مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۴۰۱)
دوره‌ی ۱-۳۸، شماره‌ی ۱، ص. ۵۱-۶۶، (پژوهشی)

Original Article

ارائه‌ی یک مدل ریاضی برای انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری مبتنی بر اهداف توسعه‌ی پایدار در شرایط عدم قطعیت و منابع محدود

ناعمه زرین‌پور* **(دانشیار)**
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شیراز
محمد زرین‌پور (دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، موسسه غیرانتفاعی زند، شیراز

در این مقاله، یک مدل ریاضی چندهدفه چند دوره‌یی برای انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری مبتنی بر اهداف توسعه‌ی پایدار با در نظرگرفتن محدودیت منابع پیشنهاد می‌شود. بر اساس بعد اقتصادی پایداری، سود حاصل از اجرای پروژه‌ها بیشینه و بر اساس بعد زیست‌محیطی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌یی، مصرف انرژی و پسماندهای تولید شده کمینه می‌شود. در بعد اجتماعی تعداد فرصت‌های شغلی، تعداد افراد تحت پوشش بیمه، رضایت شغلی کارکنان، تأثیر پروژه بر اقتصاد منطقه و تعداد روزهای از دست رفته کاری بررسی می‌شود. عدم‌قطعیت پارامترهای استراتژیک و عملیاتی مدل‌نیز لحاظ شده است و برای برخورد با عدم‌قطعیت، از برنامه‌ریزی فازی امکانی استفاده می‌شود. مدل با یک رویکرد دومرحله‌یی مبتنی بر برنامه‌ریزی فازی و روش تصمیم‌گیری بهترین ـ بدترین گروهی حل می‌شود. نتایج عددی، کارایی مدل پیشنهادی را تأیید می‌کنند و نشان می‌دهند که اهداف توسعه‌ی پایدار، موجب بهبود چشم‌گیر ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی بدون کاهش قابل‌ملاحظه سود پروژه‌های انتخاب شده خواهد شد.

واژگان کلیدی: انتخاب پروژه، محدودیت منابع، توسعه‌ی پایدار، عدم‌قطعیت، برنامه‌ریزی فازی امکانی.

zarrinpoor@sutech.ac.ir
mohammadzarr@gmail.com

۱. مقدمه

مدیران سازمان‌ها همواره با اخذ تصمیمات در سطوح مختلف استراتژیک و عملیاتی مواجه هستند که کیفیت و چگونگی این تصمیمات، میزان موفقیت و بقای سازمان‌ها را در عرصه‌ی کسب و کار تضمین خواهد کرد و موقعیت رقابتی آن‌ها را تحت‌الشعاع قرار خواهد داد. یکی از مهم‌ترین تصمیمات مدیران سازمان‌ها، انتخاب یک مجموعه‌ی بهینه از پروژه‌های سرمایه‌گذاری از میان مجموعه‌ی پروژه‌های موجود است. اگر فرایند انتخاب پروژه‌ها بر روش‌های کمی و اقتصادی مبتنی نباشد، به عدم انطباق دستاوردهای حاصل از اجرای پروژه‌ها با انتظارات اولیه منجر خواهد شد و هزینه‌های زیادی را به سازمان‌ها تحمیل خواهد کرد. پرواضح است که مدیران برای تصمیم‌گیری بهینه، نیازمند استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی هستند تا نتایج ناشی از تصمیم‌گیری و بررسی گزینه‌ها به‌صورت کمی در اختیار آن‌ها قرار گیرد. از این‌رو مدل‌سازی ریاضی مسئله‌ی انتخاب پروژه برای مدیران از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و با بهره‌گیری از جواب بهینه‌ی حاصل از مدل ریاضی، توانایی مدیران در اخذ تصمیم‌ها افزایش می‌یابد.[۱-۳] به طور کلی، هدف از مسئله‌ی انتخاب پروژه، انتخاب یک پرتفولیوی بهینه از چندین پروژه‌ی منتخب با توجه به محدودیت‌های زمان، ماشین‌آلات، نیروی انسانی، سرمایه و سایر امکانات موجود برای رسیدن به یک یا چندین هدف بهینه است. یکی از اهداف مهم و معمول استفاده شده در این زمینه، بیشینه‌سازی سود پروژه و کمینه‌سازی هزینه‌هاست. با توجه به این‌که انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری از مهم‌ترین تصمیمات سازمان محسوب می‌شود، توجه تنها به اهداف ذی‌نفعان داخلی پروژه نظیر حامی مالی پروژه، کارفرما، مدیر پروژه، مشاور پروژه، پیمانکاران پروژه و سهام‌داران اصلی پروژه نمی‌تواند مطلوبیت بالایی برای مدیران صنایع فراهم کند و موفقیت و بقای سازمان را در محیط کسب و کار تضمین کند. اگر یک سازمان یا شرکت برای تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب پروژه تنها برمبنای سود عمل کند و رضایت ذی‌نفعان خارجی پروژه نظیر رقبا، رسانه‌ها، سازمان‌های قانون‌گذار و کمیسیون‌ها، طرفداران محیط زیست، سهام‌داران فرعی، جامعه و شهروندان را مورد توجه قرار ندهد، ممکن است در بلندمدت با چالش روبرو شود؛ بنابراین برای برآورده کردن اهداف اصلی مدیران در انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری لازم است مسئله هم از منظر ذی‌نفعان داخلی و هم از منظر ذی‌نفعان خارجی پروژه مدل‌سازی شود.

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۱۰/۲۲، اصلاحیه ۱۴۰۰/۴/۲۱، پذیرش ۱۴۰۰/۵/۱۱.
DOI:10.24200/J65.2021.56862.2174

انجام هر پروژه مستلزم مصرف منابع مختلف تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر نظیر نیروی انسانی، ماشین‌آلات، مواد اولیه و تجهیزات مورد نیاز است. شایان ذکر است که اجرای هر پروژه باعث آزاد شدن گازهای گلخانه‌یی در اتمسفر می‌شود. در سال‌های اخیر، آگاهی جهانی در مورد کنترل آلودگی ناشی از فعالیت‌های تولیدی و صنعتی با هدف حفظ زمین و منابع با ارزش آن، توسعه‌ی اقتصادی، رفاه اجتماعی، محیط زیست و امنیت جامعه افزایش یافته است. بر اساس آمار و گزارش‌های موجود، انتشار گازهای گلخانه‌یی در سراسر جهان، از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰، بیش از ۸۰ درصد افزایش یافته است که تهدید بزرگی برای اکوسیستم جهانی به شمار می‌رود. در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌یی، توافقات بین‌المللی متفاوتی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، چین و ایالات متحده به‌عنوان بیشترین منتشرکنندگان دی‌اکسیدکربن، اطلاعیه‌ی مشترک خود را در مورد تغییرات اقلیمی در سال ۲۰۱۴ و سیاست‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌یی اعلام کردند. پس از آن، در کنفرانس آب و هوای سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۵، یک توافق جدید جهانی انجام شد که در آن تمام شرکت‌کنندگان متعهد شدند انتشار گازهای گلخانه‌یی را به صفر برسانند.[۴] با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی، مدیران تجاری بخش اعظمی از فعالیت‌های خود را به اجرای پروژه‌های سرمایه‌گذاری کارا با در نظر گرفتن الزامات زیست‌محیطی تخصیص داده‌اند تا با اجرای پروژه‌ها علاوه بر افزایش فروش سودآور و کاهش هزینه‌ها، بر نگرانی‌های زیست‌محیطی نیز فائق آیند.[۵]

از سوی دیگر، با اجرای هر پروژه‌ی سرمایه‌گذاری باید مسئولیت اجتماعی سازمان در قبال کارمندان، مشتریان و جامعه با اهداف اجتماعی نظیر افزایش فرصت‌های شغلی، ثبات اشتغال، کاهش تعداد آسیب‌ها و روزهای از دست رفته ناشی از حوادث کار مد نظر قرار گیرد. بر این اساس، در سال‌های اخیر مبحث پایداری مطرح شده است که معادله‌یی بین ضرورت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. با رشد جمعیت جهانی و افزایش فعالیت انسانی، پایداری به موضوع مهمی برای دولت‌ها، مردم و دوستداران محیط‌زیست تبدیل شده است. استفاده از مدیریت توسعه‌ی پایدار برای سازمان‌ها فواید زیادی از جمله رضایت مشتری، کنترل هزینه‌ها، نوآوری و انعطاف‌پذیری خواهد داشت.[۶-۸] با وجود این که تحقیقات بسیاری در زمینه انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری صورت گرفته است، اما به استناد نتایج موجود در پیشینه پژوهش، تحقیقات محدودی در زمینه‌ی انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری با توجه به اهداف توسعه‌ی پایدار انجام شده است.

از سوی دیگر، تصمیمات انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری از تصمیمات استراتژیک سازمان‌هاست که با عدم‌قطعیت قابل ملاحظه‌یی مواجه است. بسیاری از پارامترهای مسئله‌ی انتخاب پروژه، نظیر سود حاصل از اجرای پروژه، نیروی انسانی در دسترس، تعداد ماشین‌آلات و مواد اولیه‌ی موردنیاز، زمان دقیق اجرای فعالیت‌ها، بودجه‌ی مورد نیاز، هزینه‌ی نفر ـ ساعت، هزینه‌ی مواد اولیه‌ی مورد نیاز و هزینه‌ی ماشین‌آلات با عدم قطعیت قابل توجهی مواجه است. با در نظر گرفتن این پارامترها به‌صورت قطعی، ممکن است جواب بهینه‌ی مسئله در شرایط واقعی موجه نباشد. مطالعه‌ی بنتال و نمیروفسکی[۹] نشان داد که اگر پارامترها تنها دارای ۰٫۰۰۱ عدم‌قطعیت باشند، جواب بهینه‌ی به دست آمده با استفاده از داده‌های قطعی با یک احتمال قابل ملاحظه موجه نیست و بر اساس آن محدودیت‌های مسئله نقض می‌شوند. بنابراین، بررسی عدم‌قطعیت در انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری ضروری به نظر می‌رسد.

هدف این پژوهش، ارائه‌ی یک مدل ریاضی برای انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری مبتنی بر اهداف توسعه‌ی پایدار با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهاست. در این مدل اهداف بیشینه‌سازی سود، کمینه‌سازی اثرات زیست‌محیطی و بیشینه‌سازی اثرات اجتماعی انتخاب پروژه‌ها به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته خواهد شد. با توجه به این که منابع در دسترس برای اجرای پروژه‌ها محدود است، در مدل ریاضی کل بودجه‌ی در دسترس در یک دوره‌ی زمانی به‌صورت محدود در نظر گرفته خواهد شد و محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر نیروی انسانی، ماشین‌آلات و مواد مصرفی نیز لحاظ خواهند شد. اخذ تصمیمات مربوط به انتخاب پروژه‌ها در یک افق زمانی چنددوره‌یی در نظر گرفته شده است و سرمایه‌گذاری و انتخاب پروژه‌ها در هر دوره‌ی زمانی به‌صورت جداگانه بررسی خواهد شد.

در ادامه‌ی این نوشتار، در بخش دوم پیشینه‌ی پژوهش بررسی می‌شود. در بخش سوم مدل ریاضی پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش چهارم رویکرد برنامه‌ریزی فازی امکانی برای برخورد با عدم‌قطعیت پارامترها پیشنهاد می‌شود. در بخش پنجم روش حل مدل بررسی می‌شود. در بخش ششم و هفتم نتایج عددی و تحلیل حساسیت تشریح و در بخش هشتم نتیجه گیری و جهت‌های تحقیقات آتی بیان می شود.

۲. پیشینه‌ی پژوهش

در ادبیات مسائل انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری، مدل‌های ریاضی مختلفی جهت انتخاب پروژه‌ها توسعه یافته است. در این بخش، ادبیات موضوع انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری بررسی می‌شود. ربانی و همکاران،[۱۰] یک مدل ریاضی چندهدفه برای انتخاب پروژه‌ها ارائه دادند که در آن اهداف بیشینه‌سازی منافع پروژه، کمینه‌سازی ریسک و هزینه‌ی کل بررسی شد و مدل با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات حل شد. خلیلی دامغانی و همکاران،[۱۱] یک مدل چندهدفه برای انتخاب پروژه‌ها با در نظرگرفتن اهداف سود و ریسک ارائه کردند. برای حل مدل پیشنهادی، از روش تاپسیس و روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است. زاراکت و همکاران،[۱۲] یک مدل ریاضی برای انتخاب پروژه‌های نرم‌افزاری و تخصیص منابع پیشنهاد دادند که در آن دانشگاه‌ها، شرکت‌های نرم‌افزاری و پروژه‌های بالقوه‌ی یک کشور با هدف بیشینه‌سازی سود بررسی شده است. توفیقیان و نادری،[۱۳] یک مدل دوهدفه انتخاب و زمان‌بندی پروژه برای بهینه‌سازی سود مورد انتظار پروژه و کمینه‌سازی میزان استفاده از منابع ارائه کردند. تانگ و همکاران،[۱۴] یک مدل ریاضی برای انتخاب پروژه‌های نفت تحت محدودیت‌های بودجه و ظرفیت تولید ارائه کردند که در آن بر اساس مدل برنامه‌ریزی درجه دوم و نظریه‌ی ترجیح، پروژه‌ها انتخاب می‌شوند. شریعتمداری و همکاران،[۱۵] یک رویکرد مدیریت منابع یکپارچه برای انتخاب و زمان‌بندی پروژه در قالب برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی ارائه کردند. برای حل مدل، از یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ابتکاری و الگوریتم جست‌وجوی گرانشی استفاده شده است. کومار و همکاران،[۱۶] مسئله‌ی انتخاب و برنامه‌ریزی پروژه‌ها را با هدف بیشینه‌سازی سود مورد انتظار بررسی کردند. در مطالعات آن‌ها، دو نوع وابستگی متقابل یعنی محدودیت‌های گزینه‌های ناسازگار و محدودیت‌های مکمل اقتصادی در نظر گرفته شده‌است. شفاهی و حقانی،[۱۷] یک مدل ریاضی برای انتخاب و زمان‌بندی پروژه پیشنهاد کردند که بر اساس آن برخی از پروژه‌ها را می‌توان در فازهای مختلف اجرا کرد. آن‌ها از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی استفاده کردند که ارزش فعلی خالص سرمایه‌گذاری‌های آینده را در شرایط محدودیت‌های بودجه و استراتژی‌های سرمایه گذاری مجدد بیشینه می‌کند. میرعلینقی و همکاران،[۱۸] یک مدل ریاضی دوسطحی برای انتخاب و زمان‌بندی پروژه‌های جاده‌سازی برمبنای نظریه‌ی بازی‌ها پیشنهاد کردند که در سطح اول، یک مجموعه‌ی بهینه از پروژه‌ها

انتخاب و زمان‌بندی می‌شود و در سطح دوم زمان تأخیر سفر در جاده‌ها کمینه می‌شود. عباسی و همکاران،[۱۹] یک مدل انتخاب پروژه برای توسعه‌ی محصولات جدید پیشنهاد کردند که در آن از کارت امتیازی متوازن برای انتخاب معیارها استفاده می‌شود. آن‌ها برای انتخاب پروژه‌ها نیز از یک مدل دوهدفه با اهداف بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی ریسک استفاده کردند. توانا و همکاران،[۲۰] یک رویکرد مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل‌سازی ریاضی برای ارزیابی و انتخاب پروژه‌های فنّاوری اطلاعات پیشنهاد دادند. آن‌ها پروژه‌ها را با استفاده از روش تاپسیس فازی ارزیابی و رتبه‌بندی کردند و سپس با استفاده از یک مدل ریاضی دوهدفه با اهداف بیشینه‌سازی سود و بیشینه‌سازی ارزش پروژه‌ها، بهترین پروژه‌ها را انتخاب کردند.

با توجه به این که بسیاری از پارامترهای دنیای واقعی در انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری غیرقطعی هستند، عدم‌قطعیت نیز در مدل‌سازی ریاضی در نظر گرفته شده است. برای بررسی عدم‌قطعیت، از روش‌های مختلفی نظیر شبیه‌سازی مونت کارلو، برنامه‌ریزی تصادفی، نظریه‌ی فازی، بهینه‌سازی استوار و رویکردهای ترکیبی استفاده شده است. در این راستا، شخصی‌نیایی و همکاران،[۲۱] یک مدل انتخاب پروژه تحت عدم قطعیت با در نظر گرفتن بودجه محدود پیشنهاد کردند. آن‌ها در مرحله اول، پروژه‌های کاندید را از طریق شبیه‌سازی مونت کارلو و یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره، رتبه‌بندی کردند و در مرحله دوم، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای انتخاب مجموعه‌ی نهایی پروژه‌ها پیشنهاد دادند. خلیلی دامغانی و همکاران،[۲۲] یک مدل چندهدفه چند دوره‌یی برای انتخاب پروژه در شرایط منابع محدود پیشنهاد کردند. برای حل مدل از برنامه‌ریزی آرمانی فازی مبتنی بر روش تاپسیس و روابط ترجیحات فازی استفاده شده است. هوانگ و ژائو،[۲۳] مسئله‌ی انتخاب و زمان‌بندی پروژه‌های تحقیق و توسعه را در شرایط عدم‌قطعیت درآمد خالص و هزینه‌های سرمایه‌گذاری بررسی و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل استفاده کردند. هوانگ و همکاران،[۲۴] یک مدل بهینه‌سازی میانگین ـ واریانس برای مسئله‌ی انتخاب بهینه‌ی پروژه بر اساس محدودیت‌های منابع و بودجه با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت هزینه‌های اولیه و جریان‌های نقدی خالص پیشنهاد کردند. شفاهی و حقانی،[۲۵] یک مدل بهینه‌سازی برای انتخاب پروژه‌های پیمانکاری پیشنهاد کردند که در آن از اهمیت فعالیت‌های انجام شده توسط پیمانکاران به‌عنوان مهم‌ترین معیار ارزیابی غیر پولی استفاده شده است. برای حل مدل نیز از الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است. هوانگ و همکاران،[۲۶] یک مدل میانگین ـ واریانس و یک مدل میانگین ـ نیم‌واریانس برای مسئله‌ی انتخاب و زمان‌بندی بهینه‌ی پروژه‌ها با در نظر گرفتن رابطه و ترتیب توالی زمانی بین پروژه‌ها پیشنهاد دادند. امیریان و صحرائیان،[۲۷] یک مدل ریاضی برای مسئله‌ی انتخاب و زمان‌بندی پروژه با استفاده از نظریه‌ی جریان‌های نقدی خالص پروژه‌ها بر اساس داده‌های خاکستری ارائه دادند. برای حل مدل از الگوریتم مبتنی بر جهش قورباغه و شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است. ماورتاس و ماکریولیوس،[۲۸] یک رویکرد مبتنی بر شبیه‌سازی مونت کارلو و مدل‌سازی ریاضی برای انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه با در نظر گرفتن محدودیت بودجه پیشنهاد دادند. ذوالفقاری و موسوی،[۲۹] یک مدل انتخاب و زمان‌بندی پروژه با در نظر گرفتن مدیریت منابع پیشنهاد دادند که در آن عدم‌قطعیت پارامترها با استفاده از یک مدل فازی بازه‌یی مبتنی بر محدودیت شانس مدل‌سازی شده است. حمیدی حصارسرخ و همکاران[۳۰] یک مدل برای انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه‌ی صنعت داورسازی پیشنهاد دادند که در آن برنامه‌ریزی مالی و سیاست برون‌سپاری در نظر گرفته شده است. آن‌ها عدم‌قطعیت پارامترها را در نظر گرفتند و برای برخورد با عدم‌قطعیت پارامترها از رویکرد بهینه‌سازی استوار امکانی استفاده کردند.

اگر چه اهداف توسعه‌ی پایدار در سال‌های اخیر با اقبال پژوهش‌گران مواجه شده است، اما در مسائل انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری این موضوع کم‌تر بررسی شده است. در این راستا، حبیبی و همکاران[۳۱] یک مدل برای سفارش‌دهی مواد و زمان‌بندی پروژه‌ها پیشنهاد دادند که در آن تأمین‌کنندگان مواد مورد نیاز پروژه‌ها، بر اساس معیارهای پایداری با استفاده از روش تحلیل سلسه‌مراتبی فازی انتخاب می‌شوند. رضاحسینی و همکاران[۳۲] یک مدل برای انتخاب و زمان‌بندی پروژه‌ها پیشنهاد دادند که در آن جذابیت پروژه‌ها بر اساس یک تابع مطلوبیت وابسته به پایداری مشخص می‌شود و سپس پروژه‌های انتخاب شده زمان‌بندی می‌شوند. ویژگی مقالات بررسی شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

همان‌طورکه مشاهده می‌شود، در بیشتر تحقیقات انجام شده، تنها بعد اقتصادی در انتخاب پروژه‌ها با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های اجرایی یا بیشینه‌سازی سود حاصل از اجرای پروژه بررسی شده است و سایر ابعاد توسعه‌ی پایدار شامل ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. از بین مقالات بررسی شده، تنها حبیبی و همکاران[۳۱] برای انتخاب تأمین‌کنندگان مواد مورد نیاز پروژه‌ها و رضاحسینی و همکاران[۳۲] برای تعیین مطلوبیت پروژه‌های انتخاب شده از اهداف توسعه‌ی پایدار استفاده کردند. با وجود این که در دنیای واقعی به ندرت می‌توان مقدار دقیق پارامترها را تعیین کرد، اما در اکثر مقالات پارامترها قطعی فرض شده است. همچنین از بین روش‌های مختلف برای برخورد با عدم‌قطعیت پارامترها، حوزه‌هایی نظیر بهینه‌سازی فازی امکانی اصلا مورد توجه قرار نگرفته است. روابط متقابل بین پروژه‌ها نیز در اکثر مقالات بررسی نشده است. در این پژوهش، یک مدل برای انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری مبتنی بر اهداف توسعه‌ی پایدار در شرایط عدم‌قطعیت با در نظر گرفتن روابط متقابل بین پروژه‌ها و محدودیت‌های منابع پیشنهاد می‌شود. نوآوری‌های مدل پیشنهادی به قرار زیر است:

- ارائه‌ی یک مدل ریاضی انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری در یک افق زمانی چنددوره‌یی با در نظر گرفتن محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر بودجه، نیروی انسانی، ماشین‌آلات، مواد اولیه و ظرفیت تأمین‌کنندگان؛
- بررسی روابط متقابل بین پروژه‌ها با استفاده از محدودیت‌های مکمل اقتصادی و گزینه‌های ناسازگار به‌صورت هم‌زمان؛
- بررسی اهداف توسعه‌ی پایدار در انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری شامل اهداف اقتصادی انتخاب پروژه، اهداف زیست‌محیطی و اهداف اجتماعی؛
- بررسی فرصت‌های شغلی، آسیب‌ها و روزهای از دست رفته ناشی از حوادث کار، تعداد افراد تحت پوشش بیمه، تأثیر انتخاب پروژه بر بهبود اقتصاد منطقه و رفاه اجتماعی کارکنان در تابع هدف اجتماعی؛
- بررسی انتشار گازهای گلخانه‌یی، مصرف انرژی و ضایعات تولید شده در تابع هدف زیست‌محیطی؛
- بررسی عدم‌قطعیت پارامترهای دنیای واقعی و استفاده از رویکرد فازی امکانی مبتنی بر معیار Me برای برخورد با عدم‌قطعیت در مسئله‌ی انتخاب پروژه؛
- استفاده از یک رویکرد حل ترکیبی شامل روش بهترین ـ بدترین گروهی برای تعیین وزن فاکتورهای زیست‌محیطی و اجتماعی و روش فازی تعاملی برای حل مدل ریاضی چندهدفه.

جدول ۱. ویژگی‌های مقالات بررسی شده در حوزه‌ی مسئله‌ی انتخاب پروژه.

مرجع	تابع هدف		فاکتورهای پایداری			دوره زمانی		پارامترها		رویکرد برخورد با عدم‌قطعیت					روابط بین پروژه‌ها		روش حل		
	تک‌هدفه	چندهدفه	اقتصادی	زیست‌محیطی	اجتماعی	تک دوره‌ای	چند دوره‌ای	قطعی	غیرقطعی	شبیه‌سازی مونت کارلو	بهینه‌سازی تضادفی	تئوری فازی	تئوری خاکستری	رویکرد ترکیبی	مکمل اقتصادی	ناسازگار	دقیق	ابتکاری	فرا ابتکاری
[۱۰]		✓	✓				✓	✓								✓			✓
[۱۱]		✓	✓				✓	✓									✓		
[۱۲]	✓		✓				✓	✓											✓
[۱۳]		✓	✓				✓	✓								✓			✓
[۱۴]	✓		✓			✓		✓									✓		
[۱۵]	✓		✓				✓	✓											✓
[۱۶]	✓		✓				✓	✓							✓	✓			✓
[۱۷]	✓		✓				✓	✓										✓	
[۱۸]	✓		✓				✓	✓							✓		✓		
[۱۹]		✓	✓				✓	✓								✓			✓
[۲۰]		✓	✓			✓		✓									✓		
[۲۱]	✓		✓			✓			✓	✓						✓	✓		
[۲۲]		✓	✓				✓		✓			✓					✓		
[۲۳]	✓		✓				✓		✓		✓				✓	✓			✓
[۲۴]	✓		✓				✓		✓		✓								✓
[۲۵]	✓		✓			✓			✓	✓									✓
[۲۶]	✓		✓				✓		✓		✓				✓	✓			✓
[۲۷]		✓	✓				✓		✓	✓			✓		✓				✓
[۲۸]	✓		✓			✓			✓	✓							✓		
[۲۹]	✓		✓				✓		✓			✓					✓		
[۳۰]	✓		✓				✓		✓					✓			✓		
[۳۱]		✓	✓	✓	✓		✓	✓											✓
[۳۲]		✓	✓	✓	✓		✓	✓								✓	✓		
مقاله		✓	✓	✓	✓		✓		✓			✓			✓	✓	✓		

۳. مدل ریاضی

۱.۳. تعریف مسئله

در این پژوهش، یک مدل ریاضی چندهدفه برای انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری با در نظرگرفتن اهداف توسعه‌ی پایدار ارائه می‌شود. با توجه به این که منابع در دسترس برای اجرای پروژه‌ها محدود است، در مدل ریاضی کل بودجه‌ی در دسترس، در یک دوره‌ی زمانی محدود در نظر گرفته شده است و سایر محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر نیروی انسانی، ماشین‌آلات و مواد مصرفی نیز لحاظ می‌شود. تصمیمات مرتبط با انتخاب پروژه‌ها در یک افق زمانی بلندمدت در نظر گرفته می‌شود تا میزان سرمایه‌گذاری و انتخاب پروژه‌ها در هر دوره‌ی زمانی مشخص شود. در مدل پیشنهادی، روابط متقابل بین پروژه‌ها، عدم‌قطعیت پارامترها و ظرفیت تأمین‌کنندگان مواد اولیه‌ی مورد نیاز پروژه‌ها بررسی می‌شود. مفروضات مسئله‌ی پیشنهادی عبارت است از:

- تصمیمات مربوط به انتخاب پروژه‌ها می‌تواند در چندین دوره زمانی اخذ شود؛
- نیروی انسانی مورد نیاز برای انجام پروژه‌های سرمایه‌گذاری محدود است؛
- مواد اولیه‌ی مورد نیاز برای انجام پروژه‌های سرمایه‌گذاری در هر یک از دوره‌های زمانی محدود است؛
- برخی از پروژه‌های سرمایه‌گذاری به‌صورت گزینه‌های ناسازگارند، به طوری که با انتخاب یکی از آن‌ها گزینه‌های ناسازگار بعدی حذف خواهند شد؛
- محدودیت‌های مکمل اقتصادی در انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری در نظرگرفته می‌شود؛
- عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای مدل در نظرگرفته می‌شود؛
- ظرفیت تأمین‌کنندگان مواد اولیه‌ی مورد نیاز پروژه‌ها محدود است.

۲.۳. مجموعه‌ها

J: مجموعه‌ی پروژه‌های موجود؛

T: مجموعه‌ی دوره‌های زمانی؛

R: مجموعه‌ی مواد اولیه؛

M: مجموعه‌ی ماشین‌آلات؛

L: مجموعه‌ی نیروی انسانی؛

S: مجموعه‌ی تأمین‌کنندگان؛

K: مجموعه‌ی امکانات رفاهی برای کارکنان؛

H_j: مجموعه‌ی پروژه‌های ناسازگار با پروژه j؛

E_j: مجموعه‌ی پروژه‌های مکمل اقتصادی پروژه‌ی j.

- **پارامترها**

$\tilde{p}_{jt}$: سود مورد انتظار پروژه‌ی j در زمان t؛

$\tilde{F}c_{jt}$: هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری به‌منظور اجرای پروژه‌ی j در زمان t؛

$\tilde{p}c_{srt}$: هزینه‌ی خرید ماده‌ی اولیه‌ی r از تأمین‌کننده‌ی s در زمان t؛

$\tilde{o}c_{rst}$: هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی ماده‌ی اولیه‌ی r از تأمین‌کننده‌ی s در زمان t؛

$\tilde{M}c_{mt}$: هزینه‌ی هر ساعت ماشین نوع m در زمان t؛

$\tilde{l}c_{lt}$: هزینه‌ی هر ساعت نیروی کار l در زمان t؛

$\tilde{S}c_{kjt}$: هزینه‌ی ارائه‌ی هر نوع خدمت رفاهی k برای کارکنان پروژه‌ی j در زمان t؛

$\tilde{T}c_{rsjt}$: هزینه‌ی سفر برای حمل و نقل ماده‌ی اولیه‌ی نوع r از تأمین‌کننده‌ی s جهت اجرای پروژه‌ی j در زمان t؛

ir: نرخ تنزیل؛

$\tilde{\lambda}_{rj}$: ماده‌ی اولیه‌ی مورد نیاز نوع r برای پروژه j در هر دوره‌ی زمانی؛

$\tilde{\tau}_{lj}$: نفر ـ ساعت مورد نیاز نیروی کار l برای پروژه‌ی j در هر دوره‌ی زمانی؛

$\tilde{\gamma}_{mj}$: ماشین ـ ساعت مورد نیاز نوع m برای پروژه‌ی j در هر دوره‌ی زمانی؛

$\tilde{\delta}_{mt}$: ماشین ـ ساعت در دسترس نوع m در زمان t؛

$\tilde{\Omega}_{lt}$: نفر ـ ساعت در دسترس نوع l در زمان t؛

wh_l: ساعت کاری نیروی کار نوع l در هر دوره‌ی زمانی؛

wh_m: ساعت کاری ماشین نوع m در هر دوره‌ی زمانی؛

$\tilde{c}ap_{rs}$: ظرفیت تأمین‌کننده‌ی s برای تأمین ماده‌ی اولیه‌ی نوع r؛

$\tilde{d}u_j$: مدت زمان لازم برای اجرای پروژه‌ی j؛

d_{sj}: فاصله بین تأمین‌کننده‌ی s و محل اجرای پروژه‌ی j؛

$\tilde{e}_{rsj}$: مقدار سوخت مورد نیاز برای حمل ماده‌ی اولیه‌ی نوع r از تأمین‌کننده‌ی s به پروژه‌ی j؛

$\tilde{g}h_{rsj}$: مقدار گاز گلخانه‌یی منتشر شده برای حمل ماده‌ی اولیه‌ی نوع r از تأمین‌کننده‌ی s به پروژه‌ی j؛

$\tilde{w}g_{rj}$: درصد ضایعات تولید شده ناشی از استفاده از ماده‌ی اولیه‌ی نوع r در پروژه‌ی j؛

We_1: وزن میزان انتشار گاز گلخانه‌یی؛

We_2: وزن میزان سوخت مصرف شده؛

We_3: وزن میزان ضایعات تولید شده؛

$\tilde{f}o_{jt}$: تعداد فرصت‌های شغلی ثابت ایجاد شده با انتخاب پروژه‌ی j در زمان t؛

$\tilde{v}o_{jt}$: تعداد فرصت‌های شغلی متغیر ایجاد شده با انتخاب پروژه j در زمان t؛

$\tilde{I}d_{jt}$: تعداد روزهای کاری از دست رفته، با انتخاب پروژه‌ی j در زمان t؛

$\tilde{f}sc_{jt}$: تعداد افراد تحت پوشش بیمه با انتخاب پروژه‌ی j در زمان t؛

$\tilde{j}s_{kjt}$: رضایت شغلی کارکنان در اثر خدمت رفاهی نوع k در پروژه‌ی j در زمان t؛

$\tilde{\rho}_{jt}$: تأثیر اجرای پروژه‌ی j در زمان t بر اقتصاد منطقه؛

Ws_1: وزن تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده؛

Ws_2: وزن فعالیت‌های ایمنی و سلامتی کارکنان؛

Ws_3: وزن توسعه‌ی اقتصادی منطقه؛

Ws_4: وزن امکانات رفاهی کارکنان.

- **متغیرهای تصمیم**

x_{jt}: متغیر باینری که در صورت انتخاب پروژه‌ی j در زمان t مقدار آن برابر ۱ و در غیر این صورت معادل صفر است؛

u_{rsjt}: متغیر باینری که در صورت انتخاب تأمین‌کننده‌ی s برای تأمین ماده‌ی اولیه‌ی نوع r برای پروژه‌ی j در زمان t مقدار آن برابر ۱ و در غیر این صورت معادل صفر است؛

o_{kjt}: متغیر باینری که در صورت ارائه‌ی خدمت رفاهی نوع k برای پروژه j در زمان t مقدار آن برابر ۱ و در غیر این صورت معادل صفر است؛

y_{rsjt}: مقدار ماده‌ی اولیه‌ی نوع r تأمین شده توسط تأمین‌کننده‌ی s برای پروژه‌ی j در زمان t؛

β_{rt}: مقدار ماده‌ی اولیه‌ی نوع r در زمان t.

۳.۳. تابع هدف اقتصادی

هدف اصلی انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری، بیشینه‌سازی سود حاصل از انتخاب پروژه‌هاست که چنین فرموله می‌شود:

$$Max\, Z_1 = TR - TC \qquad (۱)$$

و در آن، درآمد حاصل از انتخاب پروژه‌ها با TR و هزینه‌ی کل اجرای پروژه‌ها با TC مشخص شده است. برای محاسبه‌ی TR از معادله‌ی ۲ استفاده می‌شود:

$$TR = \sum_j \sum_t \tilde{p}_{jt}\, x_{jt} \qquad (۲)$$

برای محاسبه‌ی TC، کل هزینه‌های سیستم شامل هزینه‌ی ثابت سرمایه‌گذاری، هزینه‌ی تأمین مواد اولیه، هزینه‌ی نیروی انسانی، هزینه‌ی ماشین‌آلات، هزینه‌ی سفر و هزینه‌ی امکانات رفاهی در نظرگرفته شده است. هزینه‌ی ثابت سرمایه‌گذاری پروژه می‌تواند شامل هزینه‌ی دستگاه‌ها و ماشین‌آلات لازم برای اجرای پروژه، تاسیسات زیربنایی، زمین، ساختمان، محوطه‌سازی، وسایل نقلیه، هزینه‌ی صدور مجوز و امکان‌سنجی اولیه باشد. این نوع هزینه مطابق رابطه‌ی ۳ بیان می‌شود:

$$\sum_j \sum_t \tilde{F}c_{jt}\, x_{jt} \qquad (۳)$$

هزینه‌ی تأمین مواد اولیه متشکل از هزینه‌ی خرید و هزینه‌ی سفارش‌دهی مواد اولیه است که از تأمین‌کنندگان مختلفی تهیه می‌شود. هزینه‌ی تأمین مواد اولیه با استفاده از معادله‌ی ۴ محاسبه می‌شود:

$$\sum_r \sum_s \sum_j \sum_t \tilde{p}c_{srt}\, y_{rsjt} + \sum_r \sum_s \sum_j \sum_t \tilde{o}c_{rst}\, u_{rsjt} \qquad (۴)$$

هزینه‌ی نیروی انسانی بر اساس نفر ـ ساعت مورد نیاز برای اجرای پروژه چنین محاسبه می‌شود:

$$\sum_{l}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{l}c_{lt}\,wh_{l}\,x_{jt} \qquad (۵)$$

و هزینه‌ی ماشین آلات بر اساس ماشین ـ ساعت مورد نیاز برای اجرای پروژه مطابق معادله‌ی ۶ محاسبه می‌شود:

$$\sum_{m}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{M}c_{mt}\,wh_{m}\,x_{jt} \qquad (۶)$$

هزینه‌ی سفر برای انتقال مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به محل اجرای پروژه چنین محاسبه خواهد شد:

$$\sum_{r}\sum_{s}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{T}c_{rsjt}\,d_{sj}\,y_{rsjt} \qquad (۷)$$

هزینه‌ی امکانات رفاهی برای کارکنان درگیر در پروژه نیز چنین محاسبه می‌شود:

$$\sum_{k}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{S}c_{kjt}\,o_{kjt} \qquad (۸)$$

با توجه به این که در بررسی اقتصادی بودن پروژه، دوره‌ی زمانی و ارزش پول بسیار تأثیرگذار است، برای تأثیر این دو عامل از مفهوم نرخ تنزیل استفاده شده است. بر این اساس، معادله‌ی ۱ به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned}Max\ Z_{۱} = \sum_{t}\tfrac{۱}{(۱+ir)^{t-۱}}[&\sum_{j}\tilde{p}_{jt}\,x_{jt}\\ &-\sum_{j}\tilde{F}c_{jt}\,x_{jt}-\sum_{s}\sum_{r}\sum_{j}\tilde{p}c_{srt}\,y_{rsjt}-\\ &\sum_{r}\sum_{s}\sum_{j}\tilde{o}c_{rst}\,u_{rsjt}-\sum_{l}\sum_{j}\tilde{l}c_{lt}\,wh_{l}\,x_{jt}\\ &-\sum_{m}\sum_{j}\tilde{M}c_{mt}\,wh_{m}\,x_{jt}-\sum_{r}\sum_{s}\sum_{j}\tilde{T}c_{rsjt}\,d_{sj}\,y_{rsjt}\\ &-\sum_{k}\sum_{j}\tilde{S}c_{kjt}\,o_{kjt}]\end{aligned} \qquad (۹)$$

۴.۳. تابع هدف زیست‌محیطی

برای اجرای هر پروژه نیاز به تأمین مواد اولیه است و برای انتقال مواد اولیه از تأمین‌کنندگان باید از وسایل نقلیه استفاده شود. در اثر حمل و نقل مواد اولیه، مقادیر زیادی گازهای گلخانه‌یی نظیر دی‌اکسید کربن، متان، دی‌اکسید گوگرد، اکسید نیتروژن، فلزات سنگین و ترکیبات آلی فرار منتشر می‌شود که به شدت برای سلامت بشریت مضر است. گازهای گلخانه‌یی منتشرشده توسط سوخت‌های فسیلی به‌عنوان مهم‌ترین عامل در گرمایش جهانی و تغییرات قابل توجه در آب وهوا شناخته شده است.[۳۳]

از سوی دیگر، وسایل نقلیه برای حمل و نقل مواد اولیه نیازمند سوخت‌های فسیلی هستند. میزان نیاز جمعیت جهان برای سوخت‌های فسیلی به سرعت در حال افزایش است، به طوری که منابع انرژی موجود نمی‌تواند این تقاضای رو به رشد را برآورده سازد. تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی می‌شود که تقاضا برای انرژی ۲ یا حتی ۳ برابر شود.[۳۴] بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده مصرف جهانی نفت از ۸۶ میلیون بشکه در روز (در سال ۲۰۰۷)، به ۱۰۴ میلیون بشکه در روز (در سال ۲۰۳۰) افزایش خواهد یافت.[۳۵] با توجه به رو به اتمام بودن سوخت‌های فسیلی و نگرانی‌های زیست‌محیطی، صرفه‌جویی در استفاده از سوخت‌های فسیلی بسیار ضروری است. برای کمینه‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌یی ناشی از حمل و نقل مواد اولیه‌ی مورد نیاز پروژه‌ها داریم:

$$\sum_{r}\sum_{s}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{g}h_{rsj}\,d_{sj}\,y_{rsjt} \qquad (۱۰)$$

برای کمینه‌سازی میزان سوخت مصرفی ناشی از حمل و نقل مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به محل اجرای پروژه خواهیم داشت:

$$\sum_{r}\sum_{s}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{e}_{rsj}\,d_{sj}\,y_{rsjt} \qquad (۱۱)$$

میزان ضایعات ناشی از استفاده از مواد اولیه در پروژه‌های انتخاب شده را نیز باید چنین در نظر گرفت:

$$\sum_{r}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{w}g_{rj}\,x_{jt} \qquad (۱۲)$$

و با توجه به میزان اهمیت انتشار گازهای گلخانه‌یی، سوخت مصرفی و ضایعات تولیدی، تابع هدف زیست‌محیطی عبارت خواهد بود از:

$$\begin{aligned}Min\ Z_{۲} = We_{۱}&\left[\sum_{r}\sum_{s}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{g}h_{rsj}\,d_{sj}\,y_{rsjt}\right]\\ +We_{۲}&\left[\sum_{r}\sum_{s}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{e}_{rsj}\,d_{sj}\,y_{rsjt}\right]+\\ We_{۳}&\left[\sum_{r}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{w}g_{rj}\,x_{jt}\right]\end{aligned} \qquad (۱۳)$$

۵.۳. تابع هدف اجتماعی

با اجرای هر پروژه‌ی سرمایه‌گذاری، باید مسئولیت اجتماعی سازمان در قبال ذی‌نفعان داخلی و خارجی مورد توجه قرار گیرد. برای در نظرگرفتن بعد اجتماعی، از گزارش GRI استفاده شده است. شایان ذکر است که GRI یک سازمان بین‌المللی مستقل است که گزارش‌های پایداری را بر اساس تمامی جوانب اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ارائه می‌کند.[۳۶]

یکی از مهمترین مسئولیت‌های سرمایه‌گذاران در قبال جامعه، افزایش تعداد فرصت‌های شغلی است. برای اجرای یک پروژه‌ی سرمایه‌گذاری، نیروی انسانی متفاوتی نظیر حامی مالی پروژه، کارفرما، مدیر پروژه، مشاور پروژه، پیمانکاران پروژه، سهام‌داران اصلی پروژه، کارگران ساده و ماهر مورد نیاز است. شایان ذکر است که وجود برخی از نیروی کار مورد نیاز به‌صورت ثابت از ابتدا تا انتهای پروژه لازم است، اما برخی از آنها برای مدت زمان کوتاهی مشغول به کار خواهند بود. تعداد فرصت‌های شغلی ثابت ایجاد شده با انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری چنین محاسبه می‌شود:

$$\sum_{j}\sum_{t}\tilde{f}o_{jt}\,x_{jt} \qquad (۱۴)$$

تعداد فرصت‌های شغلی متغیر حاصل از انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری نیز چنین محاسبه می‌شود:

$$\sum_{j}\sum_{t}\tilde{v}o_{jt}\,x_{jt} \qquad (۱۵)$$

یکی از مهمترین مشکلات در اجرای پروژه که هزینه‌های زیادی را به سازمان تحمیل می‌کند، حوادث ناشی از کار است. در هر پروژه وابسته به نوع آن، تعدادی از روزهای

کاری به دلیل آسیب‌ها و خطرات کاری از بین می‌رود. بنابراین یکی از اهداف اجتماعی، انتخاب پروژه‌های با کمترین ریسک است که در روزهای از دست رفته نمایان می‌شود. بر این اساس خواهیم داشت:

$$\sum_{j}\sum_{t}\tilde{I}d_{jt}\,x_{jt} \tag{۱۶}$$

نظر به این که کارفرمایان و پیمانکاران پروژه در بسیاری از پروژه‌ها تمایل به جذب نیروی کار متغیر دارند، معمولاً تعداد افراد محدودی تحت پوشش بیمه قرار می‌گیرند. بنابراین برای افزایش تعداد افراد تحت پوشش بیمه، تابع هدف زیر در نظر گرفته شده است:

$$\sum_{j}\sum_{t}\tilde{f}sc_{jt}\,x_{jt} \tag{۱۷}$$

یکی از اهداف اصلی هر پروژه باید بهبود وضعیت اقتصادی محل اجرای پروژه باشد و بدین منظور عبارت زیر به‌عنوان بخشی از تابع هدف اجتماعی در نظر گرفته شده است:

$$\sum_{j}\sum_{t}\tilde{\rho}_{jt}\,x_{jt} \tag{۱۸}$$

علاوه بر این با در نظر گرفتن امکانات رفاهی، میزان رضایت کارکنان افزایش خواهد یافت و داریم:

$$\sum_{k}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{j}s_{kjt}\,o_{kjt} \tag{۱۹}$$

با در نظر گرفتن وزن هریک از اهداف و مسئولیت‌های اجتماعی پروژه، تابع هدف اجتماعی به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} Max\ Z_{۲} = {} & Ws_{۱}\left[\sum_{j}\sum_{t}\left(\tilde{f}o_{jt}+\tilde{v}o_{jt}\right)x_{jt}\right] \\ & + Ws_{۲}\left[-\sum_{j}\sum_{t}\tilde{I}d_{jt}\,x_{jt}+\sum_{j}\sum_{t}\tilde{f}sc_{jt}\,x_{jt}\right]+ \\ & Ws_{۳}\left[\sum_{j}\sum_{t}\tilde{\rho}_{jt}\,x_{jt}\right]+Ws_{۴}\left[\sum_{k}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{j}s_{kjt}\,o_{kjt}\right] \end{aligned} \tag{۲۰}$$

۶.۳. محدودیت‌های مسئله‌ی پیشنهادی

$$\sum_{t}x_{jt}\le ۱, \qquad \forall j \tag{۲۱}$$

$$\sum_{t}\left(t+\widetilde{du}_{j}\right)x_{jt}\le T+۱, \qquad \forall j \tag{۲۲}$$

$$\sum_{j}\tilde{\lambda}_{rj}\,x_{jt}\le\beta_{rt}, \qquad \forall r,t \tag{۲۳}$$

$$\sum_{j}\tilde{\gamma}_{mj}\,x_{jt}\le\tilde{\delta}_{mt}, \qquad \forall m,t \tag{۲۴}$$

$$\sum_{j}\tilde{\tau}_{lj}\,x_{jt}\le\tilde{\Omega}_{lt}, \qquad \forall l,t \tag{۲۵}$$

$$\sum_{t}x_{jt}+\sum_{t}x_{ht}\le ۱, \qquad \forall j,h\in H_{j} \tag{۲۶}$$

$$\sum_{t}x_{jt}=\sum_{t}x_{kt}, \qquad \forall j,k\in E_{j} \tag{۲۷}$$

$$\sum_{r}\sum_{s}\sum_{t}y_{rsjt}=\sum_{t}\sum_{r}\tilde{\lambda}_{rj}\,x_{jt}, \qquad \forall j \tag{۲۸}$$

$$\sum_{s}\sum_{j}y_{rsjt}=\beta_{rt}, \qquad \forall r,t \tag{۲۹}$$

$$y_{rsjt}\le\tilde{a}p_{rs}\,u_{rsjt}, \qquad \forall r,s,j,t \tag{۳۰}$$

$$u_{rsjt}\le x_{jt}, \qquad \forall r,s,j,t \tag{۳۱}$$

$$x_{jt}\in\{۰,۱\}, \qquad \forall j,t \tag{۳۲}$$

$$y_{rsjt}\ge ۰, \qquad \forall r,s,j,t \tag{۳۳}$$

$$u_{rsjt}\in\{۰,۱\}, \qquad \forall r,s,j,t \tag{۳۴}$$

$$o_{kjt}\in\{۰,۱\}, \qquad \forall k,j,t \tag{۳۵}$$

$$\beta_{rt}\ge ۰, \qquad \forall r,t \tag{۳۶}$$

محدودیت ۲۱ تضمین می‌کند که هر پروژه در هر دوره‌ی زمانی تنها یکبار انتخاب می‌شود. بر اساس محدودیت ۲۲، هر پروژه باید در افق زمانی برنامه‌ریزی شده تکمیل شود. محدودیت ۲۳ مشخص می‌کند که کل مواد اولیه‌ی مورد نیاز برای انجام پروژه‌های انتخاب شده نباید از مواد اولیه‌ی در دسترس در هر دوره‌ی زمانی فراتر رود. محدودیت ۲۴ بیان می‌کند که ساعات کاری ماشین‌آلات مورد نیاز برای پروژه‌های انتخاب شده از ماشین ـ ساعت در دسترس در هر دوره‌ی زمانی تجاوز نکند. بر اساس محدودیت ۲۵، نفر ـ ساعت مورد نیاز برای انجام پروژه‌های انتخاب شده از نفر ـ ساعت در دسترس در هر دوره‌ی زمانی فراتر نمی‌رود. محدودیت ۲۶ مربوط به گزینه‌های ناسازگار است و بر اساس آن در صورت ناسازگاری پروژه‌ها، تنها یکی از آنها انتخاب خواهند شد. محدودیت ۲۷، محدودیت مکمل اقتصادی بین پروژه‌ها را بیان می‌کند. محدودیت ۲۸ مشخص می‌کند که در هر پروژه، کل مواد اولیه‌ی خریداری شده از تأمین‌کنندگان برابر مواد اولیه‌ی مورد نیاز برای تکمیل آن پروژه است. محدودیت ۲۹ مشخص می‌کند که کل ماده‌ی اولیه‌ی خریداری شده از تأمین‌کنندگان برابر مواد اولیه‌ی در دسترس در هر دوره‌ی زمانی است. بر اساس محدودیت ۳۰، میزان مواد اولیه‌ی خریداری شده از ظرفیت تأمین‌کنندگان کمتر است. محدودیت ۳۱ مشخص می‌کند که تنها در صورت انتخاب یک پروژه، تأمین‌کنندگان برای تأمین مواد اولیه انتخاب خواهند شد. محدودیت ۳۲ تا ۳۶ حدود متغیرهای تصمیم مسئله را مشخص می‌کند.

۴. رویکرد برنامه‌ریزی فازی امکانی

در مدل پیشنهادی در بخش قبل، برخی از پارامترها دارای عدم‌قطعیت هستند. برای برخورد با عدم‌قطعیت پارامترها از رویکردهایی نظیر بهینه‌سازی تصادفی، بهینه‌سازی فازی، بهینه‌سازی استوار و رویکردهای ترکیبی می‌توان استفاده کرد. در این نوشتار، برای مواجهه با عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای مدل از روش بهینه‌سازی فازی امکانی استفاده شده است. در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی فازی از ضرایب اطمینان فازی و توابع عضویت برای بیان عدم قطعیت پارامترها استفاده می‌شود.[۳۷،۳۸] روش بهینه‌سازی فازی امکانی مورد استفاده در این نوشتار، نخستین بار توسط اکسو و ژو[۳۹] پیشنهاد شد و با توجه به کاربرد موفقیت‌آمیز آن با اقبال پژوهش‌گران متعددی مواجه شده است. این روش بر پایه مفاهیم قوی ریاضی مثل فاصله مورد انتظار و ارزش مورد انتظار از اعداد فازی متکی است. در این روش فرض می‌شود که همه پارامترهای غیرقطعی از تابع توزیع مثلثی پیروی می‌کنند. فضای امکانی $(\theta, P(\theta), PoS)$ را در نظر بگیرید که در آن θ، $P(\theta)$ و PoS به ترتیب یک مجموعه‌ی دلخواه، تابع مجموعه‌ی θ و یک معیار امکانی را مشخص کنند. برای تعیین مقادیر پارامترهای غیرقطعی بین حدود خوش‌بینانه و بدبینانه، اکسو و ژو[۳۳] از معیار Me استفاده کردند:

$$Me(A)=Nec(A)+\varsigma(Pos(A)-Nec(A)) \tag{۳۷}$$

که در آن، A یک مجموعه‌ی دلخواه در $P(\theta)$ است و ζ یک پارامتر خوش‌بینانه ـ بدبینانه است که نظرات تصمیم‌گیرنده را منعکس می‌کند. توابع $Nec(A)$ و $PoS(A)$ نیز به ترتیب لزوم و امکان مجموعه‌ی A را در فضای امکانی مشخص می‌کنند. در ادامه، رویکرد اکسو و ژو[۳۹] به‌صورت خلاصه شرح داده می‌شود. مدل برنامه‌ریزی خطی زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} &Min \tilde{C}x \\ &\tilde{A}x \geq \tilde{b} \\ &\tilde{N}x \leq \tilde{d} \\ &x \geq ۰. \end{aligned} \qquad (۳۸)$$

در این مدل، پارامترهای غیرقطعی به‌صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته می‌شود. در برنامه‌ریزی امکانی بر اساس معیار Me، از عملگرهای مقدار مورد انتظار، محدودیت شانس و محدودیت‌های امکانی استفاده می‌شود. بنابراین مدل ریاضی ۳۸ چنین بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} &Min \tilde{C}x \\ &Me\left\{\tilde{A}x \geq \tilde{b}\right\} \geq \alpha \\ &Me\left\{\tilde{N}x \leq \tilde{d}\right\} \geq \beta \\ &x \geq ۰. \end{aligned} \qquad (۳۹)$$

که در آن، α و β کمینه‌ی سطوح برآورده‌سازی محدودیت‌های امکانی هستند. اکسو و ژو[۳۹] مدل بالا را به مدل تقریب بالا (UAM) و مدل تقریب پایین (LAM) تبدیل کردند. مدل UAM عبارت است از:

$$\begin{aligned} &MinE\left[\tilde{C}\right]x \\ &Pos\left\{\tilde{A}x \geq \tilde{b}\right\} \geq \alpha \\ &Pos\left\{\tilde{N}x \leq \tilde{d}\right\} \geq \beta \\ &x \geq ۰. \end{aligned} \qquad (۴۰)$$

مدل LAM نیز چنین نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned} &MinE\left[\tilde{C}\right]x \\ &Nec\left\{\tilde{A}x \geq \tilde{b}\right\} \geq \alpha \\ &Nec\left\{\tilde{N}x \leq \tilde{d}\right\} \geq \beta \\ &x \geq ۰. \end{aligned} \qquad (۴۱)$$

مدل‌های معادل قطعی، مدل‌های امکانی UAM و LAM، نیز به ترتیب بر اساس مدل‌های ۴۲ و ۴۳ نوشته می‌شوند:

$$\begin{aligned} &UAM: \\ &Min\left(\frac{۱-\zeta}{۲}C_۱+\frac{۱}{۲}C_۲+\frac{\zeta}{۲}C_۳\right)x \\ &A_۲\,x+(۱-\alpha)(A_۳-A_۲)\,x \geq b_۲-(۱-\alpha)(b_۲-b_۱) \\ &N_۲\,x-(۱-\beta)(N_۲-N_۱)\,x \leq d_۲+(۱-\beta)(d_۳-d_۲) \\ &x \geq ۰. \end{aligned} \qquad (۴۲)$$

$$\begin{aligned} &LAM: \\ &Min\left(\frac{۱-\zeta}{۲}C_۱+\frac{۱}{۲}C_۲+\frac{\zeta}{۲}C_۳\right)x \\ &A_۲\,x-\alpha(A_۲-A_۱)\,x \geq b_۲+(۱-\alpha)(b_۳-b_۲) \\ &N_۲\,x+(۱-\beta)(N_۳-N_۲)\,x \leq d_۲-\beta(d_۲-d_۱) \\ &x \geq ۰. \end{aligned} \qquad (۴۳)$$

با در نظرگرفتن روش برنامه‌ریزی امکانی مبتنی بر معیار Me، مدل معادل قطعی مسئله‌ی غیرقطعی پیشنهادی بر اساس UAM عبارت خواهد بود از:

$$\begin{aligned} &Max\,Z_۱=\sum_t \tfrac{۱}{(۱+ir)^{t-۱}}[\sum_j\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}p_{jt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}p_{jt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}p_{jt}^{(۳)}\right)x_{jt} \\ &-\sum_j\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}Fc_{jt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}Fc_{jt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}Fc_{jt}^{(۳)}\right) \\ &x_{jt}-\sum_s\sum_r\sum_j\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}pc_{srt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}pc_{srt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}pc_{srt}^{(۳)}\right)y_{rsjt}- \\ &\sum_r\sum_s\sum_j\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}oc_{rst}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}oc_{rst}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}oc_{rst}^{(۳)}\right)u_{rsjt}- \\ &\sum_l\sum_j\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}lc_{lt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}lc_{lt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}lc_{lt}^{(۳)}\right)wh_l\,x_{jt} \\ &-\sum_m\sum_j\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}Mc_{mt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}Mc_{mt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}Mc_{mt}^{(۳)}\right)wh_m\,x_{jt} \\ &-\sum_r\sum_s\sum_j\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}Tc_{rsjt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}Tc_{rsjt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}Tc_{rsjt}^{(۳)}\right)d_{sj}\,y_{rsjt} \\ &-\sum_k\sum_j\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}Sc_{kjt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}Sc_{kjt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}Sc_{kjt}^{(۳)}\right)o_{kjt}] \end{aligned} \qquad (۴۴)$$

$$\begin{aligned} &Min\,Z_۲= \\ &We_۱\left[\sum_r\sum_s\sum_j\sum_t\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}gh_{rsj}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}gh_{rsj}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}gh_{rsj}^{(۳)}\right)d_{sj}\,y_{rsjt}\right] \\ &+We_۲\left[\sum_r\sum_s\sum_j\sum_t\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}e_{rsj}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}e_{rsj}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}e_{rsj}^{(۳)}\right)d_{sj}\,y_{rsjt}\right]+ \\ &We_۳\left[\sum_r\sum_j\sum_t\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}wg_{rj}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}wg_{rj}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}wg_{rj}^{(۳)}\right)x_{jt}\right] \end{aligned} \qquad (۴۵)$$

$$\begin{aligned} &Max\,Z_۳=Ws_۱\left[\sum_j\sum_t\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}fo_{jt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}fo_{jt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}fo_{jt}^{(۳)}\right)x_{jt}+\sum_j\sum_t\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}vo_{jt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}vo_{jt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}vo_{jt}^{(۳)}\right)x_{jt}\right] \\ &+Ws_۲\left[-\sum_j\sum_t\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}Id_{jt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}Id_{jt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}Id_{jt}^{(۳)}\right)x_{jt}+\sum_j\sum_t\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}fsc_{jt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}fsc_{jt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}fsc_{jt}^{(۳)}\right)x_{jt}\right]+ \\ &Ws_۳\left[\sum_j\sum_t\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}\rho_{jt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}\rho_{jt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}\rho_{jt}^{(۳)}\right)x_{jt}\right]+Ws_۴\left[\sum_k\sum_j\sum_t\left(\tfrac{۱-\zeta}{۲}js_{kjt}^{(۱)}+\tfrac{۱}{۲}js_{kjt}^{(۲)}+\tfrac{\zeta}{۲}js_{kjt}^{(۳)}\right)o_{kjt}\right] \end{aligned} \qquad (۴۶)$$

$$s.t.(۲۱),(۲۶),(۲۷),(۲۹),(۳۱)-(۳۶)$$

$$\sum_t \left(t+\left[du_j^{(۲)}-(۱-\beta)\left(du_j^{(۲)}-du_j^{(۱)}\right)\right]\right) x_{jt} \le T+۱, \quad \forall j \tag{۴۷}$$

$$\sum_j \left[\lambda_{rj}^{(۲)}-(۱-\beta)\left(\lambda_{rj}^{(۲)}-\lambda_{rj}^{(۱)}\right)\right] x_{jt} \le \beta_{rt}, \qquad \forall r,t \tag{۴۸}$$

$$\sum_j \left[\gamma_{mj}^{(۲)}-(۱-\beta)\left(\gamma_{mj}^{(۲)}-\gamma_{mj}^{(۱)}\right)\right]$$

$$x_{jt} \le \delta_{mt}^{(۲)}+(۱-\beta)\left(\delta_{mt}^{(۳)}-\delta_{mt}^{(۲)}\right), \qquad \forall m,t \tag{۴۹}$$

$$\sum_j \left[\tau_{lj}^{(۲)}-(۱-\beta)\left(\tau_{lj}^{(۲)}-\tau_{lj}^{(۱)}\right)\right]$$

$$x_{jt} \le \Omega_{lt}^{(۲)}+(۱-\beta)\left(\Omega_{lt}^{(۳)}-\Omega_{lt}^{(۲)}\right), \qquad \forall l,t \tag{۵۰}$$

$$\sum_r \sum_s \sum_t y_{rsjt} \ge \sum_t \sum_r \lambda_{rj}^{(۲)}\, x_{jt}, \qquad \forall j \tag{۵۱}$$

$$\sum_r \sum_s \sum_t y_{rsjt} \le \sum_t \sum_r \lambda_{rj}^{(۳)}\, x_{jt}, \qquad \forall j \tag{۵۲}$$

$$y_{rsjt} \le \left[cap_{rs}^{(۲)}+(۱-\beta)\left(cap_{rs}^{(۳)}-cap_{rs}^{(۲)}\right)\right] u_{rsjt}, \quad \forall r,s,j,t \tag{۵۳}$$

مدل معادل قطعی مسئله‌ی غیرقطعی پیشنهادی بر اساس LAM نیز چنین بیان می‌شود:

$$MaxE\,(Z_۱)$$
$$MinE\,(Z_۲)$$
$$MaxE\,(Z_۳)$$

$$s.t.(۲۱),(۲۶),(۲۷),(۲۹),(۳۱)-(۳۶),(۵۱),(۵۲)$$

$$\sum_t \left(t+\left[du_j^{(۲)}+(۱-\beta)\left(du_j^{(۳)}-du_j^{(۲)}\right)\right]\right) x_{jt} \le T+۱, \quad \forall j \tag{۵۴}$$

$$\sum_j \left[\lambda_{rj}^{(۲)}+(۱-\beta)\left(\lambda_{rj}^{(۳)}-\lambda_{rj}^{(۲)}\right)\right] x_{jt} \le \beta_{rt}, \quad \forall r,t \tag{۵۵}$$

$$\sum_j \left[\gamma_{mj}^{(۲)}+(۱-\beta)\left(\gamma_{mj}^{(۳)}-\gamma_{mj}^{(۲)}\right)\right] x_{jt} \le \delta_{mt}^{(۲)}-\beta\left(\delta_{mt}^{(۲)}-\delta_{mt}^{(۱)}\right), \quad \forall m,t \tag{۵۶}$$

$$\sum_j \left[\tau_{lj}^{(۲)}+(۱-\beta)\left(\tau_{lj}^{(۳)}-\tau_{lj}^{(۲)}\right)\right] x_{jt} \le \Omega_{lt}^{(۲)}-\beta\left(\Omega_{lt}^{(۲)}-\Omega_{lt}^{(۱)}\right), \quad \forall l,t \tag{۵۷}$$

$$y_{rsjt} \le \left[cap_{rs}^{(۲)}-\beta\left(cap_{rs}^{(۲)}-cap_{rs}^{(۱)}\right)\right] u_{rsjt}, \qquad \forall r,s,j,t \tag{۵۸}$$

۵. روش حل

در این مقاله از یک روش حل دومرحله‌یی استفاده شده است. در مرحله‌ی اول، اهمیت معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی با استفاده از روش بهترین ـ بدترین گروهی تعیین می‌شود. در مرحله‌ی دوم، از یک روش برنامه‌ریزی فازی تعاملی برای تبدیل مسئله‌ی برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه به یک مسئله‌ی تک‌هدفه استفاده خواهد شد.

۱.۵. روش بهترین ـ بدترین گروهی

روش بهترین ـ بدترین در سال ۲۰۱۵ برای تعیین وزن معیارهای مسئله‌ی تصمیم‌گیری معرفی شد.[۴۰] با توجه به این که این روش تنها از ترجیحات یک تصمیم‌گیرنده استفاده می‌کند، برای تعیین وزن معیارها برمبنای نظرات گروهی از تصمیم‌گیرندگان، در نوشتار حاضر از روش بهترین ـ بدترین گروهی عمرانی و همکاران[۴۱] استفاده شده است. گام‌های این روش به‌صورت خلاصه توضیح داده شده است:

گام ۱. معیارهای مهم برای مسئله‌ی تصمیم‌گیری را تعیین کنید.

گام ۲. بهترین و بدترین معیارها را از دیدگاه هر یک از تصمیم‌گیرندگان تعیین کنید.

گام ۳. ارجحیت بهترین معیار، B، را نسبت به بقیه معیارها بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده r با اعداد ۱ تا ۹ به‌صورت زیر مشخص کنید:

$$A_B^r=(a_{B۱}^r,a_{B۲}^r,...,a_{Bn}^r) \tag{۵۹}$$

گام ۴. ارجحیت سایر معیارها را نسبت به بدترین معیار، W، بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده r با اعداد ۱ تا ۹ به‌صورت زیر مشخص کنید:

$$A_W^r=(a_{۱W}^r,a_{۲W}^r,...,a_{nW}^r) \tag{۶۰}$$

گام ۵. با در نظرگرفتن a_{Bo}^r، ارجحیت بهترین معیار نسبت به معیار o بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده r و a_{oW}^r، ارجحیت معیار o نسبت به بدترین معیار بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده r، وزن بهینه‌ی هر معیار را بر اساس مدل زیر مشخص کنید:

$$Min \sum_r \xi_r \tag{۶۱}$$

$$|w_B-a_{Bo}^r\,w_o| \le \xi_r, \qquad \forall o,r \tag{۶۲}$$

$$|w_o-a_{oW}^r\,w_W| \le \xi_r, \qquad \forall o,r \tag{۶۳}$$

$$\sum_o w_o = ۱, \tag{۶۴}$$

$$w_o \ge ۰, \qquad \forall o \tag{۶۵}$$

با توجه به این که مسئله‌ی بالا غیرخطی است، مسئله‌ی معادل خطی آن چنین نوشته شده است:

$$Min \sum_r \xi_r \tag{۶۶}$$

$$s.t.(۶۴),(۶۵)$$

$$w_B-a_{Bo}^r\,w_o \le \xi_r, \qquad \forall o,r \tag{۶۷}$$

$$w_B-a_{Bo}^r\,w_o \ge -\xi_r, \qquad \forall o,r \tag{۶۸}$$

$$w_o-a_{oW}^r\,w_W \le \xi_r, \qquad \forall o,r \tag{۶۹}$$

$$w_o-a_{oW}^r\,w_W \ge -\xi_r, \qquad \forall o,r \tag{۷۰}$$

۲.۵. روش برنامه‌ریزی فازی تعاملی

برای حل مسائل چندهدفه روش‌های مختلفی نظیر روش محدودیت اپسیلون، روش معیار جامع و رویکرد جمع وزنی وجود دارد. در این مقاله از روش برنامه‌ریزی فازی تعاملی که توسط ترابی و حسینی[۴۲] در سال ۲۰۰۸ برای حل مسائل چندهدفه پیشنهاد شده است، استفاده می‌شود. در این رویکرد جواب‌های ایده‌آل مثبت (PIS) و جواب‌های ایده‌آل منفی (NIS) برای توابع هدف مسئله چنین محاسبه می‌شود:

$$Z_۱^{PIS} = Max\, Z_۱, Z_۱^{NIS} = Min\, Z_۱ \quad (۷۱)$$

$$Z_۲^{PIS} = Min\, Z_۲, Z_۲^{NIS} = Max\, Z_۲ \quad (۷۲)$$

$$Z_۳^{PIS} = Max\, Z_۳, Z_۳^{NIS} = Min\, Z_۳ \quad (۷۳)$$

تابع عضویت خطی برای هر یک از توابع هدف نیز به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_۱(Z_۱) = \begin{cases} ۱, & Z_۱ > Z_۱^{PIS} \\ \frac{Z_۱ - Z_۱^{NIS}}{Z_۱^{PIS} - Z_۱^{NIS}}, & Z_۱^{NIS} \le Z_۱ \le Z_۱^{PIS} \\ ۰, & Z_۱ < Z_۱^{NIS} \end{cases} \quad (۷۴)$$

$$\mu_۲(Z_۲) = \begin{cases} ۱, & Z_۲ < Z_۲^{PIS} \\ \frac{Z_۲^{NIS} - Z_۲}{Z_۲^{NIS} - Z_۲^{PIS}}, & Z_۲^{PIS} \le Z_۲ \le Z_۲^{NIS} \\ ۰, & Z_۲ > Z_۲^{NIS} \end{cases} \quad (۷۵)$$

$$\mu_۳(Z_۳) = \begin{cases} ۱, & Z_۳ > Z_۳^{PIS} \\ \frac{Z_۳ - Z_۳^{NIS}}{Z_۳^{PIS} - Z_۳^{NIS}}, & Z_۳^{NIS} \le Z_۳ \le Z_۳^{PIS} \\ ۰, & Z_۳ < Z_۳^{NIS} \end{cases} \quad (۷۶)$$

برای تبدیل مدل چندهدفه به یک مدل تک‌هدفه از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$Max\lambda(x) = \varphi\, \lambda_۰ + (۱ - \varphi) \sum_h \varpi_h\, \mu_h(x) \quad (۷۷)$$

$$\lambda_۰ \le \mu_h(x), \qquad \forall h \quad (۷۸)$$

$$x \in F(x), \lambda_۰, \varphi \in [۰, ۱]. \quad (۷۹)$$

در مدل بالا، $F(x)$، ϖ_h و φ به ترتیب اهمیت نسبی تابع هدف h، فضای جواب مسئله و ضریب جبران را مشخص می‌کند. $\lambda_۰ = \min_h\{\mu_h(x)\}$ و $\mu_h(x)$ درجه عضویت تابع هدف h است.

۶. نتایج عددی

در این بخش، نتایج عددی بر اساس حل مدل پیشنهادی با استفاده از روش‌های حل شرح داده می‌شود. جدول ۲ مقادیر پارامترهای ورودی مثال‌های عددی را نشان می‌دهد. برای تعیین وزن اجزای تابع هدف زیست‌محیطی و اجتماعی از نظرات ۵ فرد خبره در حوزه‌ی پروژه‌های سرمایه‌گذاری استفاده شده است. در جدول ۳ ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها و ارجحیت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار برای عوامل زیست‌محیطی نشان داده شده است. در این جدول، $e_۱$ میزان انتشار گازهای گلخانه‌یی، $e_۲$ میزان مصرف انرژی و $e_۳$ میزان ضایعات تولید شده است. جدول ۴ ارجحیت تصمیم‌گیرندگان در معیارهای اجتماعی را نشان می‌دهد. در این جدول، $s_۱$ تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده، $s_۲$ فعالیت‌های ایمنی و سلامتی

جدول ۲. حدود پارامترها.

پارامترها	مقدار	پارامترها	مقدار
$\tilde{P}_{jt}$	$[۱۰۰۰۰۰۰۰۰, ۵۰۰۰۰۰۰۰۰]$	$\tilde{\Omega}_{lt}$	$[۰, ۳۰]$
$\tilde{F}c_{jt}$	$[۳۰۰۰۰۰۰۰, ۲۱۰۰۰۰۰۰]$	d_{sj}	$[۰, ۱۵۰]$
$\tilde{p}c_{srt}$	$[۲۰۰۰, ۵۰۰۰]$	$\tilde{e}_{rsj}$	$[۵, ۲۰]$
$\tilde{o}c_{rst}$	$[۵۰۰۰, ۶۰۰۰]$	$\tilde{g}h_{rsj}$	$[۱, ۵]$
$\tilde{M}c_{mt}$	$[۱۰۰۰, ۴۰۰۰]$	$\tilde{f}o_{jt}$	$[۳, ۱۰]$
$\tilde{l}c_{lt}$	$[۸۰۰۰, ۳۰۰۰۰]$	$\tilde{v}o_{jt}$	$[۴, ۱۰]$
$\tilde{S}c_{kjt}$	$[۳۰۰۰, ۱۲۰۰۰]$	$\tilde{I}d_{jt}$	$[۵, ۸]$
$\tilde{T}c_{rsjt}$	$[۱۰, ۳۰]$	$\tilde{j}s_{kjt}$	$[۰, ۰/۸]$
ir	٪۱۰	$\tilde{\rho}_{jt}$	$[۰/۰۲, ۰/۰۴]$
$\tilde{\lambda}_{rj}$	$[۰, ۲۰]$	wh_l	$[۰, ۸]$
$\tilde{\tau}_{lj}$	$[۰, ۱۰]$	wh_m	$[۰, ۸]$
$\tilde{\gamma}_{mj}$	$[۰, ۲۰]$	$\tilde{c}ap_{rs}$	$[۲۰۰, ۱۰۰۰]$
$\tilde{\delta}_{mt}$	$[۰, ۵۰]$	$\tilde{d}u_j$	$[۱, ۱۰]$

جدول ۳. ارجحیت تصمیم‌گیرندگان در معیارهای زیست‌محیطی.

تصمیم‌گیرنده	بهترین و بدترین معیار	معیارها $e_۱$	$e_۲$	$e_۳$
۱	$(e_۲)$ بهترین	۶	۱	۹
	$(e_۳)$ بدترین	۷	۹	۱
۲	$(e_۱)$ بهترین	۱	۷	۸
	$(e_۳)$ بدترین	۸	۶	۱
۳	$(e_۲)$ بهترین	۵	۱	۹
	$(e_۳)$ بدترین	۶	۹	۱
۴	$(e_۲)$ بهترین	۴	۱	۹
	$(e_۳)$ بدترین	۷	۹	۱
۵	$(e_۱)$ بهترین	۱	۶	۸
	$(e_۳)$ بدترین	۸	۷	۱

برای کارکنان، $s_۳$ توسعه‌ی اقتصادی منطقه و $s_۴$ امکانات رفاهی کارکنان را نشان می‌دهد. جدول ۵ و ۶ نیز وزن بهینه‌ی معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی را نشان می‌دهند.

برای نتایج عددی از ۱۰ مثال متفاوت استفاده شده است. مدل در نرم‌افزار بهینه‌سازی گمزکدنویسی شده است. اندازه مجموعه‌های مثال‌های عددی در جدول ۷ و نتایج عددی حاصل از حل مدل در جدول ۸ نشان داده شده است. در جدول ۸، D مقادیر تابع هدف در حالت قطعی را مشخص می‌کند.

چنان که مشاهده می‌شود سود حاصل از اجرای پروژه‌ها در همه مثال‌های عددی در مدل UAM بیشتر از LAM است، زیرا مدل UAM بر اساس دیدگاه خوش‌بینانه شکل گرفته است. همچنین سود حاصل از اجرای پروژه‌ها با افزایش نظرات خوش‌بینانه تصمیم‌گیرنده، ζ، افزایش می‌یابد. زمانی که سود پروژه‌ها افزایش می‌یابد، تعداد پروژه‌های بیشتری انتخاب خواهد شد و مواد اولیه‌ی بیشتری برای اجرای پروژه‌ها مورد نیاز خواهد بود. برای ارسال مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به محل

جدول ۴. ارجحیت تصمیم‌گیرندگان در معیارهای اجتماعی.

تصمیم‌گیرنده	بهترین و بدترین معیار	معیارها s_1	s_2	s_3	s_4
۱	(s_2) بهترین	۹	۱	۵	۴
	(s_1) بدترین	۱	۹	۷	۶
۲	(s_3) بهترین	۹	۵	۱	۶
	(s_1) بدترین	۱	۶	۹	۵
۳	(s_2) بهترین	۷	۱	۵	۹
	(s_4) بدترین	۵	۹	۶	۱
۴	(s_3) بهترین	۹	۵	۱	۶
	(s_1) بدترین	۱	۷	۹	۶
۵	(s_3) بهترین	۵	۴	۱	۹
	(s_4) بدترین	۵	۶	۹	۱

جدول ۵. وزن معیارهای زیست‌محیطی.

معیارها	e_1	e_2	e_3
وزن معیارها	۰٫۴۹۰۹	۰٫۲۹۰۹	۰٫۲۱۸۲

جدول ۶. وزن معیارهای اجتماعی.

معیارها	s_1	s_2	s_3	s_4
وزن معیارها	۰٫۱۸۵۲	۰٫۳۳۳۳	۰٫۳۳۳۳	۰٫۱۴۸۲

جدول ۷. اندازه‌ی مجموعه‌ها در مثال‌های عددی.

مثال عددی	$\|J\|$	$\|T\|$	$\|R\|$	$\|M\|$	$\|L\|$	$\|S\|$	$\|K\|$
۱	۵	۷	۳	۲	۲	۳	۲
۲	۷	۷	۴	۳	۳	۳	۲
۳	۱۰	۸	۵	۴	۳	۴	۳
۴	۱۳	۸	۶	۴	۴	۴	۳
۵	۱۵	۹	۷	۵	۴	۵	۴
۶	۱۷	۱۰	۸	۵	۵	۵	۴
۷	۲۱	۱۱	۹	۶	۵	۶	۵
۸	۲۴	۱۲	۱۰	۶	۶	۶	۵
۹	۲۸	۱۳	۱۱	۷	۶	۷	۶
۱۰	۳۰	۱۴	۱۲	۷	۷	۷	۶

اجرای پروژه از وسایل نقلیه استفاده می‌شود و به دنبال آن مقادیر زیادی گازهای گلخانه‌یی و انرژی مصرف می‌شود، بنابراین مقدار تابع هدف زیست‌محیطی افزایش می‌یابد. مقادیر تابع هدف اجتماعی نیز متناسب با سود پروژه‌ها افزایش می‌یابد، چون زمانی که تعداد پروژه‌های بیشتری انتخاب شود، تعداد فرصت‌های شغلی بیشتری نیز ایجاد خواهد شد.

با توجه به این که در مدل‌های انتخاب پروژه بیشتر تمرکز بر بعد اقتصادی است، بنابراین تأثیر ابعاد پایداری بر انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری بررسی شده است. در جدول ۹ نتایج بر اساس مثال عددی پنجم ثبت شده است. در این جدول، SM مدل پیشنهادی مبتنی بر اهداف توسعه‌ی پایدار و PM مدل با در نظرگرفتن بیشینه‌سازی سود مورد انتظار است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با در نظرگرفتن پایداری، مقدار تابع هدف اقتصادی در مدل قطعی، LAM و UAM به ترتیب به میزان ۰٫۱۳، ۱٫۱۹ و ۰٫۱۳ درصد کاهش می‌یابد، اما موجب بهبود چشم‌گیر توابع هدف زیست‌محیطی و اجتماعی خواهد شد. اثرات مخرب زیست‌محیطی در مدل‌های قطعی، LAM و UAM در مدل بیشینه‌سازی سود به ترتیب به میزان ۲٫۳۱ برابر، ۲٫۸۲ برابر و ۲٫۲۵ برابر مدل با در نظرگرفتن پایداری است. تابع هدف اجتماعی مدل‌های قطعی و UAMدر حالت SM به ترتیب به میزان ۹۵٫۴۰ و ۹۸٫۹۷ درصد نسبت به حالت PM بهبود یافته است. تابع هدف اجتماعی مدل LAM نیز در حالت SM، ۲٫۰۶ برابر حالت PM است.

۷. تحلیل حساسیت

در این بخش تغییرات تابع هدف نسبت به پارامترهای φ، نرخ تنزیل، نفر ـ ساعت در دسترس و ماشین ـ ساعت در دسترس بر اساس مثال عددی ۵ بررسی می‌شود.

۱.۷. تأثیر φ بر توابع هدف

برای بررسی تأثیر φ بر توابع هدف، مقدار درجه عضویت هر یک از توابع مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول ۱۰ تأثیر φ بر توابع هدف ثبت شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش φ مقدار درجه عضویت تابع هدف اول کاهش و درجه عضویت تابع هدف دوم افزایش می‌یابد. درجه عضویت تابع هدف سوم نیز روند خاصی ندارد. البته در هر یک از مدل‌های قطعی، UAM و LAM به ازای برخی از مقادیر φ، مقدار درجه عضویت بدون تغییر باقی مانده است.

۲.۷. تأثیر نرخ تنزیل بر توابع هدف

تأثیر نرخ تنزیل بر توابع هدف در جدول ۱۱ نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، با افزایش نرخ تنزیل سود کل کاهش می‌یابد. همچنین تابع هدف زیست‌محیطی و تابع هدف اجتماعی به طور نسبی کاهش و در برخی از حالات ثابت می مانند . باید توجه داشت که نرخ تنزیل یکی از تأثیرگذارترین پارامترها بر سود حاصل از اجرای پروژه است که با در نظرگرفتن آن ممکن است یک پروژه‌ی سودآور، غیراقتصادی تلقی شود. نظر به این که هم درآمدها و هم هزینه‌های سرمایه‌گذار متأثر از نرخ تنزیل است، بنابراین با توجه به نرخ تنزیل و عامل زمان باید پروژه‌های سودآور انتخاب شوند.

۳.۷. تأثیر ماشین ـ ساعت در دسترس بر توابع هدف

تأثیر حداکثر ماشین ـ ساعت در دسترس در جدول ۱۲ نشان داده شده است. در این جدول ستون اول درصد تغییرات حداکثر ماشین ـ ساعت را نسبت به حالت پایه نشان می‌دهد. با افزایش ماشین ـ ساعت در دسترس در هر دوره‌ی زمانی، پروژه‌های بیشتری قابل انجام است و سود حاصل از اجرای پروژه‌های سرمایه‌گذاری افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد پروژه‌های انتخاب شده، تابع هدف زیست‌محیطی افزایش و تابع هدف اجتماعی نیز افزایش می‌یابد. به طور کلی زمان یک عامل مهم در سودآوری پروژه‌های انتخاب شده محسوب می‌شود و اگر ماشین ـ ساعات در دسترس در دوره‌های زمانی ابتدایی پروژه بتوانند ماشین ـ ساعات مورد نیاز پروژه را تأمین‌کند، سود بالایی برای سرمایه‌گذار حاصل می‌شود.

جدول ۸. نتایج حل مثال‌های عددی.

مثال عددی	ς	LAM			UAM			D		
		Z_1	Z_2	Z_3	Z_1	Z_2	Z_3	Z_1	Z_2	Z_3
۱	۰.۱	۱.۰۵۵۴۳۱E+۹	۱۶۶۶۰.۹۷	۱۴.۹۴	۱.۰۵۵۹۳۲E+۹	۱۶۵۱۳.۵۹	۱۴.۹۴	۱.۰۹۹۳۳۲E+۹	۱۹۵۰۹.۴۹	۱۵.۰۷۲
	۰.۵	۱.۰۹۹۳۳۱E+۹	۱۷۸۵۱.۸۷	۱۵.۲۸	۱.۲۲۲۵۵۷E+۹	۱۸۶۶۱.۶۴	۱۴.۵۴			
	۰.۹	۱.۲۶۷۰۲۰E+۹	۲۱۱۶۹.۹۴	۱۵.۵۱	۱.۲۶۹۲۴۸E+۹	۲۱۱۰۱.۱۱	۱۵.۵۶			
۲	۰.۱	۱.۳۰۰۱۵۸E+۹	۲۸۴۲۱.۷۰	۲۱.۱۳	۱.۴۲۰۲۴۹E+۹	۲۷۱۳۹.۵۲	۲۰.۶۹	۱.۴۷۳۸۴۳E+۹	۳۴۶۸۲.۱۱	۲۰.۷۸۸
	۰.۵	۱.۳۴۹۲۳۱E+۹	۳۲۵۷۹.۲۸	۲۲.۴۳	۱.۴۷۳۸۴۶E+۹	۳۱۱۳۷.۰۸	۲۱.۲۶			
	۰.۹	۱.۳۹۸۲۸۳E+۹	۳۶۶۸۰.۱۹	۲۳.۷۴	۱.۵۲۷۴۲۸E+۹	۳۵۱۰۶۶۹	۲۱.۸۳			
۳	۰.۱	۲.۴۷۵۲۵۱E+۹	۶۳۹۲۳.۸۲	۴۲.۵۹	۲.۵۲۲۶۸۷E+۹	۶۲۸۲۹.۹۵	۴۲.۱۴	۲.۳۱۳۸۹۴E+۹	۷۲۴۵۸.۰۳	۴۸.۰۷۱
	۰.۵	۲.۵۶۸۶۵۵E+۹	۷۳۱۱۶.۴۹	۴۴.۷۶	۲.۶۱۷۸۹۰E+۹	۷۱۷۹۴.۸۳	۴۳.۸۳			
	۰.۹	۲.۶۶۲۰۴۴E+۹	۸۲۰۰۰.۵۹	۴۶.۹۴	۲.۷۱۳۰۶۲E+۹	۸۰۴۵۴.۸۶	۴۵.۵۱			
۴	۰.۱	۳.۲۲۲۸۶۴E+۹	۷۴۹۸۵.۰۹	۵۲.۵۹	۳.۴۹۶۰۴۴E+۹	۷۶۰۵۳.۸۸	۵۰.۰۷	۳.۳۳۶۷۴۶E+۹	۸۲۸۴۸.۵۹	۵۶.۲۱۷
	۰.۵	۳.۳۴۴۴۷۷E+۹	۸۴۰۸۰.۴۴	۵۶.۵۸	۳.۶۲۷۹۸۰E+۹	۸۶۱۰۳.۱۷	۵۴.۷۹			
	۰.۹	۳.۴۶۶۱۰۳E+۹	۹۲۸۱۱.۷۹	۶۰.۶۰	۳.۷۵۹۹۱۱E+۹	۹۶۱۱۳.۱۸	۵۹.۵۰			
۵	۰.۱	۲.۶۳۴۴۹۰E+۹	۸۶۷۹۴.۲۷	۶۸.۷۲	۳.۰۵۶۵۹۸E+۹	۸۸۰۱۶.۷۸	۶۹.۹۲	۳.۲۱۰۷۰۰E+۹	۱۲۸۸۵۱.۳۵	۷۲.۹۲۷
	۰.۵	۲.۷۳۳۹۱۲E+۹	۹۸۷۳۲.۵۹	۷۱.۸۲	۳.۱۷۱۹۵۷E+۹	۱۰۰۰۵۵.۳۷	۷۲.۷۰			
	۰.۹	۲.۸۳۶۵۱۰E+۹	۱۱۰۳۷۷.۶۶	۷۴.۹۹	۳.۲۹۰۴۷۵E+۹	۱۱۱۷۹۱.۸۲	۷۵.۵۷			
۶	۰.۱	۳.۲۰۸۳۱۷E+۹	۱۱۷۷۶۱.۱۹	۷۹.۱۱	۳.۵۵۰۴۵۹E+۹	۱۳۲۶۴۷.۲۶	۸۱.۳۶	۳.۵۱۳۱۷۱E+۹	۱۳۷۱۴۴.۹۴	۸۲.۷۳۱
	۰.۵	۳.۳۲۹۴۱۰E+۹	۱۳۲۶۸۳.۵۱	۸۳.۴۲	۳.۶۸۴۳۴۴E+۹	۱۴۹۳۷۳.۰۹	۸۶.۷۷			
	۰.۹	۳.۴۵۰۴۶۷E+۹	۱۴۷۲۹۸.۱۸	۸۷.۷۳	۳.۷۶۳۸۹۵E+۹	۱۶۵۸۸۵.۹۲	۹۵.۵۸			
۷	۰.۱	۳.۷۶۴۱۵۶E+۹	۱۳۹۶۷۷.۰۴	۱۱۵.۲۵	۴.۴۱۹۰۱۶E+۹	۱۵۵۷۴۲.۷۰	۱۲۶.۳۹	۴.۵۸۵۷۵۵E+۹	۱۸۹۰۴۱.۰۱	۱۳۰.۳۳۰
	۰.۵	۳.۹۰۶۲۶۲E+۹	۱۵۷۳۱۸.۴۱	۱۲۳.۵۳	۴.۵۸۵۸۰۵E+۹	۱۷۴۲۶۲.۴۲	۱۳۴.۱۴			
	۰.۹	۴.۰۴۸۲۳۸E+۹	۱۷۴۲۷۴.۰۸	۱۳۱.۸۷	۴.۷۵۲۵۲۲E+۹	۱۹۲۵۳۰.۸۴	۱۴۱.۸۹			
۸	۰.۱	۴.۴۳۹۴۷۶E+۹	۱۶۵۹۳۷.۹۹	۱۴۳.۸۸	۴.۸۴۶۴۴۲E+۹	۱۷۴۰۵۴.۶۵	۱۴۸.۰۷	۴.۸۴۰۹۱۸E+۹	۲۰۰۱۶۶.۷۴	۱۵۰.۶۷۲
	۰.۵	۴.۶۳۶۲۸۳E+۹	۱۹۳۹۷۰.۲۶	۱۵۳.۵۸	۵.۰۲۹۳۲۸E+۹	۱۹۷۵۳۵.۲۸	۱۵۶.۶۴			
	۰.۹	۴.۸۰۴۸۵۱E+۹	۲۱۵۵۳۶.۷۷	۱۶۳.۴۶	۵.۲۱۲۱۴۲E+۹	۲۲۰۱۹۴.۴۸	۱۶۵.۲۰			
۹	۰.۱	۵.۰۰۰۶۵۲E+۹	۲۱۰۷۲۱.۹۸	۱۹۳.۹۸	۵.۶۴۶۵۹۷E+۹	۲۴۴۵۶۷.۸۱	۲۰۳.۰۴	۵.۵۹۹۳۵۴E+۹	۲۴۶۶۷۳.۱۲	۱۹۶.۶۳۲
	۰.۵	۵.۱۷۶۳۵۷E+۹	۲۲۹۴۷۸.۴۹	۱۹۹.۶۱	۵.۸۵۹۶۵۹E+۹	۲۷۴۳۲۴.۴۱	۲۱۳.۹۷			
	۰.۹	۵.۳۷۸۰۶۹E+۹	۲۵۹۸۱۷.۹۹	۲۱۳.۷۵	۶.۱۰۹۸۶۹E+۹	۳۲۲۱۴۶.۳۲	۲۲۱.۳۳			
۱۰	۰.۱	۴.۹۹۹۳۰۹E+۹	۲۳۴۱۵۰.۷۱	۲۲۱.۸۸	۵.۴۶۱۹۷۲E+۹	۲۴۹۶۷۷.۸۸	۲۲۱.۲۱	۵.۶۵۵۷۱۸E+۹	۳۱۲۵۰۱.۹۱	۲۱۵.۲۲۸
	۰.۵	۵.۱۸۷۹۹۰E+۹	۲۶۵۱۷۰.۷۹	۲۳۰.۹۲	۵.۶۶۸۰۹۲E+۹	۲۸۲۹۶۷.۸۵	۲۳۱.۲۷			
	۰.۹	۵.۴۳۹۵۳۱E+۹	۳۰۳۹۶۸.۲۵	۲۳۸.۳۹	۵.۹۱۱۷۶۷E+۹	۳۲۱۰۱۵.۲۰	۲۴۰.۵۲			

جدول ۹. مقایسه‌ی مدل پیشنهادی و مدل بیشینه‌سازی سود.

	D		LAM		UAM	
	PM	SM	PM	SM	PM	SM
z_1	۳.۲۱۴۹۴۵E+۹	۳.۲۱۰۷۰۰E+۹	۲.۷۶۶۵۳۶E+۹	۲.۷۳۳۹۱۲E+۹	۳.۲۱۴۹۷۱E+۹	۳.۲۱۰۷۵۲E+۹
z_2	۲۹۷۰۹۵.۴۳۱	۱۲۸۸۵۱.۳۵۲	۲۷۸۹۳۵.۱۴۹	۹۸۷۳۲.۵۹۵	۲۶۴۱۶۵.۸۲۷	۱۱۷۲۱۰.۹۷۳
z_3	۳۷.۳۲۱	۷۲.۹۲۷	۳۴.۹۳۴	۷۱.۸۱۸	۳۷.۴۰۴	۷۴.۴۲۳
m_1	۱	۰.۹۹۹	۱	۰.۹۸۸	۱	۰.۹۸۷
m_2	۰.۶۰۵	۰.۸۲۹	۰.۵۹۲	۰.۸۵۶	۰.۶۳۹	۰.۸۶۳
m_3	۰.۴۲۳	۰.۸۲۶	۰.۴۴۸	۰.۹۲۱	۰.۴۵۱	۰.۸۷۷

جدول ۱۰. تأثیر φ بر توابع هدف.

φ	D			LAM			UAM		
	m_1	m_2	m_3	m_1	m_2	m_3	m_1	m_2	m_3
۰	۰.۹۹۹	۰.۸۲۹	۰.۸۲۶	۰.۹۸۸	۰.۸۵۶	۰.۹۲۱	۰.۹۹۹	۰.۸۴۰	۰.۸۹۸
۰.۱	۰.۹۹۹	۰.۸۲۹	۰.۸۲۶	۰.۹۸۸	۰.۸۵۶	۰.۹۲۱	۰.۹۹۹	۰.۸۴۰	۰.۸۹۸
۰.۲	۰.۹۹۹	۰.۸۲۹	۰.۸۲۶	۰.۹۸۸	۰.۸۵۶	۰.۹۲۱	۰.۹۸۷	۰.۸۶۳	۰.۸۷۷
۰.۳	۰.۹۹۹	۰.۸۲۹	۰.۸۲۶	۰.۹۸۸	۰.۸۵۶	۰.۹۲۱	۰.۹۸۷	۰.۸۶۳	۰.۸۷۷
۰.۴	۰.۹۹۹	۰.۸۲۹	۰.۸۲۶	۰.۹۸۸	۰.۸۵۶	۰.۹۲۱	۰.۹۸۷	۰.۸۶۳	۰.۸۷۷
۰.۵	۰.۹۹۹	۰.۸۲۹	۰.۸۲۶	۰.۹۸۸	۰.۸۵۶	۰.۹۲۱	۰.۹۸۷	۰.۸۶۳	۰.۸۷۷
۰.۶	۰.۹۱۰	۰.۸۴۹	۰.۸۸۳	۰.۹۸۸	۰.۸۵۶	۰.۹۲۱	۰.۹۸۷	۰.۸۶۳	۰.۸۷۷
۰.۷	۰.۸۶۸	۰.۸۶۱	۰.۸۷۳	۰.۹۲۰	۰.۸۷۹	۰.۸۸۶	۰.۹۸۷	۰.۸۶۳	۰.۸۷۷
۰.۸	۰.۸۶۸	۰.۸۶۱	۰.۸۷۳	۰.۹۲۰	۰.۸۷۹	۰.۸۸۶	۰.۸۷۷	۰.۸۷۷	۰.۸۸۰
۰.۹	۰.۸۶۸	۰.۸۶۱	۰.۸۷۳	۰.۹۲۰	۰.۸۷۹	۰.۸۸۶	۰.۸۷۷	۰.۸۷۷	۰.۸۸۰
۱	۰.۸۶۸	۰.۸۶۱	۰.۸۶۵	۰.۸۹۲	۰.۸۷۹	۰.۸۷۹	۰.۸۷۷	۰.۸۷۷	۰.۸۸۰

جدول ۱۱. تأثیر ir بر توابع هدف.

ir	D			LAM			۱۱۱۱ UAM		
	z_1	z_2	z_3	z_1	z_2	z_3	z_1	z_2	z_3
٪۵	۳.۸۵۶۲۷۲E+۹	۱۲۲۸۶۲.۲۹۵	۷۴.۲۰۸	۳.۲۷۹۳۱۱E+۹	۹۸۷۳۲.۵۹۵	۷۱.۸۱۸	۳.۹۶۳۲۲۷E+۹	۱۱۷۲۱۰.۹۷۳	۷۴.۴۲۳
٪۱۰	۳.۲۱۰۷۰۰E+۹	۱۱۸۸۵۱.۳۵۲	۷۲.۹۲۷	۲.۷۳۳۹۱۲E+۹	۹۸۷۳۲.۵۹۵	۷۱.۸۱۸	۳.۲۱۰۷۵۲E+۹	۱۱۷۲۱۰.۹۷۳	۷۴.۴۲۳
٪۱۵	۲.۴۷۵۴۲۰E+۹	۱۱۳۱۰۲.۴۷۰	۷۱.۹۱۳	۲.۳۲۸۰۲۷E+۹	۹۷۹۷۱.۴۴۵	۷۰.۴۲۱	۲.۶۷۷۸۹۴E+۹	۹۶۷۹۵.۵۵۰	۷۱.۳۰۹
٪۲۰	۲.۱۲۱۰۰۱E+۹	۱۱۳۱۰۲.۴۷۰	۷۱.۹۱۳	۲.۰۰۰۷۳۵E+۹	۹۷۹۷۱.۴۴۵	۷۰.۴۲۱	۲.۲۸۵۴۱۶E+۹	۹۶۷۹۵.۵۵۰	۷۱.۳۰۹
٪۲۵	۱.۸۱۵۰۵۵E+۹	۱۰۷۰۷۱.۸۶۰	۷۰.۹۵۳	۱.۷۳۵۹۸۰E+۹	۹۷۹۷۱.۴۴۵	۷۰.۴۲۱	۱.۹۷۸۷۱۹E+۹	۹۳۹۷۷.۵۹۰	۷۰.۳۹۳

جدول ۱۲. تأثیر ماشین ـ ساعت در دسترس بر توابع هدف.

%	D			LAM			UAM		
	z_1	z_2	z_3	z_1	z_2	z_3	z_1	z_2	z_3
-۲۰	۲.۸۶۰۲۷۹E+۹	۱۰۴۸۶۵.۸۱۲	۷۲.۳۴۳	۲.۴۵۶۹۱۲E+۹	۷۷۰۹۱.۰۷۳	۶۷.۰۵۷	۲.۹۰۶۸۸۱E+۹	۱۰۹۶۹۶.۸۲۶	۷۳.۶۰۵
-۱۰	۲.۹۰۶۸۷۸E+۹	۱۲۰۵۶۷.۸۷۴	۷۲.۵۷۰	۲.۵۴۶۳۳۷E+۹	۸۲۹۸۸.۸۳۵	۶۹.۱۲۳	۲.۹۹۴۵۱۷E+۹	۱۱۰۲۳۴.۷۲۳	۷۴.۰۵۱
۰	۳.۲۱۰۷۰۰E+۹	۱۲۸۸۵۱.۳۵۲	۷۲.۹۲۷	۲.۷۳۳۹۱۲E+۹	۹۸۷۳۲.۵۹۵	۷۱.۸۱۸	۳.۲۱۰۷۵۲E+۹	۱۱۷۲۱۰.۹۷۳	۷۴.۴۲۳
+۱۰	۳.۲۳۱۶۵۷E+۹	۱۲۹۷۶۱.۱۸۷	۷۳.۴۲۲	۲.۸۱۶۶۹۱E+۹	۱۱۶۴۵۳.۷۶۱	۷۵.۲۸۵	۳.۲۳۹۷۱۲E+۹	۱۱۸۹۲۱.۱۸۸	۷۵.۶۳۴
+۲۰	۳.۲۵۴۷۴۶E+۹	۱۳۱۲۷۵.۸۹۴	۷۷.۰۷۵	۲.۸۴۴۰۱۷E+۹	۱۱۷۰۶۵.۶۶۶	۷۷.۶۱۷	۳.۲۵۴۷۵۷E+۹	۱۱۹۳۷۹.۵۹۴	۷۷.۷۷۳

۴.۷. تأثیر حداکثر نفر ـ ساعت در دسترس بر توابع هدف

تأثیر حداکثر نفر ـ ساعت در دسترس در جدول ۱۳ نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود با افزایش حداکثر ـ نفر ساعت در دسترس، نیروی انسانی مورد نیاز برای انجام پروژه‌ها در زمان کوتاه‌تری تأمین می‌شود و پروژه‌ها زودتر به سودآوری می‌رسند.

همچنین با افزایش حداکثر نفر ـ ساعت در دسترس نسبت به حالت پایه، چون سودآوری افزایش می‌یابد، تأثیر اقتصادی پروژه بر منطقه و همچنین تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده بیشتر شده و در نتیجه تابع هدف اجتماعی نسبت به حالت

جدول ۱۳. تأثیر نفر ـ ساعت در دسترس بر توابع هدف.

%	D			LAM			UAM		
	z_1	z_2	z_3	z_1	z_2	z_3	z_1	z_2	z_3
-۲۰	۲.۶۷۸۱۴۲E+۹	۱۱۱۷۴۹.۶۹۳	۷۰.۹۷۴	۲.۵۲۴۳۸۶E+۹	۹۴۷۷۸.۳۰۰	۷۱.۲۶۹	۲.۷۰۵۹۱۹E+۹	۱۰۴۲۷۱.۲۵۴	۷۱.۶۷۸
-۱۰	۲.۸۱۶۷۱۹E+۹	۱۲۶۶۹۹.۷۷۴	۷۱.۸۹۱	۲.۶۷۱۸۲۸E+۹	۹۷۱۲۶.۱۲۴	۷۱.۵۴۷	۲.۸۱۶۷۲۳E+۹	۱۱۵۳۹۱.۹۹۶	۷۲.۲۸۵
۰	۳.۲۱۰۷۰۰E+۹	۱۲۸۸۵۱.۳۵۲	۷۲.۹۲۷	۲.۷۳۳۹۱۲E+۹	۹۸۷۳۲.۵۹۵	۷۱.۸۱۸	۳.۲۱۰۷۵۲E+۹	۱۱۷۲۱۰.۹۷۳	۷۴.۴۲۳
+۱۰	۳.۲۳۰۸۵۷E+۹	۱۲۹۶۸۷.۱۷۳	۷۹.۴۰۹	۲.۹۹۴۵۲۲E+۹	۱۰۰۲۵۱.۱۷۶	۷۴.۶۵۱	۳.۳۵۱۸۸۷E+۹	۱۱۷۸۷۹.۹۵۸	۷۹.۰۶۰
+۲۰	۳.۲۸۸۰۲۰E+۹	۱۳۰۴۸۶.۷۳۴	۷۹.۵۰۸	۳.۱۷۸۶۸۵E+۹	۱۱۱۱۵۵.۳۷۱	۷۶.۶۶۱	۳.۳۸۰۳۶۱E+۹	۱۱۸۲۵۸.۲۳۶	۷۹.۷۸۶

پایه افزایش می‌یابد. با افزایش نفر ـ ساعت در دسترس، چون پروژه‌های بیشتری انتخاب می‌شود، میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌یی افزایش و تابع هدف زیست‌محیطی رشد صعودی خواهد داشت.

۸. نتیجه‌گیری

در این نوشتار، مسئله‌ی برنامه‌ریزی چندهدفه انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری با در نظرگرفتن محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر نیروی انسانی، ماشین‌آلات و مواد مصرفی ارائه شد. برای انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری علاوه بر تابع هدف اقتصادی که سود حاصل از اجرای پروژه‌ها را بیشینه می‌کند، اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی نیز در نظرگرفته شد. بر اساس بعد زیست‌محیطی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌یی، میزان مصرف انرژی برای تأمین مواد اولیه‌ی موردنیاز و میزان پسماندهای تولید شده کمینه شد. بر اساس بعد اجتماعی نیز تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده با انتخاب پروژه‌ها، تعداد افراد تحت پوشش بیمه، رضایت شغلی کارکنان در نتیجه ارائه‌ی خدمات رفاهی، تأثیر پروژه بر اقتصاد منطقه بیشینه و تعداد روزهای کاری از دست رفته کمینه شد. مدل پیشنهادی به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چنددوره‌یی در نظرگرفته شد. همچنین ظرفیت تأمین‌کنندگان برای تأمین مواد اولیه‌ی مورد نیاز پروژه‌ها و هزینه‌های خرید و سفارش‌دهی مواد اولیه در نظرگرفته شد. نظر به این که در دنیای واقعی، بسیاری از پارامترها ماهیت غیرقطعی و تصادفی دارند، عدم قطعیت پارامترها نیز در نظرگرفته شد. برای تبدیل مدل غیرقطعی به مدل معادل قطعی، از رویکرد برنامه‌ریزی فازی امکانی مبتنی بر معیار Me استفاده شد و دو مدل LAM و UAM توسعه داده شد. برای بررسی کارایی مدل پیشنهادی، مثال‌های عددی متفاوتی در نظرگرفته شد و نتایج بر اساس توابع هدف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ارائه شد. در پایان، تحلیل حساسیت پارامترهای کلیدی ارائه شد. بر اساس نتایج عددی می‌توان بیان کرد که مدل ریاضی ارائه شده ابزاری مناسب برای تصمیم‌گیری درخصوص ارزیابی و انتخاب پروژه‌ها در اختیار مدیران ارشد سازمان‌ها قرار می‌دهد و آن‌ها را قادر می‌سازد تا با انتخاب بهترین مجموعه از پروژه‌ها بالاترین سود را کسب کنند و بر این اساس موقعیت رقابتی خود را تحت‌الشعاع قرار دهند. با توجه به این که مدل UAM بر اساس دیدگاه خوش‌بینانه شکل گرفته است، سود حاصل از اجرای پروژه‌ها در اکثر مثال‌های عددی در مدل UAM بیشتر از LAM و حالت قطعی است. در مدل UAM، تعداد پروژه‌های بیشتری انتخاب می‌شود، بنابراین همان‌طور که سود آن بیشتر است، مقادیر انرژی بیشتری مصرف و مقادیر گازهای گلخانه‌یی بیشتری منتشر خواهد شد، پس تابع هدف زیست‌محیطی نیز در مدل UAM در اکثر مثال های عددی بیشتر از مدل LAM است. همچنین مدل UAM، در اکثر مثال‌های عددی تابع هدف اجتماعی بیشتری نسبت به مدل LAM و مدل قطعی دارد. بر اساس نتایج عددی می‌توان بیان کرد که در نظرگرفتن اهداف توسعه‌ی پایدار باعث بهبود چشم‌گیر ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی پایداری خواهد شد، بدون آن که تأثیر قابل توجهی بر سود اجرای پروژه داشته باشد. نتایج این پژوهش مشخص می‌کند که در صورت وجود عدم‌قطعیت در پارامترهای مدل، نمی‌توان آن‌ها را نادیده گرفت؛ زیرا سودآوری سرمایه‌گذار به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد و میزان سود کم‌تر و یا بیشتر از مقدار واقعی خواهد بود. نرخ تنزیل از تأثیرگذارترین پارامترها در سرمایه‌گذاری است و با در نظرگرفتن آن ممکن است یک پروژه‌ی اقتصادی، غیراقتصادی تلقی شود. بنابراین باید مقدار دقیق آن با توجه به نوع پروژه تعیین شود تا سرمایه‌گذار بتواند پروژه‌های سودآور در کوتاه‌ترین زمان ممکن را انتخاب کند. به طور کلی با افزایش حداکثر ماشین ـ ساعت و حداکثر نفر ـ ساعت در دسترس انجام پروژه‌های سرمایه‌گذاری در مدت زمان کم‌تری میسر می‌شود و بر اساس آن سود حاصل از اجرای پروژه‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین، برای طراحی یک مدل انتخاب پروژه‌ی کارا، ضروری است که محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر برای اجرای پروژه‌ها در نظرگرفته شود تا تخمین دقیقی از سود اجرای پروژه‌ها به دست آید.

با توجه به مدل پیشنهادی در این نوشتار، جهت‌های تحقیقات آتی برای محققین حوزه‌ی سرمایه‌گذاری و مدیریت پروژه به شرح ذیل پیشنهاد شده است.

در مدل پیشنهادی، حداکثر ماشین ـ ساعت و نفر ـ ساعت در دسترس در هر دوره‌ی زمانی به‌عنوان یک پارامتر در نظرگرفته شده است. برای تحقیقات آتی بسیار جالب خواهد بود که این پارامترها به‌عنوان متغیرهای تصمیم در نظرگرفته شود. در مدل پیشنهادی می‌توان تأثیر وام و سایر منابع تأمین‌مالی را برای اجرای پروژه‌ها در نظرگرفت. در این نوشتار، برای برخورد با عدم‌قطعیت از برنامه‌ریزی فازی امکانی استفاده شد. برای تحقیقات آتی می‌توان از رویکردهای دیگر نظیر بهینه‌سازی استوار و برنامه‌ریزی تصادفی برای برخورد با عدم‌قطعیت استفاده کرد و نتایج را با رویکرد برنامه‌ریزی فازی امکانی مقایسه کرد.

منابع (References)

1. Liu, M. and Gao, Y. "An algorithm for portfolio selection in a frictional market", *Applied Mathematical Computing*, **182**(2), pp. 1629-1638 (2006).
2. Bilbao-Terol, A., Pérez- Gladish, B. and Antomil-lbias, J. "Selecting the optimum portfolio using fuzzy compromise programming and Sharpe's single-index Model", *Applied Mathematical Computing*, **182**, pp. 644-664 (2006).
3. Golmakani, H.R. and Fazel, M. "Constrained portfolio selection using particle swarm optimization", *Expert System with Applications*, **38**(7), pp. 8327-8335 (2011).
4. Chen, J.X. and Chen, J. "Supply chain carbon footprinting and responsibility allocation under emission regulations", *Environmental Management*, **188**, pp. 255-267 (2017).
5. Perdan, S. and Azapagic, A. "Carbon trading: current schemes and future developments", *Energy Policy*, **39**(10), pp. 6040-6054 (2011).
6. Sahebjamnia, N., Fathollahi-Fard. A.M. and Hajiaghaei-Keshteli, M. "Sustainable tire closed-loop supply chain network design: hybrid meta-heuristic algorithms for large-scale networks", *Journal of Cleaner Production*, **196**, pp. 273-296 (2018).
7. Taleizadeh, A.A., Haghighi, F. and Niaki, S.T.A. "Modeling and solving a sustainable closed loop supply chain problem with pricing decisions and discounts on returned products", *Journal of Cleaner Production*, **207**, pp. 163-181 (2019).
8. Rohmer, S.U.K., Gerdessen, J.C. and Claassen, G.D.H. "Sustainable supply chain design in the food system with dietary considerations: a multi-objective analysis", *European Journal of Operational Research*, **273**(3), pp. 1149-1164 (2019).
9. Ben-Tal, A. and Nemirovski, A. "Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data", *Mathematical programming*, **88**(3), pp. 411-424 (2000).
10. EIA, Rabbani, M., Bajestani, M.A. and Khoshkhou, G.B. "A multi-objective particle swarm optimization for project selection problem", *Expert Systems with Applications*, **37**(1), pp. 315-321 (2010).
11. Khalili-Damghani, K., Tavana, M. and Sadi-Nezhad, S. "An integrated multi-objective framework for solving multi-period project selection problems", *Applied Mathematics and Computation*, **219**(6), pp. 3122-3138 (2012).
12. Zaraket, F., Olleik, M. and Yassine, A. "Skill-based framework for optimal software project selection and resource allocation", *European Journal of Operational Research*, **234**, pp. 308-318 (2014).
13. Tofighian, A.A. and Naderi, B. "Modeling and solving the project selection and scheduling", *Computers & Industrial Engineering*, **83**, pp. 30-38 (2015).
14. Tang, B., Zhou, H. and Cao, H. "Selection of overseas oil and gas projects under low oil price", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **156**, pp. 160-166 (2017).
15. Shariatmadari, M., Nahavandi, N., Zegordi, S.H. and et al. "Integrated resource management for simultaneous project selection and scheduling", *Computers & Industrial Engineering*, **109**, pp. 39-47 (2017).
16. Kumar, M., Mittal, M.L., Soni, G. and et al. "A hybrid TLBO-TS algorithm for integrated selection and scheduling of projects", *Computers & Industrial Engineering*, **119**, pp. 121-130 (2018).
17. Shafahi, A. and Haghani, A. "Project selection and scheduling for phase-able projects with interdependencies among phases", *Automation in Construction*, **93**, pp. 47-62 (2018).
18. Miralinaghi, M., Seilabi, S.E., Chen, S. and et al. "Optimizing the selection and scheduling of multi-class projects using a stackelberg framework", *European Journal of Operational Research*, **286**(2), pp. 508-522 (2020).
19. Abbasi, D., Ashrafi, M. and Ghodsypour, S.H. "A multi objective-BSC model for new product development project portfolio selection", *Expert Systems with Applications*, **162**, 113757 (2020).
20. Tavana, M., Khosrojerdi, G., Mina, H. and et al. "A new dynamic two-stage mathematical programming model under uncertainty for project evaluation and selection", *Computers & Industrial Engineering*, **149**, 106795 (2020).
21. Shakhsi-Niaei, M., Torabi, S.A. and Iranmanesh, S.H. "A comprehensive framework for project selection problem under uncertainty and real-world constraints", *Computers & Industrial Engineering*, **61**, pp. 226-237 (2011).
22. Khalili-Damghani, K., Sadi-Nezhad, S. and Tavana, M. "Solving multi-period project selection problems with fuzzy goal programming based on TOPSIS and a fuzzy preference relation", *Information Sciences*, **252**, pp. 42-61 (2013).
23. Huang, X. and Zhao, T. "Project selection and scheduling with uncertain net income and investment cost", *Applied Mathematics and Computation*, **247**, pp. 61-71 (2014).
24. Huang, X., Xiang, L. and Islam, S.M.N. "Optimal project adjustment and selection", *Economic Modelling*, **36**, pp. 391-397 (2014).
25. Shafahi, A. and Haghani, A. "Modeling contractors' project selection and markup Decisions influenced by eminence", *International Journal of Project Management*, **32**, pp. 1481-1493 (2014).
26. Huang, X., Zhao, T. and Kudratova, S. "Uncertain mean-variance and mean-semivariance models for optimal project selection and scheduling", *Knowledge-Based Systems*, **93**, pp. 1-11 (2016).
27. Amirian, H. and Sahraeian, R. "Solving a grey project selection scheduling using a simulated shuffled frog leaping algorithm", *Computers & Industrial Engineering*, **107**, pp. 141-149 (2017).
28. Mavrotas, G. and Makryvelios, E. "Combining multiple criteria analysis, mathematical programming and monte carlo simulation to tackle uncertainty in research and development project portfolio selection: a case study from greece", *European Journal of Operational Research*, **291**, pp. 794-806 (2021).

29. Zolfaghari, S. and Mousavi, S.M. "A novel mathematical programming model for multi-mode project portfolio selection and scheduling with flexible resources and due dates under interval-valued fuzzy random uncertainty", *Expert Systems with Applications*, **182**, 115207 (2021).

30. Hamidi Hesarsorkh, A., Ashayeri, J. and Bonyadi Naeini, A. "Pharmaceutical R& D project portfolio selection and scheduling under uncertainty: a robust possibilistic optimization approach", *Computers & Industrial Engineering*, **155**, 107114 (2021).

31. Habibi, F., Barzinpour, F. and Sadjadi, S.F. "A mathematical model for project scheduling and material ordering problem with sustainability considerations: a case study in Iran", *Computers & Industrial Engineering*, **128**, pp. 690-710 (2019).

32. RezaHoseini, A., Ghannadpour, S.F. and Hemmati, M. "A comprehensive mathematical model for resource-constrained multi-objective project portfolio selection and scheduling considering sustainability and projects splitting", *Journal of Cleaner Production*, 122073 (2020).

33. Zhang, S., Liu, L., Zhang, L. and et al. "An optimization model for carbon capture utilization and storage supply chain: a case study in Northeastern China", *Applied Energy*, **231**, pp. 194-206 (2018).

34. Mirhosseini, M., Sharifi, F. and Sedaghat, A. "Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**(1), pp. 449-459 (2011).

35. Brink, J. and Marx, S. "Harvesting of hartbeespoort dam micro-algal biomass through sand filtration and solar drying", *Fuel*, **106**, pp. 67-71 (2013).

36. GRI, Sustainability Reporting Guidelines (2016).

37. Pishvaee, M.S., Rabbani, M. and Torabi, S.A. "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty", *Applied Mathematical Modelling*, **35**, pp. 637-649 (2011).

38. Zarrinpoor, N., Fallahnezhad, MS. and Pishvaee, MS. "The design of a reliable and robust hierarchical health service network using an accelerated benders decomposition algorithm", *European Journal of Operational Research*, **265**(3), pp. 1013-1032 (2018).

39. Xu, J. and Zhou, X. "Approximation based fuzzy multi-objective models with expected objectives and chance constraints: application to earth-rock work allocation", *Information Science*, **238**, pp. 75-95 (2013).

40. Rezaei, J. "Best-worst multi-criteria decision-making method", *Omega*, **53**, pp. 49-57 (2015).

41. Omrani, H., Amini, M. and Alizadeh, A. "An integrated group best-Worst method - data envelopment analysis approach for evaluating road safety: a case of Iran", *Measurement*, **152**, 107330 (2020).

42. Torabi, S.A. and Hassini, E. "An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning", *Fuzzy Sets and Systems*, **159**, pp. 193-214 (2008).