

ارایه الگوریتم زمان بندی پروژه های پراکنده با رویکرد زنجیره بحرانی

محمدحسین نجفی

کارشناسی ارشد مدیریت اجرایی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

نام نویسنده مسئول:

محمدحسین نجفی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۸

چکیده

هدف: در حوزه کنترل و مدیریت پروژه، وظیفه اصلی گروه مدیریت پروژه ایجاد هماهنگی لازم در اجرای فعالیت ها برای بهینه سازی منابع به منظور رسیدن به هدف نهایی پروژه می باشد. جهت اجرای این مهم محدودیت های زمانی، بودجه، نیروی انسانی، تجهیزات، منابع و بسیاری از محدودیت های دیگر که با فازهای پروژه در ارتباط هستند نیز باید در نظر گرفته می شوند.

در تحقیق حاضر، کوشش شده است بر روی مسئله زمان بندی چندین پروژه با منابع محدود توزیع شده بحث و بر روی تعارض منابع در دسترس میان آن ها تمرکز شود. تعارض منابع در میان پروژه ها در اصل به دلیل محدودیت های منابع در دسترس، در همزمانی اجرای پروژه ها به وجود می آیند.

روش: برای انعکاس این محدودیت و همچنین محدودیت روابط میان فعالیت ها، این نوشته شامل مفهوم زنجیره بحرانی در میان مسئله و معرفی یک مکانیسم حذف تعارض می باشد که برخی شکاف های زمانی تعارض را شناسایی می کند و منابع مشترک را تنها در آن شکاف های زمانی، اختصاص می دهد. در واقع منابع مورد نیاز هر فعالیت را به طور بهینه مدیریت می کند و در نهایت زمان بندی هر دو پروژه را به طور همزمان انجام می دهد.

یافته ها: در این پژوهش، جهت اجرای مدل و همچنین تشخیص و اندازه گیری میزان کارایی آن، یک نمونه مسئله ساخته شده است. این نمونه مسئله، شامل دو پروژه ای با تعداد هر کدام هفت فعالیت می باشند. خروجی الگوریتم بیان شده در این پژوهش، نحوه زمان بندی نهایی هر کدام از پروژه ها مشتمل بر زمان شروع و پایان هر فعالیت و همچنین متوسط تأخیر هر مجموعه از پروژه ها را نشان می دهد.

نتیجه گیری: این روش می تواند چندین پروژه مختلف به طور همزمان را زمان بندی نماید. همچنین بررسی ها نشان می دهند که این الگوریتم می تواند راه حل نسبتاً رضایت بخشی در به دست آوردن متوسط تأخیر پروژه و همچنین زمان کاهش اتمام پروژه ها ایجاد کند.

واژگان کلیدی: پروژه، زمان بندی، زنجیره بحرانی، مکانیسم حذف تعارض، منابع محدود

مقدمه

امروزه پروژه‌ها، به‌خصوص پروژه‌های ساخت‌وساز نقش عمده‌ای در پیشرفت و تکامل جوامع دارند، به‌طوری‌که تصور پیشرفت یک کشور بدون انجام پروژه‌های بزرگ غیرممکن به نظر می‌آید. پروژه‌ها می‌توانند در ابعاد و اندازه‌های گوناگون و با اهدافی متفاوت طبقه‌بندی شوند. متأسفانه سالانه تنها تعداد کمی از پروژه‌ها می‌توانند در زمان، هزینه و با کیفیت موردنظر و از پیش تعیین‌شده به سرانجام برسند. این امر ناشی از دلایل فراوان و گوناگونی هست که یکی از مهم‌ترین آن‌ها ضعف در مدیریت مناسب پروژه‌ها است.

در حوزه کنترل و مدیریت پروژه، وظیفه اصلی گروه مدیریت پروژه ایجاد هماهنگی لازم در اجرای فعالیت‌ها برای به کار گرفتن مناسب منابع و امکانات به‌منظور رسیدن به هدف نهایی پروژه می‌باشد. جهت اجرای این هماهنگی محدودیت‌های زمانی، بودجه، نیروی انسانی، تجهیزات، منابع و امکانات، محدودیت‌های اجرا و بسیاری از محدودیت‌های دیگر که با فازهای پروژه در ارتباط هستند در نظر گرفته می‌شوند. همچنین باید به این نکته توجه داشت که زمان‌بندی پروژه بدون توجه به ابعاد دیگر پروژه از جامعیت مدل می‌کاهد و موجب می‌گردد که مدل ارائه‌شده توسط تحقیق در تطابق با مسائل جهان واقعی کارکرد خود را از دست بدهد. لذا هم‌زمان با بحث زمان‌بندی پروژه‌ها باید به سایر مباحث مهم در زمینه پروژه نیز توجه نمود و در حقیقت مباحث مهم مرتبط در مدیریت پروژه را به‌صورت یک مجموعه یکپارچه و منسجم در نظر گرفت تا تطابق بیشتری با واقعیات جهان پیرامون داشته باشد.

یک زنجیره بحرانی، مجموعه‌ای از وظایف است که مدت‌زمان کلی پروژه را با در نظر گرفتن هر دو محدودیت اولویت و وابستگی منابع تعیین می‌کند. این موضوع در ادبیات مدیریت پروژه، به‌عنوان یک برنامه مستقیم از نظریه محدودیت‌ها، قابل‌توجه است. به‌عنوان یک ویژگی ذاتی پروژه، زنجیره بحرانی اغلب برای بهبود استحکام پروژه‌ها به‌کاربرده می‌شود. به‌طور کلی، وظایف زنجیره بحرانی یک پروژه، با توجه به گوناگونی درجه تعارض‌ها، متفاوت است. بدین ترتیب، زنجیره بحرانی می‌تواند برای تشخیص درجه تعارض‌ها در میان فعالیت، استفاده شود. در این میان، تعداد محدودی از محققان تلاش کرده‌اند که برنامه‌ریزی زنجیره بحرانی با استراتژی حل تعارض را در جهت حل مسئله برنامه‌ریزی چندین پروژه پراکنده با محدودیت منابع به کار ببرند. حال، مسئله‌ای که وجود دارد این است که منابع موجود در محیط‌های چند پروژه‌ای، با توجه به محدودیت‌شان، در کدام پروژه و با در نظر گرفتن کدام اولویت مصرف شوند؟ برای حل این مسئله، کوشش می‌شود الگوریتمی ارائه شود که مبتنی بر مکانیسم حذف تعارض عمل نموده و درعین‌حال با رعایت اهمیت پروژه‌ها، زمان تکمیل کل را کاهش دهد.

پیشینه پژوهش

مینگوی چن و ژ ژانگ^۱ (۲۰۱۶) به ارائه الگوریتمی بر پایه زنجیره بحرانی و مکانیسم حراج جهت حل مسائل زمان‌بندی چندین پروژه هم‌زمان با منابع محدود پرداختند. آن‌ها زمان‌بندی پروژه‌های موازی را با توجه به اهداف چندگانه‌شان انجام دادند. پروژه‌ها با توجه به میزان اهمیت اهداف، در اولویت انجام قرار می‌گرفتند.

واترز^۲ و همکارانش، روش تئوری بازی را استفاده کرده‌اند. در این مقاله، آن‌ها بررسی کرده‌اند که چگونه یک گروه از عوامل مدیریت پروژه، می‌توانند به‌طور مؤثر تعارضات چندین پروژه هم‌زمان برنامه‌ریزی‌شده را حل کنند؛ که در آن هماهنگی پروژه‌ها، از طریق یک بازی متوالی ساده انجام می‌گیرد که توسط یک شخص ثالث مورد اعتماد و یا یک شخص میانجی مدیریت می‌شود.

¹ Minghui Chen & Zhe Zhang

² Tony Wauters

ژنگ^۳ و همکارانش (۲۰۱۴) از روش زنجیره بحرانی برای حل مسئله DRCMPSP استفاده کرده‌اند. آن‌ها برای حل تعارض میان منابع در دسترس جهت استفاده فعالیت‌ها، از یک مکانیسم حذف تعارض بهره برده اند که ایده تحقیق پیش رو نیز برگرفته از مقاله آن‌هاست.

مارسلینوسادابا^۴ و همکارانش (۲۰۱۴) در مقاله خود به بررسی روش مدیریت ریسک پروژه در شرکت‌های کوچک پرداخته‌اند. آن‌ها یک متدولوژی برای مدیریت ریسک در اسپانیا ارائه داده‌اند که شامل برگ خریدهایی است که معمولاً در شرکت‌های کوچک نادیده گرفته می‌شوند. مدل آن‌ها ابزارها، چک لیست‌ها و ... می‌باشد که بر روی ۷۲ شرکت اجرا گردیده است. نتایج اجرای مدل ارائه‌شده بر روی شرکت‌ها نشان داده است که پیاده‌سازی مدل مذکور سبب کاهش زمان، هزینه و بهبود فرایندهای مدیریتی می‌گردد.

آکبس^۵ و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله خود به ارائه یک روش جدید برای کنترل پروژه تحت عدم قطعیت با در نظر گرفتن بازگشت به اصول اولیه پرداخته‌اند. مدل آن‌ها شامل یکپارچگی در روش ارزش کسب‌شده و مدیریت ریسک می‌باشد. آن‌ها جهت ارزیابی مدل از داده‌های سه مطالعه موردی، استفاده نموده‌اند که نتایج اجرای مدل بر مسائل نمونه، نشان داده است که مدل ارائه‌شده از اعتبار لازم برخوردار بوده و تأثیر بسزایی در افزایش کیفیت، کاهش هزینه و زمان دارد و قادر به ارائه زمان‌بندی بهینه برای پروژه می‌باشد.

عالم تبریز و همکارانش (۱۳۹۵) در تحقیقی به ارائه و حل مدل مسئله زمان‌بندی زنجیره بحرانی پروژه با در نظر گرفتن بافر تغذیه پرداختند. در این تحقیق سعی در استفاده از اصول زنجیره بحرانی در زمان‌بندی پروژه تحت محدودیت منابع بود. مهم‌ترین نوآوری صورت گرفته در این تحقیق، ارائه مدل مسئله زمان‌بندی زنجیره بحرانی پروژه با در نظر گرفتن بافر تغذیه و استفاده از شناوری به‌عنوان مکملی برای بافر تغذیه است. برای این کار ابتدا مدل زمان‌بندی پروژه تحت محدودیت منابع و با رویکرد زنجیره بحرانی نوشته‌شده و قابلیت اطمینان آن با استفاده از نرم‌افزار لینگو سنجیده شده است. در گام بعدی الگوریتم حل این مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسعه داده‌شده و در نهایت نمونه مسائل مختلفی مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق کارایی الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده را نشان داده است.

رضایی نیک و همکارانش (۱۳۹۵) در مقاله‌ای به زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع و استفاده از زنجیره بحرانی در محیط فازی (مطالعه موردی: طراحی ساخت توربین‌های بادی) پرداختند. آن‌ها با علم بر این که انحراف پروژه از زمان‌بندی، هزینه‌های زیادی را به ذینفعان پروژه تحمیل می‌کند و با مطالعه بر روی پژوهش‌های گذشته به این نتیجه رسیدند که تخمین اشتباه زمان انجام فعالیت‌ها یکی از مهم‌ترین دلایل این انحراف‌ها است. روش زنجیره بحرانی یکی از روش‌های موردتوجه پژوهشگران در سال‌های اخیر بوده است. در این مقاله سعی شده تا با استفاده از الگوریتم پایه زنجیره بحرانی که از فلسفه تئوری محدودیت‌ها نشأت می‌گیرد و با کمک گرفتن از تئوری فازی و زمان‌بندی پروژه تحت محدودیت منابع و با تلفیق آن‌ها، زمان‌بندی پروژه‌هایی را که اطلاعات زیادی از گذشته آن‌ها در دسترس نیست، به واقعیت نزدیک شود. حاصل این پژوهش در پروژه طراحی سازه و ساخت پره توربین یک کیلووات پلی‌استر پیاده‌سازی گردید که توانست زمان‌بندی پروژه را در مقایسه با روش‌های سنتی بهبود بخشد.

موفق پور (۱۳۹۵) در مقاله‌ای به زمان‌بندی توالی پروژه با فعالیت‌های دارای عدم قطعیت بازه‌ای پرداخت. در این تحقیق برای محاسبه مسیر بحرانی و میزان شناوری فعالیت‌های پروژه از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی استفاده‌شده است. برای مدل کردن عدم قطعیت زمان تکمیل هر فعالیت، از اعداد بازه‌ای استفاده‌شده است. برای ارزیابی رویه توسعه داده‌شده، زمان‌بندی یک پروژه واقعی احداث ساختمان دوطبقه با اسکلت فلزی شامل بیش از ۸۰ فعالیت، نشان داد در صورتی که زمان تکمیل فعالیت‌ها، اعداد بازه‌ای باشند، مجموعه فعالیت‌های بحرانی تغییر چشمگیری ندارند و تغییر وضعیت بحرانی بودن یا نبودن

³ Zheng⁴ Marcelino-Sádaba⁵ Acebes

فقط برای کمتر از ۵ درصد فعالیت ها روی می دهد و مقدار شناوری فعالیت ها نیز بر اساس سناریوهای حدی تولید شده نیز دارای عدم قطعیت بازه ای خواهند بود.

شاه محمدی و کاظمی (۱۳۹۴) در مقاله خود به حل مسئله زمان بندی پروژه با منابع محدود با استفاده از ترکیب الگوریتم فرا ابتکاری مورچگان و روش ابتکاری ابداعی حذف و اضافه پرداختند. آن ها در این تحقیق بابیان اینکه استفاده از مدل های عدد صحیح با توجه به پیچیدگی مسئله زمان بندی پروژه با منابع محدود مقرون به صرفه نیست، الگوریتمی تلفیقی بر مبنای الگوریتم مورچگان و روش ابداعی حذف و اضافه کردن فعالیت ها ارائه نمودند. نتایج عددی حاصله حکایت از کارایی بالای الگوریتم پیشنهادی داشت.

مینایی فرد و همکارانش (۱۳۹۴) در مقاله ای به بررسی الگوریتم های بهینه سازی مسائل زمان بندی پروژه با محدودیت منابع پرداختند. مهم ترین مسئله امروزه هنگام بررسی و انجام پروژه ها در هر زمینه فعالیت، تخصیص منابع می باشد. با توجه به زمان شروع فعالیت و هم زمانی برخی از آن ها، نحوه تخصیص منابع که در بعضی مواقع این منابع تجدید ناپذیر هستند پیچیدگی خاصی دارد که هنر برنامه ریزان پروژه در نحوه تخصیص آن ها باعث کاهش هزینه های پروژه می گردد. وجود محدودیت زمانی در اجرای پروژه ها باعث می شود هدف بهینه کردن زمان بندی، رسیدن به یک موازنه بهینه زمان - هزینه باشد. لیکن با توجه به ساختار کلی پروژه هایی که معمولاً زمان خاتمه پروژه مشخص است مانور اصلی جهت کاهش هزینه ها در تخصیص منابع باشد تا بتوان با حداقل هزینه، پروژه در زمان مشخص شده بهره برداری گردد. گاهی اوقات هدف، کمینه کردن زمان اتمام پروژه می باشد. در اینجا با توجه به منابعی که اکثراً تجدید پذیر هستند با تغییر روش اجرا یا تخصیص منابع بیشتر، سعی در کاهش زمان اجرا پروژه دارد. لذا سعی بر این است با بررسی مقالات موجود در این زمینه همچنین الگوریتم هایی که در زمان بندی پروژه با محدودیت منابع کارایی لازم را داشته و مسائل را بهینه کرده اند به معرفی پرکاربردترین آن ها پرداخته شود.

روش شناسی پژوهش

بیان ریاضی مدل تحقیق

مفروضات

- یک پروژه شامل تعدادی فعالیت با زمان انجام مشخص است.
- انجام فعالیت ها به صورت کامل و بدون توقف است.
- میزان منابع در دسترس و مصرف آن ها قطعی و در طول دوره ثابت است.
- منابع به صورت تجدید پذیر می باشند.
- جایگزینی برای منابع وجود ندارد.
- هدف، حداقل کردن زمان انجام پروژه ها است.
- بدون از دست دادن کلیت بحث، تمام پارامترها اعداد صحیح غیر منفی فرض می شوند.
- کلیه بافرهای مطرح در زمینه زمان بندی پروژه از قبیل بافر تغذیه و بافر پروژه به دلیل داشتن قابلیت مقایسه نتایج با دیگر پژوهش ها نادیده گرفته شده اند.

پارامترها

- i نشان دهنده تعداد پروژه است ($i = 1, 2, \dots, m$).
- j عدد هر فعالیت را نشان می دهد.
- N بیانگر تعداد فعالیت ها می باشد.
- q ترتیب فعالیت ها را بیان می کند.
- فعالیت های مجازی نشان دهنده فعالیت های آغازین و پایانی می باشند که طول فعالیت آن ها برابر صفر می باشد که اصطلاحاً یک رویداد یا مایلستون می باشند.

- مدت زمان فعالیت d_{ij} برابر با d_{ij} می باشد. زمان فعالیت های مجازی برابر با صفر می باشد.
 - es نشان دهنده زمان شروع فعالیت و ef نشان دهنده زمان اتمام آن فعالیت می باشد.
 - F_{ij} میزان شناوری فعالیت j آ i پروژه را بیان می کند.
 - مجموعه d_{ij} فعالیت های بعدی فعالیت d_{ij} به عنوان uu_{ij} تعریف می شود.
 - $maxresource$ نمایش دهنده ظرفیت ماکزیمم منابع در دسترس است.
 - فعالیت نیازمند r_{ig} واحد از منبع مشترک g است. برای فعالیت مجازی نیاز منبع برابر صفر می باشد.
- محدودیت ها
- انجام یک فعالیت به شرطی که فعالیت های پیش نیاز آن مطابق تعریف، انجام گرفته باشند. این محدودیت بدین گونه در مدل سازی در نظر گرفته شده که زمان شروع فعالیت هایی که پیش نیازی ندارند، واحد زمانی صفر و زمان شروع فعالیت هایی که پیش نیاز دارند، زمان پایان طولانی ترین فعالیت پیش نیازی است.
 - انجام فعالیت ها در یک شکاف زمانی، به شرطی که مجموع منابع مصرفی در آن شکاف توسط فعالیت ها از ماکزیمم میزان منابع تعریف شده بیشتر نباشد. (در هر شکاف زمانی $r_{tg} \leq R_g$)
- تابع هدف
- متوسط تأخیر پروژه (APD) یکی از مؤثرترین روش ها برای ارزیابی پاسخ های DRCMPSP است که در این نوشته به عنوان تابع هدف معرفی می شود. فرموله شده آن به شرح زیر است:

$$APD \text{ رابطه (۱)} = \frac{\sum_{i=1}^m MS_i - CPD_i}{m}$$

که MS_i و CPD_i به ترتیب نشان دهنده زمان صرف شده کلی پروژه و مدت زمان مسیر بحرانی (بدون لحاظ کردن منابع) پروژه است. همچنین m بیان کننده تعداد پروژه ها می باشد. برای بهینه کردن متوسط تأخیرهای پروژه، در این تحقیق، می بایست حل تعارض میان منابع به طور مؤثر صورت پذیرد که در ادامه ایده و روش حل آن بیان می گردد.

زنجیره های بحرانی و اثرات آن بر ADP

یک زنجیره بحرانی طولانی ترین مسیر شدنی با در نظر گرفتن محدودیت توالی فعالیت ها و همچنین میزان استفاده از منابع یک پروژه است. زنجیره بحرانی گلوگاه یک پروژه است و اغلب برای بهبود زمان بندی ها، منابع، بودجه ها و مقاوم بودن استفاده می شود. به منظور نمایش زنجیره های بحرانی تعریف زمان شناوری آزاد (free slack) بیان می شود.

تعریف ۱- در زمان بندی قابل اجرای پروژه i ، فرض می گردد ES_{ij} و LS_{ij} به ترتیب اولین و آخرین زمان شروع فعالیت j است که اجازه دارد تحت محدودیت های دارای اولویت اجرا شود. سپس زمان شناوری آزاد FS_{ij} به صورت زیر تعریف می شود:

$$FS_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij} \quad \text{رابطه (۲)}$$

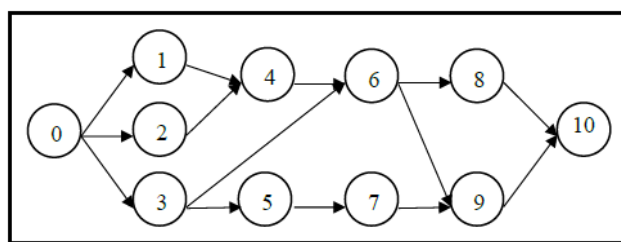
مکانیسم حذف تعارض

همان طور که در رابطه ۱ نشان داده شده است متوسط تأخیر پروژه توسط دو معیار تعیین گردیده که به طور مستقیم توسط زنجیره های بحرانی پروژه ها تحت تأثیر قرار می گیرد. باین حال، تأثیرات زنجیره بحرانی در APD اغلب در بسیاری از مکانیسم های موجود نادیده گرفته می شود. در این بخش، مکانیسم حذف برای حل تعارض های منابع مشترک معرفی می گردد و از ویژگی زنجیره بحرانی برای ارزیابی اهمیت فعالیت ها استفاده می شود. ایده اصلی مکانیسم این است که در کاهش APD مؤثر عمل کند. جزئیات فرآیند در ادامه بیان می شود.

زمان بندی با در نظر گرفتن محدودیت روابط (گام اول)

در ابتدا هرکدام از پروژه ها به طور مجزا از هم با در نظر گرفتن محدودیت روابط پیش نیازی که اولین محدودیت میان آنهاست زمان بندی می شوند. همچنین میزان ظرفیت هرکدام از منابع، نامحدود فرض می شوند. این کار به این دلیل صورت می پذیرد که محدودیت منابع در ابتدا به میزان خیلی کمی روی زمان بندی اثر بگذارد تا فضای کافی (زمان کافی) جهت استفاده وجود داشته باشد. با انجام این زمان بندی زمان شروع هر فعالیت، زمان پایان هر فعالیت و همچنین زمان انجام کل پروژه به دست می آیند. این کار ابتدا از طریق کد کردن کروموزوم ها انجام می پذیرد.

برای کد کردن کروموزوم ها ابتدا یک جواب تصادفی با استفاده از تابع randperm ایجاد می گردد. این جواب نشان دهنده ترتیب انجام فعالیت هاست. برای موجه شدن این جواب، باید اصلاحی روی آن صورت گیرد تا روابط پیش نیازی در آن رعایت گردد. برای این کار از اولین ژن کروموزوم شروع می کنیم. بررسی می کنیم که این فعالیت قابل اجراست یا خیر. اگر قابل اجرا بود در رشته دیگری نام آن را به عنوان ژن اول ثبت می کنیم در غیر این صورت سراغ ژن بعدی در کروموزوم اولیه می رویم. فرض کنید شکل ۱ شبکه مربوط به یک پروژه باشد.



شکل ۱. شبکه یک پروژه فرضی

حال برای این پروژه یک کروموزوم تصادفی ایجاد می کنیم:

کروموزوم اولیه: ۱ ۵ ۲ ۰ ۶ ۳ ۸ ۴ ۱۰ ۹ ۷

برای اصلاح این کروموزوم به این شکل عمل می کنیم که ابتدا ژن اول که عدد ۰ است را بررسی می کنیم تا ببینیم قابل اجراست یا خیر. چون این فعالیت بنا بر روابط پیش نیازی قابل اجرا نیست، به سراغ ژن بعدی یعنی ۰ می رویم. این فعالیت نیز قابل اجرا نیست. ژن بعدی نیز که فعالیت ۲ است قابل اجرا نیست. تا به ژن ۳ می رسیم که قابل اجراست. در نتیجه این ژن را در یک رشته جداگانه ثبت نموده و از کروموزوم اولیه حذف می کنیم.

کروموزوم اولیه: ۱ ۵ ۲ - ۶ ۳ ۸ ۴ ۱۰ ۹ ۷

کروموزوم اصلاحی: ۰ - - - - -

حال مجدد به ابتدای کروموزوم اولیه برمی گردیم. ژن اول یعنی فعالیت ۰ را بررسی می نماییم که چون

قابل اجراست به رشته اصلاحی منتقل می شود:

کروموزوم اولیه: - ۵ ۲ - ۶ ۳ ۸ ۴ ۱۰ ۹ ۷

کروموزوم اصلاحی: ۰ ۱ - - - - -

دوباره به ابتدای کروموزوم برمی گردیم و این مراحل را تکرار می نماییم. در نهایت این کروموزوم حاصل می شود:

کروموزوم اولیه: - - - - -

کروموزوم اصلاحی: ۰ ۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰

حال این یک جواب شدنی برای این پروژه است. بعد از پیدا کردن جواب موجه برای پروژه تداخل منابع نیز باید رفع گردد. برای این کار نیز زمان شروع فعالیت ها به گونه ای برنامه ریزی می گردد که تداخلی برای منابع به وجود نیاید. برای هردوی این اقدامات یعنی اصلاح کروموزوم و رفع تداخل منابع، توابعی در نرم افزار متلب^۶ نوشته شده است.

^۶ Matlab

محاسبه امتیاز هر فعالیت (گام دوم)

امتیاز یا اهمیت یک فعالیت با پارامتر ts_{ij} اندازه گیری شود که توالی انتخاب شده را در مکانیسم حذف تعارض نشان می دهد. امتیاز فعالیت به صورت زیر تعریف می شود:

$$ts_{ij} = M \times FS_{ij} + d_{ij} \quad \text{رابطه ۳}$$

که FS_{ij} مقدار شنوری آزاد را نشان می دهد و d_{ij} نشان دهنده مدت زمان فعالیت j در پروژه i است. M یک عدد صحیح به قدر کافی بزرگ و ثابت است. درواقع ضریب M پارامتر شنوری را نسبت به پارامتر دیگر این معادله (d)، بارزتر می سازد. در این تحقیق، M عددی برابر ۱۰۰۰۰ فرض شده است.

در سمت راست رابطه ۳، عبارت $M \times FS_{ij}$ برای تمایز اهمیت بین یک فعالیت بحرانی و یک فعالیت غیر بحرانی استفاده می شود. فرض کنید a_{ij} یک فعالیت بحرانی با امتیاز ts_c است و a_{ik} یک فعالیت غیر بحرانی با امتیاز ts_{nc} است، پس ویژگی زیر صادق است:

$$ts_c < ts_{nc}$$

ویژگی ۱-

اثبات: از ویژگی ۱، واضح است که $FS_{ij}=0$. سپس با توجه به معادله (۸)، $ts_{sc} = a_{ij}$ واضح است که $d_j < M$ و در نتیجه $ts_c < M$

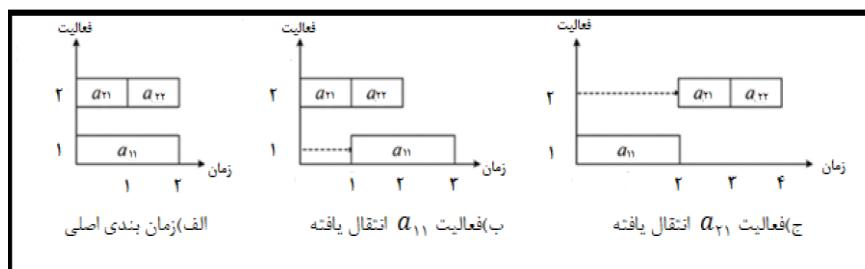
مدت زمان یک فعالیت غیر فرضی بزرگتر از صفر است، یعنی $d_{ik} < 0$. در همین حال از ویژگی ۱ می توان به این رسید که $FS_{ik} > 0$. علاوه بر این، بر اساس این فرض که همه پارامترهای مورد بحث اعداد صحیح می باشند، می توان نتیجه گرفت که $d_{ik} \geq 1$ و $FS_{ik} \geq 1$. از این رو، مقدار مینیمم ts_{nc} برابر با $M+1$ است و بنابراین:

$$ts_c < M < M+1 \leq ts_{nc}$$

ویژگی ۲-

ویژگی ۲ تضمین می کند که فعالیت های غیر بحرانی همیشه امتیازات بالاتری نسبت به فعالیت های بحرانی به دست می آورند. بدین معنا که می توان فعالیت های غیر بحرانی را در اولویت نسبت به فعالیت های تأخیری با امتیاز بالاتر حذف کرد. چنین استراتژی در نظر دارد تا احتمال تأخیر در انجام فعالیت های بحرانی را کاهش دهد، چراکه زمان صرف شده پروژه (MS) و در نتیجه APD بر این اساس افزایش نخواهد داشت.

در رابطه ۳، d_{ij} اهمیت فعالیت هایی را که زمان شنوری آزاد مشابه دارند، ارزیابی می کند. به عنوان مثال اگر دو فعالیت جزو فعالیت های بحرانی باشند، این روند حرکت به ناچار منجر به افزایش APD خواهد شد. برای کاهش چنین روندهای حرکتی، فعالیت با مدت زمان های بزرگتر امتیازات بالاتری دریافت می کنند و در اولویت حذف قرار می گیرند. یک مورد کوچک با دو پروژه در شکل ۲ نشان داده شده است. فعالیت های a_{11} و a_{21} هر دو فعالیت های بحرانی هستند که باهم تعارض دارند. اگر ما a_{11} را با تأخیر اجرا کنیم، فعالیت های متناظر به یک مرحله جابه جا می شوند و مدت زمان صرف شده کل برابر ۳ خواهد بود (شکل ۲-ب). اگر a_{21} جابه جا شود، فعالیت های متناظر دو مرحله جابه جا خواهند شد و مجموع زمان صرف شده به ۴ افزایش می یابد (شکل ۲-ج). مشخص می شود که مدت زمان فعالیت ها گام های حرکت را تعیین می کنند. فعالیت های انتقال یافته با مدت زمان های بزرگتر می تواند گام های حرکت و مدت زمان صرف شده را کاهش دهند و به همین دلیل APD پایینی را منتج شوند.



شکل ۲. مقایسه میان زمان بندی ها بعد از جابه جایی فعالیت های خاص

برای محاسبه شنواری آزاد هر فعالیت (میزان جابه جایی ممکن هر فعالیت بدون آن که فعالیت پس نیازش جابه جا شود) در نرم افزار متلب، با تعریف پس نیازهای هر فعالیت، زمان اتمام هر فعالیت را از کمترین شروع زمانی هر پس نیاز کم می کنیم. به این ترتیب شنواری آزاد هر فعالیت به دست می آید. حال مطابق رابطه ۳، میزان امتیاز هر فعالیت که معرف اولویت هر فعالیت برای انجام می باشد، به دست می آید.

تخصیص منابع و یافتن شکاف زمانی تعارض (گام سوم)

در این گام ابتدا منابع مورد نیاز هر فعالیت تخصیص داده می شود و سپس با شروع از زمان صفر، زمان تعارض در عوض تخصیص منابع در شکاف زمانی پیش رو شناسایی می شوند. فرایند تخصیص به صورت تکراری در شکاف های زمانی تعارض خاصی اجرا می شود. اولین زمان تعارض t_c را می توان به صورت زیر تعیین نمود.

$$r_{tg} \leq R_g, \quad t < t_c, \quad g \in G$$

$$r_{tg} > R_g, \quad t = t_c, \quad g \in G$$

که r_{tg} مقدار مصرف شده از منبع g در زمان t را نشان می دهد. R_g مقدار ماکزیمم موجود از هر منبع را نشان می دهد. در صورت نداشتن تعارض در زمان بررسی شده، شکاف زمانی بعدی مورد کنکاش قرار می گیرد.

انتخاب فعالیتی که باید از آن واحد زمانی منتقل شود (گام چهارم)

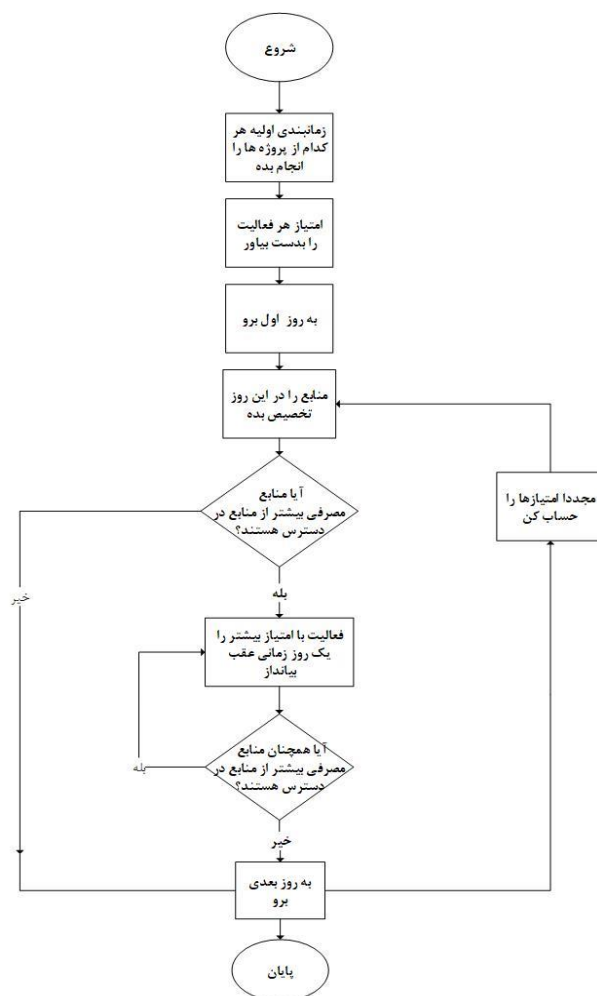
در این مرحله در شکاف زمانی مورد بررسی که تعارض وجود دارد، فعالیتی که دارای بیشترین امتیاز ممکن در میان دیگر فعالیت ها است را برگزیده می شود. امتیاز بالاتر هر فعالیت، نشان دهنده کم اهمیت بودن آن نسبت به سایر فعالیت ها است. بدین معنا که با جابه جا شدن آن، تأخیر کمتری در اتمام پروژه ها نسبت به سایر فعالیت ها ایجاد می گردد. این فعالیت یک واحد زمانی جلو برده می شود. بررسی در این واحد زمانی تا جایی ادامه می یابد که میزان منابع مصرفی در واحد زمانی مذکور، کمتر از میزان منابع در دسترس باشند.

ذکر این نکته ضروری است که در جابه جایی هر فعالیت، لازم است فعالیت های پس نیاز آن به دلیل نقض نشدن روابط پیش نیازی نیز، یک واحد زمانی انتقال یابند.

همان طور که در قسمت محدودیت های مسئله بیان شد، قطع و جابه جایی قسمتی از یک فعالیت که آغاز به انجام کرده صورت نمی پذیرد. به این دلیل که اولاً انتقال این فعالیت در تعارض با یکی از ادله بیان زنجیره بحرانی (چندکارگی) می باشد. ثانیاً شکستن یک فعالیت و جابه جایی قسمتی از آن در حالتی که به آن فعالیت، منابع تخصیص یافته است، امر منطقی به شمار نمی آید.

به روز شدن امتیاز فعالیت های جابه جاشده (گام پنجم)

توجه داریم که یک زنجیره بحرانی پروژه ممکن است بعد از فعالیت های خاصی انتقال یابد. اهمیت فعالیت های خاص همچنین در طی فرایند پاسخ تغییر می کند. فعالیت های غیر بحرانی ممکن است به موارد بحرانی تبدیل شوند؛ بنابراین، ما یک قاعده برای به روزرسانی امتیاز فعالیت ها را طراحی می کنیم، یعنی زمان شنواری آزاد فعالیت حذف شده در هر فرایند حذف، منهای یک خواهد شد، مگر آنکه قبلاً صفر شده باشد. از طرف دیگر امتیازات فعالیت متناظر و امتیازات فعالیت حذف شده باید مطابق با رابطه ۳، به روزرسانی شود. این روند به همین ترتیب، ادامه می یابد تا در هیچ شکاف زمانی، تعارض منابع وجود نداشته باشد و در نهایت زمان بندی نهایی هر دو پروژه انجام گیرد. شکل ۳، فلوچارت الگوریتم حل بیان شده را نشان می دهد. این فلوچارت، خلاصه همه گام های بیان شده و همچنین بازخوردهای هر قسمت را بیان می کند.



شکل ۳. مکانیسم حذف تعارض

یافته های پژوهش

در این قسمت با استفاده از یک مثال عددی تصادفی، کاربرد و قابلیت روش بیان شده نشان داده می شود. داده های این مسئله نمونه مطابق جداول ۱ و ۲ داده شده است. همچنین ماکزیمم میزان منابع در دسترس فعالیت های هر دو پروژه نیز در جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۱. اطلاعات پروژه ۱

پروژه ۱				
فعالیت	پیش نیاز	طول زمان	میزان استفاده از منبع ۱	میزان استفاده از منبع ۲
فعالیت مجازی ابتدا	-	۰	۰	۰
فعالیت A	-	۲	۱	۰
فعالیت B	-	۴	۲	۱
فعالیت C	A	۴	۱	۲
فعالیت D	C	۱	۳	۲
فعالیت E	D	۲	۱	۲
فعالیت مجازی انتها	E	۰	۰	۰

جدول ۲. اطلاعات پروژه ۲

پروژه ۲				
فعالیت	پیش نیاز	طول زمان	میزان استفاده از منبع ۱	میزان استفاده از منبع ۲
فعالیت مجازی ابتدا	-	۰	۰	۰
فعالیت A	-	۲	۲	۲
فعالیت B	-	۱	۰	۱
فعالیت C	B	۳	۰	۱
فعالیت D	C	۲	۲	۳
فعالیت E	D	۱	۲	۱
فعالیت مجازی انتها	E	۰	۰	۰

جدول ۳. ماکزیمم منابع در دسترس پروژه ها

میزان در دسترس منبع ۱	میزان در دسترس منبع ۲
۳	۴

در ابتدا این پروژه ها جدا از منابع موردنیاز، زمان بندی می شوند. کد نویسی این زمان بندی ها در فصل قبل در بخش کد کردن کروموزوم ها توضیح داده شد. با قرار دادن داده ها در این الگوریتم نسبتاً ساده، میزان اتمام پروژه ها (C_{max})، زمان شروع و همچنین زمان پایان هر فعالیت محاسبه می گردد. (جدول ۴ و ۵)

جدول ۴. زمان بندی ابتدایی پروژه ۱ بدون در نظر گرفتن منابع

خروجی	معرف	نماد
[۱ ۳ ۲ ۴ ۵]	ترتیب انجام فعالیت ها	q
[۰ ۰ ۲ ۶ ۷]	زمان شروع فعالیت	ST
[۲ ۴ ۶ ۷ ۹]	زمان پایان فعالیت	FT
۹	مدت زمان انجام پروژه	C_{max}

جدول ۵. زمان بندی ابتدایی پروژه ۲ بدون در نظر گرفتن منابع

خروجی	معرف	نماد
[۱ ۲ ۳ ۴ ۵]	ترتیب انجام فعالیت ها	q
[۰ ۰ ۱ ۴ ۶]	زمان شروع فعالیت	ST
[۳ ۱ ۴ ۶ ۷]	زمان پایان فعالیت	FT
۷	مدت زمان انجام پروژه	C_{max}

جدول ۶. خروجی زمان شروع فعالیت های پروژه ۱

پروژه شماره ۱	
زمان شروع	شماره فعالیت
۰	۱
۰	۲
۰	۳
۲	۴
۶	۵
۹	۶
۱۱	۷

جدول ۷. خروجی زمان شروع فعالیت های پروژه ۲

پروژه شماره ۲	
زمان شروع	شماره فعالیت
۰	۱
۹	۲
۰	۳
۱	۴
۷	۵
۱۲	۶
۱۳	۷

با قرار دادن این داده ها در الگوریتم حل، خروجی زمان شروع فعالیت های پروژه ۱ مطابق جداول ۶ و ۷ توسط الگوریتم حل ارائه می گردد.

لازم به توضیح مجدد می باشد که فعالیت های ابتدایی و انتهایی هر پروژه در این مسئله، فعالیت های مجازی می باشند؛ یعنی زمان شروع آخرین فعالیت های پروژه ۱ و ۲، به ترتیب روز ۹ و روز ۱۲ می باشند.

همچنین جداول ۸ و ۹ به ترتیب بیانگر خروجی زمان پایان هر فعالیت از پروژه های ۱ و ۲ می باشند.

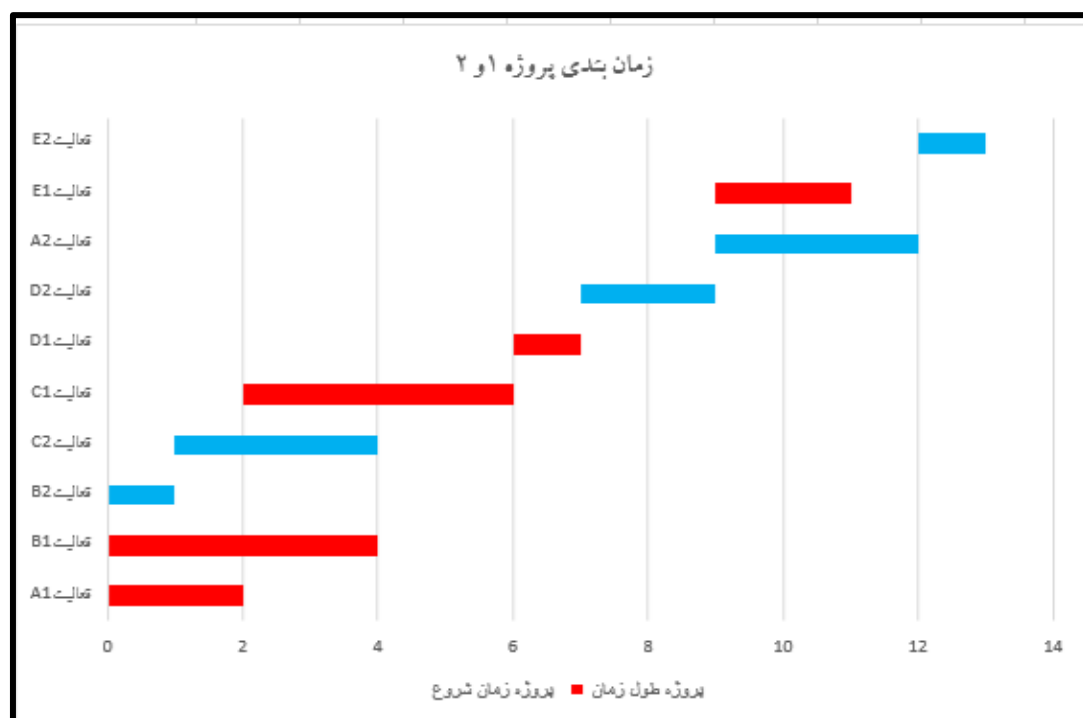
جدول ۸. خروجی زمان پایان فعالیت های پروژه ۱

پروژه شماره ۱	
زمان پایان	شماره فعالیت
۰	۱
۲	۲
۴	۳
۶	۴
۷	۵
۱۱	۶
۱۱	۷

جدول ۹. خروجی زمان پایان فعالیت های پروژه ۲

پروژه شماره ۲	
زمان پایان	شماره فعالیت
۰	۱
۱۲	۲
۱	۳
۴	۴
۹	۵
۱۳	۶
۱۳	۷

که مطابق با رابطه ۱، و با توجه به خروجی های به دست آمده، متوسط تأخیرهای پروژه برابر مقدار ۴ خواهد بود. با توجه به خروجی نرم افزار متلب، مطابق جدول ۶ تا ۹ که زمان شروع و زمان پایان هر فعالیت برای هر دو پروژه را نشان می دهند، زمان بندی نهایی این دو پروژه مطابق شکل ۴ رسم می گردد.



شکل ۴. زمان بندی نهایی پروژه ۱ و ۲

بحث

در این تحقیق، الگوریتمی جهت زمان بندی چندین پروژه پراکنده با رویکرد زنجیره بحرانی بیان شد که بتواند با حل کردن تعارض های موجود میان فعالیت ها به دلیل محدودیت منابع، زمان بندی پروژه ها را طبق ساختاری مشخص انجام دهد. این زمان بندی به طور هم زمان صورت می پذیرد و می تواند در برنامه ریزی و زمان بندی پروژه های متفاوت با منابع مشترک، به کار گرفته شود

در مطالعاتی که در خصوص پیشینه تحقیق صورت گرفت، مشاهده گردید که تحقیقات بسیار کمی در خصوص زمان بندی پروژه با رویکرد زنجیره بحرانی و همچنین مسائل زمان بندی چندین پروژه پراکنده با منابع محدود^۷ انجام گرفته است. خصوصاً تحقیقی به زبان فارسی در این حوزه یافت نشد. در نتیجه ساخت مدل ارائه شده در این تحقیق از ابتدا صورت گرفت و برای ساخت آن از منبعی استفاده نشد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

بررسی در خروجی نتایج نشان می دهد که با استفاده از الگوریتم بیان شده در این تحقیق، به جای زمان بندی جداگانه هر پروژه، می توان طبق ساختار ارائه شده، زمان بندی پروژه ها را به طور موازی و همزمان انجام داد تا منابع به طور بهینه مصرف شوند و زمان نهایی انجام همه پروژه ها از مجموع زمان جداگانه هر پروژه کوتاه تر باشد. این موضوع، با توجه به می تواند در برنامه ریزی و زمان بندی پروژه های متفاوت با منابع مشترک، به کار گرفته شود. علاوه بر ارائه این الگوریتم، خروجی ها و نتایج به دست آمده از این زمان بندی ها با سایر مقالات ارائه شده قابل مقایسه خواهد بود تا جدا از فهم نقاط ضعف و قوت تحقیق بیان شده، کیفیت نتایج نیز مورد قابل بررسی باشند.

پیشنهاد های برای پژوهش های آتی

۱- در این تحقیق، پارامترهای بافر پروژه و بافر تغذیه که امروزه به دلیل جلوگیری از اشتباه در زمان بندی پروژه و تخمین زمان اتمام پروژه ها، بخش جدایی ناپذیر در برنامه ریزی و زمان بندی پروژه ها می باشند، به دلیل محدودیت های محاسباتی در نظر گرفته نشده اند. محاسبه و در نظر گرفتن این دو ضربه گیر در زمان بندی پروژه ها، می تواند مقدار امتیاز هر فعالیت (حداقل در تحقیق پیش رو) را دستخوش تغییرات بنماید.

۲- غیر از شاخص APD (متوسط تأخیرهای پروژه ها) که در این تحقیق جهت مقایسه با سایر نتایج دیگر محققین استفاده شد، شاخص های دیگری از جمله شدت کاربرد منابع^۸، میزان جدایش های هر پروژه^۹ و ... جهت بررسی و ارزیابی با نتایج دیگر موجود می باشند.

۳- مسائل مختلفی در وبسایت MPSPLIB وجود دارند که منابع در دسترس پروژه ها، صرفاً منابع مشترک^{۱۰} نیستند. در بعضی مسائل، منابع در دسترس منابع محلی^{۱۱} می باشند که مختص یک پروژه است و فعالیت های سایر پروژه ها از آن استفاده نمی کنند. با کمی تغییر در الگوریتم ارائه شده در این تحقیق، می توان مسائل مذکور را نیز حل کرد و نتایج آن را مورد بررسی و کنکاش قرارداد.

⁷ DRCMPSP

⁸ AUF

⁹ RG

¹⁰ Global

¹¹ Local

منابع و مراجع

- [۱] آلاذ پوش، حمید؛ (۱۳۸۰). انستیتیو مدیریت پروژه آمریکا؛ دانش مدیریت پروژه، ۱۳۸۰، چاپ دوم، ص ۱۵۴-۱۵۳.
- [۲] حاج شیرمحمدی، علی؛ (۱۳۷۸). مدیریت و کنترل پروژه، اصفهان، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۷۸، چاپ اول، ص ۲۴.
- [۳] جبل عاملی، محمد سعید و سعیدی، حسین؛ (۱۳۸۶) مرور و طبقه بندی مدل های زمان بندی پروژه با در نظر گرفتن محدودیت منابع پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع.
- [۴] خواجه پور، محمود؛ (۱۳۹۰) به کارگیری تکنیک زنجیره بحرانی در مدیریت زمان پروژه های سازمان های تحقیقاتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- [۵] رایینز، استیفن پی و دی سنزو، دیوید ای؛ مبانی مدیریت، سید محمد اعرابی و محمد علی حمیدرفیعی، تهران، دفتر پژوهش های فرهنگی، ۱۳۷۹، چاپ اول، ص ۱۱۵-۱۱۶.
- [۶] رضائیان، جواد و شفیع پور عمرانی، مسعود و عبدالله پور، سنا؛ (۱۳۹۳) الگوریتم های فرا ابتکاری و کاربردهای آن، انتشارات جهاد دانشگاهی، مازندران.
- [۷] رضائیان، علی؛ (۱۳۷۶) اصول مدیریت، تهران، سمت، ۱۳۷۶، چاپ هشتم، ص ۸۶.
- [۸] رضایی نیک، ابراهیم و صادق پوررامی، محمدرضا و مهاجر باجگیران، مرتضی؛ (۱۳۹۵) زمان بندی پروژه با محدودیت منابع و استفاده از زنجیره بحرانی در محیط فازی (مطالعه موردی: طراحی ساخت توربین های بادی).
- [۹] شاه محمدی، اشکان و کاظمی، مرتضی؛ (۱۳۹۳) به کارگیری الگوریتم های ابتکاری در مسئله برنامه ریزی پروژه با منابع محدود.
- [۱۰] طارقیان، محمود و فراهی، محمد هادی و معرب، مژگان؛ (۱۳۸۵) زمان بندی پروژه با منابع محدود به کمک الگوریتم ژنتیک. مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۱۶.
- [۱۱] عالم تبریز، اکبر و عیوق، اشکان و بنی اسدی، مهدیه؛ (۱۳۹۵) ارائه و حل مدل مسئله زمان بندی زنجیره بحرانی پروژه با در نظر گرفتن بافر تغذیه.
- [۱۲] گلدرات، الیا هوام؛ (۱۳۸۵) زنجیر بحرانی، ترجمه داریوش نقشینه و نوشین آشوری، نشر آوین.
- [۱۳] گلشنی، مجتبی؛ (۱۳۸۲) برنامه ریزی و کنترل پروژه، انتشارات نشر زمان، تهران.
- [۱۴] گلگون، رضا؛ (۱۳۸۶) پیاده سازی مدیریت زنجیره بحرانی به منظور بهبود زمان و مدیریت عدم اطمینان در پروژه. چهارمین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه.
- [۱۵] موفق پور، محمد علی؛ (۱۳۹۵) زمان بندی توالی پروژه با فعالیت های دارای عدم قطعیت بازه ای
- [۱۶] مینایی فرد، مهرداد و زرندی، محمد و غلامی، سعیده؛ (۱۳۹۴) بررسی الگوریتم های بهینه سازی مسائل زمان بندی پروژه با محدودیت منابع.
- [۱۷] نادری پور، محمود؛ (۱۳۷۹) برنامه ریزی و کنترل پروژه، تهران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۷۹، چاپ چهارم، ص ۵۵-۵۰.
- [18] A.Lova, P.Tomas, Analysis of scheduling and heuristic rule performance in resource constrained multi project scheduling , Ann.Oper.Res.102(1-4)(2001)263-286
- [19] A.Sprecher, R.Kolisch, A.Drexel, Semi-active, active and non-delay schedules for resource constrained project scheduling problem, Eur.J.Oper.Res.80(1995)94-102
- [20] Jorge Homberger, A multi-agent system for the decentralized resource-constrained multi-project scheduling problem (2007).
- [21] I.S. Kurtulus, E.W. Davis, Multi-project scheduling: categorization of heuristic rules performance, Manage. Sci. 28 (2) (1982) 161-172.
- [22] K.Arto, I.Kulvik, J.Poskela, V.Turkulainen, The integrative role of project management office in the front end of innovation, Int.J.Proj.Manage.29(4)(2011)408-421
- [23] L.Florez, D Castro-Lacouture, Andres Medaglia, Sustainable workforce scheduling in construction program management. (2014)
- [24] M.H. Sebt, Y. Alipouri, Solving resource-constrained project scheduling problem with evolutionary programming, J. of the Oper. Res. Soc. 64 (9) (2013) 1327-1335.