دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال هفتم، شماره سی و دوم، مهر و آبان ۱۴۰۰
شماره شاپا: ۲۵۸۸-۵۸۸X

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

پژوهش‌های نوین در ریاضی

برنامه‌ریزی منابع برای مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه خودتامین مالی در سازمان‌های پروژه محور

سیدمهدی میرخورسندی لنگرودی[۱]، حسین خسروی[۲]، علیرضا داودی[۳*]، سیدمجتبی موحدی‌فر[۱]

(۱) گروه مهندسی عمران، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
(۲) استادیار، عضو هیات علمی گروه عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
(۳) گروه ریاضی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۶

چکیده

سازمان‌های پروژه محور یکی از شکل‌های سازمانی نوظهور می‌باشد که حول پروژه‌ها و تیم‌ها شکل می‌گیرند. این سازمان‌ها دارای مرزها و زمینه‌های کاری پویا هستند و در آنها تعداد و اندازه پروژه‌های سازمان به طور مرتب تغییر می‌یابند. مدیران این سازمان‌ها همواره با مسئله انتخاب اقتصادی‌ترین پروژه‌ها برای سازمان‌هایشان و همچنین مدیریت منابع برای پروژه‌های انتخاب شده مواجه می‌باشند. در این پژوهش مدل ریاضی مدیریت منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر برای سازمان‌های پروژه محور خود تامین مالی ارائه شده است. بدین معنی که، تامین مالی سازمان صرفاً از محل سرمایه اولیه سازمان و نیز درآمد پروژه‌های تکمیل شده می‌باشد. مدلسازی ریاضی مدیریت منابع در مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه خودتامین مالی در یک سازمان‌های پروژه محور برای اولین بار در مقاله حاضر ارائه شده است. در این خصوص، با استفاده از تئوری سبد پروژه، انتخاب و زمانبندی پروژه‌ها درون یک سازمان پروژه محور با توجه به محدودیت منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، وجود رابطه پیش‌نیازی میان فعالیت‌های پروژه‌ها، در نظرگیری ارزش زمانی سرمایه برای منابع مالی و نهایتاً بکارگیری استراتژی درآمدزایی حین کار صورت گرفته است. تابع هدف بصورت دوهدفه ارزش خالص فعلی سرمایه‌گذاری را بیشینه و همچنین منابع تجدیدپذیر بیکار در حین انجام سبد را کمینه می‌نماید. مدلسازی بصورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط بوده و پس از خطی‌سازی مدل، از روش L_P متریک برای حل تابع هدف چند هدفه استفاده شده است و نهایتاً نتایج بر روی مثال عددی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان‌دهنده مدیریت بهینه منابع در مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه خود تامین مالی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سازمان پروژه محور، روش L_P متریک (روش معیار جامع)، انتخاب و زمانبندی سبدپروژه خود تامین، تخصیص منابع، تسطیح منابع، ارزش خالص فعلی سرمایه.

*. عهده‌دار مکاتبات: Email:alirzd@yahoo.com

۱- مقدمه

سازمان‌ها برای نیل به اهداف بلند مدت‌شان نیازمند اجرای همزمان پروژه‌های متعدد می‌باشند، در این خصوص، مدیران سازمان‌ها همواره با مسئله انتخاب پروژه‌ها، اولویت‌بندی آنها و مدیریت منابع میان پروژه‌هایشان مواجه هستند [۱و۲].

مدیریت منابع شامل تخصیص و تسطیح منابع می‌باشد. در تخصیص منابع فرض بر وجود محدودیت منابع می‌باشد که باعث تغییر زمان مسیر بحرانی پروژه می‌شود، لذا تخصیص منابع نقش مهمی را در موفقت سبد پروژه ایفا می‌کند. از سوی دیگر، در تسطیح منابع فرض بر آن است که منابع به اندازه کافی در دسترس می‌باشد و هدف کمینه سازی تغییرات زمانی منابع برای کاهش هزینه استخدام و بکارگیری منابع می‌باشد. در عمل یک پروژه با توجه به شرایط می‌تواند درگیر هر دو مسئله تخصیص و تسطیح منابع باشد[۳و۴].

از دیدگاه دیگر منابع به دو دسته کلی منابع تجدیدپذیر و منابع تجدیدناپذیر تقسیم می‌شوند. منابع تجدیدپذیر آن دسته از منابع می‌باشند که با اتمام فعالیت بیکار شده و می‌توانند به فعالیتی دیگر اختصاص یابند، مانند نیروی انسانی و ماشین‌آلات. محدودیت این گونه از منابع، محدودیت تعدادی در هر قطع زمانی می‌باشد. از سوی دیگر، منابع تجدیدناپذیر نیز آن دسته از منابع می‌باشند که در حین زمان اجرای فعالیت مصرف می‌شوند و قابلیت استفاده مجدد برای فعالیتی دیگر را ندارند، همانند بودجه و مواد و مصالح[5]. لازم به ذکر است محدودیت منابع تجدیدناپذیر همانند مواد و مصالح می‌تواند بصورت محدودیت‌های مالی مطرح شوند چراکه در صورت وجود منابع مالی می‌توانند خریداری شوند، لذا محدودیت منابع تجدیدناپذیر در پژوهش حاضر صرفا منابع مالی فرض شده است.

یکی از راهکارهای ارائه شده برای کاهش محدودیت منابع تجدیدناپذیر مالی در یک سازمان پروژه محور، استراتژی درآمدزایی حین کار می‌باشد. در این خصوص درآمد حاصل از پروژه‌ها، مجددا درون سبد سرمایه‌گذاری شده و باعث بهبود تامین مالی و در نتیجه کاهش محدودیت منابع تجدیدناپذیر مالی می‌شود[6]. می‌توان مسئله انتخاب و زمانبندی را در حالتی که سبد پروژه بصورت خودتامین مالی[۲] اداره می‌شود مدیریت نمود، بدین معنی که سرمایه مورد نیاز سبدپروژه صرفا سرمایه اولیه سرمایه گذاران و درآمدهای حاصل از اتمام فعالیت‌های درآمدزای پروژه‌های سبد می‌باشد.

در این پژوهش، برای نخستین بار مدیریت منابع (شامل تخصیص منابع محدود و تسطیح آنها) در مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه‌های یک سازمان پروژه محور خود تامین مالی ارائه شده است. تابع هدف مسئله بصورت دو هدفه، ارزش خالص فعلی سرمایه‌گذاری را بیشینه می‌نماید، همچنین، نوسانات منابع تجدیدپذیر را از حداکثر مقدار دردسترس سازمان در هر بازه زمانی کمینه می‌نماید. در مدل ارائه شده محدودیت منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، رابطه پیش‌نیازی میان فعالیت‌های پروژه‌ها، ارزش زمانی سرمایه و نهایتاً استراتژی درآمدزایی حین کار مدنظر قرار گرفته است. نسبت به مدل‌های گذشته، علاوه بر لحاظ نمودن محدودیت‌های منابع سازمان و تسطیح آنها، از قابلیت انعطاف بیشتر در زمانبندی پروژه‌های سبد برخوردار می‌باشد و امکان یافتن جواب بصورت پروژه کامل، نیمه کامل و فازبندی اجرا را دارد. بصورت خلاصه مدل ارائه شده انطباق بیشتری را با محیط واقعی پروژه دارد.

۲- پیشینه تحقیق

مسئله سبد پروژه همانند مسئله سبدپورتفو مارکویتز، (۱۹۵۲) می‌باشد، در مسئله سبد پورتو هدف یافتن تعدادی سهم از میان سهام‌های قابل

[2] Self-financing project portfolio

سرمایه‌گذاری با توجه به بازدهی هر سهم و ریسک سرمایه گذاری و نیز وزن آن سهم در سبد پورتفو می‌باشد. متعاقباً، در مسئله انتخاب سبد پروژه نیز هدف یافتن بهترین حالت انتخاب پروژه‌ها از مجموعه پروژه‌های ممکن می‌باشد بطوریکه ارزش بدست آمده از اجرای پروژه‌ها که عمدتا درآمد سبد می‌باشد بیشینه گردد[7]. در مسئله انتخاب پروژه‌ها درون سبد می‌توان شرایط احتمالاتی، محیط پویا و ارتباط میان پروژه ها و ... را مد نظر قرار داد [۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۲].

یکی از پرکاربردترین مسائل تلفیق شده با مسئله انتخاب سبد پروژه، مسئله زمانبندی و انتخاب پروژه‌ها می‌باشد. زمانبندی به معنای یافتن زمان شروع پروژه‌ها و یا فعالیت‌های آنها در سبد پروژه می‌باشد. مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه ابتدا پروژه‌ها را جهت اجرا درون سبد انتخاب نموده، سپس زمان شروع پروژه‌ها را بر اساس رابطه میان پروژه‌ها و یا زمان شروع فعالیت‌های آنها را بر اساس رابطه پیش‌نیازی فعالیت‌ها تعیین می‌نماید [۱۴و۱۵].

در صورت وجود رابطه میان پروژه‌ها، این روابط در سه‌دسته سود، خروجی و هزینه جای می‌گیرند [16].

در واقعیت مسئله زمانبندی علاوه بر محدودیت پیشنیازی تحت تاثیر محدودیت منابع (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) نیز می‌باشد. در این حالت، مسئله انتخاب و زمانبندی به مسئله تخصیص منابع محدود (RCMPSP[3]) تبدیل خواهد شد[17].

در شرایط وجود محدودیت منابع مالی، می‌توان از استراتژی درآمدزایی حین کار برای بهبود تامین مالی پروژه بهره گرفت. استراتژی درآمدزایی حین کار به معنای استفاده از درآمد حاصل از پروژه‌های تکمیل شده در سبد برای تامین مالی پروژهای در حال اجرا می‌باشد. در این خصوص می‌توان سبد پروژه را خود تامین در نظر گرفت. استراتژی درآمدزایی حین کار اولین بار توسط Belenky بکارگرفته شد[6]. در مدل ارائه شده توسط ایشان، تابع هدف به چهار صورت عنوان شده است، این هدف‌ها عبارتنداز، الف–بیشینه نمودن تعداد پروژه‌ای که در بازه مد نظر سبد پروژه می توانند انتخاب شوند، ب-بیشینه نمودن تعداد پروژه‌ای که در بازه مدنظر سبد پروژه می‌توانند شروع شوند، ج-بیشینه نمودن پول بدست آمده در انتهای زمان سبدپروژه، چه پروژه‌های انتخابی اتمام یابند چه ناقص باشند، د-بیشینه نمودن پول بدست آمده در انتهای زمان سبدپروژه در صورت تکمیل تمامی پروژه‌های انتخابی، با توجه به شرایط هر یک از اهداف قابل بکارگیری می‌باشند. مدل ارائه شده خطی و بصورت برنامه‌ریزی عدد صحیح می‌باشد. در مدل ارزش زمانی پول را مد نظر قرار نداده و زمانبندی در سطح کلان صورت گرفته بدین معنی که زمانبندی برای فعالیت‌های درون پروژه‌های انتخاب شده صورت نپذیرفته است. این مهم با توجه به هزینه‌های متفاوت فعالیت و نیز امکان درآمدزایی بعضی از فعالیت‌های پروژه منتج به افت دقت محاسبات خواهد شد.

Wang و همکاران، مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه را بصورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MIP[4]) و با هدف بیشنه‌سازی درآمد سبد پروژه مدلسازی نمودند[18]. در مدل ارائه شده استراتژی درآمدزایی حین کار، محدودیت منابع مالی، وابستگی میان پروژه‌ها (وابستگی به جهت مسائل تکنولوژیکی و یا کارکرد) و ارزش زمانی سرمایه مد نظر قرار گرفته شده است. در این مدل درآمدها پس از اتمام هر پروژه بصورت کامل حاصل می‌شود. و

[3] Resource constraint multi-project scheduling problem

[4] Mixed integer linear program

زمانبندی پروژه‌های انتخابی در سبد در سطح کلان صورت گرفته است.

جعفرزاده و همکاران، مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه را با درنظرگیری درآمدزایی حین کار محدودیت بودجه بصورت خطی(MIP) مدل نمودند[19]. هدف مدل بیشینه‌سازی درآمد پروژه‌ها در یک بازه زمانی منعطف می‌باشد. بدین معنی که سرمایه گذاری محدود به بازه خاصی نمی‌باشد و مدل بهترین بازه زمانی سرمایه‌گذاری را بدست خواهد آورد. در مدل ارائه شده درآمدها و هزینه‌ها بر اساس جریان نقدی هر پروژه در مدل لحاظ شده است که باعث تدقیق محاسبات خواهد شد، همچنین پروژه‌ها بصورت مستقل در نظر گرفته شده اند و پس از اتمام کامل هر پروژه درآمد حاصله به مجددا در سبد پروژه سرمایه‌گذاری می‌شود.

شفاهی و حقانی، از قابلیت فازبندی برخی پروژه‌ها در مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه استفاده نمود بدین معنی که پروژه‌های انتخاب شده در سبد می توانند در فازهای متفاوت اجرا شوند مدل ارائه شده تعداد فازهای بهینه جهت اجرا ترتیب اجرای فازها را با توجه به رابطه پیش‌نیازی فازها و نیز استراتژی درآمدزایی حین کار و ارزش زمانی سرمایه مد نظر قرار گرفته است[20]. مدل خطی و تابع هدف آن بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی کل سبد پروژه می‌باشد. و زمانبندی در سطح فازهای اجرایی انجام پذیرفته است.

Zhong و همکاران، مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه را با توجه به قابلیت تقسیم‌پذیری پروژه‌ها و هزینه فرصت مدلسازی نمودند[21]. در مدل ارائه شده محدودیت‌های بودجه، درآمدزایی حین کار را در نظر می‌گیرد. مدل ارائه شده خطی عدد صحیح بوده (MIP) و در این مدل نیز با توجه به قابلیت تقسیم‌پذیری پروژه‌ها امکان عدم تکمیل کامل پروژه انتخابی وجود خواهد داشت و هزینه‌ها و درآمدهای پروژه نیمه کامل با توجه به درصد پیشرفت انتخاب شده به جریان نقدی تزریق خواهد شد.

بویری و همکاران، مدلسازی جامعی از مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه ارائه دادند. در مدل ارائه شده قابلیت شکست پروژه‌ها، فازبندی پروژه‌ها، وابستگی متقابل پروژه‌ها، درآمدزایی حین کار، محدودیت منابع مالی و ارزش زمانی سرمایه بصورت هم‌زمان در نظر گرفته شده‌اند، اما تسطیح منابع در مدل ارائه شده صورت نگرفته، بازه زمان سرمایه گذاری مشخص و دقت محاسبات در سطح پروژه‌ها می‌باشد[22].

همانگونه که بیان گردید سازمان‌های پروژه محور در عمل با هر دو مسئله تسطیح و تخصیص منابع (مدیریت منابع) مواجه هستند، همچنین، همانگونه که مرور ادبیات نشان می‌دهد این مهم در مسئله انتخاب و زمانبندی پروژه‌ها در سبد خود تامین تاکنون بصورت همزمان بررسی نشده است. جدول۱ خلاصه تحقیقات اخیر انجام گرفته در این حوزه را به‌تصویر کشیده‌است. خلاصه تعاریف اصطلاحات علمی بکاربرده شده در جدول۱ به شرح ذیل می‌باشد:

زمان سرمایه‌گذاری منعطف: هنگامی که سرمایه گذار محدودیت زمانی برای سرمایه‌گذاری ندارد و صرفا به دنبال انتفاع مالی بیشتر می‌باشد در این حالت یافتن بازه زمانی بهینه برای سرمایه‌گذاری مدنظر می‌باشد[23].

قابلیت شکست پروژه‌ها: به معنای داشتن امکان بهره‌برداری از پروژه‌ای ناتمام (قسمتی از پروژه) می‌باشد[24].

فازبندی پروژه‌ها: به معنای داشتن امکان بهره برداری از یک پروژه درفازهای مختلف زمانی می‌باشد [25].

درآمدزایی حین کار: یک استراتژی برای تامین مالی سبد پروژه می‌باشد، بدین صورت که درآمدهای حاصله از پروژه‌های تکمیل شده را مجددا درون سبد پروژه سرمایه‌گذاری می‌نماید[6].

پیش‌نیازی میان پروژه‌ها: هنگامی که پروژه‌های وابسته به با ترتیب زمانی خاص اجرا شوند سازمان منفعت مالی بیشتری را در مقایسه با اجرا هر یک از پروژه‌ها بصورت مجزا کسب می‌نماید[16].

پیش‌نیازی میان فعالیت‌های پروژه‌ها: ارتباط منطقی (شامل تقدم و تاخر) میان فعالیت‌های یک پروژه می‌باشد.

محدودیت منابع تجدیدپذیر: منابع وابسته به زمان را منابع تجدیدپذیر گویند. مقدار این منابع در هر بازه زمانی ثابت بوده و قابلیت انتقال به بازه‌های زمانی بعدی را داراست، مانند نیروی انسانی و ماشین آلات و ... .

محدودیت منابع تجدیدناپذیر: منابعی به میزان محدود در اختیار سازمان می‌باشد و در صورت مصرف تمام می‌شوند، مانند مواد و مصالح و ... ، لازم به ذکر است از دیدگاه کارفرما مواد مصالح مصرفی می‌توانند خریداری شوند، لذا محدودیت منابع تجدید ناپذیر از دیدگاه کارفرما می‌تواند بصورت محدودیت‌های مالی تعریف شود.

تسطیح منابع: نوعی برنامه‌ریزی مدیریت منابع می‌باشد که در آن فرض بر وجود منابع به میزان مکفی برای برنامه‌ریزی می‌باشد و هدف به حداقل رساندن نوسانات سطوح مختلف منابع می‌باشد.

ارزش زمانی سرمایه: ارزش پول در گذر زمان تغییر می‌کند، لازم به ذکر است وجود نرخ‌های مورد انتظار سرمایه‌گذاری ارزش زمانی را توجیه می‌کند.

در ادامه ابتدا مسئله زمانبندی و انتخاب سبد پروژه خودتامین با درنظرگیری ارزش زمانی سرمایه، وجود رابطه پیش نیازی میان فعالیت‌های پروژه ها و وجود محدودیت منابع به تفصیل تشریح خواهد شد. در بخش بعدی، مدلسازی ریاضی مسئله به‌همراه مثال موردی ارائه خواهد شد. در انتها در بخش چهارم، نتیجه‌گیری موضوع ارائه خواهد شد.

جدول ۱ – شکاف تحقیقاتی پژوهش‌های اخیر در مسئله زمانبندی و انتخاب سبد پروژه خود تامین با قابلیت فازبندی

پژوهشگر	محدودیت‌های و ملاحظات در نظر گرفته شده									
	زمان سرمایه‌گذاری منعطف	استراتژی فازبندی پروژه‌ها	استراتژی درآمدزایی حین کار	قابلیت شکست پروژه‌ها	پیش‌نیازی میان پروژه‌ها	پیش نیازی میان فعالیت‌های پروژه ها	محدودیت منابع تجدیدپذیر	محدودیت منابع تجدیدناپذیر (مالی)	تسطیح منابع	ارزش زمانی سرمایه
بلنکی، ۲۰۱۲[6]			✓		✓			✓		
جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۵[19]	✓		✓					✓		✓
وانگ و همکاران، ۲۰۱۵[۲۶]			✓					✓		✓
شفاهی و حقانی، ۲۰۱۸[20]		✓	✓	✓				✓		✓
زونگ و همکاران، ۲۰۱۹[21]			✓	✓				✓		✓
بویری و همکاران، ۱۳۹۷[۲۲]		✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓
پژوهش حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

۳- بیان مسئله

سبد پروژه‌ای حاوی m پروژه که هر کدام شامل n فعالیت می‌باشد جهت اجرا وجود دارد. جهت ساده سازی محاسبات تمامی فعالیت‌های پروژه‌های سبد به ترتیب شماره‌گذاری شده‌اند مجموعه I نمایشگر این فعالیت‌ها می‌باشند. مدل ترسیمی در نظر گرفته شده برای سبد از نوع فعالیت بر روی گره (AON[5]) بوده، فعالیت موهومی ۱، فعالیت آغازین سبد و فعالیت موهومی n فعالیت پایانی سبد می‌باشد. لازم به ذکر است، فعالیت‌ها قابلیت شکسته شدن را ندارند. همانگونه که بیان گردید، هزینه فعالیت‌ها شامل هزینه منابع تجدیدپذیر و منابع تجدیدناپذیر می‌باشد، در این خصوص، در این تحقیق فرض بر آن است منابع تجدیدناپذیر تماماً بصورت مالی می‌باشند و محدودیتی به لحاظ تعداد برای آنها وجود ندارد، بعنوان مثال مصالح جزء منابع تجدیدناپذیرند چرا که با مصرف تمام می‌شوند اما با صرف هزینه قابل تهیه مجدد هستند، لذا منابع تجدید ناپذیر را می‌توان بصورت محدودیت مالی در نظر گرفت. در این حالت، هر فعالیت دارای Cn_i میلیون‌ریال هزینه برای منابع تجدیدناپذیر می‌باشد. از سوی دیگر، هر فعالیت دارای C_{ir} میلیون‌ریال هزینه برای منابع تجدیدپذیر می‌باشد. مجموعه R نشان‌دهنده مجموعه منابع تجدیدپذیر پروژه‌ها می‌باشد. و هر فعالیت می‌تواند از چند منبع تجدیدپذیر مختلف استفاده نماید. لازم به ذکر است محدودیت کمی منابع تجدیدپذیر همانگونه که در ادامه ذکر خواهد گردید در مدل لحاظ گردیده است. محدودیت منابع تجدیدپذیر برای هر منبع مورد استفاده در پروژه با مجموعه L_r نشان داده شده است. در این خصوص تابع هدف مسئله می‌بایست با توجه به محدودیت عددی منابع موجود میزان منابع بدون استفاده را بهینه نماید.

لازم به ذکر است، هزینه اجرای فعالیت‌ها (مجموع هزینه‌های منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر هر فعالیت) در ابتدای شروع آن فعالیت در محاسبات هزینه منظور می‌شود. از سوی دیگر، هر فعالیت دارای درآمدی برابر In_i می‌باشد که پس از اتمام آن فعالیت درآمد حاصله مجددا در سبد پروژه سرمایه گذاری می‌شود. باید توجه داشت، صرفا برخی از فعالیت‌ها درآمدزا می‌باشند. در این خصوص نیز تابع هدف مدل بهترین حالت سرمایه‌گذاری را با توجه به ارزش خالص فعلی سرمایه‌گذاری، انتخاب می‌نماید.

هر فعالیت دارای D_i روز زمان اجرایی می‌باشد که در مجموعه D به نمایش درآمده‌اند. رابطه پیش نیازی میان فعالیت‌ها در مجموعه E تعریف شده است، لازم به ذکر است، روابط پیش نیازی در حالت پایان به شروع می‌باشند. جهت رعایت رابطه پیش نیازی میان پروژه‌ها می‌توان رابطه پیش‌نیازی را میان فعالیت‌هایشان در مجموعه E تعریف نمود.

از نظر زمانی، مهلت اجرای سبد پروژه T_f می‌باشد، در این خصوص، جهت در نظرگیری بازه زمانی منعطف برای سرمایه‌گذاری T_f، یک عدد بزرگ نسبت به زمان‌های پروژه‌ها انتخاب شده است (برابر مجموع زمان مسیربحرانی تمامی پروژه‌های درون سبد).

سبد پروژه دارای سرمایه اولیه ای برابر P میلیون ریال می‌باشد که در زمان صفر به جریان نقدی سبد وارد می‌شود. سبد پروژه دارای نرخ تنزیلی برابر α درصد بوده، که با در نظرگیری هزینه فرصت سرمایه‌گذاری P برای سرمایه‌گذار، بعلاوه صرفه ریسک بدست آمده است. در انتها باید توجه داشت که کلیه پارامترهای مدل قطعی و غیر تصادفی است. با توجه به توضیحات فوق‌الذکر در عمل مدیران سازمان‌های پروژه محور با مسئله‌ای دو هدفه روبرو هستند، تابع هدف اول مسئله

[5] Activity On Node

می‌بایست، اقتصادی‌ترین انتخاب و زمانبندی فعالیت‌های پروژه‌ها را درون سبد پروژه‌ای خود تامین مالی بدست آورد، بدین معنی که اولویت‌بندی فعایت‌ها باید به گونه‌ای صورت پذیرد که تامین مالی سبد صرفاً از طریق سرمایه اولیه شرکت بعلاوه درآمد حاصله از پروژه‌های تکمیل شده (یا نیمه تکمیل در صورت امکان حصول درآمد از پروژه‌های نیمه تکمیل) صورت گیرد. در این خصوص، تابع هدف اول بیشترین ارزش خالص فعلی سرمایه گذاری را برای پروژه‌های انتخاب شده درون سبد بدست خواهد آورد. از سوی دیگر، با توجه به انجام پروژه‌ها توسط منابع تجدیدپذیر درون سازمان (یا حداکثر میزان منابع تجدیدپذیر در دسترس)، هدف دوم مجموع انحراف منابع تجدیدپذیر مورد نیاز برای انجام فعالیت‌ها را در هر قطع زمانی با مقدار موجود آن در سازمان کمینه‌سازی می‌نماید. در این خصوص، در صورتی که منابع تجدیدپذیر، منابع متعلق به شرکت باشند این مهم باعث کمینه سازی نرخ منابع تجدیدپذیر بیکار در سبد خواهد شد، همچنین در صورت جذب منابع تجدیدپذیر از خارج سازمان، تابع هدف دوم باعث کاهش نرخ استخدام و اخراج منابع تجدیدپذیر خواهد شد، که در هر دو صورت این مهم به کاهش اتلاف در سرمایه خواهد انجامید.

در ادامه مدلسازی ریاضی مسئله زمانبندی و انتخاب پروژه‌ها (n فعالیت از m پروژه)، با در نظرگیری رابطه پیش نیازی میان فعالیت‌ها (مجموعه E)، ارزش زمانی پول و وجود محدودیت منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر (مالی) با توجه به استراتژی درآمدزایی حین کار و قابلیت فازبندی پروژه‌ها ارائه خواهد شد.

۴- مدل ریاضی

با توجه به تعاریف گفته شده مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله بصورت زیر تعریف می‌شوند:

مجموعه‌ها:

I: مجموعه فعالیت‌های پروژه‌های درون سبد پروژه

E: مجموعه رابطه‌های پیش‌نیازی میان فعالیت‌های درون سبد پروژه

R: مجموعه فعالیت‌های تجدیدپذیر

پارامترها:

In_i: درآمد فعالیت iام

D_i: زمان فعالیت iام

Cn_i: هزینه منابع تجدیدناپذیر برای انجام فعالیت iام

L_r: محدویت منبع تجدیدپذیر rام

L_{ir}: مقدار مورد نیاز منبع تجدیدپذیر rام جهت انجام فعالیت iام

C_{ir}: هزینه به ازای مصرف هر واحد منبع تجدیدپذیر rام جهت انجام فعالیت iام

α: نرخ تنزیل

P: سرمایه اولیه

T_f: زمان سبد پروژه (لازم به ذکر است درنظرگیری یک مقدار بزرگ برای T_f منتج به انجام محاسبات در بازه‌ای به اندازه کافی بزرگ و یافتن جواب بهینه در حالتی منعطف می‌شود)

متغیرهای تصمیم:

X_{it}: برابر یک می‌شود اگر در زمان t فعالیت iام انتخاب شود

PVI_t: ارزش فعلی درآمدهای تجمیعی تا زمان t

PVC_t: ارزش فعلی هزینه‌های تجمیعی تا زمان t

S_i: زمان شروع فعالیت iام

Y_{it}: در صورت انتخاب فعالیت iام اگر t در زمان اجرای فعالیت iام باشد برابر یک می‌شود.

مدل ریاضی:

با در نظرگیری تعریف پارامترها و متغیرها، مدل ریاضی دو هدفه انتخاب و زمانبندی سبد پروژه خود تامین مالی بصورت زیر خواهد بود:

$$Max = PVI_{T_f} - PVC_{T_f} \quad (۱)$$

$$Min \sum_{i=0}^{n} (L_r - Y_{it} L_{ir}) \quad (\forall r \in R, t \in \{0,...,T_f\}) \quad (۲)$$

Subject to:

$$\sum_{t=0}^{T_f} x_{it} \le 1 \quad (\forall i \in I) \quad (۳)$$

$$S_i = \sum_{t=0}^{T_f} t x_{it} \quad (\forall i \in I) \quad (۴)$$

$$Y_{it} = \sum_{k=t-D_i+1}^{t} x_{ik} \quad (\forall i \in I, t \in \{0,...,T_f\}, D_i \succ 0) \quad (۵)$$

$$\sum_{i=0}^{n} Y_{it} L_{ir} \le L_r \quad (\forall r \in R, t \in \{0,...,T_f\}) \quad (۶)$$

$$S_j \ge (S_i + D_i) \sum_{t=0}^{T_f} x_{jt} \quad (\forall (i,j) \in E) \quad (۷)$$

$$PVI_t = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=0}^{t} \frac{(In_i) x_{ik}}{(1+\alpha)^{k+D_i}} \quad (t \in \{0,...,T_f\}) \quad (۸)$$

$$PVC_t = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=0}^{t} \frac{(Cn_i) x_{ik}}{(1+\alpha)^k} + \sum_{i=0}^{n} \sum_{r=0}^{n} \sum_{k=0}^{T_f} \frac{(C_{ir}) x_{ik}}{(1+\alpha)^k} L_{ir} \quad (\forall r \in R, t \in \{0,...,T_f\}) \quad (۹)$$

$$PVC_t \le P + PVI_t \quad (t \in \{0,...,T_f\}) \quad (۱۰)$$

$$x_{it}, Y_{it} \in \{0,1\}, \forall i \in I, t \in \{0,...,T_f\}$$
$$PVI_t, PVC_t \ge 0 \quad (۱۱)$$

در مدل بالا تابع هدف بصورت چندگانه تعریف شده است. در تابع هدف اول، ارزش خالص فعلی سرمایه گذاری در زمان T_f بیشینه‌سازی می‌شود. این تابع با توجه به زمان انتخاب فعالیت‌ها هزینه‌ها و درآمدهای مربوطه را با توجه به نرخ تنزیل در زمان شروع پروژه محاسبه نموده و از یکدیگر تفریق می‌نماید، لذا خالص سود سرمایه‌گذاری را بدست خواهد آورد. در این مورد، بیشینه‌سازی سود حاصل از سرمایه‌گذاری مدنظر سرمایه‌گذاران است. این تابع از جنس هزینه بوده و با واحدهای پولی (ریال، میلیون‌ریال و ...) قابل تعریف است. تابع هدف دوم مجموع انحراف‌های منابع تجدیدپذیر از حداکثر منابع موجود سازمان در کل زمان اجرای سبد کمینه‌سازی می‌شود. مقدار، $\sum_{i=0}^{n} Y_{it} L_{it}$ مصرف منبع r ام را برای کلیه فعالیت‌هایی که منبع r را در هر قطع زمانی t مصرف می‌نمایند محاسبه می‌نماید، در این خصوص محاسبه اختلاف حداکثر میزان منابع تجدیدپذیر موجود با این معادله، منابع تجدیدپذیر بدون استفاده را در هر مقطع زمانی t بدست خواهد آورد، تابع هدف دوم مسئله مجموع اختلاف منابع تجدیدپذیر موجود را با منابع درگیر شده در هر قطع زمانی t در کل دوره اجرای سبد محاسبه نموده و کمینه‌سازی می‌نماید. با توجه به اینکه، این تابع از جنس منابع تجدیدپذیر است، بعنوان مثال اگر منبع r، نیروی کاری باشد این تابع در هر مقطع زمانی نیروهای کاری بیکار سازمان را بدست خواهد آورد. واحد این تابع نفر می‌باشد یا اگر منبع r، ماشین آلات باشد واحد آن دستگاه خواهد بود.

محدودیت (۳)، فعالیت‌های پروژه‌ها را درون سبدپروژه، در بازه زمانی صفر تا T_f انتخاب می‌نماید. محدودیت (۴)، در صورت انتخاب فعالیت i ام، زمان شروع آنرا در سبد پروژه محاسبه می‌نماید، در این معادله، در صورت انتخاب فعالیت i ام x_{it} برابر یک می‌شود و با زمان انتخاب فعالیت، زمان شروع آن بدست خواهد آمد. محدودیت (۵)، در صورت انتخاب فعالیت iام در زمان tام ($x_{it} = 1$) متغیر Y_{it} را برابر یک می‌کند، که با ضرب نمودن این متغیر در میزان مصرف منبع r ام برای هر فعالیت میزان مصرف منبع r را در هر قطع زمانی بدست می‌آورد، محدودیت (۶)، این مقدار مصرف منبع r ام را با حداکثر محدودیت آن کنترل می‌نماید. محدودیت (۷) ام رابطه پیش‌نیازی را کنترل می‌نماید، بدین صورت که در صورت انتخاب فعالیت jام در زمان tام ($x_{jt} = 1$)، زمان شروع فعالیت jام می‌بایست بعد از زمان شروع تمامی پیش‌نیازهایش (بر اساس مجموعه E) بعلاوه زمان اجرای فعالیت پیش‌نیازیش باشد. محدودیت (۸)ام ارزش کنونی درآمدهای کسب شده از فعالیت‌های درآمدزا را کنترل می‌نماید. محدودیت (۹)ام، ارزش

فعلی هزینه‌های منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر فعالیت‌ها را محاسبه می‌نماید. محدودیت (۱۰) ام، موضوع خود تامینی سبد را کنترل می‌نماید، در این خصوص، ارزش فعلی درآمدهای تجمیعی حاصله بعلاوه سرمایه اولیه در تمام قطع‌های زمانی اجرای سبد پروژه، می‌بایست از ارزش فعلی هزینه‌های تجمیعی فعالیت‌ها بیشتر باشد. در نهایت محدودیت (۱۱) کمیت‌های مدل را تعریف می‌نماید.

با توجه به قید (۳)، می‌توان $\forall i,\forall t: x_{it}=0$ را در نظر گرفت، بنابراین $\forall i: s_i=0$ و همچنین $\forall i,\forall t: Y_{it}=0$ در قید (۶) شدنی است، قید (۷) نیز شدنی خواهد بود، چراکه $s_j \geq 0$. از قیود (۸) و (۹) داریم $PVI_t = PVC_t = 0$ و با توجه به اینکه $P \geq 0$، بنابراین قید (۱۰) نیز شدنی است، لذا مسئله جواب شدنی دارد. ازسوی دیگر، با توجه به اینکه متغیرهای x_{it} و Y_{it} از نوع صفر و یک هستند، لذا توابع هدف تعریف شده نیز کران‌دار بوده و بنابراین مسئله نامتناهی نخواهد شد.

در مدل بالا محدودیت شماره (۶) ام بدلیل داشتن عبارت $S_i \sum_{t=0}^{T_f} x_{jt}$ غیر خطی می‌باشد، برای خطی سازی متغیر W_{ij} بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_{ij} = S_i \sum_{t=0}^{T_f} x_{it} \qquad (\forall (i,j) \in E) \qquad (۱۲)$$

W_{ij} می‌تواند بصورت زیر خطی شود:

$$W_{ij} = \begin{cases} S_i \ \ if \ \ \sum_{t=0}^{T_f} x_{jt} = 1 \\ 0 \ \ if \ \ \sum_{t=0}^{T_f} x_{jt} = 0 \end{cases} \qquad (\forall (i,j) \in E) \qquad (۱۳)$$

برای خطی‌سازی رابطه (۱۳)، دو محدودیت زیر را به مدل می‌افزاییم:

$$W_{ij} \geq S_i + M\left(\sum_{t=0}^{T_f} x_{jt} - 1\right) \qquad (\forall (i,j) \in E) \qquad (۱۴)$$

$$W_{ij} \leq M\left(\sum_{t=0}^{T_f} x_{jt}\right) \qquad (\forall (i,j) \in E) \qquad (۱۵)$$

عدد M یک عدد بسیار بزرگ می‌باشد، در این حالت، همواره دو حالت بوجود خواهد آمد:

در حالت اول، $\sum_{t=0}^{T_f} x_{jt} = 1$ لذا بنا بر محدودیت (۱۴)، $W_{ij} \geq S_i$ و طبق محدودیت (۱۵)، $W_{ij} \leq M$ که همواره برقرار است، لذا W_{ij} کران پایین خود یعنی S_i را اختیار می‌کند.

در حالت دیگر، $\sum_{t=0}^{T_f} x_{jt} = 0$، که در این حالت نیز، بنا بر محدودیت (۱۴)، $W_{ij} \geq S_i - M$، که باز هم باتوجه به مقدار بزرگ M همواره برقرار خواهد بود. همچنین طبق محدودیت (۱۵)، $W_{ij} \leq 0$ که چون W_{ij} متغیر نامنفی است، $W_{ij} = 0$ خواهد بود. بنابراین، با دو محدودیت (۱۴) و (۱۵) مقدار W_{ij} خطی خواهد شد.

برای حل مدل دو هدفه فوق‌الذکر از روش L_P متریک استفاده شده است. در این روش مجموع وزن‌دار هر یک از اهداف مسئله نست به مقدار بهینه آن هدف مینیم‌سازی می‌شود. در این روش تابع هدف بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$L_p = \min\left(\sum_{J=1}^{k} \gamma_j \left(\frac{Z_j^* - Z_j}{Z_j^*}\right)^p\right)^{\frac{1}{p}} \qquad (۱۶)$$

در معادله (۱۶)، Z_j^* مقدار بهینه تابع هدف j ام، یکی از Z_j جواب تابع هدف jام، γ_j وزن هدف jام برای تصمیم‌گیرنده می‌باشد. که بر اساس اهمیت هر یک از اهداف برای تصمیم‌گیرنده تعریف می‌شود. تابع L_p، انحرافات را از مقدار ایده‌آل کمینه‌سازی می‌نماید، در این خصوص p $(1 \leq p \leq \infty)$ نمایانگر درجه تاکید به انحرافات موجود می‌باشد به گونه‌ای که هر چه بزرگتر باشد تاکید بیشتری بر بزرگترین انحرافات خواهد بود. معمولا ارزش‌های $p=1$، $p=2$ و $p=\infty$ در محاسبات به کار گرفته می‌شوند، هرچند در عمل ارزش این مقدارها

می‌تواند به معیارهای ذهنی تصمیم‌گیرنده بستگی داشته باشد. لازم به ذکر است تابع هدف (۱۶)، برای اهداف چندگانه بیشینه‌سازی تعریف شده است، لذا تابع هدف (۲) می‌بایست در عدد منفی یک ضرب شده و بصورت بیشنه‌سازی تعریف شود.

با توجه به خطی بودن مدل و نیز تبدیل اهداف چندگانه به یک هدف می‌توان از نرم‌افراهای مربوطه برای حل استفاده نمود. در ادامه کارایی مدل ارائه شده در بر روی مثال موردی بررسی خواهد شد.

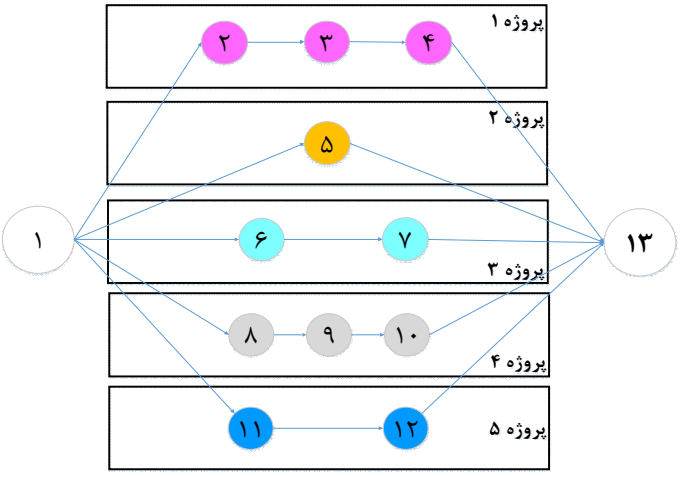
۵- مثال عددی

سبد پروژه‌ای حاوی ۵ پروژه مد نظر می‌باشد، پروژه اول حاوی ۳ فعالیت (۲، ۳ و ۴)، پروژه دوم حاوی یک فعالیت (۵)، پروژه سوم حاوی دو فعالیت (۶ و ۷) و پروژه چهارم حاوی ۳ فعالیت (۸، ۹ و ۱۰) و نهایتا پروژه آخر شامل ۲ فعالیت (۱۱ و ۱۲) می‌باشد. روابط پیش‌نیازی فعالیت‌ها در سبد پروژه در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است. همانگونه که در شکل ۱ نمایان است، فعالیت موهومی ۱، مایل‌استون آغاز سبد پروژه بوده و فعالیت موهومی ۱۳، مایل‌استون پایانی سبد می‌باشد.

سرمایه اولیه سبد برابر ۲،۰۰۰ میلیون‌ریال بوده و نرخ تنزیل برابر ۲ درصد ماهیانه می‌باشد. در این خصوص، بر اساس تابع هدف اول مدل و با توجه به محدودیت زمانی اجرای سبد (۱۴ ماه) و تامین مالی از طریق پروژه‌های تکمیل شده درون سبد، بهترین حالت انتخاب و زمانبندی فعالیت‌های پروژه‌های درون سبد می‌بایست بدست آید. اطلاعات تکمیلی فعالیت‌ها در جدول ۱ درج شده‌اند.

از سوی دیگر، هزینه بکارگیری هر واحد منبع تجدیدپذیر a برای انجام هر یک از فعالیت‌ها برابر ۳۰ (میلیون‌ریال) و برای هر واحد منبع تجدیدپذیر b برابر50 (میلیون‌ریال) می‌باشد. حداکثر منابع موجود در سازمان برای منبع تجدیدپذیر a برابر ۱۵ عدد و برای منبع تجدیدپذیر b، برابر ۲ عدد می‌باشد، لذا در این خصوص، با توجه به هدف دوم مدل برای منبع b تخصیص منابع و برای منبع a تسطیح منابع باید صورت پذیرد. میزان منبع تجدید پذیر مورد نیاز برای انجام هر یک از فعالیت‌های پروژه‌ها در جدول ۲ درج شده است. با توجه اعداد مسئله مقدار M، برابر 1,000,000 در نظر گرفته شده است.

شکل ۱: شبکه AON مثال موردی



جدول ۲: اطلاعات فعالیت‌های سبد پروژه مثال موردی

شماره فعالیت اجرایی	هزینه منابع تجدید ناپذیر برای فعالیت n (میلیون‌ریال)	زمان اجرای فعالیت i (ماه)	درآمد فعالیت i ام (میلیون‌ریال)	تعداد منبع تجدیدپذیر a مورد نیاز جهت انجام فعالیت i	تعداد منبع تجدیدپذیر b مورد نیاز برای انجام فعالیت i
	Cn_i	D_i	I_i	L_{ia}	L_{ib}
۱	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۶۰۰	۱	۱۰،۰۰۰	5	۱
۳	۱۰۰	۲	۰	۵	۱
۴	۲۰۰	۱	۱۰،۰۰۰	۵	۱
۵	۳۰۰	۱	۵۰،۰۰۰	۱۰	۱
۶	۱۰۰	۱	۰	۱۰	۱
۷	۲۰۰	۱	۱۰،۰۰۰	۱۰	۱
۸	۱۰۰	۳	۰	5	1
۹	۳۰۰	۱	۰	۱۰	۱
۱۰	۱۰۰	۱	۳۰،۰۰۰	۵	۱
۱۱	۲،۰۰۰	۱	۲،۰۱۰	۵	۱
۱۲	۲،۰۰۰	۱	۱،۸۰۰	۵	۱
۱۳	۰	۰	۰	۰	۰

پس از حل توسط نرم افزار GAMS[۶] برای هر یک از هدف‌ها، مقدار بهینه تابع هدف اول ۲۶۲،۲ میلیون‌ریال و مقدار بهینه تابع هدف دوم ۱۵ نفر می‌باشد. بر این اساس، با توجه به نرم یک ($p=1$) رابطه (۱۶)، تابع هدف مدل بصورت ذیل تعریف خواهد شد.

$$L_p = \min\left((\gamma_1)\frac{2262 - PVI_{T_f} - PVC_{T_f}}{2262} \right) + \left((\gamma_2)\frac{\sum_{i=0}^{n}(L_r - Y_{il}L_{ir}) - 15}{15} \right) \qquad (۱۷)$$

با توجه به تابع هدف شماره (۱۷)، با فرض $\gamma_1 = 0.9$ و $\gamma_2 = 0.1$ (بر اساس اهمیت موزون هر یک از اهداف برای سرمایه‌گذار تعیین شده است) مدل حل شده و نتایج حل مسئله دو هدفه در نمودار گانت شکل ۳ به تصویر کشیده شده است. بر این اساس، پروژه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و فاز اول پروژه ۵ (فعالیت شماره ۱۱) برای اجرا انتخاب شده‌اند. پروژه ۱ در زمان ۳ و پروژه‌های ۲ و ۴ در زمان صفر، پروژه ۳ در زمان ۱ و نهایتاً فاز اول پروژه ۵ در زمان ۵ شروع شده‌اند.

[6] General Algebraic Modeling System

شکل ۳: نمودار گانت جواب مسئله موردی برای مقدار بهینه تابع اول و دوم

شماره فعالیت	زمان شروع (Si)	زمان						
		۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۰							
۲	۳							
۳	۴							
۴	۶							
۵	۲							
۶	۱							
۷	۲							
۸	۰							
۹	۳							
۱۰	۴							
۱۱	۵							
۱۲	۰							
۱۳	۰							

جدول ۳: محاسبات جریانات نقدی و منابع زمانمند مثال موردی با توجه به بهینه‌سازی ارزش خالص فعلی و تسطیح منابع

ردیف	شرح	زمان							
		0	1	2	3	4	5	6	7
۱	جریان نقدی خروجی سبدپروژه	-۹۵۰	-۴۵۰	-۵۵۰	-۱,۴۵۰	-۶۰۰	-۲,۰۰۰	-۲,۴۰۰	۰
۲	جریان نقدی ورودی سبدپروژه	۲،۰۰۰	۱،۰۴۰	۰	۱،۰۴۰	0	۳،۰۰۰	۲،۰۱۰	۳،۸۰۰
۳	PVC_t	-۹۵۰	-۱،۳۹۱	-۱،۹۲۰	-۳،۲۸۶	-۳،۸۴۰	-۵،۶۵۲	-۷،۷۸۳	-۷،۷۸۳
۴	PVI_t	0	۱،۰۲۰	۱،۰۲۰	۲،۰۰۰	۲،۰۰۰	۴،۷۱۷	۶،۵۰۲	۹،۸۱۰
۵	$PVI_t - PVC_t$	۱،۰۵۰	-۳۷۲	-۹۰۰	-۱،۲۸۷	-۱،۸۴۱	-۹۳۵	-۱،۲۸۱	۲،۰۲۷
۶	$P + PVI_t - PVC_t$	۳،۰۵۰	۱،۶۲۸	۱،۱۰۰	۷۱۳	۱۵۹	۱،۰۶۵	۷۱۹	۴،۰۲۷
۷	$\sum_{i=0}^{n} Y_{it} L_{ir}$	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	-
۸	$\sum_{i=0}^{n} (L_r - Y_{it} L_{ir})$	0	0	0	۰	۵	۵	۵	-
۹	$\sum_{i=0}^{n} Y_{it} L_{ir}$	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	-
۱۰	$\sum_{i=0}^{n} (L_r - Y_{it} L_{ir})$	0	0	0	0	0	0	۱	-

مطابق نتایج بدست آمده، با توجه به اینکه زمان اجرایی سبد (۱۴ ماه) انتخاب و زمانبندی پروژه‌ها در بازه‌ای منعطف صورت گرفته و زمان بهینه اجرای سبد ۶ ماه بدست آمده است. همچنین ترتیب اجرای فعالیت در جواب بهینه نشانگر رعایت روابط پیش‌نیازی فعالیت‌ها می‌باشد. از سوی دیگر، با توجه به عدم انتخاب فعالیت ۱۲ پروژه ۵ شکسته شده است که در صورت اقتصادی بودن و نیز رعایت سایر محدودیت‌ها این امکان اجرای این فعالیت در فازهای بعدی وجود دارد. محاسبات مربوط به حل مدل در هر قطع زمانی اجرای سبد مطابق جدول ۳ می‌باشد. ردیف اول جدول ۳، جریان نقدی خروجی (بمعنای کلیه هزینه‌های صرف شده جهت سرمایه گذاری در هر مقطع زمانی، در این خصوص عدد منفی جهت اعمال خروج وجه نقد از جریان نقدی می‌باشد) سبدپروژه را بر اساس زمان شروع فعالیت‌ها در سبد نشان می‌دهد. ردیف دوم نیز جریان نقدی ورودی سبدپروژه (بمعنای میزان وجه نقدی که درون سبد پروژه سرمایه‌گذاری می‌شود، که شامل مجموع درآمد حاصل از انجام فعالیت‌های

درآمدزا و نیز آورده اولیه سرمایه‌گذاران می‌باشد) را بر اساس زمان اتمام فعالیت‌ها نشان می‌دهد. ردیف سوم جریان نقدی خروجی سبد پروژه را در هر قطع زمانی t بصورت تجمیعی و با اعمال نرخ تنزیل (PVC_t) نشان می‌دهد. ردیف چهارم، جریان نقدی ورودی سبد را بصورت تجمیعی و با اعمال نرخ تنزیل در هر قطع زمانی (PVI_t) نشان می‌دهد. لازم به ذکر است، در نظر گیری نرخ تنزیل در محاسبات نشانگر رعایت ارزش زمانی سرمایه می‌باشد. ردیف پنجم، خالص جریان نقدی تجمیعی تنزیل شده را در هر قطع زمانی t گزارش می‌نماید، این عدد در انتهای زمان سبد پروژه ($t=6$)، برابر تابع هدف اول مسئله می‌باشد که برابر با ۰۲۷،۲ میلیون‌ریال محاسبه شده است. ردیف ششم جدول ۳، خالص جریان نقدی تجمیعی تنزیل شده با درنظرگیری سرمایه اولیه را در هر قطع زمانی t ارائه می‌نماید، این مهم گزارشگر میزان سرمایه موجود در سازمان برای سرمایه‌گذاری مجدد می‌باشد، مثبت بودن این مقدار نشان‌دهنده اثر استراتژی درآمدزایی حین کار و نیز رعایت محدودیت‌های مالی (محدودیت مالی منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) می‌باشد، چراکه در صورت منفی شدن این مقدار، تامین مالی می‌بایست از خارج از سازمان صورت پذیرد. ردیف هفتم میزان مصرف منبع b را در هر قطع زمانی ارائه می‌نماید که این مقدار نباید از حداکثر میزان موجود در سازمان فراتر باشد، همچنین اختلاف این مقدار با حدکثر میزان موجود درون سازمان، میزان منابع تجدیدپذیر بدون استفاده را آشکار می‌سازد. مجموع مقدار درج شده در ردیف‌های هشتم و دهم برابر مقدار تابع هدف دوم مدل می‌باشد که برابر ۲۱ عدد منبع تجدیدپذیر (a و b) بدون استفاده شده است. از سوی دیگر، اعداد مثبت گزارش شده، نشانگر رعایت محدودیت کمی منابع تجدیدپذیر می‌باشد.

همانگونه که بیان گردید، بهینه‌ترین حالت ارزش خالص فعلی سرمایه‌گذاری (تابع هدف اول مدل)، مقدار ۲۶۲،۲ میلیون‌ریال می‌باشد، در این حالت مقدار تابع هدف دوم ۲۷ نفر می‌باشد، بدین معنی که در کل زمان اجرای پروژه ۲۷ نفر از منابع تجدیدپذیر a و b بدون استفاده می‌باشند، با اعمال کمینه‌سازی منابع تجدیدپذیر بدون استفاده (اعمال بهینه‌سازی تابع هدف دوم)، از یک سو، با انحراف جزیی از مقدار بهینه برای تابع هدف اول (۲۶ میلیون‌ریال) مواجه می‌شویم، از سوی دیگر تعداد منابع بیکار به ۲۱ نفر خواهد رسید، در عمل نیز، در صورت احتساب هزینه منابع بیکار در دو حالت، حالت دوم به لحاظ اقتصادی، سرمایه‌گذاری توجیه پذیرتری خواهد بود. در نتیجه مدل ارائه شده برای یک سازمان پروژه محور خود تامین مالی راه حل‌های اقتصادی‌تر و با کارایی بیشتر ارائه خواهد نمود. در انتها برای مقایسه نتایج جدول ۴، مقدار بهینه توابع هدف در حالت تک هدفه و دو هدفه را نمایش می‌دهد.

جدول ۴: مقایسه نتایج مقدار بهینه توابع هدف در حالت تک هدفه و هدفه

	مقدار تابع اول (میلیون‌ریال)	مقدار تابع دوم (نفر)
حل مسئله ماکزیمم سازی (بهینه‌سازی تابع هدف اول بصورت مستقل)	۲،۲۶۲	۲۷
حل مسئله مینیمم سازی (بهینه‌سازی تابع هدف دوم بصورت مستقل)	۲،۰۲۷	۱۵
حل مسئله دو هدفه	۲،۲۳۶	۲۱

۶- نتیجه‌گیری

سازمانهای پروژه محور برای نیل به اهداف استراتژیک خود نیازمند اجرای پروژه‌های سرمایه گذاری مختلف با منابع محدود مالی و غیر مالی هستند. در این میان، استراتژی درآمدزایی حین کار یکی از راهکارهای ارائه شده جهت بهبود تامین مالی در سازمان‌های پروژه محور می‌باشد، بدین معنی که درآمدهای حاصل از تکمیل پروژه‌های سبد پروژه مجددا به درون سبد پروژه سرمایه‌گذاری می‌شود. در این حالت امکان انتخاب پروژه‌های بیشتر درون سبد فراهم خواهد شد. همچنین فازبندی پروژه‌های درون سبد با توجه به تبدیل پروژه‌ها به قسمت‌های کوچکتر، منجر کاهش خواب سرمایه در پروژه‌های بزرگ نیمه‌تمام می‌شود که این مهم نیز باعث بهبود درآمدزایی حین کار خواهد شد. از سوی دیگر، علاوه بر محدودیت‌های مالی (محدودیت منابع تجدیدناپذیر)، سازمان‌های پروژه محور با محدودیت منابع تجدیدپذیر نیز مواجه هستند، بدین معنی که نیروها و ماشین‌آلات محدودشان را می‌بایست بصورت همزمان به پروژه‌های سرمایه‌گذاری مختلف اختصاص دهند. لذا، مدیریت منابع شامل تخصیص و تسطیح منابع، امری اجتناب ناپذیر در سازمان‌های پروژه محور می‌باشد و در عمل مدیران سازمان‌های پروژه محور، با حل چنین مسئله‌ای مواجه هستند.

در پژوهش حاضر، مسئله انتخاب و زمانبندی سبدپروژه‌های خود تامین مالی با توجه به ارزش زمانی سرمایه، وجود رابطه پیش‌نیازی میان فعالیت‌های پروژه‌ها و همچنین رابطه پیش‌نیازی میان پروژه‌ها، قابلیت فازبندی پروژه‌ها و نهایتاً وجود محدودیت منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر مدل سازی ریاضی شده است. تابع هدف مدل بصورت دوگانه توامان ارزش خالص فعلی سرمایه‌گذاری را بیشینه‌سازی می‌نماید، همچنین، سطح تغییرات منابع تجدیدپذیر پروژه را نسبت به حداکثر میزان موجود در سازمان کمینه می‌نماید که منجر به یافتن کمترین منبع تجدیدپذیر بدون استفاده برای سازمان خواهد شد. برای حل مسئله چند هدفه از روش L_P متریک استفاده شده است و پس از خطی سازی مدل، حل توسط نرم افزارهای مربوطه صورت گرفته است. نتایج نشان‌دهنده توجیه اقتصادی بالاتر و کارایی بیشتر مدل می‌باشد. برای توسعه مدل، درنظرگیری منابع چندگانه و نیز روش‌های حل ابتکاری و فرابتکاری برای مسائل بزرگتر پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

[1] F. Ghasemzadeh and N. P. Archer, "Project portfolio selection through decision support," *Decis. Support Syst.*, vol. 29, no. 1, pp. 73–88, 2000.

[2] M. Trojet, F. H'Mida, and P. Lopez, "Project scheduling under resource constraints: Application of the cumulative global constraint in a decision support framework," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 61, no. 2, pp. 357–363, 2011.

[3] A. A. A. Ameer and S. R. Mohammed, "Optimization Of Resource Allocation And Leveling Using Genetic Algorithms," *J. Eng.*, vol. 17, no. 4, pp. 929–947, 2011.

[4] T. Hegazy, "Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 125, no. 3, pp. 167–175, 1999.

[5] P. M. Institute, *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*., vol. 2. Project Management Inst, 2000.

[6] A. S. Belenky, "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," *Appl. Math. Lett.*, vol. 25, no. 10, pp. 1279–1284, 2012.

[7] H. Markowitz, *Portfolio selection: Efficient diversification of investments*, vol. 16. John Wiley New York, 1959.

[8] J. Janssen, R. Manca, and E. Volpe, *Mathematical finance: deterministic and stochastic models*. John Wiley & Sons, 2013.

[9] A. E. B. Lim and P. Wimonkittiwat, "Dynamic portfolio selection with market impact costs," *Oper. Res. Lett.*, vol. 42, no. 5, pp. 299–306, 2014.

[10] Y. Petit, "Project portfolios in dynamic environments: Organizing for uncertainty," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 30, no. 5, pp. 539–553, 2012.

[11] A. Zuluaga, J. A. Sefair, and A. L. Medaglia, "Model for the selection and scheduling of interdependent projects," in *2007 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium*, 2007, pp. 1–7.

[12] م. ع. جهان تیغی, "مدلی برای انتخاب پروژه با منابع محدود به کمک تحلیل پوششی داده‌ها," پژوهش‌های نوین در ریاضی, vol. 4, no. 15, pp. 163–174, 2018.

[13] م. نمازی ع. محمدی, "شبیه‌سازی تحلیل پوششی داده‌های تصادفی در انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه," پژوهش‌های نوین در ریاضی, ۲۰۱۹.

[14] J. Chen and R. G. Askin, "Project selection, scheduling and resource allocation with time dependent returns," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 193, no. 1, pp. 23–34, 2009.

[15] R. Kolisch and R. Padman, "An integrated survey of deterministic project scheduling," *Omega*, vol. 29, no. 3, pp. 249–272, 2001.

[16] A. Shafahi and A. Haghani, "A Linearization Approach for Project Selection with Interdependencies in Resource Costs.," in *ICORES*, 2013, pp. 230–235.

[17] M. Shariatmadari, N. Nahavandi, S. H. Zegordi, and M. H. Sobhiyah, "Integrated resource management for simultaneous project selection and scheduling," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 109,

pp. 39–47, 2017.

[18] B. Wang and Y. Song, "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*, 2016, pp. 373–381.

[19] M. Jafarzadeh, H. R. Tareghian, F. Rahbarnia, and R. Ghanbari, "Optimal selection of project portfolios using reinvestment strategy within a flexible time horizon," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 243, no. 2, pp. 658–664, 2015.

[20] A. Shafahi and A. Haghani, "Project selection and scheduling for phase-able projects with interdependencies among phases," *Autom. Constr.*, vol. 93, pp. 47–62, 2018.

[21] Z. Zhong, X. Li, X. Liu, and W. Lau, "Opportunity cost management in project portfolio selection with divisibility," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 70, no. 7, pp. 1164–1178, 2019.

[22] بویری فرشاد, موسوی سیدمیثم, & وحدانی بهنام. "یک مدل ریاضی برای انتخاب سبد پروژه با درنظرگرفتن وابستگی متقابل میان پروژه‌ها، قابلیت شکست پروژه‌ها، سرمایه گذاری مجدد و روش‌های گوناگون تامین منابع" نشریه مهندسی صنایع (دانشکده فنی دانشگاه تهران). دوره ۵۲، شماره ۲، صفحه ۱۶۳ تا ۱۷۷، ۱۳۹۷.

[23] M. Jafarzadeh, H. R. Tareghian, F. Rahbarnia, and R. Ghanbari, "Optimal selection of project portfolios using reinvestment strategy within a flexible time horizon," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 243, no. 2, pp. 658–664, 2015.

[24] X. Li, S.-C. Fang, X. Guo, Z. Deng, and J. Qi, "An extended model for project portfolio selection with project divisibility and interdependency," *J. Syst. Sci. Syst. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 119–138, 2016.

[25] A. Shafahi and A. Haghani, "Project selection and scheduling for phase-able projects with interdependencies among phases," *Autom. Constr.*, vol. 93, no. September 2017, pp. 47–62, 2018.

[26] B. Wang *et al.*, "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*, 2016, vol. 378, no. 19, pp. 373–381.