مقاله پژوهشی

استفاده از سیستم استنتاج فازی، اعداد فاصله‌ای و عملگر نگاشت به منظور تعیین سطح ریسک

محسن امیدوار[1*]، فرشته نیرومند[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲

چکیده

زمینه و هدف: ماتریس ریسک به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی نظیر ویژگی‌هایی نظیر ظاهر گرافیکی، راحتی در قابلیت درک و کاربری آسان به عنوان یکی از ابزارهای ارزیابی ریسک تبدیل شده است. از سوی دیگر، ویژگی‌هایی نظیر عدم دقت در طبقه‌بندی شاخص ریسک و هم چنین ذهنی بودن فرایند محاسباتی آن، استفاده از آن را محدود کرده است. به منظور حل این معضل در این مطالعه از سیستم‌های استنتاج منطق فازی و عملگرهای ریاضیاتی (اعداد فاصله‌ای و عملگر نگاشت) استفاده‌شده است.

روش بررسی: در این مطالعه ابتدا ۱۰ سناریوی ریسک در فرایند حفاری و لوله‌گذاری انتخاب‌شده، سپس نتایج ارزیابی ریسک با استفاده از چهار نوع ماتریس تحت عنوان ماتریس ریسک سنتی(ORM)، سلول‌های جابجا شده (RCM)، بسط یافته (ERM) و فازی (FRM) مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج مطالعه نشان دادند که استفاده از ماتریس FRM و ERM، به دلیل بالا بودن دو شاخص "چگالی شباهت ریسک" (RTD) و "چگالی سطح ریسک" (RLD) در ماتریس ORM و RCM، و هم چنین دقیق تر بودن نتایج ارائه‌شده در FRM و ERM در ارزیابی ریسک اولویت داشته، هر چند ماتریس FRM به دلیل استفاده از توابع عضویت فازی نتایج قابل‌اطمینان تری ارائه می‌کند.

نتیجه گیری: استفاده از مباحث ریاضیاتی جدید نظیر مجموعه‌های فازی و عملگرهای حسابی و نگاشت جهت ارزیابی ریسک، در مواقعی که داده‌های دقیق در دسترس نبوده و یا اطلاعات آن به صورت محدوده‌ای در دسترس باشد، می‌تواند دقت ماتریس ریسک را بهبود بخشیده و قابلیت اطمینان نتایج ارزیابی ریسک را افزایش دهد.

کلیدواژه ها: ماتریس ریسک، عدم قطعیت،سیستم منطق فازی، عملگرهای حسابی، عملگر نگاشت

۱. *(نویسنده مسئول): دکتری مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران. پست الکترونیک:
m-omidvar@razi.tums.ac.ir

۲. کارشناس مهندسی محیط زیست، دانشگاه جامع علمی کاربردی، گرایش کنترل آلاینده ها.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

مقدمه

پیشگیری از حوادث و سایر رویدادهای نامطلوب که گاها در طول فعالیت فرایندهای صنعتی و یا کار با مواد شیمیایی خطرناک اتفاق می‌افتد، مستلزم ارزیابی ریسک می‌باشد. اگر چه مفهوم ریسک یک واژه جدید در فرایند مدیریت ریسک نمی‌باشد، لیکن هنوز ابهاماتی در مورد استفاده از روش ماتریس ریسک (RMA)، که مبنای قضاوت در بسیاری از روش‌های ارزیابی ریسک می‌باشد، وجود دارد. تعاریف مختلفی از مفهوم ریسک در مقالات مختلف ارائه‌شده‌اند. روسنبلوم ریسک را به عنوان عدم قطعیت در بروز خسارت تعریف نموده است [۱]. هین و ویلیامز ریسک را به عنوان تغییر رویدادهای آتی، تحت شرایط مشخص، در یک محدوده زمانی مشخص، بیان نموده‌اند [۲] .ونگ ریسک را به عنوان امکان وقوع رخدادهای نامطلوب و خسارت‌های ناشی از تصمیمات اتخاذشده، در نتیجه عدم قطعیت‌های مختلف، در فرایند تصمیم گیری تعریف نموده است [۳]. ریسک دارای یک سری مشخصات منحصر بفرد می‌باشد. اول اینکه یک عینیت خارجی می‌باشد. دوم اینکه به صورت ناگهانی حادث می‌شود. به دلیل محدودیت‌های هشیاری و ادراکی انسان، افراد اغلب به صورت غیرمنتظره و بدون هیچ گونه پیش آگهی با ریسک مواجه می‌شوند. سوم اینکه دارای خسارت بوده و چهارم اینکه غیر قطعی است. هیچ کس نمی داند که ریسک چه موقع و کجا اتفاق می‌افتد. و نهایتا اینکه ریسک توسعه یافتنی است؛ بدین معنا که با ظهور علوم و فنّاوری‌های جدید انواع جدیدی از ریسک افراد و تجهیزات را در معرض قرار می‌دهند. در طی فرایند ارزیابی ریسک اصولاً دو متغیر احتمال و شدت رویداد نامطلوب مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. از بین خصوصیات ذکرشده فوق دو متغیر عدم قطعیت و ایجاد خسارت، دو متغیر کلیدی ریسک می‌باشند که در ISO 73:2009 در کمی سازی ریسک به عنوان مبنا قرارگرفته‌اند [۴].

به طور کلی سه روش کلی (کیفی، نیمه کمی و کمی) جهت ارزیابی ریسک به کار می رود. روش نیمه کمی، مزیت دو روش دیگر را در هم ادغام نموده و بنابراین به صورت گسترده‌ای در روش‌های ارزیابی ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فرایند مدیریت ریسک، روش ارزیابی از طریق ماتریس ریسک (RMA) به عنوان یکی از روش‌های نیمه کمی در ارزیابی بسیاری از ریسک‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.ماتریس ارزیابی ریسک، یکی از ابزارهای سنتی جهت ارزیابی نیمه کمی ریسک می‌باشد.RMA برای اولین بار در مرکزسیستم الکترونیک نیروی هوایی آمریکا، جهت ارزیابی چرخه عمر پروژه خرید طراحی و توسعه یافت [۵]. در سالهای اخیر تلاشهای مختلفی جهت برطرف کردن نقص های ماتریس ریسک اصلی (ORM) صورت گرفته است. به منظور کاربردی تر کردن روش RMA، ازسایر روش‌های ریاضیاتی نیز در ماتریس ریسک استفاده‌شده است. مارکاوسکی و منان یک ماتریس ریسک فازی (FRM) معرفی نمودند، که با وارد نمودن توابع عضویت فازی در ماتریس RMA، سه نوع ماتریس ریسک فازی شامل هزینه پایین (LCFRM)، استاندارد (SFRM) و هزینه بالا (HCFRM) ایجاد گردید [۶].در مطالعه دیگری زینگ و همکاران یک ماتریس ریسک بومی شده جهت ارزیابی ریسک عملکرد سیستم مترو معرفی نمودند [۷]. علاوه بر این، پس از معرفی شاخص Borda توسط ژائو و همکاران [۸]، که تا حدودی دقت ماتریس ریسک را افزایش داد، محققین متعددی از آن جهت ارزیابی ریسک تجهیزات و سلاح [۹]، مدیریت ریسک پروژه‌های مهندسی(۱۰) [۱۰]، ارزیابی ریسک مدیریت زنجیره تأمین [۱۱] استفاده نمودند. همچنین نی و همکاران مفهوم ماتریس ریسک بسط یافته (ERM) را در ارزیابی ریسک معرفی نمودند که از عملگرهای حسابی ریاضیاتی و عملگر نگاشت جهت ارزیابی ریسک بهره می‌برد [۴].

علاوه بر مطالعات فوق، چندین مطالعه در مورد استفاده از منطق فازی در ارزیابی ریسک در داخل کشور انجام شده‌اند. در مطالعه‌ای که توسط خزایی انجام شد، برای تشخیص مناطق مخاطره‌آمیز که عملیات تونل زنی را با مشکلاتی مواجه کند از روش ماتریس ریسک فازی استفاده گردید[۱۲]. هم چنین اوستاخان و همکاران از روش فازی برای ارزیابی ریسک و تعیین سطح ایمنی موجود در محیط‌های تولیدی استفاده نمودند [۱۳]. کلاسنگیانی و امیدواری نیز جهت تحلیل حادثه برق‌گرفتگی در صنعت برق، از روش FTA در محیط فازی بهره گرفتند [۱۴]. حسینی کبریا و همکاران از مدل منطق فازی برای ارزیابی عوامل موثر بر عملکرد HSE پالایشگاه نفت و تأثیر آن‌ها بر حوادث شغلی در محیط کار استفاده نمودند [۱۵]. در تحقیقی که توسط اردشیر و همکاران انجام شد، مخاطرات HSE در ساخت پروژه‌های بلندمرتبه که بر سلامت افراد و محیط‌زیست اثر منفی دارند، شناسایی، ارزیابی و با استفاده از روش تحلیلی سلسله مراتبی AHP فازی رتبه‌بندی شدند [۱۶]. در تحقیق دیگری که توسط گل بابایی و همکاران صورت گرفت، به کمک روش فرآیند تحلیل

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

سلسله مراتبی فازی تمامی عوامل موثر بر فرآیند تصمیم‌گیری در طراحی مدل انتخاب تجهیزات کنترل آلودگی هوا مشتمل بر عوامل محیطی، عوامل مهندسی و عوامل اقتصادی در نظر گرفته‌شده و اوزان اهمیت این معیارها محاسبه و سپس اولویت گزینه‌های مدل نیز به کمک این روش، تعیین گردیدند [۱۷]. علاوه بر این در مطالعه دیگری که توسط قربعلی انجام شد، روش کیفی ریسک گراف بهبودیافته معرفی و با استفاده از ابزار منطق فازی جهت ارتقاء سطوح ریسک (SIL) و حل مشکل عدم قطعیت استفاده گردید [۱۸]. در مطالعه دیگری مکنت جو و امیدواری از مدل ترکیبی ویلیام فاین و دیماتل فازی به منظور کاهش یا حذف ریسک در فرایندهای ماشین‌کاری استفاده نمودند [۱۹].

اگر چه مشکلاتی نظیر عدم دقت، فقدان مبانی ریاضیاتی دقیق در استفاده از RMA وجود دارد (در این مطالعه نوع اصلی ماتریس ریسک تحت عنوان ORM نامیده می‌شود)، لیکن به دلیل ویژگی‌هایی نظیر ظاهر گرافیکی، راحتی در قابلیت درک و کاربرد آسان آن باعث شده است که در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار گیرد.

با این وجود RMA دو عیب اساسی دارد که نمی‌توان آن را نادیده گرفت. اول اینکه طبقه‌بندی شاخص ریسک دقیق نبوده و ثانیاً مکانیسم ارزیابی آن بر اساس فرایند محاسباتی ذهنی می‌باشد. ماتریس ریسک مرسوم به دلیل پیچیدگی‌های موجود در فرایند ارزیابی ریسک در بسیاری از موارد نامناسب می‌باشد. با توجه به مطالب ذکرشده فوق هدف از این مطالعه ارزیابی ریسک فرایندهای مختلف بر اساس روش ماتریس ریسک سنتی (ORM)، بسط یافته (ERM) و فازی (FRM) و مقایسه کارایی هر یک از این روش‌ها در ارزیابی ریسک می‌باشد.

روش کار

در این مطالعه ابتدا چهار نوع از ماتریس ریسک (ORM، RCM، ERM و FRM) معرفی گردیده و سپس به منظور بررسی کارایی هر یک از انواع ماتریس ریسک، ۱۰ مورد از سناریوهای بروز حوادث در فرایند گودبرداری و لوله‌گذاری در یک فرایند نفت و گاز، و نتایج ارزیابی ریسک حاصله به وسیله انواع مختلف ماتریس ریسک مورد بررسی قرار گرفتند که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

یافته ها

ماتریس ریسک اصلی (ORM)

ORM نسخه اصلی ماتریس ریسک می‌باشد که در آن شدت و احتمال وقوع به ۵ سطح تقسیم‌بندی شده‌اند.در مجموع،ORM یک ماتریس ۲۵ سلولی می‌باشد که حاوی سه سطح ریسک شامل سطح ریسک پایین (LRL)، متوسط (MRL)، و بالا (HLR) به ترتیب با رنگ‌های سبز، زرد و قرمز می‌باشند (تصویر۱). ORM یک نقص عمده دارد و آن این است که برخی از مواقع ریسک‌های مختلف ممکن سطح ریسک مشترکی را اختیار کنند. این ریسکها که تحت عنوان "ریسک‌های مشابه" نامیده می‌شوند، باعث ایجاد دو محدودیت بزرگ در استفاده از ORM می‌شوند؛ اول اینکه طبقه‌بندی شاخص ریسک دقیق نبوده (تنها سه سطح کیفی برای ارزیابی وجود دارد) و ثانیاً مکانیسم ارزیابی آن بر اساس فرایند محاسباتی سوبژکتیو (ذهنی) می‌باشد. با توجه به دلایل ذکرشده، سایر انواع ماتریس ریسک‌های بهبودیافته مورد استفاده قرارگرفته‌اند که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

بحرانی	M	H	H	H	H
شدید	M	M	M	H	H
متوسط	L	M	M	M	H
کم	L	L	M	M	H
ناچیز	L	L	L	M	M
	0.00~0.10	0.10~0.40	0.40~0.60	0.60~0.90	0.90~1.00

تصویر ۱- ماتریس ریسک اصلی (ORM)

ماتریس ریسک با خانه‌های تغییر مکان یافته (RMC)

RMC یکی از نسخه‌های ماتریس ریسک اصلی می‌باشد که هدف از آن تقسیم‌بندی دقیق تر و محدودتر شاخص ریسک می‌باشد. در واقع RMC با افزایش تعداد تقسیم‌بندی متغیرها یا

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

احتمال و شدت خطر، هم تعداد خانه‌های ماتریس ریسک را افزایش داده و هم توزیع سطوح مختلف ریسک، نسبت به ماتریس ریسک اصلی را تغییر داده، تا ابهامات موجود در تفسیر نتایج ارزیابی را کاهش دهد. بدین جهت Markowski و همکاران سه نسخه از ماتریس RMC پیشنهاد دادند که در تصویر ۲ نشان داده شده است [۶].

	I	II	III	IV	V
G	TNA	NA	NA	NA	NA
F	TNA	TNA	NA	NA	NA
E	TA	TNA	TNA	NA	NA
D	TA	TA	TNA	TNA	NA
C	A	TA	TA	TNA	TNA
B	A	A	TA	TA	TNA
A	A	A	A	TA	TA

سخت

	I	II	III	IV	V
G	TNA	TNA	NA	NA	NA
F	TA	TNA	TNA	NA	NA
E	TA	TA	TNA	TNA	NA
D	A	TA	TA	TNA	TNA
C	A	A	TA	TA	TNA
B	A	A	A	TA	TA
A	A	A	A	A	TA

استاندارد

	I	II	III	IV	V
G	TA	TNA	TNA	NA	NA
F	TA	TA	TNA	TNA	NA
E	A	TA	TA	TNA	TNA
D	A	A	TA	TA	TNA
C	A	A	A	TA	TA
B	A	A	A	A	TA
A	A	A	A	A	A

آسان

تصویر ۲– ماتریس ریسک **RMC** (الف–سطح آسان ب– استاندارد ج– سخت‌گیرانه)

در تصویر ۳ یک مثال از ماتریس ریسک RMC با تعداد ۱۰ خانه بیشتر نسبت به ماتریس ریسک ORMو سطح شاخص ریسک استاندارد ارائه‌شده است. این نوع ماتریس اگر چه ابهام موجود در ORM را تا حدودی کاهش داده لیکن مشکل شباهت ریسک همچنان وجود دارد.

بحرانی	M	M	H	H	VH	VH	VH
شدید	L	M	M	H	H	VH	VH
متوسط	L	L	M	M	H	H	VH
پایین	L	L	L	M	M	H	H
ناچیز	L	L	L	L	M	M	H
	0.00~0.10	0.10~0.20	0.20~0.40	0.40~0.60	0.60~0.80	0.80~0.90	0.90~1.00

تصویر ۳– ماتریس ریسک **RMC** (سطح ریسک استاندارد)

ماتریس ریسک فازی (FRM)

در زمان ارزیابی ریسک از طریق ماتریس ORM، در صورتی که مقادیر ورودی ریسک (شدت و احتمال) در مجاورت حدود سطح‌بندی شاخص ریسک واقع شوند، ممکن است نتایجی را حاصل کنند که تفسیر شاخص ریسک را دچار عدم اطمینان کنند. به عنوان مثال در تصویر ۱، دو مقدار احتمال ۰/۳۹ (کمتر از مقدار بحرانی) و ۰/۴۲(بیشتر از مقدار بحرانی)، با یک مقدار مشابه شدت "کم"، می‌توانند دو سطح ریسک "پایین" و "متوسط" را ایجاد کنند. در اینجا پایین بودن دقت کاملاً واضح می‌باشد، چرا که مقدار تفاوت ۳٪ (۰/۴۲ - ۰/۳۹)، نباید چنین اختلاف قابل ملاحظه‌ای در نتایج خروجی ایجاد کند. این موضوع نشان‌دهنده این است که محدوده‌های تیز و یا مقادیر مطلق عددی برای متمایز نمودن سطح اختلاف احتمال، شدت و ریسک مناسب نیستند. برای این منظور می‌توان از مجموعه‌های فازی و سیستم استنتاج فازی بهره گرفت [۶].

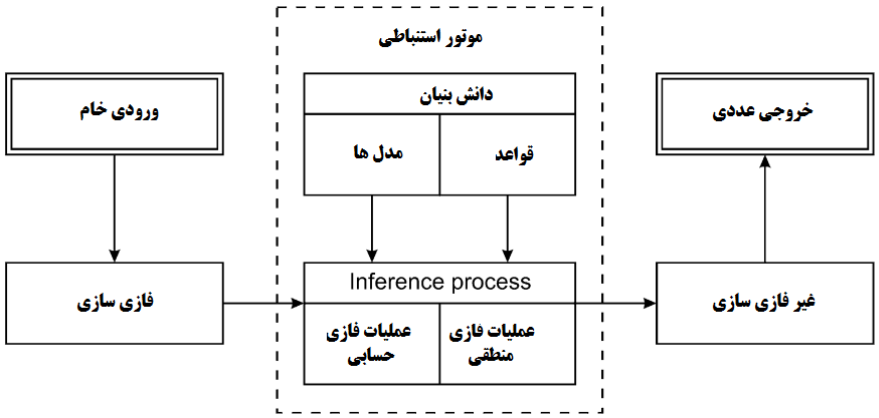
FRM بر مبنای ساختار سیستم منطق فازی (FLS) عمل می‌کند، که از سه جزء شدت، فرکانس و ریسک فازی تشکیل شده است. ساختار اصلی FLS در تصویر ۴ نشان داده شده است. ساختار FRM از اجزاء زیر تشکیل شده است:

۱- بخش فازی کننده که متغیرهای مطلق (غیر فازی) ورودی سیستمFRM (فرکانس (F)، شدت (S) و سطوح ریسک (R)) را به اعداد فازی تبدیل می‌کند ($\tilde{F}, \tilde{S},$). یک نمونه از مجموعه‌های فازی که نشان‌دهنده F، S و R می‌باشد در تصویر ۵ نشان داده شده است.

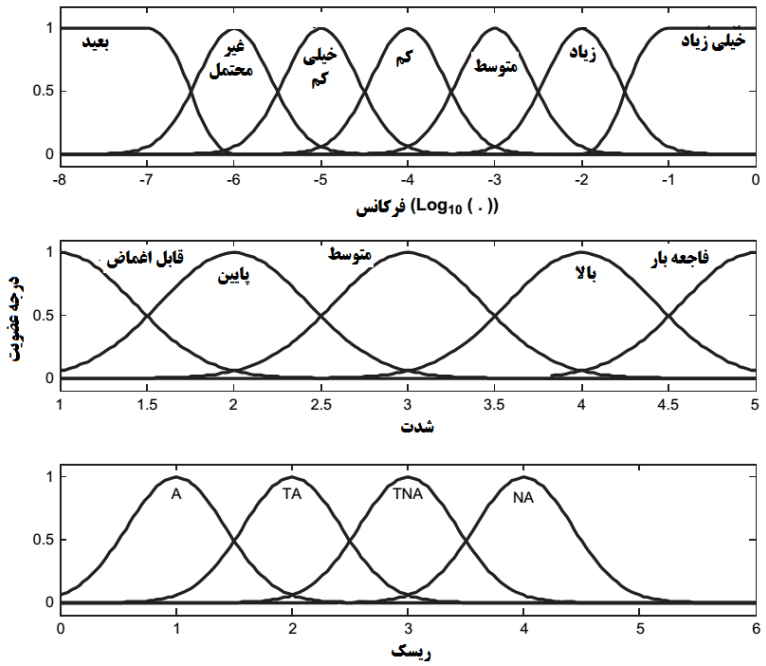
۲- موتور استنباطی FLS که مجموعه‌های فازی ورودی را از طریق بخش دانش بنیان به مجموعه‌های فازی خروجی تبدیل می‌کند. این کار از طریق قواعد "اگر- بنابراین – درغیراین صورت" که بر پایه دانش فردی (برای شدت و شاخص ریسک) و یا محاسبات ریاضیاتی برای یک عملیات خاص (در بخش محاسبه درخت خطا) می‌باشند، صورت می‌گیرد.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

۳- بخش غیر فازی کننده که فرایند وزن دهی و متوسط گیری خروجی تمام قواعد فازی را انجام داده و آن را به صورت یک عدد خروجی غیر فازی (ریسک مطلق)، مطلق ارائه می‌کند.



تصویر ٤- ساختار سیستم منطق فازی (FLS)



تصویر ٥- توابع عضویت مورد استفاده جهت فازی سازی فرکانس، شدت و ریسک

ماتریس ریسک بسط یافته (ERM):

ماتریس ریسک ERM بسیاری از محدودیت‌های ماتریس ORM در ارتباط با شاخص شباهت ریسک را حل نموده و علاوه بر این ورودی‌های آن غیر از شدت و احتمال هر نوع متغیر دیگری نیز می‌توانند انتخاب شوند. علاوه بر این، در ERM از چهار نوع عملیات اصلی ریاضیاتی استفاده‌شده و بنابراین می‌توان در مورد هر نوع متغیر ورودی نوع خاصی از عملگر را انتخاب نمود. در مواردی که خروجی مورد نظر از نوع "مقدار مورد انتظار" باشند می‌توان از عملگر ضرب استفاده نمود. به عنوان مثال در مبحث مدیریت شرایط اضطراری (EM)، میزان بحرانی بودن یک حادثه را می‌توان از رابطه "میزان بحرانی بودن = آسیب × احتمال" به دست آورد. علاوه براین در مواردی که متغیرهای مورد ارزیابی، از نوع نسبی هستند می‌توان از عملگر تقسیم استفاده نمود. به عنوان مثال در مورد EM، راندمان اقدامات را می‌توان از رابطه "راندمان = سود (تلفات کاهش داده شده) – هزینه (منابع مصرف شده)" به دست آورد. هم چنین در مواردی که هم متغیرهای مورد ارزیابی و هم خروجی مساله از یک نوع هستند، می‌توان از عملگر تفریق استفاده نمود. به عنوان مثال مجددا در مورد EM، تفاوت منابع را

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

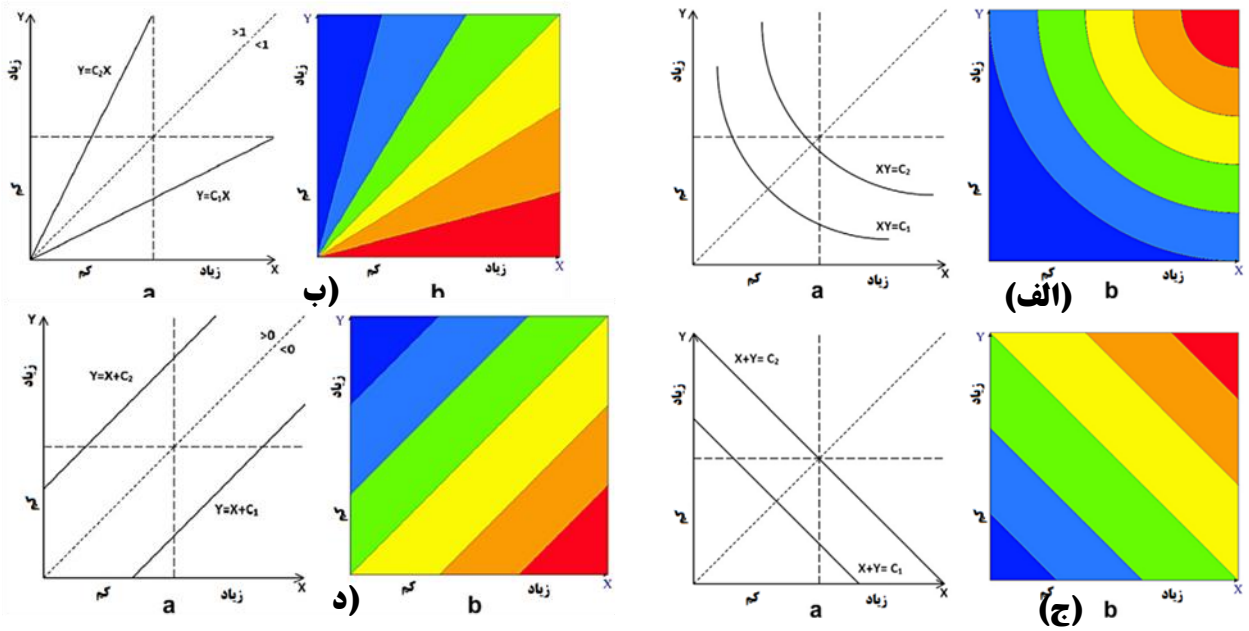
می‌توان از رابطه " تفاوت منابع = نرخ تقاضای منبع – موجودی منبع" به دست آورد. یکی دیگر از عملگرهای ریاضیاتی عملگر جمع می‌باشد که شباهت بسیاری با عملگر تفریق دارد. با رجوع به مثال مدیریت واکنش در شرایط اضطراری میزان زیان کلی را می‌توان با استفاده از عملگر جمع وبه صورت زیر به دست آورد: "زیان کل = هزینه ضرر مستقیم+ هزینه ضرر غیرمستقیم" [۴].

اگر چه همه موارد ذکرشده فوق می‌توانند در مبحث ارزیابی ریسک مورد استفاده قرار گیرند، لیکن در این مطالعه تنها عملگر ضرب به صورت تفصیلی شرح داده خواهد شد. علاوه بر این نمودارهای گرافیکی چهار عملگر اصلی ریاضیاتی در تصویر ۶ نشان داده‌شده‌اند.

معادله ضرب

از آنجای که نتیجه ارزیابی در معادله ضرب، در واقع حاصل‌ضرب X و Y می‌باشد، در نتیجه نتایج ارزیابی‌های با مقادیر مشابه بر روی یک هذلولی واقع می‌شوند. با در نظر گرفتن تصویر به عنوان یک مثال، هذلولی $XY = C_1$ از تمامی جفت X–Yهای با حاصل‌ضرب C_1 تشکیل شده است. واضح است که نتایجی که بر روی هذلولی $XY = C_2$ واقع می‌شوند بزرگ‌تر از نتایج هذلولی $XY = C_1$ می‌باشند؛ و بنابراین با حرکت هذلولی به سمت راست، نتایج خروجی افزایش می یابند. اگر چه نتایج خروجی این عملگر به شکل چهار سلولی نمی‌باشند، لیکن به صورت مقاطع منظمی هستند که به وسیله هذلولی‌هایی با فرمول $XY = C_i$ از یکدیگر جداشده‌اند. C_iهای مختلف، تعیین کننده هذلولی های متفاوت می‌باشند. تصویر ۶-الف یک نمونه تصویری از عملگر ضرب که با شش رنگ مجزا از یکدیگر جداشده‌اند، را نشان می‌دهد.

از آنجایی که معمول‌ترین روش جهت توصیف ریسک، مقدار مورد انتظار می‌باشد، لذا در این مطالعه از بین اشکال متفاوت معادلات باینری، رابطه حاصل‌ضرب در فرایند محاسباتی ERM مورد استفاده قرار گرفته است. فرایند محاسباتی ماتریس ریسک را می‌توان در قالب ERM باز تعریف نموده و شاخص ریسک را به جای استنباط منطقی، به صورت الگوی ریاضیاتی به صورت زیرکمی سازی نمود.



تصویر ٦- عملگرهای ریاضیاتی در **ERM** (الف- عملگر ضرب، ب- عملگر تقسیم، ج- عملگر جمع، د- عملگر تفریق)

حل کردن مشکل عدم قطعیت در ماتریس ریسک بسط یافته

برخی از مواقع مقادیر متغیرهای ورودی به طور دقیق در دسترس نبوده، ولی می‌توان آن را از طریق تخمین تعیین نمود. این موضوع به خصوص در مورد شدت و احتمال مورد استفاده در ماتریس ریسک صادق می‌باشد. بنابراین با ادغام عدم قطعیت در ماتریس ریسک می‌توان این مشکل را مرتفع ساخت. ابزارهای متفاوتی جهت حل کردن مشکل عدم قطعیت در دسترس می‌باشند. از بین این ابزارها، اعداد فاصله‌ای، که بازتاب‌دهنده تصادفی بودن داده‌ها می‌باشند، یک جایگزین مناسب به جای اعداد مطلق می‌باشند.

عملگرهای حسابی اعداد فاصله‌ای

یک عدد فاصله‌ای $[a_1, a_2]$ با شرط $a_1 \leq a_2$، در واقع مجموعه‌ای

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

از اعداد حقیقی می‌باشند که از طریق فرمول زیر تعریف می‌شوند:

$$[a_1,a_2] = \{x|a_1 \leq x \leq a$$

اگر $A = [a_1, a$ **و** $B = [b_1, b$ **دو عدد فاصله‌ای در نظر**

$$A + B = [a_1 + b_1, a_2 + b_2] \ , \ A - B = [a_1 - b_2, a_2 - b_1] \quad (1)$$

$$A \times B = [a_1 \times b_1, a_2 \times b_2] \ , \ A \div B = [a_1 \div b_2, a_2 \div b_1] \quad (2)$$

با استفاده از روابط فوق، می‌توان اعداد فاصله‌ای را با مقادیر ورودی ماتریس ریسک بسط یافته ادغام نموده و مشکل عدم قطعیت و تصادفی بودن داده‌ها را حل نمود.

عملگر نگاشت

به منظور مقایسه و طبقه‌بندی کردن خروجی‌های متفاوت از اعداد فاصله‌ای و اعداد حقیقی می‌توان از عملگر نگاشت استفاده نمود. در صورتی که w(A) و m(A) به ترتیب به عنوان عرض و حد وسط عدد فاصله‌ای "A " در نظر گرفته شوند، در نتیجه با استفاده از رابطه ۴ (عملگر نگاشت) می‌توان عدد فاصله‌ای A را به عدد حقیقی تبدیل نمود [۴]:

$$w(A) = a_2 - a_1 \quad , \quad m(A) = (a_1 + a_2)/2 \quad (3)$$

$$m_\alpha(A) = m(A) + \alpha\, w(A), \quad \alpha \in [-0.5, 0.5] \quad (4)$$

گرفته شوند (که $a_1>0$ و $b_1>0$)، با استفاده از روابط زیر می‌توان عملگرهای حسابی بر روی این اعداد فاصله‌ای را محاسبه نمود:

که α متغیر برتری بوده و بر اساس ویژگی‌های فرد ارزیاب تعیین می‌شود (جدول۱):

جدول۱- مقادیر α با توجه به ویژگی‌های ارزیاب

ویژگی‌های ارزیاب	مقدار α
بدبین (سخت‌گیر)	$-0.5 \leq \alpha < 0$
معمولی (خنثی)	$\alpha = 0$
خوش‌بین (آسان گیر)	$0 < \alpha \leq 0.5$

با توجه به موارد فوق، ۱۰ سناریوی ریسک در فرایند حفاری و لوله‌گذاری (لوله‌های با قطر ۹۶ اینچ) مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که نتایج حاصله در جدول ۲ ارائه‌شده‌اند.

جدول۲- نتایج ارزیابی ریسک فرایند حفاری و لوله‌گذاری بر اساس ماتریس ریسک سنتی (ORM)، سلول‌های جابجا شده (RCM)، بسط یافته (ERM) و فازی (FRM)

خطر	شدت		احتمال		شاخص ریسک ORM		شاخص ریسک RCM		شاخص ریسک ERM						شاخص ریسک FRM	
									α = ۰/۲۵		α = ۰		α = -۰/۲۵			
	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	ریسک	اولویت	ریسک	اولویت	ریسک	اولویت	ریسک	اولویت	ریسک	اولویت	ریسک	اولویت
سقوط جرثقیل به داخل کانال	۴/۵	۵	0	۰/۱	M	۲	M	۲	۰/۳۳۶	۱۰	۰/۲۳۸	۱۰	۰/۱۱۶	۱۰	۱/۷۱	۸
تخریب دیواره کانال در اثر لرزش ناشی از جرثقیل	۲/۳	۲/۳	۰/۲	۰/۲۶	M	۲	M	۲	۰/۵۶۴	۹	۰/۵۲۹	۸	۰/۴۹۵	۷	۱/۴۶	۱۰
برخورد بیل مکانیکی با خطوط انتقال برق زیر زمینی	۳/۱	۳/۶	۰/۲۵	۰/۲۵	M	۲	M	۲	۰/۸۶۹	۵	۰/۸۳۸	۵	۰/۸۰۶	۵	۱/۷۳	۷
برخورد بیل مکانیکی با خطوط انتقال گاز زیر زمینی	۴/۶	۴/۹	۰/۲۵	۰/۲۵	H	۱	H	۱	۱/۲۰۶	۳	۱/۱۸۸	۳	۱/۱۶۹	۲	۲/۶۶	۱
برخورد بیل مکانیکی با خطوط انتقال آب زیر زمینی	۲/۶	۲/۶	۰/۲۵	۰/۲۵	M	۲	M	۲	۰/۶۵	۷	۰/۶۵	۶	۰/۶۵	۶	۱/۶۰	۹
برخورد بوم جرثقیل با خطوط فشارقوی برق	۳/۸	۴/۲	۰/۱	۰/۱۶	M	۲	L-M	۲الی۳	۰/۵۹۵	۸	۰/۵۲	۹	۰/۴۴۹	۹	۱/۹۱	۵
سقوط اجسام از اطراف کانال به داخل آن	۳/۱	۳/۱	۰/۳	۰/۳۶	M	۲	M	۲	۱/۰۷	۴	۱/۰۲۳	۴	۰/۹۷۷	۴	۱/۹۶	۴
سقوط جوشکار از روی داربست	۳/۸	۳/۸	۰/۱	۰/۲	M	۲	M	۲	۰/۶۶۵	۶	۰/۵۷	۷	۰/۴۷۵	۸	۱/۸۳	۶
استنشاق گازهای جوشکاری	۲/۳	۲/۷	۰/۶	۰/۷	M	۲	H	۱	۱/۷۵۵	۱	۱/۶۲۵	۱	۱/۵	۱	۲/۵	۲
بروز مشکلات اسکلتی عضلانی به علت پوسچر نامناسب	۳/۲	۳/۸	۰/۳	۰/۴	M	۲	M	۲	۱/۳۶۹	۲	۱/۲۲۵	۲	۱/۰۸۹	۳	۲/۰۹	۳

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

بحث

همان‌گونه که از نتایج حاصله در جدول ۲ مشخص است، ماتریس ریسک ORM و RCMاز بین ۱۰ سناریوی خطر ذکرشده تنها دو سطح خطر (H و M) را مشخص نموده‌اند، درحالی‌که قضاوت بر مبنای این دو سطح از ریسک بسیار مشکل است. هر چند مشکل شباهت ریسک در ماتریس ریسک RCM نسبت به ORM کمتر است، لیکن باز هم این مشکل وجود دارد. به منظور مقایسه میزان ابهام در نتایج خروجی ماتریس ریسک، می‌توان از دو شاخص "چگالی شباهت ریسک" (RTD) و "چگالی سطح ریسک" (RLD) استفاده نمود. شاخص RTD (d_T) نشان‌دهنده متوسط تعداد ریسک‌های مشابه یکدیگر در هر سطح از ریسک، در زمانی که ماتریس ریسک برای یک سناریوی خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌باشد. به عنوان مثال شاخص d_T در ماتریس RMC برابر با ۱,۵ و در ماتریس ORM برابر با ۲ می‌باشد. بنابراین با افزایش مقدار d_T، میزان ابهام ماتریس ریسک کاهش می‌یابد. این بدین معناست که شباهت ریسک در RMC نسبت به ORM کمتر می‌باشد. اگرچه مشکل شباهت ریسک در RMC تا حدودی حل شده است ولی به طور کامل حذف نشده است.

از سوی دیگر به منظور کمی سازی و تخمین احتمال وقوع ریسک‌های شبیه به هم، در ماتریس ریسک، از شاخص RLD (d_L)استفاده‌شده است. که nj تعداد خانه‌های ماتریس ریسک در سطح ریسک jام و L تعداد کل سطوح ریسک می‌باشد.

$$d_T = \frac{\sum_{j=1}^{L} T_j}{L}$$

$$d_L = \frac{1}{6}\left[\frac{\min_{1\le j\le L} n_j}{\sum_{j=1}^{L} n_j} + \frac{\max_{1\le j\le L} n_j}{\sum_{j=1}^{L} n_j} + \frac{4}{L}\right]$$

شاخص RLD مشابه تعریف "محتمل‌ترین زمان تخمینی" در "تکنیک بازنگری و ارزیابی برنامه‌ریزی" (PERT) می‌باشد، که نشان‌دهنده متوسط میزان اشغال هر سطح از ریسک در ماتریس ریسک می‌باشد.در شرایط معمول، احتمال وقوع شباهت ریسک، با کاهش d_L، کاهش می‌یابد. بنابراین d_L را می‌توان به عنوان شاخصی جهت تخمین احتمال وقوع شباهت ریسک مورد استفاده قرارداد.

به عنوان مثال مقدار d_L در ماتریس ریسک ORM (تصویر ۱) و RMC (تصویر ۳) به ترتیب برابر با ۰/۳۳۵۶ و ۰/۲۴۲۹ می‌باشد. این بدان معناست که میزان شباهت‌های ریسک ظاهرشده در ORM بیشتر از RMC می‌باشد. روند تغییر شاخص d_L در برخی از ماتریس‌های ریسک اصلی در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳-روند تغییر شاخص چگالی سطح ریسک در برخی از ماتریس‌های ریسک مرسوم

تعداد سلول‌های ماتریس	۱ × ۱	۲ × ۲	۳ × ۳	٤ × ٤	٥ × ٥	٦ × ٦	٧ × ٧
شاخص d_L	۱	۰,۳٤۷۲	۰,۳۳۳۳	۰,۳۲٦٤	۰,۳۳٥٦	۰,۲٦۱۱	۰,۲٤۲۹

در هر حال با استفاده از ماتریس ORM و RCM همچنان مشکل قضاوت شخصی در مورد سطوح ریسک وجود دارد. از سوی دیگر استفاده از ماتریس ERM و FRM این مشکل را حل نموده و شاخص ریسک خروجی را به صورت کمی بیان می‌کنند. همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص است، در ماتریس ERM با تغییر شخصیت فرد ارزیاب (سخت‌گیرانه و یا آسان گیر بودن) نتایج خروجی نسبت به یکدیگر متفاوت هستند، لیکن از یک الگوی مشابه در اولویت‌بندی ریسک تبعیت می‌کنند، به نحوی که روند تغییر اولویت ریسک در هر سه حالت (α=۰,۲۵، α=۰، α= -۰,۲۵) با اندک تفاوتی نسبت به یکدیگر، تقریباً مشابه هستند. از سوی دیگر، ماتریس FRM به دلیل فازی نمودن ورودی (احتمال و شدت) و خروجی (شاخص ریسک) و استفاده از توابع عضویت گوسی، نتایج خروجی قابل‌اطمینان تری را نسبت به ماتریس ERM ارائه می‌کند؛ چرا که ورودی و خروجی سیستم FLS در محدوده‌های مختلف و به صورت تدریجی (خاصیت مجموعه‌های فازی) تغییر نموده و تغییرات تند و ناگهانی از یک سطح به سطح دیگر (در ورودی و خروجی سیستم) وجود ندارد. هر چند که ماتریس ERM نیز از اعداد فاصله‌ای و عملگر نگاشت جهت کاهش عدم قطعیت در کمی سازی خروجی استفاده می‌کند، لیکن از دقت سیستم‌های فازی در کمی سازی برخوردار نیست. این موضوع را می‌توان در سناریوی چهارم جدول ۲ (برخورد بیل مکانیکی با خطوط انتقال گاز زیرزمینی) مشاهده نمود. همان‌گونه که از جدول مشخص است، این سناریو اولویت اول ریسک بر اساس ماتریس FRM را به خود اختصاص داده درحالی‌که در ماتریس ERM برای α=۰,۲۵، α=۰، α= -۰,۲۵ به ترتیب اولویت ۳، ۳ و ۲ را به خود اختصاص داده‌اند. این موضوع

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

نشان‌دهنده این است که نتایج ماتریس ERM سخت‌گیرانه با نتایج ماتریس FRM همخوانی دارند، لیکن این همخوانی در سطوح بالای ریسک معتبر است ولی در سطوح پایین ریسک این همخوانی از بین رفته و نتایج خروجی این دو سیستم نیز باهم متفاوت هستند. به هر حال همان‌گونه که اشاره گردید، نتایج ماتریس FRM از اعتبار بیشتری نسبت به ERM برخوردار بوده و می‌توان از این سیستم با اطمینان بیشتری نسبت به سایر انواع ماتریس ریسک استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

اگر چه استفاده از ماتریس ریسک مزایایی نظیر سهولت استفاده، راحتی در قابلیت درک و قضاوت سریع در مورد سطح ریسک و تصمیم‌گیری در مورد اقدامات کنترلی و پیشگیرانه را فراهم می‌سازد، لیکن به دلیل مشکلاتی نظیر دقیق نبودن طبقه‌بندی شاخص ریسک و ذهنی بودن مکانیسم ارزیابی استفاده از آن را محدود می‌سازد. از سوی استفاده از عملگرهای ریاضی حسابی و فازی می‌تواند این مشکل را تا حد بسیار زیادی مرتفع ساخته و نتایج ارزیابی را قابل‌اطمینان تر سازد. بنابراین با وارد نمودن مفاهیم ریاضیاتی حسابی و فازی در فرایند ارزیابی ریسک در مواقعی که داده‌های ورودی دقیق در دسترس نمی‌باشند، می‌توان عدم قطعیت موجود را برطرف نموده و تجزیه و تحلیل‌های موجود در زمینه مدیریت ریسک را با قابلیت اطمینان بیشتری انجام داد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که با استفاده از معادلات ریاضیاتی نظیر عملگرهای فازی و نگاشت می‌توان عدم قطعیت‌های موجود در فرایند ارزیابی ریسک را برطرف نموده و نه تنها در مورد ماتریس ریسک، بلکه در همه روش‌های ارزیابی و تحلیل ریسک از این روابط به منظور ارتقای سطح اطمینان خروجی سیستم استفاده نمود.

منابع

1. Rosenbloom JS. Case Study in Risk Management: Prentice Hall; 1972.
2. Williams CA, Heins RM. Risk Management and Insurance. New York: McGraw Hill; 1985.
3.Wang M. Security Investment Risk: Evaluation, Prediction and Control. China: Press of Universityof Shanghai Finance and Economics 2003.
4.Ni H, Chen A, Chen N. Some extensions on risk matrix approach. Safety Science 2010; 48:1269-78.
5. Paul R, Garvey PR, Lansdowne ZF. Risk matrix: an approach for identifying, assessing, and ranking program risks. Air Force Journal of Logistics. 1998; 22(1):16–23.
6. Markowski AS, Sam Mannan M. Fuzzy risk matrix. Journal of Hazardous Materials. 2008; 159 152–7.
7. Zeng, Tiemei, Hou, Jianguo. Risk management in metro operation. Engineering Journal of Wuhan University 2007; 40(6): 84–93.
8. Zhu, Qichao, Kuang, Xinghua, Shen, Yongping. Risk Matrix Method and Its Application in the Field of Technical Project Risk Management. Engineering Science. 2003; 5(1):89–94.
9. Li, Zhongmin, Wei, Yiming, Tang, Shuchun, et al. The application of risk matrix to acquisition risk evaluation for weapon and equipment. Engineering Science 2006; 8(6):95–9.
10. Chang, Hong, Gao, Yunli. The application of risk matrix to engineering project risk management. Industrial Technology and Economy 2007; 26(11):134–7.
11. Liu, June, Zhang, Hongliang, Li, Shaobo, et al. Risk matrix for supply chain risk evaluation. Statistic and Decision. 2007; 7:151–2.
12. Khazayie F, Geotechnical risk assessment of Tunnel boring machine (TBM) using fuzzy risk matrix case study: Zagros water transforming tunnel. Thesis, Shahid Bahonar University, Faculty of Engineering. 2012.
13. Ustakhan M, Mofidi AM, Meshkani M. Safety level assessment in the production environment using Fuzzy logic. JHSW. 2012; 2 (1):63-74
14. Kolasangiani H, Omidvari M. Presenting a model for quantitative risk assessment of low voltage electrocution in electricity distribution industry using FTA in fuzzy environment. Iran Occupational Health Journal. 2015; 12 (2):50-61
15. Hosseini Kebria S, Mohammadi Golafshani E, Kashefi alasl M, jozi S. Predicting the occupational accidents of Tehran's oil Refinery based on HSE using fuzzy logic model . Iran Occupational Health Journal. 2014; 11 (6):43-54
16. Ardeshir A, Maknoon R, Rekab Islami Zadeh M, Jahantab Z. HSE risks assessment in urban high-rise construction using Fuzzy Approach. JHSW. 2015; 5 (2):1-12
17. Golbabaei F, Azar A, Ganji Kazemian M. Designing a model for selection of air pollution control equipment using fuzzy logic. JHSW. 2014; 4 (2):37-50
18. Qorbali Z, Nasiri P, Baqaei A, Mirilavasani S. Representing the Fuzzy improved risk graph for determination of optimized safety integrity level in

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

industrial setting. JHSW. 2013; 3 (3) :79-90
19. Meknatjoo M, Omidvari M. Safety Risk Assessment by using William –Fine method with Compilation Fuzzy DEMATEL in Machining Process. Iran Occupational Health Journal. 2015; 12 (5) :35-44.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

Research Article

Application of Fuzzy Logic Inference System, Interval Numbers and Mapping Operator for Determination of Risk Level

Mohsen Omidvar[1*], Fereshteh Nirumand[2]

Received: 5 December 2105 Accepted: 23 December 2015

Abstract

Background & objective: Due to the features such as intuitive graphical appearance, ease of perception and straightforward applicability, risk matrix has become as one of the most used risk assessment tools. On the other hand, features such as the lack of precision in the classification of risk index, as well as subjective computational process, has limited its use. In order to solve this problem, in the current study we used fuzzy logic inference systems and mathematical operators (interval numbers and mapping operator).

Methods: In this study, first 10 risk scenarios in the excavation and piping process were selected, then the outcome of the risk assessment were studied using four types of matrix including traditional (ORM), displaced cells (RCM) , extended (ERM) and fuzzy (FRM) risk matrixes.

Results: The results showed that the use of FRM and ERM matrix have prority, due to the high level of " Risk Tie Density" (RTD) and "Risk Level Density" (RLD) in the ORM and RCM matrix, as well as more accurate results presented in FRM and ERM, in risk assessment. While, FRM matrix provides more reliable results due to the application of fuzzy membership functions.

Conclusion: Using new mathematical issues such as fuzzy sets and arithmetic and mapping operators for risk assessment could improve the accuracy of risk matrix and increase the reliability of the risk assessment results, when the accurate data are not available, or its data are avaliable in a limit range.

Keywords: Risk Matrix, Uncertainty, Fuzzy Logic System, Arithmetic Operators, Mapping Operator

Please cite this article as: Omidvar M, Nirumand F. Application of fuzzy logic inference system, interval numbers and mapping operator for risk level determination. *2015; 2(3):55-65.*

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-26]

1.* (Corresponding Author): Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran, Email: m-omidvar@razi.tums.ac.ir

2. Department of Pollution control, School of Environmental Engineering , ghalat Ghaem branch, Applied Sciences and technology University, Iran.