Archive of SID

نشریه علمی پژوهشی «مهندسی معدن» دوره سیزدهم شماره ۳۹، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۴۳ تا ۵۳
Iranian Journal of Mining Engineering (IRJME) Vol. 13, No. 39, 2018, pp 43-53

کاربرد تحلیل درخت خطای فازی در ارزیابی ریسک خطرات دستگاه سیم‌برش در معادن سنگ ساختمانی کوثر اصفهان

زکیه نخعی‌پناه خلیل‌آباد[۱]، محمد عطایی[۲]*، رضا خالوکاکایی[۳]، محمدرضا بصیرنژاد[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، استخراج معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، z_nakhaei@shahroodut.ac.ir
[۲] استاد دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ataei@shahroodut.ac.ir
[۳] استاد دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، r_kakaie @shahroodut.ac.ir
[۴] دانشجوی کارشناسی ارشد، استخراج معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، mohammadreza.basirnezhad62@gmail.com

(دریافت ۲۴ تیر ۱۳۹۶، پذیرش ۲۲ آذر ۱۳۹۶)

چکیده

معدنکاری از جمله خطرناک‌ترین فعالیت‌ها در سراسر جهان است که همیشه با حوادث مختلف، آسیب‌ها، از دست دادن جان و خسارت به اموال همراه است. خطرات ایمنی، بهداشت و زیست‌محیطی فراوانی در محیط کار وجود دارد که غفلت از آن‌ها و نبود برنامه‌ریزی برای کنترل آن‌ها عواقب جبران‌ناپذیری به دنبال دارد. بنابراین، ارزیابی ریسک اهمیت به سزایی در این معادن دارد. هدف از این پژوهش ارزیابی ریسک ایمنی خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش به روش درخت خطای فازی و همچنین به کارگیری برخی از روش‌های تعدیل برای کاهش این خطرات در معادن سنگ ساختمانی است. در پژوهش حاضر پس از انجام مطالعات و جمع‌آوری اطلاعات درباره علل خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش، قضاوت از طریق پرسش‌نامه توسط متخصصان مربوط انجام و خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش شناسایی شده، سپس نسبت به تحلیل و ریشه‌یابی علل خطرات با روش تحلیل درخت خطا اقدام شده است. با توجه به مدل درختی که با این روش ایجاد شده، برای وزن دادن به علل ریشه‌ای که به عنوان رویدادهای اساسی تعیین شده‌اند از تئوری فازی بهره گرفته شده است تا در نهایت احتمال وقوع هر رویداد اساسی به دست آید. نتایج نشان داده است که بیشترین احتمال وقوع در بین رویدادهای میانی به ترتیب برای خطرات ناشی از تعمیر و نگهداری، خطرات ناشی از مسایل زمین‌شناسی و خطرات ناشی از طراحی نادرست و بیشترین احتمال وقوع در بین رویدادهای اساسی به ترتیب برای خطرات ناشی از حرکت و ضربه شلاقی سیم ناشی از گسیختگی، خطرات ناشی از انحراف داشتن سیم‌برش و خطرات ناشی از وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ است. در نهایت با توجه به روش‌های کنترلی پاسخ مناسبی برای کنترل این ریسک‌ها ارائه شده است.

کلمات کلیدی

مدیریت ریسک، تحلیل درخت خطای فازی، معادن سنگ ساختمانی، دستگاه سیم‌برش

* نویسنده مسئول مکاتبات

www.SID.ir

Archive of SID

۱-مقدمه

حجم عملیات‌های معدنی با رشد و توسعه صنعت معدن در بسیاری از کشورها به طور چشم‌گیری افزایش یافته و بر اهمیت آن افزوده است و به تبع آن خطرات و ریسک‌های موجود در معادن نیز بیشتر شده است، بنابراین لازم است برای افزایش ایمنی و کاهش خطرات، ارزیابی جامعی از حوادث و پیامدهای مربوط به آن‌ها در طول معدنکاری انجام شود. به همین دلیل برای مدیریت موثر در معادن رویکردهای جدیدی همچون مدیریت ریسک توصیه شده است. یکی از روش‌هایی که می‌توان از آن‌ها برای مدیریت ریسک بهره گرفت روش ترکیبی تحلیل درخت خطا با تئوری فازی است.

استخراج در معادن سنگ ساختمانی یکی از شاخه‌های خطرناک فعالیت معدنکاری است، تا آنجا که طبق گزارش‌ها معادن زغال‌سنگ و معادن سنگ ساختمانی بالاترین نرخ حوادث در مقایسه با دیگر معادن را دارند. با توجه به گزارش سالانه مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۱، ۱۸۹ حادثه در معادن سنگ ساختمانی ایران اتفاق افتاده که ۱۸۶ حادثه منجر به صدمات و مرگ و میر داشته است [۱] بنابراین، کاهش خطرات در این معادن اهمیت زیادی دارد و منجر به توسعه تولید و پس از آن، بهبود اقتصاد کشور می‌شود.

در بین انواع متفاوت معدنکاری از جمله زیرزمینی، سطحی و ساختمانی، سابقه بدی برای نرخ بالای اتفاقات و سوانح مشاهده شده است. معادن سنگ ساختمانی حوادث ویژه خود را دارند که توسط برخی محققان در ایران مورد بررسی قرار گرفته است.

در سال ۱۳۸۶ مختاری و همکارانش تحلیل ریسک ایمنی در استخراج سنگ تزیینی به روش سیم‌برش الماسه را انجام دادند. در این تحقیق برای تحلیل ریسک ایمنی در استخراج سنگ تزیینی به روش سیم‌برش الماسه ابتدا جدولی از عنوان و شرح حوادث در معادن بازدید شده تهیه و برای هر حادثه، میزان احتمال و خسارتی تعیین شد، سپس با ارائه راهکارهایی باعث کاهش میزان احتمال و خسارت شده و در نتیجه کاهش میزان ریسک را در پی داشت [۲].

در سال ۱۳۸۶ امیرافشاری و همکارانش ضرورت آموزش و فرهنگ‌سازی HSE [۱] در معادن سنگ نما و تزیینی ایران را بررسی کردند. نتایج حاکی از نیاز این معادن به سیستم مدیریت منحصر به فردی است که منجر به کاهش خطرات و نتایج زیان‌بار آن‌ها شود [۳].

در سال ۱۳۸۸ میخک بیرانوند و الماسی به ارزیابی فنی و ایمنی معادن تحت پوشش شرکت معدنی پرداختند. در این مطالعه با توجه به اینکه حفظ سلامت کارگران و کارمندان هر شرکت یا کارخانه در اولویت کاری آن‌ها قرار دارد، به ارزیابی ایمنی پرداخته شد [۴].

در سال ۲۰۱۴ یاراحمدی و همکارانش به ارزیابی ریسک ایمنی معادن سنگ ساختمانی ایران پرداختند. در این مطالعه، قضاوت از طریق پرسش‌نامه توسط کارشناسان مربوط انجام و حوادث خطرناک معادن شناسایی و ریسک ایمنی آن‌ها بررسی شد. رتبه‌بندی حوادث نشان داد که مهم‌ترین منابع خطر، به ترتیب خطر تصادفات ترافیکی، پارگی سیم‌برش و سقوط سنگ بوده است [۵].

در سال ۲۰۱۷ دهقان و ستاری به مدیریت و تحلیل ریسک ایمنی در معادن سنگ ساختمانی شهرستان محلات با استفاده از تکنیک حالات خطا و تجزیه و تحلیل اثرات آن پرداختند. حوادث موجود در این معادن در ۱۵ دسته شناسایی و ارزیابی شدند که ۷ ریسک در بازه غیر قابل قبول و با درجه ریسک بالا شناخته شدند [۶].

با توجه به تحقیقاتی که در گذشته انجام شده، این پژوهش با هدف ارائه رویکردی برای ارزیابی ریسک انجام شده است. ارزیابی احتمال وقوع حوادث و آسیب‌های آن، با فرمول‌هایی ریاضی، درک دقیق‌تری از خطرات را ارائه می‌دهد. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر ارزیابی ریسک خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش در معادن ساختمانی ایران با به‌کارگیری این رویکرد است. این مقاله همچنین نشان می‌دهد که چگونه ارزیابی ریسک می‌تواند برای اطلاع از تعدیلات ریسک استفاده شود و در نتیجه سهم برجسته‌ای در کاهش ریسک در معادن داشته باشد.

۲- تئوری مقاله

روش تحلیل درخت خطا برای اولین بار در سال ۱۹۶۱ توسط واتسون[۲] ابداع و برای تحلیل قابلیت اطمینان استفاده شد [۷]. موفقیت این روش در شناسایی و حذف نقاط ضعف سیستم باعث شد تا ابزاری قدرتمند در زمینه ارزیابی و مدیریت ریسک سیستم های پیچیده محسوب شود [۸].

تحلیل درخت خطا یک ابزار مناسب برای تجزیه و تحلیل شکست و تعیین میزان شکست است. در بعضی موارد، ارتباط بین عوامل اصلی شکست سیستم دشوار یا حتی غیرممکن است. علاوه بر این، محاسبه دستیابی احتمال شکست در زیرسیستم سخت یا غیرممکن است. همچنین، در بعضی از شرایط نبود

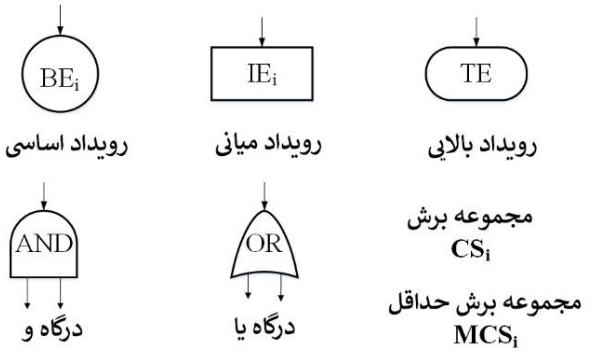
www.SID.ir

Archive of SID

اطلاعات در مورد رویدادهای اصلی حاصل شده و نتایج نامطمئن است. در این مواقع می‌توان برای رفع عدم قطعیت از تحلیل درخت خطای فازی استفاده کرد.

در این روش، تحلیل از کل به جز است که تجزیه و تحلیل را از رویداد بالایی[۳] (کل) آغاز و علل به وجود آورنده را در ساختار درخت خطا به عنوان رویدادهای میانی[۴] و اساسی[۵] (جز) شناسایی می‌کند و تحلیل مساله را تا زمانی که به سطح مناسبی از جزییات برسد ادامه می‌دهد. این روش به صورت گرافیکی و بسیار دقیق، با استفاده از نمادها علل ریشه‌ای حوادث را بررسی می‌کند و می‌تواند احتمال وقوع رویدادها را تخمین بزند [۹].

اصطلاحات و نمادهای درخت خطا: در ساختار درخت خطا از اصطلاحات و نمادهای مختلفی استفاده شده است که نوع رویدادها و ارتباط آن‌ها را با هم به صورت تصویری نشان می‌دهد. مهم‌ترین علایم مورد استفاده در ترسیم درخت خطا در شکل ۱ نشان داده شده است [۱۰].



شکل ۱- اصطلاحات و نمادهای ساختار درخت خطا [۱۰]

رویداد بالایی یا نهایی: رویدادی منحصر به فرد که نقطه شروع ساختار و در بالاترین نقطه درخت خطا است و علل به وجود آورنده آن شناسایی و تجزیه و تحلیل می‌شود.

رویداد میانی: هر رویدادی در ساختمان درخت خطا به استثنای رویداد اصلی که مورد تجزیه و تحلیل بیشتر قرار گرفته است و علل به وجود آورنده آن تعیین می‌شود.

رویداد اساسی: ممکن است با عنوان‌هایی مانند رویدادهای انتهایی یا اولیه نیز خوانده شود و رویدادی است که نمی‌توان علل به وجود آورنده آن را تعیین کرد.

مجموعه برش[۶]: ترکیبی از رویدادهای اساسی است که می‌تواند باعث بروز رویداد اصلی شود، رویداد اصلی ممکن است بیش از یک برش داشته باشد.

مجموعه برش حداقل[۷]: کمترین گروه رویدادهای اساسی که برای وقوع رویداد اصلی لازم و کافی باشد.

درگاه[۸]: رویدادهای مختلف در بدنه درخت خطا به وسیله درگاه به یکدیگر وصل می‌شوند. درگاه‌ها با توجه به نوع خود یک یا چند ورودی دارند ولی تنها دارای یک خروجی‌اند.

درگاه «یا»[۹]: این درگاه برای نشان دادن این حالت که برای وقوع رویداد خروجی رخ دادن یکی از رویدادهای ورودی کافی است به کار گرفته می‌شود. رویداد خروجی ممکن است رویداد میانی یا بالایی باشد و رویدادهای ورودی نیز می‌توانند رویداد میانی، اساسی و یا ترکیبی از آن‌ها باشند.

درگاه «و»[۱۰]: این درگاه به این معنی است که وقوع رویداد خروجی مستلزم رخ دادن کلیه رویدادهای ورودی است. رویداد خروجی می‌تواند رویداد بالایی یا میانی باشد و رویداد ورودی نیز ممکن است رویداد میانی، اساسی و یا ترکیبی از آن دو باشد.

نمادهای انتقال: زمانی که تحلیل‌گر درخت خطا در حین کار بر روی یک شاخه درخت خطا به مرحله‌ای برسد که از آن به بعد در شاخه دیگری از آن درخت خطا نیز تکرار شده باشد می‌تواند آن را به شاخه یاد شده منتقل کند و کار خود را در شاخه جدید به پایان برساند که برای این عمل از نمادهای **«انتقال به»** استفاده می‌شود و از نماد **«انتقال از»** برای نشان دادن ادامه کار در صفحات بعد به ویژه در درخت خطای سیستم‌های بزرگ و پیچیده که در یک صفحه جای نمی‌گیرند نیز استفاده می‌شود.

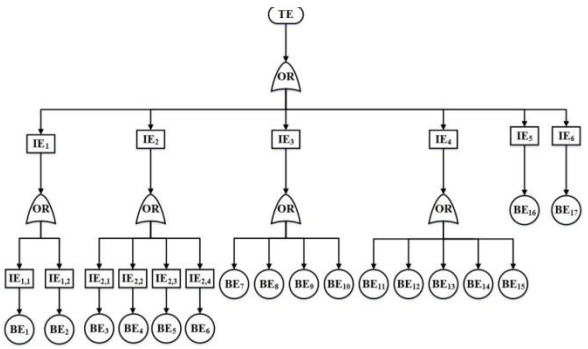
با وجود اینکه تمام سعی بر این بوده که شناسایی جامعی از خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش در معادن سنگ ساختمانی انجام شود؛ ممکن است بعضی از خطرات و یا علل آن‌ها شناسایی نشده و مورد ارزیابی قرار نگرفته باشد. در این تحقیق برای شناسایی خطرات از روش‌های مختلفی همچون تحقیق و مطالعه مقالات گذشته، مصاحبه با متخصصان و استفاده از فرم‌های درس آموزی از حوادث سازمان نظام مهندسی معدن استفاده شده است. خطرات شناسایی شده مربوط به دستگاه سیم‌برش در ۶ گروه خطرات مربوط به اپراتور IE_1، زمین‌شناسی IE_2، طراحی IE_3، تعمیر و نگهداری سیم‌برش IE_4، خطر پرتاب شدن قسمت‌هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر IE_5 و سقوط بلوک سنگ در حین برش IE_6 و ۶ زیر گروه در قالب رویدادهای میانی و علل هریک به عنوان رویداد اساسی در ساختار درخت خطا قرار داده شدند (جدول ۱ و شکل ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش در معادن ساختمانی

رویداد			علت
خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش TE	اپراتور IE_1	عدم کفایت و آگاهی اپراتور $IE_{1,1}$	نبود آموزش BE_1
		عدم توجه $IE_{1,2}$	نبود آموزش BE_2
	زمین شناسی IE_2	تمرکز تنش‌های غیر معمول $IE_{2,1}$	عبور سیم از لبه‌های بلوک سنگ و ناپیوستگی‌های سنگ BE_3
		گسل خوردگی و درزه و شکاف $IE_{2,2}$	عدم شناسایی BE_4
		برخورد با لایه خیلی سخت $IE_{2,3}$	عدم شناسایی BE_5
		برخورد با لایه نرم $IE_{2,4}$	عدم شناسایی BE_6
	طراحی IE_3		رعایت نکردن ارتفاع برش مناسب BE_7
			فشار بیش از حد سیم (کشش دستگاه) BE_8
			زاویه تند برش BE_9
			زاویه باز برش BE_{10}
	نگهداری و تعمیر سیم‌برش IE_4		فرسودگی سیم‌برش BE_{11}
			زدگی در سیم BE_{12}
			انحراف داشتن سیم‌برش BE_{13}
			وجود خاک و سنگریزه در سیم BE_{14}
			خستگی ناشی از تنش خمشی سیم BE_{15}
	خطر پرتاب شدن قسمت‌هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر IE_5		حرکت و ضربه شلاقی ناشی از گسیختگی سیم BE_{16}
	سقوط بلوک سنگ در حین برش IE_6		وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ BE_{17}



شکل ۲- درخت خطای خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش TE

مرحله اول، انتخاب متخصصان: برای انتخاب متخصصان نیاز به افرادی است که اطلاعات و تجربه کافی و به روز در مورد خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش در معادن سنگ ساختمانی داشته باشند و با شیوه اجرای این تحقیق یعنی تحلیل درخت خطای فازی آشنا باشند تا از نظرات آن‌ها بیشترین بهره برده شود (جدول۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مشخصات متخصصان

شماره	عنوان شغل	تجربه کاری	سطح تحصیلات	سن	وزن متخصص	امتیاز وزنی متخصص
۱	کارشناس استخراج	۷	کارشناسی	۳۴	۱۰	۰٫۰۸۷
۲	استادکار	۱۵	زیر دیپلم	۴۲	۹	۰٫۰۷۸
۳	کارمند	۹	کارشناسی ارشد	۳۳	۱۱	۰٫۰۹۶
۴	سرپرست معدن	۶	کارشناسی	۳۵	۱۱	۰٫۰۹۶
۵	سرپرست معدن	۱۳	کارشناسی	۳۳	۱۲	۰٫۱۰۴
۶	معدن کار	۳۰	دیپلم	۵۵	۱۱	۰٫۰۹۶
۷	دارنده پروانه بهره برداری	۱۷	دیپلم	۳۹	۱۰	۰٫۰۸۷
۸	دارنده پروانه بهره برداری	۲۲	کارشناسی ارشد	۴۳	۱۵	۰٫۱۳۰
۹	مدیر عامل	۱۵	کارشناسی	۴۰	۱۴	۰٫۱۲۲
۱۰	کارشناس استخراج	۲	دانشجوی دکتری	۳۰	۱۱	۰٫۰۹۶

مرحله دوم، تعیین وزن متخصصان و کمی‌سازی نظرات: از آن‌جایی که این متخصصان اهمیت وزنی یکسانی ندارند، برای تعیین وزن از روش لواسانی و همکارانش استفاده شده است [۱۱]. در این روش پارامترهای شغل، میزان تجربه کاری بر حسب سال، میزان تحصیلات و سن برای تعیین امتیاز وزنی به کار رفته و شیوه امتیازدهی متخصصان در جدول ۳ ارائه شده است. هدف از مرحله فازی‌سازی، تعیین احتمال شکست اولیه در داده‌ها در قالب تابع عضویت اعداد فازی که از ترم‌های زبانی گرفته شده‌اند، است. به دلیل اینکه روش ذوزنقه‌ای نسبت روش مثلثی کامل‌تر است و توابع مثلثی را هم در نظر می‌گیرد در این پژوهش از عدد فازی ذوزنقه‌ای استفاده شده است تا نظرات متخصصان (جدول ۴) در مورد رویدادهای اساسی را بتوان با استفاده از ترم‌های زبانی خیلی کم (VL)، کم (L)، متوسط (M)، زیاد (H) و خیلی زیاد (VH) که در جدول ۵ ارائه و در شکل ۳ نشان داده شده، جمع‌آوری و فازی‌سازی کرد.

جدول ۳- امتیاز وزنی متخصصان [۱۱]

پارامتر	طبقه بندی	امتیاز	پارامتر	طبقه بندی	امتیاز
عنوان شغل	مدیرعامل	۵	تجربه کاری (سال)	≥۳۰	۵
	کارشناس ارشد (دارنده پروانه بهره - برداری، سرپرست)	۴		۲۰-۲۹	۴
	مهندس (ناظر، کارشناس)	۳		۱۰-۱۹	۳
	اپراتور (استادکار)	۲		۶-۹	۲
	کارگر (معدنکار)	۱		≤۵	۱
سطح تحصیلات	دکتری مهندسی معدن	۵	سن	≥۵۰	۴
	کارشناسی ارشد مهندسی معدن	۴		۴۰-۴۹	۳
	کارشناسی مهندسی معدن	۳		۳۰-۳۹	۲
	فوق دیپلم	۲		<۳۰	۱
	دیپلم و زیر دیپلم	۱			

www.SID.ir

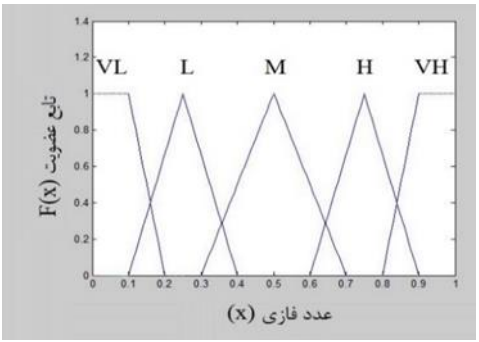
Archive of SID

جدول ۴- نظرات متخصصان در رابطه با رویدادهای اساسی

شماره متخصص	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
BE_1	VL	M	VH	L	M	H	VL	L	H	M
BE_2	VL	M	VH	L	M	VH	L	M	H	H
BE_3	L	M	VH	M	H	H	L	H	M	M
BE_4	M	H	VH	M	M	VH	M	H	M	M
BE_5	L	L	VH	M	M	VH	H	L	M	M
BE_6	VL	L	VH	L	M	M	M	M	M	M
BE_7	L	VL	VH	M	M	M	M	L	VH	H
BE_8	M	L	VH	M	H	H	L	L	H	H
BE_9	L	VL	VH	M	M	H	L	L	M	M
BE_{10}	L	VH	H	L	H	H	M	L	H	M
BE_{11}	M	VH	M	H	H	VH	VL	M	M	H
BE_{12}	H	H	M	H	H	VH	VL	L	VH	H
BE_{13}	H	M	M	H	H	H	M	H	M	H
BE_{14}	L	M	M	H	VH	H	H	M	H	M
BE_{15}	VL	L	M	M	H	H	L	M	H	H
BE_{16}	M	VL	VH	H	H	VH	M	H	VH	H
BE_{17}	M	M	VH	H	L	H	H	VH	VH	M

جدول ۵- ارزش عددی معادل توابع عضویت

ترم‌های زبانی	وزن ترم‌های زبانی			
خیلی کم (VL)	۰	۰	۰/۱	۰/۲
کم (L)	۰/۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۴
متوسط (M)	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۷
زیاد (H)	۰/۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۹
خیلی زیاد (VH)	۰/۸	۰/۹	۱	۱



شکل ۳- اعداد فازی گرافیکی متناظر با توابع عضویت

مرحله سوم، اجماع نظر متخصصان: متخصصان نظرات مختلفی را نسبت به دانش، تجربه و تجربه خود دارند. نکته مهم در این‌جا این است که پس از فرآیند جمع‌آوری نظرات متخصصان توافقی فراهم شود [۱۲]. همچنین گاهی اوقات ممکن است به دلیل عدم وجود داده‌هایی که از محدودیت‌های فیزیکی یا کمبود منابع ناشی می‌شود ابهامی وجود داشته باشد که این ناهماهنگی پس از ترکیب نظرات متخصصان برطرف می‌شود [۱۳]. برای اجماع نظر متخصصان طبق رابطه ۱ که توسط کلمن و وینکلر[11] ارائه شده، باید امتیاز وزنی هر متخصص در ترم‌های زبانی او ضرب شود و به صورت یک عدد فازی ذوزنقه ای $\widetilde{M} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ ارائه شود (جدول ۶) [۱۴].

$$\widetilde{M} = \sum_{i=1}^{m} W_j A_{ij} \,.\quad j = 1.2. \ldots . n \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

$\widetilde{M}$ عدد فازی اجماع نظر متخصصان برای هر رویداد اساسی

A_{ij} ترم زبانی مربوط به رویداد اساسی i توسط متخصص j

W_j امتیاز وزنی متخصص j

m تعداد رویدادهای اساسی

n تعداد متخصصان

m_1، m_2، m_3 و m_4 به ترتیب مولفه‌های اول، دوم، سوم و چهارم عدد فازی $\widetilde{M}$ است.

مرحله چهارم، غیر فازی‌سازی: بعد از اجماع نظر متخصصان در رابطه با احتمال وقوع رویدادهای اساسی به صورت اعداد فازی، و به دلیل متغیرهای زیاد و محاسبات گسترده اعداد فازی، باید اعداد فازی را به اعداد قطعی تبدیل کرد (جدول ۷). برای غیر فازی‌سازی از فرمولی که توسط سوگنو[12] توسعه یافته (روابط ۲ و ۳)، استفاده شده است. دلیل این انتخاب این است که این فرمول تمام نقاط حوزه تعریف و درجه عضویت آن‌ها را در نظر

www.SID.ir

Archive of SID

می‌گیرد [۱۵].

جدول ۶- عدد فازی اجماع نظر متخصصان برای هر رویداد اساسی

رویداد	عدد فازی اجماع نظر متخصصان				رویداد	عدد فازی اجماع نظر متخصصان			
	m_4	m_3	m_2	m_1		m_4	m_3	m_2	m_1
BE_1	۰٫۶۱۷	۰٫۴۷۶	۰٫۴۴۹	۰٫۳۱۶	BE_{10}	۰٫۷۱۳	۰٫۵۶۶	۰٫۵۵۸	۰٫۴۰۳
BE_2	۰٫۷۰۳	۰٫۵۷۰	۰٫۵۴۲	۰٫۳۹۹	BE_{11}	۰٫۷۶۸	۰٫۶۲۷	۰٫۶۰۱	۰٫۴۵۱
BE_3	۰٫۷۴۳	۰٫۵۸۸	۰٫۵۷۸	۰٫۴۱۳	BE_{12}	۰٫۷۷۵	۰٫۶۵۸	۰٫۶۲۷	۰٫۴۹۶
BE_4	۰٫۸۰۰	۰٫۶۴۹	۰٫۶۳۰	۰٫۴۶۰	BE_{13}	۰٫۸۲۳	۰٫۶۵۴	۰٫۶۵۴	۰٫۴۸۴
BE_5	۰٫۶۸۶	۰٫۵۴۴	۰٫۵۲۵	۰٫۳۶۳	BE_{14}	۰٫۷۸۶	۰٫۶۳۲	۰٫۶۲۱	۰٫۴۵۶
BE_6	۰٫۶۳۲	۰٫۴۶۹	۰٫۴۵۱	۰٫۲۸۷	BE_{15}	۰٫۶۹۰	۰٫۵۲۹	۰٫۵۲۰	۰٫۳۶۷
BE_7	۰٫۶۸۰	۰٫۵۴۷	۰٫۵۱۸	۰٫۳۷۱	BE_{16}	۰٫۸۱۲	۰٫۶۸۶	۰٫۶۵۶	۰٫۵۱۵
BE_8	۰٫۷۲۴	۰٫۵۷۹	۰٫۵۶۹	۰٫۴۱۵	BE_{17}	۰٫۸۰۱	۰٫۶۷۱	۰٫۶۴۶	۰٫۴۹۰
BE_9	۰٫۶۱۷	۰٫۴۶۴	۰٫۴۴۶	۰٫۲۹۲	BE_{10}	۰٫۷۱۳	۰٫۵۶۶	۰٫۵۵۸	۰٫۴۰۳

جدول ۷- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به هر یک از رویدادهای اساسی

نماد رویداد	نام رویداد	FPS	FP	اهمیت هر رویداد	رتبه
BE_1	عدم کفایت و آگاهی اپراتور به علت عدم آموزش	۰٫۴۶۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۲۸	۱۵
BE_2	عدم توجه اپراتور به علت نبود آموزش	۰٫۵۵۳	۰٫۰۰۷	۰٫۰۵۲	۱۱
BE_3	عبور سیم از لبه‌های بلوک سنگ و ناپیوستگی‌های سنگ	۰٫۵۸۰	۰٫۰۰۹	۰٫۰۶۲	۸
BE_4	عدم شناسایی گسل خوردگی و درزه و شکاف	۰٫۶۳۳	۰٫۰۱۲	۰٫۰۸۷	۵
BE_5	عدم شناسایی در برخورد با لایه خیلی سخت	۰٫۵۲۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۴۴	۱۳
BE_6	عدم شناسایی در برخورد با لایه نرم	۰٫۴۶۰	۰٫۰۰۴	۰٫۰۲۷	۱۶
BE_7	رعایت نکردن ارتفاع برش مناسب	۰٫۵۲۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۴۴	۱۴
BE_8	فشار بیش از حد سیم (کشش دستگاه)	۰٫۵۷۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۵۸	۹
BE_9	زاویه تند برش	۰٫۴۵۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۲۶	۱۷
BE_{10}	زاویه باز برش	۰٫۵۵۹	۰٫۰۰۸	۰٫۰۵۴	۱۰
BE_{11}	فرسودگی سیم‌برش	۰٫۶۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۷۵	۷
BE_{12}	زدگی در سیم	۰٫۶۳۸	۰٫۰۱۳	۰٫۰۹۰	۴
BE_{13}	انحراف داشتن سیم‌برش	۰٫۶۵۴	۰٫۰۱۴	۰٫۰۹۹	۲
BE_{14}	وجود خاک و سنگریزه در سیم	۰٫۶۲۳	۰٫۰۱۱	۰٫۰۸۱	۶
BE_{15}	خستگی ناشی از تنش خمشی سیم	۰٫۵۲۷	۰٫۰۰۶	۰٫۰۴۳	۱۲
BE_{16}	حرکت و ضربه شلاقی ناشی از گسیختگی سیم	۰٫۶۶۶	۰٫۰۱۵	۰٫۱۰۷	۱
BE_{17}	وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ	۰٫۶۵۰	۰٫۰۱۴	۰٫۰۹۷	۳

$$\mathrm{FPS}=\frac{\int \mu_i(x)dx}{\int \mu_i(x)\,dx}=\frac{\int_{m_1}^{m_2}\frac{x-m_1}{m_2-m_1}dx+\int_{m_2}^{m_3}x.dx+\int_{m_3}^{m_4}\frac{m_4-x}{m_4-m_3}dx}{\int_{m_1}^{m_2}\frac{x-m_1}{m_2-m_1}\mathrm{dx}+\int_{m_2}^{m_3}dx+\int_{m_3}^{m_4}\frac{m_4-x}{m_4-m_3}\mathrm{dx}} \quad (۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\mathrm{FPS}=\frac{1}{3}\times\left[\frac{(m_4+m_3)^2-(m_4\times m_3)-(m_{2+}m_1)^2+(m_2\times m_1)}{(m_4+m_3-m_2-m_1)}\right] \quad (۳)$$

که در این روابط:

$\mu_i(x)$ تابع عضویت جمع شده

x متغیر خروجی

FPS عدد امکانی حاصل از غیر فازی‌سازی[۱۳] است.

مرحله پنجم، تبدیل امکان به احتمال: اعداد قطعی به دست آمده در مرحله قبل هنوز به صورت امکانی است و باید به حالت احتمالی تبدیل شود چرا که محاسبات درخت خطا بر اساس احتمال رویدادها انجام می‌شود. برای این کار از روابط ۴ و ۵ که توسط انیساوا[۱۴] ارائه شده استفاده می‌شود (جدول ۷) [۱۶].

$$\mathrm{FP}=\begin{cases}\dfrac{1}{10^k} & \mathrm{FPS}\neq 0\\ 0 & \mathrm{FPS}=0\end{cases} \quad (۴)$$

$$\mathrm{k}=\left[\left(\frac{1}{\mathrm{FPS}}\right)-1\right]^{\frac{1}{3}}\times 2.301 \quad (۵)$$

که در این روابط:

FP احتمال شکست[۱۵] هر رویداد اساسی

FPS عدد امکانی حاصل از غیر فازی‌سازی

مرحله ششم، تعیین احتمال وقوع رویداد نهایی: بعد از تعیین نرخ احتمال رویدادهای اساسی و با استفاده از اطلاعات به دست آمده، باید نرخ احتمال رویدادهای میانی و نهایی محاسبه شود. هر درخت خطا شامل تعداد زیادی از مجموعه‌های برشی است که برای رویداد نهایی منحصر به فرد است. با داشتن یا محاسبه نرخ احتمال رویدادهای اساسی بسته به نوع درگاه مورد استفاده، می‌توان احتمال هر شاخه را تا رسیدن به رویداد بالایی از پایین به بالا محاسبه کرد (جدول ۸) [۱۷].

جدول ۸- احتمال رویداد نهایی

نماد	نوع	نام رویداد	احتمال
TE	نهایی	خطرات مربوط یه دستگاه سیم‌برش	۰٫۱۳۹

الف- محاسبه احتمال با درگاه "و"

درگاه "و" برای مدلسازی حوادثی که باید به طور همزمان به وقوع پیوسته باشد، استفاده می‌شود. درگاه "و" به یک سیستم موازی متصل می‌شود که احتمال شکست به عنوان محصول احتمال وقایع پس از آن را می‌توان با استفاده از رابطه ۶ محاسبه کرد:

$$P(E_o)=\prod_{i=1}^{n}P(E_i) \quad (۶)$$

ب- محاسبه احتمال با درگاه "یا"

خروجی درگاه "یا" اگر حداقل یک رویداد ورودی رخ دهد، رخ می‌دهد. درگاه "یا" به یک سیستم سری با رویدادهای غیر وابسته مربوط می‌شود که احتمال شکست را می‌توان با استفاده از رابطه ۷ محاسبه کرد.

$$\mathrm{P(E_o)}=1-\prod_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}}(1-\mathrm{P(E_i)})= 1-[(1-\mathrm{P(MCS_1)})\times\ldots\times(1-\mathrm{P(MCS_n)})] \quad (۷)$$

که در آن:

$\mathrm{P(E_o)}$ احتمال وقوع رویداد خروجی از درگاه (نهایی یا میانی)

$\mathrm{P(E_i)}$ یا $\mathrm{P(MCS_i)}$ احتمال وقوع رویداد ورودی به درگاه یا احتمال وقوع هر یک از مجموعه‌های برش حداقل

n تعداد رویدادهای ورودی درگاه و یا تعداد مجموعه‌های برشی حداقل

مرحله هفتم، تعیین میزان اهمیت و رتبه‌بندی مجموعه‌های برشی: بعد از محاسبه نرخ احتمال رویداد نهایی، با استفاده از رابطه فاسل- وسلی[۱۶] (رابطه ۸) باید میزان اهمیت مجموعه‌های برشی حداقل مشخص و رتبه‌بندی شوند. از آنجایی که حوادث از دیدگاه قابلیت اطمینان و ریسک شناسایی می‌شوند، این اهمیت عددی به تمام رویدادهای اساسی و میانی اجازه می‌دهد تا اولویت‌بندی شوند (جدول‌های ۷ و ۹) [۱۸].

$$\mathrm{FVI(i)}=\frac{\mathrm{P(MCS_i)}}{\mathrm{P(TE)}} \quad (۸)$$

که در آن:

$\mathrm{P(MCS_i)}$ احتمال هر یک از مجموعه‌های برشی

$\mathrm{P(TE)}$ احتمال رویداد نهایی

$\mathrm{FVI(i)}$ اهمیت هر یک از مجموعه‌های برشی است.

مرحله هشتم، پاسخ به رویدادهای میانی به‌وجود آورنده ریسک: بعد از ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک نیاز است که برای کنترل ریسک‌های بحرانی اقداماتی انجام شود به همین منظور

www.SID.ir

Archive of SID

برنامه کنترل و پاسخ به ریسک مطرح می‌شود. پاسخ به ریسک از اجزای اصلی مدیریت ریسک به شمار می‌رود که می‌تواند ریسک‌های منفی را کاهش و یا حتی ریسک‌های مثبت را افزایش دهد.

۳- نتایج و بحث

برای اجرای این روش ابتدا با در نظر گرفتن کلیه خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش به عنوان رویداد نهایی که در معادن سنگ ساختمانی اتفاق می‌افتد و تهیه پرسش‌نامه، مهم‌ترین حوادث شناسایی و به عنوان رویدادهای میانی درخت خطا به‌کار برده شد و علل وقوع آن‌ها نیز شناسایی شد، سپس کلیه علل حوادث شناسایی شده (جدول ۱) در قالب رویدادهای میانی و اساسی در یک ساختار بالا به پایین درخت مانند، مرتب (شکل۲) و از آن برای محاسبه احتمال وقوع رویداد نهایی استفاده شده است. همچنین مشخصات متخصصان در جدول ۲ و نظرات آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است، سپس طبق رابطه ۱ امتیاز وزنی هر متخصص در وزن ترم‌های زبانی او ضرب و عدد فازی اجماع نظر متخصصان در رابطه با هر رویداد اساسی در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج حاصل از محاسبات تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی (FPS)، نرخ احتمال (FP) به دست آمده برای هر رویداد اساسی در جدول ۷ نشان داده شده است.

بعد از تعیین نرخ احتمال رویدادهای اساسی و با استفاده از اطلاعات به دست آمده، نرخ احتمال رویدادهای نهایی و میانی محاسبه و در جدول‌هایی ۸ و ۹ نشان داده شده است. برای جلوگیری از خسارات و صدمات و افزایش ایمنی، باید از طریق اقدامات کنترلی میزان احتمال وقوع خطرات را کاهش داد. به همین منظور باید با استفاده از رابطه ۸ میزان اهمیت مجموعه‌های برشی حداقل مشخص و رتبه‌بندی شود که نتایج در جدول ۷ نشان داده شده است. بر اساس محاسبات انجام شده در بین رویدادهای اساسی، مجموعه‌های برشی حداقل خطرات ناشی از حرکت و ضربه شلاقی ناشی از گسیختگی سیم با رتبه ۱ و احتمال ۱۰٫۷۱ درصد، خطرات ناشی از انحراف داشتن سیم‌برش با رتبه ۲ و احتمال ۹٫۸۰ درصد و خطرات ناشی از وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ با رتبه ۳ و احتمال ۹٫۶۱ درصد به عنوان ۳ مسیر بحرانی شناخته شدند که با ارائه راهکارهای زیر می‌توان قابلیت اطمینان سیستم را افزایش و احتمال وقوع آن‌ها را کاهش داد:

- برای جلوگیری از پرتاب قسمت‌هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر از سیم‌برش‌های پلاستیکی به جای فلزی استفاده شود.
- حفاظ‌های پلاستیکی به دور محدوده برش به‌کار برده شود.
- از گیره و بست‌های ایمنی در فواصل مناسب بین سگمنت‌ها استفاده شود تا تعداد سگمنت‌های پرتاب شده کاهش یابد.
- در ساخت سیم‌برش از کابل محوری و اتصالات مقاوم استفاده شود.
- در صورت استفاده از سیم‌برش‌های پلاستیکی، پلیمر مقاوم در ساخت و بافت آن‌ها به‌کار برده شود.
- دستورالعمل‌هایی و جزوات ایمنی تهیه و به پرسنل آموزش داده شود.
- به طور مداوم بر استفاده از وسایل حفاظت فردی و گروهی نظارت و تاکید شود.
- بازدیدهای منظم و نظارتی دقیق از محیط کار انجام شود.
- قبل از شروع فرآیند برش بازرسی‌ها برای اطمینان از عدم وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ انجام شود تا مانع سقوط بلوک سنگ در حین برش شود.

جدول ۹- نرخ احتمال رویدادهای میانی

نماد رویداد	نام رویداد	FP	اهمیت هر رویداد	رتبه
IE_1	اپراتور	۰٫۰۱۱	۰٫۰۷۹	۶
IE_2	زمین‌شناسی	۰٫۰۳۱	۰٫۲۱۶	۲
IE_3	طراحی	۰٫۰۲۵	۰٫۱۸۰	۳
IE_4	نگهداری و تعمیر	۰٫۰۵۳	۰٫۳۸۰	۱
IE_5	خطر پرتاب شدن قسمت‌هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر	۰٫۰۱۵	۰٫۱۰۷	۴
IE_6	سقوط بلوک سنگ در حین برش	۰٫۰۱۴	۰٫۰۹۷	۵

www.SID.ir

Archive of SID

در بین رویدادهای میانی، مجموعه‌های برشی حداقل خطرات ناشی از تعمیر و نگهداری با رتبه ۱ و احتمال ۳۸٫۰۱ درصد، خطرات ناشی از مسایل زمین‌شناسی با رتبه ۲ و احتمال ۲۱٫۷۰ درصد و خطرات ناشی از طراحی نادرست با رتبه ۳ و احتمال ۱۷٫۹۳ درصد به عنوان ۳ مسیر بحرانی شناخته شدند که با ارائه راهکارهای کنترلی می‌توان قابلیت اطمینان سیستم را افزایش و احتمال وقوع آن‌ها را کاهش داد:

- نیروی متخصص برای تعمیرات درست و اصولی به کار گرفته شود.
- از سیستم هوشمند راه‌اندازی و کنترل دستگاه برش استفاده شود تا امکان کنترل و راه‌اندازی نرم دستگاه را در ابتدای برش و نواحی درز و شکاف‌دار سنگ و مناطق دارای تمرکز تنش، فراهم کند.
- از پولی با قطر بزرگ استفاده شود تا تنش خمشی و خستگی ناشی از آن را در سیم‌برش کاهش دهد.
- الزامات ایمنی تعمیر و نگهداری به اپراتورها و تعمیرکاران آموزش داده شود.
- طراحی صحیح سیم‌برش و استفاده از آن به اپراتور آموزش داده شود.
- بازرسی‌های دوره‌ای برای اطمینان یافتن از سالم بودن سیم‌برش الماسه انجام شود.
- زمین‌شناس در منطقه حضور یابد تا شناسایی دقیقی از محدوده برش انجام گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

حوادث و مخاطراتی که در معادن سنگ ساختمانی اتفاق می‌افتد، مهم‌ترین مشکل این معادن محسوب می‌شود که پیامدهای نامطلوب جانی و مالی را به دنبال دارد؛ بنابراین برای جلوگیری از این نتایج، شناسایی و مدیریت خطرات ضروری است و باید اقدامات لازم به این منظور انجام شود به همین جهت در این تحقیق به بررسی این موضوع در معادن سنگ ساختمانی پرداخته شده است. پس از شناسایی خطرات و با تعیین علل هر یک به تحلیل آن‌ها پرداخته و برای تخصیص وزن احتمالات به هر یک از علت‌ها از روش تحلیل درخت خطای فازی استفاده شده است. در ادامه با نظرسنجی از متخصصان و سپس با استفاده از روابط احتمالاتی، میزان احتمال وقوع هر رویداد اساسی در وقوع رویداد نهایی بررسی شده است. در نهایت مجموعه‌های برشی حداقل تعیین و رتبه‌بندی شده است. بحرانی‌ترین مجموعه‌های برشی حداقل مربوط به دستگاه سیم‌برش در بین رویدادهای میانی به ترتیب مربوط به خطرات ناشی از تعمیر و نگهداری، خطرات ناشی از مسایل زمین‌شناسی و خطرات ناشی از طراحی نادرست و در بین رویدادهای اساسی به ترتیب مربوط به خطرات ناشی از حرکت و ضربه شلاقی ناشی از گسیختگی سیم، خطرات ناشی از انحراف داشتن سیم‌برش و خطرات ناشی از وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ است که راهکارهای کنترلی برای افزایش قابلیت اطمینان و کاهش ریسک‌های سیستم ارائه شده‌است. ارزیابی ریسک فعالیت‌های معدنی یکی از اساسی‌ترین مراحل در بررسی خروجی عملیات‌های معدنی است. این تحقیق با بهره‌گیری از کارهای گذشته و استفاده از تئوری فازی به خوبی توانسته بر مشکل ابهام و عدم دقت ناشی از ذهنی بودن اطلاعات غلبه کند و ارزیابی جامعی از ریسک‌های مربوط به دستگاه سیم‌برش در قالب درخت خطا ارائه دهد. پیشنهاد می‌شود از این روش برای سایر خطرات در معادن سنگ ساختمانی و برای ارزیابی ریسک خطرات موجود در معادن روباز یا زیرزمینی استفاده کرد.

منابع

[۱] مرکز آمار ایران ؛ ۱۳۹۰؛ نتایج بازدید از معادن فعال ایران.

[۲] مختاری، میثم؛ کاظمیان فر، محمد؛ خسروی، محمد حسین؛ ۱۳۸۶؛ «**تحلیل ریسک ایمنی دراستخراج سنگ تزیینی به روش سیم برش الماسه**»، اولین همایش سراسری سنگ‌های ساختمانی و صنایع وابسته، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات.

[۳] امیرافشاری، مهدی؛ حسینی، نوید؛ مختاری، میثم؛ ۱۳۸۶؛ «**ضرورت آموزش و فرهنگ سازی HSE در معادن سنگ نما و تزیینی ایران**»، اولین همایش سراسری سنگ‌های ساختمانی و صنایع وابسته، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات.

[۴] میخک بیرانوند، امین؛ الماسی، نجم الدین؛ ۱۳۸۸؛ «**ارزیابی فنی و ایمنی معادن تحت پوشش شرکت معدنی**»، سومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

[5] Yarahmadi, R; Bagherpour, R; Khademian, A; 2014; "*Safety risk assessment of Iran's dimension stone quarries (Exploited by diamond wire cutting method)*", Safety Science, 63, 146-150.

[6] Dehghan, S; Sattari, Gh; 2017; "*Safety Risk Analysis of Teravertine Mines in the Mahallat's Region:Case Study*", Journal of Safety Promotion and Injury Prevention, 5(1):33-42.

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشت‌ها

1- Healthy, Safety, Environmental
2- Watson
3- Top event
4- Intermediate event
5- Basic event
6- Cut set
7- Minimal cut set (MCS)
8- Gate
9- Or gate
10- And gate
11- Clemen and Winkler
12- Sugeno
13- Fuzzy possibility
14- Onisawa
15- Fuzzy probability
16- Fussell - Vesely importance

[7] Ericson, C.A; 2005; "*Hazard Analysis Techniques for System Safety*", New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.

[8] Hassl, DF; 1965; "*Advanced concepts in Fault Tree Analysis*", Boing/UW System Safety Symposium.

[۹] عطائی، محمد؛ ۱۳۹۵؛ «**مدیریت ریسک**»، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۱۰] محمدفام، ایرج؛ ۱۳۹۰؛ «**مهندسی ایمنی**»، چاپ ششم، انتشارات فن‌آوران، تهران.

[11] Lavasani, S. M; Ramzali, N; Sabzalipour, F; Akyuz, E; 2015; "*Utilisation of Fuzzy Fault Tree Analysis FFTA for quantified risk analysis of leakage in abandoned oil and natural-gas wells*", Ocean Engineering, 108, 729-737.

[12] Hsu, H. M; Chen, C. T; 1996; "*Aggregation of fuzzy opinions under group decision making, Fuzzy Sets and systems*", 793, 279-285.

[13] Rausand, M; Arnljot, H; 2004; "*System reliability theory: models, statistical methods, and applications*", Vol. 396. John Wiley Sons.

[14] Clemen, R. T; Winkler, R. L; 1999; "*Combining probability distributions from experts in risk analysis*", Risk analysis, 192, 187-203.

[15] Sugeno, M; 1999; "*Fuzzy Modeling and Control*", first edition, CRC Press, Florida, USA.

[16] Onisawa, T; 1990; "*An application of fuzzy concepts to modelling of reliability analysis*", Fuzzy sets and Systems, 373, 267-286.

[17] Lindhe, A; Rosén, L; Norberg, T; & Bergstedt, O; 2009; "*Fault tree analysis for integrated and probabilistic risk analysis of drinking water systems*", Water research, 436, 1641-1653.

[18] Wang, D; Zhang, P; Chen, L; 2013; "*Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks*", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 266, 1390-1398.

www.SID.ir