای کسب شده، اندک بوده است [۳].

از آن جمله میتوان به تلاشهای Poucet و Suokas (۱۹۹۲)، Preston و Venkatasubramanian (۱۹۹۵)، Shimada و Suzuki و Sayama (۱۹۹۶) اشاره کرد [۱۵ و ۱۶].

در ایـن زمینـه سیستمهای خبره HAZOPExpert ارایه شده تـوسـط Venkatasubramanian و Vaidhyanathan (۱۹۹۴)، EXPERTOP ارایه شده توسط Faisal I. Khan و S.A. Abbasi (۲۰۰۰)، نتیجههای قابـل قبـولی ارایـه کردهانـد [۳ و ۸]. تمامی روشهای بـه کاررفته به طـور مشخص در یکی از دو گـروه زیر جای میگیرند[۱۵]:

ـ سیستمهـای خبـره: بـه طور معمول از بانکهـای دانش و ماشینهای استنباط قراردادی برای رسیـدن بـه حـل قابـل قبول استفاده میکنند.

ـ سیستمهای مبتنی بر مدل: رفتار واحدهای فرایندی را در قالب مدل شرح میدهند و روی بررسی ایـن مدل متمرکز میشوند. بـه عنوان مثال، یک واحد را به صورت یک سیستم معادلههای دیفرانسیل معرفی میکنند.

سیستمهای مبتنی بر مـدل از سیستمهای خبره دقیقتر و در گستره وسیعتری قابل کاربرد هستند، اما از آنجاییکه ایـن مدلهـا اغلب مبهم و ایجاد آنها مشکل است، سیستمهای خبره ترجیح داده میشوند.

سیستم خبره

به طورکلی سیستم خبره، یک بسته نرمافزاری است که برای

تقلید و مدلسازی تخصص بشری طراحی میشود. این سیستم در واقع شاخهای از هوش مصنوعی است و با استفاده از یک محیط ٤ ی دانش تخصصی مـورد نیـاز کاربر را فـراهم میکنـد [۱۷]. سیستم خبره به طور اصولی از بانک دانش[۱]، ماشین استنباط[۲] و اطلاعات ویژه[۳] به همراه برخی انواع واسط کاربر[۴] کـه بـه ماشیـن استنبـاط ملحق میشونـد، تشکیل شـده اسـت. شکل ۲ ارتباط این موردها را نشان میدهد.

بـانک دانـش مجموعـه منظمـی از واقعیتهـای مشـروح و قانونهای مربـوط بـه موضوع مـورد بـررسی را شامـل میشـود. بیشتـر سیستمهـای خبـره موجـود، دارای بـانک دانـش ثـابـت هستند بـه طوریکه کاربر نمیتواند به صورت پویا اطلاعات آنها را تغییر و یا بسط دهد.

ماشین استنباط بـا ملاحظه اطلاعات بـانک دانش و اطلاعات ویژه، قانونها و وقایعی را نتیجـه میگیرد. در واقع ماشین استنباط از سطحی بالاتر، چگونگی ترتیب دانش موجود را بررسی کرده و از آنها برای حل مسأله بهره میگیرد.

وظیفه واسط کاربـر برقراری ارتباط سـاده و راحت بین کاربر و نرم افزار است. به طوریکـه پرسش و پاسخ بین کاربر و نرم افزار از راه زبانی که به کاربر نزدیکتر است، صورت میگیرد.

همانطور که اشاره شد، سیستمهای خبره متفاوتی بـرای مطالعه اتوماتیک مخاطرات و راهبری عملیات ارایه شدهاند. تمامی ایـن سیستمهای خبره یک وجـه مشترک دارند. این وجه مشترک عبارت است از:

استفـاده از بانکهـای دانـش و مـاشین استنبـاط، همچنین برقراری ارتباط با سیستم خبره از راه یک واسط کاربر بهطوری که با توجه به شرایط مورد نظر کاربر، به تحلیل پرداخته، نتیجه را به عنوان مطالعه مخاطـرات و راهبری عملیات ارایـه کند. وجه تمایز سیستمهای خبره را میتوان در موارد زیر خلاصه کرد:

www.SID.ir

Archive of SID

نحوه معماری سیستم خبره، ساختار بانک دانش ارایه شده، الگوریتم به کار رفته در ایجاد ماشین استنباط، طراحی واسط کاربر و نحوه برقراری ارتباط کاربر با سیستم و میزان امکانات و نتیجه‌هایی که سیستم می‌تواند ارایه دهد.

بیشتر سیستمهای خبره موفق ارایه شده برای مطالعه اتوماتیک مخاطرات و راهبری عملیات در محیط نرم افزاری G_2 و با استفاده از ساختار شیءگرا توسعه یافتهاند. برخی از ویژگیهای ساختار شیءگرا، کارایی سیستم خبره را افزایش میدهد. این ویژگی‌ها عبارت‌اند از [۱۰]:

کیفیت، قابلیت اطمینان، قابلیت نگه‌داری و اصلاح پذیری.

(۱) Knowledge-base
(۲) Inference Engine
(۳) Speci
(٤) User

ارایه سیستم خبره HAZOPEN(۱)

با توجه به مزایای استفاده از سیستمهای خبره در مطالعه اتوماتیک مخاطرات و راهبری عملیات، سیستم خبره HAZOPEN با ساختاری شیءگرا و در محیط نرم افزاری C^{++} Builder ۵ توسعه داده شد. معماری این سیستم خبره در شکل ۳ آمده است. این سیستم شامل بخشهای دانش ویژه فرایندی، دانش عمومی فرایندی، ماشین استنباط و واسط کاربر است.

دانش ویژه فرایندی

شامل اطلاعات یک فرایند ویژه بوده و از فرایندی به فرایند دیگر متفاوت است. این اطلاعات که توسط کاربر فراهم می شود، شامل موارد زیر است:

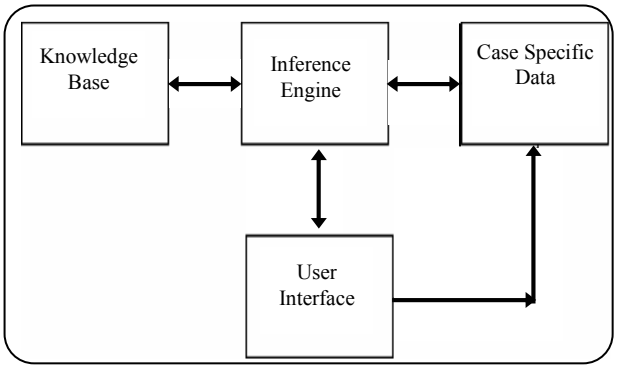
ـ مواد شیمیایی حاضر در فرایند: دلیل اصلی اهمیت ایمنی فرایندهای شیمیایی را میتوان در مواد شیمیایی خطرناک موجود در فرایند یافت. این مواد در شرایط ویژه، قادر به ایجاد حوادث جدی هستند. لذا نقش تعیینکننده آنها باید در مطالعه مخاطرات لحاظ شود [۱۸].

ـ هر ماده شیمیایی در سیستم خبره HAZOPEN، به صورت شیء از کلاس مواد فرایندی ایجاد میشود.

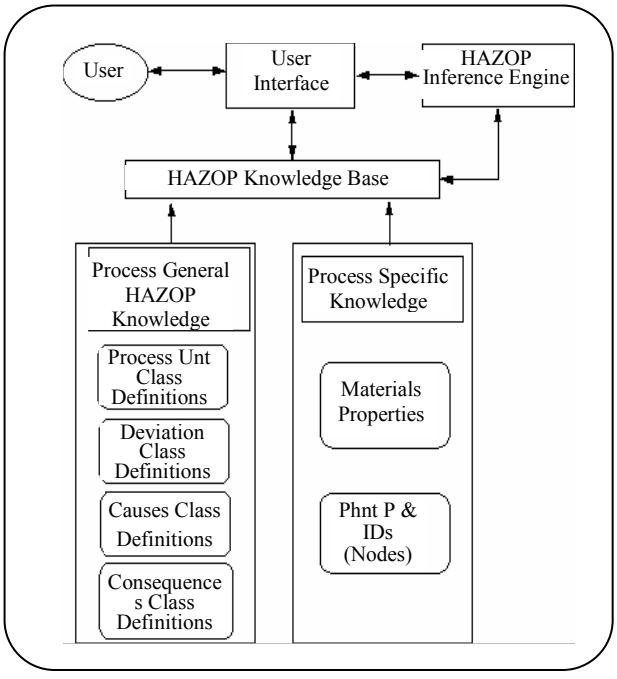
این کلاس دارای ویژگی‌های نام ماده شیمیایی، نقش ماده در فرایند، حالت فیزیکی و خصوصیت خطرزای ماده است.

ـ تعیین گرههای موجود در فرایند: این گرهها در واقع همان تجهیزات موجود در فرایند هستند که با استفاده از نمودارهای لولهکشی و ابزار دقیق واحد فرایندی مورد ملاحظه، تعیین میشوند. هر گره یک شیء نمونه از کلاس گره است. این کلاس مشخصات نام گره، نوع گره، شرایط دلخواه طراحی گره، شرح عملیات گره و فهرستی از مواد شیمیایی حاضر در گره را در بر میگیرد. نوع گره موردهای زیر را شامل میشود:

خط لوله، مبدل حرارتی با جریان سیال سرد در سمت لوله و فشار بیشتر از سمت پوسته، مبدل حرارتی با جریان سیال سرد



شکل ۲ـ ساختار بنیادین سیستم خبره.



شکل ۳ـ معماری سیستم خبره HAZOPEN.

www.SID.ir

Archive of SID

در سمت پوسته و فشار بیشتر از سمت لوله، مبدل حرارتی با جریان سیال گرم در سمت لوله و فشار بیشتر از سمت پوسته، مبدل حرارتی با جریان سیال گرم در سمت پوسته و فشار بیشتر از سمت لوله، پمپ سانتریفوژ، پمپ جابه‌جایی مثبت، کمپرسور سانتریفوژ، کمپرسور جابه‌جایی مثبت، تانک ذخیره، تانک ته‌نشینی و شیر کنترل.

کاربر با استفاده از واسط کاربر، مقدارهای این مشخصات را برای گرههای مورد مطالعه مشخص میکند.

(۱) HAZOP ENcode

دانش عمومی فرایند

شامل مدلهای عمومی مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات است. این اطلاعات مستقل از هر فرایند مورد ملاحظه، به [۵] ثابت و تغییر ناپذیر با ساختاری شیءگرا کدنویسی میشود. دانش عمومی فرایندی متشکل از کلاسهای زیر است:

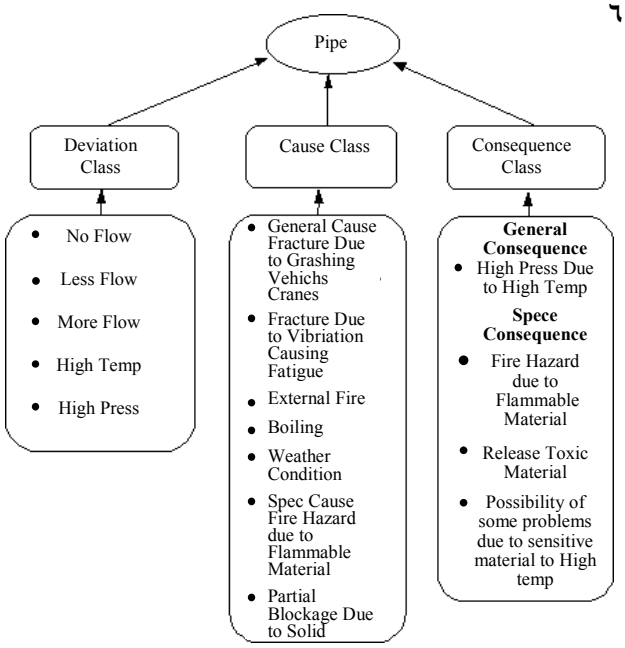
۱ـ کلاس انحرافات متغیرهای فرایندی: چگونگی انحراف یک متغیر فرایندی به نوع واحد عملیاتی مورد مطالعه و متغیر فرایندی مورد ملاحظه در آن بستگی دارد. کلاس انحرافات متغیرهای فرایندی دارای مشخصات کلمه راهنما، متغیر فرایندی و انحراف است. این مشخصات برای ۱۲ نوع واحد عملیاتی که در بخش تعیین گرههای موجود در فرایند ذکر شد، با توجه به انحرافات متداول آن تجهیزات، مقداردهی شده و به عنوان بخشی از دانش عمومی سیستم خبره نگه‌داری میشود.

۲ـ کلاس دلایل انحرافات متغیرهای فرایندی: یکی از اهداف مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات تعیین علل بالقوه انحرافات احتمالی متغیرهای فرایندی در واحدهای عملیاتی یا به عبارتی گره مورد ملاحظه است. برخی از این دلایل عمومی بوده و برای استفاده از گره مورد نظر در فرایندهای متفاوت مشترک است. در حالی که برخی دیگر خاص بوده و با توجه به فرایند و شرایط ویژه مورد مطالعه تعیین میشوند. به عنوان مثال، انحراف "No Flow" در لوله ممکن است در اثر ساییدگی لوله و در نتیجه پاره شدن آن ایجاد شود. این عامل ممکن است در فرایندهای متفاوت ایجاد شود. بنابراین، به عنوان یک دلیل عمومی محسوب میشود. حال اگر جسم جامدی در جریان سیال داخل لوله وجود داشته باشد، ممکن است باعث بسته شدن لوله و در نتیجه قطع جریان شود. این علت بستگی به شرایط ویژه فرایند و مشخصات مواد فرایندی دارد. بنابراین، این دلیل در گروه دلایل ویژه طبقهبندی میشود.

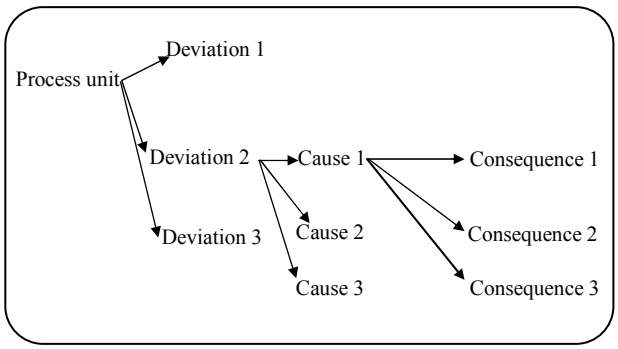
کلاس دلایل انحرافات متغیرهای فرایندی دارای مشخصات گره مورد نظر، انحراف متغیر فرایندی مخصوص گره، دلایل ویژه و عمومی ایجاد انحرافات متغیرهای فرایندی است. دلایل انحرافات متغیرهای فرایندی با ملاحظه واحدهای عملیاتی و انحرافات خاصشان مقداردهی شده و در بخش دانش عمومی سیستم خبره قرار میگیرد.

۳ـ کلاس نتیجه‌های انحرافات متغیرهای فرایندی: روش مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات پس از تعیین دلایل بالقوه ایجاد انحرافات متغیرهای فرایندی در واحدهای عملیاتی، نتیجه‌ها و عواقب ناخوشایند و در برخی موردها زیانبار انحرافات را نیز

٦



شکل ٤ـ بخشی از مدل عمومی مخاطرات خط لوله.



www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۵ ـ ارتباط بین بخشهای متفاوت دانش عمومی.

گزارش میکند. این نتیجه‌ها بستگی به علل ایجاد انحراف داشته و به تبعیت از علت، متفاوت است. بـه عنوان مثال، اگر علت انحراف "No Flow" در لوله، پارهشـدن در اثر ساییدگی لوله باشد، آلودگی محیط بـه مواد فرایندی را نتیجه میدهـد. حـال اگر بسته شـدنلوله به دلیل وجود مواد جامد، علت قطع جریان باشد، ممکن است فقط افزایش فشار لوله به عنوان نتیجه گزارش شود. کلاس نتیجه انحراف‌های متغیرهای فرایندی دارای ویژگی پیامد انحراف متغیر فرایندی است که با توجه به انحراف متغیر فرایندی واحد عملیاتی و علـت ایجـاد آن، تعییـن و بـه عنـوان بخـش دیگـری از دانش عمومی سیستم خبره ذخیره میشود.

دانش عمومی ۱۲ واحد عملیاتی ذکر شـده بـا استفاده از منابع موجـود [۲۱-۱۹] تهیـه و در کلاسهای مربـوط کدنویسی شـد. شکل ۴ بخشی از مدل عمومی مخاطرات خط لوله را نشان میدهد. شکل ۵ ارتباط بیـن بخشهـای متفـاوت دانش عمومـی را نشان میدهد.

مکانیسم ماشین استنباط سیستم خبره HAZOPEN

ایـن مکانیسم بـا برقراری ارتبـاط بین دانش ویـژه فرایندی و دانش عمومـی سیستـم خبـره، نتیجه‌هـای مطالعه مخاطـرات و راهبری عملیات را استخراج کرده و گزارش میدهد.

فلوچـارت ماشین استنباط ایـن سیستم خبـره در شکل ۶ آمده است. شرح الگوریتم به قرار زیر است:

۱ـ بررسـی بـا تشکیل سیستمـی از مـواد شیمیایی و فهرست گرههای مورد نظر مطابق با دیاگرام لولهکشی و ابزار دقیق واحد شروع میشود. ایـن مـوارد توسط کاربـر و از طریـق واسط کاربـر تعیین میشود.

۲ـ کاربـر یـک گـره را از فهرسـت گرههـای موجـود و یـک انحـراف متغیر فرایندی را از فهرست انحرافات متغیرهای فرایندی مخصوص آن گره انتخاب میکند.

۳ـ گـره مسبب ایجـاد انحراف در گـره مورد نظـر و انحـراف متناسب بـا آن انتخـاب، سپس فهرسـت دلایل انحراف مقداردهی میشود. بـا انتخاب گـره مسبب میتوان تأثیـر گرههای متفاوت را بررسی و عمل توزیع انحـراف مـورد نظـر بین گره‌های متفاوت را برای استخراج تمامی دلایل انحراف انجام داد.

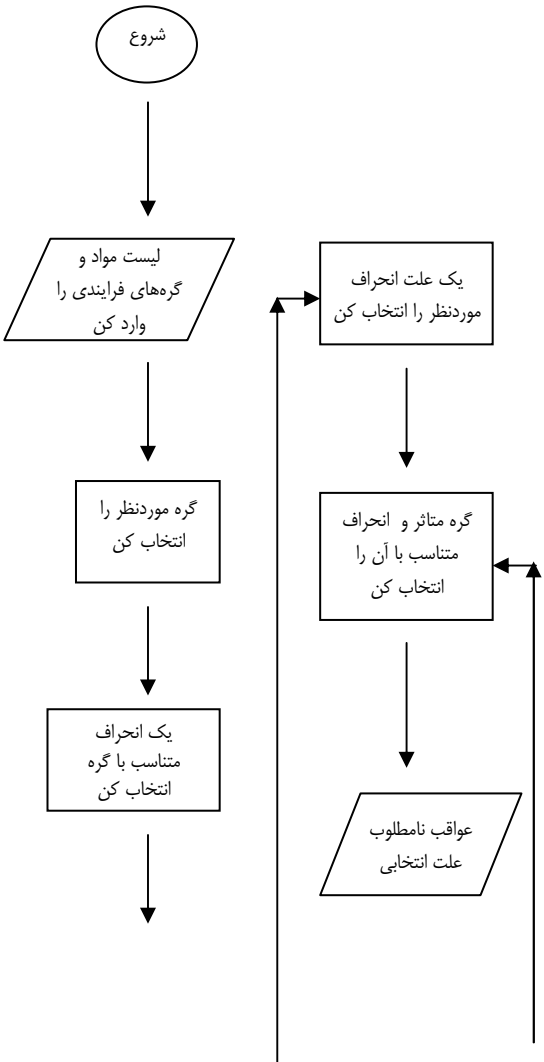
۴ـ انتخاب یک علت از فهرست دلایل انحراف متغیر فرایندی گره مورد نظر، همچنین تعیین گـره متأثر از این انحراف و انحراف ایجاد شـده در آن. بـا انتخاب گره متأثر، برهم‌کنش و تأثیرپذیری گرههای متفاوت بررسی و در واقـع عمل توزیع انحراف مـورد نظر بین گرههـای متفـاوت بـرای تعیین تمام عواقـب احتمالی انحراف انجام میشود.

۵ ـ مقداردهی فهرست نتیجه‌های انحراف.

واسط کاربر

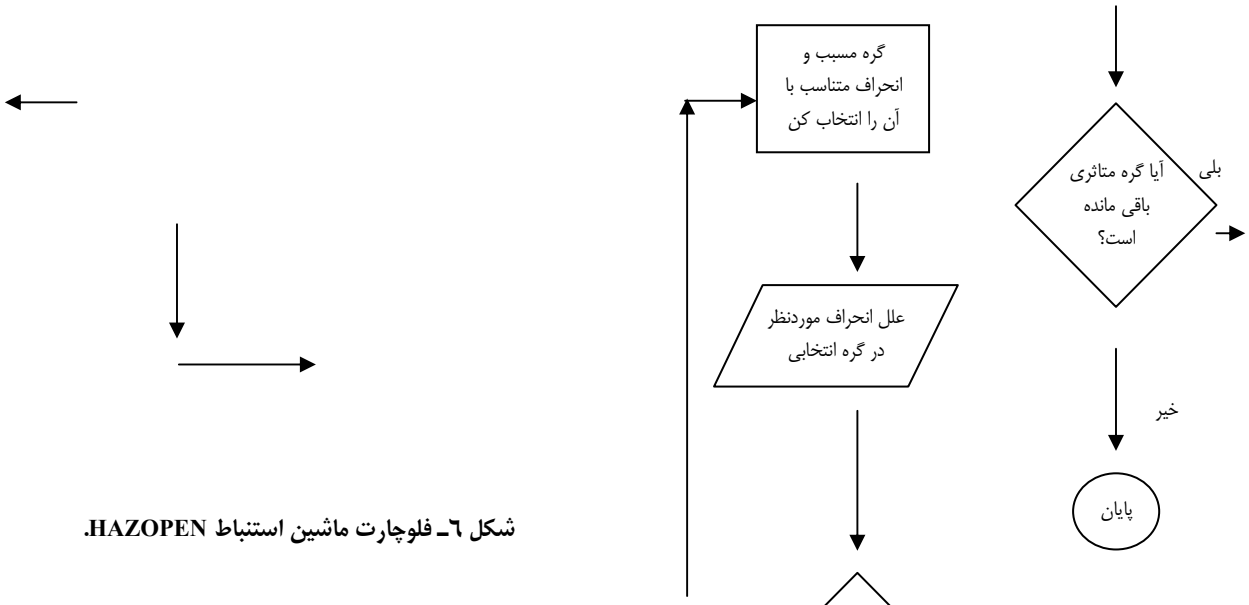
طراحی واسط کاربر بایـد به گونهای باشد که کاربر بتوانـد بـه راحتی با آن ارتباط برقرار کـرده، مـراحـل متفاوت اجـرای سیستم نرمافزاری را به انجام رساند و در یک عبارت کاربر دوست باشد.

سیستم خبره HAZOPEN در محیط نرم افزاری C^{++} Builder۵ توسعه داده شد. همچنین سعی شد طراحی واسط کاربر تا حد امکان مأنوس با کاربر باشد. همچنین میتوان از بخش راهنمای این سیستم



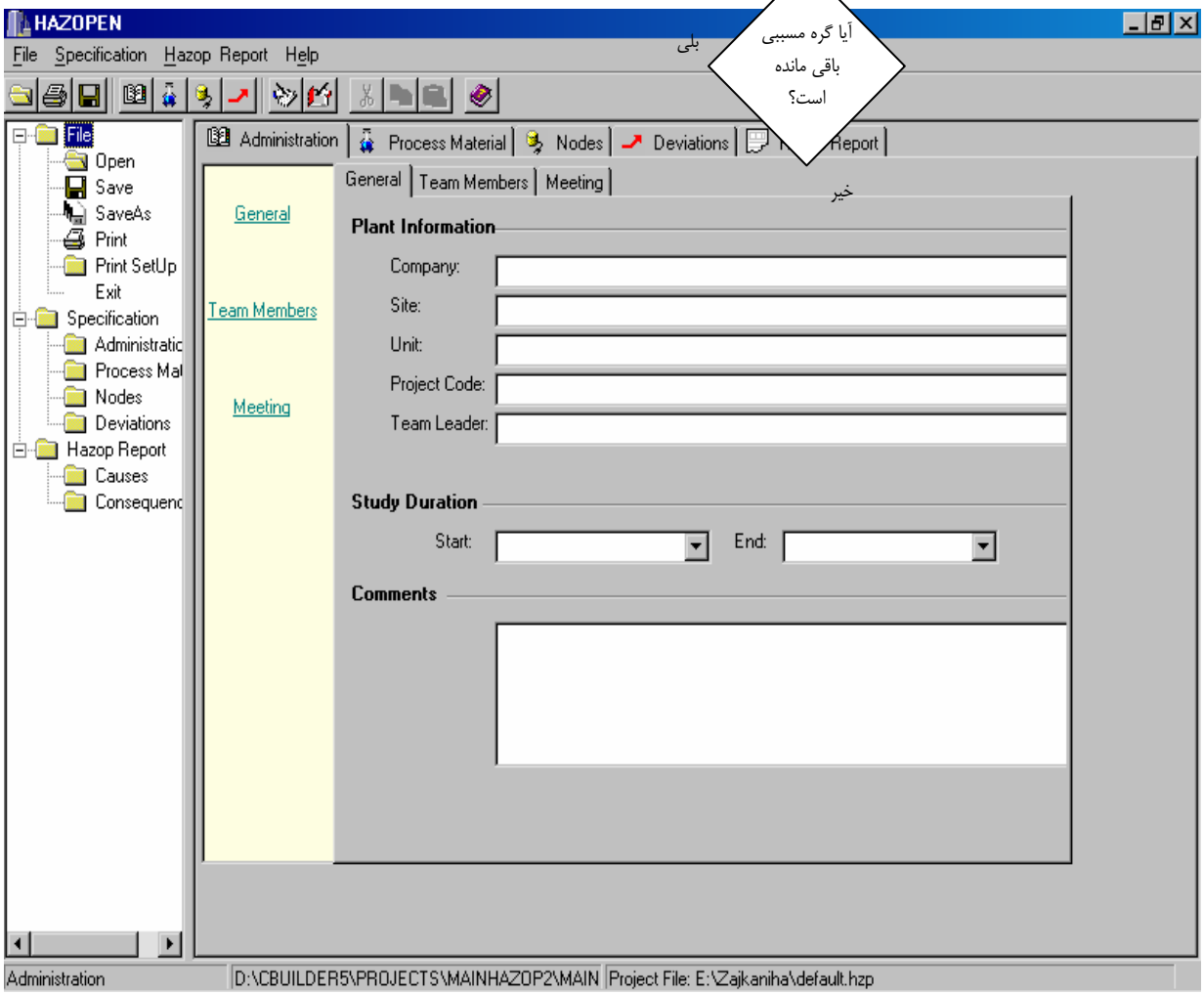
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦ـ فلوچارت ماشین استنباط HAZOPEN.

۷



شکل ۷ـ واسط کاربر طراحی شده سیستم خبره HAZOPEN.

www.SID.ir

Archive of SID

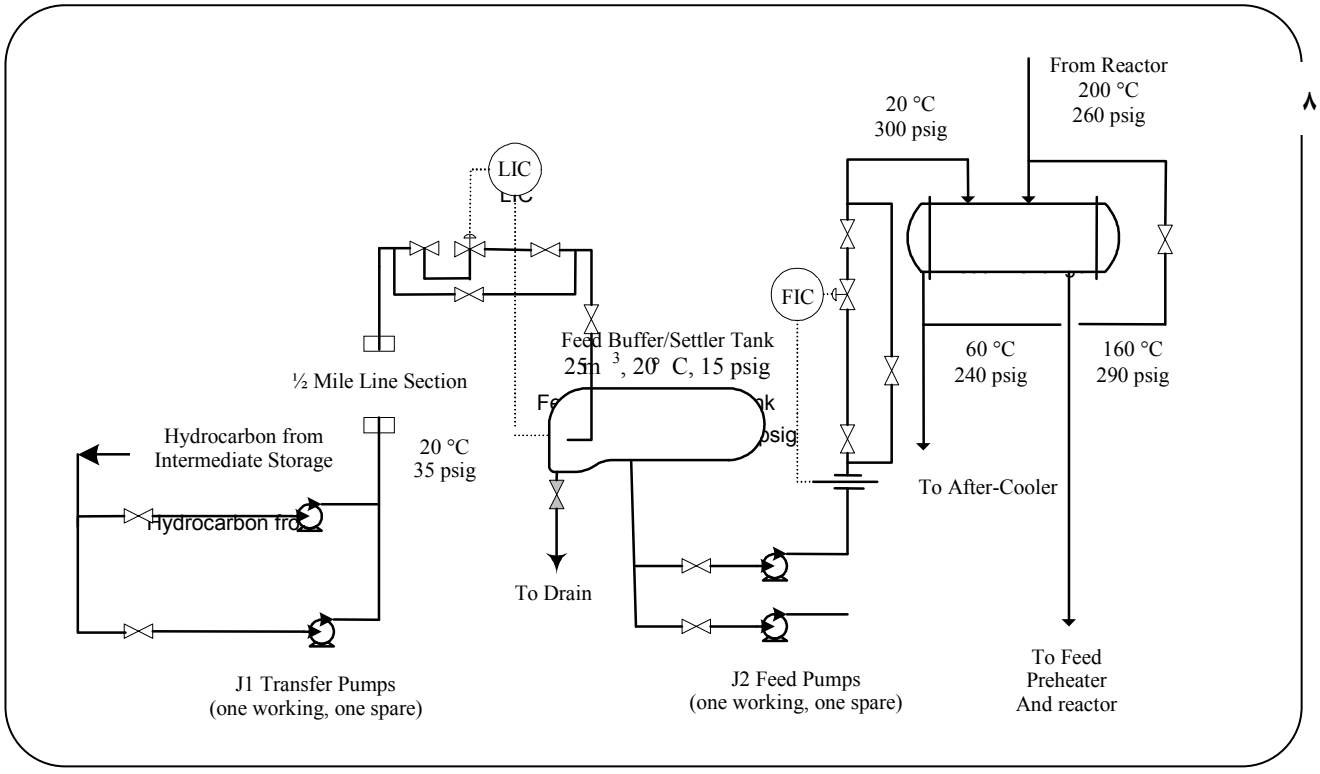
برای چگونگی اجرای قسمت‌های متفاوت آن استفاده کرد. شکل ۷ واسط کاربـر طراحی شـده HAZOPEN را نشـان می‌دهد.

مطالعه موردی(۱)

دیمر شدن اولفین

سیستـم خبـره HAZOPEN بـرای مطالعـه مخاطرات بخش خوراک واحد دیمر شدن اولفین به کار برده شد. یک مخلوط معلق آلکان- آلکن و آب، از یک تانک ذخیره و از طریق یک خط لوله به طول یک کیلومتر، به طور پیوسته به یک تانک ته‌نشینی، پمپ می‌شود. در این تانک، مخلوط مدتی باقی می‌ماند تا آب موجود در آن ته‌نشین شـود. سپس از یـک مبـدل و یک پیش‌گرم‌کن عبـور کرده، به بخش واکنش منتقل می‌شـود. نمودار جریـان این فرایند در شکل ۸ آمده است [۲۲].

آب روی واکنش دیمر شدن تأثیر نامطلوب می‌گذارد، از این رو در تانک ته‌نشینی جدا شده و در فاصله‌های زمانی متفاوت، به طور دستی خارج می‌شود. همچنین مخلوط آلکان- آلکن بـه افزایش دما حساس بـوده و ممکن است در اثـر افزایـش دمـا واکنش ناخواسته پلیمری شدن صورت گیرد. محصول دیمر شده نیز قابل اشتعال است. نتیجه‌های این سیستم با نتیجه‌های حاصل از مطالعه سنتی فرایند قابل مقایسه است. نتیجه‌های به‌دست آمده از این سیستم خبره تمام دلایل و عواقب مطالعه سنتی مخاطرات را تحت پوشش قرار میدهد. از طرفی این سیستم موارد بیشتری را ذکر کرده، مطالعه را دقیقتر و کاملتـر انجام میدهـد. همچنین زمان انجام مطالعه بـه میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش مییابد.



شکل ۸ ـ نمودار جریان بخش خوراک واحد دیمر شدن اولفین.

www.SID.ir

Archive of SID

در اینجا مراحل اجرای سیستم خبره HAZOPEN برای تانک تهنشینی به عنوان گره حایز اهمیت این بخش آورده میشود:

۱ـ مواد شیمیایی و گرههای مورد ملاحظه فرایند، توسط کاربر مشخص میشوند.

مواد شیمیایی موجود در فرایند شامل آب به عنوان ناخالصی، آلکان و آلکن واکنش‌گر و اولفین به عنوان فراورده دیمر شدن هستند.

گرههای مورد ملاحظه این بخش عبارت‌اند از: تانک ذخیره، پمپ‌های سانتریفوژ J_1، خط انتقال خوراک از تانک ذخیره به تانک تهنشینی، شیر کنترل LCV ، تانک تهنشینی، پمپهای سانتریفوژ J_2، شیر کنترل FCV، مبدل حرارتی با جریان سیال سرد در سمت پوسته و فشار بیشتر از سمت لوله.

۲ـ انتخاب گره مورد مطالعه: تانک تهنشینی به عنوان گره مورد مطالعه انتخاب میشود.

۳ـ انتخاب انحراف متغیر فرایندی قابل توجه در گره انتخابی: در اینجا انحراف "Low Level" به عنوان انحراف قابل ملاحظه انتخاب و بررسی میشود.

۴ـ انتخاب گره مسبب: خط انتقال به عنوان گرهای که میتواند انحراف "Low Level" را در تانک تهنشینی ایجاد کند، انتخاب میشود.

۵ـ تعیین انحراف گره مسبب: انحراف "No Flow" گره مسبب میتواند باعث "Low Level" در تانک تهنشینی شود.

۶ـ در اینجا دلایل انحراف مشخصشده گره انتخابی به‌وسیله‌ی سیستم خبره HAZOPEN گزارش میشود. این دلایل عبارت‌اند از:

ـ پاره شدن خط لوله به دلیل خوردگی (وجود ماده خورنده، آب) .

ـ پارهشدن خط لوله به دلیل ساییدگی.

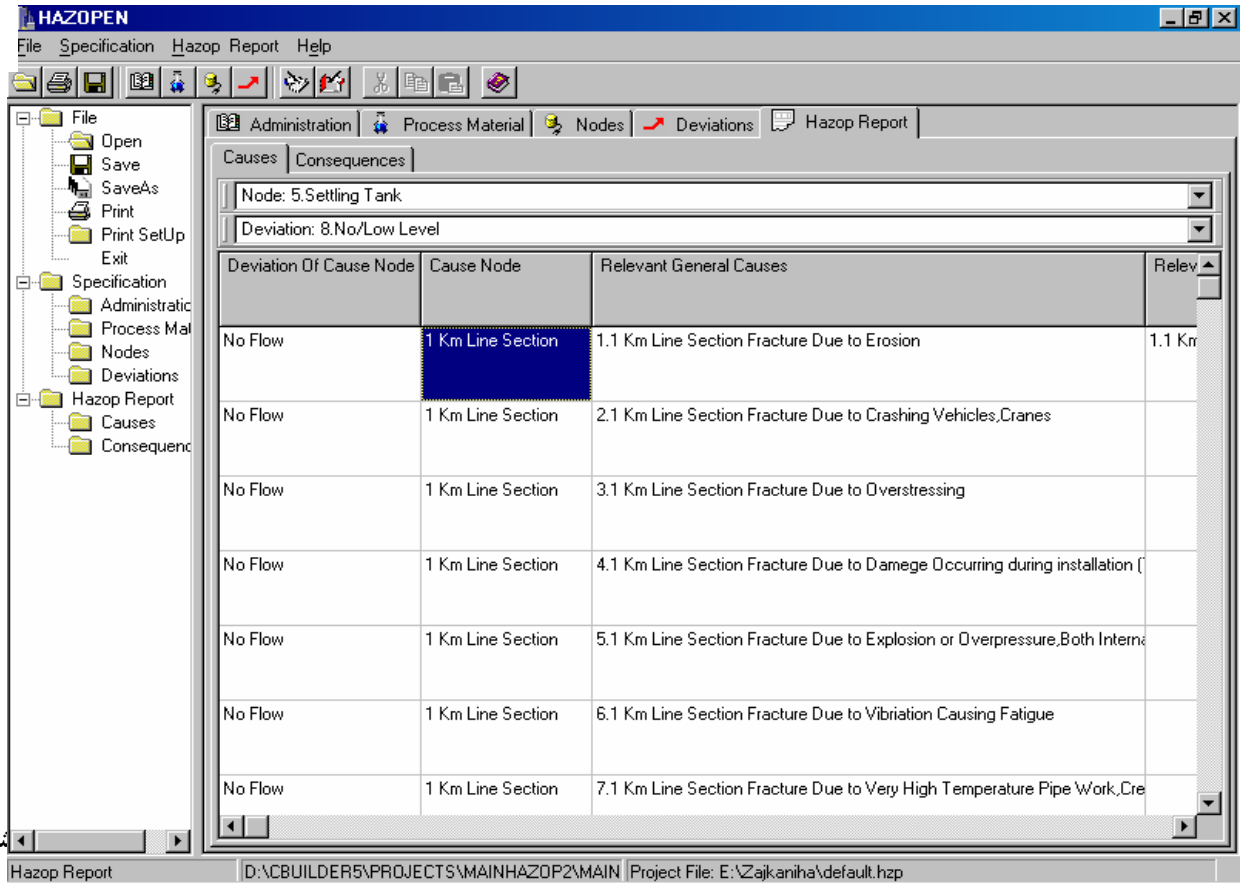
ـ پارهشدن خط لوله به دلیل عبور وسایل نقلیه.

ـ پارهشدن خط لوله به دلیل اشکال‌هایی که موقع نصب ایجاد شده و مورد توجه قرار نگرفته اند.

ـ پارهشدن خط لوله به دلیل ارتعاش شدید.

۷ـ انتخاب یک علت گزارششده، برای تعیین عواقب مخصوص آن: پارهشدن لوله در اثر خوردگی به عنوان یک علت انتخاب میشود.

۸ ـ انتخاب گره متأثر: مبدل حرارتی به عنوان گرهای که



www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۹ـ دلایل گزارششده به‌وسیله‌ی سیستم خبره HAZOPEN برای گره تانک تهنشینی.

میتواند تحت تأثیر قرار گیرد، انتخاب میشود.

۹ـ تعیین انحراف گره متأثر: انحراف " Less Flow of Cold Fluid Out"، کمشدن جریان سرد خروجی از مبدل، را میتوان مورد ملاحظه قرار داد.

۱۰ـ حال میتوان عواقب انحراف ایجاد شده در تانک تهنشینی را روی مبدل حرارتی مشاهده کرد. این عواقب عبارت‌اند از:

ـ افزایش دمای سیال گرم خروجی از مبدل.

ـ افزایش دمای سیال سرد خروجی از مبدل.

ـ احتمال بروز پارهای مشکل‌ها به دلیل وجود مواد حساس به افزایش دما، آلکان و آلکن، در جریان سیال سرد.

شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب دلایل و عواقب گزارش شده را نشان میدهند.

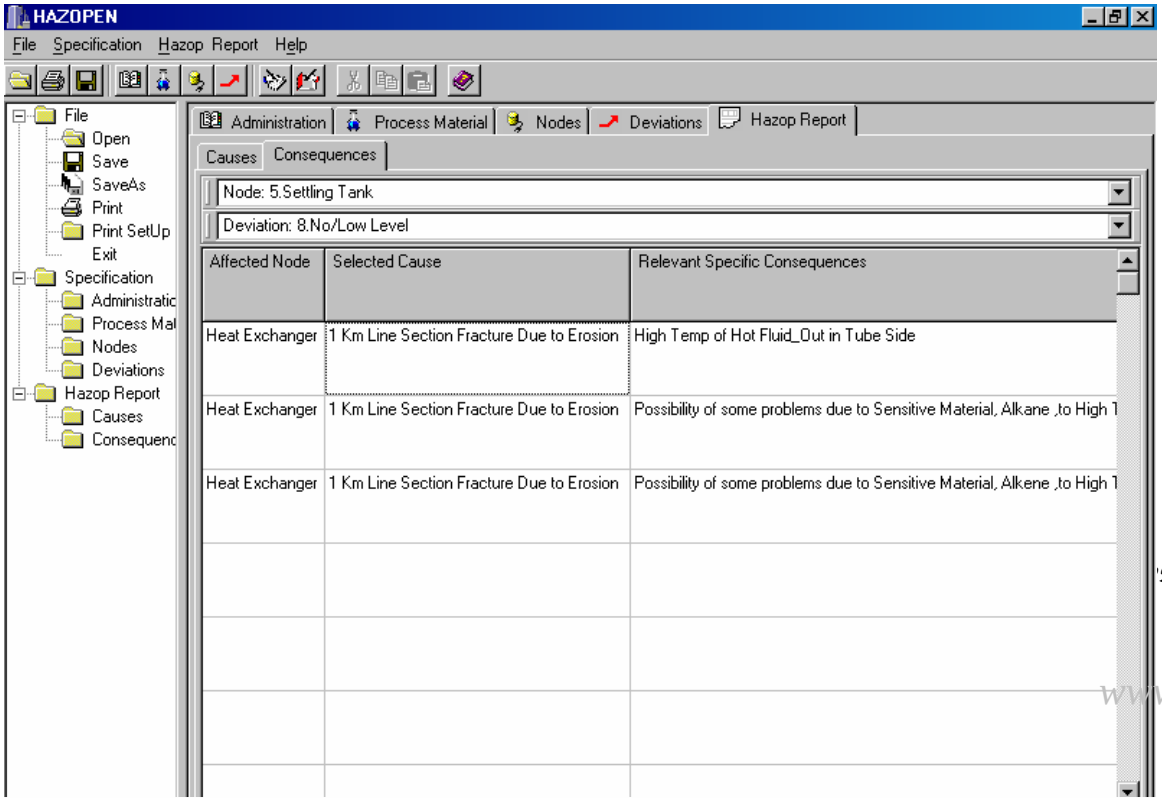
جدول ۲ نتیجه‌های بدست آمده از اجرای سیستم خبرهHAZOPEN برای انحراف "Low Level" گره تانک تهنشینی را با مطالعه سنتی مخاطرات این گره مقایسه میکند.

مطالعه موردی (۲)

واحد مرکاپتانزدایی بوتان

بوتان از یک مخزن خوراک در فشار bara ۱۴ و دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد به‌وسیله پمپ A/B ۸۳۱–۱۰ E به مبدل حرارتی ۸۳۱–۸ G، پمپ میشود. جریان بوتان پس از رسیدن به دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به قسمت پایین برج استخراج بوتان، ۸۳۱–V۱۰ وارد میشود. در این برج، ناخالصیهای جریان بوتان شامل مرکاپتان‌ها، کربونیل سولفید و کربن دی سولفید به‌وسیله محلول ۱۵ درصد کاستیک، در دمای حدود ۶۲–۵۸ درجه سانتی‌گراد شسته میشود. سپس جریان بوتان عاری از مرکاپتان از بالای برج استخراج ۸۳۱–V۱۰ وارد برج جداکننده قطره‌ها میشود تا قطرهای محلول کاستیک حملشده، جدا شود. نمودار جریان این فرایند در شکل ۱۱ آمده است [۲۳].

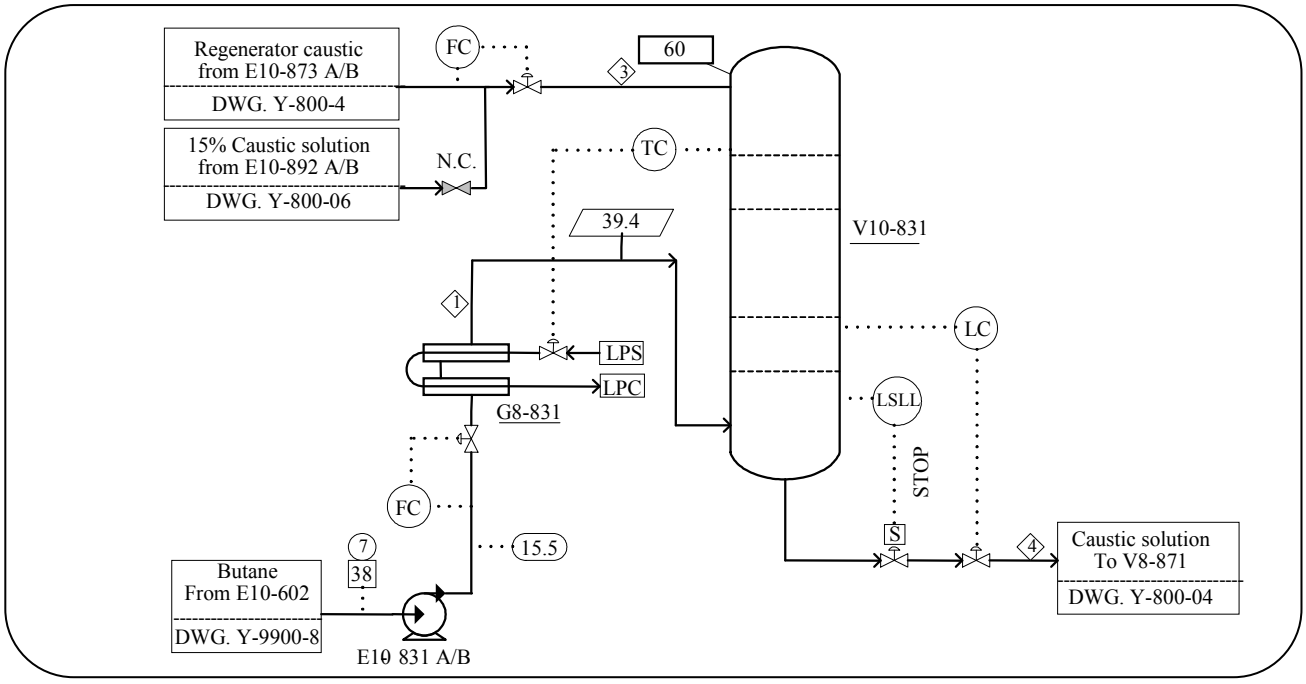
۱۰



www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱۰ـ عواقب گزارششده توسط سیستم خبره HAZOPEN برای گره تانک تهنشینی.



شکل ۱۱ ـ نمودار جریان بخش شستشوی واحد مرکاپتانزدایی بوتان.

جدول ۲ ـ مقایسه نتیجه‌های به‌دست آمده از اجرای سیستم HAZOPEN و مطالعه سنتی HAZOP (دلیل‌های خاص).

Selected Node: Settling Tank
Deviation: Low Level

www.SID.ir

Archive of SID

HAZOPEN		Conventional HAZOP	
Causes	Consequences	Causes	Consequences
Specific Cause: 1. 1 Km Line Section Fracture due to Corrosive material,H2O.	Specific: 1.1 Possibility of some problems due to Sensitive Material, Alkane, to high Temp	1.LCV or its controller fails close more	1.1 Cavitation may occur in J2pump and may damage to pump
	1.2 Possibility of some problems due to Sensitive Material, Alkene, to high Temp		1.2 Loss of feed to reaction section and reducing of output
	1.3 Cavitation in J2 Pump	2. FCV or its controller fails open more	1.3 Polymer formation in heat exchanger under no flow condition. 2.1 The Same as 1.1 2.2 Incomplete separation of water phase in settling tank leading to problems on reaction section

ادامه‌ی جدول ۲ ـ مقایسه نتیجه‌های به‌دست آمده از اجرای سیستم HAZOPEN و مطالعه سنتی HAZOP (دلیل‌های عام).

Selected Node: Settling Tank

Deviation: Low Level

HAZOPEN		Conventional HAZOP	
Causes	Consequences	Causes	Consequences
General Cause:			
1. 1 Km Line Section Fracture due to Erosion	The Same as above		
2. 1 Km Line Section Fracture Due to Crashing Vehicles, Cranes	The Same as above		
3. 1 Km Line Section Fracture Due to Overstressing	The Same as above		
4. 1 Km Line Section Fracture Due to Damage Occurring during installation (This Can Remain Hidden For a long Time)	The Same as above		
5. 1 Km Line Section Fracture Due to Vibration Causing Fatigue	The Same as above		
6. 1 Km Line Section Fracture Due to Fire	The Same as above		
7. Incorrect or Unanticipated Cross-Connection Causing Uncontrolled out-flow	The Same as above		
8. Run out of Row Material	The Same as above		
9. J1 Pump failure due to mechanical damage	The Same as above		
10 various motor failure of J1 Pump	The Same as above		
11. Failure of LCV or Its Controller & Close	The Same as above		
12. Failure of FCV or Its Controller & Open More	12.1 The Same as above		
	12.2 Incomplete Separation of Phases in Settling tank Leads to Some Problems in Down Stream		

در اینجـا مسیر تحلیل و مطالعه مخاطرات به‌شرح ذیـل است:

۱ـ مواد شیمیایی و گرههـای مـورد ملاحظه فراینـد، توسط کاربر مشخص میشوند.

www.SID.ir

Archive of SID

مـواد شیمیایی موجود در فراینـد شامل بوتان به عنوان مـاده فراینـدی، محلول کاستیک بـه عنـوان حلال، ناخالصیها شـامل مرکاپتان‌ها، کربونیل سولفید و کربن دی سولفید است.

۲ـ گرههای مورد ملاحظه این بخش عبارت‌اند از:

ـ خط انتقال خوراک از مخزن خوراک تا برج استخراج.

ـ پمپ‌های سانتریفوژ A/B ۸۳۱–۱۰ E.

ـ شیر کنترل جریان FCV–۸۳۱.

ـ مبـدل حرارتی G ۸۳۱–۸، بـا جریـان سیال سـرد در سمت پوسته و فشار بیشتر از سمت لوله.

۳ـ انتخاب گـره مـورد نظـر: به‌طور نمونـه مبدل حرارتی بـه عنوان گره مورد ملاحظه، انتخاب میشود.

۴ـ در اینجا انحراف "Less Flow of Cold Fluid Out" به عنوان انحراف قابل ملاحظه انتخاب و بررسی میشود. – انتخاب گره مسبـب: خـط انتقال، پمپ‌هـای سانتریفـوژ A/B ۸۳۱–E۱۰، شیـر کنترل FCV–۸۳۱، بـه عنـوان گـرهای که میتواند انحراف "Less Flow of Cold Fluid Out" را در مبدل حرارتی ایجاد کند، انتخاب میشود.

۵ـ انحرافی از گره مسبب کـه میتواند باعث کم شدن جریان سرد در مبدل حرارتی شود انتخاب میشود.

۶ـ در اینجـا دلیل‌های انحـراف مشخص شـده گره انتخابـی به‌وسیله‌ی سیستم خبره گزارش میشود.

۷ـ انتخـاب یـک علـت گـزارششـده، بـرای تعییـن عواقـب مختـص آن

۸ ـ انتخاب گره متأثـر: مبدل حـرارتی بـه عنـوان گرهای که میتواند تحت تأثیر قرار گیرد، انتخاب میشود.

۹ـ تعیین انحراف گره متأثر: انحـراف " Less Flow of Cold Fluid Out"، کمشـدن جریـان سـرد خروجی از مبدل، را میتوان مورد ملاحظه قرار داد.

۱۰ـ حال میتـوان عواقب انحراف ایجادشده درمبدل حرارتی را مشاهـده کـرد. جـدول ۳ نتیجه‌های بـه‌دست آمـده از سیستم HAZOPEN را بـا مطالعـه سنتی مخاطـرات ایـن گـره مقایسـه میکند.

شکل‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به ترتیب دلیل‌ها و عواقب گزارش شده را نشان میدهند.

نتایج و بحث

مطالعه اتوماتیک مخاطرات و راهبری عملیات، از جمله مباحث مهمی است که توجـه متخصصین را به خود جلب کردهاست تا با استفاده از یک سیستم خبـره بتوانند در زمان و هزینه اجرای روش صرفهجویی کرده، مطالعه را دقیقتر و با جزییات کاملتری انجام دهند.

در راستای رسیدن بـه این هدف، سعی شدهاست، یک سیستم اتوماتیـک مطالعـه مخاطـرات و راهبـری عملیـات معـرفی شـود.

این سیسـتم با استفاده از روش سیستـمهای خبـره به نام HAZOPEN در محیـط نـرمافـزاری C^{++} Builder ۵ توسعـه یافتهاست.

ساختـار کلی سیستم خبـره HAZOPEN شـامل چهـار بخش دانش ویژه فرایندی، دانش عمومی فرایندی، ماشین استنباط و واسط کاربر میباشد.

دانش ویـژه فرایندی متشکل از اطلاعات مربـوط به مـواد شیمیایی حاضر در فرایند و گرههای فرایندی است و توسط کاربـر و از طریق واسط کاربر مشخص میشوند.

دانش عمومی فراینـدی شـامل اطلاعات عمومی لازم جـهت مطالعه مخاطرات و راهبری عملیات است و مستقل از فرایند مورد ملاحظه و تغییرناپذیـر در سیستم خبـره نگهـداری میشـود. ایـن اطلاعات از موردهای زیـر تشکیل میشـود:

۱ـ انحراف متغیرهای فرایندی واحدهای فرایندی.

۲ـ دلیل‌هـای ویـژه و عمومـی انحراف متغیرهـای فرایندی واحدهای فرایندی.

۳ـ عواقب ناخوشایند انحرافات متغیرهای فرایندی.

اطلاعـات عمومی فرایند برای ۱۲ واحد عملیاتی ذکرشـده در بخش تعیین گرههای موجود در فرایند، توسعه داده شد.

ماشیـن استنباط، الگوریتـم مطالعـه اتـوماتیک مخاطـرات و راهبری عملیات را تشکیل میدهد و از برقراری ارتباط بین دانش ویـژه و عمومی فراینـدی، نتیجه‌هـای مطالعه را استخـراج کرده، گزارش میدهـد. ایـن نتیجه‌ها شـامل علل و عـواقب نـامطلوب انحرافات متغیرهای فرایندی در گره مورد ملاحظه است.

کاربر از راه واسط کاربر، دانش ویژه فرایندی شامل اطلاعات مـواد شیمیایی و گرههـای فراینـدی را مطابق نمـودار لولهکشی و ابـزار دقیق فراینـد مشخص میکنـد. هم‌چنین میتوانـد اطلاعات عمومی از قبیل مشخصات کلی واحد، فهرست گروه متـخصص و گـزارش جلسـات را وارد کنـد.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳ ـ مقایسه نتیجه‌های به‌دست آمده از اجرای سیستم HAZOPEN و مطالعه سنتی HAZOP (دلیل‌های خاص).

Selected Node: G8-831(Heat Exchanger)			
Deviation: Less Flow of Cold Fluid_Out			
HAZOPEN		Conventional HAZOP	
Causes	Consequences	Causes	Consequences
Specific Cause: 1. Leakage in pipe due to Corrosive material.	Specific: 1.1 Contamination of the environment to process material	1. Blockage of strainer of pump E10 831A/B	1.1 Decreasing of cold fluid flow to G8-831
	1.2 Cavitations in pump E10-831A/B	2.Supply feed failure or failure of shut off valve,XV-832 and close	2.1 The Same as 1.1
2.Leakage from shell side to tube side of G8-831due to corrosive materials	2.1 Possibility of increasing of pressure in tube side leading to tube rupture.		
		3. FCV-831 or its controller fails & close more	3.1 The Same as 1.1

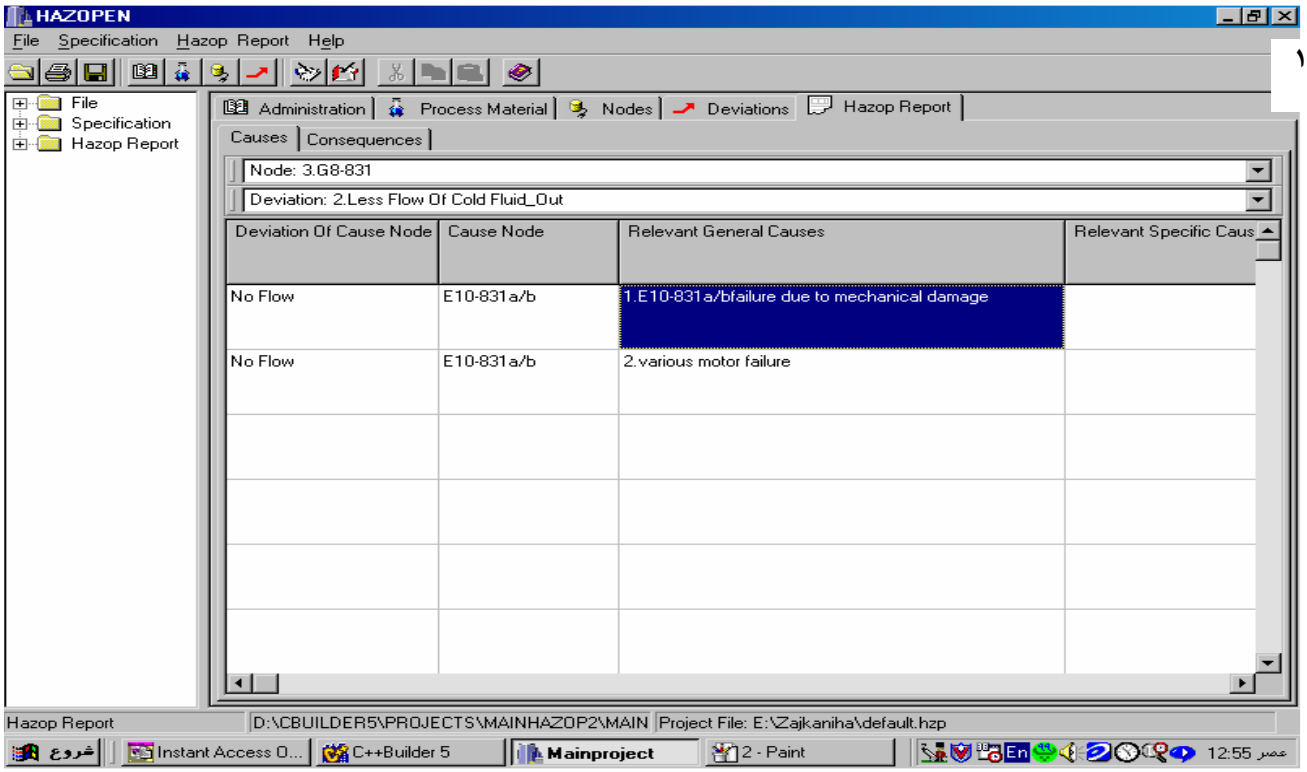
ادامه‌ی جدول ۳ ـ مقایسه نتیجه‌های به‌دست آمده از اجرای سیستم HAZOPEN و مطالعه سنتی HAZOP (دلیل‌های عام).

Selected Node: G8-831 (Heat Exchanger)	
Deviation: Less Flow of Cold Fluid_Out	
HAZOPEN	Conventional HAZOP

www.SID.ir

Archive of SID

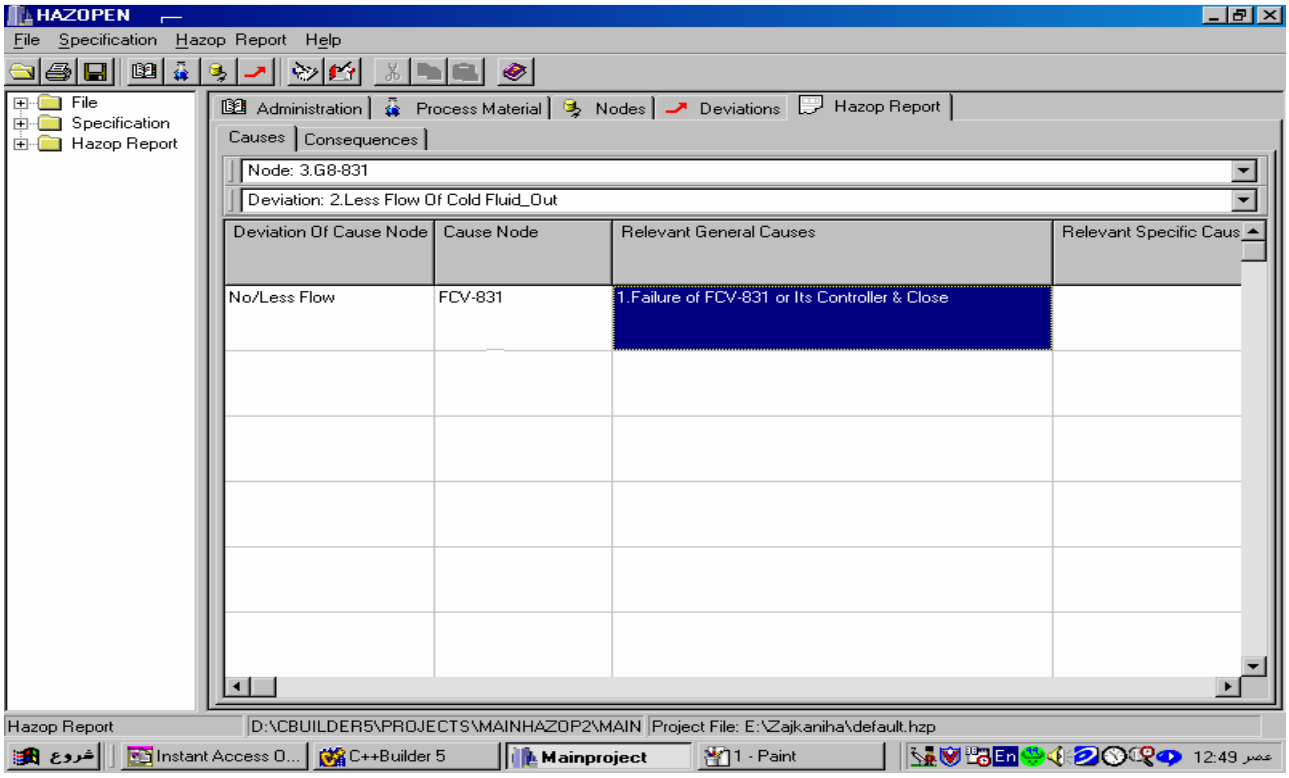
Causes	Consequences	Causes	Consequences
General Cause:			
1. Line Fracture due to Erosion	The Same as above		
2. Line Fracture Due to Crashing Vehicles, Cranes	The Same as above		
3. Line Fracture Due to Overstressing	The Same as above		
4. Line Fracture Due to Damage Occurring during installation (This Can Remain Hidden For a long Time)	The Same as above		
5. Line Fracture Due to Vibration Causing Fatigue	The Same as above		
6. Line Fracture Due to Fire	The Same as above		
7. Incorrect or Unanticipated Cross-Connection Causing Uncontrolled out-flow	The Same as above		
8. Run out of Row Material	The Same as above		
9. E10 831A/B Pump failure due to mechanical damage	Decreasing of cold fluid flow to G8-831		
10 Various motor failure of E10 831A/B Pump	The Same as above		
11 Leakage through the seal due to wear and corresponding inadequate maintenance			
1. Failure of FCV-831 or Its Controller & Close more	The Same as above		



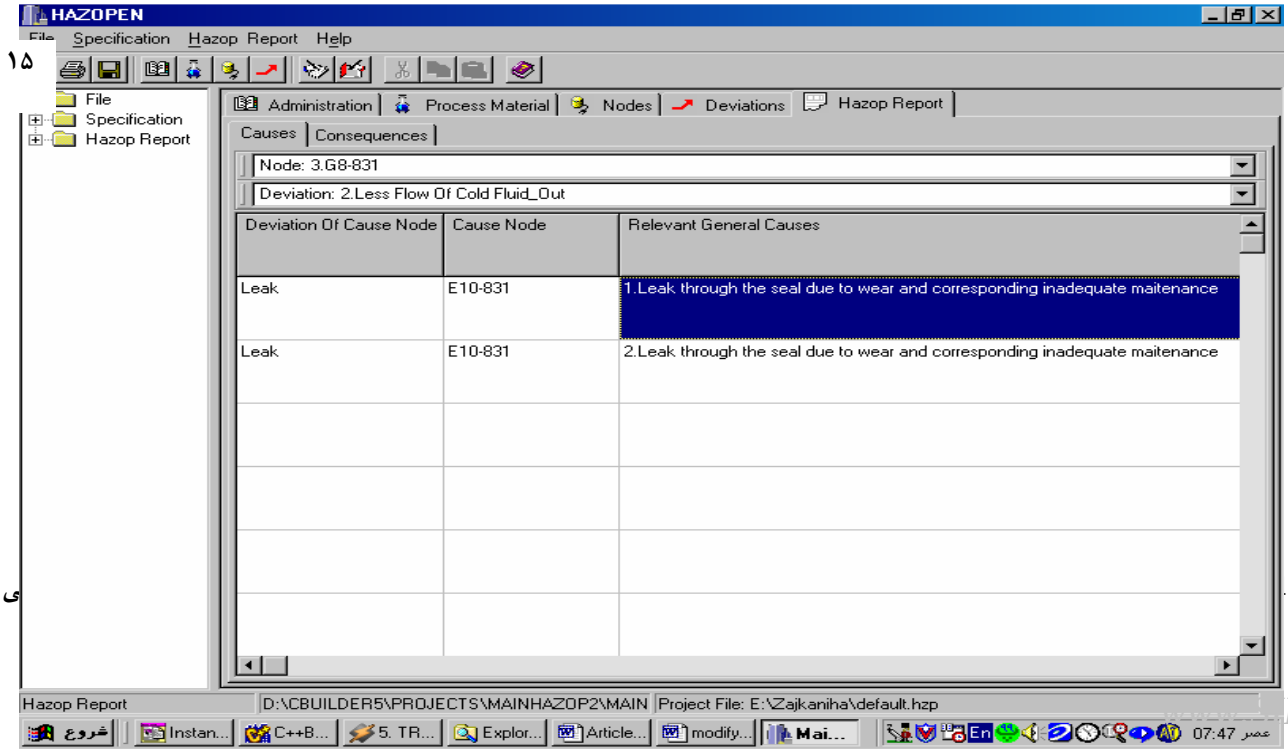
www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱۲ ـ دلیل‌های گزارش شده به‌وسیله سیستم خبره HAZOPEN برای گره مبدل حرارتی G8-831.

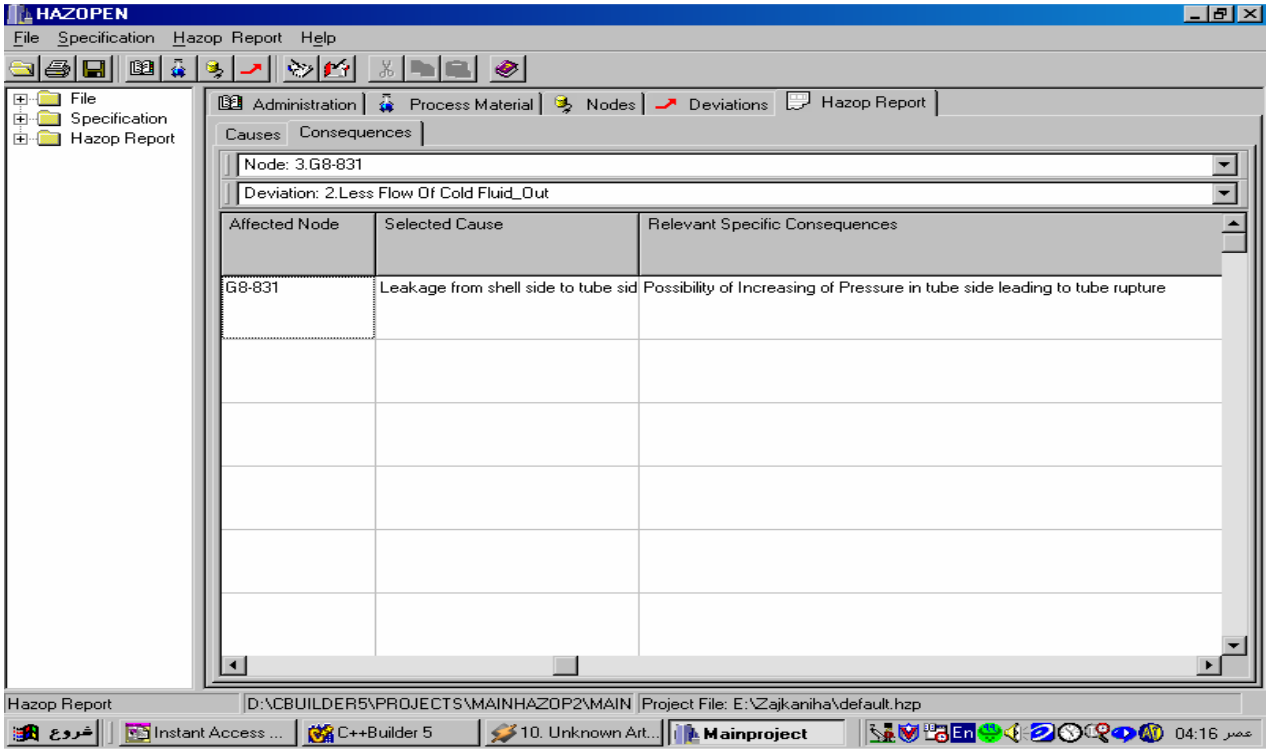


شکل ۱۳ ـ دلیل‌های گزارش شده به‌وسیله سیستم خبره HAZOPEN برای گره مبدل حرارتی G8-831.



Archive of SID

شکل ١٤ ـ دلیل‌های گزارش شده به‌وسیله سیستم خبره HAZOPEN برای گره مبدل حرارتی ۸۳۱-G8.



شکل ۱۵ ـ عواقب گزارش شده به‌وسیله سیستم خبره HAZOPEN برای گره مبدل حرارتی ۸۳۱-G8.

همچنین بخش راهنمای واسط کاربر، کاربر را برای استفاده از سیستم خبره HAZOPEN راهنمایی میکند.

١٦ برای سیستم خبره HAZOPEN برای بخش خوراک واحد دیمرسدن اولفین و همچنین مرکاپتانزدایی بوتان، نتیجه‌های قابل تاملی را ارایه میکند و با مطالعه سنتی این فرایند قابل مقایسه میباشد. این سیستم مطالعه را دقیق‌تر و با جزییات کاملتر انجام میدهد. همچنین زمان انجام مطالعه به میزان قابل ملاحظه‌ای کوتاهتر میشود.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به نتیجه‌های به‌دست آمده، میتوان موردهای زیر را برای بهبود سیستم خبره ارایهشده، پیشنهاد کرد:

۱ـ توسعه دانش عمومی فرایند : دانش عمومی فرایندی سیستم خبره HAZOPEN محدود به مدلهای مطالعه مخاطرات ۱۲ واحد فرایندی است. لذا، این سیستم فقط برای گرههای متشکل از این ۱۲ واحد فرایندی قابل اجراست. با افزایش مدلهای مطالعه مخاطرات واحدهای فرایندی میتوان سیستم خبره را برای فرایندهای پیچیدهتری به‌کار برد.

۲ـ ایجاد ارتباط بین گرههای فرایندی با استفاده از بانکهای اطلاعاتی و معادله‌های کیفی: به گونه‌ای که توزیع انحرافات متغیرهای فرایندی بین گرههای بالادست و پایین‌دست گره مورد نظر به منظور تعیین تمامی دلایل و عواقب انحرافات به طور اتوماتیک انجام شود.

۳ـ توسعه واسط کاربر گرافیکی: به‌طوری که کاربر بتواند با استفاده از امکانات گرافیکی نمودار لولهکشی و ابزار دقیق واحد فرایندی را رسم کند.

تاریخ دریافت: ۸۱/۱۰/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۲/۱۲/۲۵

مراجع

[1] Venkatasubramanian, V., Zhao J., and Viswanathan S., Intelligent systems for HAZOP analysis of complex process plants, *Computers and Chemical Engineering*, **24**, 2291 (2000).

[2] Khan, F. I. and Abbasi, S. A., TOPHAZOP: a knowledge-based software tool for conducting HAZOP in a rapid, efficient yet inexpensive manner, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*,**10**(5-6), 333 (1997).

[3] Khan, F. I. and Abbasi, S. A., Towards automation of HAZOP with a new tool EXPERTOP, *Environmental Modeling & Software*, **15**, 67 (2000).

[4] www. CNN.com.

[5] www. mapcruzin.com.

[6] www. panna.org.

[7] Center for Chemical Process Safety(CCPS), Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, *AIChE*, New York (1985).

[8] Venkatasubramanian, V. and Vaidhyanathan, R., A knowledge-based framework for automating HAZOP analysis, *AIChE Journal*, **40**(3), 496-505(1994).

[9] HAZOP EP 95-0313 HSE Manual, 8sp HSE Management Manual, Revision 5.1, 5 th sep. (2004).

[10] Vikas and Annuradhas S. Sahni , "Object Oriented Programming Systems", prentice Hall of India, New Delhi (1998).

[11] Quantrille, T. E. and Liu, Y. A., "Artificial Intelligence in Chemical Engineering", *Academic Press* (1991).

[12] Parmar, J. C. and Less, F. P., The propagation of faults in process plant: hazard identification for a water separator system, *Reliability Engineering*, **17**, 303(1987).

[13] Freeman, R. A., Lee, R. and McYamana, T. P., Plan HAZOP studies with an expert system, *Chemical Engineering Progress*, **88**(8), 28 (1992).

www.SID.ir

Archive of SID

[14] Khan, F. I. and Abbasi, S. A., optHAZOP. An effective and efficient technique for hazard identification and assessment, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **10**, 191 (1997).

[15] Holger, G. and Henner, S-T., An integrated approach to early process hazard identification of continuous and batch plants with state chart modeling and simulation, *Computers and Chemical Engineering*, **25** 61 (2001).

[16] Shimada, Y., Suzuki, K. and Sayama, H., Computer-aided operability study, *Computer and Chemical Engineering*, ,**20** (6-7), 905 (1996).

[17] Weatherill T., and Cameron I. T. A Prototype Expert System For Hazard and Operability Studies, *Computers and Chemical Engineering*, **13**(11-12), 1229 (1989).

[18] Kang, B. et al., AHA: A Knowledge Based System for Automatic Hazard Identification in Chemical Plant by Multimodel Approach, *Expert Systems with Applications*, **16**, 183 (1999).

[19] Center for Chemical Process Safety (CCPS), "Guide lines for Design Solutions for Process Equipment Failures" , *AIChE*, New York (1985).

[20] Taylor. J. R, "Risk Analysis for Process Plant, Pipelines, Transport Systems", Chapman & Hall Ltd., (1993).

[21] Library of PHA. Pro 5, (version 6) Software, 2002 Acu Tech. Consulting.

[22] Kletz, T. A., "HAZOP & HAZAN notes on the identification and assessment of hazards. Rugby", UK: The Institution of Chemical Engineers, (1986).

www.SID.ir