حل مسئله تسطیح منابع در حالت چند پروژه ای به کمک الگوریتم ژنتیک

سیامک نوری
دانشیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران

حمیدرضا حداد
دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران
hamidrhaddad@gmail.com

چکیده

در پروژه ها، تسطیح منابع از اهمیت بالایی برخوردار است و همیشه مدیران پروژه به یک برنامه زمانبندی بر اساس مصرف بهینه منابع مورد نیاز برای تکمیل پروژه خود نیازمندند.
اکثر تحقیقات در راستای تسطیح منابع فقط در حالت تک پروژه ای صورت گرفته است، در حالیکه در بسیاری از سازمان ها، نظیر شرکت های پروژه محور، چندین پروژه به طور همزمان اجرا می گردند.
در این مقاله، پس از بررسی مفهوم کلی تسطیح منابع و مدلسازی مسئله در حالت تک پروژه ای، مسئله در حالت چند پروژه ای مورد مطالعه قرار می گیرد. بدین منظور یک مدل ریاضی با هدف کمینه کردن تغییرات سطح منابع مختلف به کار گرفته شده توسط کلیه پروژه ها ارایه می گردد.
*همچنین از آن جایی که مسئله تسطیح منابع یک مسئله **NP-complete** بوده و دستیابی به حل بهینه آن در حالت کلی امکان پذیر نیست، با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک سعی در بدست آوردن جواب تقریبی می گردد.*

کلید واژه:

تسطیح منابع، کنترل چند پروژه ای، الگوریتم ژنتیک

مقدمه

گسترش روزافزون پروژه ها و پیچیدگی مدیریت و زمان بندی فعالیت ها با توجه به تاثیر و اهمیت منابع در اجرای به موقع فعالیت ها و تکمیل پروژه، باعث شده است که توجه محققین به چگونگی مصرف منابع در این زمینه معطوف گردد. از این رو، تسطیح منابع همواره یکی از مسائل مورد توجه در زمینه مدیریت و کنترل پروژه به شمار می آید. ولی اکثر تحقیقات در این زمینه، در راستای تسطیح مصرف منابع برای اجرای یک پروژه بوده است، در حالی که در بسیاری از شرکت ها، در یک مقطع زمانی، چندین پروژه با استفاده از منابع مشترک به صورت همزمان اجرا می گردد. به همین منظور موضوعی که در این مقاله مورد ارزیابی قرار گرفته است، مسئله تسطیح منابع در حالت چند پروژه ای می باشد.

تسطیح منابع در حالت چند پروژه ای را می توان اینگونه تعریف نمود:
هنگامی که چندین پروژه مستقل با توجه به نداشتن محدودیت منابع بخواهند همزمان انجام شوند، به گونه ای که در هر واحد زمانی(روز، هفته، ماه و...) سطح منابع به کار گرفته شده توسط کلیه پروژه ها در آن محیط نسبت به واحد زمانی بعدی کمترین تغییرات را داشته باشند، تسطیح منابع، از نوع چند پروژه ای خوانده می شود.

۱. مرور ادبیات مسئله:

در ادبیات موضوع، تحقیقات زیادی در مورد زمانبندی پروژه با هدف تخصیص و تسطیح منابع صورت گرفته است. باندلونی و همکاران[۱] در مورد تسطیح منابع نامحدود تحقیق نمودند و روش بهینه ای در این زمینه ارایه دادند. هدف آن ها از ارایه این مقاله، زمانبندی تمام فعالیت های پروژه در روزهای مشخص بین فرجه فعالیت هاست، به گونه ای که مصرف منابع به گونه ای مطلوب باشد. روش آن ها برای مسائل با اندازه کوچک و متوسط مناسب بود. خطاب و سویلند[۲] مقاله ای تحت عنوان تخصیص منابع محدود در پروژه های ساختمانی ارایه دادند. این مسئله در بسیاری از پروژه های ساختمانی، هنگامی که محدودیت های مختلفی در میزان منابع در دسترس پیمانکار است، پدید می آید. مقاله آن ها یک روش هیورستیک را برای زمانبندی فعالیت ها بر اساس نرم افزار Primavera ارایه می کند.
کاستور و همکارانش[۱۷] با استفاده از مفهوم تسطیح منابع، راه حلی برای مسئله برنامه ریزی منابع محدود در پروژه ها (RCPSP) ارایه کردند و با استفاده از دو مثال واقعی به صورت مطالعه موردی[۱] به تشریح راه حل ارایه شده پرداختند.

یونس و سعد[۳] الگوریتمی برای حل بهینه تسطیح منابع ارایه دادند. الگوریتم آن ها حالت چند منبعی را پوشش می هد. این الگوریتم در سه سطح اصلی اجرا می شود که در ادامه هر سطح را به اختصار توضیح می دهیم.

در سطح اول، زمانبندی فعالیت های بحرانی و غیر بحرانی از روش مسیر بحرانی(CPM)صورت می پذیرد و برای هر فعالیت، زودترین زمان شروع، دیرترین زمان شروع، زودترین زمان پایان، دیرترین زمان پایان، فرجه کل و فرجه آزاد محاسبه می شود.

در سطح دوم، فعالیت جستجوی کلیه حل های ممکن صورت می پذیرد، به عبارتی با توجه به این ایده که هر فعالیت غیر بحرانی، در محدوده فرجه کل خود می تواند حرکت کند، بر اساس قاعده‌های خاص، یک ماتریس تشکیل می شود که شامل کلیه حل های ممکن است .

در سطح سوم، فرمول هایی برای محاسبه سطح منبع در هر لحظه ارایه شده است و برای حل ممکن که در سطح قبل به دست آمده، سطح منبع در هر لحظه از زمان محاسبه می شود و در نهایت، سطوح بدست آمده در فرمول نهایی گذاشته می شود و تابع هدف برای هر یک از حل های شدنی محاسبه می شود و آن حل ممکنی که دارای کمترین تابع هدف است، حل بهینه می باشد.

زمانبندی منبع، عنوان مقاله ای است که توسط گوردن و تولیپ[۴] ارایه شد. قصد آن ها از ارایه این تحقیق، طرح تاریخچه و مروری بر اصول فنی و پایه ای این دانش بوده است. همچنین به منظور یاری عموم خوانندگان برای درک بعضی از برنامه های زمانبندی، تاریخچه مختصری از نرم افزارهای تجاری نیز شرح داده شده است.

علوانی، کوریش، برکت و حافظ [۵] در مقاله خود به منظور مدیریت شایسته پروژه های ساختمانی، لزوم برپایی یک برنامه ریزی پروژه برای مصرف منابع را دریافتند. زیمرمن و نیومن [۶] نیز در زمینه تسطیح منابع تحقیقات گسترده ای انجام دادند، آن ها در ابتدا مروری بر کارهای انجام شده در این زمینه نمودند و سپس به ارایه رویه هایی برای تسطیح منابع پرداختند.

برای مسئله سرمایه گذاری منبع بدون محدودیت، دمولمیستر [۷] یک روش دقیق را بر پایه الگوریتم شاخه و حد برای مسئله زمانبندی پروژه با هدف کمینه کردن دوره پروژه ارایه کرده است. این مقاله شامل آنالیز عملکرد تجربی برای پروژه هایی تا ۲۰ فعالیت و دارای ۶ منبع است.

نیو من و زیمرمن [۸] مسائل زمانبندی پروژه با محدودیت منابع با توابع هدف غیر معمول را بررسی کردند، در حالی که محدودیت های زمانی معمول، که تاخیرات زمانی حداقل و حداکثر بین فعالیت ها تحمیل می کنند، در آن ها مطرح است. محدودیت های زمانی معمول شامل تاخیر زمانی حداقل و حداکثر بین شروع دو فعالیت مختلف می باشد. محدودیت های منبع در نظر گرفته شده اینگونه است که منابع تجدید شدنی مورد نیاز فعالیت های پروژه، محدود شوند. در این مقاله یک فرمول بندی دقیق از مسائل تسطیح منابع و ارزش فعلی خالص ارایه شده است.سپس علاوه بر یک رویه دقیق، برای مسئله ارزش فعلی خالص بدون محدودیت، روش شاخه و حد برای تسطیح منابع به تفصیل آمده است.

در طی سالیان گذشته، تحقیقاتی در زمینه زمانبندی چند پروژه ای صورت گرفته است که از آن ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

کرتلس و دیویس [۹] در زمینه زمانبندی چند پروژه ای تحقیق نمودند و مقاله ای در این راستا ارایه دادند. در مقاله آن ها استفاده از رویه های حل تجربی برای مسائل زمانبندی پروژه توصیه شده است. دکرو و همکاران [۱۰] استفاده از الگوریتم تجزیه را برای حل مساله چند پروژه ای با محدودیت منبع توسعه دادند. رویکرد تجزیه برای حل مسئله زمانبندی چند پروژه ای با محدودیت منابع، یک رویکرد محاسباتی ارایه می کند که قابلیت حل در محیط های زمانبندی پیچیده و بزرگ را نیز داراست.

لارنس و مورتن[۱۱] به بررسی مسئله زمانبندی چند پروژه ای با محدودیت منبع با تابع هدف کمینه سازی هزینه های دیرکرد وزن دار پرداختند. این مسئله معمولا در عمل وجود دارد و پیمانکاران، شرکت های مهندسی، پرسنل تعمیرات، تیم های تحقیق و توسعه و سایر سازمان های مشابه با آن روبرو می شوند. در این تحقیق، رویه های زمانبندی قوی و سریعی برای ایجاد زمانبندی هایی با هزینه کم برای چند پروژه که به چندین منبع نیاز دارند توسعه داده شده است و از آن جا که مسئله مورد بررسی، NP-Complete است، برای حل، روی روش های هیوریستیک تمرکز شده است.

اسپرانزا و ورچلی [۱۲] مدلی برای مسائل چند پروژه ای بدون تقدم که بر اساس یک تجزیه دو مرحله ای سلسله مراتبی از فرآیند زمان بندی و برنامه ریزی بوده است ارایه دادند. در این مدل، منابع به دو گروه تجدید شدنی و تجدید نشدنی طبقه بندی می شوند و فعالیت ها نیز بر طبق حالت های مربوط به ترکیب های مختلف مصرف منابع، هزینه و دوره زمان می توانند انجام شوند. در نهایت این دو محقق یک دسته از رویه های شاخه و حد را برای حل این مدل ارایه دادند. همچنین لوا و مارتو و تورماس [۱۳] در زمینه بهبود تخصیص منابع در زمانبندی چند پروژه ای، روش هیوریستیک چند معیاره ای ارایه دادند.

سن لئو و همکارانش،[۱۶] مسئله تسطیح منابع در حالت تک پروژه ای را به منظور برنامه ریزی پروژه های ساخت مطرح کردند و برای حل آن از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند.

یک مدل برای کنترل پروژه ها توسط سوبکیتانی و دکرو [۱۴] توسعه پیدا کرد. آن ها در مقاله خود، قانون اولویت کوتاهترین فعالیت از کوتاهترین پروژه را برای زمانبندی مسئله چند پروژه ای با بیش از ۵۰ پروژه که می توانند بیشتر از ۱۰۰ فعالیت داشته باشند، کد بندی نمودند و سرانجام یک مدل شبیه سازی برای تخصیص منابع چند پروژه ای توسط فاطمی قمی و اشجری [۱۵] ارایه شد. مدل های شبیه

سازی یکی از ابزارهای مناسب برای تحلیل سیستم های پیچیده است. با این وجود فرآیندی گران و زمان بر است و نیز برای حصول اطمینان از این امر که آیا مدل دقت لازم را دارد یا نه، باید تحقیق وسیعی صورت گیرد. این دو محقق در مقاله خود، سعی در تعریف و به کارگیری یک رویکرد عمومی برای این مسئله در حالت احتمالی نمودند. این مسئله به صورت یک صف چند کاناله مطرح شد، سپس یک مدل که با زبان شبیه سازی **GPSS** اجرا می شد، تولید گشت. در نهایت این نتیجه گیری صورت گرفت که مدل، این قابلیت را داراست که تابع توزیع زمان تکمیل، زمان تکمیل کار و همچنین توزیع منبع مصرف شده را بدست آورد.

مسئله تسطیح منابع، یک مسئله **NP-hard** بوده و دستیابی به حل بهینه در حالت کلی امکان پذیر نیست و برای حل تقریبی آن باید از برخی روش های ابتکاری یا روش های فراابتکاری استفاده کرد. در این مقاله، به ارایه یک روش حل، براساس روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک پرداخته می شود که در حالت چند پروژه ای تا کنون صورت نگرفته است. سایر قسمت های این مقاله عبارتند از:

در قسمت دوم، به تعریف مفهوم کلی تسطیح منابع پرداخته می شود. در قسمت سوم، مسئله مورد بحث در حالت چند پروژه ای مدلسازی شده و در قسمت چهارم نحوه حل مسئله توسط روش الگوریتم ژنتیک، تشریح می گردد. سرانجام در قسمت پنجم با ارایه چند مثال، به بررسی نتایج حاصل از حل مسئله پرداخته می شود.

۲. شرح مسئله تسطیح منابع در حالت چند پروژه ای

تعریفی که در ذیل ارایه می گردد بر اساس فرضیاتی است که برای حل مسئله مورد ارزیابی در نظر گرفته شده است.

هنگامی که چندین پروژه مستقل در محیطی با توجه به نداشتن محدودیت منابع بخواهند همزمان انجام شوند به گونه ای که در هر واحد زمانی(روز، هفته، ماه و...) سطح منابع به کار گرفته شده توسط کلیه پروژه ها در آن محیط نسبت به واحد زمانی بعدی کمترین تغییرات را داشته باشند، تسطیح منابع، از نوع چند پروژه ای خوانده می شود.

به عبارتی هدف مسئله تسطیح منابع در حالت چند پروژه ای، دستیابی به سطح مصرف ایده آل از منابع هنگام اجرای چندین پروژه است که به طور همزمان در یک محیط کاری اجرا می شوند. برای دستیابی به حل مسئله تعریف شده فرضیاتی در نظر گرفته شده است که در ادامه به آن ها اشاره می شود.

فرضیات مسئله تسطیح منابع در حالت چند پروژه ای عبارتند از:

- ✓ هنگامی که هر فعالیت آغاز می شود، به صورت پیوسته ادامه می یابد و قطع نمی گردد.
- ✓ هر فعالیت زمانی می تواند آغاز شود که کلیه فعالیت های پیش نیاز آن خاتمه یافته باشند.
- ✓ بین زمان ختم فعالیت های پیش نیاز و شروع فعالیت های بعدی هیچ تاخیر زمانی وجود ندارد، به عبارتی هر فعالیت بلافاصله پس از ختم فعالیت پیش نیازش مجاز می باشد که آغاز شود.
- ✓ تعداد منابع مورد استفاده هر فعالیت در طول اجرای فعالیت ثابت است.
- ✓ همه پروژه ها با هم همپوشانی منابع دارند.
- ✓ پروژه ها از یکدیگر مستقل بوده و هیچ فعالیت مشترکی ندارند.
- ✓ نوع منابع مورد استفاده در پروژه های مختلف مشترک می باشند.
- ✓ منابع مورد استفاده فعالیت های پروژه ها، از نظر مقدار مصرف در هر واحد زمانی هیچگونه محدودیتی ندارند.
- ✓ منظور از منابع نیروهای انسانی و کاری پروژه می باشد و ماشین آلات به حساب نمی آیند.

۳. مدلسازی مسئله

۳.۱. مدلسازی مسئله در حالت تک پروژه ای:

در تسطیح منابع، فرض بر آن است که منابع در دسترس نامحدود می باشد و هدف، حداقل کردن نوسانات منابع در طول زمان است.

در حالت ایده آل، پروژه باید به صورتی برنامه ریزی گردد که به جای وجود تغییرات و نوسان منبع مورد نیاز، در طول اجرای پروژه، تعداد نفرات لازم، ثابت (یکنواخت) باشند. متوسط نفرات لازم در هر روز برای اجرای پروژه برابرست با

(۱)

$$r = \frac{R}{T_c} = \frac{\sum r_t}{T_c}$$

که در آن r_t؛ عبارت از سطح منبع مورد نیاز در تاریخ t، T_c زمان تکمیل پروژه و R حجم کل منبع می باشد.

(۲)

$$R = \sum_{t=1}^{T_c} r_t$$

به علت وجود محدودیت های زیاد در امر اجرای پروژه ها، برنامه ریزی پروژه به نحوی که میزان احتیاجات به هر منبع در طول اجرای پروژه دقیقا ثابت و یکنواخت باشد، ممکن نیست. لذا در مدل های تسطیح یا موازنه منابع، سعی بر آن است که نوسانات در سطح احتیاجات به حداقل برسد.

در حالت ایده آل، باید رابطه زیر به ازای تمامی مقادیر ممکن t برقرار باشد:

(۳)

$$r_{t+1} - r_t = 0 \qquad (0 < t < T_c)$$

در عمل لازم است سعی شود رابطه مجموع مربعات تفاضل میزان احتیاج به منابع در تاریخ های مختلف در طول زمان اجرای پروژه، به حداقل برسد.

می توان تابع هدف مسئله را به صورت زیر نوشت:

(۴)

$$Min \sum_{t=1}^{T_{c-1}} (r_{t+1} - r_t)^2$$

$$st: \sum_{t=1}^{T_c} r_t = R$$

با توجه به منفی نبودن اجزای تابع هدف، مقدار تابع وقتی حداقل می شود که داشته باشیم:

(۵)

$$r_{t+1} = r_t$$

و در این صورت:

(۶)

$$r_{t+1} = r_t = \frac{R}{T_c}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

حال به جای تابع هدف اصلی مسئله، تابع هدف زیر را در نظر می گیریم:

$$Min \sum_{t=1}^{T_{c-1}} (r_t)^2$$

$$st: \sum_{t=1}^{T_c} r_t = R$$

(۷)

جواب بهینه این تابع نیز همان مقدار $r_t = \frac{R}{T_c}$ خواهد بود. به عبارت دیگر همان جواب هایی را که از برنامه ریاضی اولی قابل انتظار است، می توان از برنامه ریاضی اخیر به دست آورد.

مقدار r_t در هر تاریخ t برابرست با:

(۸)

$$r_t = \sum_{ij} r_{t_{ij}}$$

که در آن $r_{t_{ij}}$ عبارت از سطح منبع لازم برای اجرای فعالیت ij در تاریخ t بوده و مقدار r_t عبارت از جمع این مقدار برای همگی فعالیت ها که در تاریخ t اجرا می شوند، می باشد.

۳.۲. مدلسازی مسئله در حالت چند پروژه ای، هنگامی که چند نوع منبع داریم

تابع هدف مسئله در این حالت را می توان به شکل زیر بیان نمود:

(۹)

$$z = Min \sum_{t=1}^{T_{c1}} \left(\sum_{ij} (r_{t_{ij}}^1)^2 + \sum_{ij} (r_{t_{ij}}^2)^2 + \cdots + \sum_{ij} (r_{t_{ij}}^n)^2 \right) + \sum_{t=1}^{T_{c2}} \left(\sum_{ij} (r_{t_{ij}}^1)^2 + \sum_{ij} (r_{t_{ij}}^2)^2 + \cdots + \sum_{ij} (r_{t_{ij}}^n)^2 \right) + \ldots + \sum_{t=1}^{T_{cn}} \left(\sum_{ij} (r_{t_{ij}}^1)^2 + \sum_{ij} (r_{t_{ij}}^2)^2 + \cdots + \sum_{ij} (r_{t_{ij}}^n)^2 \right)$$

$$st: \quad \sum_{t=1}^{T_{c1}} r_t^1 = R_1$$
$$\sum_{t=1}^{T_{c1}} r_t^2 = R_2$$
$$\vdots$$
$$\sum_{t=1}^{T_{c1}} r_t^n = R_n$$
$$\sum_{t=1}^{T_{c2}} r_t^1 = R_1$$
$$\sum_{t=1}^{T_{c2}} r_t^2 = R_2$$
$$\vdots$$
$$\sum_{t=1}^{T_{c2}} r_t^n = R_n$$
$$\vdots$$
$$\sum_{t=1}^{T_{cn}} r_t^1 = R_n$$
$$\sum_{i=1}^{p} R_i = Q$$
$$r_{t_{ij}} \geq 0$$

که در آن r_k^t تعداد منبع لازم از نوع kام در تاریخ t، $\mathbf{P}$ تعداد پروژه ها و $\mathbf{Q}$ تعداد کل منابع موجود در سازمان پروژه است.

٤. بیان روش حل به کمک الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک که اولین بار توسط هالند و همکارانش در دانشگاه میشیگان مطرح شد، یکی از مهمترین الگوریتم های فراابتکاری می باشد که از آن برای بهینه سازی توابع مختلف استفاده می شود. در این الگوریتم اطلاعات، با توجه به خواص وراثتی، استخراج شده و در روند جستجو مورد استفاده قرار می گیرد. ایده اصلی این روش، علم ژنتیک طبیعی می باشد و دلیل اصلی جذابیت آن، این است که با فرضیات محدود کننده ای مثل پیوستگی فضای جستجو، مشتق پذیر بودن، تک حداکثری بودن و ... مواجه نمی شود. مراحل این الگوریتم عبارتند از:

۱- کد کردن مسئله
۲- تولید جامعه اولیه
۳- تعیین مکانیسم نمونه گیری
۴- انتخاب عملگر ژنتیکی مناسب
۵- تعیین معیار توقف
در ادامه هر مرحله را برای مسئله تسطیح منابع در حالت چند پروژه ای و با داشتن چند منبع اجرا می کنیم.

٤.١. کد کردن مسئله

الگوریتم ژنتیک به جای این که بر روی پارامترها یا متغیرهای مساله کار کند با شکل کد شده آن ها سروکار دارد. در مسئله حاضر، مسئله به شکل زیر کد می شود:

۱۹	۱۸	۲۱	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۶	۱۳	۱۱	۲

که در آن هر خانه، بیانگر یک روز مشخص از پروژه و عدد نوشته شده در هر خانه، نشان دهنده تعداد منابعی است که در آن روز برای انجام فعالیت ها مورد نیاز می باشد.
به هر ترکیب ممکن، مشابه جدول فوق، یک کروموزوم و به هر خانه این جدول یک ژن گفته می شود.
در این مسئله تعداد ژن ها را برابر با تعداد روزهای تکمیل طولانی ترین پروژه در نظر می گیریم.

٤.٢. تولید جامعه اولیه

مرحله دوم، به تولید یک نمونه اولیه به عنوان نسل اول اختصاص دارد. این نمونه به عنوان جامعه مبنا در روال حل مسئله مورد استفاده قرار می گیرد.
تولید جامعه اولیه معمولا به صورت کاملا تصادفی انجام می شود، ولی بهتر است با توجه به نیاز تابع هدف مسئله، جامعه اولیه مرتب شود تا زودتر به جواب های مناسب مسئله برسیم.
در این مسئله تمامی پروژه ها را به عنوان نمونه اولیه یا جامعه اولیه در نظر می گیریم. برای مرتب کردن جامعه اولیه نیز روش زیر پیشنهاد می شود که تا حد زیادی به روش برگس در مدیریت پروژه شباهت دارد:

☑ برای هر پروژه، شبکه **AOA** را به صورت جداگانه رسم نمایید.
☑ در هر پروژه، فعالیت ها را به ترتیب افزایش شماره رویداد پایانه از بالا به پایین مرتب کنید.در صورتی که فعالیت ها، دارای شماره رویداد پایانه برابر بودند، شماره رویداد پایه آن ها را در نظر بگیرید.
☑ در هر پروژه، از آخرین فعالیت لیست شروع کرده و به هر فعالیت به ترتیبی منابع را تخصیص دهید که مقدار رابطه زیر در حداقل ممکن باشد:

(۱۰)

$$\sum_{t=1}^{T_c}\left(\sum_{ij} r_{t_{ij}}\right)^2$$

با کمک این روش عمل تسطیح هر کدام از پروژه ها، تا حد زیادی صورت می گیرد. هرچند که هدف ما تسطیح یکپارچه کل پروژه هاست و در اکثر موارد، با جمع کردن پروژه ها، این تسطیح انجام شده تقریبا به طور کامل به هم می ریزد.

٤.٣. تعیین مکانیسم نمونه گیری:

پس از تولید نمونه اولیه به تعریف یک مکانیسم انتخاب نیاز داریم تا از بین کروموزوم های موجود، یک یا چند کروموزوم انتخاب شده و به کمک عملگرهای ژنتیکی، نسل بعدی ایجاد شود.
روش های مختلفی برای انتخاب وجود دارد. همه این روش ها علاوه بر این که برای کروموزوم هایی که احتمالا جواب مناسبی برای تابع هدف تولید می کنند شانس بیشتری قایل می شوند، عمل انتخاب را به صورت تصادفی انجام می دهند. دلیل امر این است که اگر عمل

جستجو فقط به دنبال کروموزوم های مناسب بگردد، تمامی فضای مسئله مورد جستجو قرار نمی گیرد و ممکن است مسئله اسیر بهنیه های موضعی شود و یک بهینه موضعی را به عنوان نقطه بهینه کلی ارایه کند.

یکی از روش های معروف، روش چرخ رولتی می باشد که در این مقاله مورد استفاده قرار می گیرد. قبل از این که به توضیح این روش بپردازیم، لازم است با مفهوم برازندگی آشنا شویم به طور کلی، رویکرد الگوریتم ژنتیک در حل مسایل، به سوی حداکثر نمودن تابع هدف متمایل است و در مورد حداقل نمودن، باید تابع جدیدی تعریف کرد که به آن تابع برازش گفته می شود. البته دلایل دیگری نیز برای تعریف تابع برازش در مسئله وجود دارد. در بعضی مسائل نیز ممکن است تابع برازش، عینا همان تابع هدف مسئله باشد.در این مسئله، تابع برازش به صورت زیر تعریف می گردد که در آن t برابر با شماره ژن و $r_{t_{ij}}$ برابر با تعداد منابع مورد نیاز است.

(۱۱)

$$f(t)=\frac{1}{r_{t_{ij}}}$$

حال به معرفی روش چرخ رولتی می پردازیم:

این روش اولین بار توسط هالند پیشنهاد شد و یکی از مناسب ترین انتخاب های تصادفی بوده که ایده آن، احتمال انتخاب می باشد.

احتمال انتخاب متناظر با هر کروموزوم، بر اساس برازندگی آن محاسبه شده که اگر **fk** مقدار برازندگی کروموزوم **K** باشد احتمال بقای متناظر با این کروموزوم عبارتست از:

(۱۲)

$$p_k=\frac{f_k}{\sum f_k}$$

حال کروموزوم ها را بر اساس p_k مرتب کرده و q_k که همان مقادیر تجمعی p_k ها می باشد را محاسبه می کنیم

(۱۳)

$$q_k=\sum p_k$$

چرخ رولت به این صورت عمل می کند که برای انتخاب هر کروموزوم، یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید کرده و عدد مذکور در هر بازه ای قرا ر گرفت، کروموزوم متناظر با آن، انتخاب می گردد. سپس یک دایره در نظر گرفته و آن را به تعداد کروموزوم ها طوری تقسیم می کنیم که هر بخش متناظر با مقدار برازندگی کروموزوم مربوطه باشد. حال چرخ را چرخانده و هر کجا که متوقف شد به شاخص چرخ نگاه کرده، کروموزوم مربوط به آن بخش انتخاب می شود.

٤. ٤. انتخاب عملگر ژنتیکی مناسب

عملگر های ژنتیکی ابزار ما در رسیدن به نقاط جدید مسئله می باشند و به کمک آن ها می توان تمامی فضای مسئله را برای رسیدن به جواب مسئله مورد جستجو قرار داد. در این مسئله ما از عملگر جهش استفاده می کنیم.

این عملگر فقط بر روی یک کروموزوم کار می کند و با تغییر مقادیر ژن ها، کروموزوم های جدیدی تولید می نماید.

شیوه تولید کروموزوم های جدید، به این صورت است که بر اساس یکی از مکانیسم های انتخاب مثل چرخ رولتی، یک کروموزوم را انتخاب می کنیم و مقدار یک یا چند ژن را در آن تغییر می دهیم. بنابراین نقطه جدیدی از فضای جواب مسئله بدست می آید.

در این مقاله، ابتدا ما مقادیر منابع به دست آمده از پروژه ها را با هم جمع کرده و آن را به عنوان پروژه کل یا کروموزوم کل می نامیم. هر کدام از ژن های این کروموزوم، نشان دهنده یک روز خاص پروژه و مقدار این ژن برابر با مجموع منابع مورد نیاز در آن روز است. سایر عملیات ژنتیکی بر روی این کروموزوم صورت می گیرد. به این صورت که بر اساس مکانیسم انتخاب چرخ رولتی، یکی از ژن ها انتخاب شده و به مقدار آن یک واحد اضافه می شود. سپس متغیری به نام **۲SD** تعریف می کنیم که بیانگر مجذور اختلاف مقادیر دو ژن متوالی کروموزوم است. سپس متغیر جدیدی به نام **۳TSD** تعریف می شود که برابر با مجموع مقادیر **SD** در کروموزوم پایه در هر باری که عمل انتخاب انجام می شود، است.

در واقع، **TSD** بیانگر سطح تسطیح منابع در هر بار عمل انتخاب است. به این معنی که مقادیر کمتر **TSD** نشان دهنده این است که در هر دو روز متوالی سطح منابع به هم نزدیک تر بوده و لذا منابع هم سطح تر هستند. در مقابل مقادیر بالای **TSD** نشان می دهد که در هر دو روز متوالی، مقدار منابع با هم اختلاف زیادی دارد و این در برنامه ریزی منابع به هیچ وجه مطلوب نیست.

شاید به نظر برسد که در حالتی که **TSD** برابر صفر است، یعنی زمانی که در تمام روزها تعداد منابع برابری داریم، تسطیح منابع در حالت ایده آل قرار دارد. در پاسخ باید گفت که این موضوع تا حدی صحیح است، البته باید این موضوع را در نظر گرفت که در این حالت در هر روز تعداد زیادی از افراد در پروژه بیکارند در حالی که، مزد دریافت می کنند و این به منزله تحمیل هزینه های اضافی بر سازمان پروژه است.

پس عمل تسطیح علاوه بر اینکه از نظر برنامه ریزی باید مناسب باشد، از نظر اقتصادی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. برای این منظور متغیر جدیدی به نام **h** تعریف می کنیم که بیانگر میزان هزینه به ازای هر واحد کارگری است که در یک روز از پروژه، بیکار بوده ولی حقوق دریافت می کند.

مسئله دیگری که مطرح است در مورد نوع عملگر ژنتیکی مورد استفاده در مسئله می باشد. همانطوری که بیان شد هر ژن در کروموزوم کل، بیانگر تعداد منابع مورد نیاز در یک روز به خصوص از پروژه است. بدیهی است که اگر مقداری کمتر از این عدد در آن روز در دسترس باشد، کار با مشکل روبرو می شود. از طرفی، هدف ما علاوه بر تسطیح منابع، کم کردن هزینه های اضافی وارد بر پروژه است. لذا در هر مرحله عدد یک را به ژن انتخاب شده اضافه می کنیم.

٤. ٥. تعیین معیار توقف

در الگوریتم ژنتیک، برای مسئله یک معیار توقف تعریف می شود و تا وقتی این شرط به وقوع نپیوسته، الگوریتم تکرار می شود. شرط توقف در مسائل مختلف، متفاوت است و بستگی به تابع هدف مسئله، اندازه جامعه و عملگر ژنتیکی به کار رفته دارد.

در این مسئله، ما شرط توقف را رسیدن به نسل شماره ۱۰۰۰ تعریف می کنیم.

٥. بررسی نتایج حاصل از مسئله

٥. ١. بررسی نتایج حاصل از حل مسئله در حالت چند پروژه ای و تک منبعی

در این قسمت با ارایه چند مثال به بررسی نتایج حاصل از حل مسئله توسط الگوریتم ژنتیک، در حالت چند پروژه ای با در نظر گرفتن یک نوع منبع می پردازیم.

کد کامپیوتری این مسئله با زبان برنامه نویسی ۶ **Visual Basic** نوشته شده است.

فرض کنید که سازمان پروژه، در یک مقطع زمانی، با سه پروژه با ویژگی های زیر روبرو است:

شماره پروژه	زمان تکمیل
۱	۱۰
۲	۹
۳	۷

همچنین وضعیت نیازاین ۳ پروژه از منبع **A** به شرح زیر است. این منابع طبق الگوریتم برگس مرتب شده اند.

روز / پروژه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۵	۵	۸	۷	۷	۷	۴	۳	۳	۲
۲	۴	۵	۵	۶	۷	۹	۹	۱۰	۸	۰
۳	۱۰	۸	۸	۷	۶	۴	۳	۰	۰	۰

پروژه کل یا کروموزوم پایه به صورت زیر بدست می آید:

۱۹	۱۸	۲۱	۲۰	۲۰	۲۰	۱۶	۱۳	۱۱	۲

به منظور بررسی سرعت عمل و دقت الگوریتم ژنتیک ارایه شده در این تحقیق، مثال حل شده در قسمت قبل را به وسیله نرم افزار **Lingo** حل و جواب بهینه را محاسبه کرده و همچنین زمان لازم برای رسیدن به این جواب بهینه را با مدت زمان لازم برای حل نزدیک به بهینه توسط الگوریتم ژنتیک مورد مقایسه قرار می دهیم. جدول زیر نتایج بدست آمده از حل مثال قسمت قبل را با نرم افزار **Lingo** و همچنین روش پیشنهادی در این تحقیق نشان می دهد.

جدول ۱. مقایسه حل توسط نرم افزار **Lingo** و الگوریتم ژنتیک در حالت سه پروژه ای

شماره پروژه	مدت زمان تکمیل	مقدار **TSD** بدست آمده توسط **Lingo**	مدت زمان لازم برای رسیدن به جواب در **Lingo** (ثانیه)	مقدار **TSD** بدست آمده توسط الگوریتم ژنتیک	مدت زمان لازم برای رسیدن به جواب در الگوریتم ژنتیک(ثانیه)
۱	۱۰	۳۲	۵۴۴.۲۶	۳۷	۱۹.۲۴
۲	۹				
۳	۷				

همانطور که ملاحظه می شود اگرچه روش الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، جواب کاملا بهینه ارایه نمی کند ولی از نظر سرعت رسیدن به جواب نزدیک به بهینه بسیار سریعتر از نرم افزار Lingo است.

به منظور بررسی دقیق تر به ارایه یک مثال دیگر با در نظر گرفتن پنج پروژه می پردازیم:

فرض کنید در این حالت با ۵ پروژه به شرح زیر روبرو هستیم.

شماره پروژه	مدت زمان تکمیل
۱	۱۴
۲	۱۵
۳	۱۰
۴	۷
۵	۱۲

همچنین وضعیت نیاز این ۵ پروژه از منبع A به شرح زیر است. این منابع طبق الگوریتم برگس مرتب شده اند.

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۵	۸	۸	۹	۱۰	۱۵	۱۵	۲۰	۲۱	۲۳	۲۰	۱۸	۱۴	۱۳	۰
۲	۱۰	۱۵	۲۰	۱۹	۱۸	۱۶	۱۶	۱۴	۱۱	۱۰	۱۰	۵	۴	۴	۳
۳	۲۰	۱۸	۱۰	۵	۴	۴	۴	۴	۳	۱	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۲	۱۸	۱۶	۱۴	۱۳	۱۲	۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۲	۹	۱۳	۱۲	۱۲	۱۲	۱۰	۸	۸	۵	۴	۱	۰	۰	۰

در جدول ۲ به مقایسه زمان و جواب های حاصل از حل توسط Lingo و الگوریتم ژنتیک پرداخته می شود.

جدول ۲. مقایسه حل توسط نرم افزار Lingo و الگوریتم ژنتیک در حالت پنج پروژه ای

شماره پروژه	مدت زمان تکمیل	مقدار TSD بدست آمده توسط Lingo	مدت زمان لازم برای رسیدن به جواب در Lingo (ثانیه)	مقدار TSD بدست آمده توسط الگوریتم ژنتیک	مدت زمان لازم برای رسیدن به جواب در الگوریتم ژنتیک(ثانیه)
۱	۱۴	۹۸۶	۱۱۲۴.۸۵	۹۹۵	۲۰.۱۰
۲	۱۵				
۳	۱۰				
۴	۷				
۵	۱۲				

۲.۵. بررسی نتایج حاصل از حل مسئله در حالت چند پروژه ای و چند منبعی

در این قسمت، مسئله را در حالت چند پروژه ای و با در نظر گرفتن چند نوع منبع حل می کنیم. برای این منظور مقادیر TSD را به ترتیب با در نظر گرفتن ۱، ۲ و ۳ نوع منبع در دوحالت ۳ و ۵ پروژه ای محاسبه می کنیم. تعداد منابع هر روز به طور تصادفی از بازه[۵۰-۰] انتخاب شده اند و توسط روش ارایه شده ۲-۳ منظم شده اند. جدول ۳ نتایج حاصل از حل مسئله را در این حالت نشان می دهد.

جدول ۳. مقایسه نتایج حاصل از حل مسئله در حالت چند پروژه ای و چند منبعی

تعداد پروژه ها / تعداد منابع		۱ نوع منبع	۲ نوع منبع	۳ نوع منبع
۳ پروژه	TSD	۳۷	۲۹۱.۵	۱۳۲.۵
	زمان(ثانیه)	۱۹.۲۴	۲۴.۱۸	۳۵.۸۴
۵ پروژه	TSD	۹۹۵	۷۴۲۱.۹۹	۳۷۲۴.۱۸
	زمان(ثانیه)	۲۰.۱۰	۲۸.۵۲	۳۹.۹۱

نتیجه گیری

در این مقاله مسئله تسطیح منابع در حالت چند پروژه ای مورد بررسی قرار گرفت. این مسئله به عنوان یک مسئله **NP- complete** شناخته شده است و حل آن توسط روش های معمول برنامه ریزی میسر نیست. از این رو برای حل آن برای اولین بار از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک استفاده شد.

در ابتدا مسئله را در حالت تک منبعی حل کرده و نتایج بدست آمده را با نتایج حاصل از حل توسط نرم افزار **Lingo** مورد مقایسه قرار دادیم. بر این اساس اگرچه روش ارایه شده، جواب کاملا بهینه را ارایه نمی کند، ولی در مدت زمان کوتاهی ما را به جواب مناسبی می رساند.

سپس در قسمت ۵. ۲. مسئله را در حالت چند منبعی مورد بررسی قرار داده مسئله را با در نظر گرفتن ۱، ۲ و ۳ نوع منبع در دوحالت ۳ و ۵ پروژه ای حل کردیم.

منابع

[۱]Bandelloni, M., Tucci, M., Rinaldi, R, Optimal resource leveling using non-serial dynamic programming. European Journal of Operational Research, Vol. ۷۸, ۱۹۹٤, PP. ۱٦۲-۱۷۷.

[۲] Khattab, M., Soyland, K., Limited-resource allocations in construction projects. Computers and Industrial Engineering, Vol. ۳۱, No. ۱/۲, ۱۹۹٦, PP. ۲۲۹-۲۳۲.

[۳] Younis, M.A., Saad, B, Optimal resource leveling of multi-resource projects. Computers and Industrial Engineering, V ol. ۳۱, No. ½, ۱۹۹٦, PP. ۱-٤.

[٤]Gordon, j., Tulip, A., Resource scheduling. International Journal of Project Management, Vol. ۱٥, No. ٦, ۱۹۹۷, PP. ۳٥۹-۳۷۰.

[٥]Elwany, M.H., Korish, lE., Aly Barakat, M., Hafez, S.M , Resource smoothening in repetitive projects. Computers and Industrial Engineering, Vol. ۳٥, No. ۳-٤, ۱۹۹۸, PP. ٤۱٥-٤۱۸

[٦] Neumann, K., Zimmermann, j., Resource leveling for project with schedule-dependent time windows. European Journal of Operational Research, Vol. ۱۱۷, ۱۹۹۹, PP. ٥۹۱-٦۰٥.

[۷]Demeulemeester, E., Minimizing resource availability costs in time limited project networks. Management Science, Vol. ٤۱, ۱۹۹٥, PP. ۱٥۹۰-۱٥۹۸.

[۸] Neumann, K., Zimmermann, j., Procedures for resource leveling and net present value problems in project scheduling with general temporal and resource constraints. European Journal of Operational Research, Vol. ۱۲۷, ۲۰۰۰, PP. ٤۲٥-٤٤۳.

[۹] Kurtulus, I., Davis,E.W., Multi-project scheduling: Categorization of heuristic rules performance. Management Science, Vol. ۲۸, ۱۹۸۲, PP. ۱٦۱-۱۷۲.

[۱۰] Deckro, R.F., Winskofsky, E.P., Herbert, j.E., Gagnon, R., A decomposition approach to multi-project scheduling. European. Journal of Operational Research, Vol. ٥۱, ۱۹۹۱, PP. ۱۱۰-۱۱۸.

[۱۱] Lawrence, S.R., Morton,T.E., Resource constrained multi-project scheduling with tardy costs: Comparing myopic, bottleneck, and resource pricing heuristics. European Journal of Operational Research, Vol. ٦٤, ۱۹۹۳, PP. ۱٦۸-۱۸۷

[۱۲] Speranza, M.G.., Vercellis, C., Hierarchical models for multi-project planning and scheduling. European Journal of Operational Research, Vol. ٦٤, ۱۹۹۳, PP. ۳۱۲-۳۲٥.

[۱۳] Lova, A, Maroto, C., Tormos, P., A multi criteria heuristic method to improve resource allocation in multi project scheduling. European Journal of Operational Research, Vol. ۱۲۷, ۲۰۰۰ PP. ٤۰۸-٤۲٤.

[۱٤] Tsubakitani, S., Deckro, RF., A heuristic for multi-project scheduling with limited resources in housing industry. European Journal of Operational Research, Vol. ٤۹, ۱۹۹۰, PP. ۸۰-۹۱.

[۱٥] Fatemi Ghomi, S.M.T., Ashjari, B., A simulation model for multi project resource allocation. International Journal of Project Management, Vol. ۲۰, ۲۰۰۲, PP. ۱۲۷-۱۳۰.

[۱٦] Sen Leu, s., Huei Yang, C., Ching Huang, J. Resource leveling in construction by genetic algorithm-based optimization and its decision support system application. Automation in Construction, vol ۱۰, ۲۰۰۰, pp. ۲۷–٤۱

[۱۷] Kastor, A., Sirakoulis, K. The effectiveness of resource leveling tools for Resource Constraint Project Scheduling Problem. International Journal of Project Management, ۲۰۰۸

پی نوشت

۱ ***Case study***

۲ *Squared deviation*

۳ *Total squared deviation*