مدل الگوریتم ژنتیک
برای مسأله تخصیص منابع محدود چند معیاره فازی

متین باقرپور - دانشگاه تربیت مدرس ، تهران

چکیده:

مسأله تخصیص منابع محدود یکی از مسائلی است که در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه جایگاه بسیار مهمی دارد. مطلوبیت زمان‌بندی فعالیت‌های یک پروژه علاوه بر زمان اتمام پروژه، به عوامل دیگری نیز بستگی دارد. از جمله این عوامل می‌توان به چگونگی استفاده از منابع موجود اشاره کرد. یک عامل دیگر هزینه انجام فعالیت‌ها است که بر جریان نقدی آنها در طول مدت انجام مؤثر است[13]. لذا یک مدل جامع برای مسأله تخصیص منابع محدود باید شامل معیارهای چندگانه زمانی و هزینه‌ای باشد. از سوی دیگر ماهیت غیر قطعی فعالیت‌ها در پروژه سبب می‌شود که مدل‌های قطعی جوابگوی بسیاری از پروژه‌های عملی نباشند. از این‌رو ما در مدل خود پارامترهای زمانی فعالیت‌ها، مقدار منابع مورد نیاز و جریان نقدی آنها در مدت انجام را به صورت اعداد فازی درنظر گرفته‌ایم. در این مقاله بر آن هستیم تا مدلی فراابتکاری[1] برپایه الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله تخصیص منابع محدود، ارائه نماییم. سه معیار «کمینه کردن مدت انجام پروژه[2]»، «کمینه کردن متوسط نوسانات استفاده از منابع[3]» و «بیشینه کردن ارزش ویژه کنونی[4]» برای مسأله درنظر گرفته شده‌اند.

کلمات کلیدی : ۱.مسأله تخصیص منابع محدود ۲.الگوریتم ژنتیک ۳.تئوری مجموعه‌های فازی ۴. تصمیم‌گیری چندمعیاره ۵. مدت انجام پروژه ۶. هموارسازی استفاده از منابع ۷.ارزش ویژه کنونی

۱- مقدمه

مسأله تخصیص منابع محدود (RCPS)[5] در حالت کلی یک مسأله بهینه‌یابی ترکیبی است که از لحاظ رده پیچیدگی NP_hard تلقی می‌شود [7]. روش‌های بهینه‌یابی موجود برای حل این مسأله (مانند مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی) عمدتاً شامل تعداد بسیار زیادی متغیر و محدودیت می‌باشند که از کارآیی عملی آنها در حل مسائل با ابعاد واقعی می‌کاهد. از این‌رو استفاده از روش‌های ابتکاری در حل این مسأله به‌جا می‌باشد. روش‌های ابتکاری برای حل مسأله تخصیص منابع محدود را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول، روش‌هایی هستند که فعالیت‌ها را طبق یک قاعده اولویت‌دهی[6] مرتب می‌کنند و سپس در هر مقطع زمان از بین فعالیت‌های باقی‌مانده، با رعایت محدودیت‌های پیش‌نیازی و ظرفیت منابع، فعالیت‌ها را طبق فهرست مرتب شده برای تخصیص منابع در آن مقطع زمان انتخاب می‌کنند. عیب اصلی این روش‌ها در این است که نمی‌توان یک قاعده کلی برای مرتب کردن فعالیت‌ها ارائه نمود و مطلوبیت جواب حاصل از قواعد اولویت‌دهی مختلف به شبکه فعالیت‌های پروژه بستگی دارد. بدین معنی که چنانچه قاعده‌ای که برای یک مسأله خاص جواب بهینه را به‌دست دهد، لزوماً همیشه موفق نخواهد بود[۱].

---
[1] -Meta Heuristric
[2] -Makespan
[3] -Resource Utilization Smoothness
[4] -Net Present Worth
[5] -Resource Constrained Project Scheduling
[6] -Priority Rule

دسته دوم روش‌های ابتکاری از یک (چند) جواب اولیه شروع می‌کنند و براساس سازوکارهای موجود در هر روش به بهبود آن جواب(ها) و نزدیک شدن به جواب بهینه اقدام می‌کنند. از مهم‌ترین این روش‌ها جستجوی ممنوع[1]، آنیلینگ شبیه‌سازی شده[2] و الگوریتم ژنتیک می‌باشند. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله تخصیص منابع محدود چندمعیاره استفاده شده است.

از سوی دیگر یکی از عواملی که استفاده از روش‌های قطعی را در حل مسأله تخصیص منابع محدود مورد تردید قرار می‌دهد، ماهیت غیر قطعی بسیاری از فعالیت‌هاست. به عنوان مثال در یک پروژه ساختمانی، مدت انجام فعالیت‌ها متأثر از تغییرات محیطی نظیر آب و هوا، تراکم مکانی، سطح بهره‌وری و غیره دارد. روش‌های غیر قطعی تصمیم‌گیری به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: احتمالی و فازی. ازآنجاکه به دلیل کمبود اطلاعات در مورد فعالیت‌های پروژه، پارامترهای مربوط به آنها توسط افراد خبره تخمین زده می‌شوند و اکثراً به صورت متغیرهای کلامی (عبارات فازی) بیان می‌شوند، استفاده از روش فازی برای مدل کردن این اطلاعات مناسب‌تر است.

ساختار این مقاله بدین صورت است: در بخش ۲ تعریف مسأله تخصیص منابع محدود به همراه فرض‌های درنظر گرفته شده ارائه می‌گردد. بخش ۳ به تشریح روش چندمعیاره فازی اختصاص دارد. در بخش ۴ ابتدا الگوریتم ژنتیک به صورت کلی معرفی می‌شود و سپس مراحل لازم برای استفاده از الگوریتم ژنتیک در حل مسأله تخصیص منابع محدود تشریح می‌گردد. نحوه عملکرد مدل پیشنهادی در بخش ۵ نشان داده می‌شود. در بخش ۶ نیز نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای مطالعات آینده مطرح می‌شود.

۲. تعریف مسأله تخصیص منابع محدود

n فعالیت داریم که بین آنها روابط پیش‌نیازی وجود دارد. این روابط از طریق یک شبکه (گراف جهت‌دار) مشخص می‌شود.
هر یک از فعالیت ها به یک یا چند واحد از m نوع منبع مختلف نیاز دارند که این منابع ممکن است مواد، ماشین‌آلات یا نیروی انسانی باشند.

محدودیت‌ها

به دلیل محدود بودن ظرفیت منابع و نیز روابط پیش‌نیازی بین فعالیت ها دو سری محدودیت به مسأله تحمیل می‌شود. لذا در هر مقطع زمان فعالیت هایی قابل برنامه‌ریزی هستند که:

۱) فعالیت‌های پیش‌نیازشان قبلاً انجام شده باشد.
۲) منابع مورد نیازشان موجود باشند (ظرفیت آزاد داشته باشند).

فرضیات مسأله

- پس از شروع هر فعالیت توقف[3] در آن مجاز نیست.
- ظرفیت منابع محدود و مشخص ولی غیر قطعی (به صورت عدد فازی) می‌باشد.
- ظرفیت منابع در تمام روزها یکسان است.
- مدت زمان لازم برای انجام هر فعالیت مشخص ولی غیر قطعی (به صورت عدد فازی) است.
- سطح مورد نیاز منابع برای هر فعالیت مشخص ولی غیر قطعی (به صورت عدد فازی) و بدون تغییر است. (این سطح با تغییر مدت زمان انجام فعالیت قابل تغییر نیست.)
- جریان نقدی هر فعالیت در هر روز از مدت انجام آن به صورت عدد فازی است.
- هر زمان که پیش‌نیازهای یک فعالیت انجام شده باشند، آن فعالیت قابل اجراست و به زمان آماده‌سازی احتیاج ندارد.

معیارها

- حداقل کردن زمان انجام پروژه
- حداکثر کردن جریان نقدی تنزیل یافته (ارزش ویژه کنونی)
- حداقل کردن نوسانات سطح استفاده از منابع

[1] -Tabu Search
[2] -Simulated Annealing
[3] -Preemption

۳. الگوریتم چند معیاره فازی

روشی که ما برای زمان‌بندی استفاده کرده‌ایم بر مبنای الگوریتم چندمعیاره زیمرمن می‌باشد[20].

یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره مشتمل بر انتخاب گزینه A_i از مجموعه گزینه‌های ممکن $A = \{A_1, A_2, ..., A_q\}$ می‌باشد، به‌نحوی که رضایت‌مندی[1] از مجموعه‌ای از معیارها یا قواعد تصمیم‌گیری مانند $R = \{R_1, R_2, ..., R_r\}$ را بیشینه نماید. چنانچه گزینه A_i معیار R_j را به میزان a_{ij} ارضا نماید و به‌ازای هر i و j $0 \le a_{ij} \le 1$ باشد، مجموعه مقادیر رضایت‌مندی برای معیار R_j را می‌توان به صورت یک مجموعه فازی $\overline{R}_j$ با تابع عضویت[2] به صورت زیر درنظر گرفت :

$$\mu_{\overline{R}_j}(A_i) = a_{ij} \qquad (۱)$$

به این ترتیب می‌توانیم کلیه معیارهای مجموعه R را به صورت معیار عمومی D درآوریم :

$$D = R_1 \quad AND \quad R_2 \quad AND. \ . \ .AND \quad R_r$$

چنانچه بخواهیم رابطه فوق را به صورت مجموعه‌های فازی نمایش دهیم :

$$\overline{D} = \overline{R}_1 \cap \overline{R}_2 \cap \ldots \cap \overline{R}_r \qquad (۲)$$

تابع عضویت تصمیم فازی D به صورت زیر خواهد شد :

$$\mu_{\overline{D}}(A_i) = \min_{1 \le j \le r}[\mu_{\overline{R}_j}(A_i)] \qquad (۳)$$

حال چنانچه گزینه A^* به عنوان انتخاب نهایی که بیشترین مقدار رضایت‌مندی عمومی معیار D را فراهم می‌آورد، درنظر بگیریم :

$$\mu_{\overline{D}}(A^*) = \max_{1 \le i \le q}[\mu_{\overline{R}_j}(A_i)] \qquad (۴)$$

برای تأکید بر تفاوت در میزان اهمیت معیارهای تشکیل‌دهنده D در فرآیند تصمیم‌گیری از وزن‌دهی استفاده می‌کنیم.

۴. مدل الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله تخصیص منابع محدود

۴-۱. مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک

اجرای الگوریتم ژنتیک برای حل یک مسأله شامل پنج مرحله به شرح زیر می‌باشد (مسقونی و دیگران،۱۹۹۹)[16] :

۱. ارائه شکل جواب مسأله به نحوی که برای الگوریتم ژنتیک مناسب باشد.

۲. تعیین روش تولید جمعیت اولیه که دربرگیرنده جواب‌های بالقوه مفید می‌باشد.

۳. تعیین تابع (توابع) برآورد نیکویی[3] جواب‌ها.

۴. تعیین عملگرهای ژنتیکی مانند تولید مثل، جهش و معکوس که ترکیبات فرزندان را در خلال تولید مجدد تحت تاثیر قرار می‌دهند.

۵. تعیین پارامترهای الگوریتم ژنتیک مانند اندازه جمعیت، تعداد نسل‌ها، نرخ تولید مثل[4] و احتمال جهش[5].

در زیر بخش‌های بعد مراحل فوق به طور کامل تشریح خواهد شد.

۴-۲. تعیین شکل جواب مسأله برای الگوریتم ژنتیک

در قالب استاندارد الگوریتم ژنتیک کروموزوم‌ها (جواب‌ها) به صورت رشته‌های دودویی می‌باشند؛ اما استفاده از این شکل برای بسیاری از مسائل عملی منجر به پیچیده شدن جواب‌ها می‌شود و در بسیاری موارد ارائه جواب به این شکل ناممکن می‌باشد. از این رو در کاربردهای الگوریتم ژنتیک برای مسائل بهینه‌سازی به جای کار کردن با رشته‌های دودویی پیچیده از شکل جواب متناسب با مسأله مورد نظر استفاده می‌شود.

همان‌طور که می‌دانیم حل مسأله تخصیص منابع محدود منجر به تعیین زمان شروع فعالیت‌های پروژه می‌گردد.پس جواب سازگار با الگوریتم ژنتیک برای این مسأله می‌تواند به صورت یک بردار به طول تعداد فعالیت‌ها باشد که درآیه‌های آن زمان شروع فعالیت متناظر با آن را نشان می‌دهد.

---

[1] -Satisfaction
[2] -Membership Function
[3] -Fitness Function
[4] -Crossover Rate
[5] -Mutation Rate

۴-۳. روش تعیین جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک

در الگوریتم‌های استاندارد ژنتیک جمعیت اولیه به صورت تصادفی به‌دست می‌آید. این روش برای مسائل بدون محدودیت می‌تواند مناسب باشد، هرچند در این مسائل نیز چنانچه از جواب‌هایی که به مراتب ارزش (نیکویی) بیشتری دارند، شروع کنیم سریع‌تر به جواب نزدیک به بهینه می‌رسیم، اما معمولاً الگوریتم ژنتیک برای حل مسائلی به‌کار می‌رود که روشی برای تعیین جواب مناسب وجود ندارد.

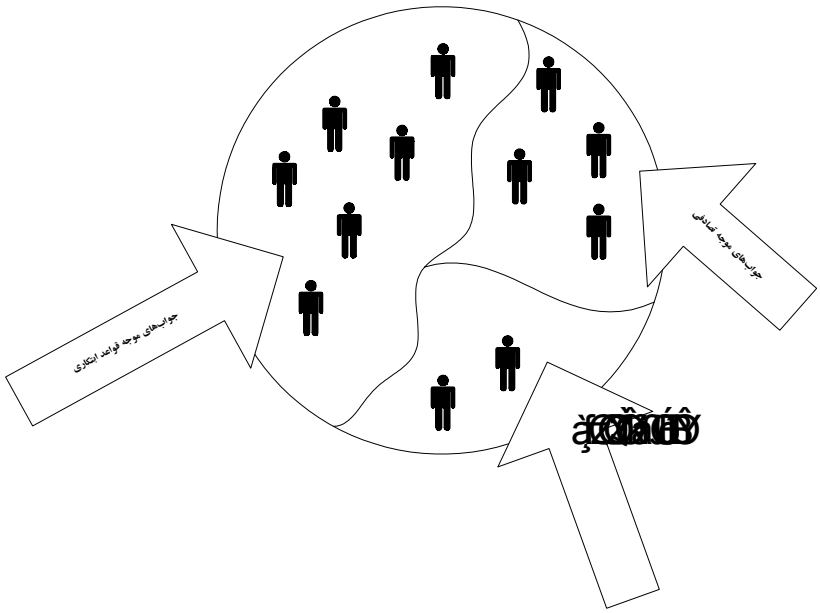
اما هنگامی که صحبت از مسائلی مانند مسأله تخصیص منابع محدود به میان می‌آید ، دیگر نمی‌توان جواب‌های اولیه را به‌طور تصادفی تعیین کرد. چراکه در این صورت هیچ تضمینی وجود ندارد که جواب‌ها موجه باشند. ازاین‌رو ناچار هستیم جمعیت اولیه را به نحوی انتخاب کنیم که کلیه جواب‌ها موجه باشند.

ما برای تولید جواب‌های اولیه از قواعد اولویت‌دهی (که در بخش ۱ معرفی شدند) استفاده می‌نماییم. جدول ۱ شامل معروف‌ترین قواعد اولویت‌دهی می‌باشد.

در اینجا لازم است که یکی از تمهیداتی را که در الگوریتم‌های جستجوی فضای جواب برای پرهیز از گرفتار شدن در تله بهینه محلی استفاده می‌شود، ذکر نماییم.

شرط لازم برای پذیرفتن یک جواب در الگوریتم‌های جستجو، چه به عنوان جواب اولیه و چه در گام‌های تکراری، موجه بودن آن است. اما چنان‌که می‌دانیم، یکی از مشکلات این الگوریتم‌ها امکان گرفتار شدن در بهینه محلی به جای بهینه عمومی است. یکی از روش‌هایی که برای پرهیز از این مشکل مورد استفاده قرار می‌گیرد، اجازه پذیرفتن جواب غیر موجه با جریمه بالا در گام‌های تکراری الگوریتم می‌باشد. این امر در الگوریتم ژنتیک بدین صورت خواهد بود که یک جواب غیر موجه را به عنوان جواب اولیه یا فرزند (خروجی) عملگرهای ژنتیکی در گام تکرار در جمعیت بپذیریم با این تفاوت که در محاسبه تابع هدف متناظر با آن یک مقدار جریمه بزرگ منظور نماییم. به این ترتیب امکان انتخاب جواب غیر موجه در نسل‌های بعد عملاً سلب می‌شود اما این شانس برای آن باقی می‌ماند که در صورتی که پیوند آن با یک جواب (کروموزوم) دیگر در جمعیت منجر به تولید فرزند به مراتب بهتری شود، این فرزند به عنوان جواب جدید در نسل بعد قرار گیرد.

به همین دلیل ما نیز در مدل پیشنهادی تعداد محدودی جواب غیر موجه (که به صورت تصادفی تولید شده‌اند) در جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک درنظر گرفته‌ایم و با تخصیص یک مقدار جریمه بزرگ در تابع هدف آنها را مشخص کرده‌ایم.نهایتاً ترکیب جمعیت اولیه به صورتی که در شکل ۲ نشان داده شده است، خواهد بود.



شکل ۲ – ترکیب جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسأله تخصیص منابع محدود

جدول ۱- قوانین اولویت‌دهی فعالیت‌های قابل برنامه‌ریزی

شماره	قانون	نام	فرمول
۱	**EST**	زودترین زمان شروع	$EST_j = Max_K\{EF_k\}$
۲	**EFT**	زودترین زمان ختم	$EFT_j = Min_K\{ES_k\}$
۳	**LST**	دیرترین زمان شروع	$LST_j = Max_K\{LF_k\}$
۴	**LFT**	دیرترین زمان ختم	$LFT_j = MIN_K\{LS_k\}$
۵	**MINSLK**	کمترین شناوری	$MINSLK = Min\{SLK_j\}$
۶	**MAXSLK**	بیشترین شناوری	$MAXSLK = Max\{SLK_j\}$
۷	**SPT**	کوتاه‌ترین زمان انجام	$SPT = Min\{d_j\}$
۸	**LPT**	طولانی‌ترین زمان انجام	$LPT = Max\{d_j\}$
۹	**MAXTWK**	حداکثر مقدار کل کار	$MAXTWK = Max\{f_j\}$
۱۰	**MINTWK**	حداقل مقدار کل کار	$MINTWK = Min\{f_j\}$
۱۱	**LRPW**	کمترین ضریب وزنی	$LRPW = Min_i\left\{d_i + \sum_{j\in S_i} d_j\right\}$
۱۲	**GRPW**	بیشترین ضریب وزنی	$GRPW = Max_i\left\{d_i + \sum_{j\in S_i} d_j\right\}$
۱۳	**LIS**	کمترین تعداد پیش‌نیازها	$LIS = Min_i\lvert S_i\rvert$
۱۴	**MIS**	بیشترین تعداد پیش‌نیازها	$MIS = Max_i\lvert S_i\rvert$
۱۵	**GRD**	بیشترین تقاضای منبع	$GRD = Max_i d_i \sum_{k=1}^{NR} r_{ki}$
۱۶	**MAXCON**	بیشترین فعالیت محدود شده	$Max\{Z^{t=x}CP - LS_i\} = \Omega_i$
۱۷	**MAXDCF**	بیشترین جریان نقدی تنزیل یافته	$q_i = \sum_{j=1}^{d_i} f_{ij} e^{\alpha(d_i - j)}$
۱۸	**FCFS**	اولین فعالیت قابل برنامه‌ریزی	$Min\ i$
۱۹	×××	شبکه ـ پیش‌نیاز	$\alpha_i S_i + (1-\alpha_i)\sum_k \frac{r_{ik}}{R_k}$

۴-۴. روش محاسبه توابع هدف مسأله

نحوه محاسبه زمان انجام پروژه :

زمان انجام پروژه برابر زمانی است که آخرین فعالیت پروژه خاتمه یابد.

$$Makespan = Max_i\{S_i \oplus d_i\} \qquad (۱۱)$$

که در آن S_i زمان شروع فعالیت i و d_i زمان ختم آن و $\oplus$ جمع فازی آنها می‌باشد.

یک راه ساده برای به‌دست آوردن میزان رضایت‌مندی (تابع عضویت فازی) از مقدار به‌دست آمده فوق (که یک عدد فازی مثلثی می‌باشد)، نرمال کردن آن می‌باشد.

××× اشجری برای قانون پیشنهادی خود نامی انتخاب نکرده

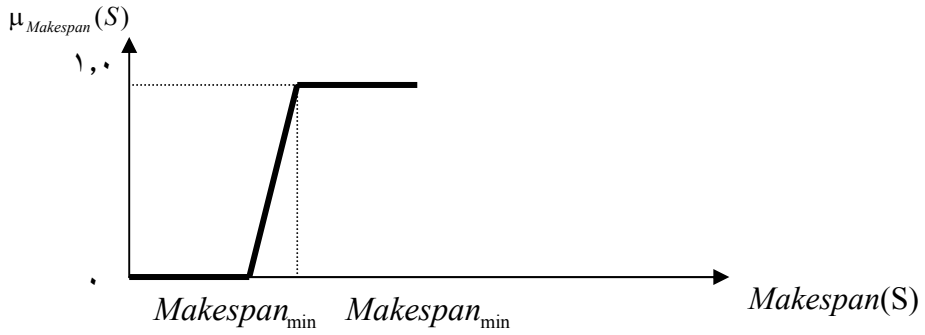
(۱۲)

$$\mu_{Makespan}(S)=\begin{cases}0 & Makespan(S)<Makespan_{\min}\\ \dfrac{Makespan(S)-Makespan_{\min}}{Makespan_{\max}-Makespan_{\min}} & Makespan_{\min}<Makespan(S)\le Makespan_{\max}\\ 1 & Makespan(S)\ge Makespan_{\max}\end{cases} \quad (۱۳)$$

$$Makespan_{\max}=\sum_{i=1}^{NJ} d_i$$

$$Makespan_{\min}=Max_i\{d_i\} \quad (۱۴)$$

که در آن S یک جواب مسأله به فرمی که گفته شد، می‌باشد. شکل این تابع عضویت به صورت خطی می باشد که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- تابع عضویت خطی

نحوه محاسبه جریان نقدی تنزیل یافته[1] (ارزش ویژه کنونی) :

$$DCF=\sum_{i=1}^{NJ}\sum_{j=1}^{d_i} f_{ij}\otimes e^{-\alpha(S_i+j)}\overset{F}{-}(Makespan\overset{F}{-}D)\otimes P\otimes e^{-\alpha\otimes(Makespan)} \quad (۱۵)$$

در صورتی که مدت انجام پروژه از موعد تحویل آن بیشتر باشد (در غیر این صورت عبارت دوم از رابطه فوق حذف می‌شود).

$$DCF_{\max}=\sum_{i=1}^{NJ}\sum_{j=1}^{d_i} f_{ij}\otimes e^{-\alpha j} \quad (۱۶)$$

$$\mu_{DCF}(S)=\begin{cases}\dfrac{DCF(S)}{DCF_{\max}} & DCF(S)\le DCF_{\max}\\ 1 & DCF(S)>DCF_{\max}\end{cases} \quad (۱۷)$$

نحوه محاسبه متوسط نوسانات استفاده از منابع:

مقدار تابع هدف را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد :

$$RUS(S)=\sum_{i=1}^{NR}\sum_{j=1}^{Makespan(S)-1}\left|R_i(j)-R_i(j+1)\right| \quad (۱۸)$$

که در آن $R_i(j)$ برابر مقدار مصرف منبع i در روز j می‌باشد :

[1] -Discounted Cash Flow

$$R_i(j) = \sum_{k\in\{S_k \le j \le S_k + d_k\}} r_{ik} \qquad (۱۹)$$

که در آن r_{ik} مقدار منبع i مورد نیاز فعالیت k می‌باشد.

حال برای تعیین تابع عضویت این معیار کافی است کمترین مقدار تابع هدف را از رابطه فوق بیابیم، چراکه هدف کمینه کردن این معیار می‌باشد.

$$\mu_{RUS}(S) = \frac{RUS_{\min}}{RUS(S)} \qquad (۲۰)$$

نحوه محاسبه تابع عضویت کل:

$$Max\mu_D = Max\{Min(w_1 \otimes \mu_{Makespan}, w_2 \otimes \mu_{DCF}, w_3 \otimes \mu_{RUS})\} \quad (۲۱)$$

$w_1 \oplus w_2 \oplus w_3 \cong (1,1,1)$ به‌نحوی که :

۴-۵. انتخاب عملگرهای ژنتیکی

انتخاب عملگرها مهم‌ترین بخش الگوریتم ژنتیک می‌باشند. در واقع الگوریتم ژنتیک به وسیله عملگرهای ژنتیکی عمل جستجو روی فضای جواب را برای یافتن جواب‌های جدید انجام می‌دهد. معمولاً سعی می‌شود عملگرها به‌نحوی تعریف شوند که تابع نیکویی جواب های جدید (فرزندان) بهتر از والدین باشد.

عملگر انتخاب

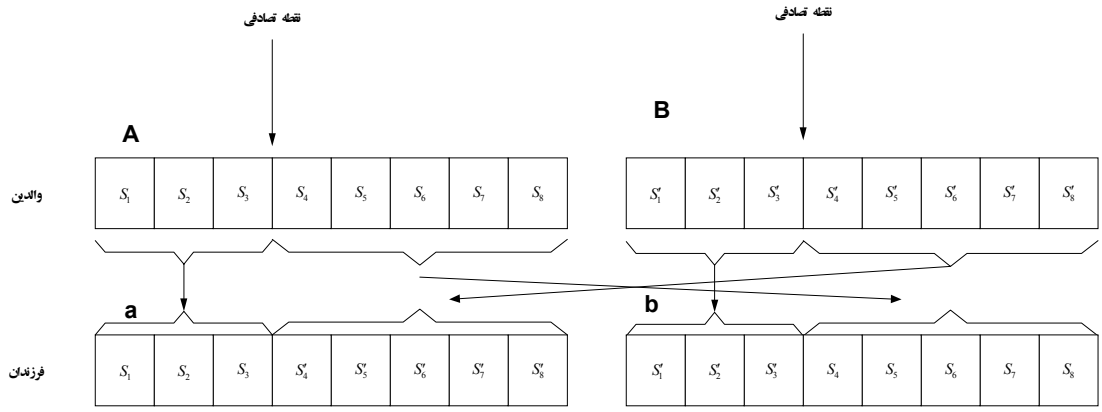
این عملگر به طور تصادفی هر بار دو جواب از جمعیت فعلی را به عنوان والدین انتخاب می‌کند تا عمل تولید مثل را انجام داده، دو جواب جدید (فرزندان) تولید نمایند. برای جلوگیری از انجام تولید مثل توسط جواب‌هایی که در جمعیت فعلی کارآیی کمتری دارند، پس از انتخاب یک زوج مجاز بودن آنها برای تولید مثل سنجیده می‌شود. به این ترتیب که متوسط مقدار تابع عضویت جواب‌های انتخاب شده با متوسط مقدار تابع عضویت کلیه جواب‌های جمعیت مقایسه می‌شود و چنانچه کمتر از این مقدار بود، انتخاب دوباره صورت می‌گیرد تا جایی که بزرگ‌تر یا مساوی متوسط کل جمعیت باشد.

عملگر تولید مثل

عملگر تولید مثل یکی از مهم‌ترین ابزارهای الگوریتم ژنتیک برای تولید جواب‌های جدید می‌باشد. این عملگر دو عملوند (ورودی) دارد که والدین خوانده می‌شوند و دو خروجی دارد (فرزندان) که از ترکیب والدین و/یا اعمال تغییراتی روی آنها پدید می‌آیند. چنانچه نیکویی این فرزندان از والدین بیشتر باشد در جمعیت به عنوان اعضای جدید پذیرفته می‌شوند و امکان بقا در نسل و تولید مثل می‌یابند.

یکی از نکات مهم در تعریف این عملگر این است که حتی‌المقدور فرزندان از والدین بهتر باشند. چنانچه با مسأله‌ای با یک معیار مواجه باشیم انتخاب عملگر تولید مثل به‌نحوی که جواب‌هایی بهتر از والدین تولید کند، چندان دشوار نخواهد بود. ولی در حالت مسأله چند معیاره تعریف عملگری که بتواند جواب‌هایی تولید کند که مقدار کلیه معیارها در آنها بهبود یافته باشد، بسیار دشوار می‌باشد. چرا که در این مسائل غالباً معیارها با یکدیگر ناسازگار بوده و بهبود جواب در جهت یکی از معیارها می‌تواند به بدتر شدن آن در جهت سایر معیارها منجر گردد. از این‌رو ما عملگر تولید مثل را بدون توجه به این موضوع به صورت تصادفی انتخاب کرده‌ایم، اما برای اصلاح جواب‌ها عملگر جدیدی معرفی نموده‌ایم که در ادامه مطرح می‌گردد.

ما عملگر تولید مثل را به صورت معمول آن در الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار داده‌ایم. یعنی یک نقطه تصادفی روی بردارهای جواب (والدین) انتخاب می‌شود و جواب‌ها از آن نقطه شکسته می‌شوند. نیمه راست پدر به همراه نیمه چپ مادر فرزند اول را تشکیل می‌دهند و به همین ترتیب نیمه‌های دیگر والدین فرزند دوم را می‌سازند. شکل ۴ به خوبی این فرآیند را نشان می‌دهد.



شکل ٤- نحوه عملکرد عملگر تولید مثل

لازم به ذکر است که فرزندانی که بدین طریق به‌دست می‌آیند، لزوماً جواب‌های موجه مسأله نمی‌باشند. از این‌رو مشابه آنچه در مورد جوب‌های ناموجه تصادفی در بخش مربوط به جواب‌های اولیه گفته شد، پس از شناسایی جواب‌های غیر موجه حاصل از تولید مثل با تخصیص یک مقدار جریمه بزرگ در تابع هدف آنها را مشخص می‌کنیم تا به این ترتیب شانس انخاب شدن برای نسل بعد عملاً از آنها سلب شود.

عملگرهای بهبود

عملگرهای بهبود از عملگرهای استاندارد الگوریتم ژنتیک نمی‌باشند، بلکه ما آنها را برای مدل الگوریتم ژنتیک ویژه مسأله تخصیص منابع محدود تعریف کرده‌ایم.

این عملگرها یک عملوند داشته و بر روی جواب‌های حاصل از تولید مثل اعمال می‌شوند و بر اساس مقدار توابع هدف اقدامات اصلاحی روی آن انجام می‌دهند.اقدام اصلاحی می‌تواند به یکی از صور زیر باشد:

- بهبود زمان کل انجام پروژه
- بهبود بهره‌وری از منابع
- بهبود ارزش ویژه کنونی

معمولاً عملگرهای ژنتیکی به‌نحوی طراحی می‌شوند که مقدار متوسط تابع هدف جمعیت با افزایش تعداد نسل‌ها بهبود یابد. چنان‌که با مسأله تک‌معیاره روبرو باشیم تعریف عملگر مناسبی که بتواند جوابی با نیکویی بهتری تولید کند چندان دشوار نخواهد بود. اما در مسأله چندمعیاره بسته به اینکه بخواهیم جواب‌ها را نسبت به کدام معیار بهبود دهیم عملگر مناسب متفاوت خواهد بود. از این‌رو ما به تعداد معیارهای مسأله عملگر بهبود آنها را تعریف کرده‌ایم.

تصمیم‌گیری روی اینکه تحت چه شرایطی از کدام عملگر بهبود (اقدام اصلاحی) استفاده شود، به وضعیت خود جواب بستگی دارد؛ یعنی باید بتوانیم به طریقی تشخیص بدهیم که جواب فعلی موجود در جمعیت از لحاظ کدام معیار نیاز به اصلاح دارد.

۵. مثال نمونه

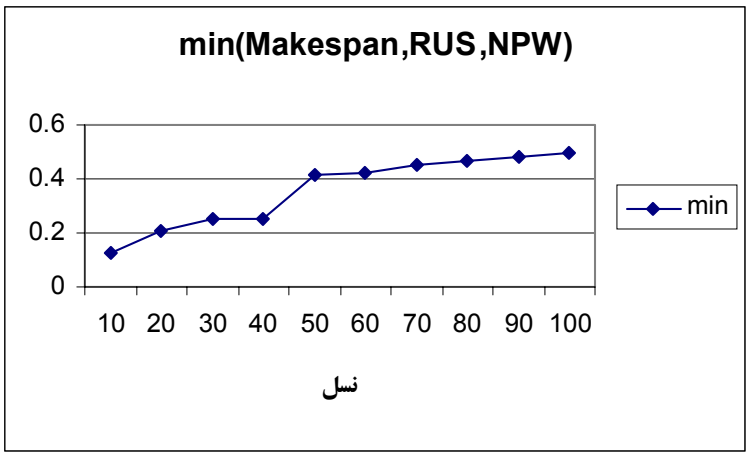
برای اینکه کارآیی مدل الگوریتم ژنتیک بهبود یافته (با استفاده از عملگرهای اصلاح) را نشان دهیم، چند مثال نمونه را توسط نرم‌افزار Lingo حل کرده‌ایم. برای مقایسه کارآیی این دو روش دو شاخص درنظر گرفته‌ایم که یکی از آنها زمان لازم برای حل مسأله و دیگری مقدار متوسط به‌دست آمده برای تابع هدف جواب‌های موجود در جمعیت نهایی الگوریتم ژنتیک می‌باشد. با مراجعه به جدول ۶ مشخص می‌شود که با بزرگ شدن ابعاد مسأله کارآیی الگوریتم ژنتیک اصلاح شده در مقایسه با نرم‌افزار Lingo بهتر می‌باشد.

لازم به ذکر است که از آنجا که جواب‌های اولیه مسأله توسط قواعد اولویت‌دهی معرفی شده در جدول ۱ به‌دست آمده‌اند که عمدتاً در جهت ارضای اهداف زمانی (مدت انجام پروژه) طراحی شده‌اند، مشاهده می‌شود که میزان بهبود این معیار توسط مدل الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در مقایسه با دو معیار دیگر کمتر می‌باشد و تقریباً ثابت مانده است. حتی در بعضی از تکرارهای الگوریتم ژنتیک مقدار متوسط جمعیت برای این معیار کاهش یافته است. در مقابل بهبود عملکرد جمعیت از لحاظ دو معیار دیگر چشمگیر است (شکل‌های ۵ و ۶). این امر به مفهوم انجام تبادل بین معیارهای مختلف است.

بدین معنی که جواب‌ها در جهت رسیدن به یک تصمیم کلی که از ترکیب معیارهای مختلف به‌دست می‌آید، اصلاح می‌شوند و لذا ممکن است زمانی مطلوبیت جواب برای یک معیار خاص کاهش یابد، در حالی که مطلوبیت کلی آن با توجه به کلیه معیارها بهبود یافته است.

جدول ۲- مقایسه کارآیی مدل الگوریتم ژنتیک ارائه شده با مدل برنامه‌ریزی ریاضی خل شده توسط نرم‌افزار Lingo

شماره مسأله تصادفي	تعداد فعالیت‌ها	تعداد منابع	زمان حل GA	زمان حل LINGO
1	10	1	2.6 s	0.7 s
2	10	1	3.4 s	0.8 s
3	10		3.9 s	6.3 s
4	10	2	4.2 s	5.7 s
5	20	1	12 s	2:13 min
6	20	1	14 s	1:47 min
7	20	2	52 s	8:33 min
8	20	2	1:33 min	10:14 min
9	30	1	7:32 min	حل نمي‌شود
10	30	1	6:08 min	حل نمي‌شود



شکل ۵- نمودار تغییرات تابع هدف کل (تصمیم فازی)

۶. موضوعاتی برای تحقیقات آینده

با توجه به مجموعه فرض‌های مسأله تخصیص منابع محدود، با حذف یا تغییر شکل هر یک از این فرضیات می‌توان شکل جدیدی از مسأله را تعریف نمود که در مدل کردن واقعیت موفق‌تر باشد. از آن جمله می‌توان به حالت‌های زیر اشاره کرد :

۱. امکان توقف اجرای فعالیت‌ها پس از شروع آنها.
۲. امکان تغییر ظرفیت منابع پس از شروع پروژه (ظرفیت منابع متغیر با زمان باشد).

۳. درنظر گرفتن منابع غیر قابل تجدید (منابع مصرفی).
۴. درنظر گرفتن زمان آمادگی برای فعالیت‌ها.

همچنین می‌توان امکان جایگزینی فعالیت‌ها با یکدیگر یا امکان تغییر مدت زمان انجام فعالیت‌ها در جهت عکس تغییر در میزان منابع تخصیص یافته به آنها در مدل منظور کرد.

فهرست مراجع

[۱] اشجری ب.، تخصیص منابع چند پروژه‌ای،پایان‌نامه دکتری، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۷۹.
[۲] غیور ژ.؛ کثیرزاده م.، اقتصاد مهندسی ، مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹.
[3] Boctor F.F. , “A new and efficient heuristic for scheduling projects with resource restrictions and multiple execution modes”, European Journal of Operational Research, Vol. 90, pp. 349-361, 1996.
[4] Chang C.K.; Chao C.; Nguyen T.T.; Christensen M. , “Software Project Management: A New Methodology on Software Management”, IEEE, Vol. , pp. 534-539, 1998.
[5] Fanti M.P.; Maione B.; Naso D.; Turchiano B. , “Genetic multi-criteria approach to flexible line scheduling”, International Journal of Approximate Reasoning, Vol. 19, pp. 5-21, 1998.
[6] Fu C.C.; Wang H.F. , “Fuzzy Resource Allocation in Project Management when Insufficient Resources are Considered”, IEEE, Vol. , pp. 290-295, 1998.
[7] Garey M.; Johnson D. , Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness, Freeman, San Francisco, CA, 1979.
[8] Ghoshray S.; Yen K.K. , “More Efficient Genetic Algorithm For Solving Optimization Problems”, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. , No. , pp. 4515-4520, 1995.
[9] Goldberg D.E. , Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addision Welsey, 1989.
[10] Hapke M.; Jaszkiewicz A.; Slowinski R. , “Fuzzy Project Scheduling with Multiple Criteria”, FUZZ IEEE, Vol. , pp. 1277-1282, 1997.
[11] Hapke M.; Slowinski R. , “Fuzzy Priority Heuristics for Project Scheduling”, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 83, pp. 291-299, 1996.
[12] Haupt R.L.; Haupt S.E. , Practical Genetic Algorithms, John Wiley & Sons, New York, 1998.
[13] Icmeli O.; Erenguc S.S. , “A Tabu Search Procedure for the Resource Constrained Project Scheduling Problem with Discounted Cash Flows”, Computers Operations Research, Vol. 21, No. 8, pp. 841-853, 1994.
[14] Ishibuchi H.; Murata T , “Local Search Procedures in a Multi-Objective Genetic Local Search Algorithm for Scheduling Problems”, IEEE, Vol. , pp. 665-670, 1999.
[15] Leu S.S.; Chen A.T.; Yang C.H. , “A GA-based fuzzy optimal model for construction time-cost trade-off”, International Journal of Project Management, Vol. 19, pp. 47-58, 2001.
[16] Mesghouni K.; Pesin P.; Trentesaux S.; Hammadi C.; Tahon C.; Borne P. , “Hybrid approach to decision-making for job-shop scheduling”, Production Planning & Control, Vol. 10, No. 7, pp. 690-706, 1999.
[17] Sakawa M.; Kubota R. , “Fuzzy programming for multiobjective job shop scheduling with fuzzy processing time and fuzzy duedate through genetic algorithms”, European Journal of Operational Research, Vol. 120, pp. 393-407, 2000.
[18] Tamura H.; Shibata T.; Tomiyama S.; Hatono I. , “A Meta-Heuristic Satisficing Tradeoff Method for Solving Multi-objective Combinatorial Optimization Problems with Application to Flowshop Scheduling”, IEEE, Vol. , pp. 539-544, 1999.
[19] Yeh C.H.; Deng H. , “An Algorithm for Fuzzy Multi-Criteria Decision making”, IEEE International Conference on Intelligent Systems, October 28-31, Beijing, China, pp. 1564-1568, 1997.
[20] Zimmermann H.J. , Fuzzy Set Theory and its Application, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1996.