

## 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:

adl javad@sina.tums.ac.ir

مهناز محسنی: کارشناس ارشد، مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست، شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده های نفتی ایران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۲۴

### چکیده

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

روش کار: مطالعه مقطعی حاضر که بصورت کاوش و تفحص در منابع علمی انتشار یافته انجام شده، در پی روش های شناسایی خطر قابل اجرایی بود که می توانند 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 روش های 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 همه ی روش های مختلف شناسایی خطر مورد شناسایی قرار می گرفتند، شناسایی شدند.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که روش HAZOP نسبت به سایر روش ها می تواند خطرهای بیشتری را شناسایی کند. اما اگر به تنهایی بکار رود احتمالاً تنها ۴۰ درصد خطرهای شناسایی می شوند. نکته ی 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، مقایسه ی کارایی روش ها، ضریب اثر بخشی شناسایی خطر

### مقدمه

صدمه رسان به جان انسان ها و خسارت وارد کنی به تجهیزات، ساختمان ها، مواد و محیط می باشند، شناسایی همه شرایطی که وجود یک خطر خاص را مسجل می سازند عملاً بسیار مشکل و در مواردی غیر ممکن است. به همین دلیل روش ها و روش های 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

باتوجه به تعریف ایمنی که بصورت میزان یا درجه فرار از خطر بیان می شود روشن است که اولین اقدام در برقراری سامانه ایمنی در صنایع و ارتقای سطح ایمنی موجود در یک محیط کار، شناسایی خطر می باشد (Adl 1992 a). اما اگر این شناسایی به خوبی انجام نشود، اجرای مراحل بعدی که شامل ارزیابی خطر و طراحی تدابیر کنترلی برای خطر می باشند، بصورت کامل ممکن نخواهد بود. از آنجا که خطر به مجموعه ای از شرایط اطلاق می گردد که دارای توانایی بالقوه برای

خطره‌های موجود در سامانه را شناسایی نموده‌اند. پرتجربه‌ترین 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 خطره‌های موجود در محیط کار را شامل می‌گردد. به عبارت دیگر در پشت پرده‌ی اجرای برنامه شناسایی خطر در یک محیط کار، موضوعی که ذهن متخصصان را به خود مشغول می‌دارد این است که چه بخشی از خطره‌های 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 بین‌المللی مطرح می‌گردند، دلیل اصلی همان بی‌خبری و عدم شناخت از بعضی خطرها است که با روش‌های موجود شناسایی خطر کشف نشده‌اند. برای تعیین اینکه چه بخشی از خطره‌های موجود با استفاده از یک روش شناسایی خطر مورد شناسایی قرار گرفته، طبیعی است که باید تعداد کل خطره‌های 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 خطره‌های موجود ورای خطره‌هایی 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 می‌کنند، مجموعاً کل خطره‌های موجود در سامانه را مورد شناسایی قرار نمی‌دهند. در مطالعه حاضر هدف بررسی اثربخشی و کارایی روش‌های شناسایی خطر و چگونگی حصول اطمینان از اینکه بخش عمده‌ای از خطرها مورد شناسایی قرار گرفته‌اند، می‌باشد.

## روش کار

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

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 خطره‌های تهدیدکننده آنها را مورد شناسایی قرار داده‌اند. به عنوان مثال روش FMEA در ابتدا برای شناسایی خطره‌های مربوط به تجهیزات و ماشین آلات مطرح شده ولی رفته رفته تکامل یافته و شناسایی خطره‌های عنصر انسان را نیز شامل گشته است (McDermott et al. 2009). به همین ترتیب روش HAZOP هم در ابتدا برای شناسایی خطره‌های فرایندهای شیمیایی به وجود آمد ولی با گذشت زمان در شناسایی خطره‌های عنصر انسان نیز کاربرد پیدا کرده است. امروزه در مبحث Human Reliability هر دو روش مذکور بطور وسیعی کاربرد پیدا کرده‌اند.

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 ارائه 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 خطره‌های 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 خطره‌های 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 خطره‌های موجود در محیط کار نشده است (Mannan 2005). در واقع هیچ یک از مهندسين ایمنی سامانه تا بحال نتوانسته‌اند بگویند که کلیه

شناسایی شده توسط همه ی روشهای مورد استفاده می باشند.

روشهای دیگر هم به ترتیب مبنا قرار داده شده و تعداد خطرهای شناسایی شده توسط آنها به ترتیب برابر با  $H_f, H_m, H_{sh}, H_c$  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  $H_f, H_m, H_{sh}, H_c$  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 درصد 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, MORT و Shake Down Commissioning and Early Operation برابر بود با  $H_c + H_{sh} + H_f + H_m$

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

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 و MORT 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 فرآیندی 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 درصد 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 و MORT 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

اجرای روش HAZOP در یک سامانه بیولوژیکی نمی‌تواند همان تعداد خطرهایی که مثلاً توسط روش Fault tree شناسایی می‌شوند را شناسایی نماید (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 محاسبه‌ی HIE منتهی گردیده می‌تواند از این نظر مورد ایراد قرارگیرد که تنها بخش محدودی از داده‌ها را مورد توجه قرار می‌دهد. اما نباید از نظر دور داشت که چنین داده‌هایی بندرت در منابع انتشار یافته از تحقیقات انجام گرفته در زمینه‌ی ایمنی سامانه دیده می‌شوند. ضمناً داده‌های ارائه شده در جدول ۱ داده‌هایی است که از مطالعات انجام شده در یازده کارخانه‌ی مختلف بدست آمده که بدون شک تعداد نمونه‌ی کمی نیست و نتایج حاصل از آنها خود بخود می‌تواند از مقبولیت بالایی برخوردار باشد. قابل توجه تر اینکه تنها دو روش HAZOP و AEA است که به عنوان روشهای مقدماتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. 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 می‌شود. اعضای تیم انحراف‌های احتمالی از عملکردهای نرمال و عادی را در هر یک از گره‌های چندگانه‌ی انتخاب شده در عملیات بهره‌برداری از سامانه، شناسایی و مشخص می‌سازند. انحراف‌های عملکردی مهمی که می‌توانند منجر به صدمه و ضرر و زیان شوند به عنوان خطرهای شناسایی شده می‌باشند. در این شناسایی و مشخص ساختن انحراف‌ها هم اپراتورها و هم تجهیزات به عنوان اجزای سامانه مورد مطالعه تحت بررسی قرار می‌گیرند (Mannan 2005; Cantrel and Clemens 2009).

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

آن استفاده از  $H_s$  در مخرج کسر فرمول مربوطه می‌باشد 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 می‌تواند 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 می‌دهند.

چهار ردیف اول در جدول ۱ فرصت استثنایی برای مقایسه‌ی دو روش HAZOP و AEA که در دو سامانه ۱ و ۲ اجرا شده‌اند، را فراهم می‌سازد. مقایسه‌ی نتایج این دو روش بصورت خیلی جالب در نمودار ۲ دیده می‌شود. در سامانه 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 ۶۰ 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 مناسب‌تری می‌باشد. این نتایج با اینکه بحث مربوط به بالابودن اثربخشی شناسایی خطر روش HAZOP (در بالا بدان اشاره شد) را نقض می‌کند ولی از این نظر که نشان می‌دهد بعضی از روشها انگاری برای سامانه‌های خاصی ساخته شده و مناسب‌تر هستند و در سامانه‌های دیگر چندان اثربخشی بالایی ندارند، دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای است. به عنوان یک نمونه‌ی خاص معلوم گردیده که

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 ۴۰ درصد خطرهای سامانه مورد شناسایی قرار گیرد. بنابراین باید بطور همزمان روشهای دیگری را هم اجرا نمود.

۴- 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 کلیه متخصصین روشهای شناسایی خطر در کارخانجات مورد مطالعه تشکر میگردد.

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 می توانند همراه خطاهای اپراتور باشند، مورد توجه قرار می دهند (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 می باشد. 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.

### نتیجه گیری

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.

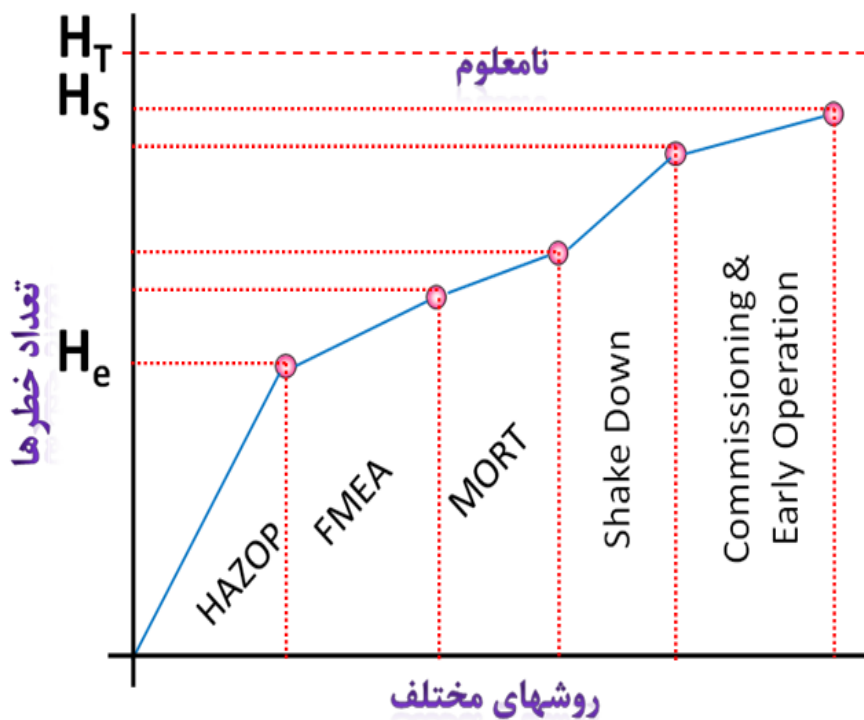
جدول ۱- نتایج ارزیابی دو روش HAZOP و AEA در دو سامانه فرآیندی مختلف

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

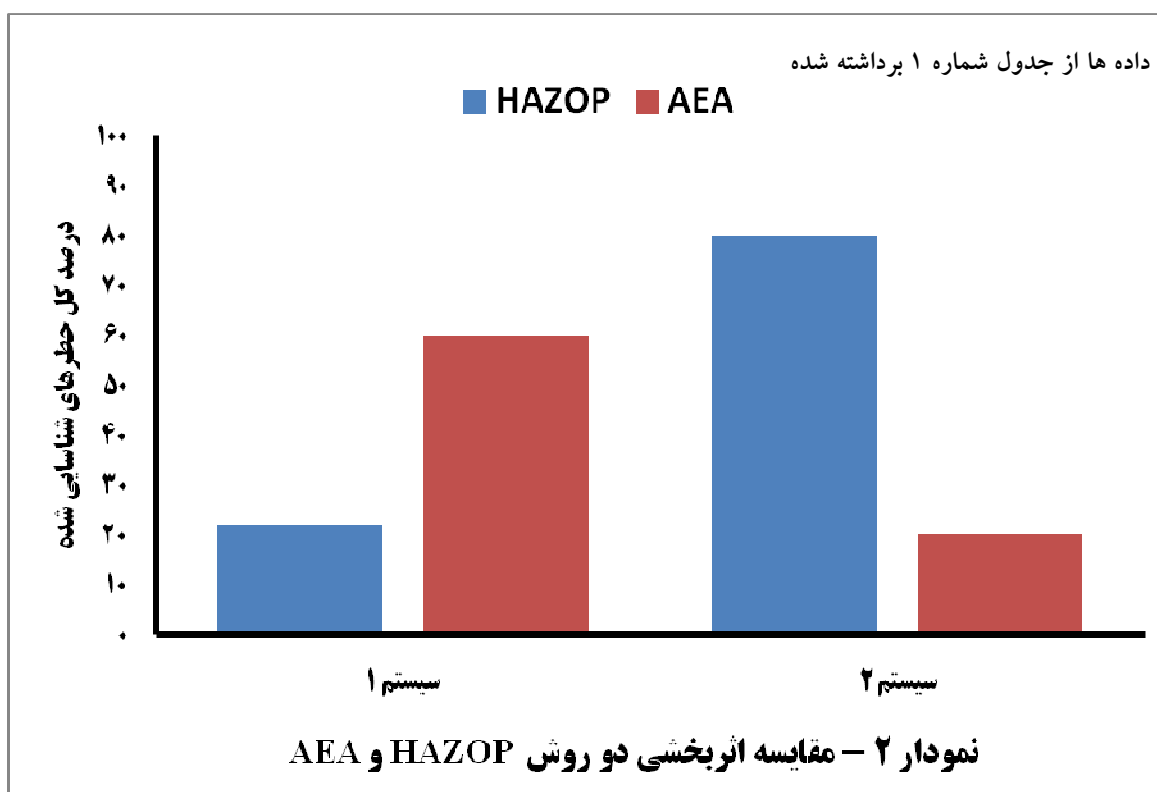
• Hazard Identification Effectiveness - HIE



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 اثربخشی دو روش HAZOP و AEA

نمودار ۲- مقایسه ی اثربخشی دو روش HAZOP و AEA

داده ها از جدول شماره ۱ برداشته شده

■ HAZOP ■ AEA

درصد کل خطرهای شناسایی شده

سیستم ۱

سیستم ۲

## 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 Bearegard, M.R., 2009. The Basics of FMEA, 2<sup>nd</sup> 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.