

بررسی خطاهای انسانی برای حالت تجمع در شرایط اضطراری با استفاده از روش شاخص احتمال خطای انسانی (HEPI)، در انبار شرکت نفت همدان

ایرج محمدفام^۱ - قاسم حسام^{۲*} - رزاق رحیم پور^۲ - مازیار ارسی^۲

ghasem_hesam@yahoo.com

چکیده

مقدمه: یکی از عوامل تاثیرگذار بر خطای انسانی، شرایط اضطراری می‌باشد. این تحقیق با هدف ارزیابی خطاهای انسانی در شرایط اضطراری حریق و انفجار در انبار شرکت نفت همدان با استفاده از روش شاخص احتمال خطای انسانی (HEPI) انجام شد.

روش کار: ابتدا سناریوی شرایط اضطراری بروز آتش سوزی و انفجار در انبار شرکت نفت طراحی و مانور مقابله با آن اجرا شد. سپس پرسشنامه رتبه‌بندی شده تجمع برای مانور تکمیل گردید. داده‌های جمع‌آوری شده جهت محاسبه احتمال موفقیت برای ۱۸ حرکت مورد نیاز در شرایط اضطراری از نقطه شروع تجمع تا آخرین حرکت در پناهگاه موقت ایمن در قالب روش HEPI پردازش شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بیشترین احتمال بروز خطا در حرکت ایمن‌سازی محیط کار (فاز ارزشیابی) با احتمال ۳۲/۴ درصد و کمترین احتمال بروز خطا در حرکت کشف آلارم (فاز آگاهی) با احتمال ۱/۸ درصد می‌دهد. همچنین بیشترین شدت خطا در فاز ارزشیابی و خروج و کمترین شدت خطا در فاز آگاهی و بازیابی می‌باشد. بالاترین سطح ریسک نیز مربوط به حرکت‌های ارزیابی مسیرهای خروج بالقوه و انتخاب یک مسیر و گزینش مسیر خروج دیگر و کمترین سطح ریسک نیز مربوط به چهار حرکت فاز بازیابی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: برای کاهش ریسک واکنش در فاز خروج، یافته‌های این مطالعه بر ارزیابی دوره ای مسیرهای خروجی و اصلاح آن‌ها در صورت نیاز، برگزاری مانورهای بیشتر و تحلیل نتایج آنها به همراه ارایه بازخوردهای مناسب به کارکنان تاکید می‌کند.

کلمات کلیدی: احتمال خطای انسانی، شرایط اضطراری، آتش‌سوزی و انفجار

۱ - دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان
۲ - کارشناس، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان

مقدمه

معرفی فن‌آوری‌های جدید و کاربرد گسترده آن‌ها در صنایع مختلف در دهه‌های اخیر به رفاه روزافزون نسل بشر منتهی گشته است ولی در کنار آن انسان را با معضل جدیدی با عنوان حوادث نیز مواجه ساخته است (Nolan, 2010). بر اساس آمارهای منتشر شده، هر ساله در محیط‌های شغلی تعداد زیادی از کارگران جان خود را از دست می‌دهند. سازمان بین‌المللی کار در گزارشی در سال ۲۰۰۳ اعلام نمود که در دنیا سالیانه حدود ۳۵۸ هزار کارگر بر اثر حوادث حین کار جان خود را از دست می‌دهند (International Labour Office, 2003). مطالعات انجام شده در زمینه حوادث صنعتی نشان داده است که عامل انسانی مهم‌ترین و اصلی‌ترین نقش را در بروز حوادث دارد به طوریکه ۶۰ الی ۹۰ درصد حوادث در نتیجه مستقیم خطاها و اشتباهات انسانی به وقوع می‌پیوندند (Kletz, 2001).

مطالعات انجام شده بر روی مرگ و میر ناشی از کار در جهان نشان می‌دهد که حوادث، علت بیشترین مرگ و میر ناشی از کار در قاره آسیا می‌باشد (Hämäläinen et al., 2007). کشور ایران نیز که در راه توسعه و صنعتی شدن گام برمی‌دارد از این قاعده مستثنی نیست. براساس اعلام دفتر آمار و محاسبات اقتصادی و اجتماعی صندوق تأمین اجتماعی و به گزارش خبرگزاری کار ایران (Iranian Labor News Agency)، ILNA تا پایان آذرماه سال ۱۳۹۰، ۲۷۶ بیمه‌شده زن و ۱۴ هزار و ۷۴۳ بیمه‌شده مرد تأمین اجتماعی دچار حادثه ناشی از کار شدند که بی‌احتیاطی با ۵۶/۳ درصد (۸ هزار و ۹۰۷ نفر) بیشترین عامل ایجاد آسیب‌دیدگی در محیط کار بوده است (ILNA).

بنابراین لزوم پیشگیری از بروز حوادث، یک ضرورت برای بقاء سازمان‌ها محسوب می‌شود. این امر مستلزم ریشه‌یابی علل حوادث می‌باشد. عوامل ایجاد کننده حوادث شامل اعمال نا ایمن انسانی، شرایط

نا ایمن و بلایای طبیعی می‌باشد که رفتارهای نا ایمن انسانی بیشترین سهم (۸۸ درصد) را به خود اختصاص داده است (Hosseinian and Torghabeh, 2012). خطای انسانی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین انواع رفتارهای نا ایمن یک تصمیم یا رفتار نامناسب است که می‌تواند از اثربخشی، ایمنی یا عملکرد سیستم بکاهد (Sanders and McCormick, 1987). عوامل تاثیرگذار بر خطای انسانی متنوع بوده که یکی از آن عوامل شرایط اضطراری می‌باشد. در شرایط اضطراری به دلیل این که مدت‌زمان پاسخگویی فرد به شرایط، کم می‌باشد میزان بار ذهنی وارده بر فرد بالا می‌رود و به دنبال آن میزان بروز خطای انسانی، افزایش می‌یابد (Jou et al., 2011; Kim et al., 2004).

انبار نفت که گاهی اوقات با نام ترمینال نفت نیز خوانده می‌شود، در تاسیسات صنعتی برای ذخیره‌سازی نفت (از جمله نفت خام) و یا محصولات شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. انبار نفت معمولاً به منظور تحویل دادن محصول به مشتری، ذخیره‌سازی مواد یا پالایش محصولات، در انتهای مسیر حمل و نقل قرار می‌گیرد (Allee et al., 2012). انبار نفت به دلیل ماهیت فیزیکی و شیمیایی نفت، محل خطرناکی می‌باشد که می‌تواند خطراتی همچون آتش‌سوزی و انفجار در آن جا رخ دهد که این به نوبه‌ی خود می‌تواند تهدیدکننده‌ی شرایط ایمن در انبار نفت باشد (Devenish and Edwards, 2009). یکی از عوامل ایجاد کننده آتش‌سوزی و انفجار، خطای انسانی می‌باشد.

به دلیل پیشرفت نسبتاً کند در زمینه کمی‌سازی قابلیت اطمینان انسانی، نیاز به فراهم نمودن روش‌های مفیدی جهت کمی‌سازی خطای انسانی می‌باشد که می‌تواند چارچوب اصلی ارزیابی کمی ریسک را نیز در برگیرد. در این راستا در خلال سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۵، فیصل خان، پاول آمیوت و دینو دیماتیا شاخص احتمال خطای انسانی HEPI

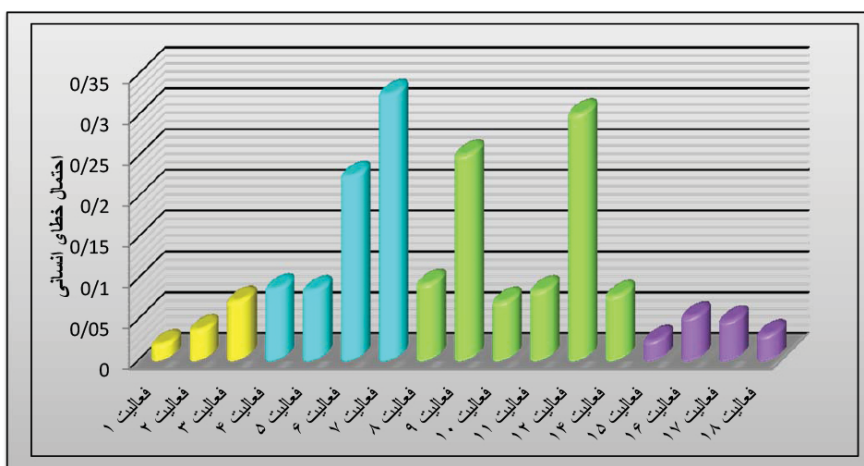
روش کار

این مطالعه با هدف تعیین احتمال خطای انسانی و ریسک مربوطه برای حالت تجمع در شرایط اضطراری با استفاده از روش شاخص احتمال خطای انسانی (HEPI)، در انبار شرکت نفت همدان انجام شد. این شاخص رویکردی کمی و پویایی را برای مدنظر قرار دادن فاکتورهای انسانی در ارزیابی ریسک، تأمین می‌نماید. این شاخص ابتدا جهت تأمین یک روش برای شناسایی، ارزیابی و کاهش ریسک‌های مربوط به خطای انسانی، در حین تجمع در شرایط اضطراری در سکوهای فراساحلی توسط دی‌ماتیا و همکاران در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ با توسعه و گسترش یافت (DiMattia et al., 2005). با محاسبه احتمالات خطای انسانی و پیامدهای آن‌ها برای حرکت‌های مختلف تجمع، ریسک تخمین زده خواهد شد.

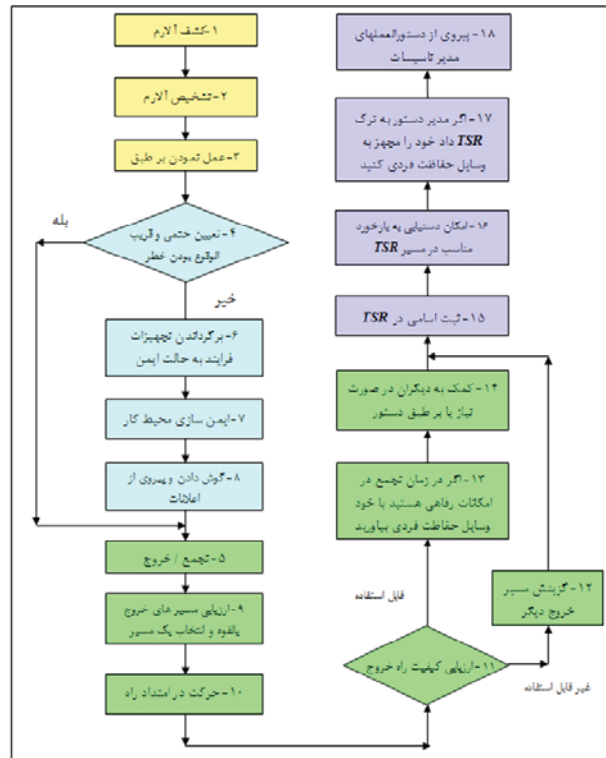
طرح کلی این روش از ۹ گام تشکیل شده است که گام‌های ۱ تا ۶ را می‌توان به‌وسیله انجام یک تجزیه و تحلیل اختصاصی ریسک که ماهیت کمی داشته باشد، کامل نمود. با تجزیه و تحلیل ریسک به‌وسیله یک تیم با تجربه، گام‌های ۷ تا ۹ تکمیل می‌شود. انجام این گام‌ها

Human Error Probability Index با رویکردی مبتنی بر روش شاخص احتمال موفقیت SLIM (Success Likelihood Index Methodology را ارایه دادند (DiMattia, 2004; DiMattia et al., 2005; Khan et al., 2006).

روش HEPI برای اولین بار در سال ۲۰۰۵ توسط ارایه دهندگان این روش بر روی سکوهای دریایی برای سه سناریوی سقوط در دریا، نشت گاز و آتش‌سوزی و انفجار اجرا شد (DiMattia et al., 2005). این روش در سال ۲۰۱۱ توسط DiMattia و همکاران بر روی تانکرهای حمل گاز مایع طبیعی LNG مورد استفاده قرار گرفت (DiMattia, 2011). در ایران نیز در سال ۱۳۸۸ این روش توسط رحیمی و همکاران (Rahimi Kamal et al., 2009) برای ارزیابی خطاهای انسانی در شرایط اضطراری در تاسیسات تقویت فشار گاز به‌کار گرفته شد. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی خطاهای انسانی در شرایط اضطراری حریق و انفجار در انبار شرکت نفت همدان با استفاده از روش HEPI می‌باشد.



شکل ۱: احتمال خطای انسانی در ۱۸ فعالیت تجمع (فعالیت ۱۳ در اماکن می‌باشد و جزو سناریوی تجمع محسوب نمی‌شود)



شکل ۲: ۱۸ حرکت تجمع در شرایط اضطراری (هر رنگ مربوط به یک فاز می‌باشد و اعداد نشانگر توالی حرکت‌ها هستند) (DiMattia, 2004).

گام ۳ و ۴: رتبه بندی عامل شکل دهی عملکرد، PSF، Performance Shaping Factors و تعیین نرخ (δ) و وزن (σ) آن.

رتبه PSFها از جمع مقادیر به دست آمده از پرسش‌ها در پرسشنامه رتبه‌بندی شده HEPI برای مانور به دست می‌آید. نرخ و وزن عوامل شکل‌دهی عملکرد نیز پس از تعیین رتبه‌ها از گراف‌های مربوطه محاسبه می‌گردد. (نمونه‌ای از گراف‌ها در شکل ۳ و ۴ پیوست شده است).

گام ۵: تعیین مقادیر شاخص احتمال موفقیت.

جهت محاسبه شاخص احتمال موفقیت SLI (Success Likelihood Index) برای هر فعالیت تجمع از معادله زیر استفاده می‌گردد:

$$SLI(\psi) = n \cdot \text{weight}(\sigma) \times \text{rating}(\delta)$$

SLI کل (Ω) برای یک فعالیت تجمع که مجموع

نیازمند تیمی با تجربه جهت پاسخگویی به سوالات مرتبط می‌باشد. ترتیب تجمع در HEPI شامل ۱۸ حرکت یا فعالیت متفاوت است (شکل ۲).

گام‌های اصلی اجرای مطالعه HEPI

گام ۱: تنظیم سناریوی شرایط اضطراری و انجام مانور: ابتدا سناریوی شرایط اضطراری با عنوان آتش‌سوزی و انفجار، جهت انجام مانور شرایط اضطراری در انبار شرکت نفت تهیه می‌گردد. سپس مانور برطبق سناریوی مذکور انجام می‌پذیرد.

گام ۲: جمع آوری داده‌ها (از طریق پرسشنامه‌های تجمع در شرایط اضطراری)

با توجه به مانور صورت پذیرفته، پرسشنامه رتبه بندی شده تجمع برای شاخص HEPI، برای مانور تکمیل می‌گردد. (جدول ۵).

جدول ۱: تعیین احتمال خطای انسانی و سطح ریسک برای تجمع در شرایط اضطراری

ردیف	Ω	Log pos	pos	Hep= 1-pos	سطح احتمال	شدت پیامد	ریسک	سطح ریسک
۱	۶۸,۸۸۸	-۰,۰۰۸	۰,۹۸۲	۰,۰۱۸	B	بالا	متوسط	متوسط
۲	۶۴,۰۲۳	-۰,۰۱۶	۰,۹۶۴	۰,۰۳۶	B	بالا	متوسط	متوسط
۳	۵۳,۶۴۳	-۰,۰۳۲	۰,۹۲۹	۰,۰۷۱	B	متوسط	۳B	متوسط
۴	۴۹,۵۲۴	-۰,۰۳۹	۰,۹۱۴	۰,۰۸۶	B	بالا	متوسط	متوسط
۵	۴۹,۶۱۲	-۰,۰۳۸	۰,۹۱۶	۰,۰۸۴	B	بحرانی	1B	بالا
۶	۴۶,۰۹۶	-۰,۰۱۰	۰,۷۷۶	۰,۲۲۴	A	بحرانی	1A	بالا
۷	۳۸,۱۷۵	-۰,۰۱۷	۰,۶۷۶	۰,۳۲۴	A	بالا	2A	بالا
۸	۴۶,۹۹۲	-۰,۰۴۲	۰,۹۰۸	۰,۰۹۲	B	بحرانی	1B	بالا
۹	۴۴,۳۴۸	-۰,۰۳۵	۰,۷۵۰	۰,۲۵۰	A	بحرانی	1A	بالا
۱۰	۵۴,۱۸۲	-۰,۰۲۲	۰,۹۲۰	۰,۰۷۰	B	متوسط	3B	متوسط
۱۱	۴۹,۶۴۰	-۰,۰۳۸	۰,۹۱۶	۰,۰۸۴	B	بالا	2B	متوسط
۱۲	۳۹,۹۵۸	-۰,۰۱۵	۰,۷۰۰	۰,۳۰۰	A	بحرانی	1A	بالا
۱۳	این حرکت در اماکن می‌باشد و جزو سناریوی تجمع محسوب نمی‌شود.							
۱۴	۵۳,۱۳۳	-۰,۰۳۵	۰,۹۲۲	۰,۰۷۸	B	متوسط	3B	متوسط
۱۵	۶۷,۹۶۶	-۰,۰۱۰	۰,۹۷۷	۰,۰۲۳	B	پایین	4B	کم
۱۶	۵۹,۳۵۹	-۰,۰۲۲	۰,۹۴۸	۰,۰۵۲	B	پایین	4B	کم
۱۷	۶۰,۷۹۷	-۰,۰۲۱	۰,۹۵۳	۰,۰۴۷	B	پایین	4B	کم
۱۸	۶۶,۰۸۸	-۰,۰۱۳	۰,۹۷۰	۰,۰۳۰	B	پایین	4B	کم

جدول ۲: مقادیر احتمال خطای انسانی، پیامدها و سطوح ریسک در مانور آتش سوزی

فاز	حرکت	HEP=1-POS	خطا (p)	احتمال (S)	پیامد (S)	ریسک R-P×S	اهمیت نسبی فاز	الویت ریسک = ریسک × اهمیت فاز
آگاهی	۱	۰,۰۱۸	۳	۵	۵	۱۵	۵	۷۵
	۲	۰,۰۳۶	۳	۵	۵	۱۵	۵	۷۵
	۳	۰,۰۷۱	۳	۳	۳	۹	۵	۴۵
ارزشیابی	۴	۰,۰۸۶	۳	۵	۵	۱۵	۳	۴۵
	۵	۰,۰۸۴	۳	۳	۷	۲۱	۳	۶۳
	۶	۰,۲۲۴	۵	۵	۷	۳۵	۳	۱۰۵
	۷	۰,۳۲۴	۵	۵	۵	۲۵	۳	۷۵
	۸	۰,۰۹۲	۳	۳	۷	۲۱	۵	۱۰۵
خروج	۹	۰,۲۵۰	۵	۵	۷	۳۵	۵	۱۷۵
	۱۰	۰,۰۷۰	۳	۳	۳	۹	۵	۴۵
	۱۱	۰,۰۸۴	۳	۳	۵	۱۵	۵	۷۵
	۱۲	۰,۳۰۰	۵	۵	۷	۳۵	۵	۱۷۵
۱۳	این حرکت در اماکن می‌باشد و جزو سناریوی تجمع محسوب نمی‌شود.							
بازیابی	۱۴	۰,۰۷۸	۳	۳	۳	۹	۵	۴۵
	۱۵	۰,۰۲۳	۳	۳	۱	۳	۱	۳
	۱۶	۰,۰۵۲	۳	۳	۱	۳	۱	۳
	۱۷	۰,۰۴۷	۳	۳	۱	۳	۱	۳
	۱۸	۰,۰۳۰	۳	۳	۱	۳	۱	۳

SLI ها برای شش PSF شامل استرس، پیچیدگی کار، آموزش، تجربه، عامل رویداد و عامل شرایط جوی می‌باشد از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$\Omega = \sum \psi$$

این مقدار Ω SLI، در گام ۶ برای تخمین احتمال به پایان رساندن موفقیت‌آمیز یک فعالیت تجمع مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گام ۶ تعیین مقادیر احتمال خطای انسانی مقادیر لگاریتم احتمال موفقیت POS (Probability of Success)، برای هر فعالیت تجمع، از گراف‌های مرجع SLI (شکل ۵) تعیین می‌گردد. برای تعیین احتمال موفقیت (POS)، معکوس لگاریتم POS، Anti Log گرفته می‌شود. متعاقب آن، احتمال خطای انسانی (HEP)، برای هر فعالیت تجمع با استفاده از

رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$HEP = 1 - POS$$

ریسک‌های کم می‌باشد (جدول ۷).

گام ۸: اجرای اقدامات تخفیف ریسک برای ریسک‌های غیرقابل قبول به منظور کاهش آن‌ها.
در گام ۸ برای ریسک‌های غیرقابل قبول، اقدامات تخفیف دهنده ریسک پیشنهاد می‌شود. (جدول ۸)

در پایان گام ۶، یک جزء از ریسک (احتمال) برآورد می‌گردد. برای انجام ارزیابی فراگیر ریسک، لازم است تا جزء دوم (شدت پیامد) نیز برآورد شود.

گام ۹: تعیین سطح ریسک تجدید نظر شده.
در صورتی که اقدامات کاهش ریسک به کار برده شوند، $n-1$ وزن PSF دوباره محاسبه نمی‌شود. انجام اقدامات کاهش ریسک، کیفیت PFS ها و در نتیجه مقدار آن‌ها را افزایش می‌دهند. درصد پیشرفت بر مبنای تفاوت بین مقدار PSF تعیین شده هنگام فرآیند رتبه بندی HEPI و نرخ PSF بهینه می‌باشد. نرخ PSF بهینه بالاترین مقادیر داده شده در گراف‌های مرجع مورد استفاده در گام

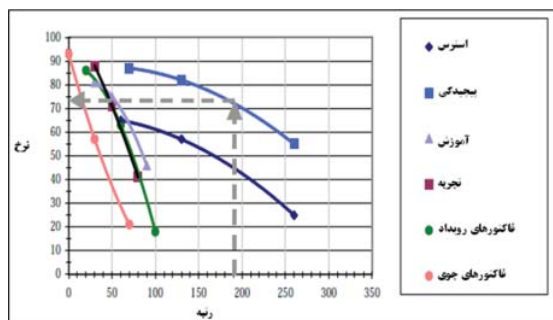
گام ۷: تعیین پیامدها و برآورد سطوح ریسک.
در این مرحله براساس توانایی فرار از محل حادثه، تعداد افرادی که به جایگاه امن می‌رسند، آغازگر تجمع و میزان صدمه‌ای که به افراد می‌رسد شدت حادثه تعیین می‌شود (جدول ۶). سپس توسط جدول برآورد سطح ریسک، این عامل برآورد می‌شود. در این جدول قسمت سیاه مربوط به ریسک‌های بالا، قسمت خاکستری مربوط به ریسک‌های متوسط و قسمت سفید مربوط به

جدول ۳: احتمال و الویت ریسک قبل از اقدامات اصلاحی

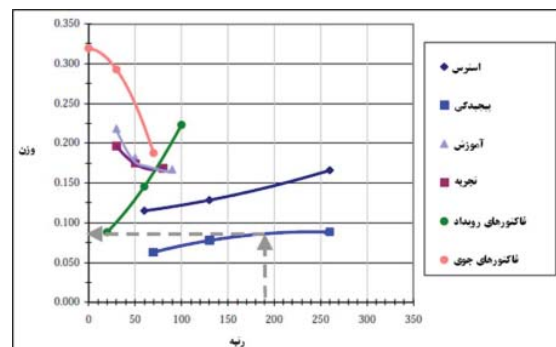
ردیف	Ω	Log pos	pos	Hep= 1-pos	سطح احتمال	شدت پیامد	ریسک	اهمیت نسبی	الویت ریسک
۱۲	۳۹,۹۵۸	-۰,۱۵۵	۰,۷۰۰	۰,۳۰۰	۵	۷	۳۵	۵	۱۷۵

جدول ۴: احتمال و الویت ریسک بعد از اقدامات اصلاحی

ردیف	Ω	Log pos	pos	Hep= 1-pos	سطح احتمال	شدت پیامد	ریسک	اهمیت نسبی	الویت ریسک
۱۲	۴۹,۹۷	-۰,۰۳۸	۰,۹۱۶	۰,۰۸۴	۳	۷	۲۱	۵	۱۰۵



شکل ۴: گراف‌های مرجع نرخ PSF ها برای حرکت کشف آلام (DiMattia, 2004).



شکل ۳: گراف مرجع n -وزن PSF ها برای حرکت کشف آلام (DiMattia, 2004).

جدول ۵: پرسشنامه رتبه بندی شده تجمع برای شاخص HEPI.
(DiMattia, 2004)

(۱) چه چیزی آغاز کننده تجمع می باشد؟ (فاکتور رویداد، استرس، دشواری)				
۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۰
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۲) ریسک مستقیم آغاز کننده تجمع چیست؟ (فاکتور رویداد، استرس، دشواری)				
۰	۱۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۳) در زمان تجمع وضعیت هوا چگونه است؟ (فاکتور شرایط جوی، استرس، دشواری)				
۳۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۴) چه زمانی از شبانه روز تجمع آغاز شده؟ (استرس، دشواری)				
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۵) عنوان تعلق کارکنان چیست؟ (آموزش)				
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۶) تجربه کارکنان در چه سطحی است؟ (تجربه، آموزش)				
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۷) افراد با توجه به شغل در زمان تجمع چگونه مشخص می شوند؟ (تجربه، دشواری)				
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۸) شغل افراد در زمان تجمع تا چه حد دشوار است؟ (دشواری)				
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۹) سطح حساسیت شغل در زمان تجمع در شرایط اضطراری چقدر است؟ (استرس)				
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۱۰) موقعیت فرد در ارتباط با آغاز کننده تجمع چگونه است؟ (استرس، دشواری، فاکتور رویداد)				
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۱۱) در زمان تجمع چند نفر از کارکنان در ناسیما بودند؟ (استرس، دشواری)				
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مجموع:				
(۱۲) آیا کارکنان هرگونه آموزش های تخصصی در این مورد دیده اند؟ (آموزش، دشواری، استرس)				
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
مجموع:				

یافته‌ها

برای تعیین مقدار و رتبه عامل های شکل دهی عملکرد در سناریوهای آتش سوزی و انفجار، با توجه به رتبه‌های داده شده به سوالات مربوط در پرسشنامه و نمودارهای مرجع، مقدار و رتبه برای ۱۷ فعالیت از ۱۸ فعالیت موجود محاسبه شده‌است. فعالیت ۱۳ در اماکن می‌باشد و جزو سناریوی تجمع

چهارم روش HEPI می‌باشد. نرخ جدید PSF به صورت زیر محاسبه می‌شود:

مقدار جدید $PSF = \text{درصد بهبود تخمینی} \times (\text{مقدار اولیه} - PSF) + \text{مقدار اولیه}$
 سپس با توجه به این مقدار جدید، گام‌های ۵ تا ۷ مجدد برای تخمین سطوح ریسک تجدید نظر شده انجام می‌گردد.

جدول ۶: جدول تعیین شدت حادثه (DiMattia, 2004).

شدت	قابلیت خروج	سایر POB	شروع کننده تجمع	سلامتی
بحرانی (C)	نمی تواند به پناهگاه امن منتهی شود. نمی تواند به یک تخلیه امن منجر شود	بازدارنده یک یا چند نفر از افراد در رسیدن به پناهگاه امن. بازدارنده سایرین از داشتن یک تخلیه امن	شروع تجمع را به طور جدی ایجاد می کند، در سطحی که فرصت زیادی برای انجام آن وجود نخواهد داشت	به مرگ منتهی خواهد شد
بالا (H)	نمی تواند به پناهگاه امن منتهی شود یا عمل در TSR کامل نمی شود	بازدارنده یک یا چند فرد در رسیدن به پناهگاه امن یا بازدارنده سایرین در کامل کردن عمل TSR	شروع تجمع را در سطحی ایجاد می کند که احتمال آسیب در آن وجود دارد.	به آسیب فیزیکی جدی منتهی می شود
متوسط (M)	تاخیر جدی یا متوسط در رسیدن به پناهگاه امن. تاخیر جدی یا متوسط در انجام عمل TSR	به طور جزئی یا متوسط سایرین را در رسیدن به پناهگاه امن یا اتمام عمل دچار تاخیر می کند	شروع کننده تجمع در سطحی که یک تاخیر متوسط یا جدی را در رسیدن به پناهگاه امن ایجاد می کند	قابلیت آسیب کم تا متوسط
پایین (L)	تاخیر جزئی در رسیدن به پناهگاه امن یا در انجام عمل TSR	تاخیر جزئی برای دیگران در رسیدن به پناهگاه امن یا انجام عمل TSR توسط دیگران	بعید است که شروع تجمع را ایجاد می کند و بر زمان تجمع تاثیر ندارد	احتمالا بدون آسیب

جدول ۷: جدول بر آورد سطح ریسک (DiMattia, 2004).

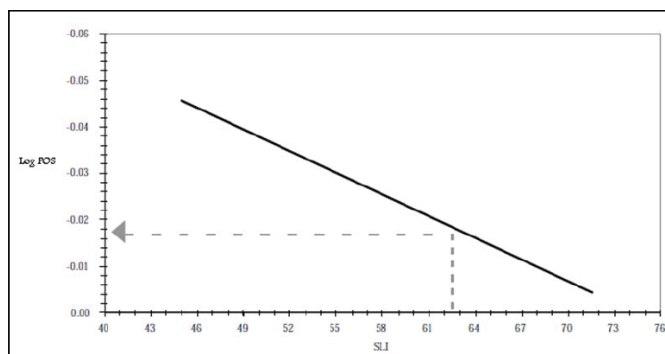
طبقه	احتمال خطای انسانی	شدت نتیجه		
		بحرانی (1)	بالا (2)	متوسط (3)
A	۱/۱۰ تا ۰/۱	1A	2A	3A
B	۰/۱ تا ۰/۰۱	1B	2B	3B
C	۰/۰۱ تا ۰/۰۰۱	1C	2C	3C
کم (4)		کم (4)		

جدول ۸: جدول اقدامات تخفیف دهنده ریسک غیر قابل قبول (DiMattia, 2004).

فعالیت	اقدامات کاهش ریسک ممکن	بهبود تخمینی
۱ تشخیص آلام	آشنایی کارکنان با آلامها، برگزاری مانور با سناریوهای مختلف، بازرسی، آزمایش و تعمیرات پیشگیرانه آلامها، نصب آلام از دو نوع دیداری و شنیداری	٪۴۰
۳ عمل نمودن برطبق آن	تهیه و بازنگری روش اجرایی آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری، مشخص نمودن وظایف افراد در شرایط اضطراری، برگزاری مانور با سناریوهای مختلف	٪۲۵
۵ تجمع / خروج	نصب تابلوهای راهنما به سمت محل تجمع ایمن، مشخص نمودن مسیرهای خروج اضطراری با تابلوهای شبرنگ	٪۲۰
۶ برگرداندن تجهیزات و فرایندها به حالت ایمن	آموزش جهت درک اهمیت برگرداندن سیستم آتش و گاز به حالت اولیه، تعمیرات بخش های آسیب دیده	٪۲۰
۷ ایمن سازی محیط کار	آموزش و توضیح دادن اهمیت گازسنجی محل جهت پیشگیری و توقف نشت گاز برای جلوگیری از بازگشت به وضعیت بحران	٪۲۵
۸ گوش دادن و پیروی از اعلانات	بازرسی و آزمایش دوره ای سیستم پیچینگ، تهیه و بازنگری روش اجرایی آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری، مشخص نمودن وظایف افراد در شرایط اضطراری، برگزاری مانور با سناریوهای مختلف	٪۳۰
۱۲ انتخاب مسیر خروج دیگر	تهیه نقشه ای از سایت که راه های خروج اضطراری در آن مشخص شده باشد و قرار دادن در دسترس افراد ذیصلاح، مشخص نمودن مسیرهای خروج اضطراری با تابلوهای شبرنگ، بازدید دوره ای و اطمینان از باز بودن درهای اضطراری و مسدود نبودن مسیرها	٪۲۵

به منظور محاسبه شاخص موفقیت کل SLI بدست آمده برای تمامی PSF های هر فعالیت را با هم جمع نموده و بدین صورت SLI کل برای هر فعالیت در سناریو بدست آمد.

محسوب می شود. جهت تعیین شاخص احتمال موفقیت برای هر سناریوی فوق، نرخ و وزن به دست آمده برای هر فعالیت تجمع را در هم ضرب نموده و بدین ترتیب SLI هر فعالیت محاسبه گردید. سپس



شکل ۵: گراف مرجع احتمال موفقیت (POS). شاخص احتمال موفقیت با دامنه ۴۰-۷۶ (DiMattia, 2004).

برای تعیین مقادیر احتمال خطای انسانی با استفاده از SLI کل و نمودارهای مرجع Log POS برای هر فعالیت، به دست آمد، سپس Anti Log محاسبه شد و POS تعیین گردید و در نهایت مقدار احتمال موفقیت از عدد ۱ کم شده و مقدار احتمال خطا برای هر فعالیت تعیین گردید. سپس برای تعیین شدت حادثه براساس توانایی فرار از محل حادثه، تعداد افرادی که به جایگاه امن می‌رسند، آغازگر تجمع و میزان صدمه‌ای که به افراد می‌رسد شدت حادثه به صورت بحرانی، بالا، متوسط و پایین تعیین شد. با ضرب شدت در احتمال و قرار دادن نتیجه در جدول ریسک، سطح ریسک برآورد گردید.

نتایج در جدول ۱ آمده است. شکل ۱ احتمال خطای انسانی را در فعالیت‌های مختلف بهتر نمایش می‌دهد. برای معنی دار شدن عدد ریسک در جداول ریسک HEPI برای شدت‌های بحرانی، بالا، متوسط و پایین بر اساس اصول کمی سازی در تئوری فازی به ترتیب اعداد ۷، ۵، ۳ و ۱ در نظر گرفته شدند. برای احتمال‌های مکرر، محتمل و به ندرت به ترتیب اعداد ۵، ۳ و ۱ مد نظر قرار گرفتند.

(Lijuan and Shinan, 2011). بر اساس روش دلفی احتمال خطای مکرر در دامنه ۰/۱ تا ۱، احتمال خطای محتمل در دامنه ۰/۰۱ تا ۰/۱ و احتمال خطای به ندرت در دامنه ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۱ تعریف شد. برای تعیین اهمیت نسبی هر فاز با روش وزن‌دهی زوجی از نظر خبرگان استفاده شد و برای هر یک از فازهای آگاهی، ارزشیابی، خروج و بازیابی به ترتیب وزن‌های ۵، ۳، ۵ و ۱ حاصل شد. به این ترتیب فازهای آگاهی و خروج دارای بیشترین اهمیت نسبی هستند، سپس فاز ارزشیابی قرار دارد و کم‌ترین اهمیت نسبی مربوط به فاز بازیابی می‌باشد. نتایج در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ نشان می‌دهد که الویت ریسک در فعالیت‌های ۹ و ۱۲ بیشترین مقدار را دارد. با توجه به این که احتمال خطا در فعالیت ۱۲ بیشتر است پس اقدامات اصلاحی را در این فعالیت لحاظ می‌کنیم. با توجه به جدول اقدامات تخفیف دهنده ریسک غیرقابل قبول، در فعالیت ۱۲ میزان بهبود تخمینی ۲۵ درصد در نرخ PSF ها می‌باشد. با لحاظ کردن این ۲۵ درصد احتمال خطا و الویت ریسک به صورت زیر تغییر می‌کند.

برای معنی دار شدن عدد ریسک در جداول ریسک HEPI برای شدت‌های بحرانی، بالا، متوسط و پایین بر اساس اصول کمی سازی در تئوری فازی به ترتیب اعداد ۷، ۵، ۳ و ۱ در نظر گرفته شدند. برای احتمال‌های مکرر، محتمل و به ندرت به ترتیب اعداد ۵، ۳ و ۱ مد نظر قرار گرفتند.

بحث

بر اساس یافته های مطالعه، بیشترین احتمال بروز خطا به ترتیب به حرکت های ایمن سازی محیط کار و گزینش مسیر خروج دیگر و کمترین احتمال بروز خطا به حرکات کشف آلام و ثبت اسامی در پناهگاه موقت اختصاص داده شد. ایمن سازی محیط کار آخرین حرکت قبل از مرحله خروج بوده و کارکنان در این مرحله موظفند دستگاه ها و سیستم های خود را در حالت ایمن قرار داده و محیط کار خود را ترک کنند. رفتار مورد انتظار در این حرکت یکی از پر استرس ترین مراحل عملیاتی افراد محسوب می شود که در طی آن پرسنل باید با نهایت دقت و صحت و با سرعت بسیار بالا محیط کار خود را ایمن سازی کنند. محدود بودن زمان تصمیم گیری و واکنش در این حرکت باعث تحمیل استرس زیاد بر پرسنل شده و احتمال خطای آن ها را افزایش می دهد. گزینش مسیر خروج دیگر نیز در صورت انتخاب غلط مسیر خروج اولیه انجام می شود. این حرکت با از دست دادن زمان همراه می باشد و به دلیل ضیق وقت، استرس فرد زیاد شده و انتخاب تصمیم درست مشکل می باشد. این یافته مشابه یافته های DiMattia و همکاران در دو مطالعه بر روی سکوه های دریایی و تانکر سوخت LNG می باشد (DiMattia, 2011; DiMattia et al., 2005).

از طرف دیگر در این پژوهش کمترین احتمال بروز خطا در حرکات کشف آلام بود. این یافته بر مناسب بودن کمیت و کیفیت آلام ها تاکید می کند. مناسب بودن شرایط جوی در این تجمع و استفاده مناسب از انواع سیستم اعلام به همراه اطلاع رسانی و آموزش مناسب آن ها به کارکنان باعث شده است که احتمال اشتباه کارکنان در حرکت یاد شده

در حداقل مقدار خود باشد. این یافته مشابه یافته های رحیمی و همکاران در مطالعه ارزیابی خطای انسانی در تاسیسات تقویت فشار گاز می باشد (Rahimi Kamal et al., 2009).

شدیدترین پیامد خطاهای انسانی به ترتیب در فاز ارزشیابی و فاز خروج می باشد. در فاز ارزشیابی فرد جهت ایمن سازی محیط کار مقداری از زمان مورد نیاز برای فرار را از دست می دهد که این امر احتمال رسیدن به پناهگاه موقت را کم می کند. در فاز خروج نیز احتمال انتخاب مسیر اشتباه وجود دارد که این امر نیز باعث از دست رفتن زمان می شود و همچنین ممکن است فرد در هنگام فرار دچار حادثه شود. این عوامل باعث شدیدتر شدن پیامدها می گردد. در صنعت مورد مطالعه یکی از دلایل مهم این امر نقص در دستورالعمل های اجرایی در شرایط اضطراری بود. بررسی ها نشان داد که گام های اجرایی دستورالعمل های موجود در زمینه خروج از شفافیت لازم برخوردار نبوده و به طور وضوح در زمینه نحوه ارزشیابی مسیرهای خروج بالقوه دستورات لازم را ارائه نکرده بود. این یافته مشابه یافته های Nemeth و همکاران می باشد که در آن مطالعه نیز بر نقش دستورالعمل های اجرایی در اقدامات حین شرایط اضطراری تاکید شده است (Nemeth E et al., 2009).

با محاسبه ریسک خطاهای انسانی مشخص شد که بالاترین ریسک به یک حرکت در فاز ارزشیابی یعنی برگرداندن تجهیزات فرایند به حالت ایمن و دو حرکت در فاز خروج یعنی ارزشیابی مسیر خروج بالقوه و انتخاب یک راه و گزینش مسیر خروج دیگر اختصاص دارد. با در نظر گرفتن اهمیت نسبی فازها نیز دو حرکت ارزشیابی مسیر خروج بالقوه و انتخاب

منابع

1. Allee K., Lynch D., Petroni K., Schroeder J. (2012) Do Firms Use Inventory to Manage Personal Property Taxes? An Analysis of US Petroleum Refineries, American accounting association. Annual meeting, Michigan.
2. Devenish B., Edwards J. (2009) Large-eddy simulation of the plume generated by the fire at the Buncefield oil depot in December 2005. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science 465:397-419.
3. DiMattia D.G. (2004) Human error probability index for offshore platforms musters, Department of Chemical Engineering, Dalhousie University, Halifax.
4. DiMattia D.G. (2011) Predicting human error probabilities for muster actions during LNG tanker emergencies, International Gas Union Research Conference, Canada.
5. DiMattia D.G., Khan F.I., Amyotte P.R. (2005) Determination of human error probabilities for offshore platform musters. Journal of loss prevention in the process industries 18:488-501.
6. Hämäläinen P., Takala J., Saarela K.L. (2007) Global estimates of fatal work-related diseases. Am J Ind Med 50:28-41.
7. Hosseinian S.S., Torghabeh Z.J. (2012) Major theories of construction accident causation models: A literature review. International Journal of Advances in Engineering & Technology 4:53-66.

یک راه و گزینش مسیر خروج دیگر در مقایسه با سایر حرکت‌ها دارای اولویت ریسک بالاتری شدند.

نتایج اقدامات کاهش دهنده ریسک غیرقابل قبول نیز نشان داد که در فعالیت ۱۲ با انجام اقدامات اصلاحی از قبیل تهیه نقشه‌ای از سایت که راه‌های خروج اضطراری در آن‌ها مشخص شده باشد و قرار دادن‌شان در دسترس افراد ذیصلاح، مشخص نمودن مسیرهای خروج اضطراری با تابلوهای شبرنگ، بازدید دوره‌ای و اطمینان از باز بودن درهای اضطراری و مسدود نبودن مسیرها می‌توان احتمال ریسک را از سطح A به سطح B کاهش داد.

نتیجه گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد از میان چهار فاز مورد نیاز برای تجمع در شرایط اضطراری، فاز خروج بحرانی تر از بقیه فازها می‌باشد. این یافته بر نقش یکپارچگی ایمنی در فرایند برنامه ریزی برای مقابله با شرایط اضطراری تاکید می‌کند. این یافته اهمیت طراحی اصولی و نگهداری مناسب مسیرهای خروج را نشان می‌دهد. برای کاهش ریسک واکنش در فاز خروج، یافته‌های مطالعه حاضر بر ضرورت ارزیابی دوره ای مسیرهای خروجی شامل روشنایی مناسب در شب و روز، عدم وجود موانع ثابت و متحرک در مسیرها و ارتباط مناسب مسیرهای خروج با محل‌های تجمع به همراه بازنگری و اصلاح دستورالعمل شرایط اضطراری آتش سوزی، برگزاری مانورهای بیشتر و تحلیل نتایج آن‌ها به همراه ارائه بازخوردهای مناسب به کارکنان تاکید می‌کند.

- Aircraft Icing Accident. *Procedia Engineering* 17:63-69.
15. Nemeth E, Bartha T, Fazekas C, Hangos K. (2009) Verification of a primary-to-secondary leaking safety procedure in a nuclear power plant using coloured Petri nets. *Reliability Engineering & System Safety* 94:942-953.
 16. Nolan D.P. (2010) *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles: For Oil, Gas, Chemical and Related Facilities*. 2nd ed. William Andrew, gotham USA.
 17. Rahimi Kamal S.H., Nasl Saraji J., MohammadFam I. (2009) Assessment of human error probability index for gas compressor station musters (region 3 of gas transmission operation). *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research* 7:51-68.
 18. Sanders M.S., McCormick E.J. (1987) *Human factors in engineering and design*. 6th ed. McGRAW-HILL book company, New York.
 8. ILNA. 15000 workers injured in work-related accidents.
 9. International Labour Office. (2003) *Pointers for a Global Safety Culture at Work* ILO, Geneva.
 10. Jou Y.T., Yenn T.C., Lin C.J., Tsai W.S., Hsieh T.L. (2011) The research on extracting the information of human errors in the main control room of nuclear power plants by using Performance Evaluation Matrix. *Safety science* 49:236-242.
 11. Khan F.I., Amyotte P.R., DiMattia D.G. (2006) HEPI: A new tool for human error probability calculation for offshore operation. *Saf Sci* 44:313-334.
 12. Kim J.W., Jung W., Ha J. (2004) AGAPE-ET: A Methodology for Human Error Analysis of Emergency Tasks. *Risk analysis* 24:1261-1277.
 13. Kletz T.A. (2001) *An engineer's view of human error*. 3rd ed. Institution of Chemical Engineers (IChemE), glasgow.
 14. Lijuan C., Shinan C. (2011) An Approach of AHP for Human Factors Analysis in the