کاربرد روش مطالعه مخاطرات و راهبری در ارزیابی مخاطرات کوره-راکتور واحدهای بازیافت گوگرد

میرمحمد خلیلی‌پور[۱]، نعیمه ستاره‌شناس[۱]، فرهاد شهرکی[۲و*]، مهدی گوهررخی[۳]، علی‌اصغر محجوبی[۴]

[۱] دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

[۲] استاد گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان، ایران

[۳] استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، تهران، ایران

[۴] کارشناس اداره مهندسی و توسعه، پالایشگاه گازی شهید هاشمی نژاد، سرخس، ایران

دریافت: ۹۱/۱۰/۸ پذیرش: ۹۲/۳/۱۰

چکیده

امروزه، رشد آگاهی عمومی و نگرانی در مورد تهدید فعالیت‌های صنعتی بر روی سلامت انسان‌ها و محیط زیست، مدیریت‌های صنعتی را مجبور به افزایش سطح ایمنی خود نموده است. مطالعه مخاطرات و راهبری (هازوپ) به عنوان پرکاربردترین روش شناسایی مخاطرات فرآیندی شناخته شده است. بدون شک مهم‌ترین قسمت واحدهای بازیافت گوگرد به روش کلاوس، کوره-راکتور می‌باشد. در این قسمت ۵۴٪ از کل گوگرد تولیدی واحد به صورت بخارات گوگرد تشکیل می‌گردد. این مقاله به بررسی مخاطرات فرآیندی کوره-راکتور با بکارگیری از روش هازوپ پرداخته است. تمامی انحرافات توسط تیم هازوپ بررسی شده و پیشنهادات کارشناسی به منظور کاهش احتمال وقوع پیامدها که عموما مربوط به مباحث زیست محیطی است، ارائه شده است. بنا بر نتایج این مطالعه مشکل عمده واحد بازیافت گوگرد مربوط به انحراف‌های عملیاتی کاهش و افزایش دمای کوره-راکتور از مقدار طراحی می‌باشد که می‌تواند سبب آسیب به قسمت‌های پایین دستی و خسارات محیط‌زیستی گردد.

کلمات کلیدی: مطالعه مخاطرات و راهبری، ایمنی، شناسایی مخاطرات، کوره-راکتور، ریسک

مقدمه

شناسایی مخاطرات به منظور یک طراحی ایمن و بهره‌برداری سیستم‌ها در واحدهای فرآیندی امری ضروری می‌باشد. روش‌های متعددی برای شناسایی شرایط و مخاطرات سیستم وجود دارد که تمامی آن‌ها نیازمند اجرای سیستماتیک، دقیق و اصولی توسط یک تیم متخصص می‌باشد. این روش‌ها می‌توانند به صورت کیفی و یا کمی این مهم را به انجام رسانند. روش‌های کیفی مرسوم شامل آنالیز فهرست‌های جامع[۱]، آنالیز

* fshahraki@eng.usb.ac.ir

[1] Checklist Analysis

پرسش[1]، بازدیدهای ایمنی[2]، تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر[3]، آنالیز روش خطا[4] و مطالعه مخاطرات و راهبری[5] (هازوپ) می‌باشد. از روش‌های کمی نیز می‌توان به تجزیه وتحلیل درخت خطا[6] و تحلیل درخت رویداد[7] اشاره نمود [۱]. موفقیت در زمینه ایمنی در گام اول متکی بر شناسایی مخاطرات و سپس متکی بر آنالیز سناریوهای محتمل با درجات شدت متفاوتی است که پتانسیل تبدیل به یک حادثه را دارا می‌باشد. بدون انجام یک شناسایی ساختاریافته بر روی سیستم در سنجش ریسک، برخی مخاطرات موجود نادیده گرفته می‌شود و در نتیجه شاهد یک ارزیابی ریسک ناقص خواهیم بود. مطالعه مخاطرات و راهبری یک روش به شدت سیستماتیک و نظام‌مند است که به چگونگی انحراف یک فرآیند از شرایط طراحی خود می‌پردازد. ایده مطالعات هازوپ برای اولین بار در شناسایی مخاطرات در تجهیزات مرتبط با مواد شیمیایی مورد استفاده قرار گرفت که هدف از انجام مطالعات، حذف هر عامل و منبعی بود که منجر به یک حادثه مهم نظیر رهایش مواد سمی، انفجار و آتش سوزی می‌گشت. اما در خلال سال‌های اخیر، کاربرد روش هازوپ به سرعت به سایر تجهیزات فرآیندی توسعه پیدا کرده است. موفقیت روش هازوپ در صنایع مختلف به دلیل توانایی بالای این روش در شناسایی مخاطرات و همچنین قابلیت شناسایی مشکلات بهره برداری، بوده است. تا کنون روش هازوپ غیر از کاربرد در صنایع شیمیایی برای سیستم‌های تشخیص طبی، اندازه‌گیری‌های ایمنی جاده و آنالیز سیستم‌های فتو ولتائیک در میان صنایع دیگر، بکار گرفته شده است. این تنوع در استفاده از روش هازوپ نشان دهنده این مطلب است که این روش به عنوان یک تکنیک توانمند به منظور ارتقاع انواع سیستم‌ها در صنایع گوناگون مطرح گردیده است [۴-۲]. در این مقاله سعی شده است تا با بکارگیری از روش هازوپ، به شناسایی مخاطرات موجود و مشکلات فرآیندی کوره-راکتور واحدهای بازیافت گوگرد بپردازیم. از آنجایی که کوره-راکتور از مهمترین قسمت‌های فرآیندی در سیکل بازیافت گوگرد به روش کلاوس می‌باشد نتایج این مطالعه برای سایر واحدهای مشابه نیز قابل استفاده می‌باشد.

معرفی روش هازوپ

روش هازوپ عبارتست از جستجوی سیستماتیک فرآیند، اهداف طراحی و دستگاه‌ها برای کشف امکان خطا و یا عملکرد نامطلوب و نیز پیامدهای آن بر کل مجموعه. این روش برای پروژه‌های در فاز طراحی تا واحدهای موجود قدیمی، اصلاحات کوچک در واحد و یا اصلاحات روی روش‌های عملیاتی قابل اجرا است [۵]. در واقع هازوپ یک روش استقرایی است که با مسلم دانستن حوادث رأس (انحرافات) همانند روند روش‌های استقرایی سوالاتی چون "اگر انحرافات در سیستم رخ دهد چه اتفاقی می‌افتد؟" را مطرح می‌سازد [۶]. اهداف اصلی که روش هازوپ دنبال می کند شامل:

[1] What-If
[2] Safety Review
[3] Preliminary Hazard Analysis (PHA)
[4] Failure Mode Analysis (FMA)
[5] Hazard and Operability (HAZOP)
[6] Fault tree analysis (FTA)
[7] Event tree analysis (ETA)

- شناسایی و ارزیابی مخاطرات موجود در فرآیندهای طراحی و یا بهره‌برداری
- شناسایی مشکلات کیفی مهم در بهره‌برداری
- شناسایی مشکلات کاربردی مرتبط با عملیات تعمیرات و نگهداری

این روش به عنوان روش پایه برای شناسایی مخاطرات فرآیندی در طراحی و عملیات واحد صنعتی مورد قبول قرار گرفته است. سایر روش‌های شناسایی خطرات، مانند فهرست‌های جامع (چک لیست) به علت وابستگی به تجربیات گذشته و دقت کم، روش‌های جامع و کامل برای سیستم‌های فرآیندی نمی‌باشد. همچنین هازوپ یک روش خلاقانه و استدلالی بر پایه تجربه گسترده اعضای گروه می‌باشد که برای شناسایی خطرات بالقوه و مشکلات عملیاتی اجرا می‌شود. بعید است که مرور انفرادی و یا گروهی از یک تخصص مهندسی بتواند همه سطوح مشترک بین بخش‌های مهندسی را که به عنوان بحران و نقاط ضعف و ایمنی واحدهای پیچیده مطرح می‌شوند، تشخیص دهد [۱ و ۷].

گروه هازوپ عموما بین چهار تا هشت نفر و مشتمل بر یک رهبر، یک منشی و افراد متخصص با دانش‌های متفاوت می‌باشد. از جمله این تخصص‌ها می‌توان به مهندسی فرآیند، تعمیر و نگهداری، دستگاه‌های چرخاننده، ایمنی، ابزار دقیق و عملیات اشاره نمود. ساختار روش هازوپ به این گونه است که در ابتدا شرح کامل فرآیند (شامل اطلاعات سامانه‌های لوله کشی و ابزار دقیق[1]، نمودار جریان‌ها، موازنه‌های جرم و انرژی، کتابچه‌های راه‌اندازی واحد و...) در خلال جلسات در اختیار گروه قرار می‌گیرد. سپس واحد مورد مطالعه به قسمت‌های منطقی با نام گره[2] تقسیم می‌گردد. از دیدگاه انجمن مهندسی شیمی آمریکا هر دستگاه به همراه ابزار دقیق و تجهیزات اطراف آن حداقل یک گره می‌باشد. در گام بعدی در برگه‌های هازوپ تمامی انحرافات محتمل برای یک گره با استفاده از ترکیب پارامترهای عملیاتی (دما، فشار، جریان و ...) و لغت واژه‌ها تولید می‌گردند. در حقیقت این شیوه به منظور تعیین تمام مسبب‌های بوجود آورنده انحرافات و پیامدهایی که این انحرافات در سیستم تولید می‌کنند بکار گرفته می‌شود. لغت واژه‌ها شامل یک سری اصطلاحات و لغات ساده می‌باشند که در کنار پارامترهای فیزیکی قابل کاربرد، برای دستگاه مورد نظر مورد استفاده قرار خواهند گرفت. لیست کامل لغت واژه‌ها به همراه مفهوم هر کدام در جدول (۱) آورده شده است. در مواردی که تیم مشکلی خاص و یا ضعفی در طراحی و بهره‌برداری تشخیص دهد، این موارد در جلسات مطرح گردیده و پس از بحث و بررسی کارشناسی، پیشنهادات مقتضی مناسب و کاربردی ارائه می‌گردد [۸-۱۱].

از آنجایی که مطالعات هازوپ بسیار زمان‌بر می‌باشد و مستلزم صرف زمان زیادی به منظور بررسی تمامی انحرافات است، استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری در ثبت و ارائه نتایج حاصل از جلسات توصیه می‌گردد. نرم افزارهای متعددی چون CAHAZOP، PHA-pro، HAZOP-PC و HAZTEK در زمینه شناسایی مخاطرات فرآیندی با روش هازوپ ارائه گردیده است که در این میان نرم افزار PHA-pro ساخت شرکت

[1] Piping and Instrument Diagram (P&ID)
[2] Node

دیادم[1] مرسوم‌ترین و بهترین نرم‌افزار در این زمینه می‌باشد [۹]. در این مطالعه نیز برای سهولت و ارائه هر چه بهتر نتایج از آخرین نسخه نرم‌افزار، PHA-pro7 استفاده گردیده است. دلیل استفاده از این نرم‌افزار دستیابی آسان به محیط پرونده‌سازی کاربرگ‌ها و همچنین استفاده از اطلاعات فنی موجود در کتابخانه نرم‌افزار در کنار امکان ذخیره‌سازی سایر پروژه‌ها در کتابخانه آن است.

جدول ۱: لغت واژه ها [۹]

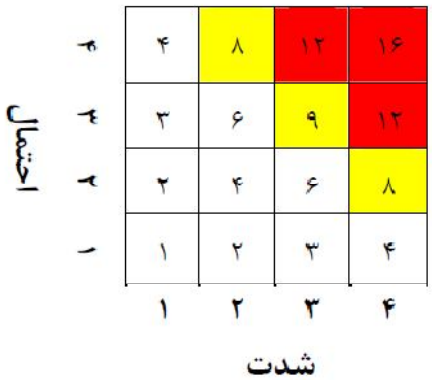
لغت واژه	معنی	توضیح
No/None	عدم دستیابی به تمایل طراحی	**به هیچ بخشی از تمایل طراحی نخواهیم رسید. ولی اتفاق دیگری نیز روی نخواهد داد.**
More(high) Less(low)	افزایش/کاهش کمی	**قابل کاربرد جهت کمیت‌هایی نظیر دبی و دما همچنین فعالیت هایی مانند حرارت و واکنش می‌باشد.**
As Well As	افزایش کیفی	**به تمام تمایل طراحی خواهیم رسید اما فعالیت دیگری نیز اضافه خواهد شد.**
Part of	کاهش کیفی	**تنها به بخشی از تمایل طراحی خواهیم رسید.**
Reverse	متضاد تمایل طراحی	**قابل کاربرد جهت فعالیت‌هایی نظیر جریان معکوس یا واکنش شیمیایی معکوس می‌باشد.**
Other Than	جایگزینی کامل	**به هیچ بخشی از تمایل طراحی نخواهیم رسید و اتفاق متفاوتی روی خواهد داد.**
Sooner/Later Than	افزایش/کاهش زمان	**فعالیتی که زود تر یا دیرتر روی دهد.**

نتایج روش هازوپ

نتایج هازوپ برای استفاده و دسترسی آسان در قالب جداول مخصوص این روش ثبت و ارائه می‌گردند. این جداول برای هر انحراف و تمامی گره‌ها تهیه گشته و هر کدام شامل ۵ قسمت (مسبب‌ها[2]، پیامدها[3]، ابزارهای امنیتی[4]، ماتریس‌های ریسک[5] و پیشنهادات[6]) می‌باشد. ستون اول جداول مربوط به مسبب‌های تولید کننده هر انحراف است. ستون بعدی شامل تمام پیامدهایی است که با توجه به مسبب‌ها امکان رخداد آن در سیستم وجود دارد. لازم به ذکر است که برای لیست کردن پیامدها فرض می‌شود که هیچ کدام از ابزارهای امنیتی در سیستم وجود ندارند تا تمامی احتمالات موجود در نظر گرفته شوند. در ستون سوم تمامی ابزارهای امنیتی موجود در سیستم که به منظور جلوگیری و یا کاهش احتمال وقوع پیامدها طراحی گردیده‌اند، لیست می‌گردد. این عمل سبب می‌شود تا تیم اجرایی برای پیامدهای موجود در سیستم میزان کمی و کیفی ایمنی را با توجه به ابزارهای ایمنی و کنترلی موجود ارزیابی نماید. یک روش مرسوم برای نشان دادن میزان ریسک هر پیامد استفاده از یک نمودار ساده به نام ماتریس ریسک می‌باشد. شکل (۱)

[1] DYADEM
[2] Cause
[3] Consequences
[4] Safeguards
[5] Risk Matrix
[6] Recommendation

نشان دهنده ماتریس ریسک استفاده شده در این مطالعات می‌باشد. فاکتورهای تعیین کننده میزان ریسک شامل نوع پیامد و میزان تکرار[1] آن می‌باشد [۷ و ۸].



شکل۱. ماتریس ریسک

قسمت هایی که با رنگ قرمز، زرد و سفید مشخص شده به ترتیب نشان دهنده میزان ریسک بالا، متوسط و پایین می‌باشد.

به همین منظور در جداول هازوپ ستونی برای نمایش میزان درجه ریسک تولیدی هر پیامد، در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه به منظور بررسی و شناسایی دقیق‌تر میزان ریسک، از ماتریس‌های ریسک مجزا که شامل: ماتریس ریسک پرسنل[2]، محیط زیست[3] و تجهیزات[4] می‌باشد، استفاده گردیده است. هر کدام از ماتریس‌های ذکر شده داری تعاریفی برای آرایه‌های خود هستند و بسته به شرایط مورد مطالعه قابل تغییر می‌باشند. تعاریف ماتریس‌های مورد استفاده در این مطالعه در جداول (۲) و (۳) آورده شده‌اند. همچنین در جداول هازوپ و در ستون ماتریس ریسک، از مخففهای S، L و RR برای نمایش آرایه‌های هر ماتریس استفاده گردیده که به ترتیب نشان دهنده شدت[5]، میزان تکرار پذیری[6] و درجه ریسک[7] می‌باشند. لازم به به ذکر است که در هنگام تعیین میزان تکرارپذیری هر پیامد برخلاف قسمت قبل تمامی ابزارهای امنیتی و کنترلی موجود در سیستم در نظر گرفته می‌شود. این روش سبب می‌گردد تا برداشت دقیقی از میزان ایمنی سیستم حاصل شود. در واقع درجه ریسک، نشان دهنده زمان مجاز برای اجرای پیشنهاداتی است که به منظور ارتقاع و یا اصلاح سیستم توسط گروه هازوپ ارائه شده است. جدول (۴) نشان دهنده میزان زمان مجاز برای هر درجه رسیک می‌باشد. در نهایت نیز همانطور که اشاره شد برای حالت‌هایی که ضعف طراحی و یا بهره‌برداری در سیستم تشخیص داده شود، پیشنهادات مربوطه در ستون انتهایی جداول که با نام پیشنهادات مشخص گردیده است، ثبت می‌گردند.

[1] Frequency
[2] Personnel Risk Matrix
[3] Ecological Risk Matrix
[4] Asset Risk Matrix
[5] Severity (S)
[6] Likelihood (L)
[7] Risk Ranking (RR)

جدول۲: تعاریف شدت پیامدها در ماتریس‌های ریسک

شدت ریسک	۱	۲	۳	۴
ماتریس ریسک پرسنل	خفیف، نیاز به کمک‌های اولیه	حادثه منجر به آسیب دیدگی، نیاز به حداکثر ۴۸ ساعت بستری شدن	حادثه منجر به قطع عضو یا نتاوانی جسمی	حادثه منجر به مرگ یک نفر یا بیشتر
ماتریس ریسک محیط زیست	آلودگی محدود به واحد مربوطه، به سرعت توسط عوامل طبیعی رفع می‌گردد.	آلودگی واحد مربوطه و واحدهای مجاور، آلودگی کوتاه مدت	آلودگی میان مدت و محدود به محوطه پالایشگاه	آلودگی شدید، دربرگیرنده یک محدوده وسیع
ماتریس ریسک تجهیزات	خسارت کمتر از ۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال	خسارت کمتر از ۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال	خسارت کمتر از ۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال	خسارت بیشتر از ۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال

جدول۳: تعاریف کیفی احتمال در ماتریس ریسک [۹]

تکرارپذیری	توضیح
۱	در طول عمر کارخانه اتفاق نمی‌افتد (تقریبا هر صد سال یکبار اتفاق می‌افتد).
۲	ممکن است در طول عمر کارخانه یک بار اتفاق افتد (تقریبا هر سی سال یکبار اتفاق می‌افتد).
۳	ممکن است در طول عمر کارخانه چندین بار اتفاق افتد.
۴	ممکن است بارها در سال اتفاق افتد.

جدول۴: تعاریف ارزش ریسک

درجه ریسک	نوع ریسک	توضیح
۱۶و۱۲	غیر قابل پذیرش	حداکثر ۶ ماه فرصت داریم تا میزان ریسک را به مرتبه قابل پذیرش کاهش دهیم.
۹و۸	غیر قابل پذیرش	حداکثر ۱۲ ماه فرصت داریم تا میزان ریسک را به مرتبه قابل پذیرش کاهش دهیم.
۶و۴	قابل پذیرش با کنترل	روش‌های کنترلی واحد مورد بحث باید تصحیح گردد.
۱و۲و۳	قابل پذیرش	نیازی به کاهش ریسک وجود ندارد.

بدون شک مهمترین قسمت روش هازوپ نتایج این روش می‌باشد که در قالب پیشنهادات اجرایی گروه ارائه می‌گردد. آقای کلتز[1] به عنوان یکی از صاحب‌نظران در زمینه ایمنی و روش هازوپ به شدت بر تقسیم و سطح بندی این نتایج تاکید می‌نمایند [۱۲]. به همین منظور در این مطالعات پیشنهادات ارائه شده به سه دسته پیشنهادات سخت افزاری، توصیه‌ای و مطالعاتی تقسیم بندی شده است. این دسته بندی به منظور تفکیک نتایج برای تصمیم‌گیری بهتر مدیریت‌ها در اجرای پیشنهادات می‌باشد.

معرفی کوره-راکتور در واحدهای بازیافت گوگرد به روش کلاوس

در بازیافت گوگرد به روش کلاوس، گاز اسیدی (محصول سمی که از تصفیه گاز طبیعی بدست می‌آید) تبدیل به گوگرد قابل مصرف و گاز نسبتا بی‌ضرر می‌شود که می‌توان آن را در فضای اطراف پراکنده نمود.

[1] Keletz

کوره-راکتور شامل دو قسمت کوره و راکتور (محل واکنش) است. در قسمت کوره یک‌سوم گاز اسیدی با هوا سوزانده می‌شود و دوسوم بقیه گاز اسیدی با حاصل واکنش قبلی در کوره، در قسمت دوم یعنی راکتور با هم ترکیب می‌شوند. گاز اسیدی و هوا بطور جداگانه‌ای وارد کوره-راکتور شده و در قسمت مشعل‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند. نسبت هوا و گاز اسیدی برای انجام واکنش بر اساس ترکیبات گاز ورودی مقدار مشخصی است به طوری که هرگونه تغییر در این نسبت سبب افت راندمان واحد در دراز مدت می‌گردد [۱۳]. زمان انجام واکنش طوری طراحی شده است که در محدوده اصلی محفظه احتراق واکنش به حالت تعادل نزدیک شده به طوری که ۵۴٪ از کل گوگرد تولیدی واحد در این قسمت بوجود می‌آید. این گوگردها به صورت بخار و بیشتر به شکل مولکول‌های S_2 می‌باشد. با اینکه مشعل‌ها طوری طراحی شده‌اند که ترکیب گاز و هوا به خوبی صورت گیرد، شرایطی در عملیات وجود دارند که محتملا باعث ایجاد دوده می‌شوند که یکی از این شرایط پایین بودن درجه حرارت محفظه احتراق و دیگری وجود هیدروکربورهای اضافی در گاز اسیدی می‌باشد. همانطور که در قسمت قبل ذکر گردید اولین گام در مطالعات هازوپ تقسیم واحد به گره‌های منطقی است. شکل (۲) P&ID کوره-راکتور مورد بحث را نشان می‌دهد. مطالعات گروهی انجام شده بر روی کوره-راکتور شامل بررسی ۱۰ انحراف عملیاتی بوده است که مهمترین قسمت‌های آن با درجه ریسک بالا در جداول (۵) تا (۸) آورده شده است.

مطالعات هازوپ کوره- راکتور در واحد بازیافت گوگرد

مطالعات انجام شده دست کم حاصل بررسی ۱۰ انحراف عملیاتی، ۲۵ مسبب و ۴۳ پیامد توسط گروه هازوپ می‌باشد. انحرافات بررسی شده به دو قسمت انحرافات در خلال بهره‌برداری و انحرافات مربوط به راه‌اندازی و از سرویس خارج شدن واحد تقسیم گردیده است. انحرافات بهره‌برداری به آن دسته از انحرافاتی گفته می‌شود که به دلیل انحراف یکی از پارامترهای عملیاتی سیستم از میزان مورد نظر طراحی حاصل می‌شود. به عنوان نمونه اولین انحراف در جدول شماره ۵ که با عنوان افزایش دما مطرح شده است نشان دهنده و معرف حالتی در سیستم است که در حین عملیات بهره‌برداری دمای کوره-راکتور از میزان مورد نظر طراحی بیشتر گردد. در سوی دیگر امکان وقوع انحراف در زمان راه‌اندازی و از سرویس خارج شدن واحد وجود دارد که به دلیل شرایط ویژه فرایندی در واحد رخ می‌دهد که به این انحرافات، انحرافات مربوط به راه‌اندازی و از سرویس خارج شدن واحد گفته می‌شود. به عنوان نمونه می‌توان به انحراف ذکر شده در جدول ۷ با عنوان انحراف در راه‌اندازی مشعل‌ها اشاره نمود. از آنجایی که مشعل‌ها در واحد تنها در مراحل پیش راه‌اندازی و راه‌اندازی وارد سرویس می‌شوند، انحرافات این چنین را در تقسیم‌بندی انحرافات مربوط به راه‌اندازی و از سرویس خارج شدن واحد قرار می‌دهند. برای بخش کوره راکتور واحدهای بازیافت گوگرد مهمترین پارامتر کنترلی دما و نسبت گاز اسیدی می‌باشد ولی از آنجایی‌که در مطالعات هازوپ می‌باست تمامی بخش‌های فرآیندی و ایمنی در سیستم بررسی گردد برای این بخش انحرافاتی چون افزایش و کاهش دما، افزایش و کاهش فشار، انحراف مشکل در راه‌اندازی مشعل‌ها در عملیات راه‌اندازی و مخاطرات راه‌اندازی و از سرویس خارج نمودن واحد و با توجه به توضیحات بخش‌های قبل توسط تیم هازوپ در نظر گرفته شد

و بررسی گردید. پس از انتخاب انحرافات با فرض عدم وجود سیستم‌های محافظتی در سیستم پیامدهای ممکن برای هر انحراف لیست گردید در گام بعدی این بار با در نظرگرفتن سیستم‌های حفاظتی، با توجه به ماتریس ریسک که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد، میزان ریسک محاسبه گردید. همچنین در قسمت‌های با میزان ریسک بالا پیشنهادات مقتضی ارائه گردیده است. هرکدام از جداول به ترتیب در ادامه به بحث گذاشته شده است.

اولین انحراف بررسی شده در این مطالعه مربوط به افزایش دما از میزان طراحی شده در کوره-راکتور می‌باشد که در جدول ۵ آورده شده است. مطابق با ردیف (۱) جدول (۵)، افزایش دما به سبب برهم خوردن نسبت گاز اسیدی به هوا یکی از مشکل‌سازترین انحرافات عملیاتی در حالت بهره‌برداری محسوب می‌گردد. این انحراف در واقع به دلیل افزایش در میزان هوای احتراق در بالادست جریان (دمنده‌های هوایی واحد) می‌باشد. مهمترین دلایل این انحراف می‌تواند شامل افزایش میزان بخار ورودی به بخش توربین‌های دمنده‌های هوایی و مشکل در شیرهای کنترلی جریان هوای ورودی به بخش کوره راکتور می‌باشد. تأثیر مستقیم تغییر در نسبت گاز اسیدی به هوا، بر روی دمای کوره راکتور باشد. با تغییر در دمای راکتور واکنش‌ها از شرایط خود خارج شده و امکان واکنش‌هایی با تولید محصولات نامطلوب بوجود می‌آید. مهمترین پیامد این اثر کاهش راندمان واحد در درازمدت می‌باشد که می‌تواند سبب آسیب‌های شدید زیست محیطی گردد. در واقع می‌توان گفت عدم تبدیل کامل گاز اسیدی به گوگرد عنصری می‌تواند سبب افزایش آلاینده‌های زیست محیطی از حد مجاز گردد.

با توجه به این نکته که بیشترین مشکلات ایمنی در واحدهای بازیافت گوگرد مربوط به مباحث زیست محیطی است و یکی از مهمترین عوامل بروز این مشکل بر هم خوردن نسبت گاز اسیدی به هوا می‌باشد، پیشنهاد می‌گردد تا بررسی دقیقی برای به سرویس درآوردن ریشیو آنالایزر[1] به منظور ثابت نگه داشتن این نسبت انجام گردد. در واقع مسئولیت ریشیو آنالایزر ثابت نگه داشتن نسبت گاز اسیدی به هوا می‌باشد. این ابزار کنترلی با فرستادن سیگنال بر روی شیرهای کنترلی جریان‌های گاز اسیدی و هوا، این نسبت را ثابت نگه می‌دارد. به عنوان مثال افزایش در میزان هوای احتراق می‌تواند با افزایش میزان گاز اسیدی همراه گردد تا همچنان نسبت این دو جریان ثابت نگه داشته شود که این مهم به کمک این ابزار قابل اجرا است. همچنین مطابق با ردیف (۳) جداول (۵) و (۶)، ورود هوای احتراق با دمای پایین‌تر و یا بالاتر از دمای طراحی به دلیل کاهش و یا افزایش دمای محیط اطراف (با توجه به شرایط فصول تابستان و زمستان در واحد) سبب تغییر در دمای راکتور و متعاقبا کاهش راندمان راکتور می‌گردد. این کاهش در طول یک دوره زمانی سبب خسارات جدی به بخش‌های پایین دستی همچون بسترهای کاتالیستی واحد به دلیل زودتر غیر فعال شدن آن‌ها و آسیب‌های شدید زیست محیطی به دلیل کاهش راندمان می‌گردد. به همین دلیل تیم هازوپ در این قسمت با توجه به بالا بودن درجه ریسک پیامدهای موجود (عدد ۱۲) پیشنهاداتی ارئه نموده است که شامل موارد زیر می‌باشد:

[1] Ratio Analyzer

- یک پیش گرم کننده[1] در بالا دست کوره واکنش به منظور پیش گرم نمودن جریان هوای احتراق و ثابت نگه داشتن این دما نصب و اضافه گردد. در حقیقت با اضافه نمودن یک مبدل در قبل از راکتور می‌توان مشکل تغییرات دمایی در فصول مختلف سال را حل نمود.
- پیشنهاد می‌گردد که TT 204 در حلقه کنترلی هوای احتراق به طوری تنظیم گردد که بتواند عملکرد آن را اصلاح نماید. TT 204 به‌گونه‌ای طراحی شده است که با تغییر در میزان هوای احتراق، میزان این جریان را توسط شیر کنترل مربوطه اصلاح نماید. این ابزار برای انجام این مهم می‌تواند از یک ابزار جانبی با عنوان جذرگیر که در سیستم کنترلی واحد نیز موجود است بهره گیرد. لذا برای اجرای این قابلیت نیاز به تنظیم این ابزار کنترلی می‌باشد.

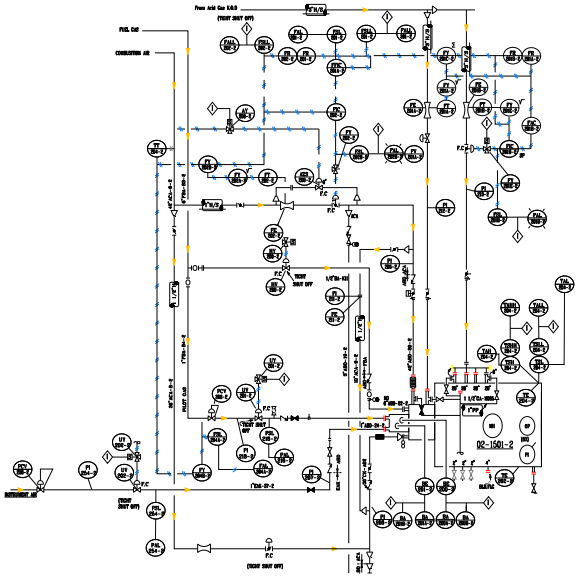
انحراف بررسی شده بعدی اثرات و پیامدهای ناشی از کاهش دما در بخش کوره راکتور واحد می‌باشد. مطابق با جدول (۶) مسبب‌های بروز این مشکل شامل کاهش در میزان هوای احتراق، افزایش دمای گاز اسیدی، ورود هوای احتراق با دمای بالاتر از دمای طراحی و مشکلات ابزارهای کنترلی (باز یا بسته شدن شیرهای کنترلی بیشتر/کمتر از میزان مقرر) می‌باشد. مهمترین پیامد این بخش مطابق با ردیف اول پیامدهای جدول (۶)، از سرویس خارج شدن واحد بازیافت گوگرد می‌باشد. از سرویس خارج شدن واحد بدین معنی است که حجم زیادی از گاز اسیدی بدون بازیابی به سمت زباله سوزهای واحد ارسال شده و اثرات مخرب زیست محیطی را در کنار از دست رفتن محصول پرارزش گوگرد خواهد داشت. کاهش راندمان و از سرویس خارج شدن واحد می‌تواند منجر به نشر بیشتر SO_2 به محیط زیست گردد. پتانسیل خطرات رهایش SO_2 در محیط زیست مربوط به نحوه واکنش‌پذیری این گاز با سایر مواد در محیط زیست می‌باشد. یکی از این خطرات تشکیل باران‌های اسیدی است که می‌تواند سبب آسیب به گیاهان، حیوانات، ساختمان‌ها و بناها گردد. همچنین SO_2 می‌تواند منجر به بروز مشکلات تنفسی، قلبی و عروقی به ویژه برای افرادی که دارای عارضه‌های تنفسی، قلبی و آسم هستند، گردد [۱۴ و ۱۵]. شواهدی مبنی بر افزایش نشانه‌های بروز مشکلات و حساسیت‌های تنفسی (همچون سرفه‌های مزمن، مشکلات مخاطی و آسم) در بین کودکان و نوجوانان به علت وجود SO_2 در محیط اطراف زندگی این گروه سنی، در دست می‌باشد [۱۶].

مخاطرات موجود در هنگام راه‌اندازی و از سرویس خارج کردن واحد در جداول (۷) و (۸) مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق با جدول (۷) راه‌اندازی مشعل‌ها در ابتدای به سرویس در آمدن واحد می‌تواند پتانسیل بروز انفجار را به همراه داشته باشد. مسبب‌های بروز انفجار در این بخش شامل خطای انسانی، وجود رطوبت در اطراف مشتعل‌کننده[2] و اتصال کوتاه در خطوط برق ابزار دقیق می‌باشد. در حین راه‌اندازی مشعل‌ها اپراتور مربوطه به دلیل عدم مانیتورینگ میزان وجود سوخت در بخش کوره می‌تواند بدون به سرویس در آمدن این مشعل‌ها شیر مربوط به سوخت را باز نگه دارد که به محض رسیدن به حد انفجار و رسیدن توده گازی به منبع جرقه انفجار حاصل می‌گردد. برای جلوگیری از بروز این مشکل پیشنهاداتی توسط تیم اجرایی تدوین گردیده است. اولین پیشنهاد نصب سیستم پرجینگ برای کوره-راکتور به منظور خروج

[1] Pre-heater
[2] Igniter

جریان‌های گازی از سیستم در هنگامی که به هر دلیلی عملیات روشن نمودن مشعل در زمان راه اندازی با مشکل مواجه گردد (مکش طبیعی از سمت زباله سوز در انتهای واحد کافی نمی‌باشد) می‌باشد. پیشنهاد دوم اصلاح دستورالعمل به سرویس در آوردن مشعل کوره راکتور می‌باشد. بدین ترتیب که اصلاحیه‌ای اضافه گردد که اگر در حین عملیات راه‌اندازی به هر علتی بعد از باز شدن شیر سوخت مشعل روشن نگردید، پس از رفع مشکل و اطلاع از بسته بودن شیر سوخت به مدت نیم ساعت عملیات راه‌اندازی به تعویق افتد و سپس اقدام به جرقه زدن به منظور روشن شدن مشعل گردد. لازم به ذکر است در صورت نصب سیستم پرجینگ می‌تواند این زمان کاهش یابد. علاوه بر موارد فوق تعویض و نصب مشتعل‌کننده مناسب برای کوره-راکتور که توانایی کار در شرایط با رطوبت بالا را داشته باشد پیشنهاد گردید تا از انفجار در زمان به سرویس در آوردن مشعل‌ها به سبب عمل نکردن مشتعل کننده‌ها جلوگیری گردد.

در جدول (۸) به بررسی پیامد انفجار در عملیات راه‌اندازی واحد به دلیل پاسی شیرهای سوخت پرداخته شده است. از آنجایی‌که امکان پاسی شیرها در فرآیندهای راه‌اندازی واحد وجود دارد ۲ پیشنهاد به منظور ارتقاء سیستم ایمنی واحد ارائه گردید. اولین قدم برای رفع این مشکل نصب آنالایزر سوخت در کوره-راکتور پیشنهاد گردید تا با مانیتورینگ دقیق و لحظه‌ای سوخت ورودی در هنگام راه اندازی واحد از حوادث احتمالی چون آتش سوزی و انفجار جلوگیری به عمل آید. پیشنهاد دوم نصب سیستم " Double Block and Blseed" برای خطوط سوخت کوره-راکتور بنا به ارجاع به استاندارد NFPA[1] برای کوره‌های با سوخت گازی می‌باشد. با توجه به این استاندارد چنانچه به هر علتی واحد از سرویس خارج گردد به جهت رعایت موازین ایمنی، تمامی سوخت موجود در خطوط ارتباطی بین شیر اصلی سوخت ورودی به واحد تا مشعل کوره به محیط ونت می‌گردد[۱۷].



شکل ۲. کوره-راکتور

[1] National Fire Protection Association

جدول ۵: بررسی انحراف افزایش دما در کوره-راکتور

Deviation: 1. High Temperature

Type: Reactor; Furnace Heater; Line; Control Valve; Instrumentation & Control

Design Conditions/Parameters: 48.66 MM Kcal/hr , 15 Psig @ 2600°F

Causes	Consequences	Safeguards	Personnel			Ecological			Asset			Recommendations
			S	L	RR	S	L	RR	S	L	RR	
1. High Flow Combustion Air from upstream due to any reason that lead to Air/Acid Gas Ratio is increased.(this cause can be happen, if remote control is not be in serviced)	1. Decrease in efficiency of Reactor.	1. TAH 202	1	4	4	3	4	12	2	4	8	Consider to service the ratio analyzer.
	2. In the worst case Unit shut down.	2. TSH 204	1	1	1	3	1	3	2	1	2	
	3. Emission of acid gas from sulfur seal pot due to increasing pressure.	3. TSHH 204	2	1	2	2	1	2	1	1	1	
	4. Damaged to refractory and ferules.	4. FT 202	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	5. Pressure increased.	5. Snuffing steam (remotely activated)										
		6. local pressure indicator.										
		7. Tail gas ratio analyzer.(not in service)										
2. Low Flow of Acid gas from Knock out Drum that lead to Air/Acid Gas Ratio is increased.(this cause can be happen, if remote control is not be in serviced)	1. Same as 1.1 & 1.2.	1. BA 200										
	2. In the worst case put out the Pilot Burner Flame, and also explosion is possible.	2. BA 201	4	1	4	3	1	3	3	1	3	Provide the proper adjust for remote control.
	3. Severe effect on the catalyst in the next nodes, so see the relevant causes and consequences.	3. TAH 202										
		4. TSH 204										
		5. TSHH 204										
		6. FSL 201										
		7. FSLL 201										
		8. Snuffing steam (remotely activated)										
		9. Tail gas ratio analyzer.(now is not serviced)										
		10. Remote control (not in service)										
3. Entrance of combustion air with lower temperature due to decrease ambient temperature.	Rising reactor temperature, that leads to decrease in efficiency of Reactor.	1. TT 204 (Not work properly).	1	4	4	3	4	12	2	4	8	Consider to setup the FY which corrects the performance of TT 204.
		2. TE 202										Consider to install preheated at the entrance of combustion air.
		3. TE 204										Consider to service the ratio analyzer.

جدول ۶: بررسی انحراف کاهش دما در کوره-راکتور

Deviation: 2. Low Temperature

Type: Reactor; Furnace Heater; Line; Control Valve; Instrumentation & Control

Design Conditions/Parameters: 48.66 MM Kcal/hr , 15 Psig @ 2600°F

Causes	Consequences	Safeguards	Personnel			Ecological			Asset			Recommendations
			S	L	RR	S	L	RR	S	L	RR	
1. Low flow of Combustion air or high flow of acid gas that lead to Air/Acid Gas Ratio is not Sufficient.	1. Unit Shut Down.	1. TSL 204	1	1	1	3	1	3	2	1	2	Consider to service the ratio analyzer.
	2. In the worst case put out the Pilot Burner Flame, and also explosion is possible.	2. BA 200&201	4	1	4	4	1	4	4	1	4	Provide the proper adjust for remote control.
	3. Decrease in efficiency and conversion of Reactor-furnace that lead to decreasing of production.	3. TSLL 204	1	4	4	2	4	8	2	4	8	
	4. Thermal shock that lead to damage of the ferules and refectories of furnace.	4. TIC 201										
		5. FT 202										
		6. FSLL 202										
		7. FSLL 201										
		8. FT 201A,B										
		9. PT 220										
		10. PT 210										
		11. Tail gas ratio analyzer.(now is not serviced)										
		12. Remote control (not in service)										
2. Rising acid gas temperature lead to acid gas be leaned.(but tail gas ratio is not serviced)	1. Unit Shutdown.	1. TE 200	1	3	3	3	3	9	2	3	6	Install the TAH on the feed acid gas of reactor.
	2. Decrease in efficiency and conversion of Reactor-furnace that lead to decreasing of production.		1	3	3	3	3	9	2	3	6	
	3. Severe effect on the next nodes, see the relevant nodes and consequences.											
3. Entrance of combustion air with higher temperature due to increase ambient temperature.	Reducing reactor temperature, this leads to decrease in efficiency of Reactor.	1. TT 204 (Not work properly).	1	4	4	3	4	12	2	4	8	Consider to setup the FY which corrects the performance of TT 204.
		2. TE 202										Consider to service the ratio analyzer.
		3. TE 204										Consider to install pre-heater at the entrance of combustion air.
4. Failure of FV 223 or any elements in its control Loop that adjust its set point to close more.	1. Decrease the sulfur quality.	1. Hand wheel on FV.	1	2	2	1	2	2	2	2	4	Study more for considering optimizes the value of acid gas bypass.
	2. In the worst case entrance of oil and BTEX to the converter on the next nodes.	2. TE 202	1	2	2	2	2	4	2	2	4	
		3. TSL 204										
		4. TSLL 204										

Deviation: 9. No Ignition (in Pre Com. & Com).

Type: Reactor; Furnace Heater; Line; Control Valve; Instrumentation & Control

Design Conditions/Parameters: 48.66 MM Kcal/hr , 15 Psig @ 2600°F

Causes	Consequences	Safeguards	Personnel			Ecological			Asset			Recommendations
			S	L	RR	S	L	RR	S	L	RR	
1. Human Fault.	Explosion Is Possibility.		2	2	4	2	2	4	3	2	6	Purging System Should be Installed. Commissioning Procedure must be performed. Change the type of igniter (the igniter must be worked in the humid condition...).
2. Humidity around igniter.	Same as above.		2	4	8	2	4	8	3	4	12	Same as above.
3. Loose connection.	Same as above.		2	4	8	2	4	8	3	4	12	Same as above.

جدول ۸: بررسی مخاطرات راه‌اندازی و از سرویس خارج نمودن واحد

Deviation: 10. Start-up/Shutdown Hazards

Type: Reactor; Furnace Heater; Line; Control Valve; Instrumentation & Control

Design Conditions/Parameters: 48.66 MM Kcal/hr , 15 Psig @ 2600°F

Causes	Consequences	Safeguards	Personnel			Ecological			Asset			Recommendations
			S	L	RR	S	L	RR	S	L	RR	
Entrance of fuel to furnace due to instrumentation and maintenance (valve passing) or human error.	Explosion Is Possibility.	Block valve.	4	4	16	4	4	16	4	4	16	Add double Block and Bleed system. Add analyzer to detect the fuel and...

بحث و نتیجه گیری

مهمترین خصوصیت روش هازوپ فراگیر بودن آن می‌باشد. فراگیری روش هازوپ به این علت است که تیم هازوپ تمامی انحرافات موجود را برای هر قسمت و بطور جداگانه بررسی می‌نماید. عمده ترین ضعف روش هازوپ در این است که تنها قسمت‌هایی بررسی می‌شود که در نمودارهای فرآیندی و سامانه‌های اطلاعاتی موجود است. از دیگر مشکلات روش هازوپ می‌توان به زمان بر بودن آن اشاره نمود. در چند دهه گذشته تلاش‌های بسیار زیادی در جهت توسعه روش‌های آنالیز کامپیوتری برای کاهش زمان لازم و راحت‌تر نمودن تحلیل‌ها انجام گرفته است. مبنای تمامی این روش‌ها بر پایه ترکیب مدل‌های ریاضی با روش استاندارد هازوپ پایه‌ریزی شده است. استفاده از مدل‌سازی ریاضی در روش هازوپ[1] توانایی بهبود ضعف‌های موجود در این روش همچون زمان‌بر بودن و وجود انحرافات غیر قابل پیش‌بینی که مطالعات هازوپ قادر به بررسی

[1] HAZOP

آن‌ها نبوده را دارا می‌باشد [۱۸ و ۱۹]. مهمترین مشکل واحدهای بازیافت گوگرد مباحث زیست محیطی است. به طوریکه کوچکترین انحرافی در سیستم سبب آسیب‌های زیست محیطی همچون نشر دی اکسید-گوگرد[1] می‌گردد. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، راندمان واحد بازیافت گوگرد به شدت وابسته به عملکرد بخش‌های کوره-راکتور می‌باشد. نسبت گاز اسیدی به هوا و بطور کلی دمای کوره-راکتور می‌بایست در مقدار طراحی ثابت نگه داشته شود تا از انحرافات و پیامدهای ذکر شده جلوگیری گردد. با توجه به موارد بررسی شده پیشنهاد می‌گردد تا برای افزایش کارایی و سطح ایمنی واحد به سرویس در آوردن ریشیو آنالایزر (به منظور ثابت نگه داشتن نسبت گاز اسیدی به هوا)، اضافه نمودن سیستم پرجینگ، تعویض نوع مشتعل کننده‌ها و نصب مانیتورینگ میزان سوخت در دستورالعمل اجرایی واحد قرار گیرد. از آنجا که پیشنهادات هازوپ بر آمده از نیاز واحد، تجربه تیم و مقایسه با واحدهای جدیدتر می‌باشد، اعمال این موارد به طور قطع منجر به بهبود سیستم از نظر ایمنی، بهره برداری، کیفیت محصول و همچنین کاهش هزینه‌ها و افزایش راندمان خواهد گردید. لازم به ذکر است که با اجرای پروژه هازوپ تنها نخستین گام از مراحل ارزیابی ریسک برداشته شده است، لذا توصیه می‌گردد روش تحلیل پیامدها و بررسی شدت مخاطرات[2] نیز در واحد اجرا گردد.

تشکر و قدردانی

این پروژه تحت حمایت مالی شرکت پالایش گاز شهید هاشمی نژاد (خانگیران، سرخس) انجام گرفته است. نویسندگان این مقاله مراتب تشکر خود را از این شرکت و همچنین آقایان مهندس حسن دبیر، مهندس جلیل لعلی، مهندس علی حیدری و مهندس احمد وفایی برای کمک‌های بی‌دریغشان در جهت هرچه بهتر شدن مطالعات اعلام می‌دارند.

منابع

1. Dennis P. and Nolan P.E., “Application of HAZOP and What-If safety reviews to the petroleum”, petrochemical & chemical industries, New Jersey, U.S.A, 1994.
2. Chudleigh M.F., “Hazard analysis of a computer based medical diagnostic system”, Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol.44, No.1, 1994, pp. 45–54.
3. Jagtman H.M., Hale A.R. and Heijer T., “A support tool for identifying evaluation issues of road safety measures”, Reliability Engineering and System Safety, Vol.90, No.2–3, 2005, pp. 206–216.
4. Jordi Dunjo, Vasilis Fthenakis, Juan A. Vilchez and Josep Arnaldos, “Hazard and operability (HAZOP) analysis”, A literature review, Journal of Hazardous Materials, Vol.173, 2010, pp. 19-32.
5. David Macdonald, “Practical Hazops Trips and Alarms”, IDC Technologies, Elsevier, 2004.
6. Hoepffner L., “Analysis of the HAZOP study and comparison with similar safety analysis systems”, Gas Separation & Purification, Vol.3, 1989, pp. 148–151.

[1] SO_2
[2] Consequence Modeling

7. Keletz T.A., Hazop and Hazan, 4th ed., Taylor and Francis, 1999.
۸. مهدی گوگل، شناسایی مخاطرات و آنالیز کیفی ریسک در صنایع فرآیندی توسط نرم‌افزار PHA-pro، انتشارات دانشگران صنعت پژوه، ۱۳۸۴.
۹. مهدی گوهررخی، ارزیابی کیفی و کمی ریسک در واحدهای فرآیندی، روش‌های بررسی حوادث و شبیه سازی شبکه فلر با نرم‌افزار Aspen flare net، انتشارات دانشگران صنعت پژوه، ۱۳۸۸.
10. Mushtaq F. and Chung P.W.H., "A systematic Hazop procedure for batch processes, and its application to pipeless plants", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol.13, 2000, pp. 41-48.
11. Nigel Hyatt, Guidelines for Process Hazards Analysis, Hazards Identification & Risk Analysis, Dyadem Press, Canada, 2003.
12. Kletz, T.A., Layered Accident Investigations, Hydrocarbon Processing, November 1979, pp. 373-382.
13. Arthur Kohl and Richard Nielsen, Gas purification, 5th ed, Gulf Publishing Company, 1997.
14. Carlsten C. Kaufman J.D., "Occupational and Environmental Lung Disease", Clinical Respiratory Medicine, 3th ed., Elsevier Inc., 2008, pp. 843-851.
15. Wilson A.M. Salloway J.C. Wake C.P. Kelly T., "Air pollution and the demand for hospital services: a review", Environment International, Vol. 30, NO 8, 2004, pp. 1109-1118.
16. Fernando A. Wichmann MD. Muller A. Busi L.E. Cianni N. Massolo L. et al., "Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution", Journal of Allergy and Clinical Immunology, Vol. 123, NO. 3, 2009, pp. 632-638.
17. Technical Committee on Uniform Fire Code, National Fire Protection Association (NFPA), Figure A.4.7.5.1.1(d) Typical fuel gas burner/lance system master flow control valve for multiple burners ,2006.
18. Labovsky J. vandova ZS. Markos J. Jelemensky L., "Model-based HAZOPstudy of a real MTBE plant", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 20, NO. 3, 2007, pp. 230-237.
19. Eizenberg S. Shacham M. Brauner N., "Combining HAZOP with dynamic simulation-Applications for safety education", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2006, Vol. 19, NO. 6, pp. 754-761.