

## ارزیابی سطح ایمنی در محیط‌های تولیدی با استفاده از روش فازی

مرتضی اوستاخان<sup>۱\*</sup> - امیرعباس مفیدی<sup>۲</sup> - محسن مشکانی<sup>۳</sup>

morteza\_avesta@yahoo.com

### چکیده

**مقدمه:** وقوع حوادث شغلی در محیط‌های تولیدی علاوه بر تحمیل هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم، بر بهره‌وری مفید کار نیز تأثیر گذار خواهد بود. این در حالی است که در فضای رقابتی بین صنایع مختلف، کسب سود بیش‌تر در مقابل هزینه‌های کمتر همواره از اصلی‌ترین دغدغه‌های مدیران بوده است. در نتیجه توجه به عوامل ایمنی در محیط‌های تولیدی در جهت کاهش حوادث شغلی و به تناسب آن کاهش هزینه‌ها می‌تواند برای رسیدن به این هدف مؤثر باشد.

**روش کار:** این مقاله یک روش ارزیابی ریسک برای تعیین سطح ایمنی موجود در محیط‌های تولیدی با استفاده از روش فازی و به کمک نرم افزار MATLAB ارائه شده است.

**یافته‌ها:** اجزای اصلی این مدل شامل سه پارامتر احتمال حادثه، شدت حادثه و سطح ایمنی موجود می‌باشند. برای این منظور از آمار حوادث منتشر شده و علل پیشنهاد شده توسط سازمان تأمین اجتماعی استفاده شده است.

**نتیجه‌گیری:** علاوه بر این از نظریه کارشناسان ایمنی و بهداشت در تعیین شدت حوادث نیز بهره گرفته شده است. در روش فازی از روش استنتاج فازی مدل ممدانی به دلیل سهولت و کاربرد بیش‌تر استفاده شده است. کاربرد مدل معرفی شده با ارائه یک مطالعه کاربردی بیان شده است.

### کلمات کلیدی: منطق فازی، ارزیابی ریسک، سطح ایمنی

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای - دانشکده علوم پزشکی - دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای - دانشکده علوم پزشکی - دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای - دانشکده بهداشت - دانشگاه علوم پزشکی تهران.

### مقدمه

در بیست سال گذشته، کارخانه‌ها با فشار رقابت شدیدی روبه‌رو بودند و زمان تولید کوتاه‌تر، انتظار بالای مصرف‌کننده از کیفیت و پایداری محصول، هماهنگی با توزیع‌کنندگان و مصرف‌کنندگان و کنترل بیش‌تر تولید موجب فشار زیادتر بر تولیدکننده در فضای رقابتی آینده شده است. این چالش‌های مدیریتی مشکلاتی را برای صنایع به همراه داشته است. در نتیجه، بیش از گذشته، شرکت‌ها به گسترش سیستم‌ها و روش‌های ایمنی با سهولت قابلیت اجرا روی آورده‌اند. بحث ایمنی در کشورهای با استاندارد های ایمنی ملی به عنوان یک بحث قدیمی مطرح است. این امر با افزایش قوانین محیطی، فشار دولت و تغییر تقاضای مصرف‌کننده از تولید و ایمنی محیطی مرتبط می‌باشد. هدف سیستم ایمنی مؤثر جلوگیری و یا کاهش وقوع حوادث و خطراتی است که جان کارگران را در محیط کار تهدید می‌کند (Cagno *et al.*, 2003; Farrow, Hayakawa, 2002; Garrick, 2002; Gillen *et al.*, 2001; Hamer, 2003). در صورتی که این هدف به درستی کنترل و حاصل گردد، کلیه فاکتورهایی که ایمنی کارگران را موجب می‌گردد، باید از یک جنبه همه‌جانبه یکپارچه گردد (Tretkoff, *et al.*, 1995; Tamiz and Jones, 1997). علی‌رغم اهمیت این دیدگاه، کمبود و ضعف در مدل‌های سیستم ایمنی در منابع ایمنی دیده می‌شود (Herrero, 2002; Hickman, Geller, 2003; Koradecka, 2001; Tretkoff *et al.*, 1995; Tamiz and Jones, 1997). در این مطالعه از روش منطق فازی استفاده شده است. منطق فازی اعتبار یا ارزش نسبی دقت یک چیز است. در واقع منطق فازی یک راه حل مناسب برای ارتباط دادن فضای ورودی‌ها به فضای خروجی‌هاست. سهولت در فهم، ساده‌سازی مفاهیم ریاضی انعطاف‌پذیری از دلایل عمده استفاده از منطق

فازی است. عموماً دو نوع سیستم استنتاج فازی شامل ممدانی (mamdani) و سوگنو (sugeno) وجود دارد. این دو نوع از سیستم‌های استنتاجی تا حدودی در روش تعیین خروجی با هم تفاوت دارند. روش ممدانی از مرسوم‌ترین روش‌ها محسوب می‌شود. روش ممدانی کاملاً شهودی است، قابلیت گسترش دارد و برای ورودی‌های انسانی بسیار مناسب است.

### روش کار

برای به‌دست آوردن مدل ارزیابی ریسک با استفاده از روش فازی، در گام اول پارامترهای ورودی در مدل تعیین گردید. چگونگی به‌دست آمدن آنها، جنبه‌هایی از مدل که توسط کارشناسان معین شده و موارد قابل تغییر توسط کاربران مختلف بیان می‌شود. پارامترهای احتمال حادثه، شدت حادثه و سطح ایمنی موجود مهم‌ترین فاکتورهای مورد استفاده هستند. در این مقاله از یک چک‌لیست و یک پرسشنامه استاندارد استفاده شده است. از پرسشنامه برای تعیین شدت حوادث طبق نظر کارشناسان ایمنی و بهداشت حرفه‌ای استفاده شده است. نحوه نمره دهی براساس مطالعات قبلی ارایه شده است. از طرفی از چک‌لیست برای تعیین سطح ایمنی موجود در محیط‌های تولیدی استفاده شده است که هر کدام از موارد فوق مستقل از یکدیگر هستند

### احتمال حادثه

پارامتر احتمال حادثه بر اساس آمار حوادث به‌دست می‌آید. برای بررسی در این زمینه از آمار منتشر شده توسط سازمان تأمین اجتماعی استفاده شده است. متأسفانه این آمار به‌صورت طبقه‌بندی شده و کاربردی ارایه نمی‌شوند و تنها به‌صورت کلی قابل دسترسی هستند. کاربران می‌توانند در صورت دسترسی به آمار دقیق‌تر تغییرات لازم را اعمال کنند. آمار حوادث ارایه شده در جدول ۱ شامل صنایع

تعیین شدت حادثه مورد استفاده قرار گرفت. مدل از نمرات متوسط کارشناسان در ستون آخر جدول ۴ برای تعریف عبارات زبانی فازی استفاده کرده است. در صورتی که کاربران فکر کنند نمرات ارایه شده پایین هستند و در محدوده ایمن قرار ندارند، مدل می تواند با استفاده از قضاوت کارشناسان تغییر کند.

برای تعیین میزان شدت حوادث بر اساس مقالات مشابه، از قضاوت ۲۵ نفر از کارشناسان ایمنی و بهداشت استفاده شد. به این منظور پرسشنامه استاندارد (Cronbach  $\alpha = 0.86$ ) ده سؤالی در برگزیده انواع مختلف حوادث مورد استفاده قرار گرفت (Saaty, Vargas, 1980). برای این منظور از کارشناسان خواسته شد با استفاده از تجربه خود برای ارزیابی شدت حوادث نمره‌ای بین ۱ و ۱۰۰ (بسیار شدید) به هر یک از حوادث اختصاص دهند. میانگین نمرات

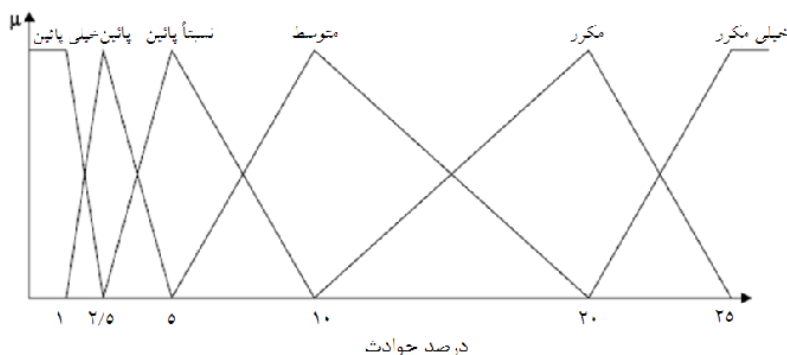
غذایی، دخانیات، نساجی، پوشاک، محصولات شیمیایی و غیره می باشد. برای تعیین میزان احتمال از مطالعات قبلی استفاده شده است. تعاریف احتمال وقوع حوادث بر اساس سه منبع مختلف در جدول ۲ ارایه شده است. مفهوم فازی احتمال حوادث با استفاده از این تعاریف تعیین می گردد که در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه ۱۸/۲ درصد مجموع حوادث اتفاق افتاده در صنایع تولیدی مورد استفاده قرار گرفت.

#### شدت حادثه

به منظور دسته بندی شدت حوادث نیز از رتبه بندی ارایه شده در مقالات قبلی استفاده شد. منابع مورد استفاده در ستون اول جدول ۳ نشان داده شده اند. تعاریف شدت حوادث به صورت فازی در شکل ۲ آورده شده است. سپس، قضاوت کارشناسان برای

جدول ۱: توزیع حوادث ناشی از کار به تفکیک فعالیت (۸۵-۸۷)

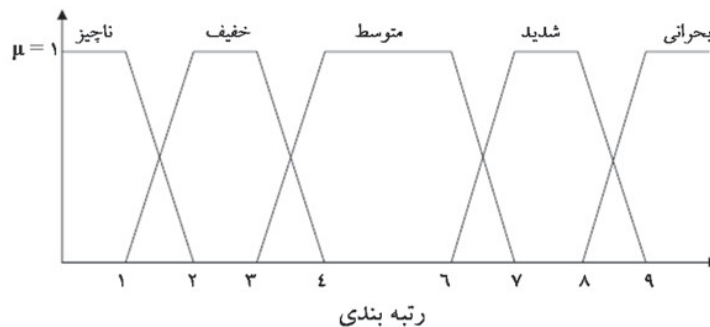
مجموع	۱۳۸۷		۱۳۸۶		۱۳۸۵		نوع فعالیت
	تعداد	%	تعداد	%	تعداد	%	
۱۸/۲	۱۲۵۸۴	۱۷/۹	۳۹۷۴	۱۷/۹	۴۳۱۹	۱۸/۶	صنایع تولیدی
۸۱/۸	۵۶۶۷۵	۸۲/۱	۱۸۱۶۰	۸۲/۱	۱۹۷۵۶	۸۱/۴	سایر فعالیت‌ها
۶۹۲۶۵		۲۲۱۳۴		۲۴۰۷۵		۲۳۰۵۶	مجموع کل



شکل ۱: تعاریف احتمال وقوع حوادث به صورت فازی

جدول ۲: احتمال وقوع حوادث در منابع مختلف

تعریف	مطالعه حاضر	HSE, 2003	Sii, Wang 2002	Sii, Ruxton, et al., 2001
وقوع حوادث شغلی غیر محتمل است	خیلی پایین < 1	۱، بعید است (> 10 <sup>-۷</sup> )	۱، ۲، ۳، خیلی پایین > 10 <sup>-۷</sup>	۱، خیلی پایین (> 10 <sup>-۷</sup> )
احتمال وقوع یکبار در طول فرآیند	پایین، ۲/۵	۲، بعید است 10 <sup>-۷</sup> > F > 10 <sup>-۴</sup>	۴، پایین ۰/۲۵ × 10 <sup>-۵</sup>	۲، ۳ - پایین 10 <sup>-۶</sup> - 10 <sup>-۷</sup>
بین حد پایین و متوسط	نسبتاً پایین ۵	-	نسبتاً پایین ۰/۲۵ × 10 <sup>-۴</sup>	نسبتاً پایین 10 <sup>-۴</sup> - 10 <sup>-۵</sup>
گاهی، چند وقت یکبار	متوسط، ۱۰	۳، غیر محتمل 10 <sup>-۳</sup> > F > 10 <sup>-۵</sup>	۶، متوسط 10 <sup>-۳</sup>	۶، ۷ - متوسط 10 <sup>-۲</sup> - 10 <sup>-۳</sup>
احتمالاً در بیش تر شرایط اتفاق می افتد	مکرر، ۲۰	۴، گاهی 10 <sup>-۱</sup> > F > 10 <sup>-۳</sup>	۷، مکرر ۰/۲۵ × 10 <sup>-۲</sup>	-
حوادث تکراری	-	۵، محتمل 10 <sup>-۱</sup> > F > 10 <sup>-۱</sup>	۸، ۹ - مکرر ۰/۱۲۵ × 10 <sup>-۱</sup>	۸، ۹ - مکرر 1 - 10 <sup>-۱</sup>
احتمال وقوع در بیش تر شرایط زیاد است (در انتظار وقوع)	خیلی مکرر ۲۵ <	۶، مکرر F > 10	۹، ۱۰ - خیلی مکرر ۰/۲۵ × 10 <sup>-۱</sup>	۹، ۱۰ - خیلی مکرر > 1



شکل ۲: تعاریف شدت نتایج حوادث به صورت فازی

بازرسی محل و مصاحبه با مهندسين ایمنی و بهداشت حرفه‌ای تهیه شد. وزن موارد چک لیست با توجه به نظرات کارشناسان، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۱</sup> از مطالعه (Ayomoh, Oke, 2006) انتخاب شد و چک لیست مورد استفاده استاندارد و از پایایی و روایی قابل قبولی برخوردار بود. وزن هر اقدام ایمنی از مقایسه زوجی (Saaty, Vargas, 1980) هر یک از موارد به دست آمد (جدول ۵). با استفاده از این چک لیست، مورد مربوط به ایمنی کارگاه بر اساس مقیاس

داده شده برای شدت حوادث در جدول ۴ ارایه شده است. در این مطالعه، مقدار متوسط این نمرات ۵۶ در تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت (۵/۶ در مقیاس ۱۰ تا ۱۰۰).

#### سطح/ایمنی موجود

در جهت انجام اقدامات ایمنی در محیط‌های تولیدی، چک لیست مورد نیاز تعیین گردید. چک لیست حاضر شامل ۲۰ مورد با استفاده از قوانین فعلی،

1- Analytic Hierarchy Process (AHP)

جدول ۳: شدت وقوع حوادث در منابع مختلف

رتبه بندی	مقیاس مطالعه حاضر	Tweeddale, 1997	HSE, 1999	Wang, 1997	Sii, Wang, 2002; Sii, et al., 2001
۰	-		بدون آسیب/ بیماری	-	-
۱	ناچیز- بدون آسیب	مرگ یا کارافتادگی دائمی	آسیب خفیف	افت سیستم و یا مرگ	ناچیز- بدون آسیب
۲	خفیف - آسیب خفیف	افت زمان جدی آسیب ناشی از بیماری	آسیب مهم	آسیب مهم در سیستم یا آسیب شدید	خفیف- آسیب خفیف
۳	متوسط - آسیب خفیف یا مهم اما گاهی توأم با مرگ	از دست رفتن متوسط زمان	آسیب/ بیماری مهم	آسیب خفیف در سیستم و یا آسیب خفیف	متوسط - آسیب‌های چندگانه
۴	شدید- مرگ اغلب به وقوع پیوندد، آسیب‌های مهم	زمان از دست رفته به سبب بیماری یا آسیب	مرگ و میر/ آسیب دیدگی دائمی	کمتر از آسیب خفیف در سیستم یا آسیب	شدید- مرگ و میر یا آسیب‌های متعدد
۵	بحرانی- بروز مرگ مکرر، آسیب جدی	بدون افت زمان	مرگ و میر متعدد	-	بحرانی- شمار زیادی مرگ و میر

جدول ۴: شدت حوادث طبق نظر کارشناسان

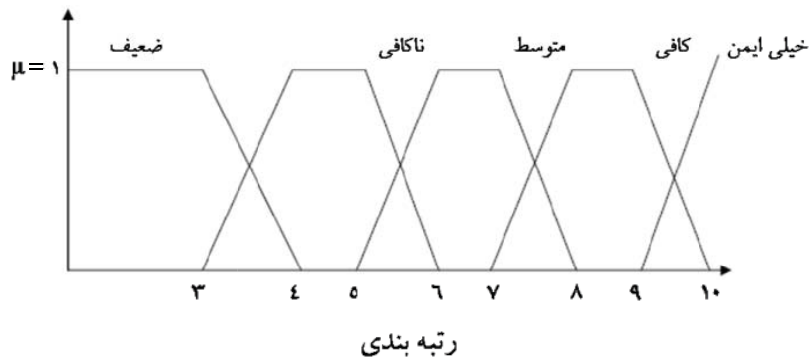
مهندسين ایمنی و بهداشت حرفه‌ای (N = ۲۵)		نوع حادثه
انحراف معیار	میانگین	
۱۶/۹	۷۰/۲	۱. سقوط کردن و لغزیدن
۱۷/۳	۴۸/۲	۲. سقوط اشیاء
۱۹/۲	۵۳/۴	۳. برخورد با وسایل نقلیه
۱۸/۱	۵۶	۴. پاشش مواد شیمیایی و مواد مذاب
۲۰/۲	۶۲/۸	۵. حوادث ناشی از ماشین آلات: قطع عضو، سوراخ شدن
۱۵/۸	۵۳	۶. سوختگی
۱۸/۲	۶۶/۴	۷. حریق و انفجار
۱۷/۷	۵۴/۲۸	۸. برق گرفتگی
۱۷/۳	۴۷/۱۶	۹. تصادف با اجسام مختلف (تماس با اجسام تیز و برنده) و سوانح
۱۸/۷	۵۰/۱	۱۰. سایر موارد: حوادث ناشی از جابه‌جا کردن اشیاء، داخل شدن جسم در چشم و بدن، حوادث ناشی از ابزار آلات و ...
	۵۶	مقدار متوسط نمرات

مطابق رابطه فوق نمره ایمنی ۵/۳۸ به‌دست آمد که در مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. این نمره می‌تواند از طریق کاربرد تغییر کند.

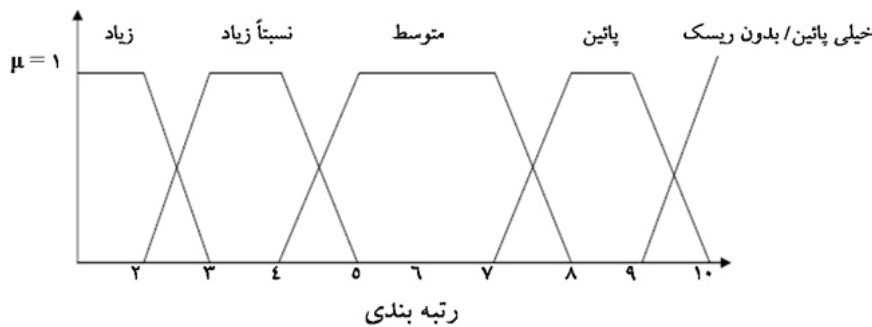
تعاریف مختلف سطح ایمنی موجود در جدول ۶ ارائه شده است و تعریف فازی سطح فعلی ایمنی با

از ۱ تا ۱۰ می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. اگر  $S_i$  به صورت نمره ایمنی برای هر اقدام و  $w_i$  به عنوان وزن تعریف شود، نمره سطح ایمنی فعلی کارگاه را می‌توان توسط رابطه (۱) به‌دست آورد:

$$\text{رابطه-۱)} \quad \text{نمره ایمنی} = \sum_{i=1}^k w_i \cdot S_i$$



شکل ۳: تعریف سطح ایمنی موجود به صورت فازی



شکل ۴: تعریف سطح ریسک به صورت فازی

در یک مجموعه را بسنجد، در حالی که مورد دوم تنها احتمال یک رویداد را در یک مجموعه مورد نظر سنجش می‌کند. ورودی‌ها در مدل‌های منطق فازی متغیرهای زبانی و مجموعه‌های فازی آن‌ها هستند. خروجی می‌تواند متغیرهای زبانی تشریح شده توسط مجموعه‌های فازی (مدل ممدانی) و یا توابع خطی (مدل Sugeno) باشند (Yen, Langari, 1999). مجموعه فازی ورودی‌ها به مجموعه‌های فازی خروجی از طریق قوانین اگر - آن‌گاه<sup>۱</sup> توصیف می‌گردد. فرآیند فازی سازی ورودی‌ها، ارزیابی قوانین و جمع همه قوانین مورد نیاز به عنوان استنتاج فازی شناخته شده است. اصول ریاضی منطق فازی

1- If- Then

استفاده از این تعاریف مطابق شکل ۳ محاسبه گردیده است. بنابر تعاریف جدول ۶، سطح ایمنی موجود در وضعیت ناکافی قرار دارد.

#### سطح ریسک

دیگر پارامتر مهم مورد کاربرد در مطالعه سطح ریسک است. تعریف مجموعه فازی سطح ریسک در شکل ۴ نشان داده شده است.

#### منطق فازی

منطق فازی ممکن است با نظریه سنتی احتمال اشتباه گرفته شود؛ مورد اول می‌تواند درجه‌ی عضویت

جدول ۵: فاکتورهای ایمنی برای تعیین سطح ایمنی موجود

نمره	نمره ایمنی برای هر آیتیم توسط کارشناس (S <sub>i</sub> )										فاکتور ایمنی	بار فاکتور (W <sub>i</sub> )
	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۰/۲۵	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا تهویه در سطح کارگاه به خوبی صورت می‌گیرد؟	W <sub>۱</sub> =۰/۰۵
۰/۴۸	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا وسایل حفاظتی کارگران به اندازه کافی در کارخانه وجود دارد؟	W <sub>۲</sub> = ۰/۰۶
۰/۲۴	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا منابع مالی برای اجرای برنامه‌های ایمنی مشخص شده است؟	W <sub>۳</sub> = ۰/۰۶
۰/۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا روش مناسبی برای سم زدایی زباله‌ها قبل از دفع آن‌ها به منظور کاهش پیامدهای احتمالی ایجاد شده است؟	W <sub>۴</sub> =۰/۰۴
۰/۳۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا روش‌های اجرایی برای نظارت و کنترل بر کیفیت مواد خام مورد استفاده وجود دارد؟	W <sub>۵</sub> =۰/۰۴
۰/۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا روش‌های اجرایی برای شناسایی و جداسازی ماشین آلات با کارکرد نامناسب ایجاد شده است؟	W <sub>۶</sub> = ۰/۰۵
۰/۲۸	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا تعمیرات برای اصلاح نواقص برق به خوبی انجام می‌گیرند؟	W <sub>۷</sub> = ۰/۰۴
۰/۲۵	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا چیدمان محیط کار برای کاهش حرکات غیر ضروری اپراتورها در محیط تولید به خوبی صورت گرفته است؟	W <sub>۸</sub> = ۰/۰۵
۰/۳	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	تا چه اندازه از تجهیزات مناسب برای کار استفاده می‌شود؟	W <sub>۹</sub> = ۰/۰۵
۰/۱۸	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا سمینار ایمنی در تیم مدیریتی برگزار می‌گردد؟	W <sub>۱۰</sub> = ۰/۰۶
۰/۱۸	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا استاد کاران در سمینارها حضور مستمر دارند؟	W <sub>۱۱</sub> = ۰/۰۶
۰/۲۴	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا در کارخانه مرکز آتش نشانی موجود است؟	W <sub>۱۲</sub> = ۰/۰۴
۰/۳۶	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	تا چه اندازه معاینات دوره‌ای انجام می‌شوند؟	W <sub>۱۳</sub> = ۰/۰۴
۰/۳۶	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا دستورالعمل ایمنی روش‌های اجرایی موجود است؟	W <sub>۱۴</sub> = ۰/۰۶
۰/۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا روش‌های اجرایی مرتبط با ریسک‌های زیست محیطی در زمینه دفع زباله‌ها برقرار شده است؟	W <sub>۱۵</sub> = ۰/۰۵
۰/۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	تا چه اندازه بازدیدهای لازم از ماشین آلات برای حذف یا کاهش ریسک ایمنی و بهداشت انجام می‌گیرد؟	W <sub>۱۶</sub> = ۰/۰۵
۰/۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	تا چه اندازه انبارها از وضعیت ایمنی مناسبی برخوردار هستند؟	W <sub>۱۷</sub> = ۰/۰۴
۰/۴۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا زمان بندی کار به خوبی صورت گرفته است؟	W <sub>۱۸</sub> = ۰/۰۶
۰/۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	تا چه اندازه کارکنان از اهمیت مدیریت ایمنی آگاهی دارند؟	W <sub>۱۹</sub> = ۰/۰۴
۰/۳۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	آیا روغن کاری ماشین آلات به طور منظم صورت می‌گیرد؟	W <sub>۲۰</sub> = ۰/۰۴
۵/۳۸											نمره کل ایمنی =	

### کاربرد عملگرهای فازی

عبارات قوانین فازی اگر- آن‌گاه برای فرموله کردن عباراتی که شرایط در برگیرنده منطق فازی را شامل می‌شوند، به کار می‌روند. یک عبارت قانون فازی اگر- آن‌گاه از بخش اول مقدم یا فرض و بخش دوم برآیند یا نتیجه تشکیل می‌شود. به عنوان مثال، مورد زیر نمونه‌ای از قوانین فازی اگر- آن‌گاه می‌باشد: اگر احتمال حادثه سقوط از ارتفاع بسیار پایین و شدت

و استنتاج فازی در بسیاری از منابع موجود است (Duboise, Prade, 1998; Ross, 1995; Schmucker, 1984; Yen, Langari, 1999; Zimmerman, 1991). جدول ۷ ویژگی‌های سیستم استنتاج مدل ممدانی را نشان می‌دهد. روش ممدانی در میانه ساخت سیستم‌های کنترل با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی به وجود آمد. این نوع استنتاج مستلزم آن است که تابع خروجی، مجموعه فازی باشد.

جدول ۶: تعاریف سطح ایمنی موجود و گروه ها

رتبه	سطح ایمنی موجود (CSL)	تعریف
۱, ۲, ۳	ضعیف	هیچ‌گونه اقدامی صورت نگرفته و شرایط خطرناک وجود دارند.
۴, ۵	ناکافی	اقدامات پیشگیرانه به خوبی صورت نگرفته و ریسک حوادث باقی مانده است.
۶, ۷	متوسط	بعضی اقدامات ایمنی صورت گرفته اما شرایط مطلوب ایمنی حاصل نشده است.
۸, ۹	کافی	تقریباً کلیه اقدامات ایمنی صورت گرفته و سطح بالایی از ایمنی وجود دارد، اما بعضی شرایط نایمن هم‌چنان باقی مانده است و قابل حذف یا انتقال به درجه مطمئن نمی‌باشد.
۱۰	خیلی ایمن	تقریباً کلیه اقدامات ایمنی صورت گرفته و سطح بالایی از ایمنی وجود دارد، شرایط نا ایمن حذف یا به درجه مطمئن انتقال داده شده‌اند.

جدول ۷: ویژگی‌های سیستم استنتاج فازی مدل ممدانی

عمل	عملگر	قاعده	فرمول
جمع جبری (OR)	MAX	T-conorm	$\mu C(x) = \max(\mu A(x), \mu B(x)) = \mu A(x) \vee \mu B(x)$
مشترک (AND)	MIN	T-norm	$\mu C(x) = \min(\mu A(x), \mu B(x)) = \mu A(x) \wedge \mu B(x)$
Implication	MIN	T-norm	$\max(\min(\mu A(x), \mu B(x)))$
مرکب (Aggregation)	MAX	T-conorm	
دفازی سازی	مرکز نقل		$COA = z = \frac{\int z \mu c(z) dz}{\int \mu c(z) dz}$

برای اپراتور AND استفاده شده است. ارزش‌ها و متغیرهای فازی شده زبانی نشان می‌دهد چه قوانینی در فرآیند اخراج دلالت فازی انتخاب خواهند شد. پس از استفاده روش AND برای هر قانون، تصمیم‌گیری مقدار عضویت برای نتیجه لازم است. اجتماع تمام خروجی‌ها باید به عنوان یک فرایند درک شود که در آن مجموعه‌های فازی خروجی هر قانون به صورت یک مجموعه تک فازی ترکیب می‌شوند. ترکیب تنها یک‌بار برای هر متغیر خروجی درست قبل از مرحله نهایی، دفازی سازی کار می‌کند. پروسه خروجی یکی از مجموعه‌های فازی برای هر متغیر خروجی است (Sii, et al., 2001). در این‌جا، همان‌طور که در جدول ۷ نشان داده شده، روش MAX (حداکثر) استفاده شده است.

حادثه شدید باشد و سطح ایمنی موجود ضعیف باشد، در آن‌صورت سطح ریسک خطر کمی خطرناک است. بسیار کم، شدید، ضعیف و یا کمی خطرناک توسط توابع عضویت تشریح می‌شوند. اولین گام در ساخت سیستم منطق فازی به دست آوردن مجموعه‌ای از قوانین فازی است. گام بعدی ترکیب این قواعد به صورت یک سیستم واحد است. پس از فازی سازی ورودی‌ها، درجه‌ای که هر بخش از سابقه یک قانون برآورد شده باشد تعیین می‌گردد. اگر سابقه یک قانون بیش از یک بخش داشته باشد، اپراتور فازی AND برای به دست آوردن تنها یک عضویت که نشان دهنده سابقه برای آن قانون است به کار گرفته می‌شود. سپس، این عضویت برای به دست آوردن تابع خروجی استفاده خواهد شد. در مطالعه حاضر MIN (حداقل)



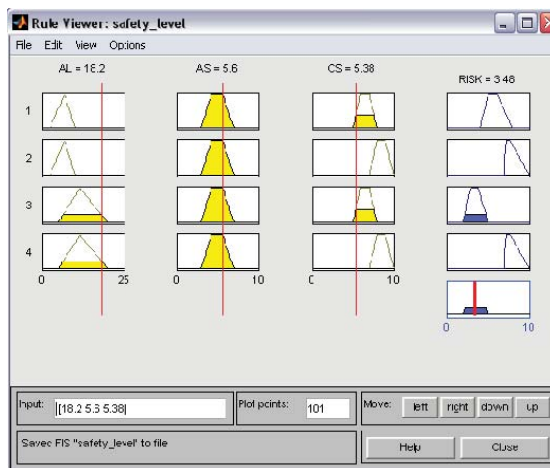
یافته‌ها

برای نشان دادن کاربرد مدل در ارزیابی سطح ایمنی در محیط‌های تولیدی مطالعه موردی زیر ارائه شده است. در این مطالعه، یک کارخانه تولیدی با انجام بازدیدهای هفتگی و مشاهدات مورد بررسی قرار گرفت و ارزیابی ریسک با استفاده از چک لیست ارائه شده انجام گردید. با انجام بازدیدهای هفتگی سطوح ریسک معین شد. درصد حوادث اتفاق افتاده، میزان شدت حوادث و نمره ایمنی با استفاده از چک لیست مقادیر ورودی هستند. ارزیابی ریسک با استفاده از این مقادیر انجام شد. با توجه به مطالب ذکر شده و با استفاده از

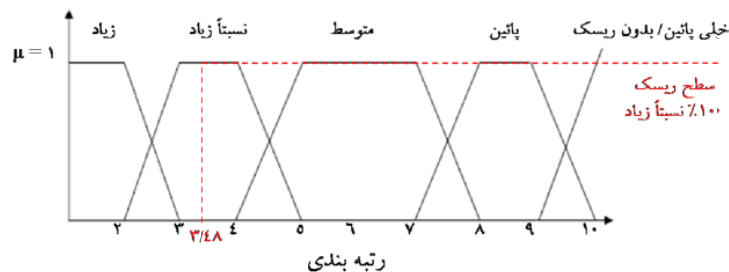
دفازی سازی نتایج فازی و بیان زبانی سطح خطر

با استفاده از مجموعه های فازی

فرآیند دفازی سازی نتایج فازی را به یک خروجی دقیق تبدیل می‌کند. در این مرحله، جمع مجموعه فازی خروجی مشتق شده و خروجی یک عدد منفرد است. خروجی نهایی برای هر متغیر به طور کلی یک عدد منفرد است، با این حال، در این نقطه هیچ معنی ندارد. مقدار خروجی باید در قالب زبان طبیعی بیان گردد. ترکیب مجموعه‌های فازی کوتاه سطح ریسک (به عبارتی دیگر تجمع نتیجه) مجموعه‌ای جدید را ارائه می‌کند.



شکل ۵: صفحه خروجی برنامه MATLAB نشان دهنده پروسه دفازی سازی



شکل ۶: سطوح ریسک

کاربرد مؤثری داشته باشد در مطالعه حاضر سعی شده است ضمن معرفی منطق فازی، کاربردی از آن را در مطالعات ایمنی ارایه نماید. البته مطالعه حاضر دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد. عدم دسترسی به آمار منسجم و طبقه بندی شده از حوادث اتفاق افتاده در تعریف پارامترها و تعریف توابع عضویت تأثیر گذار بوده است. هرچند همان‌طور که ذکر گردید در صورت دسترسی به آمار دقیق‌تر کاربر می‌تواند میزان دقیق‌تر آن‌ها را در مدل وارد نماید. هدف نهایی مدیران ایمنی کاهش سطح ریسک موجود به پایین‌ترین سطح ممکن است.

### منابع

1. Ayomoh M.K.O., Oke S.A., (2006). A framework for measuring safety level for production environments, *Safety Science* 44, 221–239.
2. Cagno E., Giulio D.A., Trucco P., (2003). Risk and causes-of-risk assessment for an effective industrial safety Management, *Journal of Safety Research* 349 (3), 227–340.
3. Duboise D., Prade H., (1998). Possibility Theory: an Approach to Computerized Processing of Uncertainty, Kluwer Academic Publisher.
4. Farrow S., Hayakawa H., (2002). Investing in safety: An analytical precautionary principle, *Journal of Safety Research* 33 (2), 155–291.
5. Garrick B.J., (2002). The use of risk assessment to evaluate waste disposal facilities in the United States of America, *Safety Science* 40 (1), 135–151.
6. Gentile M., Rogers W.J., Mannan M.S.,

روش مرکز ثقل، مقدار فازی سطح ریسک (RL)  $3/48$  به‌دست آمد. کلیه عملیات شامل وارد کردن پارامترهای ورودی و خروجی و محاسبات دفازی سازی با استفاده از نرم افزار MATLAB ۷,۸ صورت گرفته است. صفحه خروجی برنامه در شکل ۵ نشان داده شده است. عدد به‌دست آمده در این مرحله معنی و مفهوم خاصی برای کارشناسان ایمنی ندارد.

اگر این مقدار به زبان طبیعی بیان و نحوه کاربرد آن‌ها، نشان داده شود، آن‌گاه ارزش ارزیابی ریسک و سنجش ایمنی را پیدا می‌کند. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده سطح ریسک  $100\%$  در ناحیه ناکافی قرار دارد.

### بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله مدلی بر اساس منطق فازی به کمک نرم افزار MATLAB برای بررسی سطح ایمنی موجود در محیط‌های تولیدی ارایه گردید. منطق فازی راه حلی مناسب برای برقراری ارتباط بین فضای ورودی به فضای خروجی‌هاست. انعطاف پذیری، درک آسان مفهوم منطق فازی و این‌که منطق فازی درجه آزادی داده‌های مبهم و غیر دقیق است از جمله دلایل استفاده از منطق فازی می‌باشد. محققان مختلفی از منطق فازی برای ارزیابی ریسک و کاربردهای ایمنی استفاده کرده‌اند (Gentile, *et al.*, 2003; Liu, *et al.*, 2004; Liverpool John Moores University, 2002). در ساخت مدل‌های منطق فازی توجه به نوع تابع عضویت اهمیت دارد. در بین توابع عضویت، دوزنقه‌ای<sup>۱</sup> و مثلثی<sup>۲</sup> از جمله پرکاربردترین توابع در ارزیابی ایمنی محسوب می‌شوند (Wang, 1997). با وجود این، نتایج به‌دست آمده از منطق فازی در صورت عدم ترجمه مناسب بیانی نمی‌تواند

1- Trapezoidal Membership Functions  
2- Triangular Membership Functions

15. Liverpool John Moores University, (2002). A Safety based decision support system for the design of large offshore engineering products, Offshore Technology Report, No: 008, Prepared for the Health and Safety Executive of England.
16. Ross T.J., (1995). Fuzzy Logic with Engineering Applications. McGraw-Hill, New York.
17. Saaty T.L., Vargas L.G., (1980). The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York.
18. Schmucker K.J., (1984). Fuzzy Sets, Natural Language Computations, and Risk Analysis, Computer Science Press, Rockville, MD.
19. Sii HS., Wang J., (2002). Safety assessment of FPSO's: the process of modelling system safety and case studies. Report of the Project the Application of Approximate Reasoning Methodologies to Offshore Engineering Design. EPSRC GR/R30624 and GR/R32413, Liverpool John Moores University, U.K.
20. Sii HS., Ruxton T., Wang J., (2001). A fuzzy-logic-based approach to qualitative safety modeling for marine systems. Reliability Eng. Syst. Safety 73, 19–34.
21. Tamiz M., Jones D.F., (1997). A general purpose interactive goal programming algorithm. In: Fandel, G., Gal, T. (Eds.), Multiple Criteria Decision Making, LNEMS 448. Springer-Verlag, Berlin, 443–444.
22. Tamiz M., Jones D.F., Romero C., (2001). Comments on properties of the min max so-
- (2003). Development of an inherent safety index based on fuzzy logic, AIChE J. 49 (No. 4 April).
7. Gillen M., Baltzb D., Gasselc M., Kirschd L., Vaccaroe D., (2001). Perceived safety climate, job demands, and coworker support among union and nonunion injured construction workers, Journal of Safety Research 32(4), 391–439.
8. Hamer G., (2003). Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety, Biotechnology Advances 22 (1), 71–79.
9. Herrero S.G., Saldan~ a M.A.M., del Campo, Ritzel D.O., (2002). From the traditional concept of safety management to safety integrated with quality, Journal of Safety Research 33 (1), 21–32.
10. Hickman J.S., Geller E.S., (2003). A safety self-management intervention for mining operations, Journal of Safety Research 34 (2), 143–156.
11. HSE, (2003). Hazardous Installations Directorate, 1 December, HID Safety Report Assessment Guide: Explosives, HSE.
12. HSE, (1999). September, Management Guidelines for Working Together in a Contract Environment. Report No: 6.64/291.
13. Koradecka D., Dryzek H., (2001). Occupational safety and health in Poland, Journal of Safety Research 32 (2), 209–228.
14. Liu J., Yang J., Wang J., H. Sii, Y. Wang, (2004). April–June, Fuzzy rule-based reasoning approach for safety analysis, Int. J. Gen. Syst. 33, 183–204.

