

مقاله پژوهشی

کاربرد تحلیل سلسله مراتبی فازی در مدیریت ریسک بسته شدن پیش از موعد معادن

فرهنگ وصال^۱، رضا شکورشه‌بابی^{۲*}، آرش ابراهیم آبادی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، farhang.vesal@gmail.com

۲. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، Shahabi@Eng.ikiu.ac.ir

۳. دانشیار گروه مهندسی معدن، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران، A.Ebrahimabadi@Qaemiau.ac.ir

(دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰ - پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷)

چکیده

بسته شدن پیش از موعد معادن و توقف عملیات معدنکاری، به دلایلی غیر از اتمام ذخیره اقتصادی معدن و در اثر عوامل مختلف داخلی و محیطی هر معدن انجام می‌گیرد. در این تحقیق که با هدف شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر بسته شدن پیش از موعد معدن سنگ آهن چادرملو انجام گرفت. ابتدا مدل جامع ریسک بسته شدن معدن چادرملو بر مبنای شش سری ریسک‌های اصلی مطابق مدل لارنس تهیه و با توجه به نظر خبرگان مقادیر احتمال و شدت به صورت اعداد قطعی محاسبه شد. سپس با توجه به ماهیت مسئله، شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر در بسته شدن پیش از موعد معادن سطحی در قالب یک مسئله سلسله مراتبی طراحی شد. بدین منظور از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی بهره گرفته شد. این مدل در سطح معیارها شامل چهار مؤلفه اصلی احتمال وقوع، میزان تأثیر، عدم اطمینان تخمین و توانایی سازمان در واکنش به ریسک و در سطح آلترناتیوها شامل فاکتورهای مختلف ریسک‌زا در فعالیت‌های معدنی است. محاسبه اوزان نسبی و نهایی هر یک از معیارها و عوامل ایجاد ریسک بسته شدن پیش از موعد معدن انجام شد. نتایج مدل ریسک بسته شدن نشانگر رده‌بندی «متوسط» بسته شدن پیش از موعد معدن چادرملو است و ریسک‌های زیست‌محیطی و اجتماعی بالاترین امتیازها نسبت به بقیه عوامل را دارند. نتایج محاسبات مدل بر مبنای تحلیل سلسله مراتبی فازی، نشان می‌دهد که عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی و فنی به عنوان اصلی‌ترین دلایل بسته شدن پیش از موعد معدن چادرملو است.

کلمات کلیدی

بستن پیش از موعد معدن، تصمیم‌گیری چند معیاره، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، معدن سنگ آهن چادرملو.

۱- مقدمه

شدن و بازسازی معدن مس انگوران تحقیق کردند (۲۰۰۶).

در بعضی موارد، معادن به دلایل مختلفی پیش از زمان برنامه‌ریزی شده بسته می‌شوند. در واقع اکثر بسته شدن پیش از موعد معدن در صورت عدم وجود برنامه مناسب بستن رخ می‌دهد و باعث ایجاد مشکلات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌شود. دلایلی که باعث می‌شود یک معدن پیش از موعد بسته شود، شامل علل زیست‌محیطی، اقتصادی به ویژه سقوط قیمت جهانی محصولات، فنی، تغییرات زمین‌شناسی مثلاً کاهش غیرمنتظره در عیار یا ساینز توده ماده معدنی، قانونی، ژئوتکنیکی، شکست مکانیکی، سیاسی، مخالفت‌های دولتی، مخالفت گروه‌ها و سازمان‌های غیردولتی، از کار افتادگی تجهیزات، به خطر افتادن صنایع پایین دستی و بازارهای منطقه و حوادث غیرمترقبه، قوانین و مقررات موجود که با ایمنی و محیط زیست سر و کار دارد، تغییر سیاست و فشارهای اجتماعی است (مبتکر و اصائلو، ۲۰۱۳). از میان عوامل فوق، دلایل زیست‌محیطی از مهم‌ترین عوامل بسته شدن برنامه‌ریزی پیش از موعد معادن^{۱۰} (بسته‌شدن زودهنگام و نشده) به شمار می‌روند، به طوری که با ادامه روند فعالیت‌های معدنکاری در یک منطقه، این فعالیت‌ها می‌توانند منشأ آلودگی دراز مدت در منطقه شوند (R.Sellers & P.Vogel, 2011). با توجه به اهمیت و تأثیر عوامل زیست‌محیطی بر بسته شدن پیش از موعد معدن، لازمه داشتن معدنکاری موفق و منطبق بر چارچوب قوانین توسعه پایدار و جلوگیری از بسته شدن زودهنگام معدن، شناسایی و نظارت عوامل زیست‌محیطی است (Dufey and Borregard, 2002; Vintro et al., 2014). به همین دلیل است که عمده تحقیقات در زمینه عوامل اصلی بسته‌شدن پیش از موعد معدن، معطوف به عوامل زیست‌محیطی بوده است (Heikkinen et al., 2008). دیوید لارنس^{۱۱} در سال ۲۰۰۶ بحث بهینه‌سازی فرآیند بستن معدن را مورد بررسی قرار داد. موضوع مورد بحث این بود که بسته شدن ناگهانی و از پیش تعیین نشده معدن می‌تواند صدمات جدی زیست‌محیطی و اجتماعی وارد کند و بنابراین باید به طور صحیح مدیریت شود که در این تحقیق خود از روش مدیریت ریسک استفاده کرده است (۲۰۰۶).

لارنس در سال ۲۰۱۱، نتایج تحلیل نمونه‌های فعالیت‌های معدنی ناپایدار را به وسیله بسته شدن برنامه‌ریزی نشده یا پیش از موعد ارائه داد و شاخص‌های مربوط به معدنکاری پایدار را شناسایی و پارامترهای تأثیرگذار مهم را استدلال کرد. با توجه به مطالعات انجام شده، لازمه داشتن محیطی عاری از

امروزه از بستن معدن^۱ به عنوان فاز نهایی برنامه‌ریزی و طراحی معدن یاد می‌شود، در نتیجه برنامه‌ریزی کلی معدن را می‌توان شامل فازهای طراحی و مطالعه، آماده‌سازی و اجرا، بهره‌برداری و بستن معدن تعریف کرد. به طور کلی بستن برنامه‌ریزی شده معدن هنگامی انجام می‌شود که ذخایر اقتصادی معدنی به طور کامل استخراج شده باشد. فرآیند بستن معدن باید از ابتدای فازهای طراحی و برنامه‌ریزی معدن در نظر گرفته شود، به گونه‌ای که طرح بستن معدن در انتهای عمر معدن طبق برنامه انجام شود. در صورت داشتن چنین برنامه‌ای می‌توان در انتهای عمر معدن، طرح بازسازی^۲ معدن را اجرا کرد و از مزایای استفاده زمین پس از معدنکاری^۳ بهره برد. این استفاده‌ها می‌توانند گزینه‌هایی چون کاشت گیاهان، درختکاری، کشاورزی، ایجاد منطقه تفریحی و توریستی، منطقه مسکونی و نظایر آن باشند. در این مرحله که مرحله تکمیل معدن^۴ است، می‌تواند تمام اهداف معدنکاری پایدار^۵ را که شامل مزایای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی باشد را به دنبال داشته باشد. ابراهیم آبادی و اصائلو تحقیقی در زمینه فرآیند بستن معدن، عوامل، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی آن انجام دادند و مزایای انجام صحیح و مطابق با برنامه آن را برشمردند (۱۳۸۶). در صورت انجام صحیح بستن معدن، می‌توان برنامه بازسازی را انجام داد که در این خصوص مطالعاتی نیز انجام پذیرفته است. در این راستا علوی در سال ۱۳۹۰ در رابطه با انتخاب نوع پوشش گیاهی مناسب برای عملیات بازسازی معدن با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راهحل ایده‌آل^۶ و مقایسه نتایج این دو، تحقیقاتی انجام داد تا پس از بستن معدن این برنامه اجرا شود (علوی و اکبری، ۱۳۹۰). دریبوسی^۷ و جانز^۸ در سال ۲۰۰۶ اظهار داشتند که کاربرد برخی از شیوه‌های مدیریت در فرآیند بازسازی مانند سیستم‌های مدیریت زیست‌محیطی، تکنولوژی‌های جلوگیری از آلودگی و آموزش‌های زیست‌محیطی، ممکن است به شرکتها برای بهبود مسوولیت‌پذیری آنها در رابطه با مسایل زیست‌محیطی کمک کند (وینترو و همکاران، ۲۰۱۴). سانگو^۹ و همکاران در سال ۲۰۰۶ بر روی اثرات اجتماعی و بیوفیزیکی بسته

- 1-Mine Closure
- 2-Reclamation Plan
- 3-Post Mining Land-Use
- 4-Mine Completion
- 5-Sustainable Mining
- 6-Technique for Order of Preference to Ideal Solution (TOPSIS)
- 7-Dariussi
- 8-Jansz
- 9-Sango

10-Pre-Mature Mine Closure
11-David Laurence

استفاده از زمین پس از معدنکاری (به عنوان مثال با استفاده از روش ارزیابی شده بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی)، ضمن شناسایی موارد با ریسک بالا، می‌توان عملیات بازسازی را در جهت رفع این موارد و استفاده پیش‌بینی شده مورد نظر همزمان با عملیات تولید و استخراج دنبال کرد (لارنس، ۲۰۱۱). مدل ریسک بستن معدن قادر است تا با شناسایی عوامل ریسک و مقایسه آن‌ها، فاکتور کلی ریسک بستن برای یک معدن خاص را از ترکیب آن‌ها، مطابق رابطه ۱ برآورد کند که در این رابطه، فاکتور ریسک بستن (RCF) به صورت مجموع ریسک‌های عوامل مختلف نشان داده می‌شود. هر یک از انواع ریسک دارای زیرمعیارهای خاص خود است. به عنوان نمونه مجموعه ریسک‌های زیست محیطی و اجتماعی به شرح جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

$$R_{CF} = \sum (R_E + R_{SH} + R_C + R_{LU} + R_{LF} + R_T) \quad (1)$$

که در آن:

RE: ریسک‌های زیست‌محیطی.

R_{SH}: ریسک‌های سلامتی و ایمنی.

RC: ریسک‌های اجتماعی.

R_{LU}: ریسک‌های استفاده نهایی از زمین.

R_{LF}: ریسک‌های قانونی و مالی.

RT: ریسک‌های فنی.

مقادیر پارامترهای هر یک از ریسک‌ها بر مبنای حاصل ضرب احتمال وقوع هر یک از عوامل ریسک‌زا در شدت یا نتیجه آن عامل مطابق رابطه ۲ بیان می‌شود:

$$R = P \times C \quad (2)$$

که در آن:

R: میزان ریسک.

P: میزان احتمال وقوع.

C: میزان شدت وقوع.

تعیین مقادیر احتمال هر عامل ریسک‌زا از ۱ تا ۱۰ ارزش‌گذاری می‌شود، بدین صورت که اگر پارامتر معرف احتمال وقوع (P) مقدار ۱۰ داشته باشد، وقوع حادثه قطعی است و در صورت نامحتمل بودن ارزش ۱ لحاظ می‌شود. در مورد نحوه امتیازدهی پارامتر شدت (C) نیز می‌توان گفت که این طبقه‌بندی بیانگر شدت ضررهای بالقوه در اثر حادثه شدن هر یک از عوامل زیرمجموعه‌ای اعداد از ۱ تا ۱۰ است (لارنس، ۲۰۱۱). در نهایت جدول ۳ ارتباط فاکتور کلی ریسک بستن معدن با محدوده امتیاز و احتمال ریسک بستن و طبقه‌بندی آن را نشان می‌دهد.

آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های معدنکاری و استخراج کامل ذخایر سایت معدنی، برنامه‌ریزی برای بستن معدن و شناسایی، نظارت و کنترل تأثیرات معدنکاری بر روی محیط زیست در تمام طول عمر معدن است.

در این تحقیق، با توجه به دقت و قابلیت اعتماد بالای مدل جامع ریسک بسته‌شدن معدن از این مدل برای تعیین ریسک بسته‌شدن معدن در ایران استفاده شد. همچنین از آنجا که عوامل مختلفی در بسته شدن معدن دخالت دارند، فرآیند انتخاب این عوامل یک فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره است، برای شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بسته شدن پیش از موعد معدن از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی^۱ که یکی از کارآمدترین روش‌ها در تصمیم‌گیری چندمعیاره و فرآیند رتبه‌بندی گزینه‌ها در قالب مسائل تصمیم‌گیری است، به کار گرفته شده است و مهم‌ترین عوامل بسته‌شدن پیش از موعد معدن چادرمولو انتخاب و اولویت‌بندی شده و سپس نتایج دو روش مقایسه شده و تحلیل پارامترها انجام گرفته است.

۲- مدل جامع ریسک بسته شدن معدن

مدل‌های ریسک به عنوان ابزاری قوی برای کاهش صدمات حوادث پیش‌رو در معدنکاری شناخته می‌شود. مدل پایه ریسک بستن معدن که توسط دیوید لارنس در سال ۲۰۰۶ ارائه شد، به عنوان ابزاری قوی در زمینه تحلیل ریسک بستن معدن از سوی تصمیم‌گیرندگان و مدیران معدنی مورد استقبال قرار گرفت. لارنس نتایج و یافته‌های خود در زمینه عوامل مؤثر در بسته شدن پیش از موعد معدن را در مدل جامع ریسک دخالت داد و پارامترهای مهم در معدنکاری پایدار را معرفی کرد. در این تحقیق، معدنی که از سال ۲۰۰۵ تا اواسط ۲۰۰۹ به دلایل مختلف و زودتر از موعد بسته شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. عمده این معدن شامل مس، پلاتین، سرب و روی، زغال سنگ، طلا، نیکل، الماس و سنگ آهن بودند. این روش تحلیلی ساده‌ای را به کار می‌برد که به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد که عوامل اصلی مؤثر در فرآیند بستن معدن را به اجزا کوچکتر تفکیک کند. این روش نظام‌مند اطمینان می‌دهد که عوامل بحرانی در فرآیند بستن مورد توجه قرار خواهند گرفت. اگرچه این برنامه‌ریزی را می‌توان در همان فاز ابتدایی و امکان‌سنجی در نظر گرفت اما موثرترین زمان به کارگیری مدیریت ریسک در فاز برنامه‌ریزی و طراحی معدن است زیرا در این مرحله اطلاعات تکمیلی در اختیار بوده و با استفاده از نظرات متخصصان و کارشناسان مجرب می‌توان این برنامه‌ریزی را با شروع فعالیت معدن انجام داد. در صورت انجام صحیح این برنامه‌ریزی و با تعیین موارد

جدول ۱- ریسک‌های زیست‌محیطی و عوامل و موارد تأثیر در مدل ریسک بسته شدن معدن (لارنس، ۲۰۰۶).

ریسک اصلی	عوامل زیرمجموعه	موارد تأثیر
آلودگی آب	آب‌های سطحی	پتانسیل رسوب
		آلودگی شیمیایی
		فاضلاب
		وجود اسید حاصل از مواد
		وجود فلزات سنگین
	آب‌های زیرزمینی	شورزار بودن
		آلودگی آب
		وجود فلزات سنگین
		کشاورزی
		آشامیدنی
استفاده‌های پایین دستی	اکوسیستم	
	گازهای گلخانه‌ای	
	ناشی از حرارت دادن مواد	
آلودگی هوا	گاز	سد باطله
	گرد و خاک	انباشتگاه باطله
	انباشتگاه باطله	مناطق بازسازی شده
تأثیرات سیستم‌های سطحی	از لحاظ سازگاری با دید	نزدیک به مرکز جمعیت
	دید از راه دور	دید از راه دور
	زیرساخت‌ها	ساختمان‌ها، تجهیزات و کمپ‌ها
		جاده‌ها
		انباشتگاه‌ها و محل‌های انباشتگاه
	خاک‌ها	کاواک‌های اضافی
		آیا آلوده است؟
	کارهای زمین‌شناسی	دسترسی به خاک خوب
		پتانسیل فرسایش
	بازگرداندن دوباره گیاهان	---
به صورت تکی		
بازگرداندن دوباره جانوران	به صورت کلی	
	بخشی از گونه‌ها	
حفریات	زمینی	
	هوایی	
نشست	آبی	
	باز	
اکتشاف	پرشده	

مونیتورینگ	---	

ریسک اصلی	عوامل زیرمجموعه	موارد تأثیر
آثر باطله‌ها	انباشتگاه‌ها	تغییر شکل
		پوشش‌ها
		تولید اسید
		توپوگرافی
		عملیات لرزه نگاری
	تیلنگ (باطله)	شرایط جوی بد
		تغییر شکل
		پوشش‌ها
		تولید اسید
		مواد آلاینده
		پایداری
		بستر زمین
		رودخانه‌ای
	مواد خطرناک	دریایی
		راديواكتيو
		مواد شیمیایی حاوی سیانور
	سایر موارد	سوخت‌ها و روغن‌ها
		سیستم تخلیه فاضلاب
تایرها و ضایعات		
زباله		

جدول ۲- عوامل ریسک‌های اجتماعی و تأثیر آن‌ها در مدل ریسک بسته شدن معدن (لارنس، ۲۰۰۶).

ریسک اصلی	عوامل زیرمجموعه‌ای	موارد تأثیر
کارکنان	پرداخت دستمزدها	---
	جابه‌جایی پرسنل	---
	مطالبات عقب‌مانده	---
مدیریت	مکاتبات	تعدد مکاتبات اصلاحی
مالکان زمین‌های اطراف	بومی و غیربومی	مخالفت با فعالیت معدن
صدمات کلی اجتماعی	محلی	صدمه بر شهر معدنی
		صدمه بر سنت منطقه
		بیکاری محلی
		مقدار صدمات بر ساکنین
		صدمات خانوادگی
		صدمه بر مشاغل دیگر
	سایر معضلات از قبیل مواد مخدر	
منطقه‌ای	---	
ملی	---	
بین‌المللی	---	

جدول ۳- ارتباط فاکتور ریسک بستن معدن با امتیاز و احتمال ریسک بستن (لارنس، ۲۰۱۱).

R_{CF}	امتیاز ریسک بستن	احتمال ریسک بستن	میانگین احتمال (درصد)
بزرگتر از ۲۰۰۰	بی‌نهایت زیاد	۸۰ تا ۱۰۰	۹۰
۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰	خیلی بالا	۶۰ تا ۸۰	۷۰
۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰	بالا	۴۰ تا ۶۰	۵۰
۵۰۰ تا ۱۰۰۰	متوسط	۲۰ تا ۴۰	۳۰
کمتر از ۵۰۰	کم	۰ تا ۲۰	۱۰

۳- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ به عنوان ابزار اصلی رتبه‌بندی در مسایل پیچیده و چندبعدی به کار گرفته می‌شوند که در این‌گونه مسایل، تصمیم‌گیرنده معمولاً با در نظر گرفتن معیارهای دارای اهمیت متفاوت، اقدام به رتبه‌بندی گزینه‌های موجود یا انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های مختلف می‌کند. برای حل مسایل تصمیم‌گیری چند شاخصه، روش‌های مختلفی ارائه شده است که در این خصوص می‌توان به روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، الکترا^۲ و شباهت به گزینه ایده‌آل اشاره کرد. تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یکی از اصلی‌ترین و موثرترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ال ساعتی^۳ در حوزه علوم تصمیم‌گیری و مدیریت معرفی شد. مهم‌ترین قابلیت این روش در توانایی تبدیل یک مسئله پیچیده به یک ساختار سلسله مراتبی برای درک بهتر تصمیم‌گیرنده از مسئله است و مسئله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف^۴، معیارها^۵، زیرمعیارها^۶ و گزینه‌ها^۷ تقسیم می‌شود تا تصمیم‌گیرنده بتواند به راحتی در کوچکترین اجزای تصمیم‌گیری دقت کند. همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسئله

وجود دارد. روش ساخت مدل سلسله مراتبی بستگی به نوع تصمیم اتخاذ شده دارد و محدودیتی برای تعداد سطوح وجود ندارد. از طرفی امتیازدهی و مقایسه زوجی بین عوامل هر سطح با اعداد دقیق^۸ به درستی نحوه تفکر انسانی را منعکس نمی‌کند و تصمیم‌گیرندگان اغلب به علت طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی قادر نیستند به صراحت نظرشان را در مورد برتریها اعلام کنند. به همین دلیل در قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان، ارایه یک بازه را به جای یک عدد ثابت و محاسبات فازی بر مبنای قواعد تئوری فازی ترجیح می‌دهند. برای غلبه بر این مشکلات روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه شده است که به جای اعداد قطعی از اعداد فازی و محاسبات مربوطه استفاده می‌شود (چن، ۱۹۹۲). اعداد فازی مثلثی^۹ و ذوزنقه‌ای متداول‌ترین نوع اعداد فازی به کارگرفته شده در تحلیل سلسله مراتبی فازی‌اند. تابع عضویت هر عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (l, m, u)$ به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود.

$$f_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0 & x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l} & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & m \leq x \leq u \\ 0 & x > u \end{cases} \quad (3)$$

که در آن:

l : کوچکترین عدد.

m : عدد وسطی.

u : بزرگترین عدد مربوط به تابع عضویت (وانگ، ۲۰۰۶).

مراحل روش توسعه یافته چانگ^{۱۰} که به عنوان پرکاربردترین و آسان‌ترین روش محاسبات تحلیل سلسله مراتبی فازی، در سال ۱۹۹۶ ارائه شده به شرح زیر است:

- **مرحله اول:** طراحی سلسله مراتبی مسئله.
- **مرحله دوم:** تعریف اعداد فازی برای انجام مقایسه‌های زوجی که در این تحقیق از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است.
- **مرحله سوم:** تشکیل ماتریس مقایسه زوجی (D) با به کارگیری اعداد فازی ماتریس مقایسه زوجی (رابطه ۴):

1-Multiple Criteria Decision Making

2-Elimination et Choice in Translation to Reality (ELECTRE)

3-Thomas L. Saaty

4-Goal

5-Criteria

6-Sub-Criteria

7-Alternatives

8-Crisp

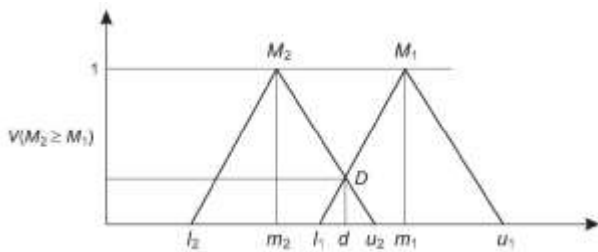
9-Triangular Fuzzy Number (TFN)

10-Chang Extent Method

ماتریس S_i انجام می گیرد. بر این اساس، هرگاه دو عدد فازی مثلثی $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ تعریف شوند، طبق شکل ۱ درجه بزرگی عدد فازی M_2 نسبت به M_1 به صورت رابطه ۱۰ تعریف می شود:

(۱۰)

$$V(M_2 > M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases}$$



شکل ۱- بزرگی دو عدد فازی نسبت به هم (Chang, 1996).

میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از K عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه ۱۱ به دست می آید:

$$V(M > M_1, M_2, \dots, M_K) = \text{Min } V(M \geq M_i) \quad (11)$$

$i = 1, 2, \dots, k$

• **مرحله ششم:** برای محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های جدید از رابطه ۱۲ و بردار وزن نرمالیزه نشده از رابطه ۱۳ استفاده می شود:

$$d'(A_i) = \text{min } V(S_i \geq S_k) \quad (12)$$

$k = 1, 2, \dots, n \quad k \neq i$

$$W' = (d'(A_1), \dots, d'(A_n)) \quad (13)$$

• **مرحله هفتم:** برای محاسبه بردار وزن نهایی، بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل بر مبنای رابطه ۱۴ نرمالیزه می شود:

$$W = (d(A_1), \dots, d(A_n)) \quad (14)$$

• **مرحله هشتم:** تعیین امتیاز هر گزینه بر مبنای مجموع حاصل ضرب اوزان قطعی هر معیار در وزن گزینه از آن معیار و رتبه بندی آن‌ها حاصل می شود.

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

اعضای این ماتریس X_{ij} به صورت اعداد فازی اند. اعداد روی قطر اصلی برابر $(1, 1, 1)$ و اعداد بالای قطر اصلی و زیر قطر اصلی معکوس فازی یکدیگرند. هرگاه کمیته تصمیم‌گیرنده دارای چندین تصمیم‌گیرنده باشد درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی به کار می‌رود یک عدد فازی مثلثی (TFN) است که مؤلفه اول آن حداقل مقدار مؤلفه اول (l_i) حاصل شده از نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم میانگین مؤلفه دوم نظرسنجی‌ها و مؤلفه سوم آن حداکثر مقدار مؤلفه سوم (u_i) به دست آمده از نظرسنجی‌ها است. همچنین می‌توان مطابق رابطه ۵ از روش میانگین هندسی نظرات افراد برای به دست آوردن ماتریس مقایسه زوجی واحد استفاده کرد.

$$\mu_G = \left(\prod_{i=1}^n a_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

• **مرحله چهارم:** محاسبه عدد فازی مثلثی (S_i) برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی (رابطه ۶):

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (6)$$

که در آن:

i : شماره سطر.

j : شماره ستون ماتریس مقایسه زوجی واحد.

M_{gi}^j : اعداد فازی مثلثی در ماتریس‌های مقایسه زوجی.

d_i و u_i : به ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی برای محاسبه هریک از اجزای رابطه ۶ می‌توان از رابطه‌های ۷ تا ۹ استفاده کرد (چانگ، ۱۹۹۶).

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m L_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_j M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n L_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (8)$$

$$\left[\sum_i \sum_j M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (9)$$

• **مرحله پنجم:** تعیین بزرگی فازی اعداد بر روی مقادیر

۴- مطالعه موردی

موارد موجب تعطیلی (شاید موقت) معادن بزرگ نیز شده است. همین امر موجب شد با توجه به نقش معدن چادرملو در تولید سنگ آهن در ایران، این معدن برای مطالعه انتخاب شد.

با توجه به توضیحات بخش ۲، محاسبه ریسک بسته شدن معدن چادرملو با امتیازدهی به متغیرها و از طریق قضاوت افراد متخصص انجام گرفت. برای تعیین احتمالات و نتایج حاصل از هر یک از ریسک‌های اصلی و عوامل زیرمجموعه‌ای آن‌ها، فرم چک‌لیست تهیه شد و با استفاده از پرسشنامه که بر مبنای مدل ریسک بسته شدن لارنس طراحی شده بود برای کارشناسان تخصصی شاغل در معدن ارسال شد. بعد از تکمیل و جمع‌آوری، این چک‌لیست‌ها کارشناسی شده و در نهایت پاسخ‌های ۷ نفر از کارشناسان محیط زیست، معدن و صنایع در تحقیق جمع‌آوری و لحاظ شد. مدل جامع ریسک بسته شدن معدن چادرملو بر مبنای شش سری ریسک‌های اصلی مطابق مدل لارنس تهیه و مقادیر احتمال و شدت هر یک از موارد تأثیر به صورت اعداد قطعی و مطابق جدول ۴ محاسبه و بر اساس میانگین نظر کارشناسان مصاحبه شده تعیین شد. تجربه افراد مصاحبه‌شونده حداقل ۳ و حداکثر ۷ با متوسط ۵ سال است. با توجه به امتیاز به دست آمده برای فاکتور ریسک بستن و استانداردهای جدول ۳، ریسک بسته شدن پیش از موعد معدن چادرملو در رده‌بندی متوسط قرار می‌گیرد. این مقدار معرف آن است که معدن چادرملو با احتمال متوسط بسته شدن ۳۰ درصد می‌تواند به فعالیت خود ادامه دهد. ریسک‌های زیست‌محیطی و اجتماعی به ترتیب با امتیازهای ۴۲۶ و ۱۱۶ دارای بالاترین امتیازها نسبت به بقیه ریسک‌ها بودند که باید در مراحل اجرایی معدن تمهیداتی در جهت کاهش صدمات آن‌ها اندیشیده شود و بازسازی معدن در جهت رفع صدمات احتمالی عوامل زیست‌محیطی و اجتماعی و پایداری بلند مدت آن برنامه‌ریزی کرد. امتیاز این عوامل و عوامل زیرمجموعه‌ای آن‌ها برای هر سایت با سایت دیگر متفاوت است و فقط با استفاده از تجارب و نظرات کارشناسان آن سایت قابل ارزیابی است. حسب مذاکره با خبرگان و بررسی‌های کارشناسی، با توجه به مقادیر بالای ریسک محاسبه شده در زمینه زیست‌محیطی و اجتماعی باید برای کاهش ریسک کلی بستن پیش از موعد معدن چادرملو موارد زیر به عنوان مهم‌ترین اقدامات مدنظر قرار گیرد:

- کنترل آب‌های سطحی و هدایت از طریق زیرسازی و ایجاد بستر مناسب برای محل‌های انباشتگاه باطله و سد تیلینگ

پیاده‌سازی مدل جامع ریسک بسته شدن معدن آهن چادرملو و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بسته شدن پیش از موعد معدن.

۴-۱- معرفی معدن چادرملو

معدن سنگ آهن چادرملو در کویر مرکزی ایران، به فاصله ۱۸۰ کیلومتری شمال شرقی شهر یزد و ۳۰۰ کیلومتری جنوب طبرس و در حاشیه جنوبی ساغند قرار گرفته است. معدن چادرملو به واسطه موقعیت جغرافیایی کویری دارای آب و هوای خشک و سرد در زمستان و گرم در تابستان است. تولیدات اصلی شرکت شامل کنسانتره، سنگ آهن دانه‌بندی شده (درشت‌دانه و ریزدانه) و کنسانتره آپاتیت است.

جدول ۴- محاسبه فاکتور ریسک بسته شدن معدن چادرملو.

ریسک اصلی	امتیاز ریسک
ریسک‌های زیست‌محیطی (R_E)	۴۲۶
ریسک‌های ایمنی و سلامتی (R_{SH})	۲۸
ریسک‌های اجتماعی (R_C)	۱۱۶
ریسک‌های استفاده پس از معدنکاری (R_{LU})	۲۵
ریسک‌های مالی و قانونی (R_{LF})	۵۱
ریسک‌های تکنیکی و فنی (R_T)	۳۸
مجموع ریسک‌ها (فاکتور کلی ریسک بستن)	۶۸۴

مصرف کنندگان محصول سنگ آهن، مجتمع‌های فولادسازی‌اند که به روش احیای مستقیم مبادرت به تولید محصولات فولادی می‌کنند.

۴-۲- پیاده‌سازی مدل جامع ریسک بسته شدن معدن چادرملو

به طور کلی می‌توان گفت که ریسک بسته شدن پیش از موعد بیشتر در مورد معادن کوچک مقیاس مطرح است. با عنایت به عوامل بسته شدن زود هنگام معادن روباز و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها به ویژه عدم قطعیت عیار، قیمت و زمین‌شناسی، بسته شدن زود هنگام در مورد معادن بزرگ مقیاس نیز اهمیت پیدا کرده است. همان‌گونه که قبلاً نیز گفته شد، یکی از عوامل مهم، افت قیمت ماده معدنی است. مثال بارز این مورد، سقوط قیمت در بازار بورس فلزات لندن در سال ۱۹۸۵ بود که منجر به تعطیلی خیلی از معادن از جمله معادن بزرگ مقیاس شد. این مورد در سال‌های اخیر به ویژه در مورد معادن سنگ آهن بسیار مشهود بوده و در برخی

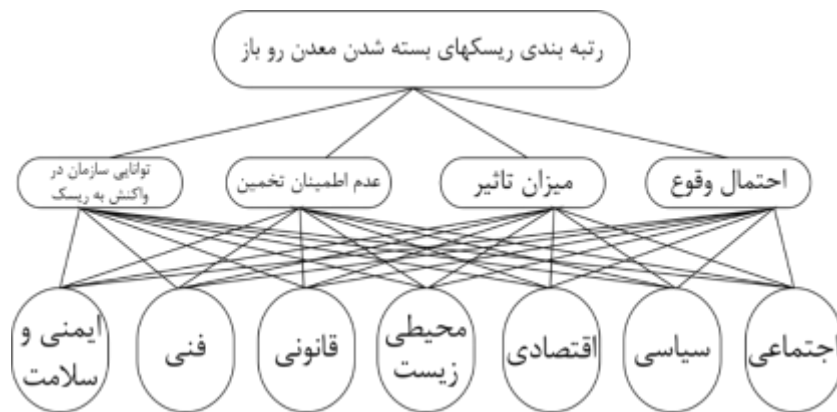
بر بسته شدن موعدها از موعدها آهن چادرملو انجام می‌گیرد. ابتدا ایجاد ساختار تحلیل سلسله مراتبی فازی مسئله تحقیق با هدف رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بسته شدن موعدها از موعدها انجام گرفت و سپس مشخص کردن معیارها زیرمعیارها (در صورت وجود) و گزینه‌ها انجام شد و معیارهای ارزیابی عوامل ریسک‌زا مطابق شکل ۲، تعیین شد. این معیارها با بررسی منابع علمی و نیز به کارگیری نظر کارشناسان دارای چهار مؤلفه اصلی شامل احتمال وقوع (C₁)، میزان تأثیر (C₂)، عدم اطمینان تخمین (C₃) و توانایی سازمان در واکنش به ریسک (C₄) است. اضافه کردن معیارهای عدم اطمینان تخمین و توانایی واکنش سازمان با آنالیز عوامل بیشتر، موجب بالا رفتن دقت تحلیل برای ارزیابی ریسک‌ها می‌شود. با توجه به شفافیت معیارهای یاد شده و قابلیت برآورد آن، زیرمعیاری برای مسئله تعریف نشد و در گام بعدی، صرفاً گزینه‌ها در آخرین سطح سلسله مراتبی شامل عوامل هفت‌گانه کلی ریسک‌زا در معدن شامل عوامل اقتصادی، سیاسی، محیط زیستی، قانونی، فنی، اجتماعی، ایمنی و سلامت تعریف شد. تفاوت عمده در این بخش اضافه کردن عامل ریسک سیاسی و نیز تلفیق مؤلفه‌ها و اقدامات دوره پسامعدنکاری در عامل فنی است. تعدد عوامل در هر سطر سلسله مراتبی موجب سردرگمی و اشتباه مصاحبه‌شوندگان و در نهایت افزایش ناسازگاری مسئله می‌شود (عطایی، ۱۳۹۰).

به منظور جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی.

- تسطیح محل‌های انباشتگاه باطله برای زیباسازی منطقه در مرحله اولیه اجرای طرح بستن.
- تحلیل پایداری دیواره‌های سد باطله و تعیین شیب مناسب پایدار بلند مدت برای جلوگیری از ریزش و اجرای عملیات بازسازی بر روی آن (کاشت گونه‌های گیاهی).
- مذاکره با مالکان بومی و مشورت با آنان برای اجرای طرح توسعه معدن و گسترش محدوده زمین‌های تحت تأثیر معدنکاری.
- اتخاذ تصمیماتی در مورد به کارگیری نیروهای بومی در فرآیند بازسازی و اجرای طرح بستن معدن.

۳-۴- مدل سلسله مراتبی فازی بسته شدن موعدها از موعدها چادرملو

اگر چه در بخش قبلی با اجرای مدل جامع ریسک بسته شدن، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر بسته شدن موعدها از موعدها شناسایی شد اما معیار ارزیابی در این مدل، صرفاً بر اساس دو مؤلفه احتمال وقوع و شدت تأثیر است. همچنین تأثیر هر دو عامل بر خروجی مدل، یکسان است. به کارگیری تصمیم‌گیری چندمعیاره موجب اعمال مؤلفه‌های بیشتر با اوزان اهمیت‌های متفاوت برای ارزیابی دقیق‌تر ریسک بسته شدن موعدها می‌شود، بنابراین بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی که در بخش ۳ بیان شد اولویت‌بندی عوامل مؤثر



شکل ۲- مدل سلسله مراتبی ریسک‌های بسته شدن موعدها.

ریسک‌زا در حوزه‌های اجتماعی (A₁)، سیاسی (A₂)، اقتصادی (A₃)، محیط زیستی (A₄)، قانونی (A₅)، فنی (A₆) و ایمنی و سلامت (A₇) به عنوان گزینه‌های مسئله است. برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بسته شدن موعدها از موعدها پرسشنامه‌هایی شامل ماتریسهای مقایسه زوجی معیارها و گزینه‌ها نسبت به معیارها تهیه شد و برای امتیازدهی با اعداد

با توجه به ادبیات تحقیق در رابطه با مسایل بسته شدن معدن ناشی از عملیات معدنکاری و تأثیر آن بر توقف معدنکاری به صورت دائم یا موقت در معادن مختلف سراسر جهان، حوادث مؤثر بر بسته شدن موعدها از موعدها جمع‌آوری و با دسته‌بندی در قالب هر یک از عوامل ریسک‌زا در اختیار مصاحبه‌شوندگان قرار گرفت که شامل عوامل و فاکتورهای

زوجی (\bar{A}) معیارهای چهارگانه و گزینه‌ها نسبت به معیارها و محاسبه مقادیر اعضای ماتریس هر نفر به صورت اعداد فازی مثلثی طبق الگوی جدول ۵ و سپس جمع نظر افراد مصاحبه شده بر مبنای میانگین هندسی اعداد فازی نسبت داده شده توسط افراد متخصص به هر یک از اعضای ماتریس مقایسات زوجی مطابق رابطه ۵ انجام می‌گیرد. برای اعمال

محاسبات تصمیم‌گیری فازی، ابتدا محاسبه $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ و سپس

S_i طبق رابطه ۶ تا ۹ برای هر یک از سطرها و مقایسه‌های مقایسه زوجی انجام می‌گیرد. مقدار S_i یک عدد فازی مثلثی است و در مرحله بعد، محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر بر اساس روابط ۱۰ تا ۱۱ انجام می‌شود و با به کارگیری روابط ۱۲ و ۱۳ محاسبه بردار وزن غیرنرمالیزه معیارها در هر سطر اعمال می‌شود. محاسبه بردار وزن نهایی نرمالیزه، بر مبنای رابطه ۱۴ انجام می‌گیرد. این فرآیند برای کلیه سطوح سلسله مراتبی برای مبنای ماتریس میانگین مقایسات زوجی به دست آمده در هر سطح سلسله مراتبی به دست می‌آید. بر این اساس در سطح گزینه‌ها، چهار ماتریس جدید برای مقایسه زوجی گزینه‌ها (عوامل ریسک) به ازای هر یک از معیارهای چهارگانه ارزیابی مشابه جدول ۶ تشکیل می‌شود. ابعاد هر یک از این ماتریس‌ها به دلیل تعداد گزینه‌ها، معادل با 7×7 خواهد بود و مقادیر اعضای ماتریس بر مبنای میانگین نظرات کارشناسان مصاحبه شده در مورد مقایسه زوجی دو مؤلفه نسبت به هم است. در جدول ۸ و ۹ خلاصه مقادیر هر یک از ماتریس‌های چهارگانه یاد شده، بیان شده است. همچنین شکل ۳ و جدول ۱۰ معرف رتبه و وزن نهایی هر یک از عوامل ریسک پیش از موعد معدن چادرملو است.

فازی با توجه به اهمیت آنها نسبت به یکدیگر در اختیار کارشناسان معدن و متخصصین مسایل زیست‌محیطی مشابه بخش ۴-۱ قرار گرفت. ترکیب مصاحبه‌شوندگان از کارشناسان معدن و شناخت کافی آن‌ها از قابلیت‌ها و پتانسیل‌ها و نیز دسترسی به اسناد و مدارک و سوابق موجود، دقت ارزیابی‌ها در خصوص معیارهای چهارگانه به ویژه توانایی سازمان در واکنش و عدم اطمینان تخمین را بالاتر می‌برد. حال امکان ارزیابی هر یک از عوامل مولد ریسک بسته شدن پیش از موعد معدن بر مبنای چهار معیار کلیدی C_1 تا C_4 و از طریق پیاده‌سازی تحلیل سلسله مراتبی فازی قابل انجام است (عطایی، ۱۳۹۰). این روش مبتنی بر کار تیمی است تا اطمینان حاصل شود که تمام موارد تأثیرگذار در بستن معدن لحاظ شده‌اند.

طبق روش تحلیل سلسله مراتبی فازی گام بعدی شامل تعریف اعداد فازی متناظر با عبارات کلامی برای انجام مقایسه‌های زوجی است که از اعداد فازی مثلثی طبق جدول ۵ استفاده می‌شود.

جدول ۵- اعداد فازی مثلثی تعریف شده در مدل.

عبارات کلامی مقایسه زوجی دو عامل	عدد فازی متناظر
ترجیح کاملاً برابر	(۱, ۱, ۱)
ترجیح تقریباً برابر	(۰٫۵, ۱, ۱٫۵)
ترجیح کم	(۱, ۱٫۵, ۲)
ترجیح زیاد	(۱٫۵, ۲, ۲٫۵)
ترجیح خیلی زیاد	(۲, ۲٫۵, ۳)
ترجیح کاملاً زیاد	(۲٫۵, ۳, ۳٫۵)

پس از تعریف معیارهای مسئله، تشکیل ماتریس مقایسه

جدول ۶- ماتریس مقایسه زوجی فازی بین معیارها.

مقایسه زوجی معیارها	توانایی واکنش به ریسک C_4			عدم اطمینان تخمین C_3			میزان تأثیر C_2			احتمال وقوع C_1			$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$			S_i		
احتمال وقوع C_1	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۴	۰٫۵	۰٫۶۶۷	۰٫۵	۰٫۶۶۷	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۲٫۹۰	۳٫۱۷	۳٫۶۷	۰٫۱۳۱	۰٫۱۸۸	۰٫۲۷۷	
میزان تأثیر C_2	۰٫۶۶۷	۱٫۰	۲٫۰	۰٫۶۶۷	۱٫۰	۰٫۲	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۵	۲٫۰	۳٫۳۳	۴٫۵۰	۷٫۰۰	۰٫۱۵۰	۰٫۲۶۷	۰٫۵۲۹	
عدم اطمینان تخمین C_3	۱٫۰	۱٫۵	۲٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۵	۱٫۰	۱٫۵	۱٫۵	۲٫۰	۴٫۰۰	۵٫۵۰	۷٫۰۰	۰٫۱۸۰	۰٫۳۲۷	۰٫۵۲۹	
توانایی واکنش به ریسک C_4	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۵	۰٫۶۶۷	۱٫۰	۰٫۵	۱٫۰	۱٫۵	۱٫۰	۱٫۰	۳٫۰	۳٫۶۷	۴٫۵۰	۰٫۱۳۵	۰٫۲۱۸	۰٫۳۴۰	

جدول ۷- اوزان نهایی معیارها.

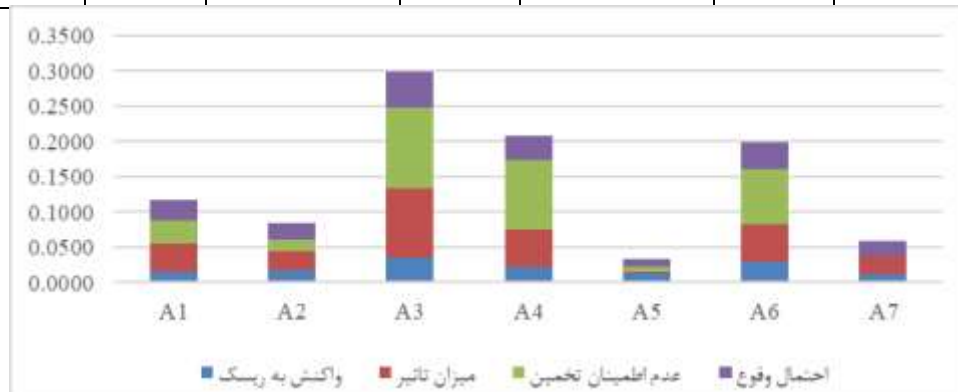
اوزان نرمالایزه شده	درجه بزرگی نهایی	احتمال وقوع C_1	میزان تأثیر C_2	عدم اطمینان تخمین C_3	توانایی سازمان در واکنش به ریسک C_4	رتبه بندی ریسک های بسته شدن معدن روباز
۰/۱۴۴	۰/۴۱۱	---	۰/۶۱۵	۰/۴۱۱	۰/۸۲۷	احتمال وقوع C_1
۰/۲۹۹	۰/۸۵۴	۱	---	۰/۸۵۴	۱	میزان تأثیر C_2
۰/۳۵	۱	۱	۱	---	۱	عدم اطمینان تخمین C_3
۰/۲۰۸	۰/۵۹۴	۱	۰/۷۹۳	۰/۵۹۴	---	توانایی واکنش به ریسک C_4
۱/۰	۲/۸۶	مجموع				

جدول ۸- مقادیر k_i و درجه بزرگی گزینه ها بر مبنای معیارهای چهارگانه ارزیابی ریسک.

	توانایی واکنش به ریسک C_4	عدم اطمینان تخمین C_3	میزان تأثیر C_2	احتمال وقوع C_1
A ₁	۰/۵۷۷ (۰/۰۷۲, ۰/۱۳۳, ۰/۲۶۳)	۰/۲۸۷ (۰/۰۶۷, ۰/۱۱۹, ۰/۱۹۸)	۰/۴۰۸ (۰/۰۶۲, ۰/۱۲۳, ۰/۲۴۶)	۰/۴۲۸ (۰/۰۷۱, ۰/۱۱۸, ۰/۲۰۹)
A ₂	۰/۴۵۵ (۰/۰۵۸, ۰/۱۰۵, ۰/۲۳۴)	۰/۱۴۵ (۰/۰۵, ۰/۰۸۸, ۰/۱۷۵)	۰/۲۸ (۰/۰۶۲, ۰/۱۰۴, ۰/۲۱۲)	۰/۴۷۴ (۰/۰۶۶, ۰/۱۱۲, ۰/۲۳۱)
A ₃	۱ (۰/۱۲۸, ۰/۲۳۱, ۰/۳۸۸)	۱ (۰/۱۴۸, ۰/۲۴۴, ۰/۳۷۹)	۱ (۰/۱۵۲, ۰/۲۵۹, ۰/۴۱)	۱ (۰/۱۳, ۰/۲۲۴, ۰/۳۵۶)
A ₄	۰/۶۵۲ (۰/۰۸۶, ۰/۱۵۷, ۰/۲۶۷)	۰/۸۵۵ (۰/۱۲۴, ۰/۲۱, ۰/۳۴۶)	۰/۵۲۹ (۰/۰۸۸, ۰/۱۵۵, ۰/۲۶۹)	۰/۶۷۲ (۰/۰۷۱, ۰/۱۴۹, ۰/۲۸۳)
A ₅	۰/۲۰۴ (۰/۰۵, ۰/۰۹, ۰/۱۶۴)	۰/۰۷۱ (۰/۰۵۵, ۰/۰۸۶, ۰/۱۶)	۰/۰۰۹ (۰/۰۵۵, ۰/۰۸۸, ۰/۱۵۴)	۰/۳۹۳ (۰/۰۵۵, ۰/۱۰۲, ۰/۲۰۹)
A ₆	۰/۷۵۳ (۰/۰۸۵, ۰/۱۶۷, ۰/۳۲۵)	۰/۶۶۴ (۰/۰۹۹, ۰/۱۷۱, ۰/۲۹۲)	۰/۵۵۱ (۰/۰۹۳, ۰/۱۶۴, ۰/۲۶۹)	۰/۸۳۶ (۰/۱۰۵, ۰/۱۸۶, ۰/۳۲)
A ₇	۰/۴۳۸ (۰/۰۵۹, ۰/۱۱۷, ۰/۲۱۷)	۰ (۰/۰۵۲, ۰/۰۸۲, ۰/۱۳۱)	۰/۲۶۵ (۰/۰۵۳, ۰/۱۰۷, ۰/۲۰۷)	۰/۳۳۷ (۰/۰۶, ۰/۱۰۹, ۰/۱۸۸)

جدول ۹- مقادیر اوزان نسبی و نهایی هر یک از انواع عوامل ریسک نسبت به معیارهای ارزیابی.

	توانایی واکنش به ریسک C_4		عدم اطمینان تخمین C_3		میزان تأثیر C_2		احتمال وقوع C_1	
	۰/۲۰۸		۰/۳۵۰		۰/۲۹۹		۰/۱۴۴	
	وزن نسبی نرمالایزه	وزن نهایی	وزن نسبی نرمالایزه	وزن نهایی	وزن نسبی نرمالایزه	وزن نهایی	وزن نسبی نرمالایزه	وزن نهایی
A ₁	۰/۱۴۱	۰/۰۳۳۲	۰/۰۹۵	۰/۰۴۰۰	۰/۱۳۴	۰/۰۴۰۰	۰/۰۱۴۸	۰/۰۱۰۳
A ₂	۰/۱۱۲	۰/۰۱۶۸	۰/۰۴۸	۰/۰۲۷۵	۰/۰۹۲	۰/۰۲۷۵	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۱۵
A ₃	۰/۲۴۵	۰/۱۱۵۷	۰/۳۳۱	۰/۰۹۸۳	۰/۳۲۹	۰/۰۹۸۳	۰/۰۳۴۸	۰/۰۲۴۲
A ₄	۰/۱۶	۰/۰۹۹۰	۰/۲۸۳	۰/۰۵۲۰	۰/۱۷۴	۰/۰۵۲۰	۰/۰۲۳۳	۰/۰۱۶۲
A ₅	۰/۰۵	۰/۰۰۸۴	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۳۶	۰/۰۰۹۵
A ₆	۰/۱۸۵	۰/۰۷۶۹	۰/۲۲	۰/۰۵۴۱	۰/۱۸۱	۰/۰۵۴۱	۰/۰۲۹۰	۰/۰۲۰۲
A ₇	۰/۱۰۷	۰/۰۰۰۰	۰	۰/۰۲۶۰	۰/۰۸۷	۰/۰۲۶۰	۰/۰۱۱۶	۰/۰۰۸۱



شکل ۳- امتیاز انواع عوامل ریسک های بسته شدن معدن نسبت به معیارهای ارزیابی.

روش عمدتا بر مبنای معیارهای زیست‌محیطی شکل گرفته است و تحلیل سایر پارامترها نیز عمدتا در تطابق و یا عدم تطابق با معیارهای توسعه پایدار شکل گرفته است.

- تعدادی از زیرمعیارهای اجتماعی در روش لارنس از جمله پرداخت حقوق و معوقات و صدمات مربوطه، عمدتا مرتبط با شرایط اقتصادی بهره‌برداری معدن است و با بهبود پارامترهای اقتصادی که عمدتا مرتبط با قیمت محصول نهایی‌اند، قابل رفع است.
- مطالعه موردی تحقیق (معدن سنگ آهن چادرمولو) در سال‌های اخیر بیشتر تحت تأثیر بازار و قیمت مواد معدنی بوده، بنابراین به دست آمدن ریسک اقتصادی به عنوان رتبه اول، منطقی به نظر می‌رسد که این مهم مورد تأیید کارشناسان نیز است.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بسته شدن پیش از موعد معدن از دو روش ماتریس جامع ریسک بسته شدن معدن و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شد که دلیل آن نیز جامع بودن روش‌ها و قابلیت اعتماد بالای نتایج حاصل است. بدین منظور، ابتدا عوامل مؤثر در بسته شدن معدن شناسایی و مدل لارنس پیاده‌سازی شد و در ادامه با استفاده از مصاحبه با خبرگان و پیاده‌سازی روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، عوامل مؤثر بر بسته شدن پیش از موعد معدن چادرمولو شناسایی و اولویت‌بندی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی و فنی به ترتیب با امتیازهای ۰/۳، ۰/۲۰۷ و ۰/۱۹۸ به عنوان سه اولویت اول مؤثر بر بسته شدن پیش از موعد معدن چادرمولو باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. برای تکمیل کار پیشنهاد می‌شود تا شناسایی عوامل بسته شدن پیش از موعد معدن با اعمال تئوری‌های دیگر از جمله تئوری خاکستری^۱ و سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره جدید نیز مانند الکترو پرامیتی^۲ فازی بررسی شود. با توجه به تأثیر متقابل برخی معیارها از جمله پارامترهای اقتصادی و اجتماعی پیشنهاد می‌شود تا رتبه‌بندی معیارها با روش تحلیل شبکه‌ای^۳ در محیط فازی انجام گیرد.

همچنین پیشنهاد می‌شود در راستای بستن معدن برنامه‌ریزی شده، انتخاب بهترین روش استفاده از زمین پس از

در مرحله آخر محاسبات، امتیاز هر گزینه بر مبنای مجموع حاصل ضرب وزن هر معیار در وزن گزینه از آن معیار محاسبه و اولویت‌بندی عوامل ریسک پیش از موعد معدن طبق جدول ۱۰ مشخص شد. در جدول ۱۱ نیز مقادیر شاخص ناسازگاری هر یک از ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی نشان داده شده است که معرف ناسازگاری پایین بین قضاوت‌های انجام شده و قابل قبول بودن قضاوت‌های مربوطه است. مقایسه نتایج دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با روش لارنس معرف برخی نقاط اشتراک از جمله اهمیت نسبی بالای شاخص زیست محیطی تاحدی است اما تفاوت‌های عمده‌ای را در مورد سایر معیارها نشان می‌دهد. جدول ۱۲ مقایسه نتایج بین روش پیشنهادی (تحلیل سلسله مراتبی فازی) و روش لارنس را نشان می‌دهد. جدول ۱۰- رتبه‌بندی نهایی عامل ریسک بسته شدن پیش از موعد معدن.

رتبه	عامل ریسک	وزن نهایی گزینه‌ها
۱	اقتصادی	۰/۳
۲	زیست محیطی	۰/۲۰۷
۳	فنی	۰/۱۹۸
۴	اجتماعی	۰/۱۱۸
۵	سیاسی	۰/۰۸۴
۶	ایمنی و سلامت	۰/۰۶
۷	قانونی	۰/۰۳۳

جدول ۱۱- شاخص ناسازگاری انواع ماتریس‌های مقایسات زوجی.

ماتریس	CR ^m	CR ^g	ناسازگاری
ریسک‌های بسته شدن معدن	۰/۰۱۳	۰/۰۳۸	سازگار
احتمال وقوع C ₁	۰/۰۱۴	۰/۰۶۸	سازگار
میزان تأثیر C ₂	۰/۰۱۸	۰/۰۸۱	سازگار
عدم اطمینان تخمین C ₃	۰/۰۲۱	۰/۰۹	سازگار
توانایی واکنش به ریسک C ₄	۰/۰۱۱	۰/۰۴۵	سازگار

جدول ۱۲- مقایسه نتایج بین روش پیشنهادی (تحلیل سلسله مراتبی فازی) و روش لارنس.

رتبه	روش پیشنهادی	روش لارنس
۱	اقتصادی	زیست محیطی
۲	زیست محیطی	اجتماعی
۳	فنی	مالی و قانونی

در خصوص دلایل تفاوت بین مقادیر دو روش، حسب بررسی انجام گرفته، موارد زیر را می‌توان بیان کرد:

- با توجه به آیت‌ها و موارد بیان شده در روش لارنس، این

1-Gray theory

2-Promethee

3-Analytic Network Process – ANP

10. Heikkinen, P. M., Noras, P., Salminen. R.; 2008; "Environmental Techniques for the Extractive Industries" Mine Closure Handbook, p. 170.
11. Laurence, D.; 2006; "Optimization of the mine closure process" Journal of Cleaner Production, 14(3-4), 285-298.
12. Laurence, D.; 2011; "Establishing a sustainable mining operation: an overview" Journal of Cleaner Production, 19(2), 278-284.
13. Miller, G.; 2010; "Overview of mining and its impacts" Guidebook for Evaluating Mining Project EIAs, Chapter 1, p. 16.
14. Mobtaker, M.M., Osanloo, M.; 2013; "Prediction of iron ore mine closure causes under uncertainty condition, using Vikor technique" 6th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry, 1-8.
15. Saaty, T.L.; 1980; "The Analytic Hierarchy Process" New York: McGraw-Hill.
16. Wang, Y.M., Elhag, T.M.S., Hua. Z.; 2006; "A modified fuzzy logarithmic least squares method for fuzzy analytic hierarchy process" Fuzzy sets and systems, 157:3055-3071.
17. Sango, I., Taru. P., Mudzingwa. M.N., Kuvarega, A.T.; 2006; "Social and biophysical impacts of Mhangura copper mine closure" Journal of Sustainable Development, 8(3), 186-204.
18. Sellers, R., Vogel, P.; 2011; "Guidelines for Preparing Mine Closure plans: Environmental Protection Authority" Government of Western Australia Department of Mines and Petroleum, p. 78
19. Vintro, C., Sanmiquel, L., Freijo, M.; 2014; "Environmental Sustainability in the Mining Sector: Evidence from Catalan Companies" Journal of Cleaner Production, 1-9.
- معدنکاری در قالب تحقیق دیگری انجام پذیرد و مقایسه‌ای بین منافع اقتصادی ناشی از بازسازی معدن و منافع حاصل از استخراج ماده معدنی انجام گیرد.
- منابع**
۱. ابراهیم آبادی، آرش؛ اصانلو، مرتضی؛ ۱۳۸۶؛ «فرآیند بستن معدن - عوامل، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی»، هفتمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، مجتمع مس سرچشمه کرمان، صفحات ۱۳۷-۱۵۴.
۲. علوی، ایرج؛ اکبری، افشین؛ ۱۳۹۰؛ «مقایسه روش‌های TOPSIS فازی و AHP فازی برای انتخاب و کاشت گونه‌های گیاهی بومی (مطالعه موردی: منطقه معدنی مس سرچشمه)»، مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، دوره دوم، شماره سوم، صفحات ۴۵-۵۶.
۳. عطایی، محمد؛ ۱۳۸۹؛ «تصمیم‌گیری چند معیاره فازی»، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۳۳۳ صفحه.
۴. رشیدی‌نژاد، فرشاد؛ ۱۳۸۹؛ «جزوه مهندسی محیط زیست»، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی معدن، ۳۰۷ صفحه.
5. Australian Government; 2006; "Mine closure and Completion handbook" Department of Industry Tourism and Resources, p. 73.
6. Borregaard. N., Dufey. A., 2002; "Environmental effects of foreign investment versus domestic investment in the mining sector in Latin-America" OECD Global Forum on International Investment Conference on Foreign Direct Investment and the Environment Lessons to be Learned from the Mining Sector, p. 29.
7. Bose, D., 2012; "How does mining affect the environment" Available Online at: <http://www.buzzle.com>.
8. Chang, D.Y.; 1996; "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP" European journal of operational research, 95: 649-655.
9. Chen, S.J., Hwang, C.L., Beckmann, M.J., Krelle, w.; 1992; "Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications" Springer-Verlag New York, Inc.

