یک مدل ریاضی برای انتخاب سبد پروژه با درنظرگرفتن وابستگی متقابل میان پروژه‌ها، قابلیت شکست پروژه‌ها، سرمایه‌گذاری مجدد و روش‌های گوناگون تأمین منابع

فرشاد بویری[۱]، سید میثم موسوی[۲*]، بهنام وحدانی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۲۵، تاریخ روایت اصلاح‌شده: ۹۶/۰۵/۱۴، تاریخ تصویب: ۹۶/۰۹/۲۹)

چکیده

مدیریت سبد (پورتفولیو) پروژه، فرایند تکرارشدنی ارزیابی، انتخاب و اجرای پروژه‌هاست و قلب آن انتخاب سبد پروژه است. طی این امر، سازمان پروژه‌هایی که بیشترین هم‌راستایی را با اهداف راهبردی دارند شناسایی و اولویت‌بندی می‌کند و با توجه به محدودیت‌ها و ملاحظات واقعی در زمان‌بندی پروژه‌ها و تخصیص منابع، با زمان‌بندی و تخصیص منابع صحیح و هدفمند هرچه بیشتر به اهداف خود می‌رسد. در این پژوهش، یک مدل ریاضی جامع جدید برای مسئلهٔ انتخاب سبد پروژه در طول دورهٔ برنامه‌ریزی متشکل از چند دورهٔ زمانی با هدف افزایش سود توسعه داده شده است که به‌طور هم‌زمان انتخاب، زمان‌بندی و تخصیص منابع پروژه‌ها را درنظر می‌گیرد. در مدل ریاضی پیشنهادی، وابستگی متقابل میان پروژه‌ها و راهبردهای قابلیت شکست پروژه‌ها، سرمایه‌گذاری مجدد، سرمایه‌گذاری خارجی و درنظرگرفتن روش‌های گوناگون برای تأمین منابع پروژه‌ها که در مطالعات پیشین مدنظر نبود یا هم‌زمان بررسی نشده بود، برای کاربرد در شرایط واقعی پروژه‌ها هم‌زمان درنظر گرفته می‌شود. در این پژوهش، محدودیت‌ها و پارامترهایی از قبیل محدودیت‌های منابع و بودجه، محدودیت‌های عددی، محدودیت‌های زمان‌بندی، روابط پیش‌نیازی، هزینه‌های راه‌اندازی و تأمین منابع پروژه‌ها که در مطالعات پیشین به‌طور هم‌زمان بررسی نشده است، هم‌زمان مدنظر قرار گرفت. برای بررسی تأثیرات مفروضات و راهبردها، مدل جامع با هشت سناریو بررسی و در هر سناریو، نرخ‌های سرمایه‌گذاری خارجی گوناگون درنظر گرفته شد. نتایج محاسباتی نشان‌دهندهٔ کارایی مدل جامع است که همهٔ مفروضات و راهبردها را درنظر می‌گیرد (سناریوی ۸).

واژه‌های کلیدی: انتخاب سبد پروژه، روش‌های گوناگون تأمین منابع پروژه‌ها، سرمایه‌گذاری مجدد، قابلیت شکست پروژه‌ها، وابستگی متقابل میان پروژه‌ها.

مقدمه

سازمان‌های پروژه‌محور برای تضمین سوددهی و پیشرفت خود نیاز دارند تا در پروژه‌ها سرمایه‌گذاری کنند. با این حال، اغلب با تعدادی پروژه مواجه هستند که با توجه به محدودیت منابع، بودجه، زمان‌بندی و... باید پروژه‌هایی را انتخاب کنند که اهداف سازمان را هرچه بیشتر برآورده کنند [۱]. انتخاب اشتباه پروژه‌ها دو تأثیر منفی دارد. از یک‌سو، منابع صرف پروژه‌های نامناسب می‌شود و از سوی دیگر سازمان سود کمتری به‌دست می‌آورد. درصورتی‌که اگر پروژه‌های مناسب انتخاب شوند، سود بیشتری نصیب سازمان می‌شود [۲]. اولین گام سازمان‌های پروژه‌محور در مدیریت راهبردی و هدفمند سبد پروژه‌ها، انتخاب صحیح پروژه‌هاست [۳]. در مرحلهٔ بعد، برای اجرای راهبردها، باید پروژه‌ها به‌طور صحیح زمان‌بندی و تخصیص منابع شوند. با توجه به محدودیت‌های سازمان‌ها، به‌ویژه سطح بودجه،

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۲۱۵۱۲۱۲۰۹۱

Email: sm.mousavi@shahed.ac.ir

یکی از مهم‌ترین مسائل این سازمان‌ها مدیریت سبد (پورتفولیو) پروژهٔ [1] (PPM) است [۴].

اصطلاح سبد در آغاز در جامعهٔ مالی و سرمایه‌گذاری با عنوان مدیریت سبد ابداع شد [۵]. اولین بار مارکویتز در سال ۱۹۵۲ و ۱۹۵۹ دو مقاله درمورد سبد انتشار داد و نظریهٔ سبد نوین را ارائه کرد [۶-۷]. بعد از ارائهٔ این نظریه، پژوهشگران به توسعهٔ تئوری انتخاب سبد پرداختند. این مفهوم به‌تدریج با تغییراتی وارد سایر زمینه‌های اقتصادی و صنعتی از جمله پروژه‌ها شد و کاربرد یافت [۵]. در سال ۱۹۹۹، آرچر و قاسم‌زاده چارچوبی برای انتخاب سبد پروژه ارائه کردند [۸] که در شکل ۱ قابل‌مشاهده است. از سال ۲۰۰۰ به بعد مرحلهٔ پیشرفت سریع و اوج‌گرفتن PPM و انتخاب سبد پروژهٔ [2] (PPS) است. در این دوران پژوهشگران، PPM و PPS را از جنبه‌های گوناگون و با رویکردهای متفاوتی بررسی کردند. با توجه به چارچوب پیشنهادی قاسم‌زاده و آرچر، در مرحلهٔ اول، پروژه‌های کاندید براساس برخی معیارهای ارزیابی شناسایی، بررسی، انتخاب، اولویت‌بندی و گروه‌بندی می‌شوند و پروژه‌هایی که با اهداف سازمان مغایر باشند، حذف می‌شوند. در این مرحله، معیارهای مدنظر و رویکرد عدم قطعیت، در سطح کلان و در ارتباط با راهبردهای سازمانی هستند. زمان‌بندی پروژه‌ها و برنامه‌ریزی منابع و بودجه در این مرحله بررسی نمی‌شود یا بررسی آن در سطح کلان صورت می‌گیرد. در این مرحله، رویکردهای مدل‌سازی برای بررسی هم‌راستایی راهبردی و انتخاب و اولویت‌بندی و گروه‌بندی پروژه‌ها معمولاً تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تصمیم‌گیری گروهی است [۳].

در مرحلهٔ بعد، باید از میان پروژه‌های انتخاب‌شده مرحلهٔ اول، پروژه‌های نهایی انتخاب، زمان‌بندی و تخصیص منابع شوند. از آنجا که برای کارکردن به استفاده از مدل‌های ریاضی نیاز است، بیشتر مطالعات مرتبط با این مرحله، مدل‌های ریاضی گوناگونی را ارائه دادند و تلاش کردند تا با درنظرگرفتن محدودیت‌ها و ملاحظات واقعی در زمان‌بندی و روابط میان پروژه‌ها و تخصیص منابع و بودجه، پروژه‌هایی را انتخاب، زمان‌بندی و تخصیص منابع کنند و درنتیجه اهداف سازمان را هرچه بیشتر برآورد کنند. در این باره، بیشتر اهداف اقتصادی مانند بیشینه‌کردن سود یا کمینه‌کردن ریسک سرمایه‌گذاری بررسی شده است. برخی مطالعات نیز بیشتر بر توسعهٔ روش‌های فراابتکاری و درنظرگرفتن عدم قطعیت در این مدل‌ها تمرکز کرده‌اند، اما آنچه در پژوهش حاضر به آن پرداخته می‌شود، توسعهٔ مدل‌های ریاضی در این مرحله و ارائهٔ مدل ریاضی جامع جدید است که در آن با توجه به محدودیت‌ها و ملاحظات واقعی در زمان‌بندی و روابط میان پروژه‌ها و تخصیص منابع و بودجه و درنظرگرفتن راهبردهای دنیای واقعی پروژه‌ها، پروژه‌هایی انتخاب، زمان‌بندی و تخصیص منابع می‌شوند که بیشترین سود را برای سازمان داشته باشند. با توجه به جدول ۱، مفروضات و راهبردهایی که مطالعات مرتبط در این مرحله درنظر گرفتند، در سه گروه دورهٔ برنامه‌ریزی، پروژه‌ها و منابع موردنیاز پروژه‌ها تقسیم‌بندی شده‌اند. پارامترها یا محدودیت‌های مرتبط با عنوان هر ستون براساس مستقل‌بودن از زمان، وابسته به زمان‌بودن و وابسته‌بودن به زمان شروع پروژه به‌ترتیب با TI، TD و STD نشان داده شده‌اند. برای جامعیت‌داشتن مدل پژوهش حاضر، پارامترهایی که می‌توانند وابسته به زمان (TD) یا وابسته به زمان شروع پروژه (STD) باشند، به همین صورت درنظر گرفته شدند.

منابع: یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌ها در مسئلهٔ PPS محدودیت منابع است که هر سازمانی در برنامه‌ریزی پروژه‌ها با آن روبه‌روست. کارازو و همکاران [۹] منابع را به چند دسته تقسیم می‌کنند.

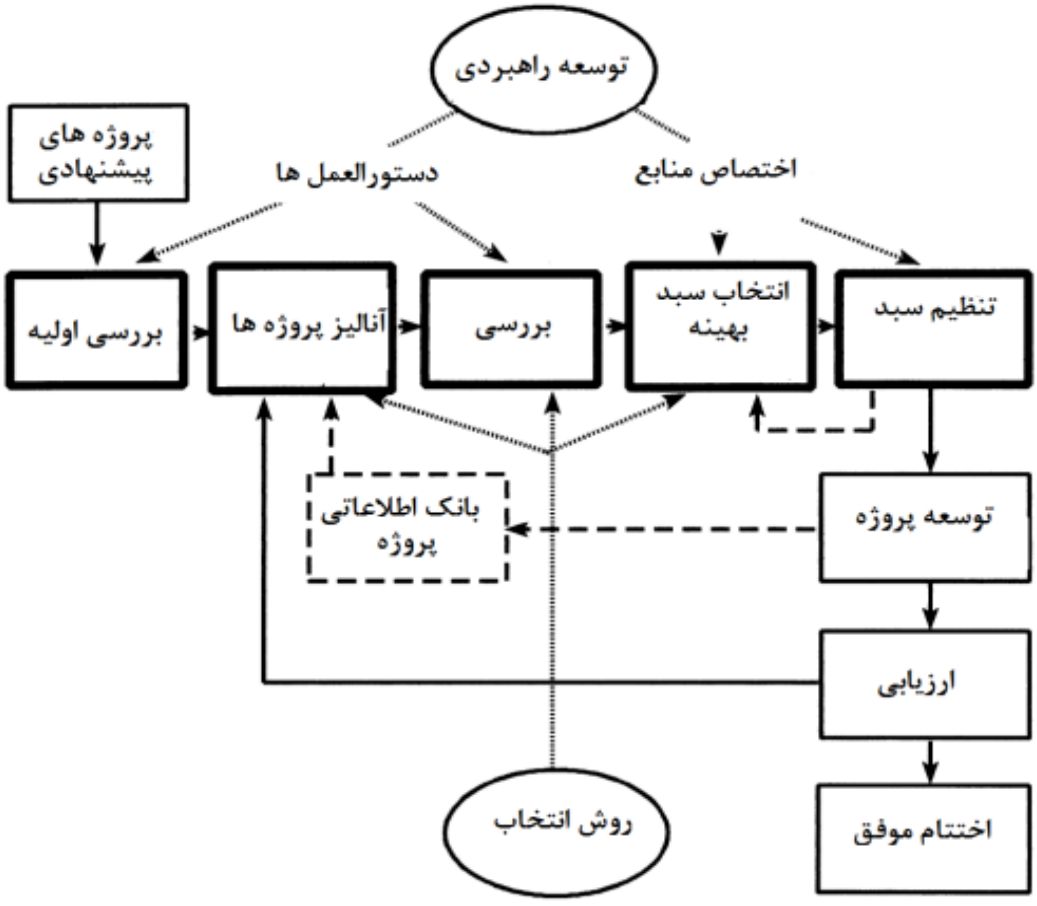
- **منابع موقتی یا وابسته به زمان یا تجدیدپذیر:** منابعی که به زمان وابسته هستند و در هر دوره مقدار مشخصی از آن‌ها وجود دارد. این منابع براساس اینکه در صورت عدم استفادهٔ کامل از آن‌ها غیرقابل‌انتقال به دورهٔ بعد باشند (مثل نیروی کار، ساعت ماشین‌آلات در دسترس و...) یا به دورهٔ بعد منتقل شوند (مثل بودجه هر دوره که در صورت استفاده‌نکردن کامل به دورهٔ بعد انتقال می‌یابد) به دو گروه تقسیم می‌شوند.
- **منابع سراسری یا مستقل از زمان یا تجدیدناپذیر:** منابعی که در ابتدای دورهٔ برنامه‌ریزی وجود دارند و تا زمانی که مصرف نشوند قابل‌استفاده هستند (مثل مواد مصرفی). این منابع را می‌توان مانند

منابع وابسته به زمان و قابل‌انتقال به دورهٔ بعد درنظر گرفت که تنها در ابتدای دورهٔ برنامه‌ریزی مقدار مشخصی از آن‌ها وجود دارد.

منبع بودجه ویژگی‌های خاص خود را دارد و درنتیجه با محدودیت‌های متمایزی مواجه است که در جدول ۱ با عنوان سرمایه از منابع عمومی متمایز شده است. با توجه به انواع منابع در شرایط واقعی پروژه‌ها، در پژوهش حاضر این منابع مدنظر نیستند.

وابستگی متقابل [۳] میان پروژه‌ها: هنگامی‌که دو یا چند پروژهٔ وابسته به هم در دوره‌ای زمانی انتخاب و اجرا شوند، یک سازمان ممکن است سود بیشتر یا کمتری از مجموع سود حاصل از پروژه‌ها در حالت تکی به‌دست بیاورد. این پدیده وابستگی متقابل میان پروژه‌ها نامیده می‌شود [۱۵]. سود اضافه از مجموع سودهای تکی، سود همکارانه[۴] نامیده می‌شود [۱۸]. درحالی‌که بخشی از سود که کمتر از مجموع سودهای تکی است، ضرر رقابتی[۵] نام دارد [۱۹]. شناخت و مدل‌سازی وابستگی متقابل میان پروژه‌ها ممکن است صرفه‌جویی و سودهای باارزشی برای مدیران پروژه در شرایط واقعی پروژه‌ها داشته باشد. در مطالعات گوناگون در مسئلهٔ انتخاب سبد پروژه بر اهمیت و توسعهٔ مدل‌های ریاضی برای درنظرگرفتن سودها و ضررهای حاصل از وابستگی متقابل میان پروژه‌ها تأکید شده است [۱۵]؛ بنابراین در پژوهش حاضر، وابستگی متقابل میان پروژه‌ها براساس تأثیرگذاری آن‌ها در سود (سود همکارانه و ضرر رقابتی) درنظر گرفته می‌شود.

قابلیت شکست[۶] پروژه‌ها: در اجرای مجموعه‌ای از پروژه‌ها ممکن است در عمل به‌دلیل رویدادهای ناخواسته در فرایند اجرای پروژه‌ها بعضی محدودیت‌ها مانند کسری بودجه، مشکلات فنی و دسترسی مالی به‌وجود بیاید. این نوع از وقفه‌ها[۷] بیشتر به‌عنوان رویدادهای ناخوشایند درنظر گرفته می‌شوند [۲۰].



شکل ۱. چارچوب پیشنهادی آرچر و قاسم‌زاده، ۱۹۹۹

جدول ۱. بررسی مطالعات دربارهٔ موضع

پژوهشگر	محدودیت‌ها و ملاحظات واقعی در زمان‌بندی پروژه‌ها و تخصیص منابع														
	دورهٔ برنامه‌ریزی		پروژه‌ها					منابع							
	چنددوره‌ای بودن	انعطاف‌پذیری دورهٔ برنامه‌ریزی	قابلیت شکست پروژه‌ها	وابستگی متقابل پروژه‌ها	درنظرگرفتن سود حاصل از پروژه‌ها	روابط پیش‌نیازی میان پروژه‌ها	محدودیت‌های عددی	منابع عمومی						سرمایه	
								محدودیت منابع تجدیدپذیر غیرقابل‌انتقال (Re,NTr) و قابل‌انتقال (Re,Tr) و منابع تجدیدناپذیر (NRe)	روش‌های گوناگون تأمین منابع	هزینهٔ تأمین منابع	تسطیح منابع	نرخ انتقال منابع	محدودیت سرمایه	هزینهٔ راه‌اندازی پروژه (سرمایهٔ اولیه)	سرمایه‌گذاری مجدد	سرمایه‌گذاری خارجی (نرخ)
کارازو و همکاران [۹] ۲۰۱۰	✓			✓ TD	✓ STD	✓	✓	Re(NTr,Tr) NRe				✓ TD	✓ TD			✓ TD
بلنکی [۱۰] ۲۰۱۲	✓		✓		✓ STD								✓ TI		✓	
گوتجار و فرواسچل [۱۱] ۲۰۱۳				✓ TI	✓ TI			Re(NTr)	✓	✓ TI						
ابراهیم‌نژاد و همکاران [۱۲] ۲۰۱۳	✓				✓ TD					✓ TD			✓ TD		✓	✓ TI
جعفرزاده و همکاران [۱۳] ۲۰۱۵	✓	✓			✓ STD								✓ TI	✓ TI	✓	
توفیقیان و نادری [۱۴] ۲۰۱۵	✓				✓ TD	✓		Re(NTr)			✓		✓ TD			
لی و همکاران [۱۵] ۲۰۱۶	✓		✓	✓	✓ TI	✓	✓						✓ TD	✓ TI		✓ TI
وانگ و سانگ [۱۶] ۲۰۱۶	✓				✓ TD	✓							✓ TD		✓	
لی و همکاران [۱۷] ۲۰۱۷	✓		✓		✓ TI	✓	✓						✓ TD	✓ TI	✓	✓ TI
پژوهش حاضر	✓		✓	✓ TD	✓ STD	✓	✓	Re(NTr,Tr) NRe	✓	✓ TD		✓ TD	✓ TD	✓ STD	✓	✓ TD

بلنکی [۱۰] و لی و همکاران [۱۵] و [۱۷] وقفه‌های پروژه‌ها را راهبردی در انتخاب بهترین برنامهٔ زمان‌بندی برای پروژه‌ها می‌دانند. آن‌ها تلاش کردند تا زمان‌بندی پروژه‌ها را با درنظرگرفتن شکست پروژه‌ها بهینه کنند. لی و همکاران [۱۷] این نوع وقفه‌ها را قابلیت شکست یا تقسیم نامیدند و فرض کردند که می‌توان هر پروژه را به هر بخش کوچکی تقسیم کرد، اما در برخی مواقع در شرایط واقعی پروژه‌ها این امر منطقی است که حد کمینه‌ای برای بخش‌بندی پروژه‌ها درنظر گرفته شود تا از به‌وجودآمدن بخش‌های کوچک در سبد جلوگیری شود و متغیر تصمیم، درصد تکمیل هر پروژه در هر دوره باشد. البته این رویکرد برای نشان‌دادن قابلیت شکست پروژه‌ها، همهٔ جوانب را درنظر نمی‌گیرد و در شرایط واقعی پروژه‌ها به تأثیراتی که در اثر شکست پروژه‌ها به‌وجود می‌آید، توجه نمی‌کند. در پژوهش حاضر، به‌منظور اینکه از راهبرد قابلیت شکست پروژه‌ها برای برنامه‌ریزی بهتر با

درنظرگرفتن تأثیراتی که در اثر شکست در شرایط واقعی پروژه‌ها به‌وجود می‌آید استفاده شود، فرض بر این است که هر پروژه می‌تواند به فازهای گوناگونی تقسیم شود و هر فاز پروژه، پروژه‌ای جدید باشد. فازهای پروژه‌ها براساس نظر خبرگان هر پروژه به‌گونه‌ای تعیین می‌شوند که روابط پیش‌نیازی و وابستگی متقابل میان فازهای هر پروژه و سایر پروژه‌ها و ویژگی‌های مخصوص هر فاز درنظر گرفته شوند. بدین‌صورت بستر اینکه زمان انجام‌دادن فازهای یک پروژه با هم تداخل داشته باشد یا وابستگی متقابل میان فازهای مشابه یک یا چند پروژه درنظر گرفته شود و برنامهٔ تخصیص منابع بهتری صورت گیرد فراهم می‌شود.

روش‌های گوناگون تأمین منابع: در بیشتر مطالعات فرض بر این است که سازمان براساس منابع داخلی خود برنامه‌ریزی می‌کند، اما گوتجار و فرواسچل [۱۱] در مسئلهٔ برنامه‌ریزی و تخصیص کارکنان، فرض کردند که درصورت کمبود منابع داخلی می‌توان از فرصت‌های برون‌سپاری[۸]، قرارداد فرعی یا استخدام موقتی کارکنان متخصص از بیرون با هزینه‌های مشخص استفاده کرد و این راهبرد را تنها درمورد منابع انسانی به‌کار بردند. در پژوهش حاضر، این راهبرد به‌صورت جامع برای انواع منابع درنظر گرفته و فرض می‌شود که روش‌ها یا مکان‌های گوناگونی برای تأمین منابع پروژه‌ها در هر دوره وجود دارد که تأمین منابع از هر روش یا مکان در هر دوره و برای هر پروژه، هزینهٔ مخصوص به خود را دارد؛ از جمله تأمین منابع به‌کمک منابع داخلی سازمان، برون‌سپاری، اضافه‌کاری یا مکان‌های گوناگون جغرافیایی که هزینهٔ تأمین منابع از آن‌ها متأثر از موقعیت جغرافیایی آن مکان‌ها یا دوره‌ای است که در آن دوره، منابع تأمین می‌شود. بدین‌صورت می‌توان به بررسی دقیق‌تر مدل پرداخت و در شرایط واقعی پروژه‌ها، از فرصت‌های برون‌سپاری یا اضافه‌کاری برای انتخاب بهتر پروژه‌ها استفاده کرد. همچنین می‌توان هزینه‌های حمل‌ونقل از انبارها یا شهرهای مختلف را برای هریک از پروژه‌ها درنظر گرفت و شرایط آب و هوایی در دوره‌های گوناگون را به‌صورت هزینه‌ای مدنظر قرار داد.

سرمایه‌گذاری مجدد [۹]: در این سرمایه‌گذاری، فرض می‌شود که می‌توان سود حاصل از پروژه‌ها را در طول دورهٔ برنامه‌ریزی در پروژه‌های دیگر سرمایه‌گذاری کرد [۱۶]. در پژوهش حاضر، از این راهبرد برای رسیدن به پاسخ بهتر استفاده می‌شود.

سرمایه‌گذاری خارجی [۱۰]: سازمان می‌تواند از بودجه و سود پروژه‌های تکمیل‌شده، برای کسب سود بیشتر علاوه بر سرمایه‌گذاری در پروژه‌ها، سرمایه‌گذاری خارجی نیز انجام دهد. در پژوهش حاضر از این راهبرد به‌صورت نرخ سرمایه‌گذاری خارجی استفاده شده است.

محدودیت‌های عددی [۱۱]: محدودیت ظرفیت سازمان در تعداد پروژه‌های انتخاب‌شده در هر دوره یا کل دورهٔ برنامه‌ریزی هستند [۱۵]. در پژوهش حاضر این محدودیت‌ها درنظر گرفته نشده است.

همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است در مطالعات، تأثیرات هم‌زمان مفروضات و راهبردها مدنظر نیست. از این میان، تنها جعفرزاده و همکاران [۱۳] به‌صورت مستقیم به تأثیر راهبرد سرمایه‌گذاری مجدد اشاره کردند. همچنین لی و همکاران [۱۵] مدل ریاضی خود را براساس راهبرد قابلیت شکست پروژه‌ها و درنظرگرفتن وابستگی متقابل پروژه‌ها تحت ۳ سناریو بررسی کردند.

در ادامه، مدل ریاضی جامع جدیدی برای مسئلهٔ انتخاب سبد پروژه در طول دورهٔ برنامه‌ریزی متشکل از چند دورهٔ زمانی با هدف افزایش سود توسعه داده شده است که هم‌زمان انتخاب، زمان‌بندی و تخصیص منابع پروژه‌ها را درنظر می‌گیرد. در این مدل، وابستگی متقابل میان پروژه‌ها و راهبردهای قابلیت شکست پروژه‌ها، سرمایه‌گذاری مجدد، سرمایه‌گذاری خارجی و درنظرگرفتن روش‌های مختلف برای تأمین منابع که در مطالعات پیشین درنظر گرفته نشدند یا هم‌زمان به بررسی آن‌ها پرداخته نشده است، هم‌زمان برای کاربرد در شرایط واقعی پروژه‌ها درنظر گرفته می‌شوند. همچنین محدودیت‌ها و پارامترهایی مانند محدودیت‌های منابع و بودجه، محدودیت‌های عددی، محدودیت‌های زمان‌بندی، روابط پیش‌نیازی، هزینه‌های راه‌اندازی و تأمین منابع پروژه‌ها که در مطالعات پیشین هم‌زمان بررسی نشدند، در پژوهش حاضر هم‌زمان درنظر گرفته شدند.

مدل‌سازی ریاضی پیشنهادی

مجموعه‌ها

(i, p_i) $i = 1,..., N, p_i = 1,..., P_i$

فاز p_i ام پروژهٔ بزرگ i

$I_i = \{(i,1),(i,2),...,(i,P_i)\}$

مجموعهٔ فازهای پروژهٔ بزرگ i

$I = I_1 \cup I_2 \cdots \cup I_N$ مجموعهٔ کل پروژه‌ها (فازها)

$t, k, k' = 1,...,T$ مجموعهٔ دوره‌های زمانی

$u = 1,\ldots,U, U+1,\ldots,\hat{U}$

مجموعهٔ منابع موردنیاز $u = 1,\ldots,U$ منابع غیرقابل‌انتقال و $u = U+1,\ldots,\hat{U}-1$ منابع قابل‌انتقال به دورهٔ بعد و $\hat{U}$ بودجه و قابل‌انتقال به دورهٔ بعد است.

$m = 1,\ldots,M, M+1,\ldots,\hat{M}$

مجموعهٔ روش‌های تأمین منابع غیرقابل‌انتقال به دورهٔ بعد ($m = 1,\ldots,M$) و منابع قابل‌انتقال به دورهٔ بعد ($m = M+1,\ldots,\hat{M}$)

A_j $j = 1,\ldots,S$

همهٔ مجموعهٔ پروژه‌های دارای وابستگی متقابل

NR_k, NR

تعداد محدودیت‌های عددی سبد در هر دوره و در کل دورهٔ برنامه‌ریزی

E_{sp} $sp = 1,\ldots,SP$

مجموعهٔ پروژه‌هایی با زمان شروع محدود به بازهٔ زمانی

L مجموعهٔ پروژه‌های دارای پیش‌نیاز

$pr_{(l,p_l)}$ $(l, p_l) \in L$

(l, p_l) مجموعهٔ پروژه‌های پیش‌نیاز پروژه

پارامترها

$c^{t,k}_{(i,p_i)}$ $(i, p_i) \in I, t, k = 1,\ldots,T$

سود پروژه (i,p_i) که در دورهٔ t شروع می‌شود، در انتهای دورهٔ k (در ابتدای دورهٔ k+1) لحاظ می‌شود. (ممکن است یک پروژه پیش از شروع هم سود داشته باشد؛ بنابراین دورهٔ k به‌صورت تمام دوره‌ها تعریف می‌شود).

a^k_j $j = 1,\ldots,S, k = 1,\ldots,T$

میزان سود یا ضرر حاصل از وابستگی متقابل میان پروژه‌های مجموعهٔ j که هم‌زمان در دورهٔ k فعال هستند، در انتهای دورهٔ k (در ابتدای دورهٔ k+1) لحاظ می‌شود.

$r^{t,k}_{(i,p_i),u}$ $(i, p_i) \in I, u = 1,\ldots,U, U+1,\ldots,\hat{U}$
$t, k = 1,\ldots,T$

میزان منبع نوع u موردنیاز پروژه (i,p_i) که در دورهٔ t شروع می‌شود در دورهٔ k بررسی می‌شود (ممکن است پروژه‌ای قبل از شروع هم به منبع نیاز داشته باشد؛ بنابراین دورهٔ k به‌صورت تمام دوره‌ها تعریف می‌شود).

$\bar{R}^k_{m,u}$ $m = 1,\ldots,M, M+1,\ldots,\hat{M}$
$u = 1,\ldots,U, U+1,\ldots,\hat{U}-1, k = 1,\ldots,T$

حداکثر ظرفیت روش m برای تأمین منبع u در دورهٔ k

$\bar{R}^k_{\hat{U}}$ $k = 1,\ldots,T$ حداکثر بودجه در دسترس دورهٔ k

$Rate^{k',k}_{\hat{U}}$ $k' = 1,\ldots,k, k = 1,\ldots,T$

نرخ انتقال بودجه از ابتدای دورهٔ k' به انتهای دورهٔ k

$co^k_{u,m,(i,p_i)}$ $u = 1,\ldots,U, U+1,\ldots,\hat{U}-1, m = 1,$
$\ldots, M, M+1,\ldots,\hat{M}, (i, p_i) \in I, k = 1,\ldots,T$

هزینهٔ تأمین منبع نوع u (بودجه ($\hat{U}$) درنظر گرفته نمی‌شود) از روش m برای پروژه (i,p_i) در دورهٔ k

$d_{(i,p_i)}$ $(i, p_i) \in I$

(i, p_i) مدت‌زمان پروژه

$E^k_{NR_k.NP}$ $k = 1,\ldots,T$

ماتریس ضرایب محدودیت‌های عددی در هر دوره که به تعداد محدودیت‌ها در هر دوره (NR_k) سطر و به تعداد پروژه‌ها (NP) ستون دارد.

$\underline{e}^k_{NR_k}, \bar{e}^k_{NR_k}$ $k = 1,\ldots,T$

بردار ستونی ضرایب حداقلی و حداکثری برای محدودیت‌های عددی در هر دوره که به تعداد محدودیت‌های هر دوره (NR_k) سطر دارند.

$E_{NR.NP}$

ماتریس ضرایب محدودیت‌های عددی در کل دورهٔ برنامه‌ریزی سبد که به تعداد محدودیت‌ها در کل دورهٔ

(NR) سطر و به تعداد پروژه‌ها (NP) ستون دارد.

$\underline{e}_{NR}, \overline{e}_{NR}$

بردار ستونی ضرایب حداقلی و حداکثری برای محدودیت‌های عددی کل دورهٔ برنامه‌ریزی سبد که به تعداد محدودیت‌ها در کل دوره (NR) سطر دارند.

$CL_i \quad i = 1, \ldots, N$

اگر پروژهٔ بزرگ i باید در طول دورهٔ برنامه‌ریزی انتخاب شود، این پارامتر مقدار یک و در غیر این صورت صفر می‌گیرد.

$\alpha_{sp}, \beta_{sp} \quad sp = 1, \ldots, SP$

حد بالا و پایین زمان شروع پروژه‌های مجموعهٔ E_{sp}

$\underline{h}_{(i,p_i),(l,p_l)}, \overline{h}_{(i,p_i),(l,p_l)} \quad (l,p_l) \in L, (i,p_i) \in pr_{(l,p_l)}$

حداقل و حداکثر فاصلهٔ زمانی بین زمان شروع پروژه (l,p_l) و زمان پایان پروژه‌های پیش‌نیازش

تعداد کل پروژه‌ها (کل فازها) NP

تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی MS

متغیرهای تصمیم

$x^t_{(i,p_i)} = 1, 0 \quad (i,p_i) \in I, t = 1, \ldots, T$

اگر پروژه (i,p_i) در دورهٔ t شروع شود، مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.

$v^k_{u,m,(i,p_i)} \quad u = 1, \ldots, U, m = 1, \ldots, M,$
$(i,p_i) \in I, k = 1, \ldots, T$

متغیر مثبت مربوط به مقدار تأمین منبع u (غیرقابل‌انتقال) به روش m برای پروژه (i,p_i) در دورهٔ k.

$\hat{v}^{k',k}_{u,m,(i,p_i)} \quad u = U+1, \ldots, \hat{U}-1, m = M+1,$
$\ldots, \hat{M}, (i,p_i) \in I, k' = 1, \ldots, k, k = 1, \ldots, T$

متغیر مثبت مربوط به میزان تأمین منبع نوع u (قابل‌انتقال) موردنیاز پروژه (i,p_i) از روش m در دورهٔ k' برای مصرف در دورهٔ k.

$\underline{z}^k_j(x), \overline{z}^k_j(x), z^k_j(x) = 1, 0$
$j = 1, \ldots, S, k = 1, \ldots, T$

متغیر صفر و یک مربوط به وابستگی متقابل بین پروژه‌ها. اگر از پروژه‌های مجموعه A_j، حداقل $\underline{A}_j$ تا از آن‌ها در دورهٔ k همزمان فعال باشند، متغیر $\underline{z}^k_j(x)$ مقدار یک و اگر حداکثر $\overline{A}_j$ تا از آن‌ها در دورهٔ k همزمان فعال باشند، متغیر $\overline{z}^k_j(x)$ مقدار یک و اگر حداقل $\underline{A}_j$ تا و حداکثر $\overline{A}_j$ تا از آن‌ها در دورهٔ k همزمان فعال باشند، متغیر $z^k_j(x)$ مقدار می‌گیرد.

مدل ریاضی

تابع هدف با فرض سرمایه‌گذاری مجدد

$$F(x) = \Big[I^T_{\hat{U}}(x) - \Big(\sum_{(i,p_i) \in I} \sum_{t=1}^{T} r^{t,T}_{(i,p_i),\hat{U}} \cdot x^t_{(i,p_i)} + C^T(x) \Big) \Big] \cdot (1 + Rate^{T,T}_{\hat{U}}) + B^T(x) \quad (۱)$$

تابع هدف بدون فرض سرمایه‌گذاری مجدد

$$F(x) = \Big[I^T_{\hat{U}}(x) - \Big(\sum_{(i,p_i) \in I} \sum_{t=1}^{T} r^{t,T}_{(i,p_i),\hat{U}} \cdot x^t_{(i,p_i)} + C^T(x) \Big) \Big] \cdot (1 + Rate^{T,T}_{\hat{U}}) + B^T(x) + \sum_{k=1}^{T-1} B^k(x) \cdot (1 + Rate^{k+1,T}_{\hat{U}}) \quad (۲)$$

محدودیت منابع غیرقابل‌انتقال به دورهٔ بعد

$$\sum_{m=1}^{M} v^k_{u,m,(i,p_i)} = \sum_{t=1}^{T} r^{t,k}_{(i,p_i),u} \cdot x^t_{(i,p_i)} \quad (۳)$$
$$(i,p_i) \in I, u = 1, \ldots, U, k = 1, \ldots, T$$

$$\sum_{(i,p_i) \in I} v^k_{u,m,(i,p_i)} \le \overline{R}^k_{m,u} \quad m = 1, \ldots, M, \quad u = 1, \ldots, U, k = 1, \ldots, T \quad (۴)$$

محدودیت منابع قابل‌انتقال به دورهٔ بعد

$$\sum_{k'=1}^{k} \sum_{m=M+1}^{\hat{M}} \hat{v}^{k',k}_{u,m,(i,p_i)} \cdot (1 + Rate^{k',k}_{u,m}) = \sum_{t=1}^{T} r^{t,k}_{(i,p_i),u} \cdot x^t_{(i,p_i)} \quad (i,p_i) \in I, \quad (۵)$$
$$u = U+1, \ldots, \hat{U}-1, k = 1, \ldots, T$$

$$\sum_{(i,p_i) \in I} \sum_{k'=k}^{T} \hat{v}^{k,k'}_{u,m,(i,p_i)} \le \overline{R}^k_{m,u} \quad m = M+1, \quad (۶)$$
$$\ldots, \hat{M}, u = U+1, \ldots, \hat{U}-1, k = 1, \ldots, T$$

محدودیت‌های سرمایه

$$B^k(x)=\sum_{(i,p_i)\in I}\sum_{t=1}^{T}c^{t,k}_{(i,p_i)}\cdot x^t_{(i,p_i)}+\sum_{j=1}^{s}z^k_j(x)\cdot a^k_j \qquad k=1,\ldots,T \tag{۷}$$

$$C^k(x)=\sum_{(i,p_i)\in I}\left(\sum_{u=1}^{U}\sum_{m=1}^{M}co^k_{u,m,(i,p_i)}\cdot v^k_{u,m,(i,p_i)}+\sum_{u=U+1}^{\hat{U}-1}\sum_{m=M+1}^{\hat{M}}\sum_{k'=k}^{T}co^k_{u,m,(i,p_i)}\cdot \hat{v}^{k,k'}_{u,m,(i,p_i)}\right) \qquad k=1,\ldots,T \tag{۸}$$

$$I^k_{\hat{U}}(x)=B^{k-1}(x)+\bar{R}^k_{\hat{U}}+\left(I^{k-1}_{\hat{U}}(x)-\left(\sum_{(i,p_i)\in I}\sum_{t=1}^{T}r^{t,k-1}_{(i,p_i),\hat{U}}\cdot x^t_{(i,p_i)}+C^{k-1}(x)\right)\right)\cdot\left(1+Rate^{k-1,k}_{\hat{U}}\right) \qquad k=1,\ldots,T \tag{۹}$$

$$I^k_{\hat{U}}(x)=\bar{R}^k_{\hat{U}}+\left(I^{k-1}_{\hat{U}}(x)-\left(\sum_{(i,p_i)\in I}\sum_{t=1}^{T}r^{t,k-1}_{(i,p_i),\hat{U}}\cdot x^t_{(i,p_i)}+C^{k-1}(x)\right)\right)\cdot\left(1+Rate^{k-1,k}_{\hat{U}}\right) \qquad k=1,\ldots,T \tag{۱۰}$$

$$\sum_{(i,p_i)\in I}\sum_{t=1}^{T}r^{t,k}_{(i,p_i),\hat{U}}\cdot x^t_{(i,p_i)}+C^k(x)\le I^k_{\hat{U}}(x) \qquad k=1,\ldots,T \tag{۱۱}$$

محدودیت‌های وابستگی متقابل پروژه‌ها

$$\left(\sum_{(i,p_i)\in A_j}\sum_{t=k-d_{(i,p_i)}+1}^{k}x^t_{(i,p_i)}\right)-\underline{A}_j+1\le NP\cdot\underline{z}^k_j(x)\le\left(\sum_{(i,p_i)\in A_j}\sum_{t=k-d_{(i,p_i)}+1}^{k}x^t_{(i,p_i)}\right)-\underline{A}_j+NP \qquad j=1,\ldots,S,k=1,\ldots,T \tag{۱۲}$$

$$\bar{A}_j-\left(\sum_{(i,p_i)\in A_j}\sum_{t=k-d_{(i,p_i)}+1}^{k}x^t_{(i,p_i)}\right)+1\le NP\cdot\bar{z}^k_j(x)\le\bar{A}_j-\left(\sum_{(i,p_i)\in A_j}\sum_{t=k-d_{(i,p_i)}+1}^{k}x^t_{(i,p_i)}\right)+NP \qquad j=1,\ldots,S,k=1,\ldots,T \tag{۱۳}$$

$$z^k_j(x)=\underline{z}^k_j(x)+\bar{z}^k_j(x)-1 \qquad j=1,\ldots,S,k=1,\ldots,T \tag{۱۴}$$

محدودیت‌های عددی دوره‌ای و کلی سبد

$$\underline{e}^k_{NR_k}\le E^k_{NR_k.NP}\cdot\begin{pmatrix}\sum_{t=k-d_{(1,1)}+1}^{k}x^t_{(1,1)}\\ \vdots\\ \sum_{t=k-d_{(N,P_N)}+1}^{k}x^t_{(N,p_N)}\end{pmatrix}\le\bar{e}^k_{NR_k} \qquad j=1,\ldots,S,k=1,\ldots,T \tag{۱۵}$$

$$\underline{e}_{NR}\le E_{NR.NP}\cdot\begin{pmatrix}\sum_{t=1}^{T}x^t_{(1,1)}\\ \vdots\\ \sum_{t=1}^{T}x^t_{(N,P_N)}\end{pmatrix}\le\bar{e}_{NR} \qquad nr=1,\ldots,NR \tag{۱۶}$$

محدودیت یگانگی پروژه‌ها

$$CL_i\le\sum_{t=1}^{T}x^t_{(i,1)}\le 1\quad i=1,\ldots,N \tag{۱۷}$$

$$\sum_{t=1}^{T}x^t_{(i,p_i)}=\sum_{t=1}^{T}x^t_{(i,p_i-1)} \qquad i=1,\ldots,N,\ p_i=2,\ldots P_i \tag{۱۸}$$

محدودیت‌های مربوط به نقطهٔ شروع پروژه‌ها

$$\alpha_{sp}\sum_{t=1}^{T}x^t_{(i,p_i)}\le\sum_{t=1}^{T}t\cdot x^t_{(i,p_i)}\le\beta_{sp} \qquad (i,p_i)\in E_{sp},sp=1,\ldots,SP \tag{۱۹}$$

$$\sum_{t=1}^{T}t\cdot x^t_{(i,p_i)}\le MS-d_{(i,p_i)}+1\ \ (i,p_i)\in I \tag{۲۰}$$

محدودیت‌های روابط پیش‌نیازی پروژه‌ها

$$\sum_{t=1}^{T}x^t_{(l,p_l)}\le\sum_{t=1}^{T}x^t_{(i,p_i)} \qquad (l,p_l)\in L,(i,p_i)\in pr_{(l,p_l)} \tag{۲۱}$$

$$\sum_{t=1}^{T}x^t_{(l,p_l)}\left(\sum_{t=1}^{T}t\cdot x^t_{(i,p_i)}+\underline{h}_{(i,p_i),(l,p_l)}\right)\le\sum_{t=1}^{T}t\cdot x^t_{(l,p_l)}\le\sum_{t=1}^{T}t\cdot x^t_{(i,p_i)}+\bar{h}_{(i,p_i),(l,p_l)} \qquad (l,p_l)\in L,(i,p_i)\in pr_{(l,p_l)} \tag{۲۲}$$

عبارت ۱ نشان‌دهندهٔ سود حاصل از سبد در کل دورهٔ برنامه‌ریزی با فرض سرمایه‌گذاری مجدد است که با مجموع کل سرمایهٔ موجود در ابتدای دورهٔ T منهای هزینه‌ها و بودجهٔ موردنیاز در دورهٔ T برابر است و با نرخ سرمایه‌گذاری به انتهای دورهٔ T انتقال می‌یابد، به‌علاوهٔ سود به‌دست‌آمده در انتهای دورهٔ T.

عبارت ۲ مانند رابطهٔ ۱ است، اما بدون فرض سرمایه‌گذاری مجدد و فرض می‌شود سودهای به‌دست‌آمده از پروژه‌های تکمیل‌شده در دیگر پروژه‌ها سرمایه‌گذاری نمی‌شود و با نرخ سرمایه‌گذاری خارجی به انتهای دورهٔ برنامه‌ریزی انتقال می‌یابد. محدودیت ۳ به تأمین منابع غیرقابل‌انتقال به دورهٔ بعد از روش‌های مختلف مربوط است. محدودیت ۴ نیز محدودیت ظرفیت روش‌های تأمین منابع برای منابع غیرقابل‌انتقال به دورهٔ بعد در هر دوره است. محدودیت‌های ۵ و ۶ مانند محدودیت‌های ۳ و ۴ و مربوط به منابع قابل‌انتقال به دورهٔ بعد است. عبارت ۷ بیانگر سود به‌دست‌آمده از همهٔ پروژه‌ها در انتهای دورهٔ k است که برابر سود انفرادی به‌دست‌آمده از همهٔ پروژه‌ها در انتهای دورهٔ k و سود حاصل از وابستگی متقابل میان پروژه‌ها در دورهٔ k است. عبارت ۸ بیانگر هزینهٔ کل مورد نیاز برای تأمین منابع غیرقابل‌انتقال و قابل‌انتقال همهٔ پروژه‌ها در ابتدای دورهٔ k است. رابطه‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب موجودی سرمایه را در ابتدای هر دوره با فرض راهبردی سرمایه‌گذاری مجدد و بدون درنظرگرفتن این راهبرد نشان می‌دهند. در رابطهٔ ۱۰، سود به‌دست‌آمده از پروژه‌ها در آن درنظر گرفته نمی‌شود. فرض بر این است که سود به‌دست‌آمده در هر دوره، در آخر آن دوره یا ابتدای دورهٔ بعد است. محدودیت ۱۱ نشان‌دهندهٔ محدودیت سرمایه در هر دوره است. محدودیت‌های ۱۲ و ۱۳ نشان می‌دهد که اگر از پروژه‌های مجموعهٔ A_j حداقل $\underline{A}_j$ یا حداکثر $\overline{A}_j$ تا از آن‌ها در دورهٔ k هم‌زمان فعال باشند، متغیر $\underline{z}_j^k(x)$ و $\overline{z}_j^k(x)$ مقدار یک و در غیر این صورت صفر می‌گیرد. سرانجام زمانی که حداقل $\underline{A}_j$ تا و حداکثر $\overline{A}_j$ تا از پروژه‌های مجموعه A_j در دورهٔ k هم‌زمان فعال باشند، متغیرهای $\underline{z}_j^k(x)$ و $\overline{z}_j^k(x)$ هر دو مقدار یک می‌گیرند و در غیر این صورت برابر صفر هستند. از آنجا که متغیرهای $\underline{z}_j^k(x)$ و $\overline{z}_j^k(x)$ هم‌زمان صفر نمی‌شوند، متغیر $z_j^k(x)$ را که نشان‌دهندهٔ وقوع یا عدم‌وقوع همکاری میان پروژه‌هاست، به‌صورت رابطهٔ ۱۴ تعریف می‌شود. مجموعهٔ محدودیت‌های ۱۵ نشان‌دهندهٔ محدودیت‌های عددی در هر دوره است و به ازای هر رابطه‌ای که بین مجموعهٔ مستقلی از پروژه‌ها در یک دوره است، یک سطر تعریف می‌شود. ضرایب ماتریس $E_{NR_k.NP}^k$ و $\underline{e}_{NR_k}^k$ و $\overline{e}_{NR_k}^k$ در هر سطر نیز با توجه به رابطهٔ بین پروژه‌های هر مجموعه در آن دوره تعریف می‌شود. در هر سطر بردار ستونی که ماتریس $E_{NR_k.NP}^k$ در آن ضرب می‌شود، اگر پروژه (i,p_i) در دورهٔ k فعال باشد، رابطهٔ $\sum_{t=k-d_{(i,p_i)}+1}^{k} x_{(i,p_i)}^t = 1$ برقرار خواهد بود، در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد. مجموعهٔ محدودیت‌های ۱۶ مانند مجموعهٔ محدودیت‌های ۱۵، اما درمجموع دورهٔ برنامه‌ریزی است. محدودیت ۱۷ نشان می‌دهد هر پروژه منحصربه‌فرد است و حداکثر یک‌بار می‌تواند در دورهٔ برنامه‌ریزی شروع شود. همان‌طور که پیش از این بیان شد، تمام روابط براساس فازهای پروژه‌ها خواهد بود؛ بنابراین اگر باید پروژهٔ بزرگ i انتخاب شود، ضروری است پارامتر CL_i، مقدار یک بگیرد و این محدودیت تنها برای فاز اول آن یعنی پروژه $(i,1)$ اعمال می‌شود. در این صورت با توجه به محدودیت ۱۸ که بیانگر وابسته‌بودن همهٔ فازهای پروژه است، سایر فازهای آن پروژه هم انتخاب می‌شوند. محدودیت ۱۹ نشان‌دهندهٔ محدودیت زمانی برای شروع پروژه بین یک بازهٔ زمانی است. محدودیت ۲۰ نشان می‌دهد که هر پروژه حداکثر باید تا آخر دورهٔ برنامه‌ریزی تکمیل شود. محدودیت ۲۱ نشان‌دهندهٔ این است که در تمام دورهٔ برنامه‌ریزی، یک پروژه در صورتی می‌تواند انتخاب شود که پیش‌نیازهایش انتخاب‌شده باشند. محدودیت ۲۲ حداقل و حداکثر فاصلهٔ زمانی بین زمان شروع پروژه و زمان پایان پروژه‌های پیش‌نیازش را نشان می‌دهد.

نتایج محاسباتی

برای بررسی تأثیرات انفرادی و هم‌زمان وابستگی متقابل میان پروژه‌ها و راهبردهای قابلیت شکست پروژه‌ها، سرمایه‌گذاری مجدد، سرمایه‌گذاری خارجی و درنظرگرفتن

روش‌های مختلف برای تأمین منابع پروژه‌ها مدل ارائه‌شده تحت ۸ سناریو بررسی شده است و در هر سناریو نرخ‌های سرمایه‌گذاری متفاوت است. نتایج به‌دست‌آمده (سود) برای مثال‌های مختلف که با نرم‌افزار GAMS24.7.3، حل شده است، در جدول ۲ به‌ترتیب نتایج برای مثال‌هایی با اندازهٔ کوچک و متوسط و بزرگ آمده است.

در همهٔ سناریوهایی که برقراربودن یا نبودن فرض سرمایه‌گذاری مجدد مدنظر بوده است، برای تابع هدف از رابطهٔ ۱ یا ۲ و برای محدودیت سرمایه از رابطهٔ ۹ یا ۱۰ استفاده شده است.

همچنین از آنجا که مدل براساس فازهای پروژه‌ها بیان شده است، برای درنظرگرفتن یا درنظرنگرفتن قابلیت شکست پروژه‌ها، پارامترهای $\underline{h}_{(i,p_i),(l,p_l)}$ و $\overline{h}_{(i,p_i),(l,p_l)}$ در محدودیت ۲۲ به‌گونه‌ای تعریف می‌شوند که شرایط دلخواه برقرار شود. برای درنظرنگرفتن وابستگی متقابل پروژه‌ها، پارامتر a_j^k مقدار صفر می‌گیرد. همچنین برای سناریوهایی که به راهبرد درنظرگرفتن روش‌های مختلف برای تأمین منابع توجه نکردند، تنها یک روش (منابع سازمان) مدنظر قرار می‌گیرد. پارامتر $(\overline{R}_{m,u}^k)$ مربوط به سایر روش‌ها صفر درنظر گرفته می‌شوند. در مثال‌های حل‌شده فرض می‌شود که می‌توان از دو روش منابع پروژه‌ها را تأمین کرد. یکی استفاده از منابع سازمان و دیگری تأمین منابع از بیرون سازمان که هزینهٔ بیشتری دارند. بدین‌صورت می‌توان مدل ارائه‌شده را تحت ۸ سناریو بررسی کرد.

در سناریوی اول هیچ‌یک از موارد ذکرشده درنظر گرفته نشدند. در سناریوهای ۲، ۳، ۴ و ۵ به‌ترتیب قابلیت شکست پروژه‌ها، سرمایه‌گذاری مجدد، وابستگی متقابل پروژه‌ها و درنظرگرفتن روش‌های مختلف برای تأمین منابع درنظر گرفته شدند. همان‌طور که انتظار می‌رود با درنظرگرفتن این موارد، مدل منعطف‌تر می‌شود و پاسخ بهتری به‌دست می‌آید که نتایج این موضوع را به‌درستی نشان می‌دهد. همچنین از آنجا که انتظار می‌رود با درنظرگرفتن راهبرد سرمایه‌گذاری مجدد با راهبردهای قابلیت شکست پروژه‌ها و توجه به روش‌های مختلف برای تأمین منابع، پاسخ‌های بهتری به‌دست می‌آید، در سناریوهای ۶ و ۷ تأثیرات هم‌زمان این راهبردها درنظر گرفته شده است و مقایسهٔ پاسخ‌های به‌دست‌آمده از این سناریوها با پاسخ‌های به‌دست‌آمده از سناریوهای ۲، ۳ و ۵ این موضوع را نشان می‌دهند. سرانجام در سناریوی آخر همهٔ موارد هم‌زمان درنظر گرفته شدند و پاسخ‌های به‌دست‌آمده کارایی مدل را نشان می‌دهند.

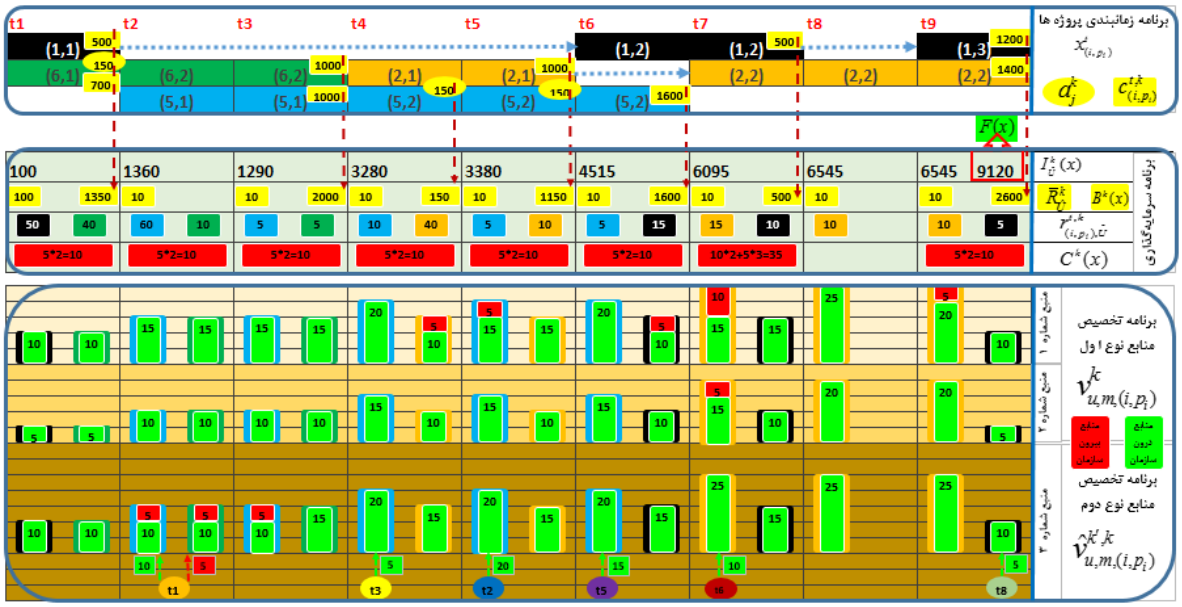
برای بررسی دقیق‌تر کارایی مدل و نمایش پاسخ‌های آن، پارامترهای اولین مثال جدول ۲ در جدول ۳ آمده است. این مثال شامل ۶ پروژهٔ بزرگ است که پروژهٔ اول از سه فاز، پروژهٔ دوم از دو فاز، پروژهٔ سوم و چهارم از یک فاز، پروژهٔ پنجم از دو فاز و پروژهٔ ششم از دو فاز تشکیل شده‌اند. فرض بر این است که دو منبع غیرقابل‌انتقال به دورهٔ بعد (منبع ۱ و ۲)، منبع قابل‌انتقال به دورهٔ بعد (منبع ۳) و منبع بودجه (منبع ۴) هم که قابل‌انتقال به دورهٔ بعد است، نیاز دارند. هریک از منابع ۱ و ۲ از دو روش ۱ و ۲ و منبع ۳ هم از دو روش ۳ و ۴ قابل‌تأمین است. روش‌های ۱ و ۳ در واقع یک روش و آن هم منابع خود سازمان هستند و هزینهٔ تأمین آن‌ها صفر درنظر گرفته شده است. روش‌های ۲ و ۴ نیز در واقع یک روش و آن هم منابع بیرون سازمان هستند و هزینهٔ خرید آن‌ها درنظر گرفته شده است. برنامهٔ انتخاب، زمان‌بندی، سرمایه‌گذاری و تخصیص منابع پروژه‌های سناریوی هشتم این مثال در شکل ۲ آمده است. همچنین برای مقایسهٔ برنامهٔ زمان‌بندی سایر سناریوها، در شکل ۳ برنامهٔ زمان‌بندی همهٔ سناریوها آمده است. با توجه به شکل ۳، در سناریوی دوم با درنظرگرفتن قابلیت شکست پروژه‌ها، پروژهٔ بزرگ ۲ که سوددهی بیشتری دارد، جایگزین پروژهٔ بزرگ ۱ در سناریوی اول می‌شود. از سوی دیگر چون منابع بیشتری نیاز است، به‌گونه‌ای بین فاز اول و دوم آن شکست رخ می‌دهد که دچار کمبود منبع نشود و درنهایت سود بیشتری به‌دست بیاید. همین‌طور در سناریوی ۳ با استفاده از سرمایه‌گذاری سود حاصل از پروژه‌های تکمیل‌شده در سایر پروژه‌ها، پروژهٔ بزرگ ۶ هم قابلیت اجرا می‌یابد و سرانجام سود بیشتری در مقایسه با سناریوی ۱ حاصل می‌شود. سناریوی ۴ درواقع همان سناریوی ۱ است که تأثیر حاصل از وابستگی متقابل پروژه ۲ و ۵ و پروژهٔ ۱ و ۱ به‌صورت سود (صرفه‌جویی در هزینه) در آن مدنظر قرار گرفته است.

جدول ۲. نتایج محاسباتی مثال‌های مختلف در اندازه‌های گوناگون از مدل ارائه‌شده تحت ۸ سناریو

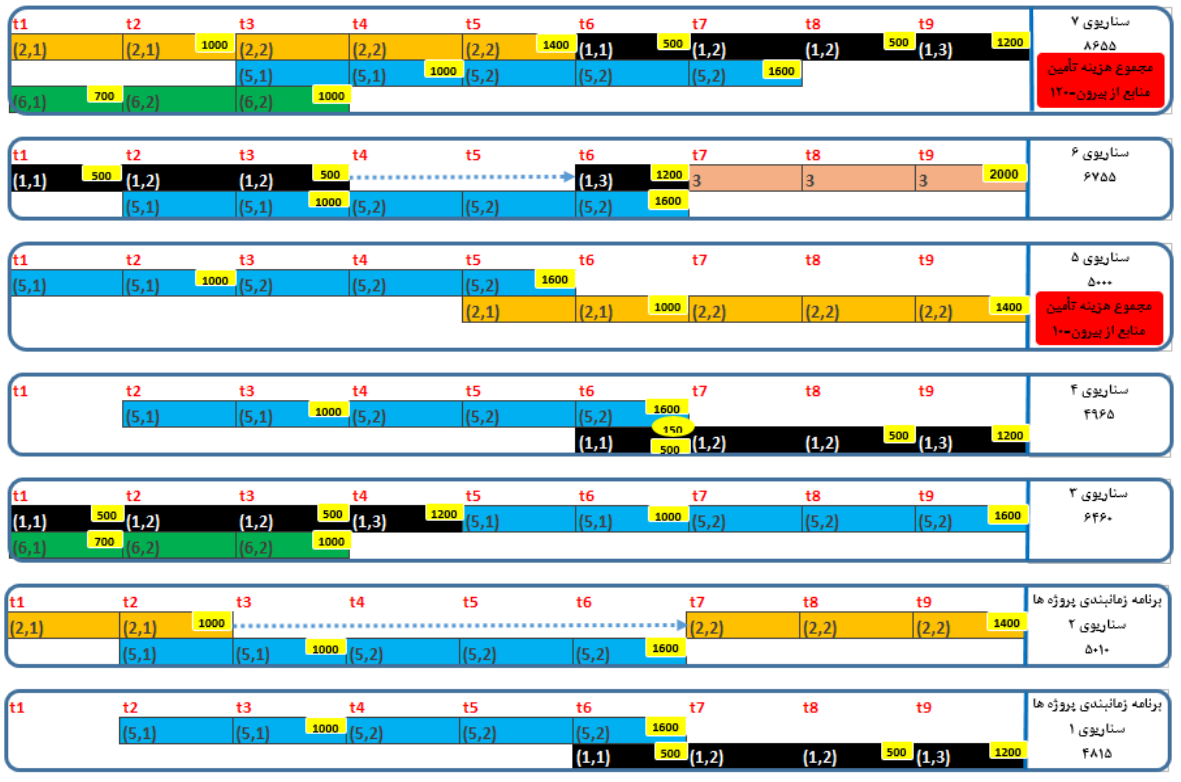
اندازهٔ مثال‌ها	تعداد دوره‌های زمانی	تعداد پروژه‌های بزرگ	کل تعداد فازهای پروژه‌های بزرگ	نرخ سرمایه‌گذاری خارجی هر دوره	سناریوها ۱ مدل پایه	۲ قابلیت شکست پروژه‌ها	۳ سرمایه‌گذاری مجدد	۴ وابستگی متقابل پروژه‌ها	۵ روش‌های گوناگون تأمین منابع	۶ سرمایه‌گذاری مجدد و قابلیت شکست پروژه‌ها	۷ سرمایه‌گذاری مجدد و روش‌های گوناگون تأمین منابع	۸ مدل جامع
کوچک	۹	۶	۱۱	٪۰	۴۸۱۵	۵۰۱۰	۶۴۶۰	۴۹۶۵	۵۰۰۰	۶۷۵۵	۸۶۵۵	۹۱۲۰
				٪۵	۶۵۷۰	۶۵۹۰	۷۷۶۲	۶۷۳۴	۶۵۷۰	۷۷۸۸	۱۳۰۵۳	۱۳۵۳۶
				٪۱۰	۷۷۸۹	۷۸۸۱	۹۳۶۵	۷۸۲۸	۷۷۸۹	۹۳۶۵	۱۵۱۳۳	۱۵۸۰۷
		۱۲	۲۲	٪۰	۷۶۲۰	۸۰۱۵	۱۰۳۱۵	۸۱۶۵	۷۶۲۰	۱۰۷۱۰	۲۰۵۵۰	۲۱۶۰۰
				٪۵	۹۲۶۷	۹۳۸۵	۱۰۲۲۲	۹۴۳۲	۹۲۶۷	۱۱۵۶۶	۲۱۰۲۶	۲۳۵۹۶
				٪۱۰	۱۰۸۲۵	۱۰۸۲۵	۱۲۰۸۳	۱۱۰۸۰	۱۰۸۲۵	۱۳۷۸۸	۲۳۷۷۸	۲۶۶۵۸
متوسط	۱۲	۶	۱۱	٪۰	۴۸۴۵	۴۸۴۵	۶۴۹۰	۴۸۴۵	۴۸۴۵	۶۴۹۰	۶۴۹۰	۶۴۹۰
				٪۵	۷۸۴۹	۷۸۴۹	۸۲۵۵	۷۸۴۹	۷۸۴۹	۸۲۵۵	۸۲۵۵	۸۲۵۵
				٪۱۰	۹۴۵۳	۹۴۵۳	۱۰۶۲۴	۹۴۵۳	۹۴۵۳	۱۰۶۲۴	۱۰۶۲۴	۱۰۶۲۴
		۱۲	۲۲	٪۰	۵۰۴۰	۶۳۳۵	۶۸۹۰	۶۴۸۵	۵۴۱۵	۶۹۸۰	۸۰۱۰	۹۶۴۵
				٪۵	۶۲۵۶	۶۲۵۶	۶۴۵۸	۶۲۵۶	۷۳۶۸	۶۷۲۲	۱۰۳۹۷	۱۲۰۳۰۷
				٪۱۰	۷۵۰۳	۷۵۰۳	۸۳۹۰	۷۵۰۳	۸۷۶۴	۹۱۶۹	۱۳۱۳۱	۱۶۰۹۹
بزرگ	۲۴	۱۲	۲۲	٪۰	۱۳۷۲۵	۱۳۹۲۰	۱۵۳۷۰	۱۳۷۲۵	۱۳۹۱۰	۱۵۳۷۰	۲۳۲۰۵	۲۴۲۵۵
				٪۵	۲۳۶۰۴	۲۳۷۷۳	۲۸۵۸۸	۲۳۶۰۴	۲۳۶۳۲	۲۹۸۰۳	۴۷۵۴۱	۵۰۲۱۳
				٪۱۰	۳۳۳۸۱	۳۳۴۳۷	۵۶۳۶۹	۳۳۳۸۱	۳۵۲۳۵	۶۱۲۴۷	۱۰۴۴۳۴	۱۱۰۰۰۲
		۲۴	۴۴	٪۰	۱۸۲۳۵	۱۸۶۳۰	۱۸۲۳۵	۱۸۲۳۵	۲۰۱۱۰	۱۹۱۰۵	۴۰۸۰۰	۴۲۹۰۰
				٪۵	۴۲۵۴۲	۴۳۳۳۸	۵۸۲۵۱	۴۴۷۶۲	۴۳۲۹۵	۶۲۴۹۹	۹۰۸۳۱	۹۴۸۵۲
				٪۱۰	۶۳۰۳۳	۶۴۷۱۸	۱۱۶۰۴۷	۶۵۶۵۵	۶۵۸۵۰	۱۲۵۹۷۳	۱۹۰۷۴۶	۱۹۸۱۵۳

جدول ۳. پارامترهای اولین مثال جدول ۲

پروژه‌ها		فازهای پروژهٔ ۱ (۱ و ۱)	فازهای پروژهٔ ۱ (۲ و ۱)	فازهای پروژهٔ ۱ (۳ و ۱)	فازهای پروژهٔ ۲ (۱ و ۲)	فازهای پروژهٔ ۲ (۲ و ۲)	پروژهٔ ۳ ۳	پروژهٔ ۴ ۴	فازهای پروژهٔ ۵ (۱ و ۵)	فازهای پروژهٔ ۵ (۲ و ۵)	فازهای پروژهٔ ۶ (۱ و ۶)	فازهای پروژهٔ ۶ (۲ و ۶)
$d_{(i,p_i)}$		۱	۲	۱	۲	۳	۳	۴	۲	۳	۱	۲
$c^{t,k}_{(i,p_i)}$ سود مستقل، از زمان شروع و در انتهای هر پروژه است.		۵۰۰	۵۰۰	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۱۴۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۱۰۰۰	۱۶۰۰	۷۰۰	۱۰۰۰
$r^{t,k}_{(i,p_i),u}$ هر پروژه در هر دوره‌ای که فعال است، به منبع نیاز دارد و مستقل از زمان شروع است.	منبع ۱ و ۲ (غیرقابل‌انتقال)	۵ ۱۰	۱۰ ۱۵ ۱۰ ۱۵	۵ ۱۰	۱۰ ۱۵ ۱۰ ۱۵	۲۰ ۲۵ ۲۰ ۲۵ ۲۰ ۲۵	۲۵ ۳۰ ۲۵ ۳۰ ۲۵ ۳۰	۲۵ ۳۰ ۲۵ ۳۰ ۲۵ ۳۰ ۲۵ ۳۰	۱۰ ۱۵ ۱۰ ۱۵	۱۵ ۲۰ ۱۵ ۲۰ ۱۵ ۲۰	۵ ۱۰	۱۰ ۱۵ ۱۰ ۱۵
	منبع ۳ و ۴ (قابل‌انتقال)	۵۰ ۱۰	۱۵ ۱۵ ۱۰ ۱۵	۵ ۱۰	۴۰ ۱۵ ۱۰ ۱۵	۱۵ ۲۵ ۱۰ ۲۵ ۱۰ ۲۵	۴۰ ۳۰ ۱۰ ۳۰ ۱۰ ۳۰	۴۵ ۳۰ ۱۵ ۳۰ ۱۵ ۳۰ ۱۵ ۳۰	۶۰ ۱۵ ۵ ۱۵	۱۰ ۲۰ ۵ ۲۰ ۵ ۲۰	۴۰ ۱۰	۱۰ ۱۵ ۵ ۱۵
$\bar{R}^k_{m,u}, \bar{R}^k_U$	فرض می‌شود در هر دوره ظرفیت روش اول از منبع ۱، ۳۰ و از منبع ۲، ۲۵ و ظرفیت روش دوم از منبع ۱، ۱۰۰ و از منبع ۲ هم ۱۰۰ واحد است. ظرفیت روش سوم و چهارم از منبع ۳ نیز به‌ترتیب ۳۰ و ۱۰۰ واحد است. همچنین بودجهٔ در دسترس در دورهٔ اول ۱۰۰ و در بقیهٔ دوره‌ها ۱۰ واحد است.											
$co^k_{u,m,(i,p_i)}$	فرض می‌شود هزینهٔ تأمین هر واحد از سه منبع ۱ و ۲ و ۳ برای هر پروژه از سازمان صفر، و از بیرون سازمان به‌ترتیب ۲، ۳ و ۲ واحد است.											
روابط پیش‌نیازی	فرض می‌شود هر فاز پروژه به‌صورت متوالی پیش‌نیاز فاز بعدی آن است. همچنین پروژهٔ ۳ پیش‌نیاز پروژهٔ ۴ است. همچنین فرض می‌شود پروژه حداقل باید پس از اتمام پروژه پیش‌نیازش شروع شود و محدودیتی برای حداکثر زمان شروع آن بعد از اتمام پروژه پیش‌نیازش نباشد.											
روابط وابستگی متقابل	فرض می‌شود اگر حداقل ۲ و حداکثر ۴ پروژه از مجموعهٔ پروژه‌های ۱ و ۱، ۱ و ۲، ۲ و ۵ و ۱ و ۶ و اگر هر ۴ پروژه از مجموعهٔ پروژه‌های ۲ و ۱، ۲ و ۲، ۴ و ۲ و ۶ هم‌زمان در هر دوره‌ای فعال باشند، به‌ترتیب ۱۵۰ واحد سود و ۲۰ واحد ضرر در انتهای آن دوره به‌دست می‌آید.											
سایر پارامترها	نرخ انتقال منابع قابل‌انتقال به دورهٔ بعد و نرخ انتقال سرمایه، صفر درنظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود در هر دوره، حداکثر دو پروژه باید فعال باشد؛ بنابراین ماتریس ضرایب محدودیت‌های عددی در هر دوره، یک سطر و به تعداد پروژه‌ها ستون دارد. همهٔ درایه‌های آن نیز عدد ۱ می‌گیرند. همچنین بردار ستونی ضرایب حداقلی و حداکثری برای محدودیت‌های عددی در هر دوره، یک درایه دارند و به‌ترتیب ۰ و ۲ می‌گیرند.											



شکل ۲. برنامهٔ انتخاب، زمان‌بندی، سرمایه‌گذاری و تخصیص منابع سناریوی هشتم اولین مثال جدول ۲



شکل ۳. برنامهٔ انتخاب و زمان‌بندی سناریوهای اول تا هفتم اولین مثال جدول ۲

ترکیب پروژه‌های انتخاب در سناریوی ۵ مشابه سناریوی ۲ است، اما در اینجا برای جبران کمبود منبع (تنها پنج واحد منبع ۱) از منابع بیرونی سازمان استفاده می‌شود. پروژهٔ بزرگ ۲ که سوددهی بیشتری دارد جایگزین پروژهٔ بزرگ ۱ در سناریوی اول و درنهایت سود بیشتری حاصل می‌شود. در سناریوی ششم با همزمان درنظرگرفتن راهبرد سرمایه‌گذاری مجدد و راهبردهای قابلیت شکست پروژه‌ها، پروژهٔ بزرگ ۳ با استفاده از سرمایه‌گذاری سود حاصل از پروژه‌های تکمیل‌شده در آن قابلیت اجرایی پیدا می‌کند و پروژه بزرگ ۱ هم با شکست

مواجه می‌شود و درنهایت سود بیشتری نسبت به هریک از سناریوهای ۱، ۲ و ۳ حاصل می‌شود. همچنین در سناریوی ۷ با هم‌زمان درنظرگرفتن راهبردهای سرمایه‌گذاری مجدد و توجه به روش‌های مختلف برای تأمین منابع، همانند سناریوی ۵ پروژهٔ بزرگ ۲ که منابع بیشتر و از طرفی سوددهی بیشتری نسبت به پروژهٔ بزرگ ۱ دارد با تأمین منابع آن از بیرون، قابلیت اجرایی می‌یابد. از سوی دیگر، با استفاده از سرمایه‌گذاری سود حاصل از پروژه‌های تکمیل‌شده در پروژهٔ ۱، این پروژه هم قابلیت اجراشدن می‌یابد و درنهایت سود بیشتری نسبت به هرکدام از سناریوهای ۱، ۲ و ۳ حاصل می‌شود. همچنین می‌شود سناریوهای دیگری نیز تعریف کرد که تأثیر هم‌زمان دو یا سه راهبرد را بررسی کند، اما از آنجا که سناریوهای ۶ و ۷ ملموس‌تر بودند، بررسی شدند. از سوی دیگر، در مدل جامع سناریوی آخر تأثیر هم‌زمان همهٔ موارد درنظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۲، ترکیب پروژه‌های انتخابی مانند سناریوی ۷ است، اما به‌دلیل مجازبودن شکست پروژه‌ها، مدل پروژه‌ها به‌گونه‌ای زمان‌بندی می‌شود که با حفظ اینکه حداکثر دو پروژه در هر دوره فعال باشند، حداکثر استفاده از منابع خود سازمان شود و هزینهٔ کمتری برای تأمین منابع از بیرون صورت بگیرد (هزینهٔ تأمین منابع از بیرون در سناریوی هفتم ۱۲۰ واحد و در سناریوی هشتم ۱۰۵ واحد). همچنین حداکثر سود حاصل از وابستگی متقابل بین پروژه‌ها حاصل شود و سرانجام سود بیشتری به‌دست بیاید.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل خطی عدد صحیح مختلط جدید برای مسئلهٔ انتخاب سبد پروژه در افق برنامه‌ریزی متشکل از چندین دورهٔ زمانی با هدف افزایش سود توسعه داده شد که هم‌زمان انتخاب، زمان‌بندی و تخصیص منابع پروژه‌ها را درنظر می‌گیرد. در مدل مدنظر، وابستگی متقابل پروژه‌ها و راهبردهای قابلیت شکست پروژه‌ها، سرمایه‌گذاری مجدد، سرمایه‌گذاری خارجی و درنظرگرفتن روش‌های گوناگون برای تأمین منابع پروژه‌ها که در مطالعات پیشین درنظر گرفته نشدند یا هم‌زمان بررسی نشدند، هم‌زمان برای کاربردها در شرایط واقعی پروژه‌ها مدنظر قرار گرفتند. همچنین محدودیت‌ها و پارامترهایی مانند محدودیت‌های منابع و بودجه، محدودیت‌های عددی، محدودیت‌های زمان‌بندی، روابط پیش‌نیازی، هزینه‌های راه‌اندازی و تأمین منابع پروژه‌ها که در مطالعات پیشین هم‌زمان بررسی نشدند، در پژوهش حاضر هم‌زمان درنظر گرفته شدند. نتایج محاسباتی به‌دست‌آمده، تأثیر مثبت هریک از راهبردها را به‌صورت انفرادی و توأم نشان می‌دهد. همچنین کارایی مدل جامع پیشنهادی را که همهٔ مفروضات و راهبردها را درنظر می‌گیرد (سناریوی ۸) نشان داده شده است. پیشنهاد می‌شود در کارهای آتی، برای حل مدل ریاضی پیشنهادی از الگوریتم‌های فراابتکاری مانند کلونی مورچگان، رقابت استعماری و جست‌وجوی حریصانه برای حل این مسائل در اندازه‌های بزرگ استفاده کرد. همچنین برای مواجهه با عدم قطعیت می‌توان رویکرد فازی برای پارامترهایی از قبیل سود، منابع و بودجهٔ دردسترس یا مورد نیاز، نرخ انتقال منابع و بودجه و سایر پارامترهایی استفاده کرد که در شرایط واقعی پروژه‌ها، مقدار دقیق و قطعی ندارند. سرانجام برای مدل‌سازی می‌توان ملاحظات مربوط به هزینهٔ شکست و هزینهٔ طولانی‌ترشدن پروژه‌ها را بررسی کرد. علاوه‌براین می‌توان فازهای پروژه‌ها را براساس میزان منابع مورد نیاز و زمان تکمیل آن به‌صورت چندحالته (چندین مد) درنظر گرفت و به این صورت حالت‌هایی مانند فشرده یا برون‌سپاری را برای انعطاف بیشتر مدل و رسیدن به برنامهٔ بهتر درنظر گرفت.

منابع

1. Ghasemzadeh, F., Archer, N., And Iyogun, P. (1999). "A Zero-One Model for Project Portfolio Selection and Scheduling", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, No. 7, PP. 745-755.
2. Martino, J. P. (1995). *Research and Development Project Selection*. 1 Edition, Wiley, ISBN-13: 978-0471595373.
3. Mohagheghi, V., Mousavi, S. M., Vahdani, B. (2016). "Sustainable Construction Project Portfolio Selection Under Interval-Valued Type-2 Fuzzy Sets", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 50, No. 2, PP. 327-340.
4. Hatefi, M. A. (2016). "Introducing an Applicable Technique for Ranking and Selecting Project Portfolio, Based on Qualitative Risk Assessment", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 50, No. 1, PP. 133-145.
5. Guo, N., and Xiao, S. R. (2014). "Review of the Development of Project Portfolio Management", *In Advanced Materials Research*, Vol. 838, PP. 3131-3134.
6. Markowitz, H. (1952). "Portfolio Selection." *The Journal of Finance*, Vol. 7, No. 1, PP. 77-91.
7. Markowitz, H., and Selection, P. (1959). "Efficient Diversification of Investments." *John Wiley and Sons*, Vol. 16, No. 12, PP. 26-31.
8. Archer, N. P., and Ghasemzadeh, F. (1999). "An Integrated Framework for Project Portfolio Selection." *International Journal of Project Management*, Vol. 17, No. 4, PP. 207-216.
9. Carazo, A. F. et al. (2010). "Solving a Comprehensive Model for Multiobjective Project Portfolio Selection", *Computers and Operations Research*, Vol. 37, No. 4, PP. 630-639.
10. Belenky, A. S. (2012). "A Boolean Programming Problem of Choosing an Optimal Portfolio Of Projects and Optimal Schedules for Them by Reinvesting Within the Portfolio the Profit from Project Implementation", *Applied Mathematics Letters*, Vol. 25, No. 10, PP. 1279-1284.
11. Gutjahr, W. J., and Froeschl, K. A. (2013). "Project Portfolio Selection Under Uncertainty with Outsourcing Opportunities", *Flexible Services and Manufacturing Journal*, Vol. 25, No. 2, PP. 255-281.
12. Ebrahimnejad, S., Hosseinpour, M. H., and Nasrabadi, A. M. (2013). "A Fuzzy Bi-Objective Mathematical Model for Optimum Portfolio Selection by Considering Inflation Rate Effects", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 69, No. 1 and 4, PP. 595-616.
13. Jafarzadeh, M. et al. (2015). "Optimal Selection of Project Portfolios Using Reinvestment Strategy Within a Flexible Time Horizon", *European Journal of Operational Research*, Vol. 243, No. 2, PP. 658-664.
14. Tofighian, A. A., and Naderi, B. (2015). "Modeling and Solving the Project Selection and Scheduling", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 83, No. 1, PP. 30-38.
15. Li, X. et al. (2016). "An Extended Model for Project Portfolio Selection with Project Divisibility and Interdependency", *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 25, No. 1, PP. 119-138.
16. Wang, B., and Song, Y. (2016). "Reinvestment Strategy-Based Project Portfolio Selection and Scheduling with Time-Dependent Budget Limit Considering Time Value of Capital", *In Proceedings of the 2015 International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation*, Vol. 378, PP. 373-381.
17. Li, X. et al. (2017). "Uncertain Mean-Variance Model for Project Portfolio Selection Problem with Divisibility", Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, Vol. 32, No. 6, PP. 4513-4522.
18. Santhanam, R., and Kyparisis, G. J. (1996). "A Decision Model for Interdependent Information System Project Selection", *European Journal of Operational Research*, Vol. 89, No. 2, PP. 380-399.
19. Fox, G. E., Baker, N. R., and Bryant, J. L. (1984). "Economic Models for R and D Project Selection in the Presence of Project Interactions", *Management Science*, Vol. 30, No. 7, PP. 890-902.
20. Zhu, G., Bard, J. F., and Yu, G. (2005). "Disruption Management for Resource-Constrained Project Scheduling", Journal of the Operational Research Society, Vol. 56, No. 4, PP. 365-381.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Project Portfolio Management (PPM)
2. Project Portfolio Selection (PPS)
3. Interdependency
4. Synergistic Benefit
5. Competitive Loss
6. Divisibility
7. Interruptions
8. Outsourcing Opportunities
9. Reinvestment
10. External Investment
11. Cardinality Constraints