@ORchannel

الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مساله انتخاب سبد پروژه در حالت چند معیاره

@ORchannel

فهرست مطالب

پیش‌گفتار ۷

۱ مفاهیم و تعاریف اولیه ۹

۱.۱ ضرورت تحقیق ۱۳

۲.۱ نوآوری تحقیق ۱۴

۲ مرور ادبیات و مدل‌بندی مساله انتخاب سبد پروژه ۱۵

۱.۲ مدل مارکوویتز برای حل مساله انتخاب سبد سهام ۱۸

۲.۲ مدل ریاضی سانتافام و کاپیارسیس برای حل مساله انتخاب سبد پروژه ۱۹

۱.۲.۲ محدودیت‌های هدف ۲۰

۲.۲.۲ محدودیت‌های سیستمی ۲۰

۳.۲.۲ تابع هدف متناظر با سود ۲۱

۴.۲.۲ تابع هدف متناظر با ریسک ۲۱

۵.۲.۲ تابع هدف متناظر با هزینه‌ها ۲۱

۶.۲.۲ محدودیت منابع ۲۲

۷.۲.۲ وابستگی و اجباری بودن پروژه ۲۳

@ORchannel

۳.۲ مدل آلمیدا و همکارانش برای انتخاب سبد پروژه ۲۴

۱.۳.۲ محدودیت منابع ۲۵

۲.۳.۲ محدودیت‌های هزینه ۲۶

۳.۳.۲ محدودیت‌های منطقی ۲۷

۴.۲ مدل ارایه‌شده توسط لیان‌یو و همکارانش ۲۸

۱.۴.۲ مثال عددی ۲۹

۳ الگوریتم‌های فرابتکاری برای حل مساله انتخاب سبد پروژه ۳۴

۱.۳ الگوریتم‌های فراابتکاری ۳۴

۱.۱.۳ الگوریتم ابتکاری جستجوی محلی ۳۵

۲.۱.۳ الگوریتم فرابتکاری ممتیک ۳۸

۳.۱.۳ عملگرهای الگوریتم ژنتیک ۴۰

۴.۱.۳ الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر ۴۴

۲.۳ الگوریتم‌های فراابتکاری ارایه شده برای حل مساله انتخاب سبد بهینه پروژه ۴۷

۱.۲.۳ فضای جواب ۴۸

۲.۲.۳ تعریف حرکت ۴۸

۳.۲.۳ تعریف همسایگی ۴۸

۴.۲.۳ الگوریتم ژنتیک ارایه شده توسط لیان‌یو و همکارانش ۵۱

۵.۲.۳ الگوریتم ممتیک برای حل مساله انتخاب سبد بهینه پروژه ۵۴

۶.۲.۳ الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر برای مساله انتخاب سبد پروژه ۵۷

۷.۲.۳ شرط توقف ۵۹

۴ الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر برای مساله انتخاب سبد پروژه در حالت فازی ۶۲

@ORchannel

۱.۴ مفاهیم پایه‌ای ۶۳
۱.۱.۴ اعمال جبری اعداد فازی ۶۵
۲.۴ فرمول‌بندی مساله انتخاب سبد پروژه در حالت فازی ۶۶
۳.۴ الگوریتم VNS برای انتخاب مساله انتخاب سبد پروژه‌ها در حالت فازی ۶۷
۱.۳.۴ مقایسه دو عدد فازی ۶۷
۴.۴ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۰

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۷۶

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۷۹

نمایه ۸۴

@ORchannel

فهرست شکل‌ها

۱.۳ تقاطع تک‌نقطه‌ای ۴۱
۲.۳ عمل‌گر جهش ۴۱
۳.۳ چرخ رولت ۴۳
۴.۳ تغییر همسایگی‌ها در طول الگوریتم VNS ۴۵

@ORchannel

فهرست جدول‌ها

۱.۲ داده‌های اولیه برای ۵ پروژه مختلف ۳۰
۲.۲ نرمال‌سازی داده‌های اولیه برای ۵ پروژه مختلف ۳۰
۳.۲ اثر متقابل بین پروژه‌ها ۳۱

@ORchannel

پیش‌گفتار

همه شرکت‌ها و سازمان‌های پروژه محور با مساله مهمی به نام انتخاب سبد پروژه مواجه هستند. این سازمان‌ها همواره به دنبال پیدا کردن سبد پروژه‌هایی هستند که اولا اهداف سازمان را برآورده سازند و ثانیا محدودیت‌هایی مانند منابع، هزینه‌ها، تجهیزات و ...را نیز نقض نکند. انتخاب سبد پروژه یکی از چالشی‌ترین موضوعات تصمیم‌گیری در کسب و کار مدرن است چرا که منابع جهت تخصیص میان پروژه‌ها محدود هستند و تخصیص اشتباه منابع به یک پروژه ممکن است باعث از دست رفتن فرصت سرمایه‌گذاری پروژه‌های دیگر باشد [۷]. به این دلیل است که مساله انتخاب سبد پروژه یکی از مسایل مهم در مدیریت پروژه، مدیریت ریسک و مدیریت مالی است ([۱۹] و [۲۰]). برای مثال سهام‌داران بورس اوراق بهادار به دنبال انتخاب ترکیب بهینه‌ای از سهام‌ها هستند به طوری که ارزش این سبد سهام بیشینه و ریسک این سبد کمینه باشد. ب مساله انتخاب سبد پروژه اولین بار در سال ۱۹۵۲ و توسط مارکوویتز[۱] بیان شد و می‌توان او را به عنوان بنیان‌گذار این شاخه از علم دانست. بعد از او افراد زیادی سعی داشتند که مدل ارایه شده توسط مارکوویتز را بهبود دهند و فرض‌های مختلفی را برای نزدیک کردن مدل‌ها به واقعیت ارایه دادند ([۲۶]و [۲۸]). چون مساله انتخاب سبد پروژه در شاخه مسایل $NP-Hard$ قرار می‌گیرد [۲۸]، بنابراین برای حل این مساله عمدتا از روش‌های فراابتکاری استفاده می‌شود. بنابراین در این پایان نامه تصمیم گرفتیم که برای حل مساله انتخاب سبد پروژه الگوریتم‌های فراابتکاری ممتیک[۲] و جستجوی همسایگی متغیر [۳] را طراحی کنیم و با مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک [۲۸]، کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی خود را بسنجیم.

ساختار پایان نامه نوشته شده بر این اساس است که :

---

[۱] Markowitz
[۲] Memetic
[۳] Variable Neighborhood Search

@ORchannel

در فصل اول این پایان نامه به بیان مفاهیم پایه‌ای، ضرورت و انگیزه شکل‌گیری این مساله می‌پردازیم.

در فصل دوم به بیان تاریخچه این مساله پرداخته و چندین مدل ارایه شده برای آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در فصل سوم تاریخچه‌ای از الگوریتم‌های فراابتکاری ممتیک و جستجوی همسایگی متغیر را بیان می‌کنیم و به بررسی اجزای این الگوریتم‌ها می‌پردازیم. سپس الگوریتم ژنتیک ارایه شده توسط لیان یو و هم‌کارانش [۲۸]را معرفی می‌کنیم و در ادامه الگوریتم‌های پیشنهادی ممتیک و جستجوی همسایگی متغیر را بیان کرده و به توضیح اجزای این الگوریتم‌ها برای مساله انتخاب سبد پروژه می‌پردازیم.

در فصل چهارم به بررسی نتایج عددی حاصل از الگوریتم‌های فراابتکاری پیشنهاد شده ،الگوریتم ژنتیک ارایه شده در [۲۸] و هم‌چنین بهینه‌ساز $CPLEX$ می‌پردازیم و کارایی این الگوریتم‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در فصل پنجم مدل فازی را برای مساله انتخاب سبد پروژه ارایه می‌دهیم و برای حل آن الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر در حالت فازی را پیاده‌سازی می‌کنیم و نیز نتایج عددی حاصل از این الگوریتم را ارایه می‌دهیم.

@ORchannel

فصل ۱

مرور ادبیات و مدل‌بندی مساله انتخاب سبد پروژه

همان‌طور که اشاره شد، مساله انتخاب سبد پروژه[۱]، یکی از مسایلی است که سازمان‌ها هر روزه با آن روبرو هستند. در این سازمان‌ها تصمیم‌گیرندگان به دنبال پیدا کردن بهترین راه ممکن هستند که بتوانند منابع خود را به پروژه‌هایی اختصاص دهند که نیازهای سازمان را برطرف سازد. در این فرآیند پروژه‌ها برای به دست آوردن منابع محدود مانند بودجه، تجهیزات، متخصصین و ...با یک‌دیگر رقابت می‌کنند. معمولا در این مساله تعداد پروژه‌ها بیش‌تر از مقدار منابعی است که توسط سازمان تامین می‌شود که در این صورت است که مساله انتخاب سبد پروژه‌ها معنی پیدا می‌کند. در سال ۱۹۵۲ *مارکوویتز* اولین فردی بود که به بررسی موضوع انتخاب سبد بهینه پروژه پرداخت و در واقع می‌توان او را پیش‌قدم به وجود آمدن مسایلی برای مدل‌بندی مساله انتخاب سبد پروژه دانست [۲۲]. *آکر و تایبجی*[۲] [۳] در سال ۱۹۷۸ یک مدل برنامه‌ریزی صفر و یک درجه دو با در نظر گرفتن وابستگی بین پروژه‌ها ارایه دادند. *گلابی*[۳] *و همکارانش* [۱۶]در سال ۱۹۸۱ یک مدل چند معیاره[۴] برای مساله انتخاب سبد پروژه‌ها ارایه دادند و از آن برای انتخاب سبد پروژه‌های انرژی خورشیدی وزارت نیروی آمریکا [۵] استفاده کردند. در سال ۱۹۹۵

[۱] Project portfolio selection
[۲] Aaker & Tyebjee
[۳] Golabi
[۴] Multi-criteria
[۵] United states department of energy

@ORchannel

مارتینو [۱] [۲۳] مدل تک هدفه‌ای را برای انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه [۲] ارایه داد. مشکل مدلی که *مارتینو* ارایه داد این بود که در بیش‌تر موارد تصمیم‌گیرندگان برای پاسخگویی به نیازهای سازمان با اهداف که در تضاد با یک‌دیگر نیز بودند، مواجه بودند و این باعث ناکارامدی این مدل می‌شد. *سانفنام و کایپا ریسیس* [۳] [۲۶] در سال ۱۹۹۵ یک مدل جامع چند هدفه [۴] برای انتخاب سبد پروژه‌ها ارایه دادند که در مدل ارایه شده به دنبال بیشینه کردن سود، کمینه کردن ریسک و هزینه بودند. *قاسم‌زاده* [۵] *و همکارانش* [۱۵] یک مدل صفر و یک چند هدفه را برای حل مساله انتخاب سبد پروژه ارایه دادند. مدل ارایه شده توسط آن‌ها بر پایه اهداف سازمان و محدودیت‌هایی مانند محدودیت منابع و وابستگی بین پروژه‌ها بود. آن‌ها در این مدل زمان‌بندی [۶] بین پروژه‌ها را نیز لحاظ کردند. مشکل این مدل این بود که در هر دوره زمانی، همه پروژه‌ها باید در ابتدای همان دوره انتخاب می‌شدند. در حالی که ممکن است برای بعضی پروژه‌ها بهتر باشد که در بین بازه‌های زمانی انتخاب شوند که این باعث می‌شود منابع به صورت بهتر تقسیم شوند و هم‌چنین انتخاب پروژه‌ها کارامدتر باشد. *بدری* [۷] *و همکارانش* [۶] یک مدل عدد صحیح آمیخته [۸] چند هدفه را برای مساله انتخاب سبد پروژه ارایه دادند. آن‌ها هزینه‌ها را به سه دسته هزینه‌های سخت‌افزاری، نرم‌افزاری و دیگر هزینه‌های مرتبط تقسیم کردند و هر کدام را به صورت جداگانه در تابع هدف در نظر گرفتند. *ماورتس* [۹] *و همکارانش* [۲۴] در سال ۲۰۰۸ یک مدل عدد صحیح برای حل مساله انتخاب سبد پروژه ارایه دادند. آن‌ها در این مدل فقط یک محدودیت را در نظر گرفتند، در حالی که بیشتر سازمان‌ها، علاوه بر این محدودیت، با محدودیت‌های دیگری مانند تجهیزات، منابع، متخصصان و...مواجه هستند.

فرآیند تصمیم‌گیری در مورد انتخاب سبد پروژه، یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده است، یک اشتباه در تصمیم‌گیری ممکن است دو نتیجه منفی در برداشته باشد[۷]:

۱ هدر رفت منابع است که ثمره تصمیم‌گیری اشتباه است.

۲ از دست رفتن فرصت، برای تخصیص منابع به پروژه‌های دیگر

۳ از بین بردن توجیه اقتصادی و راهبردی پروژه‌های دیگر

[۱] Martino
[۲] Research and development
[۳] Santhanam & Kyparisis
[۴] Multi-objective
[۵] Ghasemzadeh
[۶] Schedule
[۷] Badri
[۸] Mixed integer programming
[۹] Mavrotas

@ORchannel

با این تفاسیر، تصمیم‌گیری برای انتخاب سبد پروژه فرآیندی است که نیازمند دانش و آگاهی بالایی است. به دلیل اهمیت این موضوع، محققان به بررسی این موضوع پرداختند. *آرچر و قاسم‌زاده* [۵]در سال ۱۹۹۹ یک فرآیند پیش ارزیابی صلاحیت را پیشنهاد کردند که هر پروژه در آن می‌بایست به صورت مجزا مورد ارزیابی قرار گرفته و در صورت برآورده کردن معیارهای اولیه، پروژه می‌تواند به مرحله بعدی راه پیدا کند. این راهی است که برای کم کردن پروژه‌های نامناسب و هم‌چنین کم کردن زحمت کمیته انتخاب کننده پروژه‌ها در طی فرآیند انتخاب به کار گرفته می‌شود. هر چند که این بحث مطرح می‌شود که فرآیند پیش ارزیابی صلاحیت نباید چنان سخت باشد که باعث حذف پروژه‌های خوب شود. آرچر و قاسم‌زاده تحقیقات گسترده‌ای را بر روی انواع مختلف مدل‌ها و تکنیک‌های انتخاب پروژه انجام داد و مزایا و معیاب هر دسته از مدل‌ها را بیان نمود. برای نمونه مزایای رویکرد مقایسه‌ای را به صورت درک آسان، استفاده راحت و یک‌پارچگی آنالیز کمی و کیفی و مضرات آن‌ها را تکرار تمام فرآیندهای آن در صورت حذف و یا اضافه شدن پروژه‌های جدید و دشواری استفاده از آن در صورت وجود تعداد زیاد پروژه دانستند.

کوپر [۱] *و هم‌کارانش* [۱۰] نیز پژوهشی را بر روی محبوبیت و میزان استفاده از مدل، روش‌ها و تکنیک‌های مختلف انتخاب پروژه و مدیریت سبد پروژه انجام دادند. نتایج بررسی‌های آن‌ها به طور قابل توجهی نشان می‌دهد که:

۱. اولا سازمان‌ها تمایل دارند که از مجموعه‌ای از مدل‌ها و روش‌های انتخاب پروژه، برای تشکیل سبد پروژه بهینه خود به صورت ترکیبی استفاده نمایند.

۲. با وجود محبوبیت تکنیک‌ها و روش‌های مالی عملا این روش‌ها ، عملکرد ضعیفی را نسبت به سایر مدل‌های انتخاب پروژه ارایه می‌دهند و سبد پروژه حاصله از آن‌ها اثربخشی پایین‌تری را دارا هستند.

۳. سازمان‌ها بیشتر بر رویکردهای راهبردی متکی هستند تا مدل‌های مبتنی بر مدل‌های مالی

پژوهش‌گران برای حل مساله انتخاب سبد پروژه نیز روش‌هایی را ارایه کردند. *کراما* [۲] *و هم‌کارانش* [۱۱] در سال ۲۰۰۳ یک مدل عدد صحیح آمیخته ارایه دادند و برای حل آن از الگوریتم سرد شدن تدریجی [۳] استفاده کردند. *دوانر* [۴] *و هم‌کارانش* [۱۲] در سال ۲۰۰۴ یک مدل چند هدفه ارایه دادند و الگوریتم ازدحام ذرات [۵] برای مدل خود پیاده‌سازی کردند. *کارزو و هم‌کارانش*

[۱] Cooper
[۲] Crama
[۳] Simulated annealing
[۴] Doerner
[۵] Particle swarm

@ORchannel

[۸] در سال ۲۰۱۰ یک مدل چند هدفه ارایه دادند و از الگوریتم جستجوی پراکنده [۱] برای حل آن استفاده کردند. *لیان‌یو* [۲] و *همکارانش* [۲۸] نیز در سال ۲۰۱۲ الگوریتم ژنتیک را برای حل این مساله با در نظر گرفتن اثر متقابل بین پروژه‌ها ارایه دادند. *بدری* [۳] و *همکارانش* [۶] مدلی را بر اساس برنامه‌ریزی آرمانی [۴] برای انتخاب پروژه‌های سیستم‌های اطلاعاتی ارایه نمودند. *مداگلیا* [۵] و *همکارانش* [۲۵] در سال ۲۰۰۸ نحوه انتخاب سبد پروژه‌ها را در یک شرکت حمل و نقل آب و فاضلاب مورد بررسی قرار دارد. *گیتان* [۶] و *همکارانش* [۲۱] یک مدل چند معیاره برای انتخاب سبد پروژه‌های ساختمانی ارایه دادند. زیدونس [۷] و همکارانش [۲۷] یک روش چند معیاره برای انتخاب سبد پروژه آتن ارایه دادند.

۱.۱ مدل مارکوویتز برای حل مساله انتخاب سبد سهام

مارکوویتز در [۲۲] به دنبال این بود که مدلی ارایه دهد که بازگشت‌پذیری سرمایه بیشینه و ریسک را نیز کمینه کند. او برای مدل کردن این مساله از روش میانگین-واریانس [۸] کمک گرفت. در این‌جا به طور مختصر به توضیح مدل ارایه شده توسط او می‌پردازیم.

یک سبد سهام با n سهم را در نظر بگیرید که R_i نشان دهنده نرخ بازگشت سرمایه سهام iام باشد. فرض کنید μ_i و σ^2 به ترتیب نشان دهنده بازده (میانگین) سهم iام و ریسک (واریانس) سهم iام و هم‌چنین σ_{ij} نشان‌دهنده کوواریانس بین سهم iام و jام باشد. فرض کنید x_i میزان سهم، سهام iام در سبد سهام باشد. اگر R نرخ کلی بازگشت سهام باشد، آن‌گاه داریم:

$$\mu(R) = E(R) = \sum_{i=1}^{n} \mu_i x_i, \tag{۱.۱}$$

$$\sigma^2 = Var(R) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \sigma_{ij} x_i x_j, \tag{۲.۱}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1, \tag{۳.۱}$$

$$x_i \geq 0 \qquad i = 1, \ldots n. \tag{۴.۱}$$

[۱] Scatter search
[۲] Lean Yu
[۳] Badri
[۴] Goal programming
[۵] Medaglia
[۶] Gaytan
[۷] Xidonas
[۸] Mean-variance

@ORchannel

که در عبارت بالا $\mu(R)$ بازده مورد انتظار سبد سهام و $\sigma^۲$ نیز ریسک سبد سهام را نشان می‌دهد. برای تمام انتخاب‌های $x_۱, x_۲, \ldots, x_n$، سرمایه‌گذاران از ترکیب‌های مختلف μ و $\sigma^۲$ استفاده می‌کنند. مجموعه تمام $(\mu, \sigma^۲)$ را مجموعه در دسترس (مجموعه کارا [۱]) می‌نامند. چون سرمایه‌گذاران می‌خواهند سود را بیشینه و ریسک را کمینه کند به دنبال آن ترکیبی هستند که μ را بیشینه و $\sigma^۲$ را کمینه کند. بنابراین، سرمایه‌گذران باید ترکیبی از این مجموعه کارا را انتخاب کنند. بنابراین مدل ارایه شده توسط مارکوویتز به صورت زیر است:

$$\begin{cases} \max\ \mu, \\ \min\ \sigma^۲, \\ \text{s.t.} \\ \quad \sum_{i=۱}^{n} x_i = ۱, \\ \quad ۰ \le x_i \ i = ۱, ۲, \ldots n. \end{cases} \tag{۵.۱}$$

هرچند مدل مارکوویتز به لحاظ نظری با روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی قابل مدل‌سازی و حل است اما در عمل کاستی‌هایی دارد که کاربرد آن را در دنیای واقعی را دچار مشکل می‌کند. یکی از این کاستی‌ها، محدودیت‌هایی مانند محدودیت تعداد سهام ثابت در سبد، هزینه‌های معاملاتی و ...است که در مدل مارکوویتز در نظر گرفته نشده‌اند که اکثر این محدودیت‌ها با توابع غیرخطی مدل می‌شوند بنابراین، مدل را برای حل با مشکل مواجه می‌کنند.

بعد از مارکوویتز مدل‌های مختلفی برای انتخاب سبد پروژه ارایه شد. در سال ۱۹۹۵ سانتافام و کایپاریسیس [۲۶] مدلی را ارایه دادند که در آن اثر متقابل پروژه‌ها [۲] را در نظر گرفتند و می‌توان گفت، اولین افرادی بودند که توانستند این فرض را در غالب یک مدل ریاضی قرار دهند.

۲.۱ مدل ریاضی سانتافام و کایپارسیس برای حل مساله انتخاب سبد پروژه

سانتافام و کایپارسیس در سال ۱۹۹۵ [۲۶] یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی برای انتخاب سبد پروژه‌های سیستم‌های اطلاعاتی ارایه دادند و در مدل‌شان از برنامه‌ریزی آرمانی استفاده کردند. در این مدل آن‌ها، فرض وابستگی بین پروژه‌ها را در نظر گرفتند.

[۱] Efficient set
[۲] Interactive effects

@ORchannel

هم‌چنین آن‌ها در مدل خود سود و هزینه که حاصل از اثر متقابل پروژه‌ها بر هم بود، نیز لحاظ کردند. در مدلی که آن‌ها ارایه کردند، اثر متقابل برای دو و یا بیش از دو پروژه مورد بررسی قرار گرفت.

آن‌ها در مدل خود دو محدودیت کلی محدودیت‌های هدف و محدودیت‌های سیستمی را در نظر گرفتند.

۱.۲.۱ محدودیت‌های هدف

محدودیت‌های هدف، محدودیت‌هایی هستند که تمام و یا قسمتی از آن توسط محیط اطراف تصمیم‌گیرنده به وجود می‌آید. این محدودیت‌ها بسته به اهداف تصمیم‌گیرندگان ایجاد می‌شود که می‌تواند بیشینه کردن سود، کمینه کردن ریسک، کمینه کردن زمان انجام پروژه و ...باشد.

۲.۲.۱ محدودیت‌های سیستمی

محدودیت‌های سیستمی محدودیت‌هایی هستند که بازتاب کننده محدودیت‌های جهان واقعی‌اند که بر مساله اعمال می‌شوند. این محدودیت‌ها می‌تواند محدودیت بودجه ، منابع، تجهیزات و ...باشد. این محدودیت‌ها مطمئن می‌سازند که یک مجموعه از پروژه‌های شدنی برای توسعه انتخاب می‌شود.

با توجه به توضیحات بالا، مدل ارایه شده توسط سانتافام و کیپارسیس به صورت زیر است:[۲۶]

فرض کنید N تعداد پروژه‌های در دسترس متناظر با متغیرهای تصمیم‌گیری مدل باشد. فرض کنید که اثر متقابل بین پروژه‌ها موجود باشد. هدف این مساله این است که یک زیرمجموعه از این N پروژه انتخاب شود که اهداف تصمیم‌گیرندگان را ارضا کند در حالی که محدودیت‌ها نقض نشود. اهدافی که آن‌ها در مقاله در نظر گرفتند، بیشینه کردن سود، کمینه کردن ریسک و کمینه کردن هزینه‌های متفرقه تخصیص داده برای گسترش پروژه‌ها و هم‌چنین هزینه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری بود. فرض شده است x_i متغیر تصمیم متناظر با پروژه iام باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x_i = \begin{cases} ۱ & \text{اگر پروژه } i\text{ام در سبد پروژه انتخاب شود.} \\ ۰ & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \qquad (۶.۱)$$

@ORchannel

۳.۲.۱ تابع هدف متناظر با سود

تابع هدف متناظر با سود برابر با مجموع سود حاصل از پیاده‌سازی پروژه‌ها است که باید بیشینه شود که در[۲۶] اثر متقابل بین پروژه‌ها نیز در نظر گرفته شده است. آن‌ها فرض کردند که مجموع سود حاصل از دو یا چند پروژه با هم بیش‌تر از سود حاصل از تک‌تک پروژه‌ها است. هم‌چنین آن‌ها اثر متقابل بین پروژه‌ها را برای تعداد بیش از دو تا مورد بررسی قرار دادند. بنابراین تابع هدف متناظر با سود را به صورت زیر ارایه دادند:

$$Z_B = \sum_{i=۱}^{N} x_i b_i + \sum_{i=۱}^{N-۱} \sum_{j=i+۱}^{N} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=۱}^{N-۲} \sum_{j=i+۱}^{N-۱} \sum_{k=j+۱}^{N} b_{ijk} x_i x_j x_k \qquad (۷.۱)$$

جایی که b_i سود حاصل از پیاده‌سازی پروژهiام، $b_{ij} \geq ۰$ سود حاصل از پیاده‌سازی هم‌زمان پروژه‌های iام و jام و $b_{ijk} \geq ۰$ سود حاصل از پیاده‌سازی هم‌زمان پروژه‌های i، j و k است.

۴.۲.۱ تابع هدف متناظر با ریسک[۱]

در انتخاب بعضی از پروژه‌ها ممکن است شکست رخ دهد، بنابراین پیشنهاد می‌شود که برای هر یک از پروژه‌ها، یک سطح ریسک در نظر گرفته شود. هدف تصمیم‌گیرندگان این است که ریسک کل سبد پروژه را کمینه کنند. بنابراین در یک سطح عملی، اندازه‌گیری میزان ریسک حاصل از الحاق چندین پروژه سخت است و برای سادگی در[۲۶] فرض کردند که ریسک کلی به صورت حاصل جمع ریسک تک‌تک پروژه‌ها باشد. سانتافام و کایپاریسیس تابع هدف متناظر با ریسک را به صورت زیر در نظر گرفتند:

$$Z_R = \sum_{i=۱}^{N} r_i x_i \qquad (۸.۱)$$

که r_i میزان ریسک متناظر با پروژه iام است.

۵.۲.۱ تابع هدف متناظر با هزینه‌ها[۲]

برای گسترش پروژه‌ها، سازمان‌ها نیازمند سرمایه‌گذاری زیادی از لحاظ منابع سخت‌افزاری و نرم‌افزاری هستند. این هزینه‌ها می‌تواند شامل تجهیزات، متخصصین، زمان کامپیوتری و ...شود که هدف کمینه سازی این هزینه‌ها است. سانتافام و

[۱] Risk-related objective
[۲] Cost-related objective

@ORchannel

کیپارسیس اثر متقابل پروژه‌ها را برای این حالت نیز درنظر گرفتند، با این فرض که این هزینه‌ها ممکن است بین دو و یا چند پروژه در حال اجرا تقسیم شود که این باعث کاهش یافتن هزینه متناظر با پروژه‌های مرتبط شود. بنابراین تابع هدف مرتبط با هزینه‌ها برابر است با :

$$Z_C = \sum_{i=۱}^{N} C_i^M x_i - (\sum_{i=۱}^{N-۱} \sum_{j=i+۱}^{N} C_{ij}^M x_i x_j + \sum_{i=۱}^{N-۲} \sum_{j=i+۱}^{N-۱} \sum_{k=j+۱}^{N} C_{ijk}^M x_i x_j x_k) \qquad (۹.۱)$$

جایی که C_i^M، C_{ij}^M و C_{ijk}^M هزینه‌های مرتبط به پروژه‌های تکی، دوتایی i و j و سه تایی i، j و k است.

۶.۲.۱ محدودیت منابع[۱]

سانتافام و کاپیاریسیس محدودیت منابع سخت افزاری و نرم‌افزاری را برای اثر متقابل بین پروژه‌های مختلف در هنگام استفاده از منابع، به حساب می‌آورند. آن‌ها فرض کردند که استفاده مشخص از میزان مشخص منابع سخت‌افزاری[۲] و نرم‌افزاری[۳] بین دو و یا چند پروژه باعث کاهش هزینه می‌شود که محدودیت‌هایی را به صورت زیر ایجاد می‌کند:

$$\sum_{i=۱}^{N} C_i^H x_i - (\sum_{i=۱}^{N-۱} \sum_{j=i+۱}^{N} C_{ij}^H x_i x_j + \sum_{i=۱}^{N-۲} \sum_{j=i+۱}^{N-۱} \sum_{k=j+۱}^{N} C_{ijk}^H x_i x_j x_k) \leq a^H \qquad (۱۰.۱)$$

و منابع نرم‌افزاری به فرم

$$\sum_{i=۱}^{S} C_i^S x_i - (\sum_{i=۱}^{N-۱} \sum_{j=i+۱}^{N} C_{ij}^S x_i x_j + \sum_{i=۱}^{N-۲} \sum_{j=i+۱}^{N-۱} \sum_{k=j+۱}^{N} C_{ijk}^S x_i x_j x_k) \leq a^S \qquad (۱۱.۱)$$

که در این محدودیت‌ها C_i^H، C_{ij}^H و C_{ijk}^H به ترتیب میزان منابع سخت افزاری مرتبط به پروژه‌های تکی، دوتایی i و j و سه تایی i، j و k است. به طریق مشابه C_i^S C_{ij}^S و C_{ijk}^S به ترتیب بیان کننده میزان منابع نرم افزاری مرتبط به پروژه‌های تکی، دوتایی i و j و سه تایی i، j و k است. در این محدودیت‌ها a^H و a^S به ترتیب ظرفیت منابع سخت افزاری و نرم افزاری را بیان می‌کند.

[۱] Resource constraints
[۲] Hardware resource
[۳] Software resource

@ORchannel

۷.۲.۱ وابستگی و اجباری بودن پروژه[۱]

در بعضی از موارد پروژه‌ای را نمی‌توان توسعه داد مگر این‌که پروژه مرتبط با آن انجام (پیاده‌سازی) شود. در این مواقع محدودیت‌های وابستگی را به مدل اضافه می‌کنیم که تصمیم‌گیرندگان را مطمئن می‌سازد که یک پروژه را زمانی می‌توان انتخاب کرد که پروژه مرتبط با آن انتخاب شده باشد. فرض کنید A_j مجموعه تمام پروژه‌هایی باشد که باید قبل از پروژه jام انجام شود و یا به طور معادل A_j مجموعه پروژه‌های پیش‌نیاز پروژه j باشد ($A_j \subseteq \{۱, ۲, \ldots, N\}$) . هم‌چنین فرض کنید که Q_A زیرمجموعه‌ای از پروژه‌های پیش‌نیاز باشد. بنابراین محدودیتی به شکل

$$\sum_{i \in A_j} x_i \geq |A_j| x_j \quad j \in Q_A \tag{۱۲.۱}$$

داریم. در این محدودیت، $|A_j|$ تعداد پروژه‌های (اعضای) مجموعه A_j است. این محدودیت بیان می‌کند تا زمانی که تمام پیش‌نیازهای پروژه jام انجام نشود، نمی‌توان پروژه jام را انتخاب کرد.

بعضی از مواقع ممکن است لازم باشد که برخی از پروژه‌ها حتما در سبد پروژه باشند. فرض کنید Q_M مجموعه تمام پروژه‌هایی باشند که باید در سبد پروژه قرار بگیرند. بنابراین محدودیتی متناظر با آن لحاظ می‌کنیم که به صورت

$$x_j = ۱ \quad j \in Q_M \tag{۱۳.۱}$$

در نظر گرفته می‌شود. بعد از توضیحات بالا مدل کلی ارایه شده توسط کایپارسیس و هم‌کارانش به صورت ۳۰.۲ است:

[۱] Dependent and mandated

@ORchannel

$$
\begin{cases}
\min \quad P_B w_B d_B^- + P_R w_R d_R^+ + P_C w_C d_C^+, \\
\text{s.t.} \\
\quad Z_B + d_B^- - d_B^+ = T_B, \\
\quad Z_R + d_R^- - d_R^+ = T_R, \\
\quad Z_C + d_C^- - d_C^+ = T_C, \\
\quad \sum_{i=1}^{N} C_i^H x_i - (\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} C_{ij}^H x_i x_j + \sum_{i=1}^{N-2} \sum_{j=i+1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^{N} C_{ijk}^H x_i x_j x_k) \le a^H, \\
\quad \sum_{i=1}^{S} C_i^S x_i - (\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} C_{ij}^S x_i x_j + \sum_{i=1}^{N-2} \sum_{j=i+1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^{N} C_{ijk}^S x_i x_j x_k) \le a^S, \\
\quad \sum_{i \in A_j} x_i \ge |A_j| x_j \quad j \in Q_A, \\
\quad x_j = 1 \quad j \in Q_A, \\
\quad x_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots N.
\end{cases}
\tag{۱۴.۱}
$$

در مدل بالا $d_B^+, d_B^-, d_R^+, d_R^-, d_C^+$ و d_C^- متغیرهای انحراف از آرمان نامیده می‌شود. P_B, P_R و P_C الویت‌های تصمیم‌گیرندگان و w_B, w_R و w_C وزن‌هایی است که تصمیم‌گیرندگان برای هر هدف خود در نظر گرفتند. هم‌چنین $T_B \ge 0, T_R \ge 0$ ، $T_C \ge 0$ سطح تمایل برای هر هدف، Z_B تابع هدف متناظر با سود ۷.۲، Z_R تابع هدف متناظر با ریسک ۹.۲ و Z_C تابع هدف متناظر با هزینه ۸.۲ هستند.

۳.۱ مدل آلمیدا و هم‌کارانش برای انتخاب سبد پروژه

با گذشت زمان و افزایش اهمیت مساله انتخاب سبد پروژه، محققان زیادی به بررسی این شاخه از علم مدیریت پروژه پرداختند. آلمیدا[۱] و هم‌کارانش [۴] در سال ۲۰۱۱ مدلی را برای انتخاب سبد پروژه ارایه دادند که در آن هم‌افزایی[۲] بین پروژه‌ها را در نظر

[۱] Almeida
[۲] Synergy

@ORchannel

گرفتند. آن‌ها برای انتخاب سبد پروژه بهینه، یک مدل غیرخطی را ارایه دادند که به صورت زیر است:

فرض کنید m تعداد پروژه‌ها و n تعداد معیارها باشد. فرض کنید X مجموعه‌ای از پروژه‌ها باشد که به صورت $X = \{x_۱, x_۲, \ldots, x_m\}$ و z_{ij} ارزش پروژه iام بر اساس معیار jام باشد. فرض کنید w_jها وزن‌های هر معیار باشد که به صورت $w = [w_۱, w_۲, \ldots, w_n]$ نمایش داده می‌شود، به طوری‌که $\sum_{i=۱}^{n} w_i = ۱$ است. ارزش کلی هر پروژه را با $V(x_i)$ نشان می‌دهیم که برابر با

$$V(x_i) = \sum_{j=۱}^{n} w_j z_{ij} \tag{۱۵.۱}$$

است. بنابراین $[V(x_۱), V(x_۲), \ldots, V(x_m)]$ ارزش کلی سبد پروژه نشان می‌دهد. فرض کنید X مجموعه تمام سبد پروژه‌های ممکن باشد. یک سبد پروژه را با X_r نشان می‌دهیم و به صورت $X_r = [x_۱, x_۲, \ldots, x_m] \quad (r = ۱, ۲, \ldots, ۲^m)$ نمایش می‌دهیم، جایی که

$$x_i = \begin{cases} ۱ & \text{اگر پروژه } i\text{ام در سبد پروژه انتخاب شود.} \\ ۰ & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \tag{۱۶.۱}$$

فرض کنید که S_{ij} نشان‌دهنده میزان هم‌افزایی بین پروژه‌های x_i و x_j باشد. بنابراین آلمیدا وهم‌کارانش برای به دست‌آوردن مقدار هم‌افزایی بین پروژه‌ها فرمول زیر را ارایه دادند:

$$CS(x_i) = \sum_{j=۱}^{n} x_j S_{ij} V(x_i) \quad i = ۱, ۲, \ldots, m; \tag{۱۷.۱}$$

بنابراین مقدار تابع هدف را به صورت زیر تعریف کردند:

$$V(X_r) = \sum_{i=۱}^{m} (\sum_{j=۱}^{m} w_j z_{ij}) x_i + \sum_{i=۱}^{m} (\sum_{j=۱}^{m} x_j S_{ij}) x_i V(x_i) \tag{۱۸.۱}$$

۱.۳.۱ محدودیت منابع

در مدل ارایه شده توسط آلمیدا و هم‌کارانش، مصرف‌کنندگان، با یک سری از محدودیت‌ها برای منابع مواجه هستند. فرض کنید q مجموعه منابع در دسترس باشد و هم‌چنین c_i میزان مصرف پروژه i از هر منبع در دسترس باشد که به صورت زیر تعریف

@ORchannel

می‌شود:

$$c_i = [c_{i۱}, c_{i۲}, \ldots, c_{iq}] \quad i = ۱, ۲, \ldots, m \tag{۱۹.۱}$$

بنابراین می‌توان میزان مصرف تمام پروژه‌ها از منابع در دسترس را توسط یک آرایه نشان داد که هر سطر این پروژه نشان‌دهنده میزان مصرف هر پروژه از تمامی منابع باشد و می‌توان به صورت زیر این ماتریس را به نمایش درآورد:

$$C = \begin{bmatrix} c_{۱۱} & c_{۱۲} \ldots & c_{۱q} \\ c_{۲۱} & c_{۲۲} \ldots & c_{۲q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m۱} & c_{m۲} \ldots & c_{mq} \end{bmatrix}$$

از طرف دیگر، فرض کنید B آرایه‌ای از میزان منابع در دسترس باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$B = [b_۱, b_۲, \ldots, b_q] \tag{۲۰.۱}$$

با این تعاریف می‌توان محدودیت میزان منابع در دسترس را به صورت زیر تعریف کرد:

$$X_r.C \leq B \tag{۲۱.۱}$$

۲.۳.۱ محدودیت‌های هزینه

معمولا، در فرایند انتخاب، محدودیت‌های مالی برای پروژه‌ها در نظر گرفته می‌شود. فرض کنید هزینه هر پروژه انتخابی برابر با r_i باشد. مجموعه هزینه تمام پروژه‌ها را با R نمایش می‌دهیم و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = [r_۱, r_۲, \ldots, r_m] \tag{۲۲.۱}$$

فرض کنید F میزان منابع مالی در دسترس برای پروژه‌ها باشند. بنابراین محدودیت مالی

@ORchannel

۳.۳.۱ محدودیت‌های منطقی

در فرایند انتخاب سبد پروژه ممکن حالتی پیش بیاید که بعضی از پروژه‌ها به پروژه یا پروژه‌هایی وابسته باشند. برای نشان دادن این فرض در مدل محدودیت زیر را در نظر می‌گیریم:

$$x_i - x_j \geq ۰, \tag{۲۳.۱}$$

این محدودیت بیان می‌کند که پروژه jام وابسته به پروژه iام است. اگر پروژه iام انتخاب نشود ، پروژه jام نمی‌تواند انتخاب شود و اگر پروژه iام انتخاب شود، پروژه jام می‌تواند انتخاب شود.

بعضی مواقع ممکن است حالتی اتفاق بیفتد که از بین یک سری از پروژه‌ها باید حداکثر یک پروژه انتخاب شوند. برای این منظور آلمیدا و هم‌کارانش محدودیتی به شکل زیر را در مدل خود در نظر گرفتند:

$$\sum_{x_i \in S_{MC}} x_i \leq ۱, \tag{۲۴.۱}$$

در این مدل، S_{MC} نشان‌دهنده مجموعه‌ای از پروژه‌ها است که از بین اعضای آن حداکثر یک عضو انتخاب می‌شود.

با تعاریف بالا، مدل کلی ارایه شده توسط آلمیدا و هم‌کارانش به صورت (۲۵.۲) است:

$$\begin{cases} \max V(X_r) \\ \text{s.t.} \\ \quad X_r.C \leq B, \\ \quad X_r.R \leq F, \\ \quad x_j = ۱ \quad \forall x_i \in S_M, \\ \quad x_i - x_j \geq ۰, \\ \quad \sum_{j=۱}^{n} x_j \leq ۱ \quad x_i \in S_{MC}, \\ \quad X_r = [x_۱, x_۲, \dots x_m],\ x_i \in \{۰, ۱\}, \forall i = ۱, ۲, \dots m. \end{cases} \tag{۲۵.۱}$$

@ORchannel

۴.۱ مدل ارایه‌شده توسط لیان‌یو و هم‌کارانش

لیان‌یو و هم‌کارانش [۲۸] در سال ۲۰۱۲ مدلی را برای مساله انتخاب سبد پروژه بر اساس چندین معیار ارایه دادند که به صورت زیر است:

فرض کنید I تعداد پروژه‌های کاندید شده برای سبد پروژه باشند و x_i متغیر تصمیم متناظر با پروژه iام باشد $(i = ۱, ۲, \dots, I)$ باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x_i = \begin{cases} ۱ & \text{اگر پروژه } i\text{ام در سبد پروژه انتخاب شود.} \\ ۰ & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \tag{۲۶.۱}$$

بنابراین هر سبد پروژه به صورت $X = (x_۱, x_۲, \dots, x_I)$ نمایش داده می‌شود. فرض کنید w_j نشان‌دهنده میزان اهمیت نسبی معیار jام برای تصمیم‌گیرندگان $(j = ۱, ۲, \dots, J)$ ،باشد. هم‌چنین c_{ij} نشان‌دهنده ارزش پروژه iام برای معیار jام است.

لیان‌هو و هم‌کارانش دو مدل برای انتخاب سبد پروژه ارایه دادند، در یک مدل اثر متقابل بین پروژه‌ها را در نظر نگرفتند که مدل ارایه شده در این حالت به صورت (۲۷.۲) است:

$$\begin{cases} \max \quad V = \sum_{i=۱}^{I} (\sum_{j=۱}^{J} w_j c_{ij}) x_i, \\ \text{s.t.} \\ \qquad \sum_{i=۱}^{I} x_i = M, \\ \qquad x_i = \{۰, ۱\} \end{cases} \tag{۲۷.۱}$$

در مدل بالا، V نشان‌دهنده ارزش کلی سبد پروژه و M نشان‌دهنده تعداد پروژه‌های انتخابی برای سبد پروژه است.

در مدل بالا فرض بر این بود که پروژه‌ها از یک‌دیگر مستقل هستند، یعنی هیچ اثر متقابلی بین پروژه‌ها وجود ندارد. با این

@ORchannel

وجود در واقعیت ممکن است بین بعضی از پروژه‌ها اثر متقابلی وجود داشته باشد که در نظر نگرفتن این فرض منجر به نتایجی می‌شود که مطلوب تصمیم‌گیرندگان نیست ([۹]). بنابراین برای به دست آوردن جواب بهتر، باید تصمیم‌گیرندگان اثر متقابلی بین پروژه‌ها را در نظر بگیرند. برای راحتی فرض می‌کنیم، $d_j(S_k)$ نشان دهنده اثر متقابل بین k پروژه، بر اساس معیار jام باشد ($j = ۱, ۲, \ldots, J$). هم‌چنین فرض کنید $S_k (k = ۱, ۲, \ldots, K)$ نشان‌دهنده ترکیب k پروژه باشد.

لیان‌یو و هم‌کارانش با در نظر گرفتن اثر متقابل بین پروژه‌ها مدلی را به صورت زیر برای انتخاب سبد پروژه‌ها ارایه دادند.

$$\begin{cases} \max \quad V = \sum_{i=۱}^{I}(\sum_{j=۱}^{J} w_j c_{ij})x_i + \sum_{j=۱}^{J}\sum_{k=۱}^{K}(w_j(d_j(S_k))(\sum_{i=۱}^{L} c_{ij}))\prod_{i=۱}^{L} x_i, \\ \text{s.t.} \\ \quad \sum_{i=۱}^{I} x_i = M, \\ \quad x_i = \{۰, ۱\}; \end{cases} \tag{۲۸.۱}$$

که L نشان‌دهنده تعداد متغیرهای است که بر یک‌دیگر اثر متقابل می‌گذارند، در تابع هدف (۲۸.۲) مجموع اول، همان ارزش تک تک پروژه‌ها را بیان می‌کند و مجموع دوم نشان‌دهنده اثر متقابلی است که بین پروژه‌ها وجود دارد.

۱.۴.۱ مثال عددی

در این قسمت به بررسی مثالی برای مدل‌های ارایه شده توسط لیان یو و هم‌کارانش [۲۸] می‌پردازیم. فرض کنید که ۵ پروژه $a_۱, a_۲, \ldots, a_۵$ کاندیدهای انتخاب در سبد پروژه باشند و هم‌چنین تصمیم‌گیرندگان سه معیار ریسک‌پذیری، برگشت‌پذیری سرمایه و شدنی بودن پروژه را مد نظر داشته باشند. تصمیم‌گیرندگان می‌خواهند از بین این ۵ پروژه، دو پروژه را بر اساس معیارهای تعریف شده انتخاب کنند، به طوری که ارزش سبد پروژه انتخابی، بیشینه شود. جدول ۱.۲ نشان‌دهنده مقدار داده‌های ورودی برای ۵ پروژه مختلف است.

برای مثال پروژه $a_۵$ را در جدول ۱.۲ در نظر بگیرید. ارزش این پروژه بر اساس سه معیار برگشت‌پذیری سرمایه، ریسک‌پذیری و شدنی بودن پروژه به ترتیب برابر با ۰/۷۸، ۰/۴۲ و ۰/۷۰ است. در جدول ۱.۲ w_j نشان‌دهنده میزان اهمیت معیار jام $(j = ۱, ۲, ۳)$ برای تصمیم‌گیرندگان است که در جدول ۱.۲ این مقادیر برای معیارهای برگشت‌پذیری سرمایه،

@ORchannel

جدول ۱.۱: داده‌های اولیه برای ۵ پروژه مختلف

معیارها	وزن هر معیار	پروژه‌ها (i)				
(j)	(w_j)	$a_۱$	$a_۲$	$a_۳$	$a_۴$	$a_۵$
۱:برگشت‌پذیری	۳	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۵۶	۰/۴۴	۰/۷۸
۲:ریسک	۱	۰/۶۵	۰/۴۸	۰/۸۹	۰/۵۱	۰/۴۲
۳:شدنی بودن	۴	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۴۸	۰/۶۸	۰/۷۰

جدول ۲.۱: نرمال‌سازی داده‌های اولیه برای ۵ پروژه مختلف

معیارها	وزن هر معیار	پروژه‌ها (i)				
(j)	(w_j)	$a_۱$	$a_۲$	$a_۳$	$a_۴$	$a_۵$
۱:برگشت‌پذیری	۰/۳۷۵	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۵۶	۰/۴۴	۰/۷۸
۲:ریسک	۰/۱۲۵	۰/۶۵	۰/۴۸	۰/۸۹	۰/۵۱	۰/۴۲
۳:شدنی بودن	۰/۵۰۰	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۴۸	۰/۶۸	۰/۷۰

ریسک و شدنی بودن به ترتیب برابر با ۳، ۱ و ۴ است. معمولا این ضرایب را در بازه [۰،۱] نرمال‌سازی می‌کنند. در این جا این نرمال‌سازی از طریق فرمول زیر انجام می‌شود:

$$w_j' = \frac{w_j}{\sum_{j=۱}^{J} w_j} \qquad (۲۹.۱)$$

پس از انجام عملیات نرمال‌سازی وزن‌ها (w_j) جدول ۱.۲ به جدول ۲.۲ تبدیل می‌شود.

در بحث‌های بالا، اثر متقابلی که پروژه‌ها بر یک‌دیگر می‌گذارند در نظر گرفته نشده بود. در حالی که در بسیاری از مسایل کاربردی انتخاب سبد بهینه، اثر متقابلی بین پروژه‌ها وجود دارد. برای مثال با توجه به جدول ۳.۲، اگر دو پروژه $a_۱$ و $a_۵$ به طور هم‌زمان انتخاب شوند، احتمال برگشت‌پذیری سرمایه افزایش و ریسک کاهش می‌یابد. برای مشاهده اثر متقابل پروژه‌ها جدول ۳.۲ را مشاهده نمایید. برای مثال در جدول ۳.۲ معیار سوم یعنی شدنی بودن را در نظر بگیرید، بین سه جفت پروژه

@ORchannel

جدول ۳.۱: اثر متقابل بین پروژه‌ها

معیارها	پروژه‌ها(i)									
(j)	$a_{۱۲}$	$a_{۱۳}$	$a_{۱۴}$	$a_{۱۵}$	$a_{۲۳}$	$a_{۲۴}$	$a_{۲۵}$	$a_{۳۴}$	$a_{۳۵}$	$a_{۴۵}$
۱:برگشت پذیری	۰/۲۰	۰/۴۵	۰/۴۰	۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۳۵	۰/۵۵	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۵۵
۲:ریسک	−۰/۱۵	−۰/۲۵	−۰/۱۴	−۰/۱۵	−۰/۲۰	−۰/۰۵	−۰/۱۰	−۰/۱۵	−۰/۲۵	−۰/۱۵
۳:شدنی بودن	۰	۰	۰/۳۵	۰	۰	−۰/۴۲	۰	۰	۰	−۰/۸۰

$S_۱ = \{a_۱, a_۴\}$، $S_۲ = \{a_۲, a_۴\}$ و $S_۳ = \{a_۴, a_۵\}$ اثر متقابلی با مقدار $d_۳(S_۱) = ۰/۳۵$، $d_۳(S_۲) = -۰/۴۲$ و $d_۳(S_۳) = -۰/۸۰$ وجود دارد.

با این تفاسیر، برای به دست آوردن سبد پروژه بهینه، دو حالت وجود دارد. یکی استفاده از مدل (۲۷.۲) و دیگری استفاده از (۲۸.۲) است که مدل اول بدون در نظر گرفتن اثر متقابل و مدل دوم با در نظر گرفتن اثر متقابل بین پروژه‌ها است.

در ابتدا فرض می‌کنیم که اثر متقابلی بین پروژه‌ها وجود ندارد. در این حالت با استفاده از داده‌های جدول ۲.۲ و جایگذاری در مدل (۲۷.۲)، به مساله بهینه‌سازی زیر می‌رسیم:

$$\begin{cases} \max \quad V = ۰/۴۵۵x_۱ + ۰/۵۳۶۲۵x_۲ + ۰/۵۶۱۲۵x_۳ + ۰/۵۶۸۷۵x_۴ + ۰/۶۹۵x_۳ \\ \text{s.t.} \\ \quad \sum_{i=۱}^{۵} x_i = ۲, \\ \quad x_i = \{۰, ۱\} \end{cases} \tag{۳۰.۱}$$

بعد از ساده‌سازی مدل و حل آن با استفاده از بهینه‌ساز $CPLEX$ جواب بهینه $x = (۰, ۰, ۰, ۱, ۱)$ و مقدار بهینه $V = ۱/۲۶۳۷۵$ به دست آمده است.

مدل ارایه شده (۲۷.۲) یک حالت ساده است که در آن اثر متقابل بین پروژه‌ها در نظر گرفته نشده است. اگر این اثر بین پروژه‌ها در نظر گرفته شود، آن‌گاه مساله کمی پیچیده می‌شود. با در نظر گرفتن این اثر در مدل و استفاده از داده‌های جدول‌های

@ORchannel

۲.۲ و ۳.۲ به مساله زیر می‌رسیم:

$$\begin{cases} \max \quad V = & ۰/۴۵۵x_۱ + ۰/۵۳۶۲۵x_۲ + ۰/۵۶۱۲۵x_۳ + ۰/۵۶۸۷۵x_۴ + ۰/۶۹۵x_۵ \\ & +۰/۰۲۳۸x_۱x_۲ + ۰/۱۰۲۱x_۱x_۳ + ۰/۳۰۳۵x_۱x_۴ + ۰/۲۵۰۵x_۱x_۵ \\ & +۰/۱۰۵۸x_۲x_۳ - ۰/۵۱۳۶x_۲x_۴ + ۰/۲۰۵۳x_۲x_۵ \\ & +۰/۱۲۳۸x_۳x_۴ + ۰/۲۶۰۶x_۳x_۴ - ۰/۲۹۷۲x_۴x_۵ \qquad (۳۱.۱) \\ \text{s.t.} & \\ & \sum_{i=۱}^{۵} x_i = ۲, \\ & x_i = \{۰, ۱\} \end{cases}$$

همان‌طور که مشخص است مدل ارایه شده در حالتی که اثر متقابل بین پروژه‌ها در نظر گرفته شده باشد، یک مدل غیر خطی است و بعد از حل این مساله با استفاده از بهینه‌ساز $CPLEX$ جواب بهینه $x = (۰, ۰, ۱, ۰, ۱)$ و مقدار بهینه $V = ۱/۵۱۶۸۵$ به دست می‌آید.

با مقایسه کردن مقدار تابع هدف دو مدل (۳۰.۲) و (۳۱.۲) مشاهده می‌کنیم که میزان تفاوت حاصل از تابع هدف‌های این دو مدل برابر با $۰/۲۵۳۱ = ۱/۲۶۳۷۵ - ۱/۵۱۶۸۵$ است و بهبودی را در مقدار تابع هدف ایجاد کرده است. دلیل این بهبود را می‌توان از جدول ۳.۲ متوجه شد. زمانی که اثر متقابل بین پروژه‌ها برای انتخاب سبد پروژه لحاظ کردیم، ضریب اثر متقابل بین پروژه‌ها ۴ و ۵ برای معیار شدنی بودن برابر با $-۰/۸۰$ و این ضریب برای پروژه‌های ۳ و ۵ برابر با ۰ است. این نشان دهنده این است که انتخاب دو پروژه ۴ و ۵ در سبد پروژه اثر منفی بر سبد پروژه می‌گذارد و باعث کاهش ارزش سبد پروژه انتخابی می‌شود، این در حالی است که زمانی که دو پروژه ۳ و ۵ در سبدانتخاب شوند، چنین اثر منفی وجود ندارد. با توجه به این‌که معیار شدنی بودن پروژه نسبت به دو معیار دیگر برای تصمیم‌گیرندگان از اهمیت بیشتری برخوردار است (با توجه به ضریب w_j)، بنابراین می‌بینیم که انتخاب دو پروژه ۳ و ۵ مطلوبیت بیشتری از نظر میزان تابع هدف برای تصمیم‌گیرندگان

@ORchannel

نسبت به انتخاب پروژه‌ها ۴ و ۵ داشته است. این تفاوت نشان‌دهنده این است که در نظر گرفتن اثر متقابل بین پروژه‌ها یکی از مهم‌ترین جنبه‌هایی است که باید در انتخاب سبد پروژه لحاظ شود، به این دلیل که می‌تواند اثر مثبتی در نتیجه نهایی ایجاد کند.

با توجه به مثال ۱.۴.۲ مشاهده نمودیم که انتخاب مستقل پروژه‌ها با بالاترین ارزش نمی‌تواند بیان‌گر بهترین سبد پروژه انتخابی باشد. دلیل این موضوع این است که ممکن است بعضی از این پروژه اثر منفی بر یک‌دیگر داشته باشند و این اثر منفی باعث شود که نتوانیم بهترین سبد پروژه را انتخاب کنیم. بنابراین به این مطلب می‌رسیم که در انتخاب سبد پروژه باید به پروژه‌ها به عنوان یک مجموعه نگاه کرد که با یک‌دیگر ارتباط دارند و بر روی یک‌دیگر اثر متقابلی دارند.

@ORchannel

مراجع

[۱] قربانی‌مقدم، خاطره،. روش‌هایی در مسایل برنامه‌ریزی خطی فازی بر اساس نامساوی کروچن. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی، مرداد ۱۳۹۲.

[۲] معراج، عجم،. انتخاب پورتفوليوي پروژه ها در شرايط عدم قطعيت فازي و بهينگي استوار. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده صنايع، دانشگاه صنعتي شريف، مرداد ۱۳۹۲.

[3] Aaker, David A and Tyebjee, Tyzoon T. A model for the selection of interdependent r&d projects. *IEEE Transactions on engineering management*, (2):30–36, 1978.

[4] Almeida, Adiel T and Duarte, Marina. A multi-criteria decision model for selecting project portfolio with consideration being given to a new concept for synergies. *Pesquisa Operacional*, 31(2):301–318, 2011.

[5] Archer, Norm P and Ghasemzadeh, Fereidoun. An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, 17(4):207–216, 1999.

[6] Badri, Masood A, Davis, Donald, and Davis, Donna. A comprehensive 0–1 goal programming model for project selection. *International Journal of Project Management*, 19(4):243–252, 2001.

[7] Carazo, Ana F. Multi-criteria project portfolio selection. in *Handbook on Project Management and Scheduling Vol. 2*, pp. 709–728. Springer, 2015.

@ORchannel

[8] Carazo, Ana F, Gómez, Trinidad, Molina, Julián, Hernández-Díaz, Alfredo G, Guerrero, Flor M, and Caballero, Rafael. Solving a comprehensive model for multiobjective project portfolio selection. *Computers & operations research*, 37(4):630–639, 2010.

[9] Carlsson, Christer and Fullér, Robert. Multiple criteria decision making: The case for interdependence. *Computers & Operations Research*, 22(3):251–260, 1995.

[10] Cooper, Robert G, Edgett, Scott J, and Kleinschmidt, Elko J. New product portfolio management: practices and performance. *Journal of product innovation management*, 16(4):333–351, 1999.

[11] Crama, Yves and Schyns, Michaël. Simulated annealing for complex portfolio selection problems. *European Journal of operational research*, 150(3):546–571, 2003.

[12] Doerner, Karl, Gutjahr, Walter J, Hartl, Richard F, Strauss, Christine, and Stummer, Christian. Pareto ant colony optimization: A metaheuristic approach to multiobjective portfolio selection. *Annals of operations research*, 131(1-4):79–99, 2004.

[13] Gendreau, Michel and Potvin, Jean-Yves. *Handbook of metaheuristics*, vol. 2. Springer, 2010.

[14] Ghanbari, Reza, Ghorbani-Moghadam, Khatereh, and N.Mahdavi-Amiri. Solving fuzzy number linear programs using revised kerres method and time varinet multi-objective partition swarm optimization. *IEEE Transactions on Fuzzy System*, In press.

[15] Ghasemzadeh, Fereidoun, Archer, Norm, and Iyogun, Paul. A zero-one model for project portfolio selection and scheduling. *Journal of the Operational Research Society*, 50(7):745–755, 1999.

[16] Golabi, Kamal, Kirkwood, Craig W, and Sicherman, Alan. Selecting a portfolio of solar energy projects using multiattribute preference theory. *Management Science*, 27(2):174–189, 1981.

[17] Hansen, Pierre and Mladenović, Nenad. An introduction to variable neighborhood search. pp. 433–458, 1999.

@ORchannel

[18] Hansen, Pierre and Mladenović, Nenad. Variable neighborhood search. in *Search methodologies*, pp. 313–337. Springer, 2014.

[19] Hill, Robert A. *Portfolio Theory & Financial Analyses*. Bookboon, 2010.

[20] Hult, Henrik, Lindskog, Filip, Hammarlid, Ola, and Rehn, Carl Johan. *Risk and portfolio analysis: Principles and methods*. Springer Science & Business Media, 2012.

[21] Iniestra, Gaytan and Garcia Gutierrez, Javier. Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework. *Applied Soft Computing*, 9(2):512–526, 2009.

[22] Markowitz, Harry. Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(1):77–91, 1952.

[23] Martino, Joseph P. *Research and development project selection*, vol. 23. Wiley, 1995.

[24] Mavrotas, George, Diakoulaki, Danae, and Kourentzis, Athanasios. Selection among ranked projects under segmentation, policy and logical constraints. *European Journal of Operational Research*, 187(1):177–192, 2008.

[25] Medaglia, Andrés L, Hueth, Darrell, Mendieta, Juan Carlos, and Sefair, Jorge A. A multiobjective model for the selection and timing of public enterprise projects. *Socio-Economic Planning Sciences*, 42(1):31–45, 2008.

[26] Santhanam, Radhika and Kyparisis, Jerzy. A multiple criteria decision model for information system project selection. *Computers & Operations Research*, 22(8):807–818, 1995.

[27] Xidonas, Panagiotis, Askounis, Dimitrios, and Psarras, John. Common stock portfolio selection: a multiple criteria decision making methodology and an application to the athens stock exchange. *Operational Research*, 9(1):55–79, 2009.

@ORchannel

[28] Yu, Lean, Wang, Shouyang, Wen, Fenghua, and Lai, Kin Keung. Genetic algorithm-based multi-criteria project portfolio selection. *Annals of Operations Research*, 197(1):71–86, 2012.

[29] Zimmermann, Hans J. *Fuzzy Control*. Springer, 1996.

@ORchannel

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

ا

اثر متقابل ..... Interaction

الگوریتم ازدحام ذرات ..... Particle Swarm optimization Algorithm

الگوریتم جستجوی پراکنده ..... Scatter Search Algorithm

الگوریتم جستجوی ممنوع ..... Tabu Search Algorithm

الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر ..... Variable Neighborhood Search Algorithm

الگوریتم ژنتیک ..... Genetic Algorithm

الگوریتم سرد شدن تدریجی ..... Simulated Annealing Algorithm

الگوریتم ممتیک ..... Memetic Algorithm

الگوریتم‌های ابتکاری ..... Heuristic Algorithms

انتخاب طبیعی ..... Natural Selection

اولین بهبود ..... First Improvment

@ORchannel

ب

برنامه ریزی آرمانی ..... Goal Programming

بهترین بهبود ..... Best Improvment

پ

پروژه‌های اجباری ..... Mandate Projects

ت

تابع برازندگی ..... Fitness Function

تصمیم گیرندگان ..... Decision Makers

ج

.....

جمعیت اولیه ..... Initial Population

چ

چرخ رولت ..... Roulette Wheel

چند معیاره ..... Multi-Criteria

چند هدفه ..... Multi-Objective

@ORchannel

ر

.....

س

سبد پروژه..... Portfolio

ع

عمل‌گر تقاطع ..... Crossover Operation

عمل‌گر جهش..... Mutation Operation

ف

فراابتکاری..... Metaheuristic

ک

کروموزوم..... Chromosome

م

مجموعه کارا ..... Efficient Set

محدودیت‌های سیستم ..... System Constraints

محدودیت‌های منابع ..... Resource Constraints

@ORchannel

محدودیت‌های هدف ..... Objective Constraints

منابع سخت افزاری ..... Hardware Resource

منابع نرم افزاری ..... Software Resource

میانگین واریانس ..... Mean-Variance

و

وابستگی ..... Dependent

ه

هم‌افزایی ..... Synergy

همسایگی ..... Neighborhood

@ORchannel

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

A

.....

B

Best Improvment ..... بهترین بهبود

C

Chromosome ..... کروموزوم

Crossover Operation ..... عمل‌گر تقاطع

D

Decision Makers ..... تصمیم گیرندگان

Dependent ..... وابستگی

@ORchannel

E

Efficient Set ..... مجموعه کارا

F

First Improvment ..... اولین بهبود

Fitness Function ..... تابع برازندگی

G

Genetic Algorithm ..... الگوریتم ژنتیک

Goal Programming ..... برنامه ریزی آرمانی

H

Hardware Resource ..... منابع سخت افزاری

Heuristic Algorithms ..... الگوریتم‌های ابتکاری

I

Initial Population ..... جمعیت اولیه

Interaction ..... اثر متقابل

@ORchannel

L

M

Mandate Projects ..... پروژه‌های اجباری

Mean-Variance ..... میانگین واریانس

Memetic Algorithm ..... الگوریتم ممتیک

Metaheuristic ..... فراابتکاری

Multi-Criteria ..... چند معیاره

Multi-Objective ..... چند هدفه

Mutation Operation ..... عملگر جهش

N

Natural Selection ..... انتخاب طبیعی

Neighborhood ..... همسایگی

O

Objective Constraints ..... محدودیت‌های هدف

@ORchannel

P

Particle Swarm optimization Algorithm ..... الگوریتم ازدحام ذرات

Portfolio ..... سبد پروژه

R

Resource Constraints ..... محدودیت‌های منابع

Roulette Wheel ..... چرخ رولت

S

Scatter Search Algorithm ..... الگوریتم جستجوی پراکنده

Simulated Annealing Algorithm ..... الگوریتم سرد شدن تدریجی

Software Resource ..... منابع نرم افزاری

Synergy ..... هم‌افزاریی

System Constraints ..... محدودیت‌های سیستم

T

Tabu Search Algorithm ..... الگوریتم جستجوی ممنوع

V

Variable Neighborhood Search Algorithm ..... الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر

@ORchannel

@ORchannel

نمایه

. ۸۸

Best Improvment بهترین بهبود. ۸۸

Chromosome کروموزوم. ۸۸

Crossover Operation عمل‌گر تقاطع. ۸۸

Decision Makers تصمیم گیرندگان. ۸۸

Dependent وابستگی. ۸۸

Efficient Set مجموعه کارا. ۸۸

First Improvment اولین بهبود. ۸۸

Fitness Function تابع برازندگی. ۸۸

Genetic Algorithm الگوریتم ژنتیک. ۸۸

Goal Programming برنامه ریزی آرمانی. ۸۸

@ORchannel

Hardware Resource منابع سخت افزاری. ۸۸

Heuristic Algorithms الگوریتم‌های ابتکاری. ۸۸

Initial Population جمعیت اولیه. ۸۸

Interaction اثر متقابل. ۸۸

. ۸۸

Mandate Projects پروژه‌های اجباری. ۸۸

Mean-Variance میانگین واریانس. ۸۸

Memetic Algorithm الگوریتم ممتیک. ۸۸

Metaheuristic فراابتکاری. ۸۸

Multi-Criteria چند معیاره. ۸۸

Multi-Objective چند هدفه. ۸۸

Mutation Operation عملگر جهش. ۸۸

Natural Selection انتخاب طبیعی. ۸۸

Neighborhood همسایگی. ۸۸

Objective Constraints محدودیت‌های هدف. ۸۸

Particle Swarm optimization Algorithm الگوریتم ازدحام ذرات. ۸۸

@ORchannel

Portfolio سبد پروژه. ۸۸

Resource Constraints محدودیت‌های منابع. ۸۸

Roulette Wheel چرخ رولت. ۸۸

Scatter Search Algorithm الگوریتم جستجوی پراکنده. ۸۸

Simulated Annealing Algorithm الگوریتم سرد شدن تدریجی. ۸۸

Software Resource منابع نرم افزاری. ۸۸

Synergy هم‌افزاریی. ۸۸

System Constraints محدودیت‌های سیستم. ۸۸

Tabu Search Algorithm الگوریتم جستجوی ممنوع. ۸۸

Variable Neighborhood Search Algorithm الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر. ۸۸