مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی
دوره ۱۰ شماره ۱ بهار ۱۳۹۱ ، صفحات: ۳۲-۲۵

ارزیابی اثر بخشی روش های تشخیص برای شناسایی خطرهای موجود در صنعت

جواد عدل: استادیار، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران- نویسنده رابط:
adljavad@sina.tums.ac.ir
مهناز محسنی: کارشناس‌ارشد، مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست، شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده های نفتی ایران، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۷

چکیده

زمینه و هدف: بنا به تعریف ایمنی اولین اقدام در برقراری سامانه ایمنی شناسایی خطر می‌باشد که اگر به درستی انجام نشود، مراحل بعدی استقرار سامانه به درستی اجرا نخواهد شد. از آنجایی که روش‌های شناسایی، اغلب خطرهای یک یا دو عنصر اصلی سامانه ایمنی را هدف قرار می‌دهند لذا با اجرای یک روش نمی‌توان همه خطرها را شناسایی نمود.

روش‌کار: مطالعه مقطعی حاضر که بصورت کاوش و تفحص در منابع علمی انتشار یافته انجام شده، در پی روش‌های شناسایی خطر قابل اجرایی بود که می‌توانند درصد بالایی از کل خطرهای سامانه را شناسایی کنند. در ابتدا پنج روش اجرا و تعداد خطرهای شناسایی شده در هر روش مشخص و سپس ضریب اثر بخشی شناسایی خطر برای آنها محاسبه شد. با همین رویکرد دو روش در دو سامانه مختلف فرآیندی آزمون گردید.

نتایج: تعداد خطرهای شناسایی شده با روش HAZOP و در نتیجه ضریب اثر بخشی شناسایی خطر این روش بیش از روش‌های دیگر بود. وقتی دو روش HAZOP و AEA بصورت تنها و به عنوان روش مقدماتی به کار برده شدند تنها ۲۰ الی ۸۰ درصد کل خطرهایی را که در صورت اجرای همه‌ی روش‌های مختلف شناسایی خطر مورد شناسایی قرار می‌گرفتند، شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که روش HAZOP نسبت به سایر روش‌ها می‌تواند خطرهای بیشتری را شناسایی کند. اما اگر به تنهایی بکار رود احتمالاً تنها ٤۰ درصد خطرها شناسایی می‌شوند. نکته‌ی مهم آن که انتخاب روش مناسب در شناسایی هرچه بیشتر خطرها نقش مهمی دارد.

واژگان کلیدی: ایمنی در صنعت، ایمنی سامانه، روش های شناسایی خطر، مقایسه‌ی کارایی روش‌ها، ضریب اثربخشی شناسایی خطر

مقدمه

باتوجه به تعریف ایمنی که بصورت میزان یا درجه فرار از خطر بیان می‌شود روشن است که اولین اقدام در برقراری سامانه ایمنی در صنایع و ارتقای سطح ایمنی موجود در یک محیط کار، شناسایی خطر می‌باشد (Adl 1992 a). اما اگر این شناسایی به خوبی انجام نشود، اجرای مراحل بعدی که شامل ارزیابی خطر و طراحی تدابیر کنترلی برای خطر می‌باشند، بصورت کامل ممکن نخواهد بود. از آنجا که خطر به مجموعه‌ای از شرایط اطلاق می‌گردد که دارای توانایی بالقوه برای صدمه‌رسان به جان انسان‌ها و خسارت وارد کنی به تجهیزات، ساختمان‌ها، مواد و محیط می‌باشند، شناسایی همه شرایطی که وجود یک خطر خاص را مسجل می‌سازند عملاً بسیار مشکل و در مواردی غیر ممکن است. به همین دلیل روش‌ها و روش‌های مختلفی چون Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Hazard Analysis and Operability Study (HAZOP),Action Error Analysis (AEA), Management Oversight and Risk Tree Analysis (MORT) ارایه شده تا با اجرای چند روش مختلف در یک محیط کار تا حد امکان کلیه خطرهای موجود شناسایی شوند. از آنجایی که عناصر

اصلی سامانه ایمنی چهار عنصر انسان، تجهیزات و ماشین آلات، مواد و محیط زیست محل کار People Equipment Material Environment (PEME) می‌باشد (Adl 1992b)، روش‌های مختلف شناسایی خطر همواره یک یا چند عنصر سامانه ایمنی (نه همه‌ی آنها) را هدف قرارداده و خطرهای تهدید کننده آنها را مورد شناسایی قرار داده‌اند. به عنوان مثال روش FMEA در ابتدا برای شناسایی خطرهای مربوط به تجهیزات و ماشین آلات مطرح شده ولی رفته رفته تکامل یافته و شناسایی خطرهای عنصر انسان را نیز شامل گشته است (McDermott et al. 2009). به همین ترتیب روش HAZOP هم در ابتدا برای شناسایی خطرهای فرایندهای شیمیایی به وجود آمد ولی با گذشت زمان در شناسایی خطرهای عنصر انسان نیز کاربرد پیدا کرده است. امروزه در مبحث Human Reliability هر دو روش مذکور بطور وسیعی کاربرد پیدا کرده اند.

در بسیاری از تحقیقات انجام شده درخصوص ایمنی سامانه به موضوع شناسایی خطر پرداخته شده است. پژوهشگران و نویسندگان مقالات روش‌های مستقل متعددی را برای شناسایی خطر ارایه کرده‌اند. مانوئل فهرستی از ۱۰ روش پایه که هرکدام در راس چند روش معمولی دیگر قراردارند را معرفی نموده است (Manuele 2008). در واقع وجود روش‌های متعدد برای شناسایی خطر خود نشانی از عدم امکان شناسایی کلیه خطرهای موجود در محیط کار می‌باشد. در بین منابع علمی منتشر شده در زمینه ایمنی تا به امروز هیچ منبعی وجود ندارد که به شناسایی کلیه خطرهای موجود در یک محیط کار اشاره کرده باشد (Ericson 2005). از ۱۱ کتابی که در دهه ۱۹۹۰ در زمینه ایمنی در آمریکا چاپ شده است تنها یک مورد بطور دقیق به این موضوع پرداخته است (Leveson 1995). در دایره المعارف سه جلدی Lee به نام Loss prevention in the Process Industry هیچ اشاره‌ای به امکان شناسایی کلیه خطرهای موجود در محیط کار نشده است (Mannan 2005). در واقع هیچ یک از مهندسین ایمنی سامانه تا بحال نتوانسته‌اند بگویند که کلیه خطرهای موجود در سامانه را شناسایی نموده‌اند. پرتجربه ترین آنها ادعا می‌نمایند که بخشی از خطرات موجود در سامانه را شناسایی نموده‌اند. با وجود چنین ادعاهایی آن هم از سوی متخصصان ایمنی سوالی بدین مضمون مطرح می‌شود که این بخش مورد ادعا چه میزان یا چند درصد از کلیه خطرهای موجود در محیط کار را شامل می‌گردد. به عبارت دیگر در پشت پرده ی اجرای برنامه شناسایی خطر در یک محیط کار، موضوعی که ذهن متخصصان را به خود مشغول می‌دارد این است که چه بخشی از خطرهای موجود هنوز شناسایی نشده و باقی مانده است.

شاید بتوان با احتیاط گفت که اگر امروزه حتی در کشورهای پیشرفته صنعتی حوادث زیادی رخ می‌دهند و بعضی از آنها چنان بزرگ هستند که در رسانه‌های بین المللی مطرح می‌گردند، دلیل اصلی همان بی خبری و عدم شناخت از بعضی خطرها است که با روش‌های موجود شناسایی خطر کشف نشده اند. برای تعیین اینکه چه بخشی از خطرهای موجود با استفاده از یک روش شناسایی خطر مورد شناسایی قرار گرفته، طبیعی است که باید تعداد کل خطرهای موجود معلوم باشد. شکل یک (Suokas and Kakko 1989) که به نام پارادایم شناسایی خطر نامیده شده به خوبی این موضوع را که تعداد کل خطرهای موجود ورای خطرهایی است که توسط هریک از روش‌های شناسایی خطر قابل شناسایی هستند، نشان می‌دهد.

شکل یک به خوبی نشان می‌دهد که روش‌های مختلف شناسایی خطر با وجود آنکه در شناسایی بعضی از خطرها به صورت مشترک و تداخلی عمل می کنند، مجموعاً کل خطرهای موجود در سامانه را مورد شناسایی قرار نمی‌دهند. در مطالعه حاضر هدف بررسی اثربخشی و کارایی روش های شناسایی خطر و چگونگی حصول اطمینان از اینکه بخش عمده ای از خطرها مورد شناسایی قرار گرفته اند، می باشد.

روش کار

مطالعه مقطعی حاضر که بصورت کاوش و تفحص در منابع علمی انتشار یافته انجام شده است ، در

پی روش های شناسایی خطر قابل اجرا یی می باشد که میتوانند درصد بالایی از کل خطر های سامانه را شناسایی کنند. بهترین و کاربردی ترین مطالعه ای که در این زمینه انجام شده و شرح آن در منابع انتشار یافته،کاری است که در مرکز تحقیقات فنی فنلاند در نیمه دوم دهه نود میلادی انجام شده است (Suokas 1985). در ابتدا سه روش مختلف شناسایی خطر به نامهای HAZOP, FMEA وMORT و دو روشی دیگر برای شناسایی خطرهای دو مرحله ی تست نمودن (Shake Down) و راه اندازی و آغاز به کار بهره برداری (Commissioning and Early Operation) از سامانه فرایندی به مورد اجرا گذاشته شده و تعداد خطرهای شناسایی شده در هر روش مشخص گردید. در مرحله ی بعد کلیه ی خطرات شناسایی شده را با هم جمع و فرض شد که این مجموع همان تعداد کل خطرهای موجود در محیط کار است. با این فرض هر یک از روشهای شناسایی خطر بکار گرفته شده به ترتیب یکی پس از دیگری مبنا قرار داده شده و نسبت خطرهای شناسایی شده توسط آن روش به کل تعداد خطرهای فرضی بصورت در صد بیان گردید. این درصد بنام ضریب یا درصد اثر بخشی شناسایی خطر Hazard Identification Effectiveness (HIE) توسط آن روش نامیده شد. در مرحله ی آخر همین رویکرد با استفاده از دو روش HAZOP و AEA در دو سامانه فرضی اجرا گردید تا اثر بخشی این دو روش در دو سامانه فرآیندی مختلف معلوم گردد.

نتایج

نتایج شناسایی خطر با سه روش HAZOP، FMEA وMORT همراه دو روش شناسایی خطر در دو مرحله ی تست و راه اندازی در نمودار ۱ نشان داده شده است. در این نمودار روش HAZOP مبنا قرار داده شد و ضریب یا درصد شناسایی خطر (HIE) از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$HIE = \frac{H_h}{H_s} \times 100$$

در این فرمول H_h تعداد خطرهای شناسایی شده توسط روش HAZOP و H_s مجموع خطرهای شناسایی شده توسط همه ی روشهای مورد استفاده می‌باشند.

روشهای دیگر هم به ترتیب مبنا قرار داده شده و تعداد خطرهای شناسایی شده توسط آنها به ترتیب برابر با H_f، H_m، H_{sh}، و H_c در نظر گرفته شده و ضریب اثربخشی شناسایی خطر توسط آن روشها برابر همان HIE فوق با این تفاوت گردید که در صورت کسر بجای H_h به ترتیب H_f , H_m , H_{sh} و H_c قرار داده شد.

نتایج حاصل از کاربرد رویکرد عملی مورد بحث در دو سامانه فرآیندی ۱ و ۲ هنگامی که تنها از دو روش HAZOP و AEA استفاده شد در جدول ۱ ارایه شده است (Suokas and pyy 1988; Suokan and Veikko 1989). این کار توسط افراد متخصص و ماهر در اجرای روشهای شناسایی خطر در یازده کارخانه ی مشابه اجرا شد. جدول ۱ نمونه ای از یافته های این کار تحقیقی است که نتایج حاصل از اجرای دو روش مذکور را در دو کارخانه ی مشابه به نامهای سامانه ۱ و ۲ نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود وقتی این دو روش بصورت تنها و به عنوان روش مقدماتی بکار برده شدند تنها ۲۰ الی ۸۰ در صد کل خطرهایی را که در صورت اجرای همه ی روشهای مختلف شناسایی خطر مورد شناسایی قرار می گرفتند، شناسایی کردند. نمودار ۲ مقایسه یه ی اثربخشی شناسایی خطر مربوط به دو روش HAZOP و AEA را بصورت روشن نشان می دهد.

بحث

همانطور که در نمودار ۱ دیده میشود مجموع خطرهای شناسایی شده با ۵ روش HAZOP, FMEA, Shake Down MORT و Commissioning and Early Operation برابر بود با $H_s = H_h + H_m + H_f + H_{sh} + H_c$

با توجه به آنچه که در شکل شماره ۱ دیده می شود H_s از تعداد کل خطرهای سامانه کمتر است چرا که امکان تعیین تعداد کل خطرهای موجود در سامانه به هیچ وجه میسر نیست. بنابراین مقدار HIE محاسبه شده برای هر روش شناسایی خطر کمی بیشتر از مقدار واقعی آن است و دلیل

آن استفاده از H_s در مخرج کسر فرمول مربوطه می باشد که کمی از تعداد کل خطرهای موجود در سامانه کمتر است.

واضح است که اثربخشی شناسایی خطر (HIE) محاسبه شده با آنکه واقعی نیست ولی عددی است که می‌تواند برای مقایسه‌ی روشهای مختلف شناسایی خطر مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر و با توجه به نمودار ۱ می‌توان گفت که روش HAZOP نسبت به چهار روش دیگر می تواند خطرهای بیشتری از سامانه فرآیندی را شناسایی کند و به همین ترتیب روش‌های MORT و Commissioning and Early Operation در مقایسه با سایر روشها تعداد کمتری از خطرهای موجود در سامانه فرآیندی را مورد شناسایی قرار می دهند.

چهار ردیف اول در جدول ۱ فرصت استثنایی برای مقایسه ی دو روش HAZOP و AEA که در دو سامانه ۱ و ۲ اجرا شده اند، را فراهم می سازد. مقایسه ی نتایج این دو روش بصورت خیلی جالب در نمودار ۲ دیده می‌شود. درسامانه ۱ وقتی HAZOP به عنوان روش مقدماتی بکار برده شده تنها ۲۲ درصد از کل خطرهایی که به کمک روش‌های مختلف و متعدد شناخته شده بودند، شناسایی شد. در مقابل روش AEA توانسته ٦۰ درصد خطرها را شناسایی نماید. لذا می‌توان نتیجه گرفت که روش AEA مناسب‌تر از روش HAZOP می‌باشد. نتایج حاصل از اجرای دو روش مزبور در سامانه ۲ حالت عکس نشان می‌دهند. یعنی روش HAZOP با شناسایی ۸۰ درصد خطرها در مقابل روش AEA که فقط ۲۰ درصد خطرها را مورد شناسایی قرار داده، روش مناسب-تری می‌باشد. این نتایج با اینکه بحث مربوط به بالابودن اثربخشی شناسایی خطر روش HAZOP (در بالا بدان اشاره شد) را نقض می کند ولی از این نظر که نشان می-دهد بعضی از روشها انگاری برای سامانه‌های خاصی ساخته شده و مناسب‌تر هستند و در سامانه‌های دیگر چندان اثربخشی بالایی ندارند، دارای اهمیت فوق العاده‌ای است. به عنوان یک نمونـه‌ی خاص معلوم گردیده که اجـرای روش HAZOP در یک سامانـه بیولوژیکی نمی‌تـواند همـان تعـداد خطرهـایی که مثلاً توسط روش Fault tree شناسـایی می‌شـوند را شنـاسـایی نمایـد (Cantrel and Clemens 2009). مهارت و تخصص بالای اجرا کنندگان هم نتوانست این سطح پایین اثربخشی روش HAZOP را جبران نماید.

بطور کلی مطالعه‌ی حاضر که به محاسـبه‌ی HIE منتهی گردیده می تواند از این نظـر مورد ایراد قرارگیرد که تنها بخـش محدودی از داده ها را مورد توجه قرار می‌دهد. اما نباید از نظر دور داشت که چنین داده هایی بندرت در منابع انتشار یافته از تحقیقات انجام گرفته در زمینه ی ایمنی سامانه دیده می شوند. ضمناً داده‌های ارایه شده در جدول ۱ داده هایی است که از مطالعات انجام شده در یازده کارخانه ی مختلف بدست آمده که بدون شک تعداد نمونه ی کمی نیست و نتایج حاصل از آنها خود بخود می تواند از مقبولیت بالایی برخوردار باشد. قابل توجه تر اینکه تنها دو روش HAZOP و AEA است که به عنوان روشهای مقدماتی مورد استفاده قرار گرفته اند. این دو روش همانطور که توسط Mannan توصیف شده‌اند کاملاً از یکدیگر متفاوت هستند (Mannan 2005). روش HAZOP اصولاً توسط تیمی از تحلیلگران که همگی دارای اطلاعات تخصصی بالایی در مورد سامانه مورد مطالعه هستند، اجرا می شود. اعضای تیم انحراف های احتمالی از عملکردهای نرمال و عادی را در هر یک از گره‌های چندگانه ی انتخاب شده در عملیات بهره‌برداری از سامانه، شناسایی و مشخص می‌سازند. انحراف های عملکردی مهمی که می‌توانند منجر به صدمه و ضرر و زیان شوند به عنوان خطرهای شناسایی شده می‌باشند. در این شناسایی و مشخص ساختن انحراف ها هم اپراتورها و هم تجهیزات به عنوان اجزای سامانه مورد مطالعه تحت بررسی قرار می گیرند (Mannan 2005; Cantrel and Clemens 2009).

اما روش AEA روشی است که برروی خطرهای ناشی از خطاهای انسانی تمرکز دارد. متخصصین

اجراکننده ی این روش عملکردهای طبق طرح سامانه را نظاره کرده و تجزیه و تحلیل آنها را از یک فاز عملیاتی به فاز های عملیاتی بعدی سوق می دهند. اجرا کننده ها پیامدهای حاصل از عیوب و نقص های اپراتور سامانه را در هر مرحله ی اجرایی در فاز عملیاتی مورد توجه قرار می دهند. در انجام چنین کاری آنها همچنین تهدیدهای دیگری را که ناشی از نقص تجهیزاتی بوده و می‌توانند همراه خطاهای اپراتور باشند، مورد توجه قرار می‌دهند (Mannan 2005).

سخن آخر اینکه هر روشی ممکن است به عنوان نماینده ی با ارزشی در مقابل سایر روش ها تلقی گردد چرا که چهارچوب منطقی همه ی آنها اساساً شناسایی خطر می‌باشد. بحث های ایچنینی و توضیحات ارایه شده در کل می تواند این ادعا را منطقی نشان دهد که روشها و نتایج گزارش شده در این مطالعه هم سو و هم جهت با نتیجه گیری نهایی ارایه شده می باشند.

نتیجه‌گیری

نتیجه گیری نهایی در چهار بخش زیر خلاصه شده است:

۱- با وجود پیشرفت های فراوان در بخش شناسایی خطر هنوز روشی معرفی نشده است که بتواند همه ی خطرهای سامانه را مورد شناسایی قرار دهد.

۲- این امکان وجود دارد که با اجرای دقیق و درست HAZOP در کنار روش AEA آنهم توسط گروهی که دارای آشنایی و تخصص بسیار بالایی از سامانه فرآیندی مورد مطالعه هستند، بتوان ۸۰ درصد کل خطرهای سامانه را مورد شناسایی قرار داد.

۳- زمانی که همین روش HAZOP به عنوان تنها روش اجرا شده در مورد سامانه باشد این احتمال وجود دارد که حداکثر ٤٠ درصد خطرهای سامانه مورد شناسایی قرار گیرد. بنابراین باید بطور همزمان روشهای دیگری را هم اجرا نمود.

٤- انتخاب روشی مناسب برای سامانه در شناسایی هرچه بیشتر خطرها نقش بسیار مهمی دارد. بنابراین استفاده از HAZOP در سامانه های فرآیند شیمیایی و FMEA در سامانه های تجهیزاتی و AEA در سامانه های متاثر از خطاهای انسانی و امثالهم نکته‌ی بسیار مهمی است که باید همواره مد نظر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

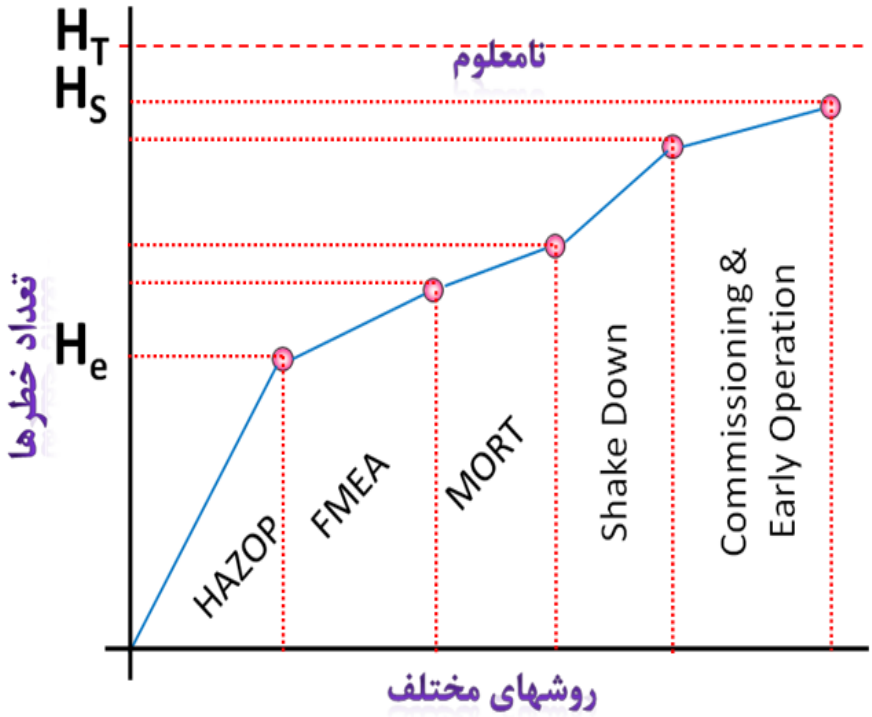
بدینوسیله از همکاری کلیهٔ متخصصین روشهای شناسائی خطر در کارخانجات مورد مطالعه تشکر میگردد.

جدول ۱- نتایج ارزیابی دو روش HAZOP و AEA در دو سامانه فرآیندی مختلف

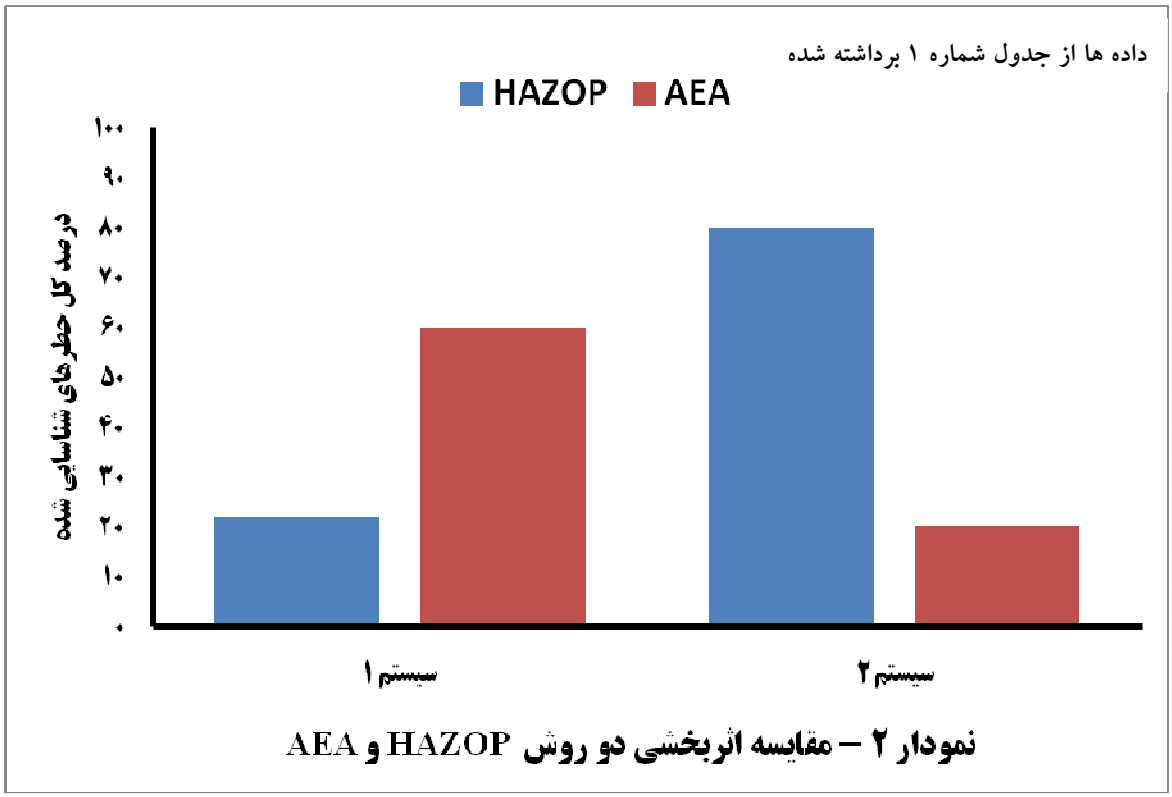
روش مقدماتی (مبنا)	HIE	روش های بعدی اجرا شده	نوع سامانه
HAZOP	۲۲درصد	Commissioning and Early Operation	سامانه ۱ (صنعت یا کارخانه فرآیند شیمیایی)
HAZOP	۸۰ درصد	Commissioning and Early Operation	سامانه ۲ (صنعت یا کارخانه فرآیند شیمیایی)
AEA	۶۰ درصد	Commissioning and Early Operation	سامانه ۱ (صنعت یا کارخانه فرآیند شیمیایی)
AEA	۲۰ درصد	Commissioning and Early Operation	سامانه ۲ (صنعت یا کارخانه فرآیند شیمیایی)
HAZOP	۷۷ درصد	AEA, Work Safety Analysis (JSA/JHA), Mishap Investigation or Mishap Database	نشت گاز، دو سامانه بارگیری و تخلیه
HAZOP	۳۶ درصد	AEA, FMEA, MORT	فرآیند شیمیایی (۷ کارخانه)

- Hazard Identification Effectiveness - HIE

شکل ۱- محدوده کل خطرهای موجود و خطرهای شناسایی شده توسط روش های مختلف (چارچوب فکری شناسایی خطر (Suokas 1989))



نمودار ۱- تعداد خطرهای شناخته شده در پنج روش مختلف



نمودار ۲- مقایسه ی اثر بخشی دو روش HAZOP و AEA

References

Adl, J., 1992 a. Safety Performance and its close relationship with Occupational Health. Journal of Industry and Safety, 21, pp. 30-35[In Persian].

Adl, J., 1992 b. Safety Standards. Journal of Standard and Iranian Products, 15, pp. 36-39 [In Persian].

Cantrel, S., Clemens, P., 2009. Finding All the Hazards. *Journal of Professional Safety*, Nov. pp. 32-35.

Ericson, C., 2005. Hazard Analysis Techniques for System Safety, John Wiley and Sons, New York. Leveson, N., 1995. Safeware: System Safety and Computers. Addison -Wesley Reading, MA.

Leveson, N., 1995. Safeware system safety and computers. Addison- Wesley Reading, MA.

Mannan, S., ed., 2005. Lees' Loss Prevention in the Process Industries. Elsevier Butterworth- Heinemann, Burlington, MA.

Manuele, F., 2008. Advanced Safety Management Focusing on Z10 and Serious Injury Prevention, John Wiley and Sons, New York.

McDermott, R.E., Mikulak, R.J. and Beauregard, M.R., 2009. The Basics of FMEA, 2nd E., CRC Press, Taylor and Francis Group, New York.

Suokas, J., 1985. On the Reliability and Validity of Safety Analysis. Technical Report Publications 25, Espoo, Finland: Technical Research Center of Finland.

Suokas, J. and Kakko, R., 1989. On the Problems and Future of Safety and Risk Analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 21, pp. 105-124.

Suokas, J. and Pyy, P., 1988. Evaluation of the Validity of Four Hazard Identification Methods with Event Descriptions. Research Reports 516, Espoo, Finland: Technical Research Center of Finland.

Suokas, J. and Veikko, R., 1989. Quality Control in Safety and Risk Analysis. *Journal of Loss Prevention in Process Industry*, 2, pp. 67-77.