

## ارایه ریسک گراف بهبود یافته فازی جهت تعیین بهینه سطح یکپارچگی ایمنی در مراکز صنعتی

زهره قربعلی<sup>۱\*</sup> - پروین نصیری<sup>۲</sup> - علی بقایی<sup>۲</sup> - سید محمد رضا میری لواسانی<sup>۴</sup>

[zghorbali\\_safety@yahoo.com](mailto:zghorbali_safety@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۶

### چکیده

**مقدمه:** به دلیل وجود عوامل خطر فراوان و ریسک زیاد در مراکز صنعتی فرآیندی، از چندین لایه حفاظتی جهت کاهش خطر و ریسک استفاده می شود. تعیین سطوح یکپارچگی ایمنی برای سیستم های امنیتی مجهز به ابزار دقیق کمک می کند تا از ایمنی کلی فرآیند اطمینان حاصل شود. یکی از روش های تعیین سطح یکپارچگی ایمنی، ریسک گراف است. روش ریسک گراف علی رغم سادگی آن روشی کیفی و وابسته به نظرات شخصی متخصصان است.

**روش کار:** در این مقاله روش کیفی ریسک گراف بهبود یافته معرفی و ارزیابی می شود، در ادامه با استفاده از ابزار منطق فازی رویکردی جدید از این روش ارایه می گردد. در روش مطرح شده، سطوح پیامدها که در حالت مرسوم به صورت کیفی تقسیم بندی شده اند به بازه های کمی تبدیل می شوند و با داشتن مقدار کمی از آنها جدول ریسک گراف نیز به صورت کمی در می آید. در نهایت با استفاده از رویکرد ارایه شده در این مقاله و استفاده از نظر سه کارشناس با تخصیص ضریب وزنی یک سطح یکپارچگی نهایی کمی مشخص می شود.

**نتیجه گیری:** با به کارگیری روش ارایه شده در این مقاله سطوح هم تراز در جدول ریسک گراف در روش های قبلی به زیرسطح های کمی متفاوت تبدیل می شوند که نه تنها دقت سطح ایمنی تعیین شده را افزایش می دهد، بلکه عامل مؤثر در افزایش ایمنی را نیز قابل شناسایی می کند که منجر به صرفه جویی در زمان و هزینه خواهد شد. به عنوان مطالعه موردی، سطح یکپارچگی ایمنی واحد آیزوماکس پالایشگاه تهران با روش پیشنهادی تعیین شده است و نتایج حاصل از روش ریسک گراف بهبود یافته و ریسک گراف بهبود یافته فازی با هم مقایسه شده اند که تأثیرگذاری روش پیشنهادی را نشان می دهد.

### کلمات کلیدی: سطح یکپارچگی ایمنی، ریسک گراف، منطق فازی، واحد آیزوماکس

۱- کارشناس ارشد مدیریت HSE، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۳- استادیار گروه مهندسی شیمی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- استادیار گروه مدیریت HSE، دانشکده محیط زیست و انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

### مقدمه

به دلیل وجود منابع خطر فراوان و ریسک زیاد در پالایشگاه‌ها و مراکز صنعتی فرآیندی، از چندین لایه حفاظتی جهت کاهش ریسک استفاده می‌شود. یکی از این لایه‌های حفاظتی استفاده از سیستم‌های ابزار دقیق (SIS) جهت افزایش ایمنی فرآیند است. از طرف دیگر قابلیت اطمینان این سیستم‌ها تابع ساختار و نوع به‌کارگیری آن‌ها می‌باشد. استاندارد IEC 61508 به بررسی عملکرد SISها پرداخته و آن‌ها را از نظر قابلیت اطمینان و احتمال بروز خطا در هنگام نیاز (PFD) به چهار سطح تقسیم نموده است (IEC615081,1998). این مطالعات که به مطالعات سطوح یکپارچگی ایمنی معروفند یکی از روش‌های اصلی در تعیین و افزایش قابلیت سیستم‌های ایمنی می‌باشند.

جهت تعیین سطح یکپارچگی ایمنی (SIL) مورد نیاز هر یک از SISها، روش‌های متنوع کمی و کیفی ارائه شده است. از مهم‌ترین روش‌های کمی می‌توان به تحلیل کمی ریسک (QRA) و تحلیل لایه‌های حفاظتی (LOPA) اشاره کرد. این روش‌ها علی‌رغم دقت بالا نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشند (Markowski, *et al.*, 2010; Pitblad, *et al* 2011)

در بین روش‌های کیفی، روش ریسک گراف (RG) بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از این روش علی‌رغم سادگی آن با مشکلاتی همراه است. به دلیل دخیل بودن نظرات شخصی در این روش نتایج بسیار متفاوت و گاهی محافظه‌کارانه حاصل خواهد شد. این امر در بیشتر مواقع افزایش هزینه‌ها را به همراه خواهد داشت. از آنجا که میزان شکست و سایر داده‌های

فیزیکی متغیر هستند و جمع‌آوری آنها بسیار مشکل است و همچنین در بسیاری موارد اطلاعات کافی وجود ندارد، در نتیجه در مدل‌های مرسوم ارزیابی ریسک دچار ابهام می‌شویم. لذا بسیار مهم است تا در پی روشی باشیم که میزان عدم قطعیت در توصیف ریسک فرآیند را کاهش دهد. یکی از این روش‌ها منطق فازی است.

منطق فازی ابزاری مفید برای حل مسائلی است که با عدم قطعیت و فقدان دقت مواجه است. چنین شرایطی اغلب در ارزیابی ریسک در فرآیندهای مختلف خود را نشان می‌دهد. منطق فازی راهکاری مناسب برای مدل‌کردن جنبه‌های کیفی و تقریبی استدلال و تصمیم‌گیری انسان در کنترل سیستم است.

از آنجا که روش ریسک گراف روشی کیفی و مبتنی بر استدلال‌های انسانی است، به نظر می‌رسد بهره‌گیری از منطق فازی در بهبود روش و تعیین SIL کمی، بسیار کارگشا باشد.

روش ریسک گراف سنتی دریک استاندارد آلمانی معرفی شده است (DIN V 19250, 1994). جایگزینی که برای ریسک گراف سنتی پیشنهاد شد، استفاده از یک سیستم بر پایه قانون فازی را مد نظر قرار می‌دهد تا مقدار SIL تعیین شود (Ormos, *et al.*, 2004).

علاوه بر آن در ریسک گراف یک روش بر پایه قانون فازی معرفی شد و یک ارزیابی مشخص پارامترهای ریسک نیز با استفاده از جمع‌آوری قضاوت‌های متخصصین انجام شد (Simon, *etal.*, 2007). ریسک گراف معرفی شده در DIN V 19250 مورد بررسی قرار گرفت و سعی شد با ارائه تغییراتی در پارامترهای روش ریسک گراف، ریسک گراف بهبود یافته‌ای (IRG) ارائه شود تا کاستی‌های روش

بودن این روش کاسته نشود. این نسخه خلافتانه از ریسک گراف از پارامترهای مدل بهبودیافته استفاده می کند تا مدل واقع بینانه تری از سناریوی خطر و پیامدهای آن ارائه دهد. در این روش SIL ها که PFD یا معکوس مقادیر فاکتور کاهش ریسک (RRF) هستند، می توانند مستقیماً با خروجی های روش های کمی و نیمه کمی مقایسه شوند.

این مقاله از پنج قسمت تشکیل شده است. در قسمت دوم به طور مختصر روش IRG توضیح داده شده و سپس مراحل فازی کردن این روش شرح داده شده است. در قسمت سوم نحوه به کارگیری روش پیشنهادی برای تعیین SIL واحد مورد مطالعه به صورت گام به گام روشن شده است. در بخش چهارم رویکرد نوین برای تعیین SIL در واحد آیزوماکس پالایشگاه نفت تهران مورد استفاده قرار گرفته و در قسمت پنجم به بررسی نتایج مقاله پرداخته شده است.

فازی کردن روش ریسک گراف بهبود یافته

الف- ریسک گراف بهبود یافته

در IRG به جای تمرکز بر روی پیامدهای خطر به سناریوی ریسک پرداخته می شود. در چهار پارامتر این روش، برای پارامترهای اول و سوم و چهارم بیش از ۲ سطح معرفی شده است تا از انتخاب های محافظه کارانه و یا خوش بینانه که باعث برآورد کمتر یا بیشتر SIL می گردد جلوگیری شود (Baybutt, 2007).

چهار پارامتر مورد استفاده عبارتند از:

آغازگرها - تناوب علت آغازگرها؛ اولین عاملی که در بروز حادثه موثر است. این پارامتر دارای شش سطح  $1-10^{-1}$ ,  $2-10^{-2}$ ,  $3-10^{-3}$ ,  $4-10^{-4}$ ,  $5-10^{-5}$ ,  $6-10^{-6}$  می باشد.

سنتی را کاهش دهد و سناریوی خطر بطور صحیح مدل کند (Baybutt, 2007).

سپس به بررسی بکارگیری منطق فازی برای مدل کردن عدم قطعیت ها در ارزیابی ریسک و ایمنی فرآیند پرداخته شد (Markowski, et al., 2009). و در نهایت برای غلبه بر ابهامات و مشکلات ایجاد شده به خاطر عدم قطعیت ها در پارامترهای ریسک گراف سنتی از مقیاس های فازی استفاده شد (Nait-Said, 2009).

در مقالات ارائه شده تا کنون برای استفاده از منطق فازی، تمام پارامترهای ریسک گراف تبدیل به متغیرهای فازی می شدند که در نتیجه برای هر متغیر نیازمند اطلاعات دقیق در مورد میزان شکست هستند. در صنعت نه تنها این آمار همیشه در دسترس نمی باشد، بلکه از ویژگی اصلی ریسک گراف که سادگی و کم هزینه بودن آن است کاملاً به دور شده اند. از طرف دیگر ریسک گراف سنتی به خوبی سناریوی خطر را مدل نمی کند و دچار ابهامات و عدم قطعیت های خاص خود است.

در این مقاله از ترکیب ریسک گراف بهبود یافته ی پال بیات (Baybutt, 2007) به همراه ابزار منطق فازی استفاده شده است تا از مزایای هر دو روش بهره مند شده و مدل ریسک گراف بهبود یافته فازی (FIRG) ارائه گردد تا بتوان SIL خروجی از ریسک گراف به صورت کمی تعیین شود. استفاده از مقیاس های فازی برای ارزیابی پارامترهای ریسک تنها برای پارامتر پیامدها مد نظر قرار گرفته شده، زیرا تنها متغیری است که در IRG با استفاده از ترم های زبانی توصیف شده و بیشترین تأثیر را در سطح نهایی SIL تعیین شده دارد. با این اقدام کمک می شود تا ابهامات و عدم قطعیت های موجود به طور دقیق تری مدل شوند ولی از سادگی و کم هزینه



شکل ۱: شمای کلی ریسک گراف بهبودیافته (Baybutt, 2007)

تجهیزات می‌گردد. به طور قطع استفاده از تعاریف کیفی برای پارامترهای ریسک بسیار شخصی است و در معنای آن‌ها ممکن است سوء تعبیر شود. از طرف دیگر تفسیر عددی از پارامترهای ریسک و SIL ها با استفاده از فواصل دقیق از تبدیل تدریجی بین فواصل که واقع بینانه تر است تخلف می‌کند (Markowski, et al., 2009).

IRG دارای چهار پارامتر می باشد که سطوح پارامتر اول تا سوم به صورت کمی مشخص شده‌اند. در این میان تنها سطوح پیامدها به صورت کیفی مطرح شده‌اند (Baybutt, 2007).

ب- ریسک گراف بهبودیافته فازی مدل ریسک گراف فازی پیشنهادی در این مقاله یک ریسک گراف بر پایه قانون فازی است که چهار پارامتر استفاده شده در IRG را حفظ می‌کند و تنها مقدار دقیقی به طور عددی برای پیامدها (عامل چهارم) بیان می‌کند تا در نهایت بتوان مقادیر SIL را بصورت کمی بیان کرد. در ادامه به صورت گام به گام نحوه فازی کردن IRG توضیح داده می‌شود.

محرك‌ها - رویدادها/ شرایط تحریک‌کننده یا بهبود دهنده؛ دومین عامل بعد از آغازگر که به عنوان محرك رویداد وارد عمل می‌شود. حضور یا عدم حضور این پارامتر با دو سطح  $10^{-1} E_1$  و  $E_2$  مشخص می‌شود. تجهیزات ایمنی - احتمال شکست در عملکرد تجهیزات ایمنی که برای فرآیند در نظر گرفته شده‌اند. برای این پارامتر سه سطح  $S_1, S_2, S_3$  مطرح می‌باشد.

پیامدها - پیامدهای رویداد یا سناریوی خطرناک؛ این عامل دارای پنج سطح  $C_1$  تا  $C_5$  می‌باشد که بصورت کیفی تعریف شده‌اند. نحوه به کارگیری این پارامترها برای تعیین سطح SIL در شکل ۱ آمده است.

هر چند IRG در هنگام اجرا ساده است ولی منجر به نتایج ناسازگار و گاهی محافظه کارانه می‌شود که ممکن است به بیش برآورد کردن SIL منتج شود. این امر نه تنها موجب افزایش هزینه‌های طراحی، ساخت، خرید، نصب و نگهداری می‌شود، بلکه به علت پیچیده تر بودن ساختار SIS های با SIL بالاتر باعث افزایش احتمال بروز خطای انسانی در هنگام نگهداری و کالیبره کردن این

$$EP = \frac{1}{3} \times (A1 + A2 + A3)$$

$$EP = \frac{1}{3} \times \frac{((A4 + A3)^2 - (A4 \times A3) + (A1 \times A2) - (A1 + A2)^2)}{A4 + A3 - A2 - A1}$$

در عمل به منظور یکپارچه سازی امکان پیامد فازی با میزان پیامد فازی، لازم است تا امکان پیامد فازی به نرخ پیامد فازی تبدیل شود. برای این منظور، در این مطالعه از رابطه ارایه شده توسط انیسواوا استفاده می گردد. براین اساس، با در دست داشتن EP، نرخ خطا (ER) می تواند با استفاده از رابطه ذیل محاسبه گردد:

$$P = \sqrt[3]{\frac{1-EP}{EP}} \times 2.30103$$

$$ER = \begin{cases} EPER = \frac{1}{10^P} EP \neq 0 \\ EP = 0 \end{cases}$$

طبق رابطه-۱ تا رابطه-۴ برای هر پنج سطح مشخص شده ی پیامدها ابتدا EP و سپس ER تعیین می شود؛ ER مربوط به کلیه سطوح پیامدها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: سطوح کمی پیامدها

C1	$1.63 \times 10^{-5}$
C2	$4.8 \times 10^{-4}$
C3	$5 \times 10^{-3}$
C4	$2.54 \times 10^{-2}$
C5	$1.06 \times 10^{-1}$

گام اول: کمی کردن سطوح پیامدها

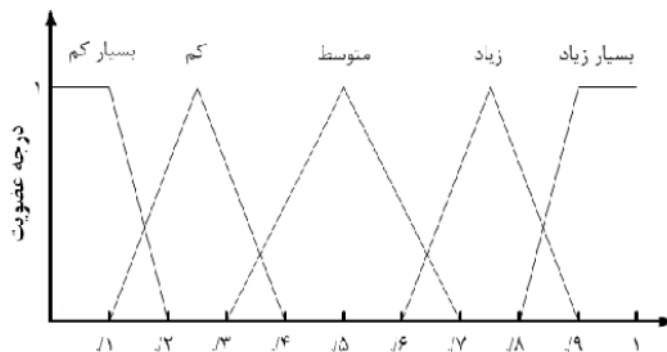
در این مقاله اعداد فازی متناظر با پیامدها با استفاده از روش ارزیابی زبانی تعیین می گردند. برای این منظور به هر یک از ترم های زبانی پیامد، مطابق جدول ۱، بازه هایی اختصاص داده می شود. این بازه ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

اکنون مقادیر فازی متناظر با هر یک از این ارزیابی ها با استفاده از مفهوم ارایه شده شکل ۲ تعیین می گردد و این مقادیر با استفاده از روش میانگین وزنی و در قالب امکان فازی پیشامد مورد بررسی جمع بندی می شود (Zhang et al., 2010). (Dong et al., 1987)

در ابتدا بازه های تعریف شده در شکل ۲ که به دو صورت مثلثی و ذوزنقه ای قابل مشاهده می باشد را به ترتیب با استفاده از رابطه-۱ و رابطه-۲ به امکان خطا (EP) تبدیل می کنیم:

جدول ۱: تعریف بازه های کیفی پیامدها به صورت ارزیابی زبانی

سازوچ پیامدها	ترمه‌های زبانی	بازه‌های کمی
C1	بسیار کم	(۰، ۰، ۰/۱، ۰/۲)
C2	کم	(۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۴)
C3	متوسط	(۰/۳، ۰/۵، ۰/۷)
C4	زیاد	(۰/۶، ۰/۷۵، ۰/۹)
C5	بسیار زیاد	(۰/۸، ۰/۹، ۱، ۱)



شکل ۲: تبدیل متغیرهای زبانی به مقیاس های فازی

$$I5 \times E2 \times S3 \times C5 = 0.1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 10^{-3} \Rightarrow RF = 5 \times 10^{-4}$$

و به همین ترتیب برای کلیه حالت‌های موجود، محاسبات صورت گرفته و در نهایت جدول FIRG به جدول تبدیل شده است که در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد.

برای تبدیل اعداد حاصل از شکل ۳ (۳ PFD) به SIL باید عکس عمل فازی کردن انجام پذیرد. که این امر با استفاده از شکل ۴ صورت می‌گیرد. در سناریوی فرضی که در بالا به آن اشاره شد با استفاده از شکل ۴ و عدد حاصل، سطح SIL به صورت فازی به دست می‌آید. لذا خواهیم داشت:

$$RF = 5 \times 10^{-4} \rightarrow 50\% \text{ SIL2 \& } 50\% \text{ SIL3}$$

گام دوم: کمی کردن جدول ریسک گراف سه عامل ورودی اول گراف ریسک یعنی آغازگرها و محرک‌ها و تجهیزات ایمنی به کار برده شده به صورت کمی دارای سطوح مشخصی می‌باشند (Baybutt, 2007). در این مقاله سطوح عامل چهارم یعنی پیامدها که شامل پیامدهای زیست محیطی و پیامدهای تجهیزاتی و پیامدهای انسانی می‌باشد با استفاده از منطق فازی به صورت کمی مشخص شده‌اند. حال با داشتن هر چهار عامل بصورت کمی می‌توان عامل ریسک (Risk Factor) را بصورت عدد محاسبه کرد تا با داشتن آن میزان SIL بصورت دقیق بیان گردد. اگر سطوح زیر برای پارامترهای یک سناریو در نظر گرفته شده باشد SIL به صورت زیر به دست می‌آید:

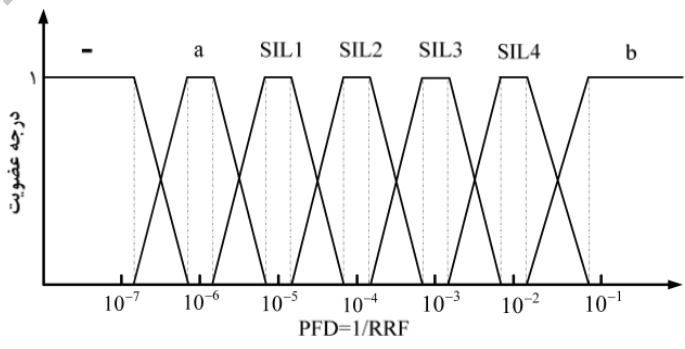
		S3					S2					S1				
		C5	C4	C3	C2	C1	C5	C4	C3	C2	C1	C5	C4	C3	C2	C1
11	E1	1.0E-10	2.5E-09	5.0E-09	4.8E-08	1.6E-07	1.0E-09	2.5E-08	5.0E-08	4.8E-07	1.6E-06	1.0E-08	2.5E-07	5.0E-07	4.8E-06	1.6E-05
12	E2	1.0E-10	2.5E-09	5.0E-09	4.8E-08	1.6E-07	1.0E-09	2.5E-08	5.0E-08	4.8E-07	1.6E-06	1.0E-08	2.5E-07	5.0E-07	4.8E-06	1.6E-05
13	E1	1.0E-10	2.5E-09	5.0E-09	4.8E-08	1.6E-07	1.0E-09	2.5E-08	5.0E-08	4.8E-07	1.6E-06	1.0E-08	2.5E-07	5.0E-07	4.8E-06	1.6E-05
14	E2	1.0E-10	2.5E-09	5.0E-09	4.8E-08	1.6E-07	1.0E-09	2.5E-08	5.0E-08	4.8E-07	1.6E-06	1.0E-08	2.5E-07	5.0E-07	4.8E-06	1.6E-05
15	E1	1.0E-10	2.5E-09	5.0E-09	4.8E-08	1.6E-07	1.0E-09	2.5E-08	5.0E-08	4.8E-07	1.6E-06	1.0E-08	2.5E-07	5.0E-07	4.8E-06	1.6E-05
16	E2	1.0E-10	2.5E-09	5.0E-09	4.8E-08	1.6E-07	1.0E-09	2.5E-08	5.0E-08	4.8E-07	1.6E-06	1.0E-08	2.5E-07	5.0E-07	4.8E-06	1.6E-05

اعداد بدست آمده احتمال خطا در هنگام تقاضا یا PFD می‌باشند.

نوع حرکت رو به بالا و بعد رو به جلو E1 فقط حرکت رو به جلو E2

I : آغازگرها  
E : محرک‌ها  
S : تجهیزات ایمنی  
C : پیامدها

شکل ۳: ریسک گراف بهبود یافته فازی (کمی)



شکل ۴: تبدیل PFD به سطوح SIL

شناسایی مهمترین سناریوهای حادثه جهت شناسایی مهمترین سناریوهای حادثه در واحد مورد مطالعه نیاز به شناسایی خطرات واحد و انجام مطالعه HAZOP در واحد می باشد. با استفاده از نتایج این مطالعات و همچنین مصاحبه با کارشناسان باتجربه، مهمترین سناریوهای حادثه را که در صورت بروز، پیامدهای شدیدی هم به لحاظ مالی و جانی و هم به لحاظ محیط زیستی داشته اند، شناسایی کرده و مطالعه و به دست آوردن SIL برای آنها صورت می گیرد.

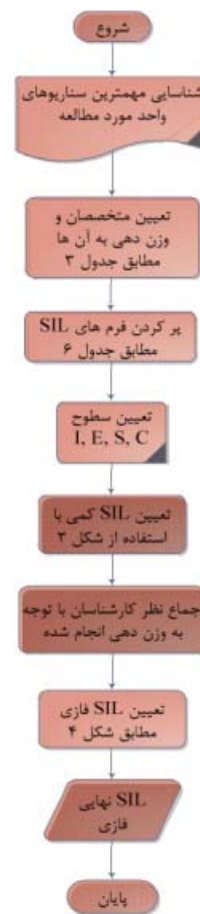
انتخاب و وزن دهی متخصصان جهت جلوگیری از عدم قطعیت در ارزیابی از نظر چندین متخصص استفاده می شود، سپس

جدول ۳: تعیین شاخص های وزن دهی متخصصان

شخص ها	رتبه بندی	نمره
مقام سازمانی	مدیر عامل	۴
	مدیر	۳
	سرپرست	۲
	اپراتور	۱
تجربه	بیشتر از ۳۰ سال	۴
	۳۰-۲۰	۳
	۲۰-۱۰	۲
	۱۰-۵	۱
	تحصیلات	دکتری
	فوق لیسانس	۴
	لیسانس	۳
	فوق دیپلم	۲
	دیپلم	۱
سن	بالای ۵۰ سال	۴
	۵۰ تا ۴۰	۳
	۴۰ تا ۳۰	۲
	کمتر از ۳۰ سال	۱

این خروجی بدین معنی است که با استفاده از FIRG به نتیجه دقیق تری رسیدیم. مشخص شد که در حقیقت SIL بین سطح ۲ و ۳ است و برحسب دیدگاه خوشبینانه و محافظه کارانه می توان هر یک از این دو سطح را انتخاب کرد یا از نظر سایر کارشناسان بهره برد تا به سطح واقعی نزدیک تر شویم. همان طور که مشخص شد این عملکرد در IRG امکان پذیر نبود.

ارایه روش پیشنهادی برای تعیین SIL شکل ۵ نحوه عملکرد روش پیشنهادی برای تعیین SIL واحد مورد مطالعه را نشان می دهد. در ادامه این مراحل توضیح داده می شود.



شکل ۵: فلوچارت پیشنهادی جهت تعیین SIL

یکپارچگی سطح ایمنی و تلاش در جهت افزایش آن از مهمترین نیازهای این واحد حیاتی به شمار می‌رود.

در این مقاله شش مورد از مهمترین و حیاتی‌ترین سناریوهای حادثه که امکان و شدت وقوع آن و پیامدهای زیست محیطی آن در واحد آیزوماکس نیز بالاست انتخاب شده‌اند و SIL مورد نظر برای هر یک بصورت زیر محاسبه گردیده که یک مورد از این سناریوها در این مقاله آورده شده است. در ادامه روند تعیین SIL با استفاده از روش پیشنهادی شرح داده شده است.

گام اول: با استفاده از نتایج مطالعه Hazop در واحد و همچنین مصاحبه با کارشناس باتجربه واحد مربوطه توانستیم شش مورد از مهمترین سناریوهای حادثه را که در صورت بروز میزان پیامدهای شدیدی هم به لحاظ خسارات مالی و جانی و هم به لحاظ محیط زیستی داشتند شناسایی کرده و SIL مربوط به آن‌ها را به‌دست آوریم.

گام دوم: جدول ۴، نمره مربوط به شاخص‌های متخصصین را نشان می‌دهد که منجر به تعیین وزن هر متخصص در جدول ۵ شده است. گام سوم: پر کردن فرم‌ها توسط متخصصان و تعیین SIL، همان‌طور که گفته شد هر یک از متخصصان برای هر سناریو یک فرم پر کرده‌اند جدول ۶ به ترتیب مشخصات مربوط به سناریوی اول را نشان می‌دهد.

برای نظر هر متخصص یک ضریب وزنی تعیین می‌شود که این امر با استفاده از شاخص‌ها و سطوح اشاره شده در جدول ۳ انجام می‌پذیرد (Clemen, et al., 1999. Renjith, et al 2010).

پر کردن فرم‌ها توسط متخصصان هر یک از متخصصان برای هر سناریو یک فرم مطابق جدول ۶ پر کرده و سطوح مربوط به هر یک از چهار پارامتر را تعیین می‌کند.

تعیین SIL کمی با استفاده از شکل ۳ مقدار عددی مربوط به SIL هر یک از کارشناسان استخراج می‌شود. اجماع نظر متخصصان و تعیین SIL نهایی با استفاده از سه SIL به‌دست آمده توسط متخصصین و میانگین وزنی میان آن‌ها یک SIL کمی نهایی حاصل می‌شود.

تعیین SIL فازی با استفاده از شکل ۴ عدد نهایی به‌دست آمده به سطوح فازی که توصیف بهتر و دقیق‌تری از SIL است تبدیل می‌شود.

مطالعه موردی واحد آیزوماکس به دلیل دارا بودن فرآیندها و تجهیزات با فشار و دمای بالا شامل نقاط بالقوه بسیاری جهت بروز حادثه می‌باشد، لذا بررسی

جدول ۵: تعیین وزن متخصصان

ضریب وزنی متخصص	جمع شاخص‌ها	متخصص
$\frac{11}{37} = 0.30$	$3+1+5+2=11$	متخصص اول
$\frac{13}{37} = 0.35$	$4+2+5+2=13$	متخصص دوم
$\frac{13}{37} = 0.35$	$3+3+4+3=13$	متخصص سوم
$0.30+0.35+0.35=1$	$11+13+13=37$	

جدول ۴: تعیین نمره‌ی شاخص‌های متخصصان در این مطالعه

متخصص	تجربه	مقام سازمانی	سن
متخصص ۱	۵	۳	۲
متخصص ۲	۵	۴	۲
متخصص ۳	۳	۳	۳



جدول ۶: مشخصات سناریوی اول

SIL IRG	پارامترهای ریسک گراف				پیامدها	تجهیزات ایمنی	محرک یا بهبود دهنده	توصیف
	C	S	E	I				
	E1: A E2: SIL 2 E3: SIL 1	3	2	2				
					۱.۲ تشکیل زغال سنگ در راکتور			
					۱.۳ آسیب به راکتور			
					۱.۴ بیش از اندازه گرم شدن و آسیب دیدن کاتالیزورها			
					۱.۵ Surge compressor			
					۱.۶ کاهش در واکنش کرایکنگ	۱.۱ وجود چندین TI & TAH در هر راکتور		
					۱.۷ افزایش دما در بستر راکتور	۱.۱ آلارم ابراد در کمپرسور		
					۱.۸ کاهش گاز بازیافتی و سرد شده	۱.۱ آلارم از کارافتادن کمپرسور ۱.۱ آلارم قطع یا کاهش شارپ		

عمل در مورد سناریوی اول برابر خواهد بود با SIL2 100% که این مفهوم در شکل ۶ آمده است. با توجه به نظر کارشناسان به ترتیب a و SIL1 و SIL2 برآورد شده است که به دلیل اختلاف عقاید و نگاه های خوش بینانه و بد بینانه تفاوت در بدست آوردن SIL مشهود است. اما اگر از روش ارایه شده در این مقاله FIRG بهره بگیریم، به نتیجه ی SIL2 100% می رسیم که نشان می دهد سطح ۲ نزدیکترین سطح به واقعیت است. با توجه به شکل ۶ مشخص است که سطح SIL همیشه بدین نحو نخواهد بود که ۱۰۰% در یک سطح باشیم، به عنوان مثال در سناریوی ۳ نتایج زیر حاصل شد:

$$E_1: 16 \times E_2 \times S_2 \times C_4 = 1 \times 1 \times 0.1 \times 2.54 \times 10^{-3} = 2.54 \times 10^{-3} \Rightarrow \begin{cases} IRG \rightarrow SIL3 \\ FIRG \rightarrow 80\% SIL3 \text{ \& } 20\% SIL4 \end{cases}$$

$$E_2: 16 \times E_2 \times S_2 \times C_4 = 1 \times 1 \times 0.1 \times 2.54 \times 10^{-3} = 2.54 \times 10^{-3} \Rightarrow \begin{cases} IRG \rightarrow SIL3 \\ FIRG \rightarrow 80\% SIL3 \text{ \& } 20\% SIL4 \end{cases}$$

$$E_3: 16 \times E_2 \times S_2 \times C_5 = 1 \times 1 \times 0.1 \times 1.06 \times 10^{-1} = 1.06 \times 10^{-2} \Rightarrow \begin{cases} IRG \rightarrow SIL4 \\ FIRG \rightarrow 100\% SIL4 \end{cases}$$

با توجه به نظر کارشناسان، ۲ کارشناس سطح ۳ و یک کارشناس سطح ۴ را برآورد کرده است، که لذا این امکان وجود دارد سطح ۳ به عنوان سطح

گام چهارم: با رجوع به شکل ۳ مقدار کمی SIL تعیین شده توسط هر کارشناس به دست می آید که برای سناریوی اول در ادامه آمده است:

$$E1: 14 \times E_2 \times S_2 \times C_3 \rightarrow \text{according to Fig.3 } RF_{E1} = 5 \times 10^{-6}$$

$$E2: 15 \times E_2 \times S_2 \times C_3 \rightarrow \text{according to Fig.3 } RF_{E2} = 5 \times 10^{-5}$$

$$E3: 15 \times E_2 \times S_2 \times C_4 \rightarrow \text{according to Fig.3 } RF_{E3} = 2.54 \times 10^{-4}$$

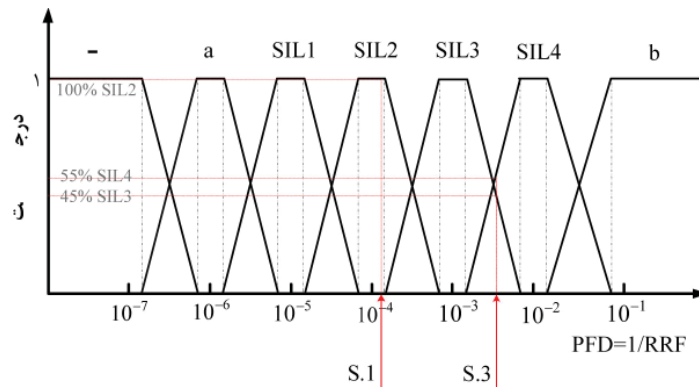
گام پنجم: اجماع نظر کارشناسان با استفاده از میانگین وزنی با توجه به نظرات کارشناسان و ضریب وزنی هر یک که در قسمت قبل محاسبه شده است، SIL نهایی کمی به صورت زیر قابل حصول است:

$$RF_{final} = RF_{E1} \times W_{E1} + RF_{E2} \times W_{E2} + RF_{E3} \times W_{E3}$$

این مقدار برای سناریوی اول برابر خواهد بود با:

$$RF_{final} = 5 \times 10^{-6} \times 0.3 + 5 \times 10^{-5} \times 0.35 + 2.54 \times 10^{-4} \times 0.35 = 1.08 \times 10^{-4}$$

گام ششم: تعیین SIL فازی با استفاده از شکل ۴ عدد به دست آمده در گام قبل را به سطوح فازی تبدیل می کنیم. این



شکل ۶: نحوه تبدیل SIL کمی به سطوح فازی

جدول ۷: SIL های به دست آمده ی سناریوها

FIRG	کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳	سناریو
100% SIL2	$5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-5}$	$2.54 \times 10^{-4}$	۱
33% SIL1 67% SIL2	$2.54 \times 10^{-6}$	$1.06 \times 10^{-4}$	$2.54 \times 10^{-5}$	۲
45% SIL3 55% SIL4	$2.54 \times 10^{-3}$	$2.54 \times 10^{-3}$	$1.06 \times 10^{-2}$	۳
56% SIL1 44% SIL2	$2.54 \times 10^{-5}$	$1.06 \times 10^{-4}$	$2.54 \times 10^{-6}$	۴
96% SIL3 4% SIL4	$2.54 \times 10^{-4}$	$2.54 \times 10^{-3}$	$4.8 \times 10^{-4}$	۵
55% a 45% SIL1	$2.54 \times 10^{-6}$	$1.06 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-7}$	۶

قطعیت نشان می‌دهد. دومین مورد در خصوص تفاوت در SIL های هم سطح می‌باشد. نقاطی هستند که در حالت کیفی دارای SIL های مشابه هستند ولی با کمی شدن جدول تفاوت چشمگیری که در آنها وجود دارد قابل رویت است، به این معنا که مثلا هر SIL4 با SIL4 دیگری تفاوت دارد و دارای سطح ایمنی متفاوتی از هم هستند. سومین مورد نیز دسترسی سریع و آسان به شاخصی است که تغییر آن می‌تواند بیشترین تاثیر را در افزایش سطح ایمنی داشته باشد، به طوری که با حداقل هزینه بیشترین تغییر را در سطح یکپارچگی ایمنی داشته باشیم، به این معنی که مشخص می‌شود کدامیک از چهار عامل ورودی بیشترین

نهایی انتخاب شود. اما اگر از روش پیشنهادی بهره بگیریم، با میانگین وزنی کارشناسان خواهیم داشت:

$$RF_{final} = RF_{E1} \times W_{E1} + RF_{E2} \times W_{E2} + RF_{E3} \times W_{E3}$$

$$RF_{final} = 2.54 \times 10^{-3} \times 0.3 + 2.54 \times 10^{-3} \times 0.35 + 1.06 \times 10^{-2} \times 0.35$$

$$RF_{final} = 5.36 \times 10^{-3}$$

$$FIRG = 55\%SIL4 \text{ \& } 45\%SIL3$$

لذا به نظر می‌رسد انتخاب سطح ۳ حاکی از نگاه خوشبینانه است و SIL4 مناسب تر است. روش ارایه شده در این مقاله کمک شایانی در زمینه تعیین سطح دقیق یکپارچگی ایمنی در فرآیند می‌کند. اول اینکه میزان SIL به طور دقیق بیان می‌شود و از بیان یک سطح کلی به صورت احتمالی جلوگیری می‌کند و میزان SIL را با

از مقادیر قبلی است به دست می آید. نکته اساسی و به نوعی ضرورت کاربرد این روش آن است که بر خلاف سایر روش های کمی مرسوم در تعیین SIL، سطوح هم تراز در جدول ریسک گراف در روش های قبلی به زیرسطح های کمی متفاوت تبدیل می شوند که نه تنها دقت سطح ایمنی تعیین شده را افزایش می دهد بلکه عامل مؤثر در افزایش ایمنی را نیز قابل شناسایی می کند. این امر منجر به صرفه جویی در زمان و هزینه خواهد شد و بدون نیاز به صرف هزینه بیشتر دقت برآورد افزایش می یابد تا از انتخاب های خوش بینانه یا محافظه کارانه جلوگیری شود.

در این مقاله جدول کیفی ریسک گراف بهبودیافته به یک جدول کمی تبدیل شده تا برای هر SIL زیرسطح های بیشتری داشته باشیم و لذا بتوانیم ارزیابی دقیق تری از سطح SIL داشته باشیم. به عبارت دیگر به دلیل وجود مقادیر عددی متفاوت برای سطوح SIL که در روش های قبلی سطح یکسانی داشتند را عاملی که بیشترین تاثیر را در کاهش سطح ریسک دارد شناسایی کرده و برای اقدامات ایمنی تصمیم گیری بهینه انجام داد.

برای روشن شدن نحوه تأثیرگذاری ریسک گراف نوین، این روش برای تعیین SIL واحد آیزوماکس پالایشگاه تهران به کار گرفته شد و با نتایج حاصل از ریسک گراف قبلی مقایسه گردید. برای افزایش دقت از نظر سه کارشناس استفاده شد که در نهایت با میانگین وزنی میان سه کارشناس یک SIL نهایی به دست آمد. به عنوان مثال سناریوی اول در مورد نظر سه کارشناس به ترتیب بر روی سطوح SIL1، SIL2، a بود که برحسب انتخاب های خوشبینانه یا محافظه کارانه می توان به ترتیب سطح a یا SIL2 را انتخاب کرد. اما با به کارگیری روش ارایه شده SIL مقدار به دست

تاثیر را در SIL دارند در نتیجه با بکارگیری روش ارایه شده در این مقاله می توان سطح یکپارچگی ایمنی را به صورت کمی به دست آورد و با توجه به دقت این روش بر اساس خروجی آن برای افزایش سطح ایمنی تصمیم گیری کرد؛ نتایج SIL نهایی هر شش سناریو در جدول ۷ قابل مشاهده می باشند.

### بحث و نتیجه گیری

در این مقاله یک ریسک گراف بهبود یافته بر پایه قوانین فازی ارایه شده است. در این روش نه تنها با به کارگیری ریسک گراف بهبود یافته سناریوی خطر به خوبی مدل شده است بلکه با بهره گیری از ابزار فازی ابهامات و عدم قطعیت ها در انتخاب متغیرهای زبانی کاهش یافته است.

تعیین سطوح SIL در صنایع فرآیندی و بررسی آن در جهت رسیدن به سطح مطلوبی از یکپارچگی ایمنی یکی از اقدامات در جهت کاهش ریسک می باشد، لذا لازم است تا این سطوح به دقت مشخص شوند هر چند نباید سادگی و کم هزینه بودن روش تحت تأثیر قرار گیرد.

در روش ارایه شده در این مقاله از ریسک گراف بهبود یافته کمک گرفته شده است. ریسک گراف بهبود یافته بر خلاف ریسک گراف سنتی همچنان که از سادگی یک روش کیفی بهره می برد می تواند در مقایسه با ریسک گراف سنتی سناریوی خطر را به شکل صحیح تری مدل کند. اما همچنان به خاطر وجود ابهام و عدم قطعیت در انتخاب پارامترها می تواند منجر به نتایج ناسازگار شود، در این حالت SIL برآوردی می تواند بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی باشد. در این مقاله با به کارگیری منطق فازی ابهامات و عدم قطعیت های موجود در ریسک گراف بهبود یافته کمتر شده است و در نتیجه یک SIL کمی که دقیق تر

- R. Nait-Said, F. Zidani, and N. Ouzraoui, "Modified risk graph method using fuzzy rule-based approach," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 164, pp. 651-658, 2009.
- R. Pitblado, B. Bain, A. Falck, K. Litland, and C. Spitzberger, "Frequency data and modification factors used in QRA studies," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 24, pp. 249-258, 2011.
- R. T. a. W. Clemen, R. L., "Combining probability distribution from experts in risk analysis," *Risk Analysis*, vol. 19, pp. 187-203, 1999.
- T. Onisawa, "A representation of human reliability using fuzzy concepts," *Information Sciences*, vol. 45, pp. 153-173, 1988.
- T. Onisawa, "An approach to human reliability in man-machine systems using error possibility," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 27, pp. 87-103, 1988.
- V. R. Renjith, G. Madhu, V. L. G. Nayagam, and A. B. Bhasi, "Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 183, pp. 103-110, 2010.
- W. M. Dong and F. S. Wong, "Fuzzy weighted averages and implementation of the extension principle," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 21, pp. 183-199, 1987.
- X. Zhang and P. Liu, "Method for aggregating triangular fuzzy intuitionistic fuzzy information and its application to decision making," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 16, pp. 280-290, 2010/01/01 2010.
- آمد. این مقدار دقیق با توجه به نمودار عکس عمل فازی کردن برابر با مقدار می باشد. لذا منطقی است که SIL2 به عنوان سطح نهایی انتخاب گردد و از خطای احتمالی در انتخاب a به عنوان سطح نهایی جلوگیری شود.

### منابع

- A. S. Markowski and M. Sam Mannan, "ExSys-LOPA for the chemical process industry," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 23, pp. 688-696, 2010.
- A. S. Markowski, M. S. Mannan, and A. Bigoszevska, "Fuzzy logic for process safety analysis," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 22, pp. 695-702, 2009.
- DINV 19250," in *Control technology: Fundamental Safety Aspects to be Considered for measurement and Control Equipment*, ed. Germany, 1994.
- IEC 61508 Standard," in *Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety related Systems*, ed. 1998.
- L. Ormos and I. Ajyoni, "Soft Computing Method for Determining the Safety of Technological System by IEC 61508," in *Proceedings of the 1st Romanian-Hungarian Joint Symposium on Applied Computational Intelligence (SACI '04)*, Timisoara, Romania, May 2004.
- M. S. C. Simon, and J. -F. Aubry "SIL allocation of SIS by aggregation of experts opinions," in *Proceedings of the Safety and Reliability Conference (ESREL '07)*, Stavanger, Norway, 2007.
- P. Baybutt, "An improved risk graph approach for determination of safety integrity levels (SILs)," *Process Safety Progress*, vol. 26, pp. 66-76, 2007.

## Representing the Fuzzy improved risk graph for determination of optimized safety integrity level in industrial setting

Z. Qorbali<sup>1\*</sup>; P. Nasiri<sup>2</sup>; A. Baqaei<sup>3</sup>; S. M. R. Mirilavasani<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dep of HSE management. Islamic Azad University Science and Research Branch

<sup>2</sup> Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences

<sup>3</sup> Assistant Professor Dep of chemical engineering shahidbahonar university of kerman

<sup>4</sup> Assistant Professor Dep of HSE management. Islamic Azad University Science and Research

### Abstract

**Introduction:** Due to the presence of extreme hazard sources and high intrinsic risk in refineries and process industry sectors, different layers of protection are being used to reduce the risk and avoid the hazardous events. Determining Safety Integrity Levels (SILs) in Safety Instrumented Systems (SISs) helps to ensure the safety of the whole process. Risk Graph is one of the most popular and cost effective techniques to do so. Despite Risk Graph simplicity it's a qualitative method which is highly subjective and suffers from interpretation problems that can lead to inconsistent or conservative SILs.

**Material and Method:** In this paper, Improved Risk Graph (IRG) method was presented and evaluated, and using Fuzzy Logic a novel approach namely Fuzzy Improved Risk Graph (FIRG) was suggested. In the proposed method consequence levels which were defined as qualitative terms were transformed into quantitative intervals. Having those numerical values, risk graph table was converted to a quantitative one. Finally, applying the presented approach and using three experts' opinions and attributing weight factors, an ultimate numeric value was produced.

**Conclusion:** as a result of establishing the presented method, identical levels in conventional risk graph table are replaced with different sublevels that not only increases the accuracy in determining the SIL, but also elucidates the effective factor in improving the safety level and consequently saves time and cost significantly. The proposed technique has been employed to develop the SIL of Tehran Refinery ISOMAX Center. IRG and FIRG results have been compared to clarify the efficacy and importance of the proposed method

**Key words:** Safety Integrity Level, Risk Graph, Fuzzy logic, ISOMAX center

\* Corresponding Author Email: [zghorbali\\_safety@yahoo.com](mailto:zghorbali_safety@yahoo.com)