Archive of SID

ارزیابی ریسک زیست محیطی ناشی از دمپ باطله معادن به روش FMEA با استفاده از تئوری فازی

چکیده :

در عملیات معدنکاری حجم قابل توجهی از عملیات روزانه صرف باطله برداری می گردد. انتخاب محلی جهت انباشت مواد باطله به دلیل عدم قطعیت های مرتبط به نفوذپذیری بالای مواد باطله و واکنش پذیری آن در برابر عوامل جوی و تولید اسید، مواد سمی و خطرناک، از جمله پرمخاطره ترین کارها به شمار می رود. عدم شناسایی، ارزیابی و مدیریت صحیح و به موقع ریسک های زیست محیطی ناشی از دمپ باطله معادن باعث خطرات جبران ناپذیری چون نابودی موجودات زنده و هزینه های گزاف احیای دوباره منطقه آسیب دیده می گردد. روش FMEA یکی از ابزارهای مناسب جهت شناسایی، ارزیابی و مدیریت موثر ریسک های زیست محیطی ناشی از دمپ باطله معادن است. تعیین فاکتورهای ورودی در این روش (تشخیص حالات خطا، شدت و میزان تناوب وقوع و احتمال کشف خطا) توسط متخصصین صورت گرفته که به دلیل عدم قطعیت های این پروژه ها و کیفی و ذهنی بودن قضاوت ها ممکن است با مشکل مواجه شود. در این تحقیق به منظور انجام یک تجزیه و تحلیل سازگار و منطقی از منطق فازی (با دو رویکرد محاسباتی) به عنوان ابزاری مکمل استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که منطق فازی در مقایسه با روش سنتی FMEA ، انعطاف پذیرتر و واقعی تر است.

کلید واژه ها: ریسک زیست محیطی، دمپ باطله، منطق فازی، روش FMEA.

Abstract:

Waste dump site selection is an important decision in mining operation. Accumulation of waste material due to uncertainties related to high permeability, with expose to weather and oxygen, can cause acid, toxic and hazardous substances, which made irreparable threats such as destruction of the living and the exorbitant cost for restoring of affected area. Thereupon, environmental risk assessment is really necessary. In this study, failure mode and effect analysis (FMEA) method determines the risk priority number. Fuzzy logic theory (with two computational approach) is used as a complementary tool to eliminate the conversion debate by directly evaluating the linguistic assessment of factors. The results show that fuzzy method is more realistic in compared with conventional FMEA.

Keywords: waste dump, environmental risk assessment, FMEA

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه :

امروزه به دليل ازدياد نفوس و افزايش درخواست براي فلزات، ناشي از توسعه صنعت و محصولات صنعتي، استخراج ذخاير كم عيار و نسبتاً عميق اقتصادي شده است. استخراج ساليانه حدود ۲۳ ميليون تن مواد معدني، به معني جابه‌جايي حداقل۵۰ ميليون تن خاک (ماده معدني و باطله) در سال است (۱). تصور اين حجم دست‌اندازي به طبيعت، مي‌تواند ابعاد تخريب محيط‌زيست را حداقل در سطح زمين به خوبي نشان دهد. شرايط زمين‌هاي متأثر از فعاليت‌هاي معدنكاري، از عوامل مهم برنامه‌ريزي در معدن محسوب مي‌شوند.

دمپ‌هاي باطله مكان‌هايي هستند كه در آن‌ها مواد كم عيار و فاقد ارزش اقتصادي، سنگ‌هاي باطله كه به منظور دسترسي و استخراج مواد معدني پرعيار اجباراً بايد برداشته شوند، بر اساس ترتيب خاص انباشت مي‌شوند. محل دپوهاي باطله دائمي است؛ لذا بايد از نظر ساختار و زيربنا محكم و سفت باشد. امروزه در اكثر معادن روباز دنيا، دپوهاي باطله به وفور يافت مي‌شود كه به صورت ذخاير عظيمي باقي مانده‌اند. وجود چنين دپوهايي در مجاورت معادن، در دراز مدت علاوه بر ايجاد معضلاتي در توسعه و گسترش معدن، باعث آلودگي‌هاي زيست محيطي بسياري نيز مي‌شود.

افزايش توجهات به مخاطرات زيست محيطي حاصل از دمپ باطله‌هاي معدني بخصوص باطله‌هاي با خاصيت راديواكتيويته، مواد سمي، فلزات سنگين و همچنين آبهاي اسيدي، طراحان و برنامه‌ريزان را وادار كرده است تا در مورد انتخاب مكانهاي دامپ باطله‌هاي معدني توجه خاصي داشته باشند زيرا انتخاب نادرست مكانهاي دمپ باطله خسارات جبران‌ناپذيري خواهد داشت. اما از آنجا كه اثرات سوء دمپهاي باطله در دراز مدت بروز كرده و تا به حال مشكل خاصي (به جز باطله‌هاي راديواكتيو) ديده نشده، به اين امر مهم توجه كمتري مي‌شود. امروزه مهندسين معدن با توجه به توپوگرافي منطقه و مسير حمل، مكانهايي را در اطراف معدن به منظور دپوي باطله‌هاي معدني انتخاب مي‌كنند و به مخاطرات دراز مدت دپوهاي باطله توجه كمتري مي‌شود. ميزان و شدت آلوگی های ناشی از دمپ باطله به پارامترهاي مختلفي بستگي دارد. كه برخی از آنها شامل ظرفيت دمپ باطله؛ نوع سيستم باربري و هزينه حمل باطله؛ وضعيت سنگ بستر؛ خواص فيزيكي و شيميايي سنگ باطله؛ تأثير دمپ باطله بر آبهاي سطحي و زيرزميني و عوامل متعدد ديگری می باشند.

لذا شناسايی، بررسی و مشخص شدن پارامترهای بحرانی در كاهش مخاطرات زيست محيطی ناشی از باطله معادن حائز اهميت بسياری است. هر پروژه ای به سازوكاری برای شناسايی، ارزيابی و تصميم گيری جهت كاهش نهايی ريسک نيازمند است. روش تجزيه و تحليل حالات شكست و اثرات آن (FMEA[1]) با نگاه كلی به سيستم می تواند جهت شناسايی ريسک ها مورد استفاده قرار گرفته و جهت كمينه ساختن سطح قابل قبول ريسک زيست محيطی و محدوديتهای عملياتی بكار رود (۲). از اين رو در اين مطالعه عوامل مختلف تاثيرگذار در ريسک زيست محيطی ناشی از دمپ باطله مورد بررسی قرار گرفته است. تا با شناخت مهمترين و بحرانی ترين پارامتر تاثيرگذار در آلودگی زيست محيطی ناشی از دمپ باطله، اين مخاطرات زيست محيطی از بين رفته و يا به حداقل مقدار ممكنه كاهش يابد. كه برای نيل به اين هدف به منظور انجام يک تجزيه و تحليل سازگار و منطقی از منطق فازی (با دو رويكرد محاسباتی) به عنوان ابزاری مكمل استفاده شده است.

◇◇◇◇◇◇◇

بحث :

۱- مرور ادبيات موضوع

FMEA ابزاری برای برآورد ريسک[2] به صورت تحليلی است كه می كوشد تا حد ممكن خطرات بالقوه موجود در يک سيستم، فرايند، طرح و يا خدمت را شناسايی و ارزيابی كرده و با اولويت بندی آنها به پيشگيری، حذف يا كنترل اين خطرات بپردازد (۳).

روش FMEA برای اولين بار در دهه ۱۹۶۰ در صنايع هوا و فضای آمريكا جهت ساخت سفينه آپولوی ۱۱ در ناسای آمريكا به كار برده شده است. در ابتدای استفاده از اين روش، از تكنيک سنتی FMEA استفاده می شده كه در اين تكنيک حالات خرابی (خطا) توسط يک تيم متخصص بررسی و تحليل شده و برای هر حالت خطا سه نمره شدت[3] (وخامت)، احتمال وقوع خطا[4] و احتمال كشف[5] در نظر گرفته می شود. اين سه نمره معمولا اعدادی بين ۱ تا ۱۰ هستند (جدول مربوط به تخصيص اعداد در ادامه ارائه خواهد شد) كه نهايتا از ضرب آن ها در هم عددی بين ۱ تا ۱۰۰۰ به دست می آيدكه به آن عدد اولويت ريسک[6] (RPN) می گويند. و بر اساس اولويت بندی اعداد به دست آمده بحرانی ترين قسمت

---

[1] Failure Mode and Effect Analysis
[2] Risk Assessment
[3] Severity
[4] Occurrence
[5] Detection
[6] Risk Priority Number

www.SID.ir

Archive of SID

سیستم شناسایی می گردد (۴). در این روش که به FMEA سنتی معروف است اساس کار بر فکر و احساس انسان است. لذا با یک مفهوم مبهم و نادقیق مواجه می باشیم که نمی توان یک مقدار کمی دقیق برای پارامترهای سه گانه در نظر گرفت. به عبارت دیگر نسبت دادن عددی بین ۱ تا ۱۰ به هر یک از عوامل موثر در ریسک پذیری برای تیم چند تخصصی مربوطه بسیار مشکل است و معمولا اختلاف نظر محسوسی در محاسبات بوجود می آید. در نتیجه در استفاده از این روش در طی زمان اشکالاتی به این روش وارد آمد که در جدول ۱ ، به نقل از ۲۳ مقاله بررسی شده از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۲ مهمترین ایرادات آورده شده است.

در مدلهای ارائه شده از سال ۱۹۹۵ به بعد، سعی شده است که این مشکلات تا حدود زیادی رفع شده و روش " تجزیه و تحلیل آثار شکست و اثرات آنها " اصلاح شود. که می توان روشهای اصلاحی به کاربرده شده در مقالات مختلف را به ۵ دسته کلی روشهای تصمیم گیری چند معیاره (MCDM)[7]، برنامه نویسی ریاضی (MP)[8]، هوش مصنوعی (AI)[9]، روشهای ترکیبی[10] و سایر نگرش ها تقسیم بندی نمود که اطلاعات روش به کار رفته در ۱۷ مقاله مورد بررسی، در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۱- معایب عمده روش FMEA سنتی.

معایب	مراجع
عدم توجه به ارتباط و وابستگی بین سه پارامتر اصلی شدت، وقوع و کشف و عدم وزن دهی به آنها	(۵-۱۳)
به دست آمدن عدد PRN یکسان برای ترکیبهای مختلف سه عدد شدت، وقوع و کشف با مفهوم های مختلف	(۵،۸،۹،۱۰،۱۱)
مشکل بودن تخمین و ارزیابی دقیق سه پارامتر اصلی روش	(۵،۱۰،۱۲،۱۴،۱۵،۱۶)
مبناهای مختلف برای تخصیص یک عدد به سه فاکتور اصلی	(۱۱)
عدد به دست آمده از طریق PRN تنها متاثر از سه فاکتور شدت، وقوع و کشف بوده و سایر عوامل را در نظر نمی گیرد	(۱۲)

جدول ۲- دسته بندی روش های ارزیابی ریسک در FMEA .

دسته بندی کلی	نوع روش و نگرش	مراجع
تصمیم گیری چند معیاره	ME-MCDM	(۸)
	Evidence theory	(۱۶)
	AHP/ANP	(۱۲)
	Fuzzy TOPSIS	(۱۳)
	Grey theory	(۱۱،۱۷)
برنامه نویسی ریاضی	Linear programming	(۱۴،۱۵)
	DEA/ Fuzzy DEA	(۱۸)
هوش مصنوعی	Fuzzy rule-base system	(۷،۹،۱۰،۱۹،۲۰)
	Fuzzy cognitive map	(۲۱)
روشهای ترکیبی	OWGA operator-DEMATEL	(۱۸)
	Fuzzy AHP-fuzzy TOPSIS	(۵)
سایر نگرش ها	Cost based model	(۲۲)
	Minimum cut sets theory (MCS)	(۶)

[7] Multi-Criteria Decision Making
[8] Mathematical Programming
[9] Artificial Intelligence
[10] Hybrid approaches

www.SID.ir

Archive of SID

۲- تشریح مدل مورد استفاده

در این تحقیق به منظور انجام یک تجزیه و تحلیل سازگار و منطقی از منطق فازی (با دو رویکرد محاسباتی) به عنوان ابزاری مکمل استفاده شده است. که توضیحات این روش ها در ادامه آورده شده است.

۲-۱- روش FMEA سنتی

مراحل انجام این روش به شرح زیر می باشد:

۱) جمع آوری اطلاعات مربوط به فرایند یا سیستم مورد نظر
دستگاه یا مکانی که در آن ارزیابی ریسک انجام می شود باید کاملا شناسایی و نحوه فعالیت ها و فرایندها به دقت بررسی شود.

۲) تعیین خطرات بالقوه ممکنه در سیستم
تمام خطرات محیطی، تجهیزاتی، مواد، انسانی و ... که ایمنی را تهدید می کند باید در نظر گرفته شود.

۳) بررسی اثرات هر خطر
اثرات هر خطر، اثرات احتمالی هستند که خطر بر ایمنی اطراف خود می گذارند و در موضوعات مختلف، متفاوت می باشد.

۴) تعیین علل خطرها
شناخت کافی از سیستم یا فعالیت مورد نظر مورد ارزیابی می تواند کمک فراوانی برای شناسایی علل بوجود آمدن خطر باشد.

۵) تهیه فرم FMEA شامل موارد ذکر شده در بالا

۶) تعیین شدت وقوع (نرخ وخامت)
شدت یا وخامت خطر فقط در مورد اثر آن در نظر گرفته می شود. برای شدت خطر، شاخص های کمی وجود دارد که بر حسب مقیاس ۱ تا ۱۰ بیان می گردد و مبنای آن در جدول ۴ آورده شده است.

۷) تعیین احتمال وقوع
احتمال وقوع، مشخص می کند که یک علت یا مکانیزم بالقوه خطر با چه تواتری رخ می‌دهد. احتمال رخداد بر مبنای ۱ تا ۱۰ سنجیده می‌شود. بررسی سوابق و مدارک گذشته بسیار مفید است. مبنای این فاکتور نیز در جدول ۵ آورده شده است.

۸) تعیین نرخ احتمال کشف خطر
احتمال کشف نوعی ارزیابی از میزان توانایی است که به منظور شناسایی یک علت یا مکانیزم وقوع خطر وجود دارد. بعبارت دیگر احتمال کشف ، توانایی پی بردن به خطر قبل از رخداد آن است. نحوه تخصیص اعداد احتمال کشف در جدول ۶ آورده شده است.

۹) محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN)
عدد اولویت ریسک، حاصلضرب سه عدد شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف است .

RPN= Severity x Occurance x Detection

جدول ۳- سه رکن اصلی در روش FMEA .

وظیفه	روش
شناسایی عوامل خطا	علل حالت شکست اثرات ناشی از آن
ارزیابی چگونگی وقوع خطا و فرایندهای حاصله از آن	محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN) (RPN = احتمال کشف × شدت × احتمال وقوع)
تصمیم گیری در چگونگی کاهش اثر خطا	بهینه سازی سیستم، بررسی دقیق و تست کردن طرح ها و برنامه ریزی ها و انجام تغییرات لازم و ...

جدول ۴- مبنای رتبه بندی شدت و وقوع خطر.

شدت (وخامت)	رتبه
خیلی خطرناک	۱۰
خطرناک	۹
خیلی زیاد	۸
زیاد	۷
متوسط	۶
کم	۵
خیلی کم	۴
اثرات جزئی	۳
خیلی جزئی	۲
هیچ	۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مبنای تعیین احتمال وقوع خطر در فرم FMEA .

احتمال وقوع خطر	نرخ های احتمالی خطر	رتبه
بسیار زیاد – خطر تقریبا اجتناب ناپذیر است	۱در ۲ یا بیش از آن	۱۰
	۱در ۳	۹
زیاد –خطر های تکراری	۱در۸	۸
	۱در ۲۰	۷
متوسط- خطر های مورد	۱در ۸۰	۶
	۱در ۴۰۰	۵
	۱ در ۲۰۰۰	۴
کم : خطر های نسبتا نادر	۱ در ۱۵۰۰۰	۳
	۱در ۱۵۰۰۰۰۰	۲
بعید:خطر نا محتمل است	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰۰	۱

جدول ۶- مبنای تعیین احتمال کشف خطر در فرم FMEA .

معیار : احتمال کشف خطر	قابلیت کشف	رتبه
هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست	مطلقاً هیچ	۱۰
احتمال خیلی ناچیزی دارد که با کنترلهای موجود خطر ردیابی و اشکار شود	خیلی ناچیز	۹
احتمال ناچیزی دارد که با کنترلهای موجود خطر ردیابی و آشکار شود	ناچیز	۸
احتمالی خیلی کمی دارد که با کنترلهای موجود خطر ردیابی و آشکار شود	خیلی کم	۷
احتمال کمی دارد که با کنترلهای موجود خطر ردیابی و آشکار شود	کم	۶
در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود	متوسط	۵
احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود	نسبتاً زیاد	۴
احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود	زیاد	۳
احتمال خیلی زیاد وجود دارد	خیلی زیاد	۲
تقریباً بطور حتم با کنترلهای موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می شود.	تقریباً حتمی	۱

۲-۲- تئوری فازی

همانطور که ذکر شد، اساس روش FMEA سنتی، فکر و احساس انسان است و مطابق جدول ۱ با یک مفهوم مبهم و نادقیق مواجه می باشیم و نسبت دادن عددی بین ۱ تا ۱۰ به هر یک از عوامل ریسک پذیری بسیار مشکل است و باعث اختلال نظر محسوس در محاسبات می شود. با توجه به لزوم تصمیم گیری نهایی در مورد علل عدم انطباق ها در روش تجزیه و تحلیل حالت های خطا و آثار آنها و مواجهه با پارامترهای نادقیق، به نظر می رسدنظریه فازی قادر است متغیرهای مورد نیاز برای محاسبه عدد اولویت ریسک را که نادقیق و مبهم هستند صورت ریاضی ببخشد و زمینه را برای اولویت بندی نهایی علل عدم انطباق فراهم آورد.

✓ مفاهیم اولیه تئوری فازی

از زمان های دور این طور تصور می شد که ارزش یک گزاره یا درست است یا نادرست و نمی تواند هر و باشد و اجبارا باید یکی از آنها باشد. با استفاده از این منطق، عضوی متعلق به مجموعه ای هست یا نیست. از زمان ارسطو این سوال مطرح بود که آیا گزاره هایی وجود دارند که ارزش آنها به جز درست بودن یا نبودن باشد. با توجه به موضوع مطرح شده که آن را می توان به نوعی مقوله فازی خواند، می بینیم که دیدگاه فازی به طور غیر رسمی سابقه ای دیرینه دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

نظریه مجموعه های فازی به صورت رسمی اولین بار توسط پرفسور لطفی عسگرزاده دانشمند ایرانی تبار و استاد دانشگاه کالیفرنیا در برکلی با انتشار مقاله در مجله " اطلاعات و کنترل " در سال ۱۹۶۹ مطرح گردید. این نظریه از زمان ارائه آن تا کنون، گسترش و تعمق زیادی یافته و کاربردهای گوناگونی در زمینه های مختلف پیدا کرده است.

ریاضیات فازی بر پایه استدلال تقریبی بنا شده که منطبق با طبیعت و سرشت سیستم های انسانی است .در این نوع استدلال، حالت های صفر و یك تنها مرزهای استدلال را بیان نمی کنند و در واقع استدلال تقریبی حالت تعمیم یافته استدلال قطعی و صریح ارسطویی است. منطق فازی، یك جهان بینی جدید است که به رغم ریشه داشتن در فرهنگ مشرق زمین با نیازهای دنیای پیچیده امروز بسیار سازگارتر از منطق ارسطویی است.

✓ تعریف و نمایش مجموعه های فازی

مجموعه های فازی در واقع آن دسته از مجموعه هایی هستند که اعضای آنها دقیق و مشخص نیستند. دکتر عسگرزاده برای تجزیه و تحلیل این مجموعه ها، به هر یک از اعضای چنین مجموعه هایی عددی از بازه ی [۱و۰] به عنوان درجه عضویت آن عضو در آن مجموعه نسبت داده است.

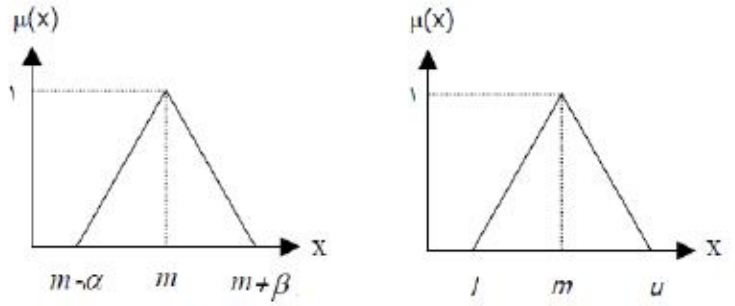
اگر U مجموعه مرجعی باشد که هر عضو آن با x نمایش داده شود مجموعه فازی در U بوسیله زوجهای مرتبی به صورت زیر بیان می شود:

$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$

که μ A (x) تابع عضویت و یا درجه عضویت می باشد و میزان تعلق x به مجموعه فازی A را نشان می دهد و برد این تابع اعداد حقیقي غير منفي مي باشد كه يك مقدار ماكزيمم دارد و در حالت نرمال به صورت فاصله بسته [۱, ۰] در نظر گرفته می شود. این درجه عضویت اصل بنیادي مجموعه هاي فازي محسوب مي گردد و هيچ روش قطعي براي تعيين تابع عضويت وجود ندارد و این مسئله بیش از همه یک مقوله حسی و تجربی می باشد. يك مجموعه فازي نرمال محدب مانند A با دامنه اعداد حقيقي R يك عدد فازي حقيقي است اگر تنها يك X0 ϵR وجود داشته باشد كه ۱ = (x0) μ و تابع عضويت μ A (x) یک تابع پیوسته باشد (۲۲).

✓ اعداد فازی مثلثی

انجام محاسبات با اعداد فازي به دليل ساختار خاص آنها بسيار زمان بر و پيچيده مي باشد. براي تسهيل و كاربردي نمودن اعداد فازي، اعداد مخصوصي در محاسبات به كار گرفته مي شوند .اين اعداد خاص به صورت اعداد زنگوله اي، مثلثي، ذوزنقه اى، L-R ذوزنقه اى و L-R مثلثى هستند. در اينجا اعداد فازي مثلثي مورد استفاده قرار گرفته است . يك عدد فازي مثلثي را مي توان با سه تايي مرتب (l,m,u) نمايش داد (شكل ۱) كه l و u حدود پاييني و بالايي هستند و m مقدار ميانه مي باشد و x عنصرى بين l و u است.



ب الف

شكل ۱- نمايش اعداد مثلثى به صورت سه تايى مرتب الف- (l,m,u) . ب- (α ,m, β).

در بعضي از مراجع عدد فازي مثلثي A را با سه تايي مرتب (α ,m, β) نمايش مي دهند (شكل ۱-ب) كه m را مقدار ميانه و α و β را به ترتيب پهناي چپ و پهناي راست عدد A می نامند (۲۲-۲۵).

تابع عضويت اعداد فازي به صورت رابطه (۱) است.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \dfrac{x-l}{m-l} & l < x < m \\ 1 & x = m \\ \dfrac{u-x}{u-m} & m < x < u \\ 0 & \text{در غير اينصورت} \end{cases}$$

رابطه (۱)

www.SID.ir

Archive of SID

✓ غیر فازی[11]کردن عدد فازی

جهت تبديل يك عدد فازي به يك مقدار دقيق روشهاي مختلفي از جمله روش مركز ثقل، روش بيشترين تابع عضويت، روش امتياز دهي به چپ و راست عدد فازي و ... وجود دارد. از آنجا كه در اين تحقيق به دليل استفاده از تابع عضويت پيوسته از روش امتيازدهي به چپ و راست عدد فازي استفاده شده است در اين قسمت اين روش تشريح شده است. در اين روش امتياز كل دقيق يك عدد فازي A از مقدار امتيازات چپ و راست از دو مجموعه ويژه حداقل (min) و حداكثر (max) و درجه عضويت عدد فازي بدست مي آيد. اين دو مجموعه min و max با فرض اينكه دامنه اعد اد فازي [۰ ,۱] باشند به صورت رابطه (۲) تعريف می شود:

$$\mu_{\min}(x)=\begin{cases}1-x & 0\le x\le 1\\ 0 & \text{در غير اينصورت}\end{cases}$$

$$\mu_{\max}(x)=\begin{cases}x & 0\le x\le 1\\ 0 & \text{در غير اينصورت}\end{cases}$$

رابطه (۲)

که امتياز سمت چپ A می تواند با استفاده از رابطه (۳) حاصل شود:

$$\mu_L(x)=SUP\left[\mu_{\min}(x)\wedge\mu_x(x)\right]$$

رابطه (۳)

و امتياز سمت راست A می تواند از رابطه (۴) حاصل شود:

$$\mu_R(x)=SUP\left[\mu_{\max}(x)\wedge\mu_x(x)\right]$$

رابطه (۴)

با بدست آوردن اين امتيازات، مي توان امتياز كل را از رابطه (۵) محاسبه كرد كه به عنوان يك مقدار دقيق و معين در محاسبات بعدی از آن استفاده می شود.

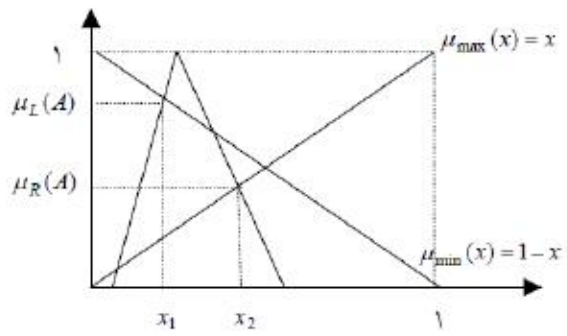
$$\mu_T(x)=\frac{\mu_R(x)+1-\mu_L(x)}{2}$$

رابطه (۵)

فرض كنيد يك مجموعه فازي مثلثي تحت عنوان A=(α ,m, β) داريم. شكل ۲ مقادير اين امتيازات چپ و راست را به صورت گرافيکی نشان می دهد. تابع عضويت عدد فازی A به صورت رابطه (۶) است (۲۴-۲۵).

$$\mu_A(x)=\begin{cases}\dfrac{x-(m-\alpha)}{\alpha} & m-\alpha\le x\le m\\ \dfrac{(m+\beta)-x}{\beta} & m\le x\le m+\beta\end{cases}$$

رابطه (۶)



شكل ۲- شكل گرافيکی مقادير امتيازات چپ و راست.

[11] Defuzzy

www.SID.ir

Archive of SID

امتیازات سمت چپ و راست عدد فازي A از رابطه (V) بدست می آید:

$$\mu_L(A) = 1 - \frac{m}{1+\alpha}$$

$$\mu_R(A) = \frac{m+\beta}{1+\beta}$$

رابطه (V)

✓ ایجاد مدل برای محاسبه درجه اولویت ریسک با استفاده از تئوری فازی

جهت ايجاد مدل براي محاسبه درجه اولو يت ريسك و اولويت بندي خطاها و اثرات آنها با استفاده از تئوري فازي دو گام اصلي زير بايد طي شود : ۱) انتخاب تابع عضويت فازي ۲) غير فازي كردن تابع عضويت. در ادامه اين دو گام شرح داده مي شوند.

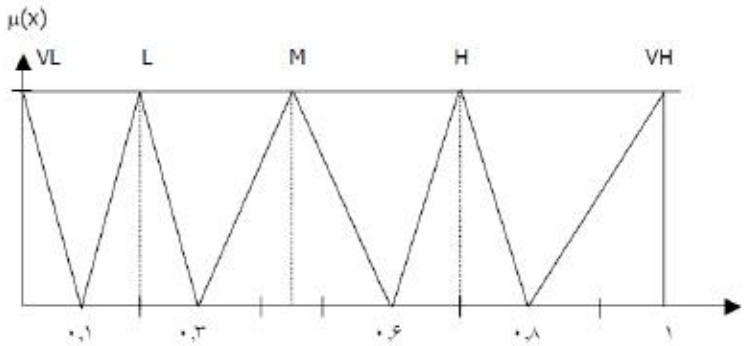
۱) انتخاب تابع عضويت

برای کلیه عوامل موثر در درجه ریسک پذیری « بسیار کم »، « کم»، « متوسط »، « زیاد » و « بسیار زیاد » استفاده شده است.

{بسیار زیاد(VH)، زیاد(H)، متوسط(M)، کم(L)، بسیار کم(VL)} = μ (x) (مجموعه مقادیر مربوط به متغیر زبانی)

تابع عضویت متغیرهای زبانی فوق به صورت شکل ۳ می باشد:

u = [۱،۰] دامنه تغییر (مجموعه مرجع)



شکل ۳- تابع عضویت متغیرهای زبانی.

۲) غیر فازی کردن تابع عضویت

در اینجا دو روش الف) امتیازدهی به چپ و راست عدد فازی و ب) حاصلضرب سه عدد فازی مثلثی، استفاده شده است. که در ادامه به شرح آنها پرداخته شده است.

الف) روش غیر فازی کننده « امتیازدهی به چپ و راست عدد فازی »

در اين روش پس از مشخص نمودن متغيرهاي زباني براي پارامترها، با استفاده از روش غير فازي كننده « امتيازدهي به چپ و راست عدد فازي » ابتدا اعداد فازي را غير فازي نموده و يك امتياز قطعي به هر يك از اعداد فازي نسبت داده مي شود. سپس بوسيله محاسبه حاصلضرب سه پارامتر، خطاها و اثرات آنها اولويت بندي مي شوند.

ب) روش حاصلضرب سه عدد فازي مثلثي

در اين روش ابتدا با استفاده از عمليات ضرب اعداد فازي مثلثي، سه پارامتر شدت، احتمال وقوع و احتمال كشف، بصورت فازي در هم ضرب شده و RPN بصورت يك عدد فازي مثلثي محاسبه گردد، سپس با استفاده از روش غير فازي كننده «امتيازدهي به چپ و راست عدد فازي» RPN را غير فازي نموده و اولويت بندي مي كنيم. بعبارت ديگر در اين روش براي اولويت بندي عوامل مؤثر در عدد اولويت ريسك مراحل زير طي مي شود:

۱) تخصيص يك متغير زباني به هر يك از عوامل عدد ريسك پذيري
۲) تعريف هر متغير زباني به صورت يك عدد فازي به شرح زير:
اگر M يک متغير زباني باشد، مي توان عدد فازي مثلثي مربوط به آن متغير زباني را به صورت زير تعريف نمود:
M = (l ,m ,u)
كه در آن m مقدار متغير زباني با عدد عضويت يك و u كران بالا و l كران پايين مي باشد.
۳) ضرب عوامل عدد ريسك پذيري به صورت فازي و به دست آوردن RPN از طريق رابطه (۸):

www.SID.ir

Archive of SID

$$RPN = S \times O \times D = (l1, m1, u1) \times (l2, m2, u2) \times (l3, m3, u3) = (l1l2l3, m1m2m3, u1u2u3)$$ رابطه(۸)

۴) غیر فازي نمودن مقادیر RPN و اولویت بندی علل

برتري این روش در مقایسه با روش قبل در ساده، قابل فهم بودن و پچیده نبودن محاسبات است. لذا این روش مي تواند برای تیم FMEA که بعضا از کارشناسان، پرستاران و اپراتورهاي پردازش داده یا تولید تشکیل مي شود قابل فهم تر باشد.

۳- اجرای مدل

در این قسمت ریسک زیست محیطی ناشی از دمپ باطله بوسیله دو روش FMEA سنتی و تئوری فازی انجام گرفته است. که در جدول ۷ نشان داده شده است.

متغیرهای زبانی پارامترها، با توجه به شکل ۳، مطابق جدول ۸ می باشد.

جدول ۷- ارزیابی ریسک زیست محیطی ناشی از دمپ باطله با استفاده از فرم مخصوص FMEA.

عوامل (توصیف شرایط)	حالت خطر	اثرات خطر	علت خطر	شدت	وقوع	کشف	PRN	شماره ریسک
توپوگرافی مکان دمپ باطله	مکانی با شیب نامناسب وتند	انباشتگی و به راه افتادن مواد مضر ناشی از باطله ها	نا مناسب بودن مکان دمپ باطله	۶	۱	۳	۱۸	۱
نوع ذخیره ماده معدنی	حاوی کانیهای سولفیدی به خصوص پیریت	نابودی گیاهان و آبزیان منطقه	اکسیداسیون پیریت و تولید AMD اسیدی	۹	۷	۴	۲۵۲	۲
	ذخیره فلزی	آلوده شدن منطقه و ایجاد مشکلات جدی برای محیط	سمی و خطرناک بودن فلزات پایه و فلزات سنگین	۵	۷	۶	۲۱۰	۳
	ذخیره غیر فلزی	ایجاد آلودگی در محیط	فرسایش و برهم زدن نظم موجود	۳	۶	۳	۵۴	۴
هیدرولوژی و وضعیت آب و هوای منطقه	آب و هوای گرم و مرطوب	تشدید آلودگی در محیط زیست	تسریع واکنش اکسیداسیون و ایجاد AMD بیشتر	۷	۵	۵	۱۷۵	۵
	بارندگی شدید	تشدید آلودگی در محیط زیست	تسریع فرسایش و واکنش مواد باطله	۶	۵	۴	۱۲۰	۶
هیدروژئولوژی منطقه	بالا بودن سطح آب زیرزمینی	آلوده شدن آب زیرزمینی به رواناب های حاصل از باطله	انتخاب مکان دمپ باطله در مجاورت جریان های آبهای زیرزمینی	۷	۴	۵	۱۴۰	۷
عوامل ژئوتکنیکی	وجود گسل در مکان دمپ باطله	نفوذ هرچه بیشتر مواد مضر حاصل از باطله به عمق	عدم توجه به موارد ژئوتکنیکی در انتخاب مکان دمپ باطله	۶	۳	۴	۷۲	۸
	مکان در معرض سیل و زلزله خیز	گسترش پیشتر محدوده آلوده	عدم توجه به موارد ژئوتکنیکی در انتخاب مکان دمپ باطله	۶	۴	۵	۱۲۰	۹
	سنگ بستر نفوذ پذیر	نفوذ بیشتر مواد مضر به عمق	مقاوم نبودن سنگ کف	۷	۳	۵	۱۰۵	۱۰
سیستم حمل و نقل باطله	فاصله زیاد بین معدن و مکان دمپ باطله	انتشار بیشتر آلودگی ناشی از باطله	مسافت طولانی حمل باطله	۵	۳	۲	۳۰	۱۱
	ریزش باطله ها در مسیر	گسترش و نشر آلودگی در مسیر حمل و نقل	استاندارد نبودن وسایل نقلیه	۴	۴	۴	۶۴	۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- ارزیابی پارامترها با استفاده از اعداد فازی مثلثی مطابق با متغیرهای زبانی.

شماره ریسک	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
شدت خطر	H	VH	M	L	H	H	VH	H	H	VH	M	M
احتمال رخداد	VL	H	H	M	M	M	L	L	L	L	L	L
احتمال کشف	M	M	H	M	M	L	M	M	M	M	H	M

✓ استفاده از روش غیر فازی کننده « امتیازدهی به چپ و راست عدد فازی »

مطابق توضیحاتی که راجب این روش در قسمتهای قبلی توضیح داده شد، اعداد فازی، بر اساس جدول ۹ غیرفازی اختصاص داده خواهد شد. که در جدول ۹ مقادیر دقیق تخصیص داده شده به هر یک از متغیرهای زبانی با استفاده از روش امتیازدهی به چپ و راست عدد فازی آورده شده است.

جدول ۹- مقادیر دقیق تخصیص داده شده به هر یک از اعداد فازی.

متغیر زبانی	مقدار فازی	امتیاز سمت راست	امتیاز سمت چپ	امتیاز کل
VL	(0, 0, 0.1)	0.09	1	0.045
L	(0.1, 0.2, 0.3)	0.38	0.82	0.28
M	(0.3, 0.45, 0.6)	0.655	0.65	0.503
H	(0.6, 0.7, 0.8)	0.83	0.56	0.635
VH	(0.8, 1, 1)	1	0.44	0.78

مقادیر غیر فازی پارامترهای شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف خطر به همراه عدد اولویت ریسک مربوطه و اولویت ها در جدول ۱۰ آمده است.

جدول ۱۰- مقادیر غیرفازی پارامترها به همراه RPN مربوطه.

شماره ریسک	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
شدت خطر	0.635	0.78	0.503	0.28	0.635	0.635	0.78	0.635	0.635	0.78	0.503	0.503
احتمال رخداد	0.045	0.635	0.635	0.503	0.503	0.503	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
احتمال کشف	0.503	0.503	0.635	0.503	0.503	0.28	0.503	0.503	0.503	0.503	0.635	0.503
RPN	0.0144	0.2491	0.203	0.0708	0.161	0.0894	0.1099	0.0894	0.0894	0.11	0.089	0.071
اولویت	10	1	2	9	3	6	5	7	6	4	7	8

✓ استفاده از روش حاصلضرب سه عدد فازی مثلثی

در این روش مقادیر فازی RPN از طریق رابطه (۸) به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$RPN = S \times O \times D = (l1, m1, u1) \times (l2, m2, u2) \times (l3, m3, u3) = (l1l2l3, m1m2m3, u1u2u3)$$
$$RPN1 = (0.6, 0.7, 0.8) \times (0, 0, 0.1) \times (0.3, 0.45, 0.6) = (0, 0, 0.048)$$
$$RPN2 = (0.8, 1, 1) \times (0.6, 0.7, 0.8) \times (0.3, 0.45, 0.6) = (0.144, 0.315, 0.48)$$

و به همین ترتیب RPN های فازی سایر ریسک ها محاسبه می گردد که نتایج آن در جدول ۱۱ ارائه شده است.

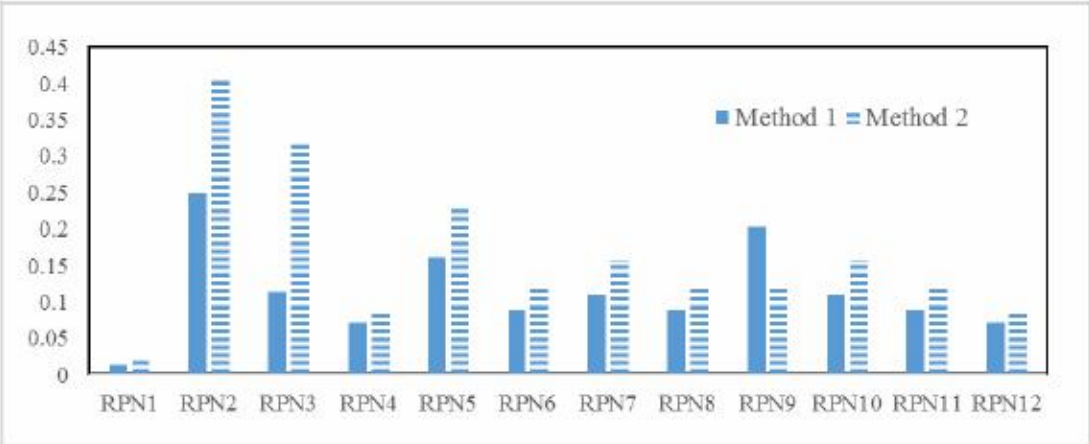
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۱- مقادیر فازی تخصیص داده شده به پارامترها و RPN ها.

شماره ریسک	شدت خطر	احتمال رخداد	احتمال کشف	RPN
1	(0.6, 0.7, 0.8)	(0, 0, 0.1)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0, 0, 0.048)
2	(0.8, 1, 1)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.144, 0.315, 0.48)
3	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.108, 0.22, 0.384)
4	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.009, 0.041, 0.108)
5	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.054, 0.142, 0.288)
6	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.018, 0.063, 0.144)
7	(0.8, 1, 1)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.024, 0.09, 0.18)
8	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.018, 0.063, 0.144)
9	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.018, 0.063, 0.144)
10	(0.8, 1, 1)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.024, 0.09, 0.18)
11	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.018, 0.063, 0.144)
12	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.3, 0.45, 0.6)	(0.009, 0.041, 0.108)

حال با استفاده از روش غیرفازي کننده « امتیازدهی به چپ و راست عدد فازی » RPN را غیر فازي نموده و اولویت بندي بر اساس آنها صورت می پذیرد. مقادیر دقیق غیرفازي تخصیص داده شده به RPN در جدول ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۴- مقادیر RPN بدست آمده از دو روش غیرفازی کردن تابع عضویت.

جدول ۱۲- مقادیر دقیق (غیرفازی) تخصیص داده شده به RPN .

RPN	مقادیر فازی	امتیاز سمت چپ	امتیاز سمت راست	مقادیر غیر فازی	اولویت
RPN1	(0, 0, 0.048)	1	0.045801527	0.022900763	11
RPN2	(0.144, 0.315, 0.48)	0.72465035	0.537162162	0.406255906	1
RPN3	(0.108, 0.22, 0.384)	0.801444043	0.436416185	0.317486071	2
RPN4	(0.009, 0.041, 0.108)	0.959365709	0.134476534	0.087555413	10
RPN5	(0.054, 0.142, 0.288)	0.865275142	0.333850932	0.234287895	3
RPN6	(0.018, 0.063, 0.144)	0.938113949	0.180944056	0.121415054	6
RPN7	(0.024, 0.09, 0.18)	0.912109375	0.228813559	0.158352092	5
RPN8	(0.018, 0.063, 0.144)	0.938113949	0.180944056	0.121415054	8
RPN9	(0.018, 0.063, 0.144)	0.938113949	0.180944056	0.121415054	7
RPN10	(0.024, 0.09, 0.18)	0.912109375	0.228813559	0.158352092	4
RPN11	(0.018, 0.063, 0.144)	0.938113949	0.180944056	0.121415054	7
RPN12	(0.009, 0.041, 0.108)	0.959365709	0.134476534	0.087555413	9

www.SID.ir

Archive of SID

۴- جمع بندی

مسأله ریسک زیست محیطی ناشی از دمپ باطله با سه روش مختلف حل شد. نتایج هر یک از روشها در جدول ۱۲ آورده شده است.

جدول ۱۲- اولویت عوامل ریسک زیست محیطی ناشی از دمپ باطله با روشهای مختلف.

اولویت	شماره ریسک روش سنتی FMEA	شماره ریسک روش غیرفازی امتیازدهی به چپ و راست	شماره ریسک روش حاصلضرب مثلثی	نتیجه نهایی
1	2	2	2	2
2	3	3	3	3
3	5	5	5	5
4	7	10	10	10
5	9 , 6	7	7	7
6	10	9 , 6	6	6
7	8	8 , 11	9 , 11	9
8	12	12	8	11
9	6	4	12	12
10	11	1	4	8
11	1	—	1	4
12	—	—	—	1

همانگونه که در جدول ۱۲ ملاحظه مي‌شود، روشهاي مختلف اولويت يکساني را براي برخي پارامترها ارائه کرده اند. بر اساس اولویت های مختلف بدست آمده نتایج نهایی اولویت بندی بدست می آید.

با بررسی مقالات و کارهای بررسی شده در مورد FMEA و روشهای اصلاحی آن در طول زمان می توان به وضوح دید که از سال ۱۹۹۵ به بعد با گسترش روشهای اصلاحی و دقیق تر و کمی تر شدن این روش، در زمینه های مختلف کاربرد گسترده تری یافته است. باید خاطر نشان کرد که در مسائل مختلف، تصمیم‌گیرندگان براي تصميم‌گيري و ارزیابی ریسک پروژه ها، در اغلب موارد خود را محدود به یک روش نمي‌کنند و با اعمال روشهاي مختلف نتايج متفاوتي بدست می آورند. و در جمع بندی نهایی، برای تصمیم گیری با استفاده از نتایج متفاوت بدست آمده، روشهاي مختلفي مطرح شده است که به «روش ادغام»[12] معروفند. از جمله این روشها مي‌توان روش میانگین رتبه-ها، روش بردا[13] و روش کپ‌لند[14] اشاره نمود (۲۶).

◇◇◇◇◇◇◇

نتیجه گیري :

ارزیابی ریسک زیست محیطی ناشی از دمپ باطله معادن به دلیل خسارت های جبران ناپذیر و عواقب سنگین ناشی از عدم توجه به پارامترهای موثر بر آن از اهمیت و جایگاه خاصی برخوردار است. FMEA از تکنیک های عمده در شناسایی و تجزیه و تحلیل ریسک می باشد. با توجه به اینکه اساس کار در این روش بر فکر و احساس انسان است و با یک مفهوم مبهم و نادقیق مواجه می باشد و نمی توان یک مقدار دقیق برای پارامترهای سه گانه در نظر گرفت، از نظریه فازی به عنوان ابزار مناسبی جهت مرتفع نمودن این امر استفاده شده است. در این تحقیق ارزیابی ریسک زیست محیطی ناشی از دمپ باطله معادن با رویکرد FMEA فازی انجام گردید. جهت ارزیابی فازی هر کدام از پارامترها از مقیاس ۵ تایی (VL, L, M, H, VH) و از تابع عضویت مثلثی استفاده شده است. جهت غیرفازی کردن توابع عضویت دو رویکرد مورد بررسی قرار گرفت. برخی از نتایج بدست آمده عبارتند از :

- روش FMEA یکی از ابزارهای مناسب جهت شناسایی، ارزیابی و مدیریت موثر ریسک های زیست محیطی ناشی از دمپ باطله معادن است.

---

[12] - Aggregate Methods
[13] - Borda Method
[14] - Copeland method

www.SID.ir

Archive of SID

- به دلیل عدم قطعیت های این روش و کیفی و ذهنی بودن قضاوت ها، به منظور انجام یک تجزیه و تحلیل سازگار و منطقی از منطق فازی به عنوان ابزاری مکمل استفاده شده است.
- در محاسبه درجه ریسک پذیری با مدل فازی به دلیل استفاده بیشتر از مفاهیم و اصطلاحات، مشکلات مربوط به روش سنتی، به حد مطلوبی رفع خواهد شد.
- کار با مدل حاصلضرب سه عددی مثلثی به راحتی قابل درک و بسیار ساده می باشد.

◇◇◇◇◇◇◇

منابع فارسی :

(۱) مرکز آمار ایران، سالنامه آماري استان کرمان،۱۳۸۰.

(۲۵) منهاج، محمدباقر؛ محاسبات فازي، دانشگاه صنعتي اميركبير (پلي تكنيك تهران) انتشارات دانش نگار، ۱۳۸۶.

(۲۶) مؤمني، منصور؛ مباحث نوين تحقيق در عمليات؛ انتشارات دانشكده مديريت دانشگاه تهران؛ بهار ۱۳۸۵.

◇◇◇◇◇◇◇

References:

(1)Nasa. (1963). Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA), PD-AP 1307.

(3) Stamatis, D. H. (1995). Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. New York: ASQC Press.

(4) Teng, S. and HO, S. (1996). failure mode and effects analysis, an integrated approach for product design and process control. International journal of quality and reliability management; l.13, 8-28.

(5) Kutlu, A. C., & Ekmekciog˘lu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. Expert Systems with Applications, 39, 61 – 67.

(6) Xiao, N. C., Huang, H. Z., Li, Y. F., He, L. P., & Jin, T. D. (2011). Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA. Engineering Failure Analysis, 18, 1162 – 1170.

(7) Bowles, J. B., & Pelaez, C. E. (1995). Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. Reliability Engineering & System Safety, 50, 203 – 213.

(8) Franceschini, F., & Galetto, M. (2001). A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA. International Journal of Production Research, 39, 2991 – 3002.

(9) Tay, K. M., & Lim, C. P. (2006). Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. International Journal of Quality & Reliability Management, 23, 1047 – 1066.

(10) Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. International Journal of Quality & Reliability Management, 22, 986 – 1004.

(11) Chang, C. L., Wei, C. C., & Lee, Y. H. (1999). Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory. Kybernetes, 28, 1072 – 1080.

(12) Zammori, F., & Gabbrielli, R. (2011). ANP/RPN: A multi criteria evaluation of the risk priority number. Quality and Reliability Engineering International, 28, 85 – 104.

(13) Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003). Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis. Quality and Reliability Engineering International, 19, 425 – 443.

(14) Chen, L. H., & Ko, W. C. (2009). Fuzzy approaches to quality function deployment for new product design. Fuzzy Sets and Systems, 160, 2620 – 2639.

(15) Chen, L. H., & Ko, W. C. (2009). Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FMEA. Applied Mathematical Modelling, 33, 633 – 647.

(16) Yang, J., Huang, H. Z., He, L. P., Zhu, S. P., & Wen, D. (2011). Risk evaluation in failure mode and effects analysis of aircraft turbine rotor blades using Dempster – Shafer evidence theory under uncertainty. Engineering Failure Analysis, 18, 2084 – 2092.

(17) Geum, Y., Cho, Y., & Park, Y. (2011). A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. Mathematical and Computer Modelling, 54, 3126 – 3142.

www.SID.ir

Archive of SID

(18) Chang, D. S., & Sun, K. L. P. (2009). Applying DEA to enhance assessment capability of FMEA. International Journal of Quality & Reliability Management, 26, 629 – 643.
(19) Xu, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L., & Zhu, M. L. (2002). Fuzzy assessment of FMEA for engine systems. Reliability Engineering & System Safety, 75, 17 – 29.
(20) Tay, K. M., & Lim, C. P. (2010). Enhancing the failure mode and effect analysis methodology with fuzzy inference techniques. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 21, 135 – 146.
(21) Pelaez, C. E., & Bowles, J. B. (1996). Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis. Information Sciences, 88, 177 – 199.
(22) Dong, C. (2007). Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation. International Journal of Quality & Reliability Management, 24, 958 – 971.
(23) Zimmenrmann, H.J. (1996). Fuzzy Set Theory and Applications, Third edition, Kluwer Academic Publishers.
(24) Nejad, A.M., Mashinchi, M. (2011). Ranking fuzzy numbers based on the areas on the left and the right sides of fuzzy number. Computers and Mathematics with Applications 61 (2011) 431–442.

www.SID.ir