گزارش فنی:

تعیین مزیت‌های نسبی استخراج مواد معدنی در استان آذربایجان غربی

عطاالله بهرامی[۱]، جعفر عبداللهی شریف[۲]، محمدجواد رحیم‌دل*[۳]، امیر ضیالامع[۴]

۱- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه

۲- استاد، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه

۳- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند

۴- کارشناس ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت: تیر ۱۳۹۵ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۸)

چکیده

بخش معدن و صنایع معدنی از مهم‌ترین مسیرها در دستیابی به توسعه پایدار است. منابع معدنی نقش چشم‌گیری در پویایی اقتصاد کشور داشته و با سرمایه‌گذاری صحیح در بهره‌برداری از این منابع، امکان کسب ارزش افزوده مناسب در بخش‌های مختلف اقتصادی وجود دارد. بنابراین، تعیین مزیت‌های نسبی و اولویت‌بندی بهره‌برداری از فعالیت‌های معدنی به منظور اطمینان در سرمایه‌گذاری‌های آینده ضرورت دارد. در این مقاله، به اولویت‌بندی بهره‌برداری از منابع معدنی استان آذربایجان غربی، به عنوان یکی از استان‌های مهم معدنی کشور پرداخته شده است. برای این منظور، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط فازی استفاده شده است. با توجه به نتایج، مسائل زیست‌محیطی و فرهنگی- اجتماعی از مهم‌ترین شاخص‌ها در بهره‌بردای از معادن استان آذربایجان غربی هستند. از این رو، استخراج سنگ آهن و طلا، کرومیت، منگنز و سرب و روی به ترتیب بالاترین اولویت در بهره‌برداری را دارند. علاوه بر این، سنگ‌های تزئینی، نما و سنگ گچ، باریت و خاک سرخ و زرد، کائولن، خاک نسوز و دولومیت به ترتیب در اولویت‌های دیگر استخراج قرار می‌گیرند.

کلیدواژه‌ها

منابع معدنی، معدنکاری، آذربایجان غربی، تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی

* عهده دار مکاتبات: *rahimdel@birjand.ac.ir*

۱- مقدمه و سابقه موضوع تحقیق

بخش معدن سبب ایجاد اشتغال، درآمدزایی و رونق اقتصادی می‌شود و در بسیاری از کشورها یکی از مهم‌ترین مسیرها در پیشرفت اقتصادی است. بررسی محدودیت‌های داخلی، افق زمانی و چشم‌اندازها و سیاست‌های کلان در ارتباط با معدنکاری، تدوین راهبردهای این بخش را امکان‌پذیر می‌سازد. بنابراین اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری در بهره‌برداری از فعالیت‌های معدنی به عنوان یکی از الزامات سیاست‌گذاری مؤثر در این بخش و به منظور سرمایه‌گذاری‌های آینده ضرورت دارد.

تاکنون کاربردهای متعددی از تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره در حوزه مهندسی معدن ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به انتخاب مناسب‌ترین الگوی آتشکاری[۱]، انتخاب سنگ‌شکن اولیه[۲،۳]، انتخاب روش معدنکاری[۴-۶]، تحلیل پایداری پله‌های معادن روباز[۷]، مدیریت ریسک ایمنی در معدنکاری زیرزمینی زغالسنگ [۸]، انتخاب کامیون برای معدنکاری روباز[۹] و انتخاب سیستم حمل و نقل مواد معدنی[۱۰] اشاره کرد. با بررسی منابع علمی معتبر و موجود در زمینه اولویت‌بندی منابع معدنی، رتبه‌بندی مواد معدنی کشور با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک انجام شده است[۱۱]. در این پژوهش، با در نظر گرفتن ۲۹ زیرمعیار که عمدتاً شامل معیارهای اقتصادی، سرمایه‌گذاری و زیست محیطی بودند، به اولویت‌بندی مواد معدنی کشور با در نظر گرفتن ۳۳ کانی، سنگ و عنصر معدنی پرداخته شده است. برای انجام رتبه‌بندی، ابتدا با استفاده از نظرات متخصصان بخش معدن کشور، درجه اهمیت هر یک از معیارها تعیین شده است. سپس امتیاز هر یک از منابع معدنی در دو حالت مختلف شامل وزن‌دهی بر مبنای نظرسنجی‌ها و نیز وزن‌دهی یکسان به همه معیارها، تعیین شده است. با توجه به نتایج این پژوهش و بر مبنای نظرات کارشناسان، ذخایر سنگ مس، زغالسنگ، آهن، طلا، کرومیت، سرب و روی، باریت، بوکسیت، فسفات و منگنز به ترتیب در رتبه‌های اول تا دهم قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، با وزن‌دهی یکسان برای معیارها، منابع معدنی مس، زغالسنگ، کرومیت، آهن، سرب و روی، طلا، تالک، منیزیت و گل سفید، فسفات و باریت به ترتیب در رتبه‌های اول تا دهم قرار گرفته‌اند. این پژوهش، با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی نیز انجام شده است[۱۲]. در این پژوهش، تعداد ۲۹ معیار در قالب شش معیار اصلی اقتصاد و بازار، فنی، سرمایه‌گذاری، اشتغال، اجتماعی و زیست محیطی و نیز معیارهای راهبردی تعریف گردیده است. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک در این پژوهش، ذخایر سنگ مس، آهن، فسفات، سرب و روی، زغالسنگ، طلا، فلدسپار، کرومت، منگنز و کائولن را به ترتیب اولویت‌بندی نموده است. همچنین، معیارهای اقتصادی از بیشترین درجه اهمیت برخوردار بوده و معیارهای اجتماعی و زیست محیطی، کم‌ترین درجه اهمیت را داشته‌اند. علاوه بر موارد فوق، اولویت‌بندی منابع معدنی کشور با استفاده از روش تاکسونومی عددی[۱۳] نیز انجام شده است. در این پژوهش، ۱۹ ماده مختلف معدنی با در نظر گرفتن معیارهای نرخ رشد ارزش افزوده، سهم هر یک از مواد معدنی در تولید ناخالص داخلی، بهره‌وری نیروی کار، اشتغال‌زایی، نسبت سرمایه به نیروی کار، سهم شاغلان متخصص به نیروی کار معدن، بزرگی بازار داخلی و جهانی، ارز آوری، سوددهی و نیز ظرفیت‌های سرمایه‌گذاری جهت توسعه معادن به عنوان معیارهای تصمیم در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج این پژوهش، ذخایر سنگ‌آهن، مس، سرب و روی، فسفات، طلا، کرومیت، بور، فلدسپار، منیزیت و زرنیخ به ترتیب در اولویت‌های اول تا دهم قرار گرفته‌اند.

با توجه به پژوهش‌های بالا، اولویت‌بندی بهره‌برداری از مواد معدنی کشور با در نظر گرفتن معیارهای متنوعی انجام شده است. با این وجود، معیارهای مهمی از قبیل رضایت‌مندی افراد بومی و نیز بهره‌وری مصرف آب و انرژی که در حال حاضر یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مسئولان و صاحب‌نظران بخش صنعت و معدن کشور است، مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. علاوه بر این، با توجه به تفاوت در موقعیت‌های جغرافیایی و دوری و نزدیکی به بازارهای هدف، ظرفیت‌های معدنی و صنعتی و نیز حساسیت مسائل فرهنگی و اجتماعی در استان‌های مختلف کشور، ضرورت اولویت‌بندی منابع معدنی به تفکیک استان‌های کشور، آشکار می‌شود. علاوه بر موارد گفته شده، تحقیقاتی که تاکنون در زمینه اولویت‌بندی منابع معدنی انجام گرفته‌اند، با بهره‌گیری از روش‌های کلاسیک بوده است. در حالی که، وجود عدم قطعیت در هر یک از معیارهای تصمیم‌گیری، ضرورت استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری در محیط فازی را مشخص می‌سازد.

استان آذربایجان غربی یکی از استان‌های مهم معدنی کشور بوده که در حدود هفت درصد از کل معادن کشور را به خود اختصاص داده است[۱۴]. وجود ذخایر غنی سنگ آهن، مس، طلا، باریت، میکا، انواع سنگ‌های گرانیت و غیره، هم‌جواری با کشورهای ترکیه، عراق و آذربایجان و نزدیکی به کشور ارمنستان، وجود منطقه آزاد ماکو و منطقه ویژه اقتصادی سلماس و نیز قرارگیری در مسیر عبور راه‌آهن ایران- ترکیه، این استان را در زمره یکی از مهم‌ترین استان‌های معدنی و صنعتی کشور قرار داده است[۱۵].

مهم‌ترین اهداف این پژوهش، بررسی ظرفیت‌های سرمایه‌گذاری در بخش معدن استان آذربایجان غربی، بررسی و تعیین درجه اهمیت هر یک از عوامل موثر در اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی این استان و ارائه اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی شامل روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی است. روش شباهت به گزینه ایده‌آل یکی از ابزارهای قدرتمند تصمیم‌گیری به منظور اولویت‌بندی گزینه‌ها بوده که در آن رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس میزان نزدیکی نسبی آنها به جواب ایده‌آل و دوری از جواب ضدایده‌آل صورت می‌گیرد. سادگی و سرعت مناسب در حل مسائل، دخالت همزمان معیارهای کیفی و کمی و نیز نتایج و کاربردهای موفقیت‌آمیز، این روش را در زمره یکی از قدرتمندترین و متداول‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری قرار داده است. علاوه بر این، روش تحلیل سلسله مراتبی از دیگر روش‌های قدرتمند و انعطاف‌پذیر در تصمیم‌گیری است. این روش بر مبنای نحوه تحلیل مغز انسان در مسائل پیچیده استوار بوده که با تبدیل مسائل پیچیده به یک ساختار سلسله مراتبی و بهره‌گیری از مقایسه‌های زوجی، امکان تحلیل چنین مسائلی را فراهم آورده است.

ساختار این مقاله به شرح زیر است: در بخش دوم، به بررسی ظرفیت‌های معدنی استان آذربایجان غربی پرداخته شده است. روش‌های تصمیم‌گیری شباهت به گزینه ایده‌آل فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی در بخش سوم معرفی شده است. در نهایت در بخش چهارم، به اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی پرداخته شده است.

۲- ظرفیت‌های معدنی استان آذربایجان غربی

در این بخش به بررسی ظرفیت‌های معدنی در استان آذربایجان غربی پرداخته شده است. از جمله فعالیت‌های معدنی استان آذربایجان غربی می‌توان به وجود بیش از ۵۰ درصد از کل ذخایر طلای شناسایی شده کشور، قطب سنگ تزئینی کشور با داشتن بیش از ۱۶۰ معدن فعال سنگ تزئینی و بالغ بر ۸۰ نوع و رنگ، قرار گرفتن سه زون از زون‌های مطالعاتی بخش معدن و زمین‌شناسی کشور در این استان، رتبه سوم کشوری از لحاظ تنوع مواد معدنی و از نظر تولید برخی از مواد معدنی از جمله طلا، باریت، میکا و انواع سنگ‌های گرانیت، شناسایی ۵۱ نوع ماده معدنی از ۶۸ نوع ماده معدنی شناسایی شده در کشور، وجود ذخایر مواد معدنی باارزش غیرفلزی از جمله سیلیس با عیار ۹۹ درصد که عمدتاً در مناطق ارومیه، خوی و سردشت قرار دارند، باریت در نقاط مختلف شهرستان‌های مهاباد، سردشت و بوکان، میکا با درجه خلوص بالا و ورقه‌های بزرگ در قره‌باغ ارومیه، دولومیت در مناطق مختلف استان و اطراف ارومیه و تکاب، راه‌اندازی معادن تیتان قره‌آغاج ارومیه و طلای زرشوران تکاب، امکان استفاده از املاح دریاچه ارومیه و منتج شدن عملیات اکتشافی انجام شده بر روی موادمعدنی فلزی از جمله مس، آهن تیتان، پلی متال، طلا و ... اشاره کرد[۱۵،۱۶]. علاوه بر موارد بالا، برخورداری از موقعیت ممتاز جغرافیایی و هم‌جواری با کشورهای ترکیه، عراق و آذربایجان (جمهوری نخجوان) و نزدیکی به کشور ارمنستان به عنوان یک مزیت رقابتی در صادرات محصولات صنعتی، معدنی و تجاری، وجود منطقه آزاد ماکو و منطقه ویژه اقتصادی سلماس، قرارگیری استان در مهم‌ترین نقطه تبادل کالا از ایران و کشورهای آسیای میانه به ترکیه و اروپا و نیز عبور راه‌آهن ایران- ترکیه از این استان، از دیگر مزیت‌های سرمایه‌گذاری در بخش معادن استان آذربایجان غربی است[۱۵،۱۶]. خلاصه‌ای از اطلاعات معادن استان آذربایجان غربی تا پایان سال ۱۳۹۴ در جدول ۱ آورده شده است[۱۴]. علاوه بر این، میزان تولید برخی از مهم‌ترین مواد معدنی این استان در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱: خلاصه‌ای از اطلاعات معادن استان آذربایجان غربی در مقایسه با کل کشور [۱۴]

اطلاعات معدنی	کل کشور	استان آذربایجان غربی
تعداد معادن	۵۴۴۵	۳۹۱
متوسط تعداد شاغلان	۹۴۶۴۰	۵۱۶۳
مقدار استخراج ماده معدنی (تن)	۴۳۶۶۳۴۷۰۶	۱۵۶۲۳۹۲۲
مقدار تولید (تن)	۳۵۵۸۴۷۹۹۰	۱۵۵۶۵۹۹۵
ارزش کل تولیدات (میلیون ریال)	۱۲۶۷۳۸۴۷۴	۱۸۷۸۳۹۸
ارزش افزوده (میلیون ریال)	۹۳۴۳۲۱۸۳	۱۴۹۴۷۴۹
ارزش سرمایه‌گذاری (میلیون ریال)	۱۲۹۸۰۰۲۳	۲۷۳۳۸۷
جبران خدمات مزد و حقوق‌بگیران (میلیون ریال)	۱۲۰۶۳۸۴۷	۳۴۹۳۵۸

جدول ۲: میزان تولید برخی از معادن در حال بهره‌برداری در استان آذربایجان غربی در سال ۱۳۹۴ [۱۴]

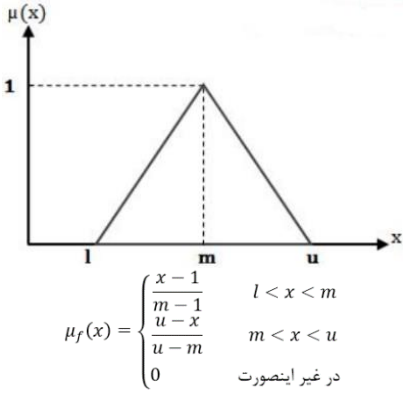
ردیف	ماده معدنی	تولید (تن)	ردیف	ماده معدنی	تولید (تن)
۱	سنگ آهن	۳۵۱۰۰	۱۳	گرانیت	۶۶۹۴۹
۲	آهن دانه‌بندی شده	۱۳۰۰۰	۱۴	چینی ساده	۲۱۳۲
۳	هماتیت	۱۰۰۰۰	۱۵	سایر سنگ‌های تزئینی	۱۹۷۲
۴	منیتیت	۲۰۰۰۰	۱۶	لاشه ساختمانی	۳۶۱۴۹۵
۵	سنگ سرب و روی	۱۵۰۰۰	۱۷	بالاست	۷۱۶۰۰
۶	سنگ طلا	۱۳۴۳۰۰۰	۱۸	سنگ آهک	۳۸۹۹۲۱۳
۷	کرومیت	۵۲۶۲	۱۹	سنگ گچ	۳۸۵۴۳۹
۸	سن منگنز	۷۳۲	۲۰	خاک نسوز	۵۲۰۰
۹	مخلوط شن و ماسه	۳۳۳۷۶۵۷	۲۱	دولومیت	۴۱۸۰۰
۱۰	انواع سنگ مرمر	۱۲۶۴۱	۲۲	باریت	۴۷۸۳۴
۱۱	انواع سنگ مرمریت	۴۴۴۸۶۸	۲۳	سلیس	۷۲۶۴۰
۱۲	انواع سنگ تراورتن	۴۰۱۵۷۴	۲۴	میکا	۲۲۳۵

از مهم‌ترین زمینه‌های سرمایه‌گذاری در بخش معادن استان آذربایجان غربی می‌توان به استخراج و فرآوری طلا، تولید سنگ‌های ساختمانی با کیفیت مطلوب، احداث واحدهای سیمان سفید، استخراج منیزیوم از دولومیت، تولید آجر نسوز، احداث صنایع بالادستی فولاد، ایجاد کارخانه‌های جدید سیمان، ایجاد کارخانه‌های جدید کاشی و سرامیک، ایجاد کارخانه‌های جدید ظروف چینی و چینی بهداشتی، صنایع شیشه جام و محصولات شیشه‌ای، ایجاد و توسعه صنایع تولید آهن، فولاد و محصولات اولیه، مصنوعات سنگی، استخراج و فرآوی ذخایر معدنی زرنیخ، کانی‌های غیرفلزی، استخراج و فرآوری ذخایر معدنی میکا، استخراج عناصر نادر از فرآوری ذخایر معدنی سنگ‌های گرانیتی و کانسارهای آهن منگنزدار و استحصال املاح معدنی از شورابه‌های دریاچه ارومیه اشاره کرد[۱۷].

۳- تصمیم‌گیری چند معیاره فازی

در هر مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره، هر گزینه با چند معیار ارزیابی شده و اولویت‌بندی گزینه‌ها از طریق تعیین سطح مورد نظر برای معیارها و یا از طریق مقایسه‌های زوجی معیارها و گزینه‌ها صورت می‌گیرد. در هر یک از این روش‌ها پس از مقایسه معیارها با یکدیگر، درجه اهمیت هر یک از آنها تعیین و در نهایت اولویت‌بندی گزینه‌ها انجام می‌شود. با این وجود، در بسیاری از موارد، تصمیم‌گیری‌ها با عدم قطعیت همراه هستند. در چنین شرایطی استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، دید بهتری را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد. در منطق کلاسیک، عضویت و یا عدم عضویت یک عنصر در یک مجموعه به طور مشخص و با اطمینان کامل تعیین می‌شود. در حالی که در مجموعه‌های فازی بر خلاف مجموعه‌های قطعی، عناصر به دو دسته عضو و غیرعضو تقسیم نمی‌شوند

و درجه عضویت عناصر مختلف در مجموعه‌های متفاوت، بین صفر و یک متغیر است[۱۷]. روش‌های مختلفی برای نمایش اعداد مجموعه‌های فازی وجود دارد که به عنوان نمونه تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی در شکل ۱ نشان داده شده است[۱۷].



$$\mu_f(x)=\begin{cases}\dfrac{x-1}{m-1} & l<x<m\\ \dfrac{u-x}{u-m} & m<x<u\\ 0 & \text{در غیر اینصورت}\end{cases}$$

شکل ۱: نمایش یک عدد فازی مثلثی همراه با تابع عضویت

۳-۱- روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی

روش شباهت به گزینه ایده‌آل (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) توسط هوانگ (Hwang) و یون (Yoon) در سال ۱۹۸۱ ارائه شد. در این روش، گزینه‌ها بر اساس شباهت به حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند[۱۸]. در روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک، برای تعیین درجه اهمیت معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از مقادیر دقیق و معین استفاده می‌شود. در حالی که در روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی به منظور از بین بردن عدم قطعیت‌های موجود در تصمیم‌گیری، به جای استفاده از اعداد دقیق، از اعداد فازی استفاده می‌شود. مراحل تصمیم‌گیری به روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی در یک مسئله تصمیم‌گیری با وجود n معیار و m گزینه به شرح زیر است[۱۸]:

۳-۱-۱- تشکیل ماتریس تصمیم

در این مرحله، با توجه به تعداد معیارها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت زیر تشکیل می‌شود.

$$\widetilde{D}=\begin{bmatrix}\tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1n}\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn}\end{bmatrix}$$

در صورتی که در این ماتریس از اعداد فازی مثلثی استفاده شود، $\widetilde{x}_{ij}=(a_{ij},\ b_{ij},\ c_{ij})$ عملکرد گزینه i (i=1,2,....,m) در رابطه با معیار j (j=1,2,...,n) است. در صورتی که گروه تصمیم‌گیرنده دارای k عضو باشد و رتبه‌بندی فازی kامین تصمیم‌گیرنده، $\tilde{x}_{ijk}=(a_{ijk},b_{ijk},c_{ijk})$ به ازای i=1,2,....,m و j=1,2,....,n باشد، با توجه به معیارهای فازی ترکیبی $\tilde{x}_{ij}=(a_{ij},b_{ij},c_{ij})$، می‌توان هر یک از درایه‌های ماتریس تصمیم فازی را با استفاده از رابطه (۱) به دست آورد.

$$\begin{aligned}a_{ij}&=\min_k\{a_{ijk}\}\\ b_{ij}&=\frac{\sum_{k=1}^{K}b_{ijk}}{K}\\ c_{ij}&=\max_k\{c_{ijk}\}\end{aligned}\qquad(۱)$$

۳-۱-۲- تعیین ماتریس درجه اهمیت معیارها

در این مرحله، درجه اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، به صورت بردار زیر تعریف می‌شود.

$$\tilde{w}=[\tilde{w}_1\ ,\tilde{w}_2,\dots,\tilde{w}_n]$$

در صورت استفاده از اعداد فازی مثلثی، هر یک از مولفه‌های بردار درجه اهمیت به صورت $\widetilde{w}_{ij}=(w_{j1},w_{j2},w_{j3})$ تعریف می‌شوند. در صورتی که گروه تصمیم‌گیرنده دارای k عضو باشد و ضریب اهمیت kامین تصمیم‌گیرنده $\widetilde{w}_{ij}=(w_{jk1},w_{jk2},w_{jk3})$ به ازای j=1,2,....,n باشد، رتبه‌بندی فازی ترکیبی بردار درجه اهمیت با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned}w_{j1}&=\min_k\{a_{ik1}\}\\ w_{j2}&=\frac{\sum_{k=1}^{K}b_{jk2}}{K}\\ w_{j3}&=\max_k\{a_{ik3}\}\end{aligned}\qquad(۲)$$

۳-۱-۳- بدون مقیاس کردن ماتریس تصمیم فازی

به منظور بدون مقیاس کردن ماتریس تصمیم، از روش خطی استفاده می‌شود. در این صورت، درایه‌های ماتریس تصمیم برای هر یک از معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه می‌شوند.

$$\tilde{r}_{ij}=\left(\frac{a_j^-}{c_{ij}},\frac{a_j^-}{b_{ij}},\frac{a_j^-}{a_{ij}}\right),j\in C\qquad(۳)$$

$$\tilde{r}_{ij}=\left(\frac{a_{ij}}{c_j^*},\frac{b_{ij}}{c_j^*},\frac{c_{ij}}{c_j^*}\right),j\in B\qquad(۴)$$

که $a_j^-=\min_i a_{ij}$ و $c_j^*=\max_i c_{ij}$ هستند.

۳-۱-۴- تعیین ماتریس تصمیم بدون مقیاس شده وزن‌دار

با توجه به درجه اهمیت معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار از حاصلضرب درجه اهمیت مربوط به

هر معیار در ماتریس بدون مقیاس شده فازی و به صورت رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}.\tilde{w}_{ij} \quad (۵)$$

که در این رابطه، $\tilde{w}_j$ ضریب اهمیت معیار C_j است.

در این صورت، ماتریس تصمیم فازی بدون مقیاس شده وزن‌دار به صورت زیر خواهد بود:

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{V}_{11} & \dots & \tilde{V}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{V}_{m1} & \dots & \tilde{V}_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_{11}.\tilde{r}_{11} & \dots & \tilde{w}_{n}.\tilde{r}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{w}_{1}.\tilde{r}_{m1} & \dots & \tilde{w}_{n}.\tilde{r}_{mn} \end{bmatrix}$$

۳-۱-۵- یافتن حل ایده‌آل و حل ضد ایده‌آل فازی

حل ایده‌آل و حل ضد ایده‌آل فازی به ترتیب از رابطه‌های (۶) و (۷) محاسبه می‌شوند.

$$A^* = \{\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots . \tilde{v}_n^*\} \quad (۶)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots . \tilde{v}_n^-\} \quad (۷)$$

که $\tilde{v}_j^*$، بهترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها و $\tilde{v}_j^-$، بدترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها بوده و از رابطه‌های (۸) و (۹) محاسبه می‌شوند. گزینه‌هایی که در A^* و A^- قرار می‌گیرند، به ترتیب نشان‌دهنده گزینه های کاملا بهتر و کاملا بدتر هستند.

$$\tilde{v}_j{}^* = \max_i\{v_{ij3}\} \quad (۸)$$

$$\tilde{v}_j{}^- = \max_i\{v_{ij1}\} \quad (۹)$$

۳-۱-۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل

در این مرحله، فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل برای هر یک از گزینه‌ها به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۱۰) . (۱۱) محاسبه می‌شوند.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v\left(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*\right), i = 1,2, \dots, m \quad (۱۰)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v\left(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-\right), i = 1,2, \dots, m \quad (۱۱)$$

$d(\dots,\dots)$ فاصله بین دو عدد فازی است. در صورتی که $M_1=(a_1,b_1,c_1)$ و $M_2=(a_2,b_2,c_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، فاصله این دو عدد از رابطه (۱۲) قابل محاسبه است.

$$d_v(\tilde{M}_1, \tilde{M}_2) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + \left(c_1 - c_2\right)^2]} \quad (۱۲)$$

۳-۱-۷- محاسبه شاخص شباهت و اولویت‌بندی گزینه‌ها

شاخص شباهت از رابطه زیر محاسبه شده و با توجه به این شاخص، گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شوند. گزینه‌های با شاخص شباهت بیشتر در اولویت بالاتر قرار می‌گیرند.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, i = 1,2, \dots, m \quad (۱۳)$$

۳-۲- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process, AHP) یکی از جامع‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. این روش بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که در این صورت، قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی با هدف دست‌یابی به نظر کارشناسان و متخصصین صورت می‌گیرد. با این وجود مواردی از قبیل وجود مقیاس نامتوازن در قضاوت‌ها و عدم قطعیت در مقایسه‌های زوجی از نقاط ضعف این روش بیان شده است. به منظور غلبه بر چنین مشکلاتی از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده می‌شود. در این روش، پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی، عناصر هر سطر نسبت به یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته و اهمیت نسبی عناصر با استفاده از اعداد فازی بیان می‌گردند[۱۹].

در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، پس از ترسیم نمودار سلسله مراتبی و تعریف اعداد فازی به منظور مقایسه‌های زوجی، ماتریس‌های مقایسه زوجی با استفاده از اعداد فازی تشکیل می‌گردند. سایر مراحل این روش در ادامه تشریح شده است[۱۸].

۳-۲-۱- محاسبه شاخص S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس‌های مقایسه زوجی

پس از تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی، شاخص S_i که خود یک عدد فازی مثلثی است، از رابطه (۱۴) محاسبه می‌گردد.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j\right]^{-1} \quad (۱۴)$$

که در این رابطه، i بیانگر شماره سطر و j بیانگر شماره ستون است. هر یک از مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ و $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ و $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j\right]^{-1}$ به ترتیب از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j\right) \quad (۱۵)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j\right) \quad (۱۶)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^m l_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^m m_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^m u_j}\right) \quad (۱۷)$$

در این روابط، مقادیر l_i و m_i و u_i به ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

۳-۲-۲- محاسبه درجه بزرگی S_iها نسبت به یکدیگر

پس از تعیین مقادیر S_i، درجه بزرگی S_iها نسبت به یکدیگر محاسبه می‌شوند. در صورتی که $M_1=(l_1,m_1,u_1)$ و $M_2=(l_2,m_2,u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_1 به M_2 با استفاده از رابطه (۱۸) قابل محاسبه هستند.

$$V(M_2 > M_1) = \begin{cases} 1 & if\ m_2 > m_1 \\ 0 & if\ l_1 < u_2 \\ \dfrac{l_1-u_2}{(m_2-u_2)-(m_1-l_1)} \end{cases} \quad (۱۸)$$

۳-۲-۳- محاسبه درجه اهمیت معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی

پس از محاسبه درجه بزرگی S_iها نسبت به یکدیگر، به منظور محاسبه درجه اهمیت معیارها در هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی از رابطه (۱۹) استفاده می‌شود.

$$d'(A_i)= \text{Min } V(S_i>S_K),\ k= 1, 2, \ldots, n,\ k\neq i \quad (۱۹)$$

بنابراین، بردار درجه اهمیت نرمال نشده به صورت زیر خواهد بود:

$$W'=(d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_n))^T,\ (i=1, 2, \ldots, n) \quad (۲۰)$$

۳-۲-۴- محاسبه بردار وزن نهایی و اولویت‌بندی گزینه‌ها

برای محاسبه بردار وزن نهایی بایستی بردار درجه اهمیت محاسبه شده در مرحله قبل را نرمال نمود. برای این منظور از رابطه (۲۱) استفاده می‌شود.

$$W= (d(A_1), d(A_2), \ldots, d(A_n))^T \quad (۲۱)$$

پس از محاسبه بردار وزن نهایی هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی، امتیاز مربوط به هر یک از گزینه‌ها محاسبه و گزینه‌ها به این ترتیب اولویت‌بندی می‌شوند.

۴- اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی استان آذربایجان غربی

در این بخش به اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی استان آذربایجان غربی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری شباهت به گزینه ایده‌آل فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی پرداخته شده است.

۴-۱- اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی

مراحل روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی در اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی استان آذربایجان غربی در ادامه این بخش تشریح گردیده است.

۴-۱-۱- تشکیل ماتریس تصمیم و تعیین درجه اهمیت هریک از معیارها

در این مرحله، منابع معدنی در حال بهره‌برداری استان آذربایجان غربی شامل سنگ‌آهن (A1)، سرب و روی (A2)، طلا (A3)، کرومیت (A4)، منگنز (A5)، شن و ماسه (A6)، سنگ‌های تزئینی و نما (A7)، سنگ لاشه (A8)، سنگ بالاست (A9)، سنگ آهک (A10)، سنگ گچ (A11)، کائولن و خاک نسوز (A12)، دولومیت (A13)، باریت و خاک سرخ و زرد (A14)، سنگ نمک (A15)، سیلیس (A16) و میکا (A17) به عنوان گزینه‌های تصمیم در نظر گرفته شده‌اند. علاوه بر این، هر یک از معیارهای اصلی تصمیم و نیز زیرمعیارهای مربوط به آن‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

به منظور تشکیل ماتریس تصمیم، هر یک از ذخایر معدنی برای معیارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور، از نظرات یک گروه ۲۰ نفره متشکل از کارشناسان، بهره‌برداران، مسئولین فنی و نیز اعضای هیات علمی و سایر متخصصان آشنا با معادن استان آذربایجان غربی استفاده شد. در این مرحله از تحقیق، پرسشنامه‌هایی تهیه شد و در هر یک از پرسشنامه‌ها، اهمیت معیارهای تصمیم در بهره‌برداری از فعالیت‌های مختلف معدنی (گزینه‌های تصمیم) مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از تکمیل پرسشنامه‌ها، اهمیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارهای مختلف با استفاده از اعداد فازی مثلثی نظیر هر یک از متغیرهای زبانی (جدول ۴) تعیین گردید. پس از تعیین اهمیت هر یک از گزینه‌ها توسط هر یک از اعضای گروه تصمیم گیرنده، درایه‌های ماتریس تصمیم فازی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه و در نهایت ماتریس تصمیم فازی تشکیل شد.

پس از تشکیل ماتریس تصمیم فازی، درجه اهمیت هر یک از زیرمعیارها تعیین گردید. برای این منظور، پرسش‌نامه‌های جداگانه‌ای تهیه شد و در اختیار هر یک از اعضای گروه تصمیم‌گیرنده قرار گرفت. در این پرسشنامه‌ها، اهمیت هر یک از زیرمعیارها در اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی استان آذربایجان غربی مورد پرسش قرار گرفتند. پس از تکمیل هر یک از پرسشنامه‌ها و معادل‌سازی متغیرهای زبانی با اعداد فازی جدول ۵، درجه اهمیت هر یک از زیرمعیارها با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد که نتایج در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۳: معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مسئله تصمیم‌گیری

معیار اصلی	زیرمعیار	نماد	معیار اصلی	زیرمعیار	نماد
اقتصادی (MC1)	بازگشت سرمایه	C1	فنی و تخصصی (MC3)	لزوم بهره‌گیری از نیروهای متخصص	C13
	میزان ارزآوری	C2		لزوم استفاده از روش‌های نوین استخراجی	C14
	بزرگی بازارهای داخلی	C3		لزوم استفاده از روش‌های نوین فرآوری	C15
	سهم در تولید جهانی	C4		سهولت شرایط عملیاتی	C16
	سهم در تولید ناخالص داخلی	C5		میزان کفایت ذخایر در حال بهره‌برداری	C17
	سهم در رشد ارزش افزوده	C6		بهره‌وری مصرف انرژی (سوخت و برق)	C18
	ظرفیت‌های سرمایه‌گذاری جهت اکتشاف و توسعه معادن	C7		بهره‌وری نیروی کار (میزان تولید به ازای نیروی انسانی)	C19
فرهنگی و اجتماعی (MC2)	رضایت‌مندی افراد بومی	C8	سیاسی (MC4)	استراتژیک بودن ذخایر	C20
	اشتغال‌زایی	C9		حمایت از صنایع راهبردی	C21
زیست محیطی (MC3)	اهمیت رعایت الزامات ایمنی	C10			
	مشکلات ناشی از آلودگی آب، هوا و خاک	C11			
	بهره‌وری مصرف آب	C12			

جدول ۴: متغیرهای زبانی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها

درجه اهمیت	بدون اهمیت	کم اهمیت	متوسط	مهم	بسیار مهم
عدد فازی معادل	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,9)

جدول ۵: متغیرهای زبانی برای تعیین درجه اهمیت معیارها

درجه اهمیت	بدون اهمیت	کم اهمیت	متوسط	مهم	بسیار مهم
عدد فازی معادل	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.3,0.5)	(0.3,0.5,0.7)	(0.5,0.7,0.9)	(0.7,0.9,0.9)

جدول ۶: درجه اهمیت فازی هر یک از معیارها

معیار	درجه اهمیت	معیار	درجه اهمیت	معیار	درجه اهمیت
C1	(0.7,0.980,1)	C8	(0.3,0.833,1)	C15	(0.3,0.833,1)
C2	(0.3,0.840,1)	C9	(0.7,0.925,1)	C16	(0.3,0.700,1)
C3	(0.3,0.767,1)	C10	(0.7,0.925,1)	C17	(0.3,0.840,1)
C4	(0.1,0.240,0.7)	C11	(0.3,0.867,1)	C18	(0.5,0.825,1)
C5	(0.5,0.840,1)	C12	(0.5,0.700,1)	C19	(0.5,0.820,1)
C6	(0.5,0.740,1)	C13	(0.3,0.689,1)	C20	(0.3,0.740,1)
C7	(0.5,0.860,1)	C14	(0.3,0.725,1)	C21	(0.5,0.840,1)

۴-۱-۲- تعیین فاصله از حد ایده‌آل و حل ضد ایده‌آل برای هر یک از گزینه‌ها

پس از تشکیل ماتریس تصمیم، به منظور تشکیل ماتریس تصمیم بدون مقیاس، از روابط (۳) و (۴) به ترتیب برای زیرمعیارهای مثبت و منفی استفاده شد. علاوه بر این، ماتریس بدون مقیاس شده وزن‌دار از حاصلضرب ماتریس تصمیم در بردار اهمیت هر یک از زیرمعیارها، مطابق رابطه (۵) تشکیل گردید. در ادامه این مرحله، حل ایده‌آل (A^*) و حل ضد ایده‌آل (A^-) برای هر یک از زیرمعیارها به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۸) و (۹) محاسبه شدند که نتایج در جدول ۷ آورده شده است. گزینه‌هایی که در A^* و A^- قرار می‌گیرند، به ترتیب نشان‌دهنده گزینه‌های کاملا بهتر و گزینه‌های کاملا بدتر هستند.

۴-۱-۳- اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی

پس از تعیین حل ایده‌آل و حل ضد ایده‌آل برای هر یک از زیرمعیارها، فاصله از حل ایده‌آل (S^*) و نیز فاصله از حل ضد ایده‌آل (S^-) برای هر یک از گزینه‌ها با استفاده از روابط (۱۰) تا (۱۲) محاسبه شدند. علاوه بر این، به منظور رتبه‌بندی هر یک از فعالیت‌های معدنی، شاخص شباهت (C_i) با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه شد. نتایج در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۷: حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل برای هر یک از زیرمعیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A^*	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.700,0.700,0.700)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
A^-	(0.233,0.233,0.233)	(0.033,0.033,0.033)	(0.033,0.033,0.033)	(0.111,0.111,0.111)	(0.056,0.056,0.056)	(0.056,0.056,0.056)	(0.056,0.056,0.056)
	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
A^*	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
A^-	(0.033,0.033,0.033)	(0.078,0.078,0.078)	(0.078,0.078,0.078)	(0.033,0.033,0.033)	0.056	(0.033,0.033,0.033)	(0.033,0.033,0.033)
	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21
A^*	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
A^-	(0.033,0.033,0.033)	(0.033,0.033,0.033)	(0.033,0.033,0.033)	(0.056,0.056,0.056)	(0.056,0.056,0.056)	(0.033,0.033,0.033)	(0.056,0.056,0.056)

جدول ۸: فاصله از حل ایده‌آل و حل ضد ایده‌آل برای هر یک از فعالیت‌های معدنی

فعالیت معدنی	S^*	S^-	C	فعالیت معدنی	S^*	S^-	C
سنگ آهن	۱۲/۴۹۹	۱۰/۱۲۹	۰/۴۴۷۶	سنگ آهک	۱۴/۰۱۹	۹/۱۵۶	۰/۳۹۵۱
سرب و روی	۱۲/۷۲۷	۹/۹۸۸	۰/۴۳۹۷	گچ	۱۳/۱۲۱	۱۰/۰۷۵	۰/۴۳۴۴
طلا	۱۲/۵۴۳	۱۰/۱۰۴	۰/۴۴۶۲	کائولن و خاک نسوز	۱۳/۴۸۹	۹/۹۷۱	۰/۴۲۵۰
کرومیت	۱۲/۵۶۶	۱۰/۱۰۵	۰/۴۴۵۷	دولومیت	۱۳/۶۷۴	۱۰/۱۵۶	۰/۴۲۶۲
منگنز	۱۲/۷۳۲	۱۰/۰۳۵	۰/۴۴۰۸	باریت، خاک سرخ و زرد	۱۳/۲۲۶	۱۰/۰۲۸	۰/۴۳۱۲
شن و ماسه	۱۲/۲۳۵	۹/۲۵۷	۰/۳۹۴۰	سنگ نمک	۱۳/۴۶۲	۹/۳۸۵	۰/۴۱۰۸
سنگ تزئینی و نما	۱۳/۰۱۶	۱۰/۱۳۴	۰/۴۳۷۸	سلیس	۱۳/۵۶۷	۹/۴۲۷	۰/۴۱۰۰
لاشه	۱۴/۳۸۴	۸/۶۹۸	۰/۳۷۶۸	صدف دریایی و میکا	۱۴/۲۴۶	۹/۰۰۴	۰/۳۸۷۰
بالاست	۱۴/۵۷۴	۸/۵۱۱	۰/۳۶۸۷				

با توجه به شاخص شباهت، فعالیت‌های معدنی سنگ‌آهن، طلا، کرومیت، منگنز و سرب و روی به ترتیب در اولویت‌های اول تا پنجم قرار می‌گیرند. علاوه بر این، فعالیت‌های معدنی سنگ‌های تزئین و نما، سنگ گچ، باریت و خاک سرخ و زرد، دولومیت، کائولن و خاک نسوز، سنگ نمک، سلیس، سنگ آهک، میکا، شن و ماسه، سنگ لاشه و بالاست به ترتیب در اولویت‌های ششم تا هفدهم قرار گرفتند.

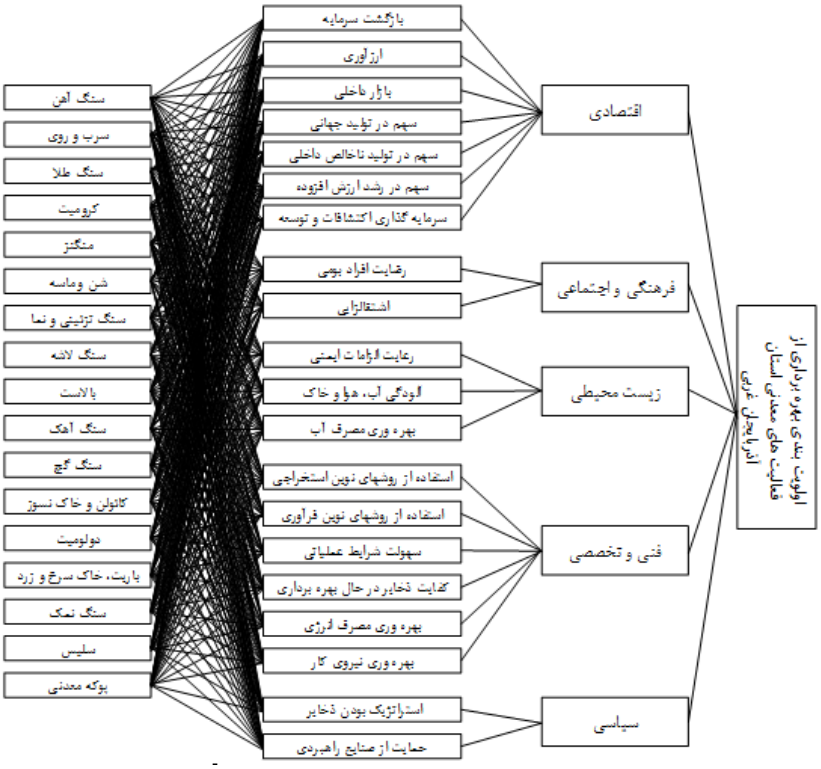
۴-۲- اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

در ادامه این بخش، مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در اولویت‌بندی فعالیت‌های معدنی استان آذربایجان غربی تشریح گردیده است.

۴-۲-۱- تشکیل ساختار سلسله مراتبی و ماتریس‌های مقایسه زوجی

تشکیل ساختار سلسله مراتبی مسئله، اولین گام در روش تحلیل سلسله مراتبی است. در این ساختار، هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها به ترتیب نشان داده می‌شود. ساختار سلسله مراتبی اولویت‌بندی بهره‌برداری از ذخایر معدنی استان آذربایجان غربی در شکل ۲ آورده شده است. این ساختار از چهار سطح شامل هدف، معیارهای اصلی، زیرمعیارها و در نهایت گزینه‌های تصمیم تشکیل شده است.

پس از تشکیل ساختار سلسله مراتبی، ماتریس‌های مقایسه زوجی بین گزینه‌ها نسبت به هر یک از زیرمعیارها، ماتریس‌های مقایسه زوجی بین زیرمعیارها نسبت به معیارهای اصلی و نیز ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی نسبت به یکدیگر تشکیل شدند. بنابراین، از گروه تصمیم‌گیرنده خواسته شد تا اهمیت هر یک از فعالیت‌های معدنی را نسبت به یکدیگر در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها به صورت زوجی مورد مقایسه قرار دهند. برای این منظور، پرسشنامه‌هایی تهیه شد و در هر یک از پرسشنامه‌ها، اهمیت هر یک از معیارهای تصمیم در بهره‌برداری از فعالیت‌های مختلف معدنی (گزینه‌های تصمیم) مورد ارزیابی قرار گرفتند. علاوه بر این، اهمیت هر یک از زیرمعیارها نسبت به یکدیگر و نیز اهمیت هر یک از معیارهای اصلی نسبت به خودشان مورد مقایسه قرار گرفتند.



شکل ۲: ساختار سلسله مراتبی اولویت‌بندی بهره‌برداری از منابع معدنی استان آذربایجان غربی

۴-۲-۲- تعیین بردارهای وزن نهایی و اولویت‌بندی گزینه‌ها

پس از تعیین مقادیر S_i برای هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی، درجه بزرگی S_i ها با استفاده از رابطه (۱۸) تعیین شدند. در نهایت، وزن مربوط به هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی با استفاده از رابطه (۱۹) محاسبه شد. پس از تعیین وزن نرمال نشده، بردار وزن نهایی هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی تعیین گردیدند. بردارهای وزن نهایی ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیارها، ماتریس‌های مقایسه زوجی زیرمعیارها نسبت به معیارهای اصلی و نیز ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی نسبت به یکدیگر، به ترتیب در جدول‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ آورده شده است.

پس از تعیین وزن نهایی هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی، امتیاز مربوط به هر یک از گزینه‌ها از حاصلضرب وزن ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیارها (جدول ۹) در بردارهای وزن ماتریس‌های مقایسه زوجی زیرمعیارها نسبت به معیارهای اصلی (جدول ۱۰) و نیز معیارهای اصلی نسبت به یکدیگر (جدول ۱۱) محاسبه شدند. امتیاز مربوط به هر یک از گزینه‌ها در جدول ۱۲ آورده شده است. با توجه به جدول ۱۲، فعالیت‌های معدنی طلا، منگنز، سنگ‌آهن، سرب و روی، کرومیت، سنگ‌های تزئینی و نما، سنگ گچ، باریت و خاک سرخ و زرد، سلیس، کائولن و خاک نسوز، سنگ نمک، دولومیت، شن و ماسه، سنگ لاشه، بالاست، میکا و سنگ آهک به ترتیب اولویت‌بندی شده‌اند.

۵- اولویت‌بندی نهایی فعالیت‌های معدنی استان آذربایجان غربی

به منظور تعیین رتبه‌بندی نهایی فعالیت‌های معدنی، میانگین امتیاز مربوط به هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری فازی به عنوان امتیاز نهایی فعالیت معدنی در نظر گرفته شد. با توجه به میانگین امتیازهای مربوط به هر یک ازگزینه‌ها، فعالیت‌های معدنی سنگ‌آهن و طلا در اولویت اول، کرومیت و منگنز در اولویت دوم، سرب و روی در اولویت سوم، سنگ‌های تزئینی و نما و سنگ گچ در اولویت چهارم، باریت و خاک سرخ و زرد در اولویت پنجم، کائولن، خاک نسوز و دولومیت در اولویت ششم، سنگ نمک و سیلیس در اولویت هفتم شن و ماسه در اولویت هشتم، سنگ لاشه در اولویت نهم و فعالیت‌های میکا، سنگ آهک و بالاست در اولویت دهم قرار می‌گیرند.

جدول ۹: وزن نهایی هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	0.060	0.064	0.061	0.063	0.061	0.062	0.064	0.060	0.061	0.061	0.060
A2	0.060	0.065	0.060	0.062	0.061	0.061	0.062	0.060	0.061	0.060	0.062
A3	0.059	0.064	0.058	0.063	0.062	0.062	0.065	0.061	0.063	0.062	0.063
A4	0.061	0.065	0.060	0.063	0.062	0.062	0.064	0.061	0.062	0.060	0.058
A5	0.061	0.066	0.059	0.063	0.062	0.061	0.064	0.061	0.061	0.060	0.060
A6	0.056	0.054	0.058	0.055	0.057	0.058	0.055	0.059	0.059	0.059	0.059
A7	0.059	0.063	0.061	0.062	0.062	0.062	0.057	0.060	0.060	0.061	0.059
A8	0.057	0.055	0.056	0.058	0.057	0.058	0.054	0.056	0.056	0.059	0.056
A9	0.056	0.054	0.056	0.055	0.056	0.054	0.055	0.056	0.055	0.052	0.056
A10	0.056	0.054	0.049	0.056	0.054	0.059	0.052	0.053	0.056	0.058	0.054
A11	0.061	0.057	0.061	0.058	0.060	0.061	0.060	0.059	0.060	0.060	0.060
A12	0.056	0.060	0.061	0.058	0.059	0.058	0.058	0.059	0.058	0.059	0.060
A13	0.061	0.057	0.060	0.056	0.057	0.058	0.060	0.060	0.058	0.058	0.058
A14	0.061	0.063	0.060	0.061	0.060	0.058	0.061	0.059	0.056	0.060	0.061
A15	0.059	0.060	0.061	0.060	0.060	0.058	0.060	0.060	0.057	0.059	0.060
A16	0.062	0.049	0.061	0.055	0.057	0.054	0.057	0.060	0.059	0.057	0.060
A17	0.056	0.049	0.060	0.054	0.053	0.056	0.052	0.056	0.055	0.051	0.054
	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	
A1	0.060	0.063	0.063	0.061	0.060	0.063	0.060	0.060	0.059	0.063	
A2	0.061	0.063	0.064	0.061	0.060	0.062	0.061	0.060	0.059	0.063	
A3	0.064	0.064	0.065	0.063	0.060	0.063	0.061	0.060	0.059	0.063	
A4	0.060	0.063	0.065	0.062	0.060	0.061	0.060	0.060	0.059	0.062	
A5	0.060	0.063	0.065	0.062	0.060	0.061	0.061	0.060	0.059	0.063	
A6	0.058	0.054	0.051	0.055	0.060	0.058	0.058	0.058	0.059	0.054	
A7	0.059	0.063	0.068	0.062	0.060	0.061	0.059	0.059	0.059	0.060	
A8	0.055	0.054	0.052	0.052	0.060	0.055	0.058	0.058	0.059	0.054	
A9	0.055	0.054	0.051	0.052	0.058	0.051	0.057	0.058	0.059	0.054	
A10	0.044	0.050	0.047	0.049	0.059	0.050	0.055	0.057	0.059	0.050	
A11	0.062	0.055	0.058	0.060	0.058	0.061	0.061	0.059	0.059	0.061	
A12	0.062	0.057	0.058	0.059	0.058	0.059	0.058	0.059	0.059	0.061	
A13	0.062	0.058	0.058	0.059	0.056	0.059	0.059	0.059	0.059	0.060	
A14	0.062	0.059	0.059	0.060	0.058	0.061	0.059	0.059	0.059	0.062	
A15	0.062	0.059	0.061	0.060	0.056	0.060	0.059	0.059	0.059	0.058	
A16	0.060	0.063	0.058	0.062	0.059	0.058	0.060	0.059	0.059	0.065	
A17	0.054	0.058	0.059	0.062	0.059	0.056	0.056	0.056	0.059	0.050	

جدول ۱۰: وزن نهایی ماتریس‌های مقایسه زوجی زیرمعیارها نسبت به معیارهای اصلی

CM1		CM2		CM3		CM4		CM5	
C1	0.164	C8	0.484	C10	0.349	C13	0.103	C20	0.482
C2	0.146	C9	0.516	C11	0.336	C14	0.103	C21	0.518
C3	0.141			C12	0.315	C15	0.102		
C4	0.106					C16	0.103		
C5	0.150					C17	0.104		
C6	0.141					C18	0.112		
C7	0.152					C19	0.374		

جدول ۱۱: وزن نهایی ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی نسبت به یکدیگر

MC1	MC2	MC3	MC4	MC5
0.200	0.205	0.204	0.189	0.203

جدول ۱۲: امتیاز مربوط به هر یک از فعالیت‌های معدنی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

فعالیت معدنی	امتیاز	فعالیت معدنی	امتیاز	فعالیت معدنی	امتیاز
سنگ آهن	۰/۰۶۰۹	سنگ تزئینی و نما	۰/۰۶۰۰	دولومیت	۰/۰۵۸۹
سرب و روی	۰/۰۶۰۹	لاشه	۰/۰۵۶۲	باریت، خاک سرخ و زرد	۰/۰۵۹۶
طلا	۰/۰۶۱۸	بالاست	۰/۰۵۵۲	سنگ نمک	۰/۰۵۹۱
کرومیت	۰/۰۶۰۹	سنگ آهک	۰/۰۵۷۳	سلیس	۰/۰۵۹۲
منگنز	۰/۰۶۱۰	گچ	۰/۰۵۹۷	صدف دریایی و میکا	۰/۰۵۴۸
شن و ماسه	۰/۰۵۷۳	کائولن و خاک نسوز	۰/۰۵۹۱		

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به اولویت‌بندی بهره‌برداری از منابع معدنی استان آذربایجان غربی با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل و روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط فازی پرداخته شد. با توجه به نتایج، شاخص‌های فرهنگی و اجتماعی، زیست محیطی، سیاسی، اقتصادی و فنی و تخصصی به ترتیب از مهم‌ترین شاخص‌ها در ارزیابی فعالیت‌های معدنی این استان بوده و اشتغال‌زایی از مهم‌ترین زیرمعیارهای فرهنگی و اجتماعی و نیز بازگشت سرمایه، سرمایه‌گذاری جهت توسعه و اکتشاف منابع و سهم ذخایر معدنی در تولید ناخالص داخلی از مهم‌ترین زیرمعیارهای اقتصادی هستند. با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شباهت به گزینه ایده‌آل فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، فعالیت‌های معدنی سنگ‌آهن و طلا در اولویت اول، کرومیت و منگنز در اولویت دوم، سرب و روی در اولویت سوم، سنگ‌های تزئینی و نما و سنگ گچ در اولویت چهارم، باریت و خاک سرخ و زرد در اولویت پنجم، کائولن، خاک نسوز و دولومیت در اولویت ششم، سنگ نمک و سیلیس در اولویت هفتم شن و ماسه در اولویت هشتم، سنگ لاشه در اولویت نهم و فعالیت‌های میکا، سنگ آهک و بالاست در اولویت دهم قرار گرفتند. استفاده از نتایج این پژوهش، سیاست‌های سرمایه‌گذاری در بهره‌برداری از ذخایر معدنی این استان را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، بررسی و شناسایی بیشتر فرصت‌های سرمایه‌گذاری در بخش معادن استان آذربایجان غربی با هدف ترغیب سرمایه‌گذاران به مشارکت در این حوزه حیاتی و نیز بررسی مشکلات و موانع معدنکاری استان آذربایجان غربی به منظور افزایش بهره‌وری سازگار با محیط زیست به عنوان پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آینده ارائه می‌شود.

مراجع

[1] Yari, M., Monjezi, M., & Bagherpour, R. (2013). Selecting the most suitable blasting pattern using AHP-TOPSIS method: Sungun copper mine. *Journal of Mining Science*, 49(6), 967-975.

[2] Rahimdel, M.J., & Ataei, M. (2014). Application of analytical hierarchy process to selection of primary crusher. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(4), 519-523. doi:10.1016/j.ijmst.2014.05.016.

[3] Rahimdel, M.J., & Karamoozian, M. (2014). Fuzzy TOPSIS method to primary crusher selection for Golegohar Iron Mine (Iran). *Journal of Central South University*, 21(11), 4352-4359. doi:10.1007/s11771-014-2435-0.

[4] Gélvez, J.I.R., Aldana, FAC., & Sepúlveda, GF. (2014). Mining Method Selection Methodology by Multiple Criteria Decision Analysis- Case Study in Colombian Coal Mining. *International Symposium of the Analytic Hierarchy Process*. Washington D.C. USA.

[5] Karimnia, H. & Bagloo, H. (2015). Optimum mining method selection using fuzzy analytical hierarchy process-Qapiliq salt mine, Iran. *International Journal of Mining Science and Technology*. 25: 225-230.

[6] Chen, W., Shihao, T., Min, C., & Yong, Y. (2016). Optimal Selection of a Longwall Mining Method for a Thin Coal Seam Working Face. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(9), 3771-3781.

[7] Khakestar, M.S., Hassani, H., Moarefvand, P., & Madani, H., (2016). Application of multi-criteria decision making methods in slope stability analysis of open pit mines. *Journal of the Geological Society of India*, 87(2), 213-221.

[8] Mahdevari, S., Shahriar, K., & Esfahanipour, A. (2014). Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 488, 85-99.

[9] Bodziony, P., Kasztelewicz, Z., & Sawicki, P. (2016). The Problem of Multiple Criteria Selection of the Surface Mining Haul Trucks. *Archives of Mining Sciences*, 61(2), 223-243.

[10] Rahimdel, M.J., & Bagherpour, R. (2018). Haulage system selection for open pit mines using fuzzy MCDM and the view on energy saving. *Neural Computing and Applications*, 29(6), 187-199.

[11] Shakoorshahabi, R., Kakaei, R., & Basiri, M.H. (2008). Ranking of Iran Minerals using Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution. *Iranian Journal of Mining Engineering*, 4(2), 1-10.

[12] Shakoorshahabi, R., Kakaei, R., & Basiri, M.H. (2011). Ranking of Iran Minerals using Analytical Hierarchy Process. *Scientific Quarterly Journal*, Geoscience, 29(79), 129-136, (In Persian).

[13] Basiri M.H., & Nabiyan Javardy F.S. (2008). Strategically and Economical Ranking of

Ores in Operating Mines by Taxonomy Method for Investment Promotion in Iran. Geoscience 14(56), 124-133.

[14] Statistical Center of Iran. (2015). Statistical Results of Iran Active Mines. https://www.amar.org.ir/english.

[15] Organization of Industries and Mines of Azerbaijan-e-Gharbi. (2014). http://agh.mimt.gov.ir.

[16] Statistical Center of Iran. (2013). Statistical Results of Iran Active Mines.

[17] Ministry of Industries, Mine and Business of Iran. (2014). Investments Fields in Mining Activities of Iran. Publication of Mining Engineering Organization of Iran, autumn 2014 (In Persian).

[18] Ataei, M. (2010). Fuzzy Multi Criteria Decision Making. Shahrood University of Technology Publication, (In Persian).

[19] Ataei, M. (2010). Multi Criteria Decision Making. Shahrood University of Technology Publication, (In Persian).