تخصیص چند معیاره منابع محدود پروژه های IT به کمک الگوریتم ژنتیک فازی

مسعود کفایتمند غیور
کارشناس ارشد مهندسی صنایع و مدیر برنامه ریزی و کنترل پروژه موسسه شهید همت
M.Kefayatmand@Gmail.com
حسن جهانشاهی
دکترای مهندسی صنایع – ریاست گروه صنایع و استادیار دانشگاه امام حسین (ع)
h_jahan6@Hotmail.com
مسعود مصدق خواه
دکترای مهندسی صنایع – معاونت آموزش و تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی و مهندسی و استادیار دانشگاه امام حسین(ع)
mmosdegh@ihu.ac.ir

واژه‌های کلیدی
زمانبندی ، چند معیاره ، منابع محدود ، پروژه های **IT** ، فازی ، ژنتیک

چکیده
در این مقاله تلاش می شود ، با یک مدل ذهنی که عدم قطعیت را در نظر دارد و پیچیدگیهای موجود در پروژه های واقعی IT را تا اندازه زیادی در نظر می گیرد ، روشی برای برنامه ریزی این پروژه ها ارائه شود.

برای حل مساله برنامه ریزی و زمانبندی پروژه در شرایط محدود بودن منابع با بهره گیری از دو مورد از مولفه های اصلی رایانش نرم (هوش محاسباتی) یعنی الگوریتم ژنتیک و تئوری فازی ، روشی ارائه میشود. در این روش که روشی چند معیاره برای تخصیص منابع محدود پروژه محسوب می گردد ، کلیه پارامترهای مساله به صورت اعداد فازی در نظر گرفته می شوند و زمانبندی فعالیتها در آن بصورت موازی و مبتنی بر الگوریتم ژنتیک می باشد. ضمن تعریف دقیق مسأله و فرضها و محدودیت‌های آن ، محاسبات مربوط به اعداد فازی که در مدل الگوریتم ژنتیک استفاده میگردند، تشریح می شوند و در پایان به ارائه و توصیف مدل چند معیاره پرداخته می شود و ضمن بررسی یک مثال واقعی در حوزه IT نتایج حاصله را ارائه می گردد.

مقدمه

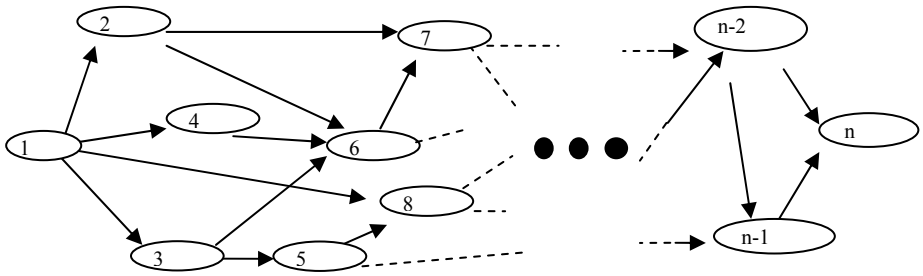
پیتر سنگه بزرگترین کاستی گروههای مدیریتی را در این می داند که تلاش می کنند واقعیات پیچیده را با زبانی که برای مسائل ساده طراحی شده است ، حل کنند و در جایی دیگر تفکر مبتنی بر مدلهای ساده ذهنی را به عنوان عامل مشکل زا معرفی می نماید.[۱] در این مقاله تلاش می شود ، با یک مدل ذهنی که عدم قطعیت را در نظر دارد و پیچیدگیهای موجود در پروژه های واقعی IT را تا اندازه بیشتری در نظر می گیرد ، روشی برای برنامه ریزی این پروژه ها ارائه شود.

برای حل مساله برنامه ریزی و زمانبندی پروژه در شرایط محدود بودن منابع با بهره گیری از دو مورد از مولفه های اصلی رایانش نرم (هوش محاسباتی) یعنی الگوریتم ژنتیک و تئوری فازی ، روشی ارائه میشود. در ابتدا تعریف دقیقی از مسأله و فرضها و محدودیت‌های آن مطرح میگردد. در ادامه، محاسبات مربوط به اعداد فازی که در مدل الگوریتم ژنتیک استفاده میگردند، تشریح می شوند و در پایان نیز به ارائه و تشریح مدل چند معیاره خود می پردازیم و ضمن بررسی یک مثال واقعی در حوزه IT نتایج حاصله را ارائه می دهیم.

تعریف مساله و مشخصه های آن

زمانبندی مسأله با منابع محدود (RCPS)[1] در حالت کلی به صورت زیر تعریف می‌شود:

n فعالیت داریم که بین آنها روابط پیش‌نیازی وجود دارد. این روابط از طریق یک شبکه[2] که می‌تواند به صورت زیر باشد مشخص می‌شود:



شکل ۱- شبکه فعالیت‌های پروژه

هر یک از فعالیت‌ها به یک یا چند واحد از m نوع منبع مختلف نیاز دارند که این منابع ممکن است مواد، ماشین‌آلات یا نیروی انسانی باشند.در پروژه های IT منابع ما عموما نیروی انسانی می باشد.

به دلیل محدود بودن ظرفیت منابع و نیز روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها، دو سری محدودیت به مسأله تحمیل می‌شود. لذا در هر مقطع زمان فعالیت‌هایی قابل انجام هستند که:

۱) فعالیت‌های پیش‌نیازشان قبلاً انجام شده باشد.

۲) منابع مورد نیازشان موجود باشند (ظرفیت آزاد داشته باشند)

هدف برنامه‌ریزی تخصیص منابع به فعالیت‌هاست به نحوی که پروژه در زودترین زمان ممکن خاتمه یابد، در عین اینکه هزینه‌های تحمیل شده به پیمان‌کار حتی‌المقدور کم باشند. منظور از هزینه‌ها، هزینه‌هایی همچون هزینه ناشی از بیکار ماندن منابع، هزینه ناشی از

---

1 - Resource Constrained Problem Scheduling

2 - Graph

بهره‌وری ناصحیح از منابع، هزینه دیرکرد (یا پاداش زودکرد)، هزینه معطل ماندن فعالیت در انتظار آزاد شدن منبع و از این دست می‌باشد.این هدف می تواند در قالب معیارهای زیر تامین شود :

ـ حداقل کردن زمان انجام پروژه

ـ حداکثر کردن جریان نقدی تنزیل یافته (ارزش خالص کنونی)

ـ حداقل کردن نوسانات سطح استفاده از منابع

مفروضات ما در این مساله نیز عبارتند از :

ـ شبکه تقدم و تأخر فعالیت‌ها جهت‌دار است.

ـ پس از شروع هر فعالیت توقف و تعلیق در آن مجاز نیست.

ـ ظرفیت منابع محدود و معین به شکل دقیق می‌باشد.

ـ مدت زمان لازم برای انجام هر فعالیت قابل تعیین ولی به حالت غیر دقیق (به صورت عدد فازی) است و این مقدار در مدت انجام پروژه ثابت می باشد.

ـ سطح مورد نیاز منابع برای هر فعالیت قابل تعیین به شکل غیر دقیق (به صورت عدد فازی) و بدون تغییر است. (این سطح با تغییر مدت زمان انجام فعالیت قابل تغییر نیست.)

ـ جریان نقدی هر فعالیت در هر روز از مدت انجام آن مشخص ولی غیر دقیق (به صورت عدد فازی) است.

– برای هر فعالیت به لحاظ منابع ، تعداد محدودی روش انجام وجود دارد که هر یک متناظر با یک حالت تخصیص منبع می باشد و زمان و هزینه هر یک می تواند متفاوت باشد. همچنین هزینه و زمان انجام فعالیت می تواند با توجه به سطح توانمندی ، تجربه و تخصص منابع انسانی بکارگرفته شده و یا برون سپاری[1] بخشهایی از کار ، متفاوت باشد.

– توجه عمده به تخصیص منابع تجدید پذیر و غیر مصرفی می باشد اما علی رغم عدم تعیین کننده نبودن منابع مصرفی و غیر کاری با توجه به ویژگی پروژه های IT و نیز عدم محدودیت اینگونه منابع بطور عمومی ، هزینه احتمالی ناشی از این منابع در قالب جریان نقدی می تواند منظور شود.

تعیین مقادیر فازی به روش دلفی

کلیه مقادیری را که در فرض مساله از آنها به عنوان قابل تعیین یاد شد به روش دلفی (دلفای) فازی تعیین می کنیم. برای این منظور مطابق گامهای ذیل عمل می نماییم تا مدت زمان فعالیتها و میزان مصرف منابع توسط آنها را تعیین کنیم :

الف) گام اول : تعداد n فرد خبره و کارشناس برای تخمین مقادیر مرتبط با زمان و منابع در پروژه انتخاب می کنیم و مقادیر پیشبینی شده توسط آنها را دریافت می کنیم . این مقادیر در قالب یک عدد فازی مثلثی به صورت زیر نمایش داده می شوند :

$$\tilde{\tilde{A}}_{ij}^{k} = \left(a_{ij}^{k} , b_{ij}^{k} , c_{ij}^{k} \right) \qquad (1)$$

i : شماره فرد خبره ($i = 1,2,\ldots,n$)

k : مرحله یا شماره تکرار (در قدم اول $k=1$ است)

j : شماره فعالیت ($j = 1,2,\ldots,N$)

ب) گام دوم : مقدار پیشنهادی کارشناسان مختلف برای هر فعالیت را در یک دسته قرار می دهیم. مجموعه S_j^k که مجموعه نظرات خبرگان مختلف برای فعالیت $\boldsymbol{j}$ در مرحله $\boldsymbol{k}$ می باشد به صورت زیر خواهد بود :

$$S_j^k = \left\{ \tilde{\tilde{A}}_{ij}^{k} \text{ , } \boldsymbol{i} = 1, 2 ,\ldots, n \right\} \qquad (2) \qquad \boldsymbol{j} = 1, 2 , \ldots , N$$

[1] - Outsourcing

ج) گام سوم : توسط مدیر پروژه یا تیم مدیریت پروژه در ارتباط با هر فعالیت به هریک از خبرگان وزنی تخصیص داده می شود که این وزن نشان دهنده میزان اعتماد مدیر یا تیم مدیریت به اظهار نظر هر خبره یا کارشناس نسبت به فعالیت ها می باشد و به صورت W_{ij} نشان داده می شود. این کار را می توان به روش مقایسه زوجی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[1] انجام داد .

د) گام چهارم : در این مرحله بر اساس $\tilde{\tilde{A}}_{ij}^{k}$ و W_{ij} تعیینی در مراحل قبل برای فعالیت j میانگین مجموعه S نظیر را بدست می آوریم. این مقدار در مرحله k به صورت زیر خواهد بود :

$$\tilde{\tilde{A}}_{mj}^{k} = (a_{mj}^{k} , b_{mj}^{k} , c_{mj}^{k}) \qquad (3)$$

که در آن :

$$a_{mj}^{k} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (w_{ij}^{k} a_{ij}^{k})}{\sum_{i=1}^{n} w_{ij}^{k}} \qquad j = 1, 2,..., N \qquad (4)$$

و رابطه مربوط به محا سبه b_{mj}^{k} و c_{mj}^{k} نیز کاملا مشابه رابطه فوق است.

ه) گام پنجم : پس از محاسبه مقادیر $\tilde{\tilde{A}}_{mj}^{k}$ ، برای هر فرد خبره و کارشناس ، اختلاف از میانگین به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\Delta = (a_{mj}^{k} - a_{ij}^{k} , b_{mj}^{k} - b_{ij}^{k} , c_{mj}^{k} - c_{ij}^{k}) \qquad \mathbf{(5)}$$

اگر فرآیند به حالت پایدار رسیده باشد یعنی Δ از حدی که مدیریت پروژه تعیین می کند ، کوچکتر باشد ، الگوریتم متوقف می شود و $\tilde{\tilde{A}}_{mj}^{k}$ به دست آمده به عنوان مقدار تخمینی فازی برای فعالیت j در نظر گرفته میشود . در غیر اینصورت این اطلاعات برای هر فرد خبره و کارشناس فرستاده می شود.

و) گام ششم : پس از ارسال اطلاعات ، از فرد خبره خواسته می شود که با توجه به اطلاعات موجود ، یک تخمین جدید برای مقادیر مربوط به فعالیت به صورت زیر ارائه دهد :

$$\tilde{\tilde{A}}_{ij}^{k+1} = (a_{ij}^{k+1} , b_{ij}^{k+1} , c_{ij}^{k+1}) \qquad (6)$$

پس از دریافت تخمین جدید ، حال مقدار k را برابر با مقدار $k+1$ در نظر میگیریم و از گام دوم مجددا آغاز می کنیم .

محاسبات فازی در مدل

برای پرهیز از محاسبات پیچیده در مساله ، از اعداد فازی مثلثی و قواعد حاکم بر آنها استفاده می کنیم . برای محاسبات پیشروی در شبکه نیز از روش مقایسه مدد می گیریم . در این روش ، در گره های جوششی ، عددی ماکزیمم خواهد بود که به ترتیب اولویت در شاخصهای زیر بزرگتر باشد:

الف) شاخص میانگین پارامترهای توزیع

$$m_{(i)} = \frac{a_i + 2b_i + c_i}{4} \qquad (7)$$

ب) شاخص پراکندگی توزیع

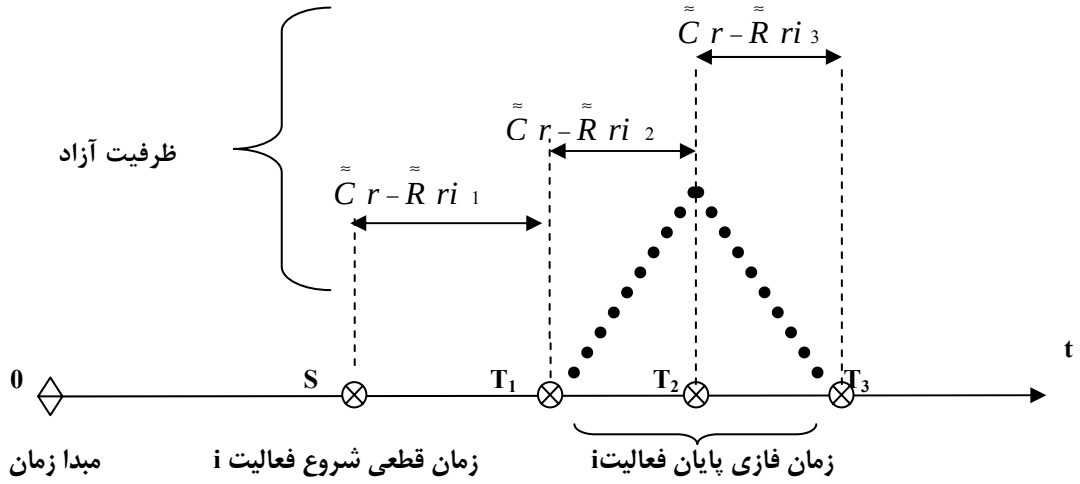
$$S_{(i)} = \frac{a_i^2 + b_i^2 + c_i^2 + a_i b_i + a_i c_i + b_i c_i}{18} \qquad (8)$$

[1] - Analytical Hierarchy Process

محاسبات فازی دیگری در محاسبه ظرفیت آزاد منابع در پیش خواهیم داشت. روشی که ما برای این منظور در پیش گرفته‌ایم بر این فرض ساده استوار است که هرچه فعالیت بیشتر طول بکشد بیشتر ، منبع مصرف میکند. به عبارت دیگر هرچه زمان از کمترین میزان ممکن به بیشترین مقداری که گمان آن می رود افزایش یابد ، این افزایش دامنگیر مصرف منابع ما هم خواهد شد. این فرض بویژه در پروژه های IT که اصلی ترین منابع آن نیروی انسانی متخصصی باشد ، ملموس تر است. این دیدگاه در شکل ۲ نشان داده شده است.

$\tilde{\tilde{C}}_r$: ظرفیت منبع

$\tilde{\tilde{R}}_{ri\ j}$: مؤلفه j ام ($j = 1,2,3$) مقدار فازی منبع r مورد نیاز برای فعالیت i



شکل ۲ ـ نحوه محاسبه ظرفیت آزاد منابع در حین انجام فعالیت‌ها با آغاز قطعی

یعنی اگر مقدار لازم از منبع r برای فعالیت i را با $\tilde{\tilde{R}}_{ri}$ نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\tilde{\tilde{R}}_{ri\ j} = (R_{ri\ j}, R_{ri\ j}, R_{ri\ j}) \quad \textbf{(9)}$$

در واقع ما در اینجا مدت فازی انجام فعالیت i را به سه بازه قطعی تقسیم کرده‌ایم. اولین بازه از زمان شروع فعالیت i (که زمانی قطعی است) شروع می‌شود و تا حد پایین زمان ختم فعالیت i (که خود عددی فازی مثلثی است و روش محاسبه آن پیشتر توضیح داده شد) ادامه می‌یابد. در این بازه زمانی ظرفیت آزاد منابع از تفاضل حد پایین منبع مورد نیاز فعالیت $_1$ (Rri) از ظرفیت کل منبع به دست می‌آید. بازه دوم از حد پایین زمان ختم فعالیت مورد نظر شروع می‌شود و تا حد وسط این عدد فازی مثلثی امتداد می‌یابد. در این بازه زمانی ظرفیت آزاد منبع از تفاضل حد وسط مقدار منبع موردنیاز $_2$(Rri) از ظرفیت آن منبع به دست می‌آید. بازه سوم نیز مشابه دو حالت قبل می‌باشد.

مدل الگوریتم ژنتیک مسأله تخصیص منابع محدود در شرایط فازی

در ابتدا باید شکل کروموزوم و ژنهای درون آن را به گونه ای تعریف کنیم جواب را به شکل مطلوبی نمایندگی کند. ما روشی را

پیشنهاد می کنیم که موجه بودن پیشنیازی[1] را تضمین میکند و نیز چند حالت را برای تخصیص در نظر می گیرد. کروموزوم ما یک کروموزوم دو طبقه خواهد بود . در طبقه فوقانی دنباله ، عددی که در هر جایگشت ژنی قرار می گیرد ، مبین یک پریود زمانی « **DLi** » است که مدت زمان را از نقطه زمانی « **tF i** » تا نقطه زمانی « **S i** » نشان می دهد.

$$DLi = Si - tF\,i \qquad (10)$$

نقطه زمانی « **tF i** » زودترین لحظه ایست که فعالیت **i** ، بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع برای آن ، با توجه فعالیتهای پیشنیازش مجاز است آغاز شود. اگر فعالیتهای پیشنیاز- پی آمد ، همپوشانی نداشته باشند این مقدار ، میتواند هنگامی باشد که آخرین فعالیت پیشنیاز تمام می شود و در اینصورت می توان گفت هر ژن ، تاخیر نسبت به پایان آخرین پیشنیاز را نشان می دهد ؛ تاخیری که به تبع محدودیت منابع حادث می شود . در صورت همپوشانی فعالیتهای پیشنیاز- پی آمد نیز مقدار « **tF i** » بر اساس محاسبات پیشروی و روابط تقدم و تاخری که ساختار مساله تعیین میکند ، مشخص میگردد. در واقع زمان آغاز هر فعالیت بر اساس یک مرجع ثابتِ معین ، نیست بلکه کاملا وابسته فعالیتهای پیشنیازش است که در هر کروموزوم جواب ، می تواند حالت متفاوتی را ایجاب کند .

مقدار قطعی « **tF i** » را به روش میانگین فازی پیشنهادی بوجادزیف[2] برای پرت فازی [۲] محاسبه می کنیم.

« **S i** » زمان واقعی شروع فعالیت است که بخاطر تاخیر تحمیلی ناشی از محدودیت منابع ، دیر تر (بزرگتر) از « **tF i** » می باشد.

مقدار قطعی« **DLi** » در فضای جواب ما تغییر می کند تا مقدار « **S i** » به حالت نزدیک به بهینه برسد. « **tF i** » برای هر فعالیت در هر کروموزوم از مقادیر « **S i** » در فعالیتهای قبلی خود تاثیر می پذیرد .

« **DLi** » یک عدد حقیقی قطعی است که کمترین مقدار آن (« **Min « DLi**) صفر است و بیشترین مقدار آن (« **Max « DLi** ») با در نظر گرفتن شبکه فعالیتها بدون محدودیت منابع، برابر است با مجموع غیر فازی شده مدت زمان فعالیتهایی که در بازه زمانی مدت انجام فعالیت **i** ، حداقل بخشی از آنها می تواند انجام شود . به عبارت دیگر در مدت انجام **i** یا به پایان می رسند یا آغاز می شوند و یا در حال انجامند . یعنی بیشترین تاخیر ، زمانی به فعالیت تحمیل می شود که مجبور شویم به علت محدودیت منابع همه فعالیتها را بصورت سری انجام دهیم و فعالیت مورد نظر ما در این توالی ، آخرین باشد. این حدود را برای « **DLi** » به منظور تحدید فضای جستجو به قلمروی کوچکتر در نظر می گیریم .

نکته ای که وجود خواهد داشت این است که به لحاظ فازی بودن کلیه مقادیر ، تضمین موجه بودن پیشنیازی نیز متناسب با فازی بودن محیط، به لحاظ معنایی غیر قطعی است.

تا این لحظه بر اساس این روش زمان را مدل کرده ایم ، اما کار به اینجا ختم نمی شود. کروموزوم نمایاننده جواب ، باید بتواند حالات[3] مختلف تخصیص منابع را نیز نشان دهد. برای این منظور برای هر ژن در کروموزوم خود ، خانه دومی در نظر می گیریم که در بر دارنده عدد صحیحی است که مبین حالت تخصیص است و این طبقه تحتانی کروموزوم ما خواهد بود.

حالت تخصیص می تواند حائز اهمیت باشد ، چراکه به عنوان مثال با تخصیص منابع کاری بیشتر ، ممکن است زمان فعالیت کوتاهتر شود و هزینه انجامش بالاتر برود. ما برای فعالیتها متناسب با شرایط واقعی پروژه های IT ، سه حالت را در نظر می گیریم و این بدین معناست که برای هر فعالیت ، حداکثر سه گونه تخصیص منبع را در نظر می گیریم.

بنابر این شکل رشته کروموزوم جواب مساله برای الگوریتم ژنتیک ما ، یک ماتریسی دو سطری خواهد بود که تعداد ستونهایش برابر با تعداد فعالیتهای برنامه زمانبندی است. بدیهیست که اگر تنها یک حالت تخصیص در نظر بگیریم ، می توان سطر دوم را بکلی حذف کرد.

الگوریتم زمان‌بندی فعالیت‌های مرتب شده بر اساس قواعد اولویت‌دهی به روش موازی و نیز زمانبندی تصادفی در جمعیت اولیه ، در حالت کلی به صورت ذیل قابل بیان است :

۱) قواعد اولویت دهی را بر اساس اعتبارشان ، مرتب کرده و در مجموعه **H(n)** قرار می دهیم.
۲) **t** را که مبین یک عدد قطعی است برابر مبدأ زمان قرار می د هیم .

---

[1] - Precedence Feasibility

[2] - Bojadziev

[3] - Modes

۳) گام‌های زیر را تکرارمی نماییم :

۳ـ۱) فعالیت‌هایی که تاکنون زمان‌بندی نشده‌اند و **t** بزرگتر است از مدت زمان انجام پیشنیازهایشان که به روش میانگین فازی پیشنهادی بوجادزیف[1] برای پرت فازی [۴۷] غیر فازی شده اند (و یا بر اساس محاسبات پیشروی مجاز با انجامند) و ظرفیت آزاد منابع در زمان **t** برای آنها کافی است را بر اساس اولین قاعده اولویت دهی از مجموعه **H(n)** ، در مجموعه $Q(j)$ قرار می دهیم.

۳ـ۲) برای اولین فعالیت **j** که در مجموعه مرتب شده $Q(j)$ وجود دارد، مراحل زیر را انجام می دهیم.

۳ـ۲ـ۱) شروع:

۳-۲-۱-۱) " زمان شروع فعالیت **j** " = **t** در نظر میگیریم و این مقدار را در جایگشت ژنی نظیر **j** در طبقه فوقانی کروموزوم ثبت می کنیم.

۳-۲-۱-۲) زمان ختم فعالیت **j** = $\mathbf{d_1} + \mathbf{t}$ (جمع فازی)

۳-۲-۱-۳) فعالیت **j** را از مجموعه $Q(j)$ حذف می کنیم.

۳-۲-۱-۴) متناظر با یک حالت تخصیص تصادفی مشخص که مقدار آن را در طبقه تحتانی کروموزوم ثبت می کنیم ، منابع مورد نیاز **j** را به آن تخصیص داده و مقدار ظرفیت آزاد منابع را به روز می نماییم.

۳-۲-۲) پایان

۳ـ۳) اگر در $Q(j)$ هنوز عضوی وجود دارد تا جایی که کلیه فعالیت‌های فهرست اولویت خاتمه یابند ، به ابتدای مرحله ۳ می رویم .

۴) اگر هنوز فعالیتهایی از پروژه وجود دارند که زمانبندی نشده اند ، به مقدار **t** یک واحد زمانی اضافه کرده ، حاصل را به عنوان **t** جدید در نظر میگیریم و به مرحله ۳ می رویم .

۵) قاعده مورد استفاده **n** را از مجموعه **H(n)** حذف می کنیم.

۶) زمانبندی بدست آمده را با قراردادن زمان شروع و حالت تخصیص منبع در هر جایگشت ژنی ، به عنوان عضوی از فضای جواب در قالب یک کروموزوم دو سطری ثبت می کنیم. این ، یکی از جوابهای حاصل از قواعد ابتکاری اولویت دهی است.

۷) اگر هنوز عضوی در **H(n)** وجود دارد و تعداد زمانبندیهای بدست آمده ، از اندازه مفروض برای جمعیت اولیه کمتر است ، کلیه فعالیتها را زمانبندی نشده فرض کرده ، به مرحله ۲ می رویم.

۸) تا زمانی که تعداد زمانبندیهای بدست آمده ، از اندازه مفروض برای جمعیت اولیه کمتر است جوابهای تصادفی را به صورت زیر تعیین می کنیم :

۸-۱) برای هر فعالیت **i** مقدار **Max (DLi)** را بر اساس محاسبات پیشروی غیر مقید به منابع و غیر فازی کردن[2] [۴۷] زمانهای آغاز و پایان فازی فعالیتها ، تعیین میکنیم و **Min (DLi)** را برابر با صفر در نظر می گیریم. (این مقادیر بطور تقریبی و تنها برای محدود کردن دامنه الگوریتم و بالا بردن سرعت آن در رسیدن به جواب نزدیک به بهینه ، در نظر گرفته می شوند)

۸-۲) برای فعالیت **i** یک عدد تصادفی بین **Min(DLi)** و **Max(DLi)** انتخاب می کنیم و به عنوان مقدار هر جایگشت ژنی فوقانی در نظر می گیریم .

۸-۳) از بین حالات تخصیص فعالیت i یکی را بطور تصادفی برگزیده و در طبقه تحتانی جایگشت ژنی قرار می دهیم.

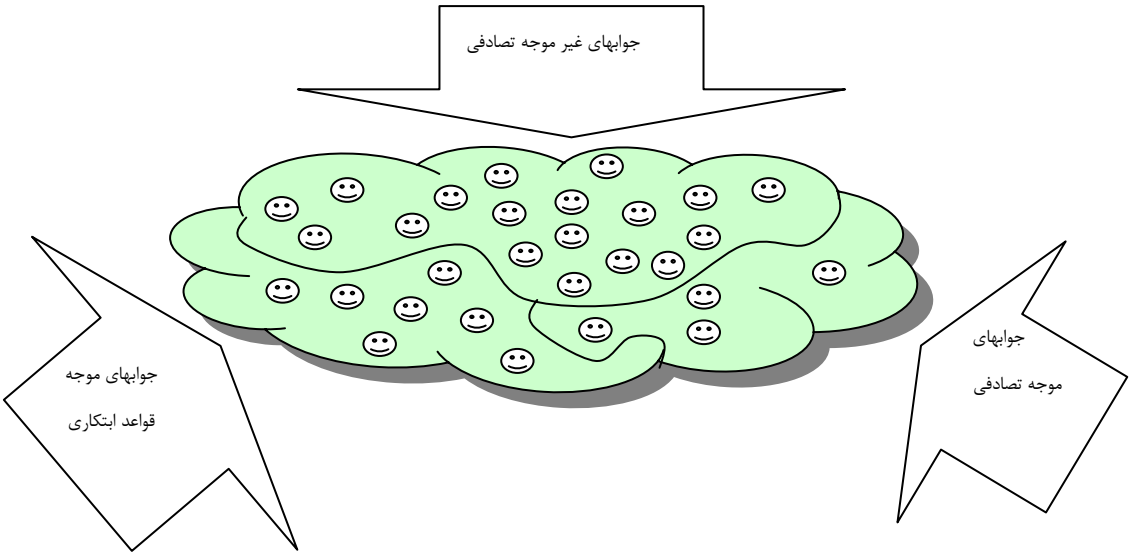
۹) پایان

نهایتاً ترکیب کلی جمعیت اولیه مشابه حالتی خواهد بود که در شکل ۳ نشان داده شده است .

---

[1] - Bojadziev

[2] - Defuzzification



شکل ۳ـ ترکیب جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسأله تخصیص منابع محدود

پس از اینکه شکل جواب‌ها در الگوریتم ژنتیک مشخص شد و نیز نحوه پدید آوردن جواب‌های جمعیت اولیه تعیین گشت ، نوبت به این می‌رسد که روشی برای برآورد ارزش جواب‌های موجود بیابیم. ما روشی اتخاذ می کنیم که بر اساس تلفیق مطلوبیت سه معیار کم بودن مدت زمان پروژه ، بالا بودن ارزش خالص کنونی (جریان نقدی تنزیل یافته) و پایین بودن متوسط نوسان منابع ، بتوانیم جواب برازنده تر را شناسایی کنیم.

زمان انجام پروژه برابر زمانی است که آخرین فعالیت پروژه خاتمه یابد. برای بدست آوردن زمان ختم پروژه ، ابتدا زمان لازم برای انجام هر فعالیت را (که به صورت یک عدد فازی است) به زمان آغاز آن (قطعی) می‌افزاییم تا بردار زمان‌های ختم کلیه فعالیت‌های پروژه به دست آید. بزرگترین عدد در این بردار همان زمان ختم پروژه خواهد بود.

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

که در آن Si زمان شروع فعالیت i و di مدت زمان لازم برای انجام آن و $\oplus$ جمع فازی آنها می‌باشد. تابع مطلوبیت در این معیار را به صورت زیر در نظر می گیریم :

$$\mu_{Makespan}(S) = \begin{cases} 1 & Makespan\ (S) < Makespan_{\min} \\ \dfrac{Makespan\ (S) - Makespan_{\max}}{Makespan_{\min} - Makespan_{\max}} & Makespan_{\min} \le Makespan\ (S) \le Makespan_{\max} \\ 0 & Makespan\ (S) \ge Makespan_{\max} \end{cases} \quad \textbf{(12)}$$

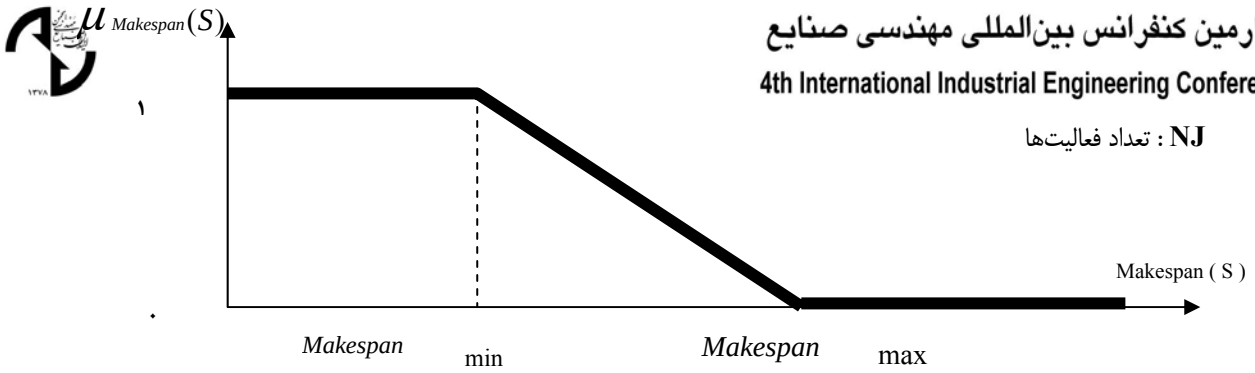
برای کمترین مقدار مدت انجام پروژه ، از محاسبات پیشروی مسیر بحرانی در حالتی که هیچگونه تاخیری به علت محدودیت منابع نداریم ، استفاده می کنیم.

$$Makespan_{\min} = \left\{\text{Critical Pass}\right\}_{\text{Free Resource}} \quad \textbf{(13)}$$

بیشترین مقدار مدت انجام پروژه از جمع زمان لازم برای انجام کلیه فعالیت‌ها به صورت سری بدست می‌آید.

$$Makespan_{\max} = \sum_{i=1}^{NJ} d_i \quad \textbf{(14)}$$

NJ : تعداد فعالیت‌ها



شکل ۴- تابع عضویت خطی زمانبری

یکی دیگر از اهداف ما در حل مسأله تخصیص منابع محدود هموارسازی سطح استفاده از منابع می‌باشد، به نحوی که نوسانات بهره‌برداری به حداقل ممکن برسد. برای رسیدن به این هدف توابع هدف مختلفی می‌توان تعریف کرد. ما در اینجا حالت ساده‌ای را انتخاب کرده‌ایم که مجموع تفاضل بهره برداری منبع در دو روز پیاپی را کمینه کنیم.

به این ترتیب مقدار تابع هدف را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

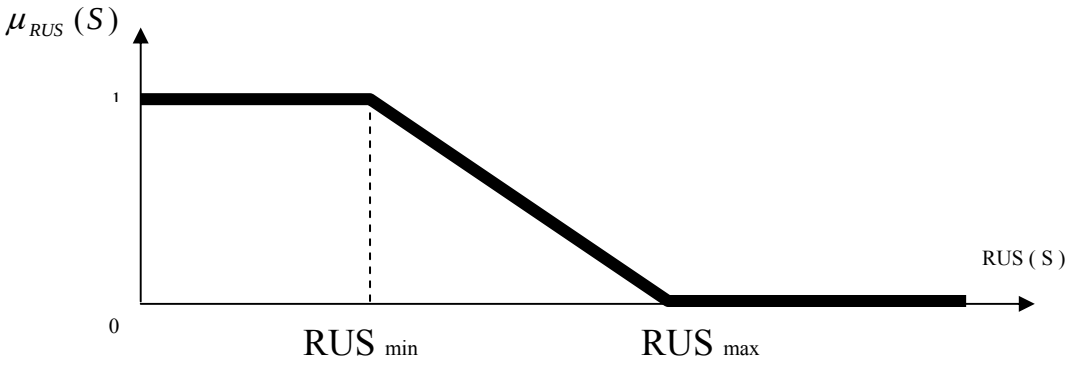
$$RUS(S) = \sum_{i=1}^{NR} \sum_{j=1}^{UB(S)-1} \left| R_i(j) - R_i(j+1) \right| \quad \textbf{(15)}$$

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

$$R_i(j) = \sum_{k \in \{S_k \le j \le S_k + d_k\}} r_{ik} \quad \textbf{(16)}$$

که در آن $\mathbf{r}_{ik}$ مقدار منبع i مورد نیاز فعالیت k می‌باشد.برای تابع مطلوبیت خواهیم داشت :

$$\mu_{RUS}(S) = \begin{cases} 1 & RUS(S) < RUS(S)_{min} \\ \dfrac{RUS(S) - RUS_{max}}{RUS_{min} - RUS_{max}} & RUS(S)_{min} \le RUS(S) \le RUS(S)_{max} \\ 0 & RUS(S)_{max} < RUS(S) \end{cases} \quad (17)$$



شکل ۵ - نمودار تابع عضویت برای رضایت بخشی میزان نوسان مصرف منابع

معیار سوم مطلوبیت مالی پروژه را را به لحاظ هزینه و درآمد در نظر می گیرد. جریان نقدی تنزیل یافته پروژه تحت یک جواب خاص با داشتن زمان قطعی ختم فعالیت‌های پروژه ، به دست می‌آید. تابع هدف مورد نظر را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

"جریان نقدی تنزیل یافته مساوی است با مجموع جریان نقدی به دست آمده در مدت انجام فعالیت‌ها منهای جریان نقدی از دست رفته به دلیل تأخیر"

رابطه نهایی جریان نقدی تنزیل یافته پروژه که در برگیرنده تعداد NJ فعالیت i می باشد که در روز Si آغاز شده و میانگین فازی مدت انجام آن d_i' باشد و در آن جریان نقدی فعالیت i را در پریود j $(j=1,...,d_i)$ با f_{ij} نشان داده ایم ، به صورت زیر خواهد بود :

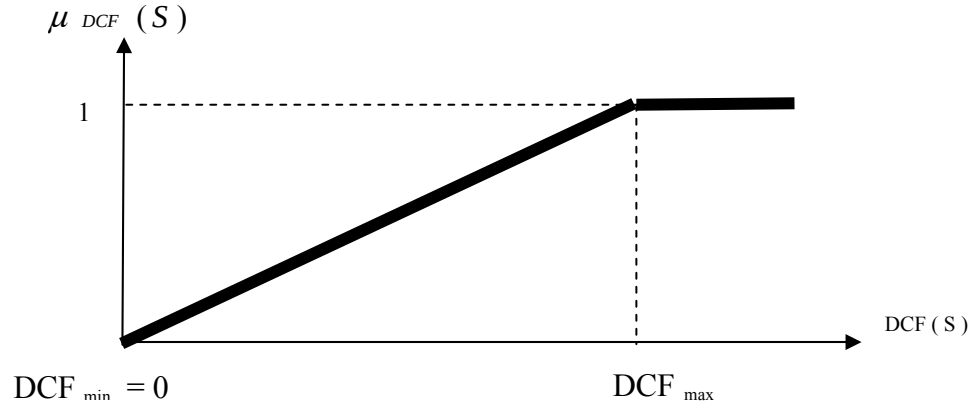
$$DCF = \sum_{i=1}^{NJ} \sum_{j=1}^{d_i'} f_{ij} \otimes e^{-\alpha (S_i + j)} \quad \underline{F} \; (Makespan \quad \underline{F} \; D) \otimes P \otimes e^{-\alpha \otimes (Makespan)} \qquad \textbf{(18)}$$

که در آن α نرخ تنزیل ، D موعد تحویل پروژه و P جریمه واحد زمان تأخیر پروژه از موعد تحویل می‌باشد.

تابع مطلوبیت این معیار به صورت زیر خواهد بود :

$$\mu_{DCF}(S) = \begin{cases} \dfrac{DCF(S)}{DCF_{\max}} & DCF(S) \le DCF_{\max} \\ 1 & DCF(S) > DCF_{\max} \end{cases} \qquad \textbf{(19)}$$

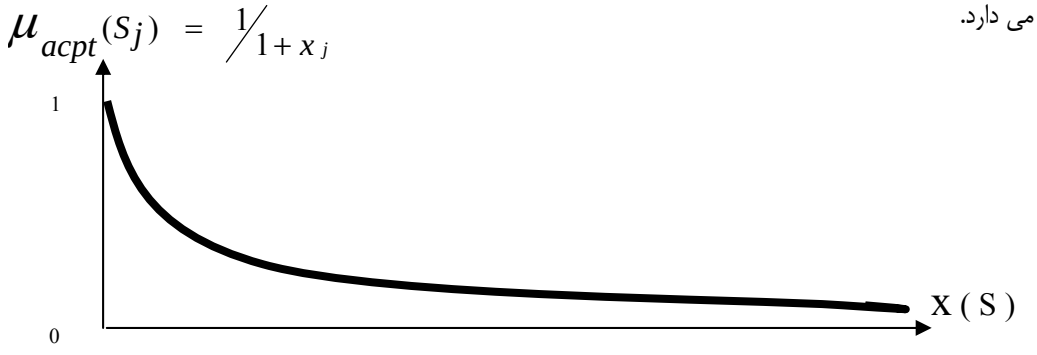
شکل این تابع عضویت به صورت زیر است :



شکل ۶-نمودار تابع عضویت جریان نقدی

باید موجه بودن جوابها به لحاظ منابع مد نظر قرار گیرند ، اما حذف کامل جوابهای غیر موجه مناسب نخوا هد بود. چراکه هر جواب غیر موجه ممکن است طی فرآیند تکامل ، زمینه ساز ایجاد جواب موجه مطلوبی شود و این فرصت باید برای آن وجود داشته باشد. از طرفی دیگر ، نباید با موجه بودن با حالت قطعی صفر و یک برخورد کرد ، زیرا هر جواب غیر موجه می تواند درجاتی از موجه بودن را دارا باشد و بخشهایی از آن ، موجه باشد. نکته مهم اینست که در برازندگی (نکویی) کل ، غیر موجه بودن بگونه ای لحاظ شود که در صورت غیرموجه بودن جواب ، ارزش اهداف برآورده شده در معیارها ، نادیده گرفته شود.

مقدار $\mu_{acpt}(S_j) = 1/(1+x_j)$ میزان قابل قبول بودن تخصیص از منبع j درارتباط با زمانبندی جواب S را نشان می دهد که در آن x_j مجموع مقادیر عدول و تخطی ، از ظرفیت منابع است . هر مقدار بزرگتر از صفر برای x_j به سرعت ما را از قبول جواب مربوطه بر حذر می دارد.



شکل۷-نمودار تابع عضویت قابل قبول بودن تخصیص منبع j

در نهایت تابع تعلق رضایتمندی ما از موجه بودن جواب ، میانگین $\mu_{acpt}(S_j)$ ها برای همه منابع بوده و بصورت زیر تعیین می گردد:

$$\mu_{FES}(S) = \frac{1}{NR}\sum_{j=1}^{NR}\frac{1}{1+x_j} \qquad (20)$$

که در آن x_j میزان تخطی از سقف منبع j در مصرف می باشد و به صورت زیر حساب می شود:

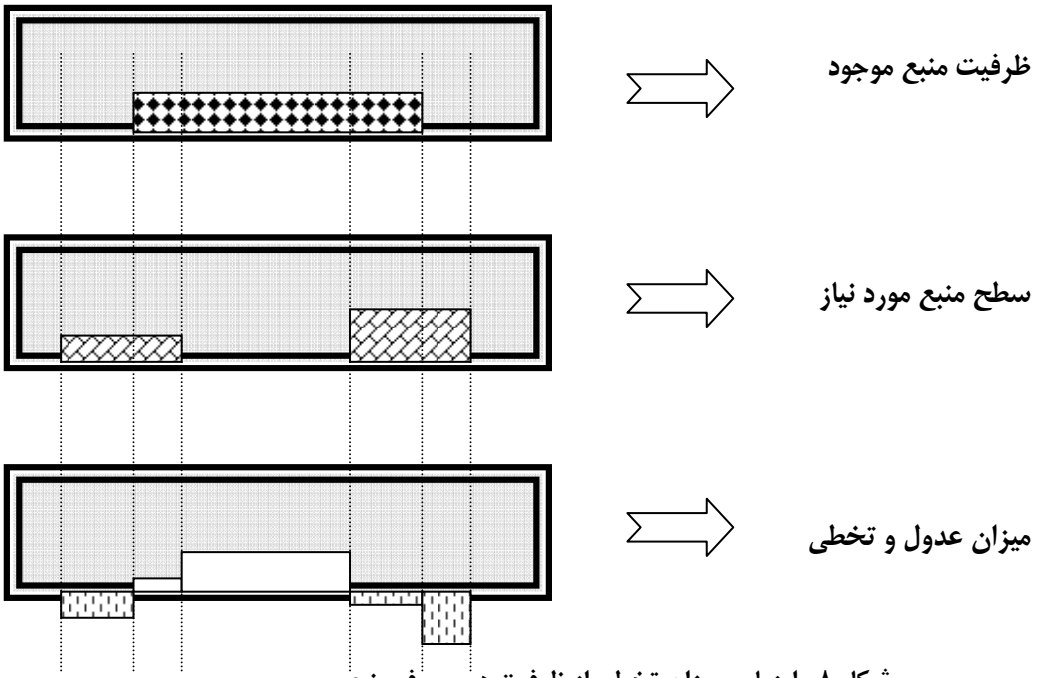
$$X_j = \sum_{i=1}^{[UB]} \left(C_j(i) - \tilde{R}_j(i) \right) \; If \; Is < 0 \qquad (21)$$

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

$$R_j(i) = \sum_{k \in \{S_k \le i \le S_k + d_k\}} r_{jk} \qquad (22)$$

α که مبین برشی بر عدد فازی است و بیشترین مقدار آن حالت خوش بینانه را می نمایاند ، از میزان اطمینان یا قطعیت ما در خصوص مقادیر ظرفیت و مصرف منابع ، حکایت دارد و بین صفر و یک تغییر می کند.

با بهره گیری از برش α و نمودار ساده ارزیابی مصرف و ظرفیت برای منبع j امکان محاسبه مقدار x_j را بدون استفاده از رابطه فوق نیز فراهم می آید .



شکل ۸- ارزیابی میزان تخطی از ظرفیت در مصرف منبع

پس از محاسبه تابع عضویت معیارهای مسأله نوبت به انتخاب روشی برای جمع کردن آنها می‌رسد. به این واقعیت توجه داریم که اساس تصمیم ما میزان رضایتمندی از معیارها و به عبارتی تابع تعلق (عضویت) آنهاست . این مقادیر برای معیارهای متناظر با یک جواب ، نه یک عدد فازی بلکه عددی حقیقی در بازه [۱و۰] است که با تابع تعلق رضایتمندی از عدد فازی معیار تعیین می شوند .

در این مدل از روش ارائه شده توسط ماتیو وال[1] الهام میگیریم . [۳] بدین ترتیب که :

$$\mu_D = Ave\ (\mu_{Makespan}, \mu_{DCF}, \mu_{RUS}) \quad (23)$$

و با در نظر گرفتن اوزان نرمال $W_{makespan}$ ، W_{DCF} و W_{RUS} :

$$\mu_D = W_{Makespan}\mu_{Makespan} + W_{DCF}\mu_{DCF} + W_{RUS}\mu_{RUS} \quad (24)$$

و برای تصمیم نهایی مأخوذه :

$$Max\ \mu_D = Max(W_{Makespan}\mu_{Makespan} + W_{DCF}\mu_{DCF} + W_{RUS}\mu_{RUS}) \quad (25)$$

اما برازندگی (نکویی) کل باید موجه بودن منابع را نیز شامل شود . برای این منظور رابطه زیر به شکل مناسبی مقصود ما را برآورده میسازد :

$$\mu_F = \begin{cases} \mu_{FES(S)} / 2 & \text{if} \quad \mu_{FES(S)} < 1 \\ \dfrac{\mu_{FES(S)} + \mu_D(S)}{2} & \text{if} \quad \mu_{FES(S)} = 1 \end{cases} \quad (26)$$

اگر مقدار μ_F کوچکتر از ۰/۵ باشد ، جواب غیر موجه است و در غیر اینصورت موجه میباشد .

آستانه تحریکی[2] که در نظر می گیریم ، بستگی به این دارد که تشخیص دهیم ، چقدر امیدواری وجود دارد ، تا از تکامل جوابهای غیر موجه به جواب مطلوب موجهی برسیم و چقدر مایلیم به آن اجازه بقا بدهیم .

حال می توان با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک ، به دنبال جوابهای مناسب بود. الگوریتم ژنتیک به وسیله عملگرهای ژنتیکی عمل جستجو روی فضای جواب را برای یافتن جواب‌های جدید انجام می‌دهد. تلاش می‌شود عملگرها به نحوی تعریف شوند که تابع نکویی جواب‌های جدید (فرزندان) بهتر از والدین باشد. ما از سه عملگر انتخاب ، تقاطع (ترکیب) و جهش به صورتی متعارف بهره می گیریم.

همچنین پارامترهای ژنتیکی را که فاکتورهای مؤثر بر نحوه عملکرد الگوریتم ژنتیک می‌باشند و مشتملند بر اندازه جمعیت ، تعداد نسل‌ها (دفعات تکرار الگوریتم ژنتیک) ، احتمال تولیدمثل و احتمال جهش (Pc و Pm) ، به طریق کالیبراسیون تعیین می کنیم. مراحل الگوریتم ژنتیک به صورت زیر خواهد بود :

۱) برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک تخمین اولیه ای می زنیم.
۲) جمعیت جواب‌های اولیه را تشکیل می دهیم.
۳) جمعیت اولیه را به روش نمونه گیری معین ، بهبود می بخشیم
۴) به کمک عملگر انتخاب ، دو جواب را به صورت تصادفی به عنوان والدین انتخاب می کنیم.
۵) آیا برازندگی (نکویی) متوسط جواب‌های انتخاب شده در مقایسه با متوسط جمعیت فعلی مناسب می‌باشد؟
۵ـ۱) خیر: به گام ۴ برمی گردیم.
۵ـ۲) بله:
۵ـ۲ـ۱) عملگر تولیدمثل (Pc) را روی والدین اعمال می کنیم و جواب‌های تولیدشده را فرزندان می بنامیم.
۵ـ۲ـ۲) از بین والدین و فرزندان دو جوابی را که مقدار نکویی آنها بهتر است برای نسل بعد بر می گزینیم.
۵ـ۲ـ۳) با توجه به نرخ جهش (Pm) عملگر جهش (بهبود) را روی جمعیت به دست آمده اعمال می نماییم.

---

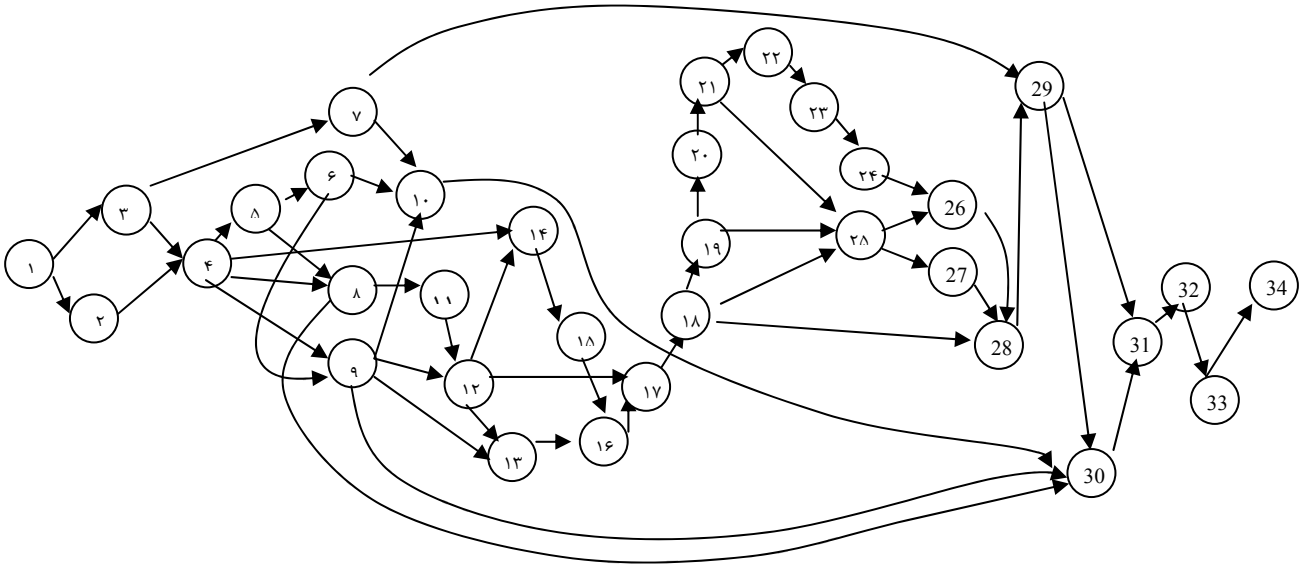
[1] - Matthew Bartschi Wall

[2] - Threshold

۵ـ۲ـ۵) شمارنده تعداد نسل‌ها را یک واحد افزایش می دهیم.
۵ـ۲ـ۶) آیا شرط توقف برقرار است؟ (آیا تعداد نسل‌ها به حداکثر از پیش تعیین شده رسیده یا جواب‌ها همگرا شده‌اند؟)
۵ـ۲ـ۶ـ۱) خیر: به گام ۲ می رویم.
۵ـ۲ـ۶ـ۲) بله: جمعیت فعلی جواب نهایی است. متوقف می شویم.

نتایج بررسی پروژه برنامه ریزی استراتژیک IT در استان گلستان

نتایج حاصل از بررسی برنامه زمانبندی فاز معماری سازمانی پروژه برنامه ریزی استراتژیک فناوری اطلاعات و ارتباطات استان گلستان را با مفروضاتی که در جهت ساده سازی مساله در حد یک مثال نمونه برای مدل ارائه شده ، در نظر گرفته شده اند ، ارائه می کنیم. همچنین با توجه به مبسوط بودن اطلاعات مربوط به پروژه ، تلاش می کنیم به ذکر نتایج بسنده کنیم.
شبکه پیشنیازی فعالیتهای فاز معماری به شکل زیر است:



شکل ۹- شبکه پیشنیازی فعالیتهای فاز معماری پروژه ICTSP استان گلستان

مدت زمان انجام فعالیتها با لحاظ کردن زمانهای لازم برای تاییدات مستمر ناظر و کارفرما در سه حالت تخصیص منابع A ، B و C بصورت عدد فازی مثلثی و بر اساس نظرات افراد خبره برآورد می گردد. با توجه به شرایط پروژه برای توابع مطلوبیت معیارها خواهیم داشت:

$$\mu_{Makespan}(S) = \begin{cases} 1 & Makespan(S) < 91 \\ \dfrac{246 - Makespan(S)}{155} & 91 \le Makespan(S) \le 246 \\ 0 & Makespan(S) \ge 246 \end{cases} \quad (27)$$

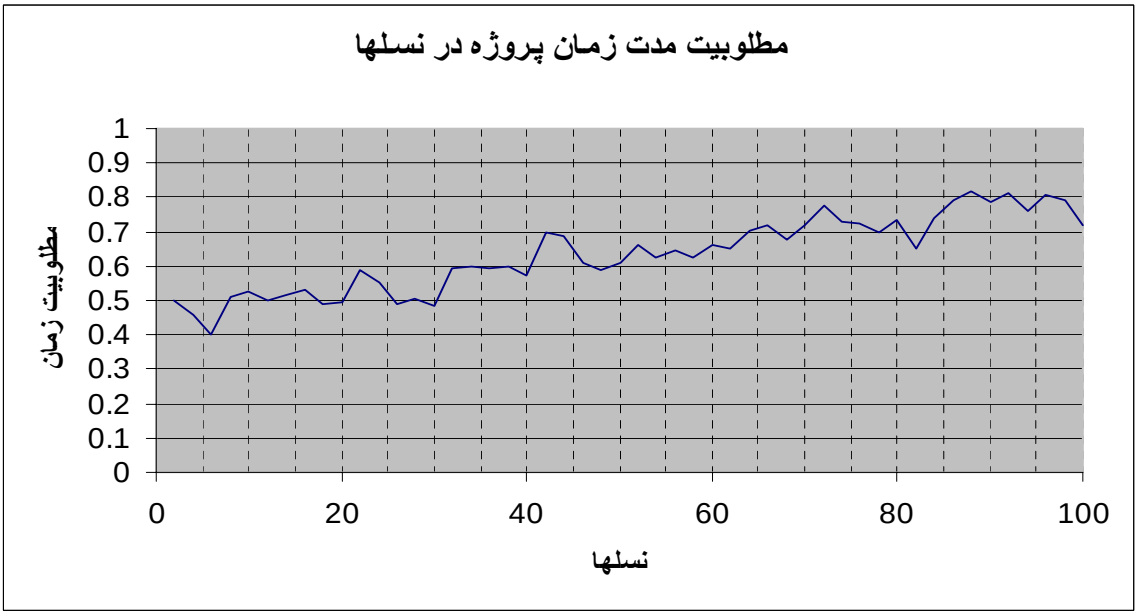
$$\mu_{RUS}(S) = \frac{1476 - RUS(S)}{1476} \qquad 0 \le RUS(S) \le 1476 \quad (28)$$

$$\mu_{DCF}(S) = \begin{cases} \dfrac{DCF(S)}{362} & DCF(S) \le 362 \\ 1 & DCF(S) > 362 \end{cases} \quad (29)$$

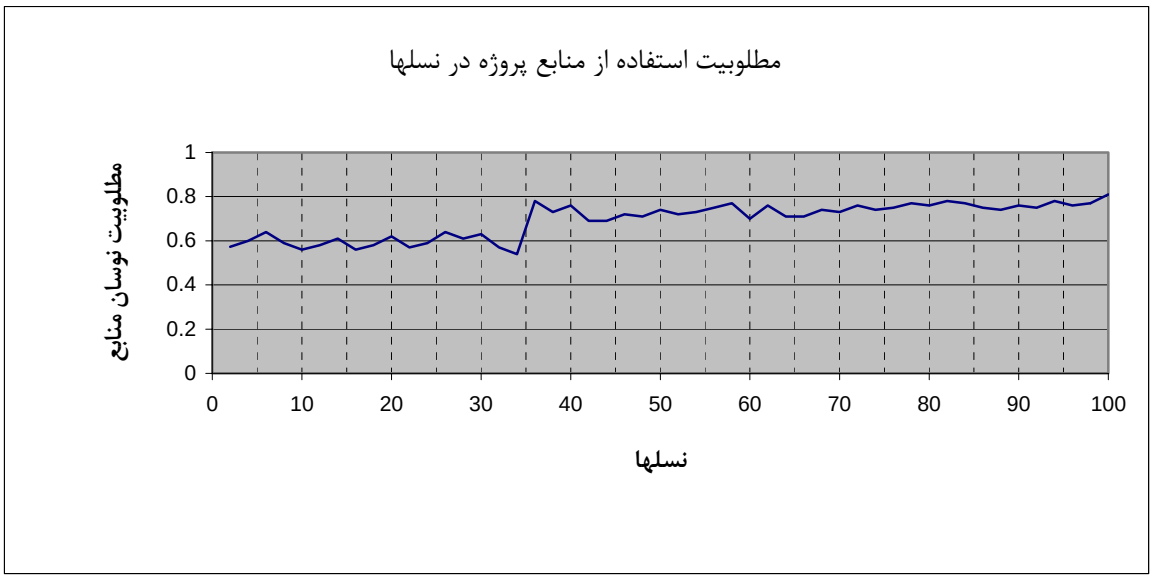
با اندازه جمعیت اولیه ۵۰ ، نرخ ترکیب ۰/۷ و نرخ جهش ۰/۰۳ و پس از ۱۰۰ نسل نتایج به صورت زیر خواهد بود :

جدول ۱- مقادیر میانگین وزنی معیارها دربهترین عضو نسلهای اولیه و نهایی

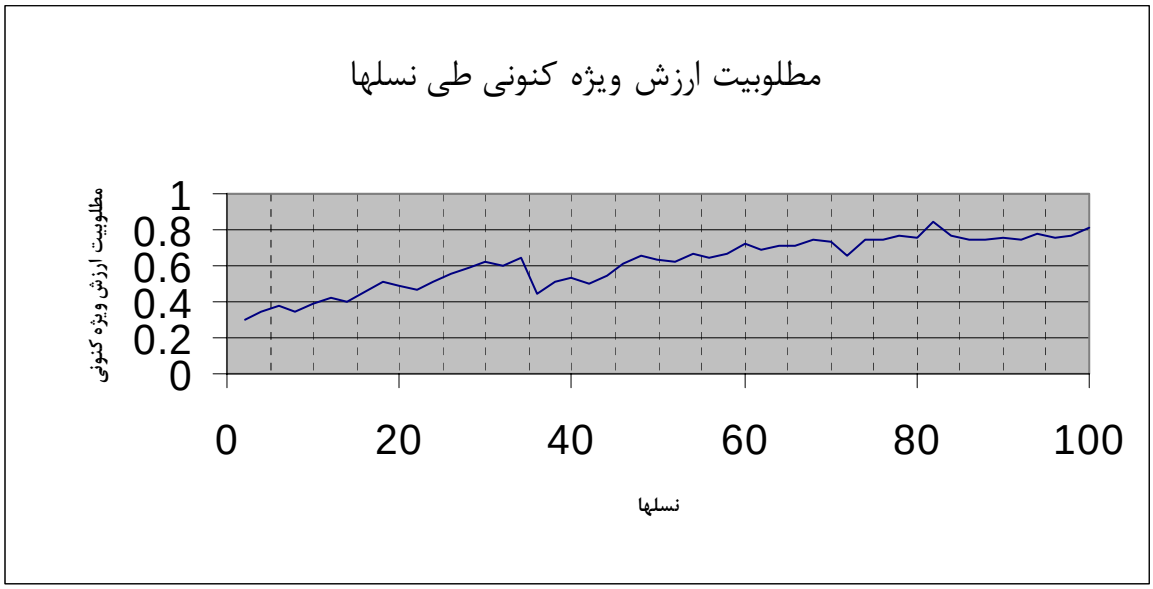
معیار در جواب موجه	میانگین وزنی در جمعیت اولیه	میانگین وزنی در جمعیت نهایی
مدت زمان انجام پروژه	۱۶۸	۱۳۴
نوسانات استفاده از منابع	۶۳۰	۲۸۰
ارزش ویژه کنونی	۱۰۹	۲۹۳



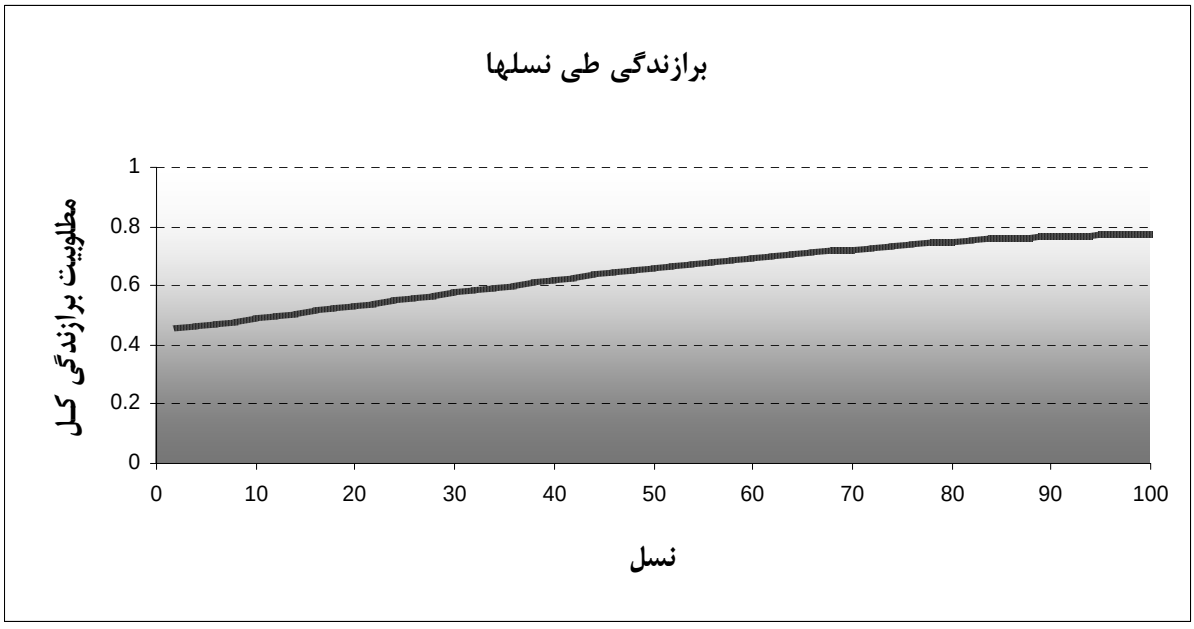
شکل ۱۰-نمودار مطلوبیت مدت زمان انجام پروژه طی نسلهای تکامل



شکل ۱۱-نمودار مطلوبیت نوسان استفاده از منابع در پروژه طی نسلهای تکامل

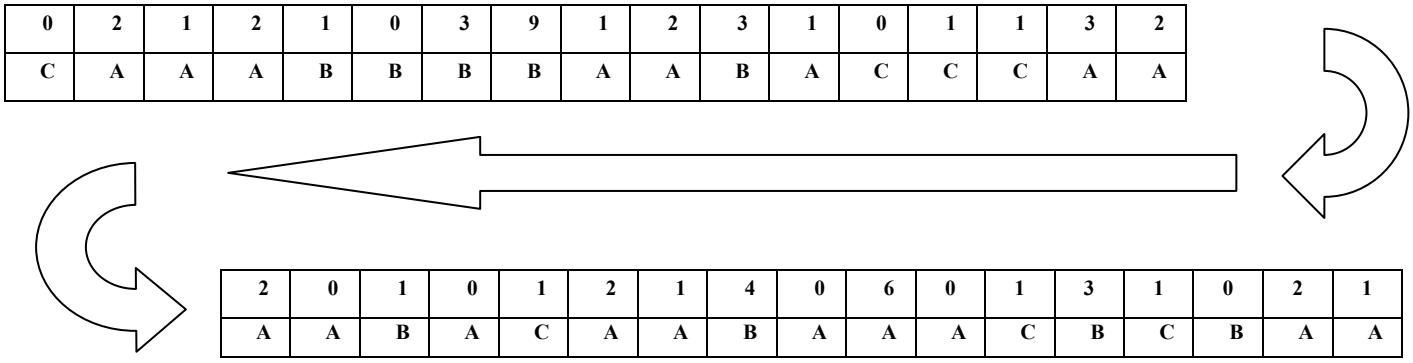


شکل ۱۲-نمودار مطلوبیت ارزش ویژه کنونی پروژه طی نسلهای تکامل



شکل ۱۳-نمودار روند تغییرات برازندگی برنامه پروژه طی نسلهای تکامل

یک معیار ممکن است طی تولید مثل بدتر شود اما در این شرایط میزان بهتر شدن سایر معیارها همانگونه که ملاحظه می شود بر این بدی غالب خواهد بود و برآیند آن ، برازندگی را رو به بهبود خواهد برد. نتایج حل مساله مثال نمونه در جدولها نشان داده شده است. بهترین جواب در جمعیت نهایی به صورت نشان داده شده در صفحه بعد می باشد :



شکل ۱۴- بهترین کروموزوم جواب در جمعیت نهایی

نتیجه گیری

ما در این تحقیق با در نظر گرفتن شرایط حاکم در پروژه های با منابع محدودی که وضعیت عدم قطعیت در آنها وجود دارد و پروژه های IT نمونه بارز و مهم اینگونه پروژه هاست. با بهره گیری از تئوری مجموعه های فازی در کنار الگوریتم ژنتیک ترکیبی با قواعد ابتکاری و با رویکردی موازی ، مدلی برای تخصیص منابع محدود به شکلی چند معیاره در شرایط فازی ارائه نمودیم. در پایان نیز مدل خود را در یک پروژه واقعی IT مورد آزمایش قرار دادیم و نتایج حاصل را ارائه کردیم.

بر اساس نتایج حاصل از بررسی و مقایسه جامعه نمونه ای از روشهای ابتکاری و تکاملی مشابه ، روش ارائه شده در حدود ۷۴ درصد موارد در نزدیکی به نقطه بهینه موفق تر بوده و در قریب به ۵۸ درصد ، زمان کوتاه تری را در رسیدن به جواب مطلوب نیاز دارد.

در مدل ارائه شده مفروضاتی در نظر گرفته شدند که تغییر در هر یک از آنها میتواند موضوعی برای تحقیقات آتی محسوب شود. همچنین می توان تغییر و افزایش معیارها را مد نظر قرار داد و نیز حالات پویا و متغییر با زمان را در نظر گرفت. از جمله دیگر مباحث جذاب برای تحقیقات آتی، می توان از بررسی امکان بهره گیری از سیستمهای ترکیبی هوشمند و نیز روشهای ابتکاری ترکیبی برای توسعه مدل نام برد.

منابع و مراجع

۱. سنگه پ. ، "پنجمین فرمان : خلق سازمان یادگیرنده" ، ویرایش دوم ، ترجمه ح. کمال هدایت ، م. روشن ، چاپ سوم ، سازمان مدیریت صنعتی ،۱۳۸۰.

2. Bojadziev G., Bojadziev M., “Fuzzy Logic for Business, Finance and Management”, World Scientific publishing co. Pte. Ltd., 1997.
3. Wall M. B., "A Genetic Algorithm for Resource-Constrained Scheduling", PHD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1996.