

حل مسئله زمانبندی پروژه‌های نفتی تحت شرایط محدودیت منابع با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب

میثم جعفری اسکندری* • دانشگاه پیام نور تهران | سعید یعقوبی • دانشگاه علم و صنعت تهران |
میثم فرهمند نظر • دانشگاه پیام نور تهران

چکیده

از پیدایش و به‌کارگیری روش‌های مدیریت پروژه حدود نیم قرن سپری شده است و امروزه در طرح‌های صنعتی نظیر صنایع نفت، نیروگاه‌ها و طرح‌های بزرگ زیربنایی مانند ساخت پالایشگاه‌های نفت و گاز و صنایع پتروشیمی، استفاده از روش‌ها و ساختارهای نوین مدیریت پروژه، اجتناب‌ناپذیر است. در این مدت، بخش اعظمی از تلاش‌های انجام شده در خصوص ارتقای مفاهیم مدیریت پروژه، صرف توسعه‌ی مدل‌های زمانبندی پروژه شده است. در این مقاله مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع (RCPSP)^۱ به صورت یک مدل چند هدفه و فعالیت‌های چندحالتی، در نظر گرفته شده است. همچنین برای جامع‌تر کردن مدل، تمامی روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌های یک پروژه نیز مورد توجه قرار گرفته است و مسئله به‌نحوی گسترش یافته تا در طرح‌های بزرگ به‌ویژه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی قابل به‌کارگیری باشد.

در این مقاله مسئله زمانبندی پروژه‌های نفتی با محدودیت منابع (RCPSP) مدل‌سازی شده، با الگوریتم فراابتکاری کرم‌شب‌تاب^۲ حل گردیده و نتایج با الگوریتم NSGA-II^۳ مورد مقایسه قرار گرفته است که نتایج، حاکی از عملکرد قوی این الگوریتم در حل مسائل RCPSP و مسئله چندهدفه RCPSP پیشنهادی است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده:

۹۴/۱۱/۱۷

تاریخ ارسال به بازمین:

۹۴/۱۲/۷

تاریخ پذیرش بازمین:

۹۴/۱۲/۱۰

واژگان کلیدی:

زمانبندی پروژه‌های نفتی، محدودیت منابع، الگوریتم کرم شب تاب، الگوریتم NSGA-II

مقدمه

امروزه در طرح‌های صنعتی نظیر صنایع نفت، نیروگاه‌ها و طرح‌های بزرگ زیربنایی که به‌صورت بارز از تحولات فناوری تأثیر می‌پذیرند، استفاده از روش‌ها و ساختارهای نوین مدیریت پروژه، اجتناب‌ناپذیر است. مشخصات دنیای رقابتی امروز باعث شده است که حتی سازمان‌هایی که به‌صورت عملیاتی به محصولات (یا خدمات) خود می‌رسند نیز، نیازمند اجرای پروژه‌های متعددی در سازمان‌هایشان باشند. علت این امر نیازهای رقابتی جهت تعریف پروژه‌های جدید در زمینه طراحی محصولات جدید، طرح‌های کاهش هزینه، طرح‌های تغییر خطوط تولیدی و غیره می‌باشد. هم‌اکنون گستردگی، پیچیدگی و تنوع پروژه‌های مطرح در صنایع نفت و گاز، اهمیت مدیریت این پروژه‌ها را دو چندان ساخته است. به‌عبارتی دیگر، اکثر سازمان‌ها یا شرکت‌ها، پروژه‌های

یعنی حداقل کردن زمان تکمیل پروژه^۵ و حداکثر کردن ارزش خالص فعلی^۶ در نظر گرفته شده است. همچنین برای جامع‌تر کردن مدل، تمامی روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌های یک پروژه نیز مورد توجه قرار گرفته است و مسئله به‌نحوی گسترش یافته تا در دنیای واقعی قابل به‌کارگیری باشد. با توجه به NP-hard بودن این مسئله، به‌دست آوردن جواب‌های موثر با استفاده از روش‌های مرسوم بسیار دشوار و حتی غیرممکن است.

ریشه انگلیسی ان‌پی- سخت: (NP-hard) Non-deterministic Polynomial-time hard) به معنای حل نشدنی در زمان چندجمله‌ای بر حسب اندازه ورودی مسئله (زمان معقول) است. در این مقاله الگوریتم فراابتکاری کرم‌شب‌تاب^۷ برای حل این مدل پیشنهاد شده است. برای بررسی کارایی الگوریتم کرم‌شب‌تاب نتایج حل مسائل مختلف با نتایج حل

متعددی را در دستور کار خود دارند و جهت انجام موفقیت‌آمیز هر پروژه‌ای نیازمند به‌کارگیری تکنیک‌ها و روش‌های مورد نیاز اجرا و مدیریت پروژه می‌باشند. اما اینکه مدیران پروژه تا چه حد در طرح‌های نفتی از روش‌های کارآمد و شیوه‌های جدید برای به‌انجام رساندن پروژه‌ها در محدوده زمان، بودجه مشخص و با کیفیت مطلوب استفاده می‌کنند، قابل تامل است. به‌نظر می‌رسد مهم‌ترین دلایل تأخیر در اجرای طرح‌های بزرگ نفتی جدا از ماهیت پروژه، نداشتن برنامه‌ریزی و طرح‌ریزی در پروژه‌ها و لحاظ نشدن سه عامل زمان، منابع و نبود نیروی متخصص و استفاده نکردن از دانش پروژه است.

در این مقاله که برگرفته از منبع شماره [۱] می‌باشد، مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع (RCPSP)^۴ به‌صورت یک مدل چندهدفه و فعالیت‌های چندحالتی با در نظر گرفتن دو هدف مهم

* meisam_jafari@pnu.ac.ir

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب NSGA-II^۸ مورد مقایسه قرار گرفته است که نتایج، حاکی از عملکرد قوی این الگوریتم در حل مسئله چندهدفه RCPSP پیشنهادی است.

۱- بیان مسئله و ادبیات موضوع

مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع (RCPSP) شامل فعالیت‌هایی می‌شود که می‌باید با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع و نیز محدودیت‌های تقدم و تأخر زمانبندی شوند، به طوری که زمان تکمیل پروژه^۹ کمینه شود. این مسئله در مفهوم زمانبندی پروژه یک مفهوم استاندارد به شمار می‌آید که توجه بسیاری از محققان را برای توسعه فرآیندهای زمانبندی هیورستیک و دقیق به خود جلب کرده است. هیورستیک‌ها^{۱۰} عبارتند از معیارها، روش‌ها یا اصولی برای تصمیم‌گیری بین چند گزینه‌ی خط‌مشی و انتخاب اثربخش‌ترین برای دستیابی به اهداف مورد نظر. بدین ترتیب این مسئله یک مسئله‌ی نسبتاً پایه به شمار می‌آید که برای بسیاری از کاربردهای عملی می‌توان آن را با اعمال محدودیت‌هایی به کار برد و از طرفی از زوایای مختلفی نیز این مسئله RCPSP توسعه داده شده است. در این تحقیق سعی شده برخی از این تلاش‌ها در زمینه مدل‌سازی و نیز تعمیم‌های صورت گرفته در فضای قطعی در این مسئله مورد بررسی قرار گرفته و موارد اصلی در آنان تشریح شود. در مسئله‌ی زمانبندی پروژه تلاش می‌شود یک زمانبندی بهینه از فعالیت‌ها ارائه شود. برای این کار با در نظر گرفتن توابع هدف مختلف، مدل‌سازی صورت می‌گیرد. همچنین روابط پیش‌نیازی در بین فعالیت‌ها یکی از مهمترین محدودیت‌های این مسئله می‌باشد.

ایجاد سیستم‌های برنامه‌ریزی و کنترل پروژه و بهره‌برداری از آنها در مدیریت برنامه‌ها، طرح‌ها و پروژه‌های کشور و تقویت و گسترش آنها، امکان توسعه و رشد این سیستم‌ها را بیشتر خواهد نمود. انجام برنامه‌ریزی در مواقعی که منابع در دسترس محدود باشند، از اهمیت بیشتری برخوردار است و منافع بیشتری در بردارد. جایگاه تخصیص منابع^{۱۱} در مدیریت پروژه به عنوان یکی از گام‌های برنامه‌ریزی کاملاً مشهود است. توجه به تخصیص منابع می‌تواند موجب کاهش هزینه‌ها و نیز کاهش طول مدت اجرای پروژه شود. مسئله تخصیص منابع یکی از پیچیده‌ترین مسائل برنامه‌ریزی پروژه است تا آنجایی که برنامه‌ریزان پروژه‌ها بیش از ۸۰ درصد وقت خود را صرف تخصیص منابع محدود می‌کنند.

در سال‌های اخیر به کارگیری معیارهای دیگری به جز زمان مانند هزینه، نوسانات منبع و... مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از معیارهای چندگانه، نشان‌دهنده آن است که برنامه‌ریزان پروژه‌ها به مسائل دیگری به جز زمان توجه کرده‌اند. این در صورتی است که اغلب روش‌ها به بهینه کردن یک معیار از اهداف مختلف می‌پردازند.

مسئله زمانبندی پروژه را به طور کلی بر اساس سه عامل فعالیت‌ها، منابع و تابع هدف می‌توان تقسیم‌بندی کرد. از دیدگاه فعالیت‌ها، مسئله زمانبندی پروژه دارای حالات مختلفی بر اساس روابط پیش‌نیازی فعالیت‌ها و یک یا چندگانه بودن حالات اجرای فعالیت‌هاست. RCPSP یک مسئله بهینه‌سازی ترکیبی خاص است که توسط چندتایی (V, p, E, R, B, b) تعریف می‌شود، به طوری که V مجموعه‌ای از فعالیت‌ها، p یک بردار از مدت زمان‌ها، E مجموعه‌ای از روابط تقدم و تأخری، R

یک مجموعه از منابع در دسترس، B یک بردار از میزان دسترسی‌های به منابع و b ماتریسی از تقاضاهاست.

در حالی که کمینه‌سازی زمان تکمیل پروژه^{۱۲} تقریباً به عنوان مشهورترین اهداف شناخته شده است، هدف‌های وابسته به زمان مختلف دیگری نیز وجود دارد. اهداف بر پایه زمان تأخیر، دیرکرد و زودکرد دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. زمان تأخیر L_j فعالیت j انحراف و اختلاف زمان تکمیل C_j از موعد تحویل d_j است، بنابراین $L_j = C_j - d_j$. دیرکرد مشابه زمان تأخیر است، با این تفاوت که نمی‌تواند منفی باشد $T_j = \max\{0, c_j - d_j\}$. زودکرد E_j برخلاف تعریف پیشین است و داریم: $E_j = \max\{0, d_j - c_j\}$. کولیش [۲]، ناتاسمبون و راندهاوا [۳] و ویانا و پینهو [۴] کمینه‌سازی دیرکرد وزن‌دار را در نظر گرفته‌اند.

ناتاسمبون و راندهاوا [۳] کمینه‌سازی زمان تکمیل همه کارها را پیشنهاد داده‌اند، درحالی که رم و همکارانش [۵] کمینه‌سازی مجموع وزنی زمان‌های تکمیل را در نظر گرفته‌اند. به طور مشابه، نازاره و همکارانش [۶] کمینه‌سازی میانگین زمان در جریان بودن فعالیت‌ها را مورد مطالعه قرار داده است. توجه داشته باشید که کمینه‌سازی زمان تکمیل کل و کمینه‌سازی میانگین زمان تکمیل معادل یکدیگرند.

کاستر و همکارانش [۷] در مقاله خود به بررسی زمانبندی مجدد محلی به هنگام به وجود آمدن اختلاف پرداخته‌اند.

رنجبر و همکارانش [۸] تابع هدفی را در نظر گرفته‌اند که در آن به دنبال کمینه کردن هزینه جریمه دیرکرد وزنی منابع هستند. در این مدل فرض شده است که منابع تجدیدپذیر مورد بحث، ماشین‌آلات و تجهیزات بسیار گران‌بها و پرقیمتی

اندیس مربوط به زمان آغاز یک فعالیت در حالت‌های زودترین زمان و دیرترین زمان پایان فعالیت	T
دوره زمانی که منبع دوگانه در ابتدای آن دوره شارژ می‌شود.	T'
اندیس مربوط به فعالیت i	i
مجموعه‌ی حالت‌های انجام فعالیت‌ها که هر کدام از حالات زمان و منابع خاص خود را دارند.	M
زمان انجام فعالیت i ام به روش m ام	d _{im}
منبع تجدیدناپذیر i ام. تعداد کل منابع i تا می‌باشد.	R _i ^v
مقدار منبع تجدیدناپذیر i ام مورد نیاز برای فعالیت i ام که به روش m ام انجام می‌شود.	r _{iml} ^v
مقدار منبع دوگانه k ام مورد نیاز برای فعالیت i ام که به روش m ام انجام می‌شود.	r _{imp} ^d
کل منبع تزریق شده‌ای که استفاده نشده است. (کل منبع تزریق شده منهای مصرف دوره‌های قبلی)	R _{pt'} rd
جریان نقدی فعالیت i ام	Cf _i
نرخ تنزیل	α
معرف deadline پروژه می‌باشد که دو برابر مسیر بحرانی است.	DD

مدل به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$\min \sum_{t=EF_{n+1}}^{LF_{n+1}} tX_{n+1,t} \quad (1)$$

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^{M_i} \sum_{t=EF_i}^{LF_i} (cf_i) e^{-\alpha t} x_{imt} \quad (2)$$

S.t

$$\sum_{m=1}^{M_i} \sum_{t=EF_i}^{LF_i} x_{imt} \quad i = 0, \dots, n+1 \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=EF_j}^{LF_j} tx_{jmt} \leq \sum_{m=1}^{M_i} \sum_{t=EF_i}^{LF_i} (t - d_{im}) x_{imt} \quad (4)$$

$i = 0, \dots, n+1 \quad j \in P_i$

NPV در نظر گرفته است که در آن، منابع تجدیدپذیر دارای محدودیت نبوده و متشکل از مجموعه‌ای از زیرپروژه‌ها هستند به طوری که حالات مختلفی برای انجام این زیرپروژه وجود دارد. از طرف دیگر پرداخت‌ها به واسطه انجام این زیرپروژه‌ها در نقاطی از زمان برنامه‌ریزی شده است.

خوش جهان و همکارانش [۱۹] هدف مدل خود را کمینه کردن ارزش خالص فعلی هزینه‌های جریمه دیرکرد - زودکرد فعالیت‌ها در نظر گرفته‌اند. این محققان برای هر فعالیت یک تاریخ تحویل مختص به آن را متصور دانسته‌اند. رویکرد ارائه شده در این مقاله در مسائل تولید به‌هنگام می‌تواند دارای کاربرد باشد؛ آنجا که انجام یک فعالیت بعد و یا حتی از قبل از تاریخ تعیین شده برای آن شامل جریمه می‌شود. مدلی که در این تحقیق توسعه داده می‌شود دو معیار مهم در مدیریت پروژه را در بر می‌گیرد؛ این دو معیار، کمینه‌سازی زمان تکمیل پروژه و بیشینه‌سازی سود حاصل از پروژه با استفاده از فرمول NPV هستند. مدل توسعه یافته، توسط رویکرد فراابتکاری حل می‌شود. این رویکرد برای حل مسائل چند هدفه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- مسئله پیشنهادی RCPSP

این مدل شامل دو تابع هدف می‌باشد؛ یک تابع هدف به دنبال کاهش زمان آغاز آخرین فعالیت می‌باشد و یک تابع هدف به دنبال بیشینه‌سازی درآمد حاصل از انجام پروژه است. این درآمد به صورت ارزش خالص فعلی محاسبه می‌شود. پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق به صورت زیر می‌باشند:

هستند که در چندین پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در نتیجه، در طول زمان پروژه به‌طور کامل در دسترس نیستند. دیگر حالت مهم در اهداف، زمانی رخ می‌دهد که در حین انجام پروژه جریان نقدی خاصی صورت گیرد. جریان نقدی خروجی شامل انجام فعالیت‌ها و استفاده از منابع است. در طرف دیگر، جریان نقدی ورودی نتیجه دریافت مبالغی است که به‌علت انجام و تکمیل برخی قسمت‌های خاص پروژه صورت می‌گیرد. معمولاً نرخ تنزیل نیز در نظر گرفته می‌شود. توجه کنید که جریان نقدی مرتبط با فعالیت‌ها ممکن است در چندین نقطه از زمان انجام فعالیت‌ها صورت گیرد، هر چند این جریان را می‌توان به‌طور ساده و با جریان نقدی در ابتدا یا انتهای پروژه نشان داد. با توجه به ملاحظات فوق، هدف، بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی پروژه^{۱۳} با لحاظ نمودن محدودیت‌های استاندارد RCPSP است. مقالات اخیر در این حوزه عبارتند از: میکا و همکارانش [۹] و پادمن و ژو [۱۰]. در نشان‌گذاری براکر و همکارانش [۱۱] اهداف بهینه‌سازی NPV با قرار دادن $\sum C_T^F \beta^z$ برای γ بدست می‌آید که در آن C_j^F جریان نقدی فعالیت j ، β فاکتور تنزیل است.

علاوه بر آن اهداف مبتنی بر NPV برای RCPSP چند حالتی (وارما و همکارانش [۱۲]، والیگورا [۱۳]، سیفی و همکارانش [۱۴]) مسئله سرمایه‌گذاری منبع (نجفی و نیاکی [۱۵])، RCPSP با کمترین و بیشترین فرجه زمانی (نثومن و زیمرمن [۱۶]) نیز مورد بررسی قرار گرفته است. ایسملی و رام [۱۷] تابع هدف NPV را در یک مسئله با زمان‌های فعالیت پیوسته و ظرفیت‌های منبع را بسته به زمان مورد استفاده قرار داده‌اند. رنجبر [۱۸] مسئله‌ای را با تابع هدف

ارائه گردید [۲۰] که این تابش می تواند به عنوان یک مکانیزم هشدار دهنده برای شکارچیان بالقوه، دال بر طعم ناخوشایند کرم های شب تاب، عمل کند [۲۱].

در الگوریتم کرم شب تاب برای سادگی سه قانون زیر در نظر گرفته می شود:

- تمام کرم های شب تاب دو جنسیتی هستند و بدون توجه به جنسیت، یکدیگر را جذب می کنند.

- شدت جذب متناسب با میزان درخشندگی شب تاب هاست به طوری که در مورد دو کرم شب تاب، آنکه شدت نور کمتری دارد، به سمت آنکه درخشندگی بیشتری دارد حرکت می کند. اگر هیچ کدام از دیگری درخشان تر نباشند، به صورت تصادفی به سمت هم حرکت می کنند.

- تابع هدف بر اساس شدت روشنایی شب تاب در مقصد تعیین می شود.

در این تحقیق مثالی در قالب یک شبکه ارائه می گردد. سپس اطلاعات مدل، ارائه شده و با استفاده از دو روش فراابتکاری نمونه مسائل ارائه شده حل و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه می گردد. برای بررسی کارایی الگوریتم کرم شب تاب، نتایج حل مسائل مختلف با نتایج حل الگوریتم ژنتیکِ مرتب سازی نامغلوب مقایسه می شوند. برای این مقایسه از تجزیه و تحلیل آماری استفاده شده است.

۴- نتایج حل

همانطور که بیان شد در این مقاله از بررسی کارایی مدل و انتخاب روش حل مناسب، مسئله حل می گردد. در تحقیق در عملیات، برخی مسائل به عنوان مسائل تست وجود دارد که از این گونه مسائل برای بررسی کارایی روش های مختلف حل مسئله استفاده می شود. در این مقاله نیز از این مجموعه ها یک مسئله انتخاب

تجدیدناپذیر است؛ منابع مصرفی که برای انجام فعالیت ها به روش های مختلف استفاده می شود باید کمتر از مقدار کل آن منبع باشد. منبع تجدیدناپذیر یکبار به کل پروژه تخصیص داده می شود و در مدت زمان اجرای پروژه این مقدار تأمین مجدد نمی شود.

محدودیت (۶) محدودیت منابع دو گانه است؛ این منابع هر دو خصوصیت منابع تجدیدناپذیر و تجدیدناپذیر را دارا می باشند.

محدودیت (۷) تضمین می کند که پروژه قبل از deadline آن تمام شود.

محدودیت (۸) در ارتباط با نوع متغیر تصمیم است.

همانطور که بیان شد این مدل یک مدل برنامه ریزی صفر و یک است که دارای دو تابع هدف می باشد. این مدل را نمی توان با روش های معمول حل نمود زیرا یک مسئله NP-Hard می باشد. از این رو برای حل آن استفاده از روش های فراابتکاری پیشنهاد می شود. در بخش بعد در ارتباط با روش حل مورد استفاده در این تحقیق و نحوه تنظیم پارامتر بحث شده و نتایج عددی حاصل از حل این مسئله ارائه می شود.

۳- حل مدل پیشنهادی

همان طور که پیشتر بیان شد به دلیل NP-Hard بودن این دسته از مسائل، از الگوریتم های فراابتکاری استفاده می شود. در این پژوهش الگوریتم کرم شب تاب مورد استفاده قرار گرفته است و تاکنون در ادبیات این مسئله از این الگوریتم برای حل این دسته از مسائل استفاده نشده و از دیگر نوآوری های مقاله حاضر می باشد.

الگوریتم کرم شب تاب توسط یانگ در سال ۲۰۰۸ بر مبنای رفتار و الگوهای چشمک زن کرم های شب تاب در طبیعت

$$\sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^{M_i} r_{im}^v \sum_{t=1}^{DD} x_{imt} \leq R_i^v \quad l=1, \dots, L \quad (5)$$

$$R_{pt}^{td} = \sum_{t=1}^{t'} R_{pt}^d - \sum_{t=1}^{\min(t'-1, T)} \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^{M_i} r_{im,p}^d x_{imt} \quad (6)$$

$$\forall t'=1, 2, \dots, T'$$

$$\sum_{t=EF_{n+1}}^{LF_{n+1}} t X_{n+1,t} \leq DD \quad i=0, \dots, n+1 \quad (7)$$

$$X_{imt} \in \{0, 1\} \quad i=0, \dots, n+1 \quad m=1, \dots, M_i$$

$$t=EF_i, \dots, LF_i \quad (8)$$

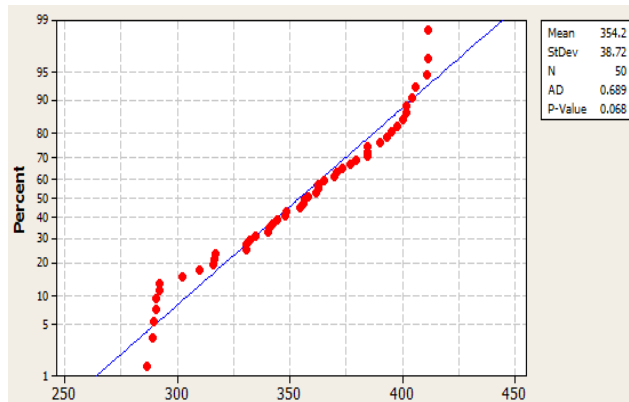
در ادامه، توضیح این مدل ارائه می شود. این مدل یک مسئله دو هدفه است.

در مدل فوق تابع هدف اول (۱) به دنبال کمینه کردن زمان آغاز فعالیت اختتامیه می باشد. هرچه این مقدار کمینه گردد زمان اتمام کل پروژه نیز کمینه می گردد. تابع هدف دوم (۲) بیشینه سازی ارزش فعلی جریان نقدی است. هر پروژه در طول عمر خود دارای یک جریان نقدی است. این جریان نقدی شامل ورودی ها و خروجی هایی است؛ ورودی ها درآمد می باشند و خروجی ها هزینه هستند که با علامت منفی نشان داده می شود. در یک پروژه در برخی از فعالیت ها که کالای تحویل دادنی وجود دارد، درآمد، حاصل می شود و در اکثر فعالیت ها نیز هزینه ای بابت انجام کار صرف می شود. در این جریان نقدی بیشینه گردد.

محدودیت (۳) بیان می کند که هر فعالیت حتماً باید اجرا شود. این فعالیت یا در زودترین زمان پایان یا در دیرترین زمان پایان به کار خود به یکی از روش های موجود اجرا می شود.

محدودیت (۴) مربوط به محدودیت های تقدم و تأخر است؛ زمان آغاز یک فعالیت به علاوه زمان اجرای آن باید کوچکتر از زمان آغاز فعالیت بعد از آن باشد.

محدودیت (۵) مربوط به محدودیت منابع



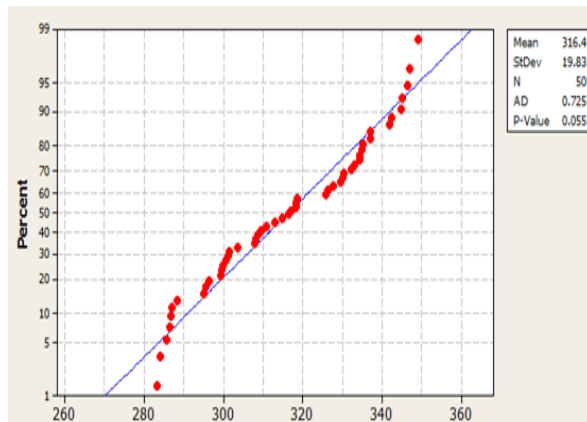
۱ | نتایج آزمون نرمال بودن داده‌های NSGAI



می‌شود تا کارایی مدل بررسی شود. برای این مهم از وب‌گاه PSPLIB نمونه مسئله‌ای انتخاب شده است. مسائل نمونه در این وب‌گاه بر اساس نرم‌افزار RanGen تولید شده‌اند. در این تحقیق برای بررسی کارایی الگوریتم کرم شب‌تاب از ۸ نمونه مسئله استفاده شده است.

۴-۱- تجزیه و تحلیل و مقایسه نتایج دو الگوریتم

در این قسمت، از تجزیه و تحلیل آماری استفاده می‌شود. در واقع به بررسی این موضوع می‌پردازیم که نتایج کدام یک از الگوریتم‌ها مقادیر بهتری تولید کرده است. بدین منظور از آزمون t دو طرفه استفاده می‌شود. اما قبل از آن برای انجام این آزمون باید از نرمال بودن تابع توزیع نتایج اطمینان حاصل نمود: نتایج NSGAI در سطح معنی‌داری ۰/۹۵ دارای توزیع نرمال می‌باشند. در اینجا از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف استفاده شده است. نتایج حاصل از نرم‌افزار MINITAB در شکل‌های ۱- و ۲ نشان داده شده است.



۲ | نتایج نرمال بودن داده‌های کرم شب‌تاب



۱ | نتایج حل مسائل نمونه

شماره مسئله	میانگین زمان‌جواب‌های پارتو (تابع هدف زمان) با استفاده از الگوریتم NSGAI	میانگین NPV جواب‌های پارتو با استفاده از الگوریتم NSGAI	میانگین زمان جواب‌های پارتو (تابع هدف زمان) با استفاده از الگوریتم FA	میانگین NPV جواب‌های پارتو با استفاده از الگوریتم FA	زمان اجرای NSGAI	زمان اجرای FA	آماره آزمون	P-Value	الگوریتم برتر
۱	۳۸	۳۲۴,۱۱	۵۵	۲۳۶,۱	۲۰۵,۹۷	۲۰۷,۸۶	۵,۹۶	۰	NSGAI
۲	۸۹	۳۵۴,۲	۹۷	۳۱۶,۴	۲۱۴,۱۸	۲۱۰,۱۷	۶,۱۳	۰	NSGAI
۳	۶۷	۲۳۲,۰۳	۴۶	۲۴۰,۵۴	۱۸۶,۰۸	۱۸۲,۵	۳,۵۷	۰,۹۹	FA
۴	۲۴	۳۰۵,۹۷	۲۳	۳۰۵,۲۳	۱۸۴,۰۴	۱۹۲,۱۳	۰,۲۹	۰,۶۱۳	FA
۵	۵۴	۳۱۸,۸۹	۶۴	۳۱۷,۶۲	۱۶۴,۷۲	۱۶۸,۱۱	۳,۶۹	۰	NSGAI
۶	۲۰	۲۹۷,۸۲	۲۳	۳۰۰,۱۱	۱۸۳,۷	۱۸۵,۹۶	۹,۹۹	۰	NSGAI
۷	۱۵	۲۹۳,۰۳	۲۱	۲۹۳,۷۷	۱۸۹,۰۶	۱۸۸,۰۱	۱۰,۶۷	۰	NSGAI
۸	۲۰	۲۹۷,۱۸۸	۲۸	۳۰۰,۰۳	۱۶۳,۹۵	۱۶۸,۳۲	۸,۱۹	۰	NSGAI

نتیجه‌گیری

در اکثر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه که در بخش قبل به تفصیل بیان شده است، تمرکز بر روی یک نوع خاصی از انواع منابع می‌باشد. اما در این مقاله علاوه بر اینکه انواع منابع در نظر گرفته شده است، فعالیت‌ها به صورت چندحالتی که امکان انجام آنها به روش‌های مختلف وجود دارد، در نظر گرفته شده است. همچنین مسئله به صورت چند هدفه در نظر گرفته شده است. از اینرو می‌توان به تفاوت این تحقیق با تحقیقات دیگر پی‌برد. در این تحقیق برای حل مسئله از دو روش فراابتکاری چند هدفه‌ی جدید NSGAI و کرم شب‌تاب استفاده شد تا الگوریتم بهتر برای حل آنها مشخص گردد. نتایج، با استفاده از رویکرد آماری و آزمون فرض با یکدیگر مقایسه گردید که نشان‌دهنده کارایی بالاتر روش NSGAI می‌باشد.

بزرگتر از این مقادیر در FA می‌باشد که نشان‌دهنده کارایی الگوریتم در این مسئله است. آزمون فرض در ارتباط با زمان تکمیل پروژه به‌عنوان تابع هدف دوم به‌صورت زیر انجام می‌شود. انتظار بر این است که میانگین زمان نقاط بر روی مرز کارایی در الگوریتم NSGAI میانگین کوچکتری از الگوریتم FA داشته باشند.

$$\mu_{NSGAI} - \mu_{FA} = 0$$

$$\mu_{NSGAI} - \mu_{FA} < 0$$

Difference = mu (NSGAI) - mu (FA)

Estimate for difference: -7.92

95% upper bound for difference: 0.79

T-Test of difference = 0 (vs<):

T-Value = -1.51 P-Value = 0.047

DF = 96

با استفاده از داده‌های یک مسئله نمی‌توان به نتیجه‌گیری پرداخت. الگوریتم‌ها برای مسائل مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در اینجا نتایج این تحقیق را برای ۸ مسئله ارائه می‌دهیم (جدول-۱).

سطح معنی داری در هر دو بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد. از این‌رو نتایج خروجی هر دو الگوریتم از توزیع نرمال پیروی می‌کند. حال به بیان فرضیه می‌پردازیم؛ در اینجا فرض بر این است که میانگین ارزش فعلی حاصل از حل الگوریتم NSGAI برابر با الگوریتم کرم شب‌تاب می‌باشد. برای این کار از آزمون فرض t دوطرفه استفاده می‌شود. در واقع آزمون فرض به‌شکل زیر است:

$$\mu_{NSGAI} - \mu_{FA} = 0$$

$$\mu_{NSGAI} - \mu_{FA} > 0$$

نتایج این آزمون عبارتند از:

Difference = mu (NSGAI) - mu (FA)

Estimate for difference: 37.74

95% lower bound for difference: 27.49

T-Test of difference = 0 (vs>):

T-Value = 6.13 P-Value = 0.000

DF = 73

نتایج این آزمون باعث رد فرض صفر می‌شود به معنی اینکه میانگین NPV حاصل شده از الگوریتم NSGAI

پانویس‌ها

1. Resource Constrained Project Scheduling Problem
2. Firefly Algorithm
3. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
4. Resource Constrained Project Scheduling Problem
5. Makespan
6. Net Present Value (NPV)
7. Firefly Algorithm
8. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
9. Makespan
10. Heuristic
11. Resource Allocation
12. Makespan
13. Net Present Value(NPV)

منابع

- [۱] حل مسئله زمانبندی پروژه چند هدفه تحت شرایط محدودیت منابع با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب؛ ۱۳۹۴، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور تهران، نویسنده: میثم فرهمند نظر، استاد راهنما: دکتر سعید یعقوبی، استاد مشاور: دکتر میثم جعفری اسکندری.
- [2] KOLISCH, R. 2000. Integrated scheduling, assembly area- and part-assignment for large-scale, make-to-order assemblies. *International Journal of Production Economics*, 64, 127-141.
- [3] NUDTASOMBOON, N. & RANDHAWA, S. U. 1997. Resource-constrained project scheduling with renewable and non-renewable resources and time-resource tradeoffs. *Computers & Industrial Engineering*, 32, 227-242.
- [4] VIANA, A. & PINHO DE SOUSA, J. 2000. Using metaheuristics in multiobjective resource constrained project scheduling. *European Journal of Operational Research*, 120, 359-374.
- [5] ROM, W. O., TUKEL, O. I. & MUSCATELLO, J. R. 2002. MRP in a job shop environment using a resource constrained project scheduling model. *Omega*, 30, 275-286.
- [6] NAZARETH, T., VERMA, S., BHATTACHARYA, S. & BAGCHI, A. 1999. The multiple resource constrained project scheduling problem: A breadth-first approach. *European Journal of Operational Research*, 112, 347-366.
- [7] KUSTER, J., JANNACH, D. & FRIEDRICH, G. 2010. Applying local rescheduling in response to schedule disruptions. *Annals of Operations Research*, 180, 265-282
- [8] RANJBAR, M., KHALILZADEH, M., KIANFAR, F. & ETMINANI, K. 2012. An optimal procedure for minimizing total weighted resource tardiness penalty costs in the resource-constrained project scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 62, 264-270.
- [9] MIKA, M., WALIGORA, G. & WĘGLARZ, J. 2008. Tabu search for multi-mode resource-constrained project scheduling with schedule-dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 187, 1238-1250.
- [10] PADMAN, R. & ZHU, D. 2006. Knowledge integration using problem spaces: A study in resource-constrained project scheduling. *Journal of Scheduling*, 9, 133-152.
- [11] BRUCKER, P., DREXL, A., MÖHRING, R., NEUMANN, K. & PESCH, E. 1999. Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European journal of operational research*, 112, 3-41.
- [12] VARMA, V. A., UZSOY, R., PEKKNY, J. & BLAU, G. 2007. Lagrangian heuristics for scheduling new product development projects in the pharmaceutical industry. *Journal of Heuristics*, 13, 403-433.
- [13] WALIGÓRA, G. 2008. Discrete-continuous project scheduling with discounted cash flows—Atabu search approach. *Computers & Operations Research*, 35, 2141-2153.
- [۱۴] سیفی، مسعود؛ توکلی مقدم، رضا؛ جولای، فریبرز. ۱۳۸۷. "بکارگیری الگوریتم های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید برای حل مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع در حالت چند مد و با جریان‌های نقدی تنزی یافته (گزارش فنی)". نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید. (۴) ۱۹، زمستان ۱۳۸۷. ۸۵-۹۱.
- [15] NAJAFI, A. A. & NIAKI, S. T. A. 2006. A genetic algorithm for resource investment problem with discounted cash flows. *Applied Mathematics and Computation*, 183, 1057-1070.
- [16] NEUMANN, K. & ZIMMERMANN, J. 2000. Procedures for resource leveling and net present value problems in project scheduling with general temporal and resource constraints. *European Journal of Operational Research*, 127, 425-443.
- [17] ICMELI-TUKEL, O. & ROM, W. O. 1997. Ensuring quality in resource constrained project scheduling. *European Journal of Operational Research*, 103, 483-496.
- [18] RANJBAR, M. 2011. An Optimal NPV Project Scheduling with Fixed Work Content and Payment on Milestones. *International Journal of Industrial Engineering*, 22, 181-186.
- [19] KHOSHJAHAN, Y., NAJAFI, A. A. & AFSHAR-NADJAFI, B. 2013. Resource constrained project scheduling problem with discounted earliness-tardiness penalties: Mathematical modeling and solving procedure. *Computers & Industrial Engineering*, 66, 293-300.
- [20] X.-S. Yang, *Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications*. John Wiley & Sons, 2010.
- [21] Yang XS. Firefly algorithms for multimodal optimization . In: Watanabe O , Zeugmann T, editors. *Proceedings fifth symposium on stochastic algorithms, foundations and applications*. Lecture notes in computer science, vol. 5792; 2009. p. 169-78.