دوفصلنامه مدیریت مهندسی و رایانش نرم/سال دوم/ شماره۲/ پاییز و زمستان ۱۳۹۵
صفحات ۲۲-۸ (DOI): 10.22091/jemsc.2017.875

JEMSC.QOM
مدیریت مهندسی و رایانش نرم ۱۳۹۴

مدل تصمیم‌گیری چندهدفه با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در خصوص انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری در بخش معدن

هادی مختاری[۱]
عباس افتخاری[۲]
محمد جوادی[۳]

چکیده

سرمایه‌گذاری در پروژه‌های معدنی با توجه به محدودیت سرمایه و نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه زیاد یکی از مهم‌ترین تصمیماتی است که بایستی توسط مدیران بخش معدن اخذ شود. پارامترهای مختلفی که در بعضی موارد در تضاد با یکدیگر هستند بر روی این تصمیم‌گیری تاثیرگذار است. در این تحقیق با در نظر گرفتن چهار معیار سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه تولید، سود و نیروی انسانی بعنوان مهم‌ترین معیارهای تصمیم‌گیری مؤثر بر روی موضوع سرمایه‌گذاری در بخش معدن، انتخاب سرمایه‌گذاری این بخش از میان هشت معدن مدلسازی شده است. بدین منظور از روش برنامه‌ریزی آرمانی به عنوان کارآمدترین تکنیک برنامه‌ریزی چندمعیاره و چندهدفه استفاده شده است. با توجه به مبهم بودن میزان تأثیر پارامترهای مورد استفاده در این فرایند تصمیم‌گیری و اختلاف نظر افراد مختلف در این زمینه، در این تحقیق از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به منظور وزن‌دهی به معیارها استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: *سرمایه‌گذاری، تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی آرمانی، معادن*

۱. استادیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران mokhtari_ie@kashanu.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران msc.eftekhari@yahoo.com
۳. دانشجوی دکتری مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه باهنر، کرمان، ایران m.javadi@gmail.com
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۶/۲۹؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۲/۳

مقدمه

معادن در هر کشـــوری، از مزیت‌های بالقوه برای رشـــد متوازن هســـتند که با سرمایه‌گذاری صحیح در بهره‌برداری از آن‌ها، امکان کسب ارزش افزوده در بخش‌های مختلف اقتصادی فراهم می‌شود (اسپینوزا و روجو، ۲۰۱۷؛ جوکوین جار، ۲۰۱۷). بنابراین یکی از نیازمندی‌های سیاست‌گذاری مناسب در بخش معدن، تعیین و شناسایی زمینه‌های بالقوه برای سرمایه‌گذاری سودآور است. معادن بعنوان یکی از بخش‌های زیربنایی، نقش اساسی در تأمین مواد مورد نیاز صنایع مختلف داشته و یکی از عوامل مهم رشد و پیشرفت صنعتی در کشورهای در حال توسعه هستند (سوارز سانچز، ۲۰۱۵). ایران دارای ذخایر معدنی حدود ۳۰ میلیارد تن و با تنوعی بیش از ۶۰ نوع ماده معدنی است که در صورت سرمایه‌گذاری‌های مناسب می‌تواند باعث سودآوری در صنایع وابسته و رونق بخش‌های اقتصادی شود. یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد توجه سیاست‌گذاران بخش معدن، تعیین و شناسایی ترکیب مناسب پروژه‌های سرمایه‌گذاری در بخش معدن است تا با تخصیص منابع لازم تمهیدات لازم به منظور استفاده بهینه از آن‌ها فراهم شود. شناسایی و انتخاب این پروژه‌ها، باید بر اساس معیارها و روش‌های علمی و دقیق انجام گیرد تا بیشترین ارزش افزوده را به همراه داشـــته باشـــد (یو و همکاران، ۲۰۱۶؛ او، ۲۰۱۷؛ لی پلوســـو، ۲۰۱۷). از طرفی، انتخاب معیارهای مهم ارزیابی می‌تواند بر مبنای دیدگاه‌های مختلفی مطرح شود. لذا تعیین زمینه‌های ســـرمایه‌گذاری، با توجه به تعدد معیارهای انتخاب و ارزیابی، نیاز به اســـتفاده از روش‌های علمی دارد تا بتوان با در نظر گرفتن منطقی و موزون اهمیت این معیارها، به تصمیمی مناسب دراین خصوص دست یافت (کینگ و همکاران، ۲۰۱۷).

همچنین دنیای اطراف مملو از مســـائل چندمعیاره اســـت و انســـان‌ها همیشـــه مجبور به تصمیم‌گیری در این زمینه‌ها هستند. برخی از این تصمیم‌ها اهمیت چندانی نداشته و برخی دیگر از اهمیت بالایی برخوردار هســـتند. هر چه مســـئولیت و اختیارات انســـان بیشـــتر باشـــد تصمیم‌گیری اهمیت بیشتری خواهد داشت و آثار آن می‌تواند تبعات مثبت یا منفی زیادی به همراه داشـــته باشـــد. همچنین به ندرت یک فرد یا ســـازمان بر اســـاس یک معیار تصـــمیم

می‌گیرد بلکه اکثر تصمیم‌گیری‌ها به صورت چندمعیاره است. روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره به عنوان ابزار اصلی رتبه‌بندی در مسائل پیچیده و چندبعدی به کار گرفته می‌شوند. در این گونه مسائل، تصمیم‌گیرنده معمولاً با در نظرگرفتن معیارهایی با اهمیت متفاوت، به رتبه‌بندی گزینه‌های موجود یا انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های مختلف اقدام می‌نماید. برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، روش‌های مختلفی ارائه شده است.

«تصمیم‌گیری چندمعیاره» به دو گروه کلی تقسیم می‌شود که عبارتند از تصمیم‌گیری چندشاخصه و تصمیم‌گیری چندهدفه. روش برنامه‌ریزی آرمانی یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه است. چارنز و کوپر (۱۹۹۵) اولین مقاله را درباره برنامه‌ریزی آرمانی منتشر کردند به طوری که حداقل کردن مجموع قدرمطلق انحرافات از مقصد مشخصی را بررسی کردند. در این روش برای هر یک از اهداف، عدد مشخصی به عنوان آرمان تعیین می‌شود و سپس تابع هدف مربوط به آن تشکیل می‌شود. سپس پاسخی جستجو می‌شود که علاوه بر قرار گرفتن در محدودیت‌ها، مجموع وزنی انحراف هر هدف را نسبت به آرمان تعیین شده برای همان هدف، حداقل کند. استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی توسط محققین مختلفی از جمله جیمنز و همکاران (۲۰۰۵)، دهاهری و چابچوب (۲۰۰۷)، یونگ و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شده است. نمونه‌های جدیدتری از کاربردهای موفق برنامه‌ریزی آرمانی توسط چن و همکاران (۲۰۱۷)، تریودی و سینق (۲۰۱۷)، شعبانپور و همکاران (۲۰۱۷) و رانسیکاربوم و ماسون (۲۰۱۶) ارائه شده است.

سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مختلف با توجه به محدودیت سرمایه نیز یک تصمیم‌گیری چندهدفه و چندمعیاره پراهمیت در مدیریت کلان است. این موضوع به ویژه در صنعت پایه معدن‌کاری دارای اهمیت ویژه‌ای است. پارامترهای مختلفی که در برخی موارد در تضاد با یکدیگر هستند بر روی این تصمیم‌گیری تأثیرگذار است. مهم‌ترین پارامترهایی که بر روی این تصمیم‌گیری تأثیرگذار هستند عبارتند از:

اهداف فنی و اقتصادی شامل: حداقل کردن سرمایه‌گذاری اولیه، حداقل کردن هزینه های عملیاتی، حداکثر کردن ارزش خالص فعلی، حداکثر کردن سود عملیات، حداکثر کردن تولید و غیره.

اهداف بهره‌وری شامل: حداکثر کردن بهره‌وری، حداکثر کردن نرخ بازگشت سرمایه و غیره.

اهداف اجتماعی شامل: حداکثرسازی رشد تکنولوژیکی، حداکثر کردن فرصت‌های شغلی، حداکثرسازی ایمنی و غیره.

مروری بر ادبیات نشان می‌دهد که به موضوع تصمیم‌گیری با استفاده از تکنیک‌های حرفه‌ای و علمی بهینه سازی و تحقیق در عملیات برای سرمایه‌گذاری در بخش معدن توجه چندانی صورت نگرفته و علی‌الخصوص رویکرد های بهینه‌سازی چند هدفه، جزء رویکردهای نوین در این حوزه محسوب می‌شود. هدف اصلی این مقاله، تعیین و انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری جهت راه‌اندازی معادن جدید با توجه به محدودیت‌های موجود با در نظر گرفتن مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار بر روی فرآیند تصمیم‌گیری است. بدین منظور از تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی که یکی از انواع روش تصمیم‌گیری چندهدفه است برای اخذ مناسب‌ترین تصمیم در این زمینه استفاده شده است.

روش‌شناسی پژوهش

برنامه‌ریزی آرمانی

در یک مدل برنامه‌ریزی خطی، هدف بهینه‌سازی یک تابع هدف برای اتخاذ بهترین تصمیم است. در مدل‌های با اهداف چندگانه، تصمیم گیرنده به دنبال بهینه سازی چندین تابع هدف به صورت همزمان است. مفهوم توابع چندهدفه اولین بار توسط کان و تاکر با استفاده از مفهوم بهینه‌سازی برداری معرفی و پس از آن تحقیقات بسیاری در رابطه با توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه انجام گرفت.

برنامه‌ریزی آرمانی همچنان به عنوان کارآمدترین تکنیک برنامه‌ریزی چندمعیاره و چندهدفه مطرح است. با توسعه بیشتر این تکنیک و ایجاد قابلیت‌های بیشتر در حوزه‌های

بیشـــتری بخصـــوص در تخصـــیص منابع می‌توان اســـتفاده مؤثری از آن به عمل آورد. روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی بسیار انعطاف‌پذیر هستند. این انعطاف‌پذیری امکان می‌دهد تا دامنه وسیعی از معیارهای متناقص و متناسب و همچنین گزینه‌های تخصیص فاصله‌ای را مورد توجه قرار داد (ربانی و همکاران، ۱۳۸۹).

برنامه‌ریزی آرمانی برای سه نوع تحلیل قابل استفاده است (مومنی، ۱۳۸۷):

الف) تعیین منابع لازم برای تحقق مجموعه‌ای از اهداف مورد نظر.

ب) تعیین درجه تحقق اهداف با توجه به منابع موجود.

ج) تعیین بهترین جواب رضـــایت بخش با توجه به مقدار منابع موجود و اولویت اهداف.

GP بر اسـاس سـه مفهوم انحراف‌ها، اولویت و وزن آرمان‌ها و همچنین ابعاد اهداف اســـتوار اســـت. انحراف‌ها مقادیری هســـتند که آرمان‌ها از مقدار مورد نظر خود کمتر (یا بیشتر) محقق شده‌اند. در برنامه‌ریزی آرمانی به سه روش ترتیبی، اصلی و ترکیبی از این دو روش می‌توان اولویت‌بندی اهداف را انجام داد. در اولویت‌بندی به روش ترتیبی، آرمان‌ها بر حسب اهمیت فهرست می شوند. در روش رتبه‌بندی اصلی وزن مشخصی به هر یک از انحرافات داده می‌شـود که این وزن‌ها اهمیت نسـبی هر انحراف را نشـان می‌دهند (مومنی، ۱۳۸۷).

شکل کلی مدل برنامه‌ریزی آرمانی در معادله (۱) نشان داده شده است (صالحی صدقیانی و همکاران، ۱۳۸۸).

رابطه ۱)

$$Min \left[\sum_{i=1}^{k}\left(d_j^+ + d_j^-\right)^p\right]^{\frac{1}{p}}$$

$$s.t.$$
$$g_j(X) \le 0 \ , \quad \forall\, i = 1, 2, \dots, m$$
$$f_j(X) + d_j^- - d_j^+ = b_j \ , \quad \forall\, j = 1, 2, \dots, k$$
$$d_j^-, d_j^+ \ge 0 \ , \quad \forall j = 1, 2, \dots, k$$
$$d_j^- \times d_j^+ = 0 \ , \quad \forall j = 1, 2, \dots, k$$

در رابطه فوق f_j نشـاندهنده اهداف، b_j نشـاندهنده مقادیر آرمانی اهداف و d_j^+ و d_j^- انحرافات بیشـتر و کمتر از آرمان j ام اسـت . مقادیر P نیز نشـاندهنده اولویت آرمان‌ها نسبت به یکدیگر است که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود.

گام‌های مورد نیاز برای حل یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی به شرح زیر است (مومنی، ۱۳۸۷):

تعیین آرمان برای هر یک از معیارها

محاسبه انحراف از آرمان برای هر یک از معیارها

بی‌مقیاس‌سازی انحراف از آرمان

محاسبه مجموع موزون مقادیر بی‌مقیاس شده و ترکیب آرمان‌ها

حل مدل با استفاده از برنامه‌ریزی پویا

تعریف مسئله

همانگونه که قبلاً اشاره شد، در این مقاله تلاش شده است با در نظر گرفتن مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر روی موضـوع سـرمایه گذاری در بخش معدن، ترکیب پروژه های سـرمایه‌گذاری با اسـتفاده از برنامه‌ریزی آرمانی تعیین شـود. بدین منظور سـه معدن نیازمند بهبود تکنولوژی تولید و پنج معدن جدید نیازمند سـرمایه‌گذاری بعنوان گزینه‌های ممکن جهت سرمایه‌گذاری و شروع عملیات استخراج مورد توجه قرار گرفته است.

جدول ۱. اطلاعات جمع‌آوری شده از گزارشات مربوط به هشت معدن آماده سرمایه گذاری

پروژه	سرمایه‌گذاری اولیه	توان تولید (میلیون تن)		توان افزایش تولید (میلیون تن)	هزینه سالیانه (میلیارد تومان)		سود سالیانه (میلیارد تومان)		تعداد پرسنل	
		اکنون	آینده		اکنون	آینده	اکنون	آینده	اکنون	آینده
۱	۷۰/۸۷	-	۰/۶	۰/۶	-	۲۶/۵۵	-	-۴/۵۵	-	۲۱۹۶
۲	۱۰/۰۲	۰/۲۲۵	۰/۳۱۵	۰/۹	۱۱۵۴	۱۲/۷۲	-۴	-۱/۸۹	۱۷۹۲	۱۶۱۵
۳	۹/۴۷	-	۰/۱۹۵	۰/۱۹۵	-	۵/۰۱	-	-۸/۳۸	-	۹۵۸
۴	۱۹/۶۲	-	۰/۲۹۳	۰/۲۹۳	-	۸/۶۴	-	-۰/۸۷	-	۷۲۸
۵	۱۱/۸	۰/۲۷	۰/۴۵	۰/۱۸	۱۶/۰۶	۲۲/۰۴	-	-۴/۰۳	۳۰۴۲	۳۰۴۲
۶	۶۹/۴۸	-	۰/۵۶۳	۰/۵۶۳	-	۲۴/۱۷	-	۲/۲۷	-	۱۶۴۳
۷	۱۳/۰۶	۰/۱۸	۰/۴۵	۰/۲۷	۷/۲۶	۱۰/۶	-۶/۶۲	۴/۸۸	۲۹۳	۴۱۷
۸	۱۲/۳۱	-	۰/۲۴	۰/۲۴	-	۷/۵۵	-۳/۰۳	-۱/۰۴	-	۲۳۷

میزان امکان سرمایه‌گذاری در این بخش ۱۱۰ میلیارد تومان اعلام شده است. از میان مجموعه پارامترهای ذکر شده بعنوان عوامل مؤثر بر روی سرمایه‌گذاری در بخش معدن، ۴ معیار سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز، هزینه تولید، سود و نیروی انسانی بعنوان مهمترین معیارهای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است. همچنین در این مقاله به منظور وزن‌دهی به معیارهای انتخاب شده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شده است. اطلاعات مربوط به ۸ پروژه مد نظر در جدول (۱) ارائه شده است.

فرموله کردن مسئله

با توجه به شرایطی که در بخش تعریف مسئله تشریح شد محدودیت‌های آرمانی مدل به شرح زیر است:

محدودیت سرمایه گذاری اولیه:

رابطه ۲)
$$\sum_{j=1}^{k} CjXj - d_1^+ + d_1^- = TC$$

محدودیت هزینه تولید:

رابطه ۳)
$$\sum_{j=1}^{k}((FC)jXj + (PC)j(1 - Xj)) - d_2^+ + d_2^- = AC\sum_{j=1}^{k}(RjXj + Pj)$$

محدودیت سود:

رابطه ۴) $$\sum_{j=1}^{k}\left((PAI)jXj + (PBI)j(1-Xj)\right) - d_3^+ + d_3^- = TP$$

محدودیت تعداد پرسنل:

رابطه ۵) $$\sum_{j=1}^{k}\left((FMP)jXj + (PMP)j(1-Xj)\right) - d_4^+ + d_4^- = M_l$$

۵) محدودیت‌های سیستمی:

رابطه ۶) $$\sum_{j=1}^{k}(RjXj + PJ) \geq d$$

به گونه‌ای که در روابط بالا:

Xj: متغیر تصمیم و *Xj* برابر با یک است در صورتی که پروژه *j*ام انتخاب شود و در غیر این صورت صفر است.

Cj: سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز برای پروژه *j*ام

TC: سرمایه‌ی موجود برای سرمایه‌گذاری

(FC)j: هزینه تولید سالیانه آتی برای *j*امین معدن در فعالیت

(PC)j: هزینه تولید سالیانه برای *j*امین معدن در فعالیت در حال حاضر

AC: متوسط هزینه تولید محصول (به ازای هر تن)

Rj: تولید سالیانه اضافی پروژه لام

Pj: تولید سالیانه برای معدن نیازمند تغییر تکنولوژی (در حال حاضر)، و Pj=0 برای معادن جدید

(PAI)j: سود سالیانه حاصله از پروژه لام بعد از سرمایه‌گذاری

(PBI)j: سود سالیانه حاصله از پروژه لام قبل از سرمایه‌گذاری، و (PBI)j=0 برای معادن جدید

TP: سود سالانه مورد انتظار

(FMP)j: تعداد پرسنل مورد نیاز پروژه jام بعد از سرمایه‌گذاری

(PMP)j: تعداد پرسنل مشغول به کار در jامین پروژه نیازمند تغییر تکنولوژی (در حال حاضر)، و 0= (PMP)j برای معادن جدید

Ml: حد پایین مورد نظر برای پرسنل مورد نیاز

Mu: حد بالای مورد نظر برای پرسنل مشغول به کار

d_i^+: انحراف مطلوب برای محدودیت i ام

d_i^-: انحراف نا مطلوب برای محدودیت i ام

d: حداقل تولید سالیانه

لازم به ذکر است که حداقل تولید سالیانه با توجه به مورد مصرف فلز استحصالی مشخص می‌شود. همچنین در مورد حد بالا و پایین پرسنل می‌توان اینگونه استنباط نمود که حد پایین تعداد پرسنل مشغول به کار با توجه به رضایت عمومی ساکنین محلی و حد بالای آن با توجه به نیاز به افزایش مکانیزاسیون تعیین می‌شود.

تابع هدف مدل برنامه‌ریزی آرمانی به عنوان تابعی از انحراف‌های مطلوب و نامطلوب به صورت زیر می‌باشد.

رابطه ۷) $Minimize\ F(d_1^+, d_2^+, d_3^-, d_4^-)$

وزن‌دهی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی[۱]

با توجه به این که در یک فرآیند تصمیم‌گیری چندهدفه، معیارهای مختلف دارای وزن‌های مختلف بوده و وزن معیارها، منعکس‌کننده اهمیت آن‌ها در تعیین هدف است، لذا بایستی با استفاده از یک روش مناسب وزن معیارهای مختلف را تعیین کرد. انتخاب آگاهانه و صحیح وزن‌ها، کمک بزرگی در جهت رسیدن به هدف مورد نظر خواهد بود.

در بیشتر موارد و در یک فرآیند تصمیم‌گیری، میزان تأثیر پارامترهای مختلف دارای ابهام بوده و از نظر افراد مختلف این پارامترها دارای تأثیر واحد نیستند به گونه‌ای که برای

[۱]. Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

تعیین وزن این معیارها، اغلب تصمیم‌گیرندگان قادر نیستند به صراحت و با استفاده از اعداد قطعی نظرشان را در مورد برتری گزینه‌ها اعلام کنند. به همین دلیل در قضاوت‌های خود ارائه یک بازه را به جای یک عدد ثابت ترجیح می‌دهند (عطایی، ۱۳۸۹ الف). جهت غلبه بر این مشکل در این تحقیق از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به منظور وزن‌دهی به معیارها استفاده شده است. مراحل تعیین وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در ذیل توضیح داده شده است (عطایی، ۱۳۸۹ ب).

گام ۱- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی فازی ($\tilde{A}$)

به منظور تشکیل ماتریس مقایسه زوجی فازی و برای بدست آوردن درجه اهمیت هر معیار نسبت به سایر معیارها، پرسشنامه‌ای طراحی و برای وزن‌دهی در اختیار تعدادی خبره قرار داده شد. افراد خبره ماتریس مقایسه زوجی طراحی شده را بر اساس مقیاس ساعتی ارائه شده در جدول (۲) تکمیل کردند.

پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی توسط افراد خبره، نرخ ناسازگاری سیستم به گونه‌ای که در ادامه شرح داده شده محاسبه شده است (عطایی، ۱۳۸۹ الف).

جدول ۲. طبقه‌بندی کمی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها

مقدارعددی	مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضاوت شفاهی)	
۹	Extremely preferred	کاملاً ترجیح داده شده یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	Very strongly preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	Strongly preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	Moderately preferred	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	Equally preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۸،۶،۴،۲		ترجیحات بین فواصل بالا

ابتدا با نرمال کردن عناصر هر ستون ماتریس نرمال شده محاسبه می‌شود. سپس بردار وزن از میانگین سطری عناصر به دست می‌آید. در گام بعدی با ضرب بردار وزن در

ماتریس مقایسه زوجی مقدیر ویژه (λ) و بزرگترین مقدار بردار ویژه (λmax) با میانگین گیری از مقادیر ویژه، محاسبه شده است. از آنجا که λmax همواره بزرگتر یا مساوی n (تعداد معیارها) است اگر ماتریس کمی از حالت سازگاری فاصله بگیرد λmax کمی از n فاصله خواهد گرفت. بنابراین تفاضل λmax و n معیار خوبی برای اندازه‌گیری ناسازگاری ماتریس خواهد بود. بدین ترتیب شاخص ناسازگاری (I.I) به صورت زیر تعریف شده است.

رابطه ۸) $$I.I = \frac{\lambda \max - \mathrm{n}}{n-1}$$

مقدار شاخص ناسازگاری تصادفی برای ماتریس n بعدی از رابطه ۱۰محاسبه می‌شود.

رابطه ۹) $$\mathrm{R.I.I} = 1.98\ \frac{n-2}{\mathrm{n}}$$

برای هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری تصادفی، نرخ ناسازگاری نامیده می‌شود که معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری است.

رابطه ۱۰) $$I.R = \frac{I.I}{R.I.I}$$

محاسبه نرخ ناسازگاری در روش تحلیل سلسله‌مراتبی از اهمیت بالایی برخوردار است. پس از پر شدن پرسشنامه توسط افراد خبره، نرخ ناسازگاری سیستم محاسبه می‌شد. در صورتی که نرخ ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ بود در قضاوت‌ها تجدید نظر و مجدداً نرخ ناسازگاری محاسبه می‌شد تا مقدار این پارامتر کمتر از ۰/۱ شود.

اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای چند عضو باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیلی سلسله‌مراتبی فازی مورد استفاده قرار گرفته، یک عدد فازی مثلثی است که مؤلفه اول آن حداقل نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم آن میانگین نظرسنجی‌ها و مؤلفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌ها خواهد بود. یعنی می‌توان با استفاده از روابط شماره ۱۱ و ۱۲ درآیه‌های ماتریس تصمیم را محاسبه کرد.

رابطه ۱۱) $$x_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$$

رابطه ۱۲) $$l_{ij} = min\{x_{ij}^k\} \quad و \quad m_{ij} = \frac{1}{k}\sum_{k=1}^{10} x_{ij}^k \quad و \quad u_{ij} = max\{x_{ij}^k\}$$

گام ۲- محاسبه Si برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

در این مرحله با اســتفاده از رابطه ۱۳ مقدار عددی Si که خود یک عدد فازی مثلثی است برای هر ماتریس مقایسه زوجی محاسبه می‌شود.

رابطه ۱۳) $$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j\right]^{-1}$$

گام ۳- مقایسه درجه بزرگی Si نسبت به یکدیگر

به منظور محا سبه درجه بزرگی معیارها در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی از رابطه ۱۴ استفاده شده است.

رابطه ۱۴) $$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & if\ m_2 \geq m_1 \\ 0 & if\ l_1 \geq u_2 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & otherwise \end{cases}$$

گام ۴- محاسبه وزن معیارها

هدف نهایی از انجام تحلیل ســلسـلـه‌مراتبی فازی بر روی معیارهای مؤثر بر روی ســرمایه گذاری در بخش معدن، به دســت آوردن وزن معیارها به منظور اســتفاده در برنامه‌ریزی آرمانی جهت انتخاب ترتیب مناســب پروژه‌های ســرمایه‌گذاری اســت. بدین منظور وزن نرمال شــده (نهایی) معیارها با اســتفاده از روابط ۱۵ تا ۱۷ محاســبه شــده اســت. نتیجه در جدول ۳ ارائه شده است.

رابطه ۱۵) $$d'(A_i) = Min\, V(S_i \geq S_k)\ \ k = 1,2,\dots,n, \qquad k \neq 1$$

بنابراین بردار وزن نرمال شده عبارت است از:

رابطه ۱۶) $$W' = \left(d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)\right)^T$$

و در نهایت برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل را نرمال‌سازی کرد. بنابراین:

$$W = \left(d(A_1)\,, d(A_2)\,, \dots, d(A_n)\right)^T$$ رابطه ۱۷)

جدول ۳. وزن نهایی معیارها

معیار	سرمایه گذاری اولیه	هزینه تولید	سود	نیروی انسانی
وزن نهایی	۰/۰۵۷	۰/۶۱	۰/۰۹۳	۰/۲۴

اگر وزن معیارهای سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه تولید، سود و نیروی انسانی محاسبه شده در جدول (۳) به ترتیب W_1، W_2 ، W_3 و W_4 باشد آن گاه تابع هدف برنامه آرمانی به صورت رابطه (۱۸) خواهد بود.

$$Minimize\ F(W1d_1^+, W1d_2^+, W1d_3^-, W4\ d_4^-)$$ رابطه ۱۸)

بدین ترتیب و پس از وزن‌دهی به معیارهای انتخاب شده می‌توان مدل برنامه‌ریزی آرمانی مسئله را حل نمود و با توجه به گزینه‌های ممکن و معیارهای انتخاب شده، ترکیب پروژه‌های سرمایه‌گذاری را تعیین نمود. با در نظر گرفتن آرمان‌ها برای توابع هدف به ترتیب برابر ۴۰، ۵۰، ۲۵ و ۶۲۰۰، این مدل با استفاده از نرم‌افزار Lingo حل شد و نتایج به صورت جدول ۴ حاصل شده است. ستون‌های ۱ تا ۸ انتخاب یا عدم انتخاب پروژه مد نظر را نمایش می‌دهد و چهار ستون آخر مقدار انحراف از آرمان‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴. نتایج مدل

متغیرها								انحرافات			
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	d_1^+	d_2^+	d_3^-	d_4^-
۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۳/۶	۴/۵۸	۰/۹۶	۵۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

سرمایه‌گذاری در پروژه‌های معدنی نیازمند صرف هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و تولید بالا است. سرمایه‌گذاری در بخش معدن باید با در نظر گرفتن مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر این تصمیم‌گیری انجام گیرد. در این مقاله چهار معیار سرمایه گذاری اولیه، هزینه

تولید، سود و نیروی انسانی بعنوان مهمترین معیارهای تصمیم‌گیری مؤثر بر روی موضوع سرمایه‌گذاری در بخش معدن انتخاب شده است. انتخاب ترکیب پروژه‌های سرمایه‌گذاری با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی بعنوان تکنیک برنامه‌ریزی چندمعیاره و چندهدفه از میان هشت معدن مدلسازی شده است. با توجه به ماهیت فازی میزان تأثیر پارامترهای مورد استفاده و مختلف بودن نظر افراد مختلف در این زمینه، در این مقاله از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی جهت تعیین وزن معیارها استفاده شده است. نتایج برای یک مثال مورد تحلیل قرار گرفت. در این مقال ۸ پروژه سرمایه‌گذاری مورد ارزیابی قرار گرفتند و در ابتدا با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی وزن توابع هدف به صورت سرمایه‌گذاری اولیه ۰/۰۵۷، هزینه تولید ۰/۶۱، سود ۰/۰۹۳ و نیروی انسانی ۰/۲۴ حاصل شد. همچنین با درنظر گرفتن آرمان‌ها برای توابع هدف ترتیب برابر ۴۰، ۵۰، ۲۵ و ۶۲۰۰، مدل ریاضی حل شد و نتایج به صورت انتخاب ۴ پروژه از میان ۸ پروژه حاصل شده است.

منابع

Charnes, A. Cooper, W. Ferguson, R., (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming, Management Science, 1, PP. 138-151.
Dhahri I, Chabchoub H., (2007). Nonlinear goal programming models quantifying the bullwhip effect in supply chain based on ARIMA parameters, Eur J Oper Res 117(3):1800–1810.
Espinoza, R. D., Rojo, J., (2017). Towards sustainable mining (Part I): Valuing investment opportunities in the mining sector, Resources Policy, 52, 7–18.
He, Yong, Gao, S., Liao, N., Liu, H. (2016). A nonlinear goal-programming-based DE and ANN approach to grade optimization in iron mining. Neural Computing and Applications, 27.7, 2065-2081.
Jime´nez M, Arenas M, Bilbao A, Rodrı´guez Urı´a MV, (2005). Approximate resolution of an imprecise goal programming model with nonlinear membership functions. Fuzzy Sets Syst 150 (1):129–145.
Joaquín Jar, J., (2017). Determinants of country competitiveness in attracting mining investments: An empirical analysis, Resources Policy, 52, 65–71.
King, B., Goycoole, M. A. Newman, (2017). Optimizing the open pit-to-underground mining transition, European Journal of Operational Research, 257, 297–309.
Lee Peluso, N., (2017) Entangled Territories in Small-Scale Gold Mining Frontiers: Labor Practices, Property, and Secrets in Indonesian Gold Country, World Development, Available online 28 February.
Liang-Hsuan Chen, Wen-Chang Ko, Feng-Ting Yeh, (2017). Approach based on fuzzy goal programming and quality function deployment for new product planning, European Journal of Operational Research, 259, Issue 2, 1, 654–663.
Ouo, Y., (2017). Economic sustainability of the gold mining industry in Burkina Faso, Resources Policy, 51, 194–203.
Ransikarbum, K., and Mason, S.J. (2016) Goal programming-based post-disaster decision making for integrated relief distribution and early-stage network restoration, International Journal of Production Economics, 182, 324–341.
Shabanpour, H., Yousefi, S., and Farzipoor Saen, R. (2017). Future planning for benchmarking and ranking sustainable suppliers using goal programming and robust double frontiers DEA, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 50, 129–143.
Suárez Sánchez, A., Krzemień, A., Riesgo Fernández, P., Iglesias Rodríguez, F.J., Sánchez Lasherasc, F., Javier de Cos Juez, F., (2015). Investment in new tungsten mining projects, Resources Policy, 46, 177–190.
Trivedi, A., and Singh, A., (2017). A hybrid multi-objective decision model for emergency shelter location-relocation projects using fuzzy analytic hierarchy process and goal programming approach, International Journal of Project Management, In Press.
Yu, S., Gao, S., Sun, H., (2016). A dynamic programming model for environmental investment decision-making in coal mining, Applied Energy, 166, 15, 273–281.
Rabbabi, M., Heidari S., and Gharebagh, H., (2011). Presenting a Comprehensive Goal Programming Model for Production with Fuzzy Approach in Oil Refinery Industry, Management Journal, 18, 12-21, (In Persian).
Momeni, M., (2009). Novel Affairs in Operations Research, Management Faculty of University of Tehran Pub, (In Persian).
Salehi Sedghiani, J., et al., (2010). Presenting a Linear Goal programming Model for Common Weights Calculation in Data Envelopment Analysis Problems, Industrial Management Journal, 2, 28-32, (In Persian).
Ataei, M., (2011a). Multiple Criteria Decision Making, Shahrood University of Technology Pub, (In Persian).
Ataei, M., (2011b). Fuzzy Multiple Criteria Decision Making, Shahrood University of Technology Pub, (In Persian).