چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال هشتم، شماره ۳۲، زمستان ۱۳۹۷
شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۳۲ – ۹

مدل چندهدفه یکپارچه برای انتخاب سبد پروژه‌ها و برنامه‌ریزی اقدامات پاسخ به ریسک

قاسم مختاری*، یونس حسن‌زاده**

چکیده

انتخاب سبد پروژه‌ای که از نظر ریسک متوازن باشد و انتخاب اقداماتی برای کاهش ریسک پروژه‌ها، مسائلی هستند که به‌طور جداگانه موردتوجه پژوهشگران بوده‌اند. در این پژوهش، یک مدل ریاضی یکپارچه برای دو مسئله بالا ارائه شده است. وضعیتی موردتوجه است که در مرحله انتخاب سبد پروژه، برخی از پروژه‌های پیشنهادی با ریسک‌هایی مواجه هستند و می‌توان اقداماتی را برای کاهش این ریسک‌ها برنامه‌ریزی کرد. با توجه به اینکه انجام این پاسخ‌ها مستلزم صرف منابع است و اجرای آن‌ها ریسک سبد پروژه را تغییر می‌دهد، ضروری است انتخاب پاسخ‌ها و تأثیر آن‌ها بر ریسک سبد پروژه در همان مرحله انتخاب پروژه مدنظر قرار گیرد. یک مدل ریاضی دوهدفه پیشنهاد شده است که هدف اول آن حداکثرسازی سود ناشی از پروژه‌های منتخب و هدف دوم آن کمینه‌کردن ریسک سبد پروژه است. شاخص اندازه‌گیری ریسک سبد، واریانس سود آن است. با یک مثال عددی، نحوه کاربرد مدل و تفاوت رویکردهای یکپارچه و غیریکپارچه، نشان داده شده و برای حل مدل، از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) استفاده شده است.

کلیدواژه‌ها: انتخاب سبد پروژه؛ استراتژی پاسخ به ریسک؛ برنامه‌ریزی چندهدفه؛ الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGAII)؛ مدیریت سبد پروژه.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۱۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۰.

* استادیار، دانشگاه قم (نویسنده مسئول).

E-mail: g.mokhtari@qom.ac.ir

** کارشناسی ارشد، دانشگاه قم.

۱. مقدمه

مدیریت سبد پروژه‌ها دارای دو گروه فرآیند است: انتخاب و برنامه‌ریزی پروژه‌های درست و انجام درست آن پروژه‌ها. در فرآیند نخست، مجموعه‌ای متوازن از پروژه‌ها انتخاب و برنامه‌ریزی می‌شوند. یکی از معیارهای شناخته‌شده برای متوازن‌بودن سبد پروژه‌ها، ریسک است. برخی از پژوهش‌هایی که از برنامه‌ریزی ریاضی برای انتخاب سبد پروژه استفاده می‌کنند، یکی از توابع هدف خود را حداقل‌سازی ریسک سبد پروژه‌ها در نظر می‌گیرند [۱۶، ۱۱]؛ البته ممکن است بین سطح ریسک سبد و اهدافی همچون سودآوری و بازگشت سرمایه، تضاد وجود داشته باشد. در این موارد، بسته به سطح ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده، باید بین سودآوری و ریسک توازن برقرار شود. شناسایی ریسک‌ها، ارزیابی اثرات آن‌ها و برنامه‌ریزی پاسخ به آن‌ها، سه فرآیند اصلی در مدیریت ریسک پروژه است [۱۵]. برای اولویت‌بندی و انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک‌ها، روش‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری متعددی ارائه شده است. هدف این مدل‌ها، انتخاب مجموعه‌ای از پاسخ‌ها است که با توجه به محدودیت منابع دردسترس، بیشترین تأثیر را در کاهش سطح ریسک پروژه داشته باشند [۱، ۲۵، ۲۶].

تاکنون انتخاب و برنامه‌ریزی پروژه‌ها و انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک‌ها، به‌طور جداگانه تحلیل شده‌اند. در پژوهش حاضر مدلی یکپارچه برای تصمیم‌گیری در مورد این دو مسئله ارائه می‌شود. وضعیتی موردتوجه است که تعدادی پروژه پیشنهادی وجود دارد که با برخی ریسک‌ها مواجه هستند؛ اما می‌توان اقداماتی را برای کاهش این ریسک‌ها برنامه‌ریزی کرد. با توجه به اینکه انجام این پاسخ‌ها مستلزم صرف منابع است و اجرای آن‌ها ریسک سبد پروژه را تغییر می‌دهد، باید این پاسخ‌ها و تأثیر آن‌ها بر ریسک سبد پروژه را در همان مرحله انتخاب پروژه مدنظر قرار داد. ممکن است یک پروژه با درنظرگرفتن ریسک‌ها انتخاب نشود؛ اما با درنظرگرفتن امکان پاسخ به ریسک‌ها و کاهش آن‌ها انتخاب شود.

اغلب مدل‌های انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک‌ها فرض می‌کنند بودجه مشخصی برای این منظور تخصیص یافته است و به‌دنبال انتخاب بهترین ترکیب از پاسخ‌ها هستند. اینکه میزان بودجه برای اقدامات پاسخ به ریسک‌ها چگونه تعیین می‌شود، چالشی است که این مدل‌ها درباره آن بحث نمی‌کنند. به‌طور ضمنی فرض بر این است که در یک سطح بالاتر تصمیم‌گیری، میزان بهینه بودجه برای کاهش ریسک‌ها تعیین شده است. تحلیل یکپارچه انتخاب پروژه و انتخاب پاسخ به ریسک‌ها این چالش را نخواهد داشت.

مدل ریاضی ارائه‌شده در این پژوهش دارای دو هدف است: هدف نخست حداکثرسازی سود و هدف دوم، حداقل‌کردن ریسک سبد است. مطالعه مبانی نظری سبد سهام نشان داد که ریسک به‌عنوان انحراف از میانگین بازدهی تعریف می‌شود؛ به تعبیر دیگر واریانس و انحراف استاندارد، شاخص‌های عددی برای اندازه‌گیری ریسک تلقی می‌شوند [۱۲]. در مدل پیشنهادی، واریانس

سود به‌عنوان معیار اندازه‌گیری ریسک سبد پروژه به‌کار رفت؛ بنابرین تابع هدف دوم به‌دنبال حداقل‌کردن واریانس سود سبد پروژه است. در ادامه در بخش دوم به مرور مبانی نظری موضوع پرداخته می‌شود. در بخش سوم تعریف مسئله و مدل پیشنهادی ارائه خواهد شد. در بخش چهارم، الگوریتمی برای حل مدل پیشنهاد شده و با یک مثال عددی، نحوه کاربرد مدل و تفاوت دو رویکرد یکپارچه و غیریکپارچه توضیح داده می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

دو مسئله انتخاب سبد پروژه و انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک، به‌صورت جداگانه توسط پژوهشگران بررسی شده‌اند.

پژوهش‌های مرتبط با مسئله انتخاب سبد پروژه. هایدنبرگر و استومر (۱۹۹۹)، روش‌های انتخاب پروژه را به شش طبقه تقسیم‌بندی کرده‌اند که برنامه‌ریزی ریاضی یکی از آن‌ها است [۸]. در این بخش مدل‌های ریاضی ارائه‌شده برای انتخاب پروژه، با تأکید بر مدل‌های چند هدفه، مرور خواهند شد.

قربانی و ربانی (۲۰۰۹)، یک مدل ریاضی چندهدفه برای مسئله انتخاب پروژه پیشنهاد کردند. هدف مدل آن‌ها تخصیص منابع به زیرمجموعه‌ای از پروژه‌ها و زمان‌بندی آن‌ها در دوره‌های زمانی دردسترس بود. توابع هدف آن‌ها حداکثرکردن کل منافع موردانتظار پروژه‌های انتخابی و حداقل‌کردن مجموع انحراف مطلق منابع اختصاص‌داده‌شده بین دو دوره زمانی متوالی است [۷]. ربانی و همکاران (۲۰۱۰)، یک مدل ریاضی چندهدفه برای انتخاب پروژه با درنظرگرفتن وابستگی میان پروژه‌ها ارائه کردند. سه هدف مدل آن‌ها حداکثرسازی کل منافع، حداقل‌سازی کل هزینه‌ها و حداقل‌سازی کل ریسک پروژه‌های پیشنهادی است [۱۶]. کروز و همکاران (۲۰۱۰)، یک مدل چندهدفه غیرخطی برای انتخاب و زمان‌بندی سبد پروژه‌ها ارائه کردند. آن‌ها در مدل خود انواع تعامل میان پروژه‌های کاندید، امکان انتقال منابع پولی مصرف‌نشده از یک دوره به دوره دیگر و همچنین دردسترس‌بودن منابع و دیگر ملاحظات استراتژیک یا سیاسی را در دوره‌های مختلف مدنظر قرار دادند [۳].

باهاتاچاریا (۲۰۱۱)، یک روش برنامه‌ریزی چندهدفه فازی برای تسهیل تصمیم‌گیری در انتخاب پروژه‌های پژوهشی ارائه کرد. پژوهش وی یک مسئله انتخاب سبد سه‌هدفه فازی را ارائه می‌دهد که درآمد را به حداکثر می‌رساند و هزینه‌ها و ریسک‌های مربوط به مسئله را تحت محدودیت‌های منابع، بودجه و وابستگی‌ها، حداقل می‌کند و در مورد اینکه چگونه این روش می‌تواند از ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتخاب بهینه پروژه‌های پژوهش و توسعه در محیط شرکتی استفاده شود، بحث می‌کند [۲].

خلیلی دامغانی و همکاران (۲۰۱۲)، یک چارچوب چندهدفه برای مسئله انتخاب پروژه چنددوره‌ای پیشنهاد کردند. آن‌ها یک مدل ریاضی چندهدفه برای انتخاب سبدی از پروژه‌های سرمایه‌گذاری مستقل ارائه دادند که شامل چهار هدف حداکثرکردن سود خالص پروژه‌های پیشنهادی، حداقل‌کردن کل هزینه پروژه‌های انتخابی، حداکثرکردن نرخ بازده داخلی پروژه‌های انتخابی و در نهایت، حداقل‌کردن کل منابع استفاده‌نشده بود [۱۰].

سلامی و همکاران (۲۰۱۲)، مسئله انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه در صنعت خودروسازی را با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی چند منظوره، مدلسازی کردند. حداقل کردن ریسک، یکی از آرمانهای مدل آنها است [۱۸]. ربیعه و فدایی (۲۰۱۴)، یک مدل سه هدفه استوار برای انتخاب پروژه‌های گازرسانی ارائه کردند [۱۷].

توفیقیان و نادری (۲۰۱۵)، مسئله یکپارچه انتخاب پروژه و زمان‌بندی دوهدفه را برای حداکثرکردن کل سود موردانتظار و حداقل‌کردن تغییرات استفاده از منابع در دوره‌های متوالی در نظر گرفتند که سود، وابسته به زمان است [۲۳].

سامرویل و همکاران (۲۰۱۵)، مسئله انتخاب و زمان‌بندی پروژه‌ها را با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه بررسی کردند. اهداف مدل آن‌ها حداکثرسازی کل سود به‌دست‌آمده از پروژه‌های انتخابی بود. آن‌ها در مدل خود، وابستگی منابع را در نظر گرفتند [۲۲].

معنوی‌زاده و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل ریاضی چندهدفه برای انتخاب پروژه ارائه دادند که سه هدف دارد: حداکثرسازی ازرش فعلی خالص، حداقل‌سازی ارزش در معرض ریسک (Value at risk) و حداقل‌سازی جریمه‌های مربوط به آسیب‌های محیطی. آن‌ها در پژوهش خود از مفهوم ارزش در معرض ریسک برای نخستین بار در مسائل انتخاب پروژه استفاده کردند و آن را به‌عنوان هدف در نظر گرفتند [۱۱].

کلاشنیکف و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل ریاضی عددصحیح مختلط چندهدفه برای انتخاب پروژه‌های شش سیگمای ناب (Lean Six Sigma) ارائه دادند که اهداف مدل آن‌ها عبارت‌اند از: حداکثرسازی کل منافع و حداقل‌سازی سختی اجرای پروژه‌های انتخاب‌شده [۹]. نورایی و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل سه هدفه برای انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه ارائه کردند که حداقل‌کردن ریسک سبد پروژه یکی از اهداف مدل آن‌ها است [۱۴].

پژوهش‌های مرتبط با انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک. در مسئله انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک، پژوهشگران ابزارها و رویکردهای متفاوتی را در انتخاب استراتژی پاسخ انتخاب کرده‌اند؛ اما به‌طورکلی رویکردهای موجود در این زمینه را می‌توان به چهار گروه زیر تقسیم‌بندی کرد [۲۵]:

- ✓ رویکرد منطقه‌ای (استفاده از ابزارهای نموداری)؛

- ✓ رویکرد مقایسه‌ای (استفاده از مفهوم مرز کارا یا مؤثر)؛
- ✓ رویکرد ساختار شکست کار؛
- ✓ رویکرد مدل بهینه‌سازی.

به‌دلیل گستردگی مطالب و قرابت با موضوع موردمطالعه در این پژوهش، از میان طبقه‌بندی یادشده تنها مبانی نظری رویکرد مدل بهینه‌سازی برای انتخاب استراتژی پاسخ به ریسک بررسی می‌شود.

دیوید و راز (۲۰۰۱)، مدلی ارائه دادند که کارها، رویدادهای ریسک، فعالیت‌های کاهش ریسک و اثرات آن‌ها را به‌صورت چارچوبی جامع ادغام می‌کند و هدف آن تولیدکردن بهترین ترکیب از فعالیت‌های کاهش ریسکی است که هزینه‌های کلی ریسک را کمینه کند [۱].

فان و همکاران (۲۰۰۸)، یک مدل تحلیلی ایجاد کردند که روابط ریاضی بین پارامترهای ریسک پروژه و هزینه‌های مدیریت رویداد را تعیین می‌کند. این مدل مدیران را در مرحله برنامه‌ریزی یک پروژه قادر می‌سازد تا یک استراتژی پاسخ به ریسک با حداقل هزینه را برای یک رویداد ریسک خاص انتخاب کنند [۵]. سیدحسینی و همکاران (۲۰۰۹)، روشی را مدل‌سازی کردند که مجموعه‌ای از استراتژی‌های پاسخی را انتخاب می‌کند که انحراف نامطلوب از اهداف پروژه را کمینه کند. در این پژوهش فرض بر آن است که محدوده پروژه به ۳ معیار کلیدی زمان، هزینه و کیفیت تقسیم می‌شود [۲۰].

رضایی‌نیک و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل بهینه‌سازی ارائه دادند که ساختار شکست کار پروژه، رویدادهای ریسک، پاسخ‌های ریسک و اثرات آن‌ها را به یک چارچوب عملی متصل می‌کند. این مدل آسیب موردانتظار کل را کاهش می‌دهد [۱۳]. ژانگ و فان (۲۰۱۴)، یک مدل بهینه‌سازی ارائه کردند که شامل سه عنصر مهم هزینه پروژه، زمان‌بندی پروژه و کیفیت پروژه است [۲۵]. فانگ و همکاران (۲۰۱۳)، چارچوبی پنج‌مرحله‌ای برای فرآیند برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک ارائه دادند. در مدل ارائه‌شده توسط آن‌ها، روابط متقابل ریسک‌ها مدل‌سازی شده و به‌صورت شبکه‌ای از ریسک‌ها ارائه شده است. آن‌ها در مدل خود تابع هدف را کمینه‌کردن زیان مالی موردانتظار کلی و یا ریسک کلی در نظر گرفتند [۶].

ژانگ (۲۰۱۶)، یک مدل بهینه‌سازی را برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ ریسک با درنظرگرفتن آسیب موردانتظار ریسک و وابستگی ریسک‌های پروژه پیشنهاد کرده است [۲۴]. صوفی‌فرد و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل ریاضی ارائه دادند که به انتخاب استراتژی‌های پاسخ می‌پردازد و تابع هدف را حداکثرسازی اثرات مطلوب موردانتظار از اجرای پاسخ‌های ریسک در نظر گرفتند. آن‌ها همچنین روابط بین پاسخ‌ها و ریسک‌های پروژه را موردبررسی قرار دادند و درنظرنگرفتن این روابط را باعث افزایش هزینه‌های پروژه و کاهش مطلوبیت موردانتظار تلقی کردند [۲۱].

ژانگ و گوان (۲۰۱۸)، یک مدل بهینه‌سازی فازی با هدف حداقل‌سازی هزینه به‌منظور انتخاب استراتژی‌های پیشگیرانه و حفاظتی برای کاهش ریسک‌ها ارائه دادند. آن‌ها برای این کار ابتدا با استفاده از نمودار پاپیونی (Bow-Tie)، عوامل ریسک و عواقب مربوط به ریسک‌های بحرانی را شناسایی کردند و سپس با استفاده از نظرهای کارشناسان، احتمال وقوع و اثر هر ریسک را برآورد کردند. درنهایت برای مقابله با آن‌ها استراتژی‌های پیشگیرانه و حفاظتی پیشنهاد کردند و هزینه و اثر هر پاسخ را موردارزیابی قرار دادند [۲۶].

۳. روش‌شناسی پژوهش

تعریف مسئله. مسئله اصلی موردتوجه در این پژوهش، انتخاب یک سبد پروژه متوازن از میان مجموعه‌ای از پروژه‌های پیشنهادی است. پروژه‌های متنخب باید در یک افق چنددوره‌ای برنامه‌ریزی شوند. با توجه به اینکه اجرای هر پروژه یک یا چند دوره زمانی به طول می‌انجامد، دوره شروع (و پایان) پروژه‌ها باید مشخص شود و تمام پروژه‌های انتخاب‌شده در افق برنامه‌ریزی تکمیل شوند. اجرای هر پروژه، سود مشخصی دارد.

پروژه‌ها با ریسک‌هایی مواجه هستند. وقوع ریسک‌ها اثر نامطلوبی بر منافع (سود) پروژه‌ها می‌گذارند. هر رویداد ریسک دارای دو مؤلفه احتمال وقوع و اثر است. هر ریسک می‌تواند بر یک یا چند پروژه اثر بگذارد.

با توجه به چنددوره‌ای‌بودن مسئله، فرض بر این است که هر ریسک در هر دوره، امکان وقوع دارد و وقوع یک ریسک در دوره‌های مختلف، رویدادهای تصادفی مستقل هستند. هر پروژه حداکثر یک بار تحت تأثیر یک ریسک خاص قرار می‌گیرد.

پس از شناسایی و ارزیابی ریسک‌های موجود، یک یا چند اقدام به‌عنوان پاسخ به ریسک‌ها، شناسایی می‌شوند. هر اقدام پاسخ به ریسک می‌تواند احتمال وقوع یک یا چند ریسک را کاهش دهد. اجرای هر استراتژی پاسخ به ریسک، مستلزم صرف منابع است.

اگر برای یک ریسک در یک دوره، پاسخی اجرا شود، این پاسخ بر احتمال وقوع آن ریسک در آن دوره و دوره‌های بعد اثر می‌گذارد؛ یعنی اثر یک پاسخ، در دوره‌های بعد از اجرای آن نیز حفظ می‌شود. اگر ریسکی وجود دارد که این فرض برای آن صادق نیست، آن ریسک در هر دوره، یک ریسک جدید و جداگانه تلقی می‌شود.

دو تابع هدف وجود دارد. تابع هدف نخست، سود موردانتظار از پروژه‌های انتخاب‌شده را به حداکثر می‌رساند و تابع هدف دوم به‌دنبال حداقل‌کردن واریانس سود پروژه‌ها است.

پروژه‌ها و پاسخ‌ها باید به‌گونه‌ای انتخاب و برنامه‌ریزی شوند که محدودیت منابع دردسترس رعایت شود. منابع دردسترس برای هر دوره مشخص است. یک مدل ریاضی عدد صحیح چندهدفه برای مسئله پیشنهاد شده است. مدل پیشنهادی، دو متغیر تصمیم اصلی دارد: متغیر

تصمیم اول (X_{it}) دوره شروع اجرای پروژه‌های انتخابی را مشخص کرده و متغیر تصمیم دوم، دوره اجرای اقدامات پاسخ به ریسک‌ها (y_{jt}) را تعیین می‌کند.

اندیس‌ها

$i = 1, 2, ..., N$: پروژه‌ها

$t = 1, 2, ..., T$: دوره‌های زمانی

$j = 1, 2, ..., M$: اقدامات پاسخ به ریسک

$d = 1, 2, ..., D$: انواع منبع موردنیاز برای اجرای پروژه‌ها و پاسخ‌ها

$s = 1, 2, ..., S$: شمارنده ریسک‌ها

k: شمارنده ترکیب‌های مختلف برای وقوع یا عدم‌وقوع هر یک از ریسک‌های مؤثر بر یک پروژه است. هر ریسک دو حالت دارد: وقوع یا عدم وقوع. اگر یک پروژه S ریسک داشته باشد 2^S حالت ممکن برای ریسک‌های مؤثر بر آن پروژه وجود دارد.

متغیرهای تصمیم

x_{it}: یک متغیر صفر و یک است. اگر پروژه iام در دوره tام شروع شود برابر ۱، در غیر این صورت صفر است.

y_{jt}: یک متغیر صفر و یک است. اگر پاسخ jام در دوره tام اجرا شود ۱، در غیر این صورت صفر است.

متغیرهای تصمیم کمکی

g_{it}: یک متغیر کمکی صفر و یک است. اگر پروژه iام در دوره tام در حال اجرا باشد ۱، در غیر این صورت صفر است.

$\bar{E}_{it}$: امید ریاضی ضرر ناشی از ریسک‌های مؤثر بر پروژه i است؛ در صورتی که پروژه i در دوره t شروع شود.

p_{st} : احتمال وقوع ریسک sام در دوره tام با توجه به وضعیت اجرای پاسخ‌ها

y'_{jt}: یک متغیر صفر و یک است که مشخص می‌کند آیا پاسخ jام تا دوره tام اجرا شده است یا خیر.

پارامترهای مدل

b_i: سود حاصل از اجرای پروژه i

h_i: دوره زمانی اجرای پروژه i

f_{id}: مقدار منبع مورد نیاز از نوع dام برای اجرای پروژه iام

c_j: هزینه اجرای jامین اقدام پاسخ به ریسک

r_{jd}: مقدار منبع مورد نیاز از نوع dام برای اجرای jامین اقدام پاسخ به ریسک

F_{td}: مقدار منبع dام که در دوره زمانی t دردسترس است.

v_e: مجموعه eام از پروژه‌های ناسازگار

U_i: مجموعه پروژه‌هایی که اجرای پروژه i مستلزم اجرای همه آن‌ها است.

L_i: مجموعه پروژه‌هایی که اجرای پروژه i وابسته به اجرای حداقل یکی از آن‌ها است.

e_k^i: اثر حالت kام از حالت‌های ممکن برای وقوع یا عدم‌وقوع ریسک‌های مؤثر بر پروژه iام

p_k^s : احتمال وقوع ریسک sام در حالتی که ترکیب kام پاسخ‌های مؤثر بر این ریسک، اجرا شده باشند.

S_i: مجموعه ریسک‌های مؤثر بر پروژه i

$S_{ii'}$: مجموعه ریسک‌هایی که دو پروژه وابسته i, i' تحت تأثیر آن‌ها قرار دارند.

J_s : مجموعه پاسخ‌های مؤثر بر ریسک s

a_{ks}^i: یک پارامتر صفر و یک است. درایه سطر kام از ستون sام در جدول ترکیب‌های ممکن از ریسک‌های مؤثر بر پروژه i

$a_{ks}^{ii'}$: یک پارامتر صفر و یک است. درایه سطر kام و ستون sام در جدول ترکیب‌های ممکن از ریسک‌های مؤثر بر دو پروژه وابسته i,i'

$e_{ki}^{ii'}$: اثر سطر kام از جدول ترکیب‌های ممکن از ریسک‌های مؤثر بر دو پروژه وابسته i,i' بر روی پروژه iام

m_{kj}^s: یک پارامتر صفر و یک است. درایه سطر kام از ستون jام در جدول ترکیب‌های ممکن از پاسخ‌های مؤثر بر ریسک s

برای توضیح پارامترهای a_{ks}^i و e_k^i فرض می‌شود پروژه ۴، متأثر از دو ریسک ۱ و ۲ است. حالت‌های ممکن ریسک‌ها و اثر هر حالت در جدول ۱، مشاهده می‌شود. برای هر ریسک دو حالت وجود دارد: وقوع ($a_{ks}^i=1$) و عدم‌وقوع ($a_{ks}^i=0$). چون وقوع ریسک‌ها مستقل از یکدیگر فرض شده است، احتمال وقوع هر سطر از جدول ۱، برابر با حاصل‌ضرب احتمال مربوط به وقوع/ عدم‌وقوع تک‌تک ریسک‌ها خواهد بود.

جدول ۱. مثال برای ترکیب‌های ممکن ریسک‌های مؤثر بر پروژه ۴

k	وقوع ریسک ۱ (a_{k1}^4)	وقوع ریسک ۲ (a_{k2}^4)	اثر وقوع ریسک‌ها روی پروژه ٤ (e_k^4)
۱	۱	۱	۱۰۰۰
۲	۱	۰	۴۰۰
۳	۰	۱	۶۰۰
۴	۰	۰	۰

برای توضیح پارامترهای $a_{ks}^{ii'}$ و $e_{ki'}^{ii'}$ فرض می‌شود در یک سبد پروژه، علاوه بر پروژه ۴ (ریسک‌های آن در جدول ۱ آمد) پروژه ۵ نیز وجود دارد که با دو ریسک ۲ و ۳، مواجه است. حالت‌های ممکن این ریسک‌ها و اثر آن‌ها بر پروژه ۵ در جدول ۲، مشاهده می‌شود.

جدول ۲. مثال برای ترکیب‌های ممکن ریسک‌های مؤثر بر پروژه ۵

k	وقوع ریسک ۲ (a_{k2}^5)	وقوع ریسک ۳ (a_{k3}^5)	اثر وقوع ریسک‌ها روی پروژه ۵ (e_k^5)
۱	۱	۱	۱۵۰۰
۲	۱	۰	۳۰۰
۳	۰	۱	۷۰۰
۴	۰	۰	۰

برای محاسبه کوواریانس سود دو پروژه ۴ و ۵ که متأثر از ریسک مشترک ۲ هستند، یک جدول جدید بر اساس جدول‌های ۱ و ۲، ساخته می‌شود که اجتماع ریسک‌های دو پروژه و اثرات آن‌ها بر دو پروژه را نشان می‌دهد (جدول ۳).

جدول ۳. مثال برای ترکیب‌های ممکن ریسک‌های دو پروژه ۴ و ۵

k	وقوع ریسک ۱ ($a_{k1}^{4,5}$)	وقوع ریسک ۲ ($a_{k2}^{4,5}$)	وقوع ریسک ۳ ($a_{k3}^{4,5}$)	اثر وقوع ریسک‌ها بر پروژه ٤ ($e_{k4}^{4,5}$)	اثر وقوع ریسک‌ها بر پروژه ۵ ($e_{k5}^{4,5}$)
۱	۱	۱	۱	۱۰۰۰	۱۵۰۰
۲	۱	۱	۰	۱۰۰۰	۳۰۰
۳	۱	۰	۱	۴۰۰	۷۰۰
۴	۱	۰	۰	۴۰۰	۰
۵	۰	۱	۱	۶۰۰	۱۵۰۰
۶	۰	۱	۰	۶۰۰	۳۰۰
۷	۰	۰	۱	۰	۷۰۰
۸	۰	۰	۰	۰	۰

برای توضیح پارامترهای p_k^s و m_{kj}^s فرض می‌شود برای ریسک ۳ دو پاسخ ۱ و ۲، مطرح است. حالت‌های ممکن پاسخ‌ها و احتمال وقوع ریسک ۳ در هر حالت در جدول ۴، ارائه شده است. برای هر پاسخ دو حالت وجود دارد: اجرا ($m_{kj}^s=1$) و عدم‌اجرا ($m_{kj}^s=0$). با مشخص‌شدن وضعیت اجرای پاسخ‌های ۱ و ۲، احتمال وقوع ریسک ۳ نیز معلوم خواهد شد.

جدول ۴. مثال برای ترکیب‌های ممکن پاسخ‌های مؤثر بر ریسک ۳

k	اجرای پاسخ ۱ (m_{k1}^3)	اجرای پاسخ ۲ (m_{k2}^3)	احتمال وقوع ریسک ۳ (p_k^3)
۱	۱	۱	۰/۰۳
۲	۱	۰	۰/۱۲
۳	۰	۱	۰/۱
۴	۰	۰	۰/۳

توابع هدف. تابع هدف اول، بیشینه‌سازی سود موردانتظار است که سه بخش دارد: بخش نخست، منافع موردانتظار از اجرای پروژه‌ها (بدون لحاظ کردن اثر ریسک‌ها) است؛ بخش دوم امید ریاضی ضرر ناشی از ریسک‌های مؤثر بر پروژه‌های منتخب را نشان می‌دهد و بخش سوم نمایانگر هزینه اجرای پاسخ‌های منتخب است؛ بنابراین تابع هدف اول را می‌توان به‌صورت رابطه ۱، نوشت:

$$Z_1=\sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}(b_i-\bar{E}_{it})x_{it}-\sum_{j}\sum_{t=1}^{T}c_{jt}y_{jt} \qquad (۱)$$

در عبارت بالا، $\bar{E}_{it}$ امید ریاضی ضرر ناشی از ریسک‌های مؤثر بر پروژه i در حالتی است که پروژه i در دوره t آغاز شود.

امید ریاضی یک متغیر تصادفی گسسته به‌صورت رابطه ۲، بیان می‌شود:

$$E(X)=\sum_{i=1}^{N}x_i\ p(x_i) \qquad (۲)$$

که در آن $p(x_i)$ احتمال وقوع x_i است؛ بنابراین $\bar{E}_{it}$ به‌صورت رابطه ۳، محاسبه می‌شود:

$$\bar{E}_{it}=\sum_{k=1}^{K}e_k^i.\left\{\prod_{s\in S_i}\left[a_{ks}^i.p_{st}+(1-a_{ks}^i)(1-p_{st})\right]\right\} \qquad (۳)$$

که در آن p_{st} احتمال وقوع ریسک sام در دوره tام با درنظرگرفتن وضعیت اجرای پاسخ‌ها است.

تابع هدف دوم به‌دنبال حداقل‌کردن واریانس سود پروژه‌ها است. واریانس سود سبد پروژه‌ها برابر با واریانس مجموع سود خالص ناشی از پروژه‌های انتخاب‌شده است. با توجه به وجود ریسک‌های مؤثر بر سود پروژه‌ها، سود خالص هر پروژه، یک متغیر تصادفی است؛ بنابراین واریانس سبد پروژه به‌صورت واریانس مجموع چند متغیر تصادفی قابل‌بیان است. واریانس مجموع دو متغیر تصادفی از مجموع واریانس آن‌ها به‌علاوه دو برابر کواریانس آن دو متغیر به‌دست می‌آید:

$$\mathrm{var}(X+Y)=\mathrm{var}(X)+\mathrm{var}(Y)+2\,\mathrm{cov}(X,Y) \qquad (۴)$$

اگر X متغیر تصادفی گسسته و μ امید ریاضی آن باشد، واریانس آن به‌صورت رابطه ۵، بیان می‌شود:

$$\mathrm{var}(X)=\sum_{i=1}^{N} p(x_i)(x_i-\mu)^2 \qquad (۵)$$

که در آن $\mathrm{p}(x_i)$، احتمال وقوع x_i است. اگر سود پروژه i با متغیر تصادفی B_i نشان داده شود، واریانس سود پروژه i را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$\begin{aligned}\mathrm{var}(B_i)&=\sum_{k=1}^{K}\Big[(\mathrm{b}_i-e_k^i)-\big(\mathrm{b}_i-\bar{E}_{it}\big)\Big]^2.\prod_{s\in S_i}\Big[a_{ks}^i.p_{st}+(1-a_{ks}^i)(1-p_{st})\Big]\\&=\sum_{k=1}^{K}\big(\bar{E}_{it}-e_k^i\big)^2.\prod_{s\in S_i}\Big[a_{ks}^i.p_{st}+(1-a_{ks}^i)(1-p_{st})\Big]\end{aligned} \qquad (۶)$$

رابطه ۶، واریانس سود یک پروژه را محاسبه می‌کند. برای محاسبه واریانس سود سبد پروژه باید کواریانس سود پروژه‌های وابسته را نیز حساب کرد. پروژه‌هایی که ریسک مشترک دارند و در یک دوره اجرا می‌شوند وابسته تلقی می‌شوند. اگر دو متغیر X و Y وابسته باشند، کوواریانس آن‌ها از رابطه ۷، به‌دست می‌آید:

$$\mathrm{cov}(X,Y)=E(XY)-E(X).E(Y) \qquad (۷)$$

برای دو پروژه i,i' که ریسک‌های مشترک دارند و هر دو در دوره t اجرا می‌شوند، سود آن‌ها مستقل نخواهد بود و کواریانس آن‌ها از رابطه ۸، به‌دست می‌آید:

$$\mathrm{cov}(B_i, B_{i'}) = E(B_i \times B_{i'}) - E(B_i).E(B_{i'}) \qquad (۸)$$

$$= \sum_{t=1}^{T}\left[\overbrace{\sum_{k=1}^{K}((b_i - e_{ki}^{ii'}).(b_{i'} - e_{ki'}^{ii'})\prod_{s\in S_{ii'}}(a_{ks}^{ii'}P_{st} + (1-a_{ks}^{ii'})(1-P_{st})))}^{1}\right. \qquad (۹)$$

$$\left. - \overbrace{E(B_{i'}).E(B_i)}^{2}\right] x_{it}x_{i't}$$

کواریانس دو پروژه i,i' که ریسک‌های مشترک دارند را می‌توان از طریق رابطه ۹، حساب کرد. فرض بر این است که وقتی یک ریسک در یک دوره‌ای رخ می‌دهد، فقط بر پروژه‌های شروع‌شده در آن دوره اثر می‌گذارد؛ بنابراین اگر دو پروژه که ریسک مشترک دارند در دوره‌های متفاوت اجرا شوند، مستقل تلقی می‌شوند و کوواریانس آن‌ها صفر است؛ به‌همین دلیل در تابع هدف دوم، کوواریانس برای پروژه‌های وابسته‌ای تعریف خواهد شد که در یک دوره شروع می‌شوند.

به‌طور خلاصه، تابع هدف دوم که همان حداقل‌کردن واریانس سود سبد پروژه است از رابطه ۱۰، به‌دست می‌آید:

$$Z_2 = \sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\left\{(\bar{E}_{it} - e_k^i)^2.\prod_{s\in S_i}\left[a_{ks}^i.p_{st} + (1-a_{ks}^i)(1-p_{st})\right]\right\}x_{it} + \qquad (۱۰)$$

$$+2\sum_{i}\sum_{i<i'}\sum_{t=1}^{T}\left[\sum_{k=1}^{K}((\mathrm{b}_i - e_{ki}^{ii'}).(\mathrm{b}_{i'} - e_{ki'}^{ii'})\prod_{s\in S_{ii'}}(a_{ks}^{ii'}P_{st} + (1-a_{ks}^{ii'})(1-P_{st}))) - \bar{E}_{it}\bar{E}_{i't}\right]x_{it}x_{i't}$$

رابطه ۱۰ از دو قسمت تشکیل شده است: قسمت نخست، مجموع واریانس سود تک‌تک پروژه‌ها است و قسمت دوم کواریانس پروژه‌های وابسته را محاسبه می‌کند.

محدودیت‌ها

$$\sum_{t=1}^{T} x_{it} \le 1 \qquad \forall i \tag{۱۱}$$

محدودیت ۱۱، اطمینان حاصل می‌کند که هر پروژه حداکثر می‌تواند در یک دوره زمانی شروع شود.

$$\sum_{t=1}^{T} y_{jt} \le 1 \qquad \forall i \tag{۱۲}$$

محدودیت ۱۲ تضمین می‌کند که هر استراتژی پاسخ حداکثر می‌تواند در یک دوره زمانی اجرا شود.

$$\overline{E}_{it} = \sum_{k=1}^{K} \mathrm{e}_k^i . \left\{ \prod_{s \in S_i} \left[a_{ks}^i . p_{st} + (1 - a_{ks}^i)(1 - p_{st}) \right] \right\} \tag{۱۳}$$

محدودیت ۱۳ امید ریاضی اثر ترکیب‌های ممکن از ریسک‌های مؤثر بر پروژه iام در دوره t را حساب می‌کند.

$$y'_{jt} = \sum_{v=1}^{t} y_{jv} \tag{۱۴}$$

$$p_{st} = \sum_{k=1}^{K} p_k^s . \left\{ \prod_{j \in J_s} \left[m_{kj}^s . y'_{jt} + (1 - m_{kj}^s)(1 - y'_{jt}) \right] \right\} \tag{۱۵}$$

محدودیت‌های ۱۴ و ۱۵، نشان می‌دهند که احتمال وقوع ریسک sام در دوره t تابعی از پاسخ‌های اجراشده تا دوره t است.

$$\sum_{i \in V_e} \sum_{t=1}^{T} x_{it} \le 1 \quad \forall \mathrm{e}=1,...,\mathrm{E} \tag{۱۶}$$

محدودیت ۱۶، مشخص می‌کند که حداکثر یک پروژه از هر مجموعه پروژه‌های ناسازگار انتخاب شده است.

$$|U_i| \sum_{t=1}^{T} x_{it} \le \sum_{q \in \mathrm{U}_i} \sum_{t=1}^{T} x_{qt} \tag{۱۷}$$

محدودیت ۱۷، وضعیتی را نشان می‌دهد که در آن پروژه i مشروط به اجرای تمام پروژه‌ها در مجموعه مشخص (U_i) است که |Ui| تعداد عناصر مجموعه U_i را نشان می‌دهد.

$$\sum_{t=1}^{T} x_{it} \le \sum_{q \in L_i} \sum_{t=1}^{T} x_{qt} \qquad (۱۸)$$

محدودیت ۱۸، تضمین می‌کند که اجرای یک پروژه معین i مشروط به اجرای حداقل یکی از پروژه‌ها در مجموعه مشخص (L_i) است.

$$\sum_{i=1}^{N} f_{id} x_{it} + \sum_{j=1}^{M} r_{jd} y_{jt} \le F_{td} \quad \forall d, \forall t \qquad (۱۹)$$

محدودیت ۱۹، اطمینان می‌دهد که منابع موردنیاز اجرای پروژه‌ها و استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌ها کمتر یا مساوی منابع دردسترس در آن دوره باشد.

$$\sum_{t=1}^{T} t.x_{it} + h_i \le T + 1 \quad \forall i \qquad (۲۰)$$

محدودیت ۲۰ تضمین می‌کند که همه پروژه‌های منتخب تا انتهای افق برنامه‌ریزی تمام شوند.

$$\left(\sum_{k=t}^{t+h_i-1} g_{ik} - h_i \right) x_{it} \ge 0 \quad \forall i,t, \quad t \le T\text{-}h_i + 1 \qquad (۲۱)$$

محدودیت ۲۱، نشان می‌دهد که اگر پروژه i در دوره t شروع شده باشد، g_{it}ها در آن دوره و $h_i - 1$ دوره بعد باید ۱ شود؛ یعنی می‌خواهد رابطه منطقی بین x_{it}ها و g_{it}ها برقرار کند.

$$x_{it}, y_{jt}, g_{it} \in \{0,1\} \qquad (۲۲)$$

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II). دب و همکاران (۲۰۰۲)، الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب را ارائه کردند. الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه‌ای که از مرتب‌سازی

نامغلوب استفاده نمی‌کنند، بیشتر به‌علت پیچیدگی محاسباتی، رویکرد غیرنخبه‌گرا و نیاز به تعیین پارامتر تسهیم، موردانتقاد قرار می‌گیرند [۴]. مراحل الگوریتم NSGA-II به شرح زیر است:

۱. ایجاد جمعیت اولیه؛

۲. محاسبه معیارهای برازندگی؛

۳. مرتب‌کردن جمعیت بر اساس شرط‌های غلبه‌کردن؛

۴. محاسبه فاصله ازدحامی؛

۵. انتخاب: به محض اینکه جمعیت اولیه بر اساس شرط‌های غلبه‌کردن مرتب شد، مقدار فاصله ازدحامی در آن محاسبه خواهد شد و انتخاب از میان جمعیت اولیه آغاز می‌شود. این انتخاب بر اساس دو ویژگی صورت می‌پذیرد:

– رتبه جمعیت: جمعیت‌ها در رتبه‌های پایین‌تر انتخاب می‌شوند؛

– محاسبه فاصله: با فرض اینکه p و q دو عضو از یک رتبه باشند، عضوی انتخاب می‌شود که فاصله ازدحامی بیشتری دارد. اولویت انتخاب، ابتدا با رتبه و سپس بر اساس فاصله ازدحامی است؛

۶. انجام تقاطع و جهش برای تولید فرزندان جدید؛

۷. تلفیق جمعیت اولیه و جمعیت به‌دست‌آمده از تقاطع و جهش؛

۸. جایگزین‌کردن جمعیت والدین با بهترین اعضای جمعیت تلفیق‌شده در مراحل قبل. در مرحله نخست، اعضای رتبه‌های پایین‌تر جایگزین والدهای قبلی شده و سپس بر اساس فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. جمعیت اولیه و جمعیت ناشی از تقاطع و جهش، ابتدا بر حسب رتبه دسته‌بندی می‌شوند و قسمتی از آن‌ها که دارای رتبه پایین‌تری هستند، حذف می‌گردند. در مرحله بعد، مرتب‌سازی جمعیت باقیمانده بر اساس فاصله ازدحامی صورت می‌گیرد. در اینجا مرتب‌سازی داخل یک جبهه انجام می‌شود.

۹. تمامی مراحل تا نسل (یا شرایط بهینگی) موردنظر تکرار می‌شوند.

نحوه نمایش جواب. در مدل مفروض، کروموزوم مسئله از دو ماتریس دوبُعدی تشکیل شده که مقادیر این ماتریس‌ها از نوع صفر و یک است و هر کدام از ماتریس‌ها یکی از متغیرهای تصمیم اصلی مسئله را نمایش می‌دهند. با مشخص‌شدن متغیرهای x و y، مقادیر سایر متغیرهای مدل قابل‌محاسبه خواهد بود.

ایجاد جمعیت اولیه. جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شود.

سازوکار انتخاب: چگونگی انتخاب کروموزوم‌ها را مشخص می‌کند. در این پژوهش روش مسابقه‌ای به‌کار رفته است.

عملگر تقاطع. این عملگر، دو کروموزوم را به‌عنوان والدین در نظر می‌گیرد و ژن‌های مشخصی از آن‌ها را با یکدیگر تعویض می‌کند؛ به این ترتیب، فرزندان جدید ایجاد می‌شود. هدف از این عملگر ایجاد نسل بهتر از یک مجموعه از بهترین‌های نسل پیشین است. در این پژوهش در طراحی الگوریتم ژنتیک چندهدفه، برای تولید فرزندان از دو نوع عملگر تقاطعی تک‌نقطه‌ای و یک‌نواخت استفاده شده است؛ به‌طوری که با احتمال ۵۰ درصد، تقاطع تک‌نقطه‌ای و با احتمال ۵۰ درصد، تقاطع یکنواخت انجام می‌دهد.

تقاطع یک‌نقطه‌ای: این عملگر دو کروموزوم را به‌طور تصادفی از یک نقطه می‌شکند و بخش‌های شکسته‌شده دو کروموزوم را جابه‌جا می‌کند.

تقاطع یکنواخت: هر سطر از ماتریس کدینگ هر فرزند، با احتمال ۵۰ درصد از والد اول و با احتمال ۵۰ درصد از والد دوم گرفته می‌شود.

عملگر جهش. عملگر جهش مورداستفاده با احتمال ۰/۹ جهش انجام می‌دهد و با احتمال ۰/۱ یک جواب جدید به‌صورت تصادفی تولید می‌کند. هنگام جهش، یک پروژه و یک پاسخ به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. اگر اجرا شده باشند، اجرای آن‌ها را لغو می‌کند و با احتمال ۰/۵ دوره اجرای جدیدی به آنها تخصیص می‌دهد و اگر اجرا نشده باشند، آن‌ها را در یک دوره تصادفی اجرا می‌کند.

معیار توقف. برای توقف الگوریتم از معیار حداکثر تعداد تکرار الگوریتم استفاده شده است. در این پژوهش معیار توقف برابر با ۱۵۰ تکرار در نظر گرفته شده است.

نرخ جهش که نشان‌دهنده تعداد مؤلفه‌های تحت تأثیر عملگر جهش است برابر با ۰/۳ و نرخ تقاطع که نشان‌دهنده تعداد مؤلفه های تحت تأثیر عملگر تقاطع است، برابر با ۰/۸در نظر گرفته شده است.

مثال عددی. در این قسمت به‌منظور تشریح بهتر مدل و آزمودن کارایی آن مثالی برای نشان‌دادن نحوه استفاده از مدل پیشنهادی به‌منظور حل مسئله انتخاب سبد پروژه و برنامه‌ریزی برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک آورده شده است. در این مثال، یک سازمان

پروژه‌محور در نظر گرفته شده است. این سازمان با ۱۰ پروژه پیشنهادی مواجه است. جدول ۵، سود عادی پروژه‌ها و ریسک‌های مؤثر بر آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۵. پروژه‌ها و ریسک‌های مؤثر بر آن‌ها

پروژه‌ها	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
سود عادی	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۳۰۰۰	۴۵۰۰	۳۵۰۰
ریسک‌های مؤثر بر پروژه	R_1	–	R_2	R_2 R_3	R_4 R_5	R_6	R_6 R_7	R_8	R_9 R_{10}	R_{11} R_{12}

در جدول ۶، ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخ اتخاذشده برای هر یک و اطلاعات مربوط به استراتژی‌های پاسخ آورده شده است.

جدول ۶. پاسخ‌های پیشنهادی برای کاهش ریسک‌ها

ریسک‌ها	پاسخ‌ها	هزینه اجرای پاسخ
R1	y_1	۲۰۰
R2	y_2	۱۵۰
	y_3	۱۸۰
R3	y_4	۲۱۰
R4	y_5	۲۰۵
R5	y_6	۱۷۰
R6	y_7	۲۰۰
R7	y_8	۱۹۰
	y_9	۱۴۰
R8	y_{10}	۱۴۰
R9	y_{11}	۲۲۰
R10	y_{12}	۱۷۰
R11	y_{13}	۱۶۰
R12	y_{14}	۱۹۰
	y_{15}	۲۱۰

در حالت کلی اگر یک پروژه n ریسک داشته باشد برای آن 2^n حالت وجود دارد؛ یعنی در 2^n حالت ممکن می‌تواند تحت تأثیر آن n ریسک قرار بگیرد. در جدول ۷، پروژه‌ها و ضرر موردانتظار از حالت‌های ممکن ریسک‌های موثر بر آن‌ها آورده شده است.

جدول ۷. ترکیب‌های ممکن از ریسک‌های موثر بر پروژه‌ها

پروژه	حالت‌های ترکیب‌های ممکن از ریسک‌های موثر و ضرر موردانتظار از هر حالت			
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$
X_1	$e_1^1=500\ a_{1,1}^1=1$	$e_2^1=0\ a_{2,1}^1=0$	–	–
X_2	–	–	–	–
X_3	$a_{1,2}^3=1\ e_1^3=1000$	$a_{2,2}^3=0\ \ e_2^3=0$	–	–
X_4	$a_{1,2}^4=1\ ,\ a_{1,3}^4=1$ $e_1^4=2000$	$a_{2,2}^4=1\ ,\ a_{2,3}^4=0$ $e_2^4=1000$	$a_{3,2}^4=0\ ,\ a_{3,3}^4=1$ $e_3^4=1000$	$a_{4,2}^4=0\ ,\ a_{4,3}^4=0$ $e_4^4=0$
X_5	$a_{1,4}^5=1\ ,\ a_{1,5}^5=1$ $e_1^5=1500$	$a_{2,4}^5=1\ ,\ a_{2,5}^5=0$ $e_2^5=1000$	$a_{3,4}^5=0\ ,\ a_{3,5}^5=1$ $e_3^5=500$	$a_{4,4}^5=0\ ,\ a_{4,5}^5=0$ $e_4^5=0$
X_6	$a_{1,6}^6=1\ \ e_1^6=1250$	$a_{2,6}^6=0\ \ e_2^6=0$	–	–
X_7	$a_{1,6}^7=1\ ,\ a_{1,7}^7=1$ $e_1^7=3000$	$a_{2,6}^7=1\ ,\ a_{2,7}^7=0$ $e_2^7=1500$	$a_{3,6}^7=0\ ,\ a_{3,7}^7=1$ $e_3^7=1000$	$a_{4,6}^7=0\ ,\ a_{4,7}^7=0$ $e_4^7=0$
X_8	$a_{1,8}^8=1\ e_1^8=1500$	$e_2^8=0\ a_{2,8}^8=0$	–	–
X_9	$a_{1,9}^9=1\ ,\ a_{1,10}^9=1$ $e_1^9=2500$	$a_{2,9}^9=1\ ,\ a_{2,10}^9=0$ $e_2^9=1500$	$a_{3,9}^9=0\ ,\ a_{3,10}^9=1$ $e_3^9=1000$	$a_{4,9}^9=0\ ,\ a_{4,10}^9=0$ $e_4^9=0$
X_{10}	$a_{1,11}^{10}=1\ ,\ a_{1,12}^{10}=1$ $e_1^1=2000$	$a_{2,11}^{10}=1\ ,\ a_{2,12}^{10}=0$ $e_2^{10}=1000$	$a_{3,11}^{10}=0\ ,\ a_{3,12}^{10}=1$ $e_3^{10}=1000$	$a_{4,11}^{10}=0\ ,\ a_{4,12}^{10}=0$ $e_4^{10}=0$

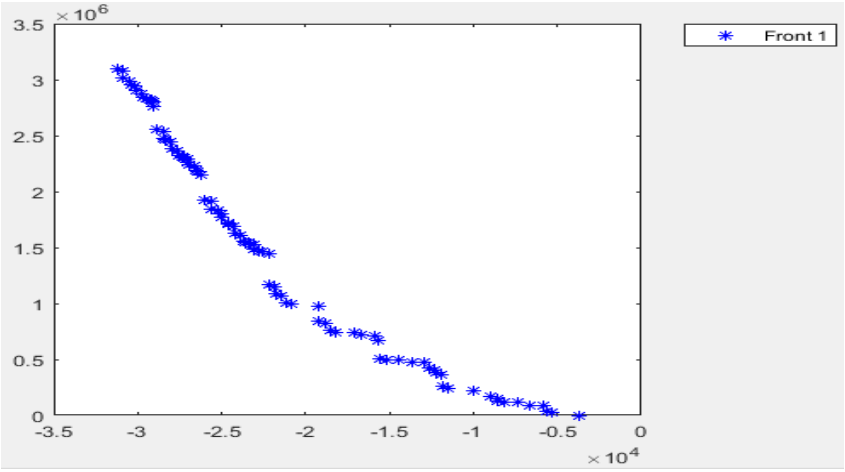
جدول ۸، نشان‌دهنده اطلاعات مربوط به ریسک‌ها و احتمال وقوع آن‌ها است. احتمال وقوع هر ریسک بعد از مشخص‌شدن وضعیت اجرای پاسخ‌های مربوط به آن معلوم می‌شود. برای مثال، طبق جدول ۸، برای ریسک ۷ پاسخ‌های ۸ و ۹، پیشنهاد شده است. اگر هر دو پاسخ اجرا شود ($y_{8,t}=1\ ,\ y_{9,t}=1$) احتمالی برابر با $p_{7,t}=0.2$ خواهد داشت یا اگر پاسخ ۸ اجرا بشود و پاسخ ۹ اجرا نشود ($y_{8,t}=1\ ,\ y_{9,t}=0$) احتمالی برابر با $p_{7,t}=0.5$ خواهد داشت.

جدول ۸. اطلاعات مربوط به ریسک‌ها و پاسخ‌های اتخاذشده برای هر ریسک

ریسک	احتمال وقوع هر ریسک در صورت انتخاب هر ترکیب ممکن از پاسخ‌های پیشنهادشده برای هر ریسک			
R_1	$y_{1,t}=1 , p_{1,t}=0.2$	$y_{1,t}=0 , p_{1,t}=0.8$		
R_2	$y_{2,t}=1 , y_{3,t}=1$ $p_{2,t}=0.1$	$y_{2,t}=1 , y_{3,t}=0$ $p_{2,t}=0.4$	$y_{2,t}=0 , y_{3,t}=1$ $p_{2,t}=0.5$	$y_{2,t}=0 , y_{3,t}=0$ $p_{1,t}=0.9$
R_3	$y_{4,t}=1 , p_{3,t}=0.2$	$y_{4,t}=0 , p_{3,t}=0.7$		
R_4	$y_{5,t}=1 , p_{4,t}=0.1$	$y_{5,t}=0 , p_{4,t}=0.7$		
R_5	$y_{6,t}=1 , p_{5,t}=0.2$	$y_{6,t}=0 , p_{5,t}=0.8$		
R_6	$y_{7,t}=1 , p_{6,t}=0.3$	$y_{7,t}=0 , p_{6,t}=0.8$		
R_7	$y_{8,t}=1 , y_{9,t}=1$ $p_{7,t}=0.2$	$y_{8,t}=1 , y_{9,t}=0$ $p_{7,t}=0.5$	$y_{8,t}=0 , y_{9,t}=1$ $p_{1,t}=0.4$	$y_{8,t}=0 , y_{9,t}=0$ $p_{7,t}=0.8$
R_8	$y_{10,t}=1 , p_{8,t}=0.4$	$y_{10,t}=0 , p_{8,t}=0.7$		
R_9	$y_{11,t}=1 , p_{9,t}=0.3$	$y_{11,t}=0$ $p_{9,t}=0.8$		
R_{10}	$y_{12,t}=1 , p_{10,t}=0.2$	$y_{12,t}=0 , p_{10,t}=0.9$		
R_{11}	$y_{13,t}=1 , p_{11,t}=0.4$	$y_{13,t}=0 , p_{11,t}=0.8$		
R_{12}	$y_{14,t}=1 , y_{15,t}=1$ $p_{12,t}=0.1$	$y_{14,t}=1 , y_{15,t}=0$ $p_{12,t}=0.4$	$y_{14,t}=0 , y_{15,t}=1$ $p_{12,t}=0.3$	$y_{14,t}=0 , y_{15,t}=0$ $p_{12,t}=0.8$

تجزیه وتحلیل نتایج حاصل از الگوریتم NSGA-II. الگوریتم پیشنهادی در محیط نرم‌افزار متلب اجرا شده است. شکل ۱، جبهه اول پارتوی حاصل از اهداف بیشینه‌سازی امید ریاضی سود (در منفی ضرب شده است) و کمینه‌سازی واریانس سود را نشان می‌دهد. منحنی حاصل با

درنظرگرفتن اندازه جمعیت ۱۶۰ و تعداد نسل ۱۵۰ به‌دست آمده است. هر نقطه این منحنی نشان‌دهنده یکی از پاسخ‌های بهینه پارتو است. محور افقی مربوط به تابع هدف اول، بیشینه‌سازی سود و محور عمودی مربوط به تابع هدف دوم، کمینه‌کردن واریانس سود است. در این شکل تعداد ۱۶۰ نقطه با رنگ آبی نشان داده شده است که انتخاب از میان آن‌ها به نظر تصمیم‌گیرنده بستگی دارد.



شکل ۱. جبهه پاسخ‌های بهینه پارتو

مقایسه عددی. هدف این بخش، تحلیل تأثیر یکپارچه‌شدن دو تصمیم انتخاب سبد پروژه و انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک است. برای این منظور، سه حالت زیر با هم مقایسه خواهند شد:

الف) حل دو مسئله بالا به‌صورت یکپارچه (طبق مدل ارائه‌شده در بخش قبل)؛

ب) انتخاب پروژه‌ها بدون توجه به پاسخ ریسک‌ها (کل بودجه دردسترس صرف انتخاب پروژه‌ها می‌شود). در این حالت، مقادیر متغیرهای تصمیم $y_{j,t}$ صفر خواهد بود؛

ج) انتخاب پروژه‌ها بدون توجه به پاسخ‌ها و سپس انتخاب پاسخ‌های بهینه برای پروژه‌های منتخب. در این حالت کل بودجه دردسترس، هم در مرحله انتخاب پروژه و هم در مرحله انتخاب پاسخ‌ها در اختیار تصمیم‌گیرنده خواهد بود. در واقع برای این رویکرد، امتیاز اضافی در نظر گرفته شده است.

برای تسهیل مقایسه، مدل دوهدفه به مدل تک‌هدفه تبدیل می‌شود. برای تک‌هدفه‌کردن مدل پیشنهادی، با بهره‌گیری از مقاله سلماس‌نیا و همکاران (۲۰۱۲)، از رویکرد تابع مطلوبیت استفاده شده است [۱۹]. در این رویکرد هر تابع هدف i به یک مقدار بی‌مقیاس بین [0,1]

به‌صورت $d(\prod_i)$ به نام «مطلوبیت» تبدیل می‌شود؛ به‌طوری که با بهبود تابع هدف، مطلوبیت متناظر با آن نیز افزایش می‌یابد. طبق این روش ابتدا مقدار $Z^{\min}$ با تک‌هدفه حل کردن مدل محاسبه شده و سپس با توجه به نظر تصمیم‌گیرنده برای هر هدف، یک ضریب تعیین می‌شود و مقدار $Z_i^{\max} = \psi_i \times Z_i^{\min}$ i=1,2 به‌دست می‌آید. مطلوبیت هر تابع هدف از رابطه ۲۳، به‌دست می‌آید:

$$d\left(\prod_i\right) = \begin{cases} 1 & Z_i \le Z_i^{\min} \\ \dfrac{Z_i^{\max} - Z_i}{Z_i^{\max} - Z_i^{\min}} & Z_i^{\min} < Z_i < Z_i^{\max} \quad i = 1,2 \quad \min \\ 0 & Z_i \ge Z_i^{\max} \end{cases} \qquad (۲۳)$$

رابطه ۲۴، مطلوبیت مقادیر تابع هدف را به‌صورت هندسی نشان می‌دهد:

$$D = Max\left[\mathrm{d}\left(\prod_1\right) \times \mathrm{d}\left(\prod_2\right)\right] \qquad (۲۴)$$

ویژگی بارز این رابطه، نزدیک‌شدن تقریباً مساوی توابع هدف به مقدار مطلوب خود و ممانعت از خارج‌شدن توابع هدف از ناحیه مجاز است؛ زیرا با قرارگرفتن حداقل یکی از توابع هدف خارج از ناحیه مجاز، مقدار تابع هدف تجمیع‌شده صفر می‌شود. مدل تک‌هدفه به‌دست‌آمده از روش بالا برای سه حالت حل شد که نتایج آن‌ها در جدول ۹، آمده است. طبق این جدول، مقدار تابع مطلوبیت در حالت اول که یکپارچه درنظرگرفتن دو مسئله انتخاب سبد پروژه و انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک بود، بیشتر از ۲ حالت دیگر است؛ همچنین تابع هدف اول و تابع هدف دوم در حالت اول بهتر از حالت‌های دوم و سوم است؛ بر این اساس می‌توان ادعا کرد که یکپارچه درنظرگرفتن دو مسئله انتخاب سبد پروژه و انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک، جواب بهتری نسبت به حالتی دارد که دو مسئله به‌صورت جداگانه در نظر گرفته شود.

جدول ۹. نتایج به‌دست‌آمده از اجرای هر سه حالت

	حالت اول: یکپارچه	**حالت دوم: انتخاب پروژه بدون توجه به استراتژی پاسخ**	**حالت سوم: انتخاب پروژه‌ها و استراتژی‌های پاسخ به‌صورت متوالی**
تابع هدف اول (حداکثرسازی)	۱۴۵۳۵	۱۰۰۵۰	۱۰۷۲۵
تابع هدف دوم (حداقل‌سازی)	۷۴۲۵۰	۶۱۲۵۰۰	۵۱۰۰۰۰
تابع مطلوبیت	۰.۳۷۷۰۷	۰.۲۸۷۰۵	۰.۳۲۹۱

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر یک مدل یکپارچه برای تصمیم‌گیری درباره انتخاب پروژه‌ها و انتخاب پاسخ به ریسک‌ها ارائه می‌دهد. نتایج عددی به‌دست‌آمده نشان داد که مدل‌سازی و حل همزمان دو مسئله بالا، موجب بهبود کیفیت تصمیم خواهد شد. دستاورد مهم این پژوهش، این است که نمی‌توان بدون درنظرگرفتن امکان کاهش برخی ریسک‌ها، انتخاب پروژه را انجام داد؛ یعنی درست است که پروژه‌ها با ریسک‌هایی مواجه هستند، اما ممکن است بتوان با انجام اقداماتی، برخی ریسک‌ها را کاهش داد. ممکن است یک پروژه با درنظرگرفتن ریسک‌های آن انتخاب نشود، ولی با درنظرگرفتن امکان پاسخ به ریسک‌ها و کاهش آن‌ها انتخاب شود.

مدل ریاضی ارائه‌شده دارای دو هدف شامل حداکثرسازی سود و کمینه‌کردن واریانس سود بوده و برای حل آن از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) استفاده شده است. این پژوهش به صاحبان شرکت‌ها و سازمان‌های پروژه‌محور و مدیران پورتفولیو کمک می‌کند تا از میان پروژه‌های پیشنهادی بهترین ترکیب از پروژه‌ها را برای به‌دست‌آوردن بیشترین منافع انتخاب کنند و پاسخ‌های لازم را با توجه به اهداف پروژه‌های خود برای مقابله با ریسک‌ها و حداقل‌کردن ریسک کل، انتخاب و اجرا کنند.

در این پژوهش، اثرات متقابل بین ریسک‌ها لحاظ نشده است. در دنیای واقعی شبکه‌ای از ریسک‌ها وجود دارد که بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند. محدودیت دیگر این پژوهش، دشواری کمّی‌کردن احتمال وقوع و اثر ریسک‌ها و پاسخ‌ها است. درنظرگرفتن شبکه ارتباط بین ریسک‌ها و فازی‌بودن احتمالات و اثرات ریسک‌ها و پاسخ‌ها می‌توانند موضوعاتی برای پژوهش‌های آتی باشند.

منابع

1. Ben-David, I., & Raz, T. (2001). An integrated approach for risk response development in project planning. *Journal of the Operational Research Society*, *52*(1), 14-25.
2. Bhattacharyya, R., Kumar, P., & Kar, S. (2011). Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects. *Computers & Mathematics with Applications*, *62*(10), 3857-3870.
3. Carazo, A. F., Gómez, T., Molina, J., Hernández-Díaz, A. G., Guerrero, F. M., & Caballero, R. (2010). Solving a comprehensive model for multi-objective project portfolio selection. *Computers & operations research, 37(4), 630-639.*
4. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation, 6(2), 182-197.*
5. Fan, M., Lin, N. P., & Sheu, C. (2008). Choosing a project risk-handling strategy: An analytical model. *International Journal of Production Economics, 112(2), 700-713.*
6. Fang, C., Marle, F., Xie, M., & Zio, E. (2013). An integrated framework for risk response planning under resource constraints in large engineering projects. *IEEE Transactions on Engineering Management, 60(3), 627-639.*
7. Ghorbani, S., & Rabbani, M. (2009). A new multi-objective algorithm for a project selection problem. *Advances in Engineering Software*, *40*(1), 9-14.
8. Heidenberger, K., & Stummer, C. (1999). Research and development project selection and resource allocation: a review of quantitative modelling approaches. *International Journal of Management Reviews, 1(2), 197-224.*
9. Kalashnikov, V., Benita, F., López-Ramos, F., & Hernández-Luna, A. (2017). Bi-objective project portfolio selection in Lean Six Sigma. *International Journal of Production Economics, 186, 81-88.*
10. Khalili-Damghani, K., Tavana, M., & Sadi-Nezhad, S. (2012). An integrated multi-objective framework for solving multi-period project selection problems. *Applied Mathematics and Computation*, *219*(6), 3122-3138.
11. Manavizadeh, N., Malek, S., Vosoughi-Kia, R., & Farrokhi-Asl, H. (2017). An efficient risk based multi objective project selection approach considering environmental issues. *Uncertain Supply Chain Management, 5(2), 143-158.*
12. Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The journal of finance*, *7*(1), 77-91.
13. Nik, E. R., Zegordi, S. H., & Nazari, A. (2011, December). A multi-objective optimization and fuzzy prioritization approach for project risk responses selection. *In Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2011 IEEE International Conference on (pp. 888-892). IEEE.*
14. Nooraei Baydokht R., Hamedi M., Asgharizadeh E. (2018). A Model for R&D Project Portfolio Selection and Development in LCSI Enterprises. Industrial Management Perspective, *31(8)*, 9-36 (In Persian).
15. PMI, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide). 2017. *Project Management Institute, Maryland, USA.*
16. Rabbani, M., Bajestani, M. A., & Khoshkhou, G. B. (2010). A multi-objective particle swarm optimization for project selection problem. *Expert Systems with Applications, 37(1), 315-321.*

17. Rabieh M., Fadaei A. (2014). Fuzzy Robust Mathematical Model for Project Portfolio Selection and its Solving through Multi Objective Differential Evolutionary Algorithm. *Industrial Management Perspective, 19(5),* 65-90 (In Persian).

18. Salami Z., Naderi B., Tavvakoli Moghadam R. (2012). R&D Portfolio Selection Using Goal Programming in Automotive Industry. *Industrial Management Perspective, 9(3),* 147-167 (In Persian).

19. Salmasnia, A., & Yazdekhasti, A. (2017). A bi-objective model to optimize periodic preventive maintenance strategy during warranty period by considering customer satisfaction. *International Journal of System Assurance Engineering and Management, 8(4), 770-781.*

20. Seyedhoseini, S. M., Noori, S. & Hatefi, M. A. 2009. An Integrated Methodology for Assessment and Selection of the Project Risk Response Actions. *Risk Analysis, 29,* 752-763.

21. Soofifard, R., Bafruei, M. K., & Gharib, M. (2018). A Mathematical Model for Selecting the Project Risk Responses in Construction Projects. *Int. J. Optim. Civil Eng, 8(4), 601-624.*

22. Summerville, N., Uzsoy, R., & Gaytán, J. (2015). A random keys genetic algorithm for a bicriterion project selection and scheduling problem. *International Journal of Planning and Scheduling, 2(2), 110-133*

23. Tofighian, A. A., & Naderi, B. (2015). Modeling and solving the project selection and scheduling. *Computers & Industrial Engineering, 83, 30-38.*

24. Zhang, Y. (2016). Selecting risk response strategies considering project risk interdependence. *International Journal of Project Management, 34(5), 819-830.*

25. Zhang, Y., & Fan, Z. P. (2014). An optimization method for selecting project risk response strategies. *International Journal of Project Management, 32(3), 412-422.*

26. Zhang, Y., & Guan, X. (2018). Selecting Project Risk Preventive and Protective Strategies Based on Bow-Tie Analysis. *Journal of Management in Engineering, 34(3), 04018009.*

An Integrated Multi-Objective Model for Project Portfolio Selection and Risk Response Actions Planning

Ghasem Mokhtari[*], Younes Hasanzadeh[**]

Abstract

Project portfolio selection and risk response selection are two issues that have been considered disjointedly by the researchers. In this study, an integrated mathematical model is presented for the above-mentioned problems. A situation is noticed in which, in the stage of selecting the project portfolio, some of the proposed projects are facing risks, and some actions can be planned to mitigate these risks. With regard to the fact that implementing these responses requires resources and changes the risk of the portfolio, it is essential to consider the selection of responses at the stage of portfolio selection. A bi-objective mathematical model is proposed, whose first objective is to maximize the profit earned from selected projects, and its second objective is to minimize portfolio risk. Profit variance is considered as a measure of portfolio risk. A numerical example, illustrates the model application and the difference between the integrated and non-integrative approaches. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) is applied to solve the model.

Keywords: Project Portfolio Selection; Risk Response Strategy; Multi-Objective Programming; Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II); Project Portfolio Management.

Received: Jan 03, 2019 , Accepted: March 01, 2019.
* Assistant Professor, University of Qom (Corresponding Author).
E-mail: g.mokhtari@qom.ac.ir
** MSc., University of Qom.