15th International Conference of Iranian Operations Research Society
پانزدهمین کنفرانس بین المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
12-13 October 2022
Department of Mathematics
Azarbaijan Shahid Madani University
۲۰ - ۲۱ مهر ماه ۱۴۰۱
گروه ریاضی
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

الگوریتم های فراابتکاری برای حل مساله انتخاب سبد پروژه در حالت چند معیاره

علی اکبر سهرابی[۱]، رضا قنبری[۲]، خاطره قربانی مقدم[۳]

[۱] دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ aliakbarsohrabi88@yahoo.com

[۲] عضو هیئت علمی دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ rghanbari@um.ac.ir

[۳] عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات ریاضی دکتر غلامحسین مصاحب، دانشگاه خوارزمی؛ khatere.moghadam67@gmail.com

* نویسنده مسئول: علی اکبر سهرابی

چکیده

مساله انتخاب سبد پروژه یکی از مسایل پرکاربرد در بسیاری از سازمان‌ها و شرکت‌ها است. سازمان‌ها به دلیل محدودیت منابع باید یک مجموعه کوچک، از چندین پروژه کاندید شده را انتخاب کنند. در واقعیت پروژه‌ها بر روی یک دیگر اثر متقابلی می‌گذارند و این مساله باعث پیچیدگی مساله می‌شود. به دلیل NP-سخت بودن این مساله از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل آن استفاده می‌شود. ما در این مقاله الگوریتم‌های فرابتکاری ممتیک و جستجوی همسایگی متغیر را برای این مساله پیشنهاد می‌کنیم و به مقایسه این الگوریتم‌ها با الگوریتم موجود و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از بهینه ساز CP LEX می‌پردازیم.

کلمات کلیدی: انتخاب سبد پروژه، اثر متقابل بین پروژه‌ها، چندین معیاره، الگوریتم‌های فرابتکاری.

۱- مقدمه

همه شرکت‌ها و سازمان‌های پروژه محور با مساله مهمی به نام انتخاب سبد پروژه مواجه هستند. این سازمان‌ها همواره به دنبال پیدا کردن سبد پروژه هایی هستند که اولا اهداف سازمان را برآورده سازند و ثانیا محدودیت هایی مانند منابع، هزینه ها، 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 [۲] به این دلیل است که مساله انتخاب سبد پروژه یکی از مسایل مهم در مدیریت پروژه، مدیریت ریسک و مدیریت مالی است [۳,۴] . برای مثال سهام داران بورس اوراق بهادار به دنبال انتخاب ترکیب بهینه‌ای از سهام ها هستند به طوری که ارزش این سبد سهام بیشینه و ریسک این سبد کمینه باشد. مساله انتخاب سبد پروژه اولین بار در سال ۱۹۵۲ و توسط مارکوویتز[1] بیان شد و می توان 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 مدل ها به واقعیت ارایه دادند [۵,۶] چون مساله انتخاب سبد پروژه در شاخه مسایل NP-سخت قرار می‌گیرد [۶] بنابراین برای حل این مساله عمدتا از روش های فراابتکاری استفاده می‌شود. بنابراین در این مقاله تصمیم گرفتیم که برای حل مساله انتخاب سبد پروژه الگوریتم‌های فراابتکاری ممتیک[2] و جستجوی همسایگی متغیر[3] را طراحی کنیم و با مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک [۶] کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی خود را بسنجیم.

در این مقاله ابتدا به بیان مفاهیم ابتدایی و مقدماتی می‌پردازیم، در ادامه الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر را بیان کرده و به توضیح اجزای این الگوریتم برای مساله انتخاب سبد پروژه می‌پردازیم.

۲- تعاریف و مفاهیم اولیه

نیازهای روزافزون سازمان‌های پروژه محور برای ایجاد سیستم‌های متمرکز و یکپارچه ای که از آن طریق به توان کلیه پروژه‌های پیشنهادی سازمان را ارزیابی، اولویت بندی و انتخاب نمود، از گذشته مورد توجه مدیران و مسئولان ارشد سازمان ها بوده است. امروزه بر خلاف روش های سنتی گذشته بسیاری از سازمان‌های و بنگاه‌های اقتصادی به منظور باقی ماندن در محیط رقابت جهانی برای مدیریت فعالیت‌های و پروژه‌های خود به سوی روش‌های پروژه محور گرایش پیدا کرده اند و روز به روز نیز بر تعداد آن‌های افزوده می شود. در واقع، این سازمان‌ها چشم انداز و اهداف بلند مدت سازمان خود را در قالب

---

[1] Markowitz
[2] Memetic
[3] Variable Neighborhood Search

انتخاب درست پروژه‌ها و اجرای کارآمد آن‌ها را دنبال کنند.

انتخاب پروژه در سازمان‌های پروژه محور یک تصمیم حیاتی و پویا بوده است (تصمیم گیری پویا بدین مفهوم است که با توجه به اهداف و راهبردهای شرکت و متغیر بودن وضعیت جامعه، سبد پروژه باید به طور مداوم ارزیابی شود تا در زمان لازم بتوان تغییرات مورد نیاز را در ترکیب سبد پروژه اعمال نمود.) بنابراین اداره این گونه سازمان‌ها به این صورت، چالش‌های خاصی را برای آن‌ها ایجاد می‌کند که یکی از بزرگ‌ترین این چالش‌ها، اطمینان از هم جهت بودن بیشتر پروژه‌های سازمان با راهبرد مدیریت سازمان است. این موضوع درباره منابع که می تواند سازمان را در مسیر مورد نظر هدایت کند نیز صادق است، زیرا منابع به ویژه سرمایه‌های انسانی اختصاص یافته به هر پروژه کمیاب هستند و در این شرایط انتخاب و تخصیص بهینه منابع محدود سازمان به تعداد محدودی از پروژها، برای بیش تر سازمان‌ها یک تصمیم بسیار مهم تلقی می‌گردد. به همین دلیل انتخاب مجموعه پروژه‌های مورد نظر یا سبد پروژه های سازمان که بتواند اهداف و استراژی‌های سازمان را با در نظر گرفتن محدودیت‌های سازمانی برآورده سازد، بسیار اهمیت دارد [۲].

تعریف۱. (سبد پروژه) سبد پروژه به مجموعه‌ای از پروژه‌ها که در یک واحد اقتصادی و تحت اهداف راهبردی یکسان و منابع مشترک که در حال ادامه فعالیت است، گفته می‌شود. مقدار منابع مالی و فیزیکی این پروژه‌ها اغلب کاملا محدود است و پروژه‌ها تحت مدیریت یکسان برای جذب این منابع محدود و کمیاب با هم رقابت می‌کنند. یک سبد پروژه با عنوان یک مجموعه برنامه نیز در نظر گرفته می شود که در آن هر برنامه مجموعه‌ای از پروژه‌ها با اهداف مشترک است. این برنامه‌ها با هم اهداف یک سازمان را تشکیل می‌دهند. اجزای یک سبد پروژه باید قابلیت کمی شدن یعنی اندازه‌گیری، رتبه بندی و اولویت‌بندی را داشته باشند. نکته قابل توجه در مورد سبد پروژه‌ها این است که اجزای آن (پروژه‌ها و برنامه‌ها) لزوما نباید به یک دیگر وابسته یا مستقیما به هم مربوط باشند. در واقع سبد پروژه، نمایانگر مجموعه برنامه‌ها، پروژه‌ها، زیر سبد پروژه‌ها و سایر کارهای مرتبط به آن‌ها در یک مقطع خاص زمانی است که بر اهداف راهبردی سازمان تاثیر می‌گذارد و متقابلا از آن‌ها تاثیر می‌پذیرد.

مساله انتخاب سبد پروژه اولین بار بدین صورت ارایه گردید که ترکیب مشخصی از سرمایه‌گذاری‌ها با سطح ریسک مشخص می‌تواند بازدهی مالی سرمایه‌گذاری را به طور موثر زمینه را برای تحقیق بیشتر در ارتباط با کاربرد آن در سایر زمینه‌های کسب و کار فراهم نمود. یکی از این زمینه‌ها، سازمان پروژه محور هستند. بر طبق تئوری سبد پروژه هنگامی که تعدادی از پروژه‌ها ارزیابی شده و بر اساس معیارهای خاص و ویژه‌ای الویت بندی کردند، سازمان نتایج مطلوب‌تری را از سبد پروژه کسب خواهد نمود [۱].

اجرای موثر پروژه عاملی اساسی در موفقیت کسب وکار محسوب می‌گردد، ولی در فضای رقابتی امروز، اجرای موفق پروژه‌ها به تنهایی کافی نیست. برتری رقابتی پایدار فقط با کار موثر بر پروژه حاصل نمی‌گردد، بلکه سازمان‌ها باید بر پروژه‌های درست، تمرکز کنند. اندیشه اکثرمدیران ارشد سازمان‌های پروژه محور، محدود به مواردی مانند مقدار سوددهی، بازگشت سرمایه و فرصت‌های پیش روی پروژه‌های سازمان بود و فقط نسبت به موارد زیر توجه نشان می‌دادند، این موارد عبارتند از [۱]:

(۱) پروژه‌ها در چه زمانی به پایان خواهد رسید؟

(۲) برآورد هزینه مورد نیاز جهت اتمام پروژه‌ها با توجه به درصد پیشرفت فیزیکی در حال حاضر، چقدر خواهد بود؟

(۳) چگونه پروژه‌ها، ارزش سهام سازمان را تحت تاثیر قرار خواهند داد؟

با توضیحات بالا می توان به این نتیجه رسید که انتخاب سبد پروژه در یک سازمان از اهمیت بالایی برخوردار است. مخصوصا زمانی که به این امر واقف باشیم که اکثر سازمان‌ها با این امر درگیر بوده و حتی گاهی بخش اعظم درآمدهای آن ها از پروژه‌هایشان به دست می‌آید. تکنیک‌های زیادی برای انتخاب پروژه وجود دارد که هر یک از آن‌ها برای انتخاب و ارزیابی پروژه‌ها به صورت انفرادی به کار گرفته می شوند، اما باید دانست که در دنیای رقابتی امروز، تصمیمات در خلا گرفته نمی‌شود، بدین معنی که در انتخاب پروژه‌ها نباید پروژه را بدون توجه به پروژه‌های دیگر، محدودیت‌ها و اهداف سازمان انتخاب کرد. از این‌جا می توان به اهمیت انتخاب صحیح یک پروژه با توجه به ترکیب پروژه های انتخابی پی برد. از طرفی با نگاه مختصر به پروژه‌های گوناگون ، از پروژه‌های دولتی و ملی گرفته تا پروژه‌های یک سازمان تولیدی یا خدماتی، تعداد زیادی از پروژه‌ها متوقف و یا نیمه تمام را مشاهده خواهیم نمود که دلیل این امر به احتمال زیاد یکی از نکات زیر است [۱]:

۱) عدم دسترسی به منابع و امکانات کافی برای ادامه پروژه

۲) به پایان نرسیدن پروژه‌های پیش نیاز لازم

۳) سودمند نبودن طرح به دلیل عدم هماهنگی با اهداف و موقعیت سازمان و از این قبیل موارد

البته دیده می‌شود که در اکثر این پروژه‌ها، مراحل ارزیابی، انتخاب، برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه به خوبی انجام گرفته و هر یک از این پروژه‌ها به خودی خود امکان پذیر، اقتصادی و دارای شرایط لازم بوده است، اما مجموعه آن‌ها به گونه‌ای نیست که اهداف، اولویت‌ها و ترجیحات سازمان و تمامی ملاحظات لازم را با در نظر گرفتن محدویت‌ها و شرایط سازمان بهینه کند. در این حالت است که با مشکلاتی از قبیل عدم استفاده بهینه از منابع، عدم هماهنگی

بین پروژه‌های سازمان و عدم توجه کافی و جامع به تمامی اهداف سازمان مواجه می‌شویم. سپس به اهمیت انتخاب پروژه‌ها با توجه به دیگر پروژه‌های مجموعه و با لحاظ کردن محدودیت‌ها، اهداف و الویت‌های سازمان پی برده و خواهیم دید که ارزیابی و انتخاب پروژه‌ها به صورت انفرادی و بدون توجه به سایر پروژه‌ها و غیره، موجب مشکلاتی از قبیل مشکلات مذکور خواهد شد. ولی از این تحقیقات چند مورد آن‌ها به صورت کامل به دسته‌بندی و بررسی این معیارها در زمینه تخصصی مورد نظر خود پرداخته‌اند. این پژوهش‌گران درجه جذابیت پروژه‌ها را به وسیله سه فاکتور زیر بیان می‌دارند [۱]:

۱) امکان‌پذیری پروژه
۲) موجودیت منابع سرمایه
۳) دارا بودن نزخ بازده بالقوه بالا

سازمان‌ها برای انتخاب کردن، پروژه‌هایی را ترجیح می دهند که حداقل منابع را نیاز داشته و بیش ترین بازدهی را داشته باشد، اما در واقعیت، یافتن چنین پروژه‌های ایده آلی مشکل بوده و بنابراین بیشتر پروژه‌های پیشنهادی به سازمان، دارای حداکثر یک یا دو مورد از عامل‌های ذکر شده می باشد. بنابراین سازمان مجبور است که برای انتخاب پروژه مورد نظر خود از میان پروژه‌ها، اقدام به انتخاب بهترین آن‌ها نماید و پروژه‌های مختلف را بر حسب معیارهای ذکر شده با هم مقایسه نماید.

۳- الگوریتم فراابتکاری برای حل مساله انتخاب سبد پروژه

۳-۱- الگوریتم‌های فراابتکاری

برای حل مسائل بهینه‌سازی پژوهش‌گران، روش‌های دقیق [۴] و روش‌های تقریبی [۵] را ارایه داده‌اند. روش‌های دقیق توانایی به دست آوردن جواب بهینه را به صورت دقیق دارند. مشکل این روش‌ها این است که در مواجه با مسائل بهینه سازی سخت، به دلیل صرف زمان محاسباتی بالا، کارایی لازم را ندارند. بنابراین، پژوهش‌گران برای بالا بردن کارایی، روش‌های تقریبی را ارایه کردند. روش‌های تقریبی برای حل مسائل بهینه سازی سخت، زمان محاسباتی به مراتب کمتری را صرف می‌کنند اما جوابی که حاصل می شود، ممکن است نزدیک به جواب بهینه باشد. روش‌های تقریبی به دو دسته روش‌های ابتکاری [۶] و فراابتکاری [۷] تقسیم می‌شوند. یکی از روش‌های ابتکاری، الگوریتم جستجوی محلی است که در ادامه به بررسی این الگوریتم ابتکاری می‌پردازیم.

۳-۱-۱- الگوریتم ابتکاری جستجوی محلی

جستجوی محلی یک روش کلی و شناخته شده برای حل مسائل سخت بهینه‌سازی ترکیبیاتی است. استراتژی اصلی الگوریتم جستجوی محلی برای حل هر مساله با یک جواب اولیه شروع می‌شود. الگوریتم جستجوی محلی سعی در بهبود جواب به وسیله تکرار تغییرات کوچک در انتخاب همسایگی است. در هر تکرار، اگر جواب جدید بهتر از جواب قبلی باشد، جواب جدید را به عنوان بهترین جواب انتخاب می‌کنیم در غیر این صورت جواب دیگری را در نظر می‌گیریم و تا زمانی که هیچ بهبودی در تابع هدف ایجاد نشود و هم‌چنین جواب شدنی دیگری باقی نمانده باشد، این کار تکرار می‌کنیم.

تعریف ۳-۱-۱. فرض کنید S مجموعه تمام فضای شدنی برای یک مساله بهینه‌سازی باشد. یک همسایگی تابعی به صورت:

$$N(X): S \to 2^{|S|} \qquad (۳-۱)$$

است. جایی که $2^{|S|}$ مجموعه تمام زیر مجموعه‌های ممکن S و هم‌چنین $N(X)$ یک تابع است که برای هر $X \in S$ یک مجموعه $Y \in S$ تخصیص می‌دهد و آن‌ها را همسایگی X می‌نامند.

تعریف همسایگی ما را قادر به تعریف مفهوم بهینه محلی می‌نماید.

تعریف ۳-۱-۲. جواب Y را ماکزیمم نسبی (می‌نیمم نسبی) نسبت به همسایگی N گوییم هرگاه:

$$(f(X) \geq f(Y))\ f(X) \leq f(Y)), \qquad \forall X \in N(Y)$$

باشد. هم‌چنین جواب ماکزیمم اکید است هرگاه،

$$(f(X) > f(Y))\ f(X) < f(Y)), \qquad \forall X \in N(Y)$$

---

[4] Exact methods
[5] Approximate methods
[6] Heuristic
[7] Metaheuristic

برای جستجوی محلی می‌توان الگوریتم‌های بهترین بهبود [8] و اولین بهبود[9] استفاده کرد. زمانی که نیاز به جستجوی کل همسایگی $N(X)$ باشیم، از الگوریتم بهترین بهبود استفاده می‌کنیم. این الگوریتم بهترین مقدار تابع هدف را (می‌نیمم یا ماکزیمم) بعد از جستجوی کل همسایگی برمی‌گرداند. در این مورد اگر جواب بهتر در همسایگی جواب جاری پیدا شود، حرکت انجام می‌شود. این جستجوی محلی را تندترین شیب کاهش (افزایش) می‌نامند که ساختار آن در الگوریتم ۱ آمده است.

الگوریتم۱: الگوریتم بهترین بهبود

۱- مقدار دهی:

۱-۱ جواب اولیه X، ساختار همسایگی $N(X)$ و تابع $f(X)$ را مشخص کنید.

۲- تکرار کنید:

۲-۱ $X' = arg_{X\in N(X)} max\, f(X)$.

۲-۲-۱ $X \leftarrow X'$ و به گام ۲-۱ برو در غیر این صورت متوقف شود.

۳- X را برگردانید.

در بعضی از موارد، استفاده از الگوریتم بهترین بهبود ممکن است زمان‌بر باشد. برای کاهش زمان می‌توان از الگوریتم اولین بهبود استفاده کرد که در مواقعی انتخاب بهتری نسبت به الگوریتم بهترین بهبود می‌باشد. زمانی که یک جهت کاهشی (افزایشی برای مسائل ماکزیمم‌سازی) پیدا شود، حرکت انجام می‌شود.

الگوریتم ۲: الگوریتم اولین بهبود

۱- مقدار دهی: جواب اولیه X، ساختار همسایگی $N(X)$ و $f(X)$ را مشخص کنید.

۲- تکرار کنید:

۲-۱ یک جواب در همسایگی X بیابید و آن را X' بنامید.

۲-۲ اگر $f(X') > f(X)$ باشد،

۲-۲-۱ $X \leftarrow X'$ و به گام ۲-۱ برو، در غیر این صورت $X'' \in N(X)$ انتخاب کنید و $X' \leftarrow X''$ و به گام ۲ برو.

۲-۳ اگر تمام همسایگی‌های $N(X)$ بررسی شدند، توقف کنید.

۳- X را برگردانید.

مشکلی که ممکن است در زمان استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری از جمله الگوریتم ابتکاری جستجوی محلی پیش بیاید، این است که این الگوریتم‌ها، در اکثر مواقع بهینه‌های محلی قرار می‌گیرند. برای رفع این مشکل پژوهش‌گران الگوریتم‌های فراابتکاری را ارایه دادند. به دلیل این که مساله انتخاب سبد بهینه پروژه جز دسته مسایل NP–سخت محسوب می‌شود [۶]، بنابراین برای حل آن از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌کنیم. در دهه گذشته، روش‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم سرد شدن تدریجی، الگوریتم جستجوی ممنوع، الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر و ... برای رفع این مشکل ارایه شده است. بیش‌تر این روش‌ها از تکنیک جستجوی محلی استفاده می‌کنند. اما این الگوریتم‌ها باید توانایی فرار از بهینه محلی را داشته باشند. این چیزی است که باعث قوی تر بودن از جستجوی محلی است. الگوریتمی که در این مقاله از آن استفاده کردیم الگوریتم VNS[10] است که

---

[8] Best improvement
[9] First improvement
[10] Variable Neighborhood Search

ساختار آن در الگوریتم زیر آمده است:

الگوریتم VNS برای حل مساله انتخاب سبد پروژه

۱- یک جواب اولیه به صورت حریصانه انتخاب کنید و آن را X نام‌گذاری کنید.

۲- همسایگی‌های $N_k(X)$ برای $k = 1,2, \dots, K_{max}$ تعریف کنید، $l \leftarrow 1$ و تعداد تکرارهای بین دو بهبود را برابر $MaxIterate$ قرار بدهید.

۳- تا زمانی که $MaxIterate > l$، ادامه بدهید:

۳-۱: $k \leftarrow 1$

۳-۲: تا زمانی که $k_{max} > k$ باشد ادامه بدهید:

۳-۲-۱: به تعداد k مرتبه مراحل زیر را تکرار کنید:

۳-۲-۱-۱: یک پروژه انتخاب شده و غیر تکراری در سبد پروژه را انتخاب کنید.

۳-۲-۱-۲: یک پروژه انتخاب نشده و غیر تکراری در سبد پروژه را انتخاب کنید.

۳-۲-۱-۳: جای این دو پروژه را با هم جا به جا کنید.

۳-۲-۲: جواب ایجاد شده را X' نام‌گذاری کنید.

۳-۲-۳: اگر $\Delta F(X'', X) > 0$ باشد، **آن‌گاه**:

۳-۲-۳-۱: $X \leftarrow X$

۳-۲-۳-۲: $k \leftarrow 1$

۳-۲-۳-۳: $l \leftarrow 1$

در غیر این صورت $k \leftarrow k + 1$

۳-۳: $l \leftarrow l + 1$

۴- X را برگردانید.

در جدول زیر به مقایسه نتایج عددی و زمان محاسباتی الگوریتم‌ها و CPLEX می‌پردازیم:

I J M	Optimal				Time(s)				REAvg(%)		
	CPLEX	GA	MA	VNS	CPLEX	GA	MA	VNS	GA	MA	VSN
۱۰۰ ۱۰ ۸	۱۲/۳۸۹۸	۱۲/۳۸۹۸	۱۲/۳۸۹۸	۱۲/۳۸۹۸	۵۰۰۰	۲۶	۳	۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۲ ۱۰	۱۴/۷۵۷۰۱	۱۴/۴۶۲	۱۴/۷۵۷	۱۴/۶۰۲۲	۵۰۰۰	۶۳	۷	۵	۲/۱۰۲۰	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۱
۱۴ ۱۲	۱۴/۰۳۴۳	۱۴/۰۳۴۳	۱۴/۰۳۴۳	۱۴/۰۳۴۳	۵۰۰۰	۱۷	۱۰	۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۲۵ ۱۶ ۲۰	۳۲/۰۰۵۴	۳۱/۰۶۴	۳۲/۰۰۵۴	۳۲/۰۰۵۴	۵۰۰۰	۱۶۸	۲۹	۲۸	۲/۹۴۱۴	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۸ ۲۲	۳۲/۹۴۴۴	۳۲/۴۱۱۶	۳۲/۹۴۴۴	۳۲/۸۷۷۳	۵۰۰۰	۶	۲۰	۲۰	۱,۶۳۲۱	۰/۰۰۰۰	۰/۲۰۳۶
۲۰ ۲۴	۳۶/۸۱۹۱	۳۶/۸۱۹۷	۳۶/۸۱۹۷	۳۶/۸۱۹۱	۵۰۰۰	۴۲۷	۲۵	۱۹	−۰/۰۰۱۶۲	−۰/۰۰۱۶۲	۰/۰۰۰۰
۱۵۰ ۱۴ ۱۲	۱۸/۳۵۳۲	۱۸/۵۲۸۶	۱۸/۴۸۵۴	۱۸/۵۲۸۶	۵۰۰۰	۴۹	۳۴	۳۰	−۰/۹۵۷۳	−۰/۷۲۰۳	−۰/۹۵۷۳
۱۶ ۱۴	۲۲/۱۷۳۸	۲۰/۵۱	۲۲/۲۰۹۴	۲۲/۱۷۳۸	۵۰۰۰	۲۹	۲۷	۳۶	۷/۵۰۳۴	۰/۱۶۰۵	۰/۰۰۰۰
۱۸ ۱۶	۲۴/۲۱۳۷	۲۴/۳۰۸۹	۲۴/۳۰۸۹	۲۴/۲۱۳۷	۵۰۰۰	۲۷۵	۲۰	۹	۰/۳۹۳۲	۰/۳۹۳۲	۰/۰۰۰۰

جدول شماره ۱: مقایسه الگوریتم‌ها در نمونه‌های مختلف

با توجه به اطلاعاتی که در جدول شماره ۱ آمده است، مشاهده می‌شود با افزایش اندازه نمونه مسایل، CPLEX زمان محاسباتی بیش‌تری را برای حل مساله صرف می‌کند. به عنوان مثال سه‌تایی (۷۰،۱۰،۶) نشان‌دهنده این است که تعداد پروژه‌های انتخابی برابر ۷۰ و تعداد معیارهای تصمیم‌گیرندگان برابر ۱۰ است. هدف انتخاب ۶ پروژه از بین ۷۰ پروژه است به طوری که ارزش سبد پروژه را بیشینه کند. CPLEX در مدت زمان ۱۶،۸۹ به جواب بهینه ۸،۱۴۸۸ رسیده است. الگوریتم ژنتیک [۶] در مدت ۶ ثانیه به همان مقدار بهینه رسیده است در حالی که الگوریتم ممتیک ارایه شده در این مقاله در مدت زمان ۲ ثانیه و هم‌چنین الگوریتم VNS پیشنهادی در مدت زمان ۱ ثانیه به همان مقدار بهینه رسیده است. این نشان‌دهنده کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی است.

۵- نتیجه و جمع بندی

در این مقاله ما به بررسی انتخاب سبد پروژه پرداختیم و مدلی که لیان یو و هم‌کارانش ارایه دادند را مورد بررسی قرار دادیم. در این کار ما به دنبال حل مساله انتخاب سبد پروژه‌ها با در نظر گرفتن اثر متقابل بین پروژه‌ها بودیم. به دلیل NP–سخت بودن این مساله الگوریتم‌هایی را برای این مساله ارایه دادیم و سپس به مقایسه این الگوریتم‌ها با الگوریتم ژنتیک ارایه شده توسط لیان یو و همکارانش پرداختیم. بعد از پیاده‌سازی الگوریتم‌های ممتیک و جستجوی همسایگی متغیر با الگوریتم ژنتیک و هم‌چنین بهینه‌ساز CPLEX مقایسه نمودیم که در مسایلی با ابعاد پایین، الگوریتم‌های پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک از نظر زمانی و مقدار بهینه تقریبا با یکدیگر برابر بودند. اما زمانی که ابعاد مساله را افزایش دادیم، مشاهده نمودیم که این الگوریتم‌ها کارایی بسیار بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک و هم‌چنین بهینه‌ساز CPLEX داشتند. هم‌چنین با مقایسه عددی حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشنهادی با نمونه داده‌های مختلف، مشاهده نمودیم که الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر در اکثر موارد کاراتر از الگوریتم ممتیمک بود.

۶- تقدیر و تشکر

نویسنده اول و دوم از دانشکده علوم ریاضی و آزمایشگاه بهینه‌سازی دانشگاه فردوسی مشهد و نویسنده سوم از موسسه تحقیقات ریاضی دکتر غلامحسین مصاحب دانشگاه خوارزمی به خاطر حمایت از این کار تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مراجع

[1] ع. معراج، انتخاب پورتفولیوی پروژه‌ها در شرایط عدم قطعیت فازی و بهینگی استوار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده صنایع دانشگاه صنعتی شریف، مرداد ۱۳۹۲.

[2] **A. F. Carazo**, Multi-criteria project portfolio selection. In Handbook on Project Management and Scheduling 2, 709–728. Springer, 2015.

[3] **R. A. Hill**, Portfolio Theory & Financial Analyses. Bookboon, 2010.

[4] **H. Hult**, F. Lindskog, O. Hammarlid and C. J. Rehn. Risk and portfolio analysis: Principles and methods. Springer Science and Business Media, 2012.

[5] **R. Santhanam**, J. Kyparisis., A multiple criteria decision model for information system project selection. Computers and Operations Research 22, 807–818, 1995.

[6] **L. Yu, S. Wang, F. Wen and K.K. Lai**., Genetic algorithm-based multi-criteria project, Annals of operations research 197, 71–86, 2012.