ارائه یک زمانبندی بهینه تخصیص وام در پروژه ساخت، بهره‌برداری و انتقال(BOT) یک نیروگاه آبی بر اساس پارامترهای تصادفی فازی

علی علیرضایی

کارشناس ارشد مهندسی صنایع سیستم و بهره‌وری و مدیریت اجرایی

شرکت فراب – کارشناس کنترل هزینه

a.alirezaee@farab.com

چکیده

با گسترش مشارکت بخش خصوصی در پروژه‌های زیربنائی، اجرای بسیاری از طرح‌ها با روش‌های جدید تامین مالی نظیر ساخت، بهره‌برداری و انتقال[1] و طراحی، ساخت و تامین مالی[2] افزایش یافته و برنامه‌ریزی تخصیص منابع مالی دارای اهمیت فراوان شده است.

در این مقاله تلاش می‌شود در ساخت، طراحی و نصب یک نیروگاه آبی با توجه به عدم قطعیت‌ها در زمان و هزینه فعالیت‌های مختلف، برنامه‌ریزی دریافت وام طوری صورت گیرد تا هزینه تامین مالی یک طرح کمترین مقدار شود. برآورد زمان و هزینه در این مدل، با استفاده از متغیرهای فازی احتمالی، با میانگین فازی و توزیع نرمال صورت می‌گیرد، در نهایت با تشکیل یک مدل بر اساس روش ارزش انتظاری با در نظر گرفتن، محدودیت زمان کل اجرای طرح و محدودیت پیشنیازی فعالیت‌ها مساله حل شده است.

جواب بهینه در این روش بر اساس ترکیب شبیه‌سازی‌های تصادفی و فازی و مفهوم اعتبار با استفاده از الگوریتم ژنتیک است.

کلمات کلیدی: ***برنامه‌ریزی فازی احتمالی، مدل ارزش انتظاری، شبیه‌سازی فازی، الگوریتم ژنتیک، نیروگاه آبی***

[1] BOT
[2] EPCF

مقدمه

افزایش نیاز به ساخت تسهیلات و مشکلات مالی در تامین مالی آن‌ها، تلاش‌های جدیدی به خصوص در بخش کارفرمایان دولتی به وجود آورده است و آنان را بر آن داشته تا به سیستم‌های جدیدی روی آورند که بتواند پاسخگوی مناسبی برای رفع این مشکل است. در نتیجه در سیستم‌های جدید، به خصوص در ساخت پروژه‌های زیر بنایی، علاوه بر تاکید بر روابط طرف‌ها، نوع تامین مالی پروژه‌ها نیز که در گذشته بر عهده کارفرمایان بوده است، به عنوان گزینه جدیدی مطرح شده است. این مشکل که بیشتر در کشورهای در حال توسعه به دلیل کمبود منابع مالی دولتی مطرح می‌شود، با تمایل دولت‌ها برای مشارکت بخش خصوصی در ساخت پروژه‌های عظیم و پیچیده همراه بوده است.

از طرق مشارکت بخش خصوصی و دولتی و روش‌های سرمایه‌گذاری غیرمستقیم، دولت فرصت‌های به مراتب بهتری برای تامین مالی و اجرای پروژه‌ها پیدا می‌کند.

در یک قرارداد متعارف BOT پروژه‌ای با مجوز دولت توسط یک شرکت خصوصی ساخته می‌شود و پس از ساخت برای مدتی مورد بهره‌برداری آن شرکت قرار می‌گیرد و پس از انقضای مدت قرارداد، پروژه به دولت طرف قرارداد منتقل می‌شود. در واقع یک شرکت پروژه (کنسرسیوم) در خلال دوره ساخت، تامین مالی پروژه را بر عهده داشته و با عملیاتی شدن پروژه، شروع به بهره‌برداری از آن به منظور بازپرداخت وام و کسب سود سرمایه کند و پس از آن پروژه را به نهاد دولتی بدون هیچ هزینه‌ای باز می‌گرداند. [22]

برای قراردادهای تامین مالی پروژه که امنیت مالی هر یک از طرفین وابسته به عملکرد آتی پروژه است انجام یک تحلیل جامع مالی از پروژه پیش از اقدام به سرمایه‌گذاری ضروری است.

تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی هزینه و نحوهٔ استقراض جهت اجرای فعالیت‌های یک پروژه در شرایط عدم قطعیت زمان‌ها، مسئله دشوار و مهمی‌از دید اجرای هر طرح بویژه در ساخت یک نیروگاه آبی است. چرا که اولاً تعدد فعالیت‌ها و وابستگی آن‌ها به یکدیگر شرایط را پیچیده می‌کند و ثانیاً وجود عدم قطعیت در تخمین زمان و هزینه اجرای فعالیت‌ها، مسئله را از حالت یک مسئله بهینه‌سازی قطعی خارج می‌سازد. در عمل حالت اخیر نزدیک‌ترین شرایطی است که در این مقاله تلاش شده‌است، جهت زمان‌بندی تأمین سرمایه پروژه‌های بزرگ مورد استفاده قرار دهند.

در اجرای طرح‌های نیروگاهی، نیروگاه‌های برق آبی دارای خصوصیات و مسائل خاصی هستند، در این طرح‌ها مهندسی، تامین و نصب به صورت منحصر به فرد برای هر نیروگاه انجام می‌شود؛ شرایط خاصی برای بسیاری از این طرح‌ها با توجه به موقعیت اجرا وجود دارد، [1] همچنین اجرای اینگونه طرح‌ها در معرض طغیان رودها و آب و هوای خاص است. کلیه این شرایط فعالیت‌های متعدد اینگونه طرح‌ها را با ریسک‌ها متعدد در زمان و هزینه مواجه می‌کند.[2]

مسئله زمانبندی پروژه عبارت است از تعیین یک توالی زمانی یا برنامه زمانبندی جهت انجام مجموعه‌ای از فعالیت‌های وابسته که تشکیل‌دهندهٔ پروژه است. برنامه زمانبندی باید به‌گونه‌ای تعیین شود که ضمن برآورده ساختن محدودیت‌های پیش‌نیازی و منابع، تابع هزینه کلی مورد نظر بهینه شود. [6]

از دهه ۱۹۶۰، محققان به بررسی مساله زمان‌بندی پروژه در محیط‌های مطمئن و نامطمئن پرداخته‌اند. «کلی» ارتباط تابعی میان هزینه پروژه و زمان مدت فعالیت را ارائه کرد و نظریه‌ای در مورد نوع مساله زمان‌بندی پروژه با هدف کاهش کل هزینه را طراحی کند. [4] با این وجود، با توجه به ابهام در زمان و مدت فعالیت، عدم اطمینان همواره در مساله

زمان‌بندی پروژه وجود دارد. فریمن ابتدا نظریه احتمال را در مساله زمان‌بندی پروژه در سال ۱۹۶۰ معرفی کرد. چارنس به بررسی مساله زمان‌بندی پروژه از طریق برنامه‌ریزی با محدودیت احتمال پرداخت به طوری که بیشترین زمان تکمیل تحت محدودیت احتمال زمان کاهش می‌یابد[17]. گلونکو- گنیزبرگ و گونیک، مدل ارزش مورد انتظار در حل نوع ساده مساله زمان‌بندی پروژه را ارائه کردند.[15]

همچنین در زمینه مدل‌هایی که با در نظر گرفتن منابع مالی و جریان نقدی یک طرح، الگوریتم‌هایی را توسعه داده‌اند، می‌توان به تحقیقات میکا[1] و دیگران در ارائه یک الگوریتم زمان‌بندی بر اساس انواع روش‌های پرداخت با استفاده از شبیه‌سازی جستجوی ممنوع[2] و آنیلینگ[3] اشاره کرد.[13]

در خصوص استفاده از مدل‌های غیر قطعی در زمینه برنامه‌ریزی جهت تامین مناسب منابع مالی تحقیقات اصلی توسط لیو و کی[4] صورت گرفته است.

ارزیابی اقتصادی یک پروژه BOT شامل مقایسه هزینه‌های مالی مراحل ساخت و بهره‌برداری از پروژه با سود ناشی از بهره‌برداری در دوره امتیاز است. روند این تحلیل مبتنی بر محاسبه ارزش خالص فعلی با جمع کردن گردش مالی خالص سالانه پروژه است. گردش مالی خالص نیز از تقسیم گردش مالی سالانه بر نرخ حداقل بازگشت به دست خواهد آمد.[22]

با توجه به موارد ذکر شده در جریان نقدی مذکور دو بخش عمده وجود دارد:

- هزینه‌های دوره ساخت
- درآمدهای ناشی از برون‌داد پروژه و هزینه‌های بهره‌برداری در دوره امتیاز

همانطور که مشخص است ماهیت جریان نقدی در دوره ساخت و بهره‌برداری با یکدیگر متفاوت خواهد بود؛ هزینه‌های تامین مالی در دوره ساخت پروژه ناشی از چگونگی تخصیص منابع مالی به فعالیت‌های پروژه خواهد داشت و درآمد و هزینه‌های دوره بهره‌برداری به میزان محصول پروژه و ماهیت پروژه بستگی دارد.

در این مقاله تلاش شده است در بخش هزینه‌های دوره ساخت، برنامه‌ریزی برای تامین مالی به نحوی صورت پذیرد تا ارزش خالص فعلی ناشی از این جریان نقدینگی کمینه است.

با توجه به بررسی اجرای پروژه‌هایی مانند ساخت و طراحی نیروگاه آبی، مدل‌های بررسی شده، جوابگوی مدل‌سازی و بهینه سازی تحصیص منابع مالی در اینگونه طرح‌ها نبود، در شرایط محیطی اجرای این‌گونه پروژه‌ها در کشور ما، تأخیر در شروع هر فعالیت و هزینه‌های غیرقطعی به همراه زمان‌های غیرقطعی وجود دارد.لذا مدل جدید با توجه به مدل‌های قبلی ارائه شده توسط لیو و با در نظر گرفتن فرضیات جدید در این مقاله ارائه شده است.

در این مقاله در بخش دوم تعریف مفهوم اعتبار و ارزش انتظاری برای متغیر تصادفی فازی ارائه می‌شود در بخش سوم مساله مدل‌سازی می‌شود و بر مبنای روش حل، ارزش‌انتظاری یک مدل جدید تشکیل می‌شود، در بخش چهارم با استفاده

[1] Mika
[2] Tabu search
[3] Annealing
[4] Baoding Liu and Hua Ke

از شبیه‌سازی تصادفی فازی و الگوریتم ژنتیک، حل مدل ارائه می‌شود، سپس در بخش پنجم یک نمونه عددی مدل‌سازی و حل شده است و در نهایت نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

متغیر تصادفی فازی

در مسائل دنیای واقعی تصمیم‌گیرنده ممکن است هم با تصادفی بودن هم با فازی بودن روبرو شد، ممکن است در حالت احتمالی، متغیر یک توزیع نرمال است اما مقادیر پارامترهای آن به صورت فازی در نظر گرفته شود. مفهوم متغیر تصادفی فازی به وسیله کواکرناک معرفی شده است،[15] برای مدل‌سازی مسئله زمانبندی پروژهٔ تصادفی–فازی، مفاهیم اصلی مورد استفاده در این زمینه، ارائه می‌شوند. [11]

در این‌جا ابتدا مفاهیم امکان، ضرورت و اعتبار یک رویداد فازی یادآوری می‌شود. فرض کنید ξ یک متغیر فازی با تابع عضویت μ باشد. در این صورت امکان، ضرورت و اعتبار رویداد فازی $\{\xi \geq r\}$ به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned}
&\mathrm{Pos}\{\xi \geq r\} = \sup_{u \geq r} \mu(u), \\
&\mathrm{Nec}\{\xi \geq r\} = 1 - \sup_{u \geq r} \mu(u), \\
&\mathrm{Cr}\{\xi \geq r\} = \frac{1}{2}\left(\mathrm{Pos}\{\xi \geq r\} + \mathrm{Nec}\{\xi \geq r\}\right).
\end{aligned} \qquad (۱)$$

با استفاده از مفهوم اندازهٔ اعتبار، مقدار ارزش انتظاری یک متغیر فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

تعریف ۱: اگر ξ یک متغیر فازی باشد، آن‌گاه مقدار ارزش انتظاری آن از این رابطه به‌دست می‌آید.

$$\mathrm{E}[\xi] = \int_0^{\infty} \mathrm{Cr}\{\xi \geq r\} dr - \int_{-\infty}^{0} \mathrm{Cr}\{\xi \leq r\} dr \qquad (۲)$$

به شرطی که حداقل یکی از دو انتگرال رابطه فوق متناهی است [۱۶].

برای تعریف مفهوم متغیر تصادفی–فازی، لازم است ابتدا مفهوم فضای امکان تعریف شود.

تعریف ۲: اگر Θ یک مجموعه ناتهی، $\mathrm{P}(\Theta)$ مجموعه توانی آن و Pos بیانگر اندازهٔ امکان باشد، آن‌گاه سه‌تایی $(\Theta, \mathrm{P}(\Theta), \mathrm{Pos})$ را فضای امکان می‌نامند.

تعریف ۳: یک متغیر تصادفی–فازی مثل ξ، تابعی است که فضای امکان $(\Theta, \mathrm{P}(\Theta), \mathrm{Pos})$ را به مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی نشان‌می‌دهد. [۱۶]

برای مثال فرض کنید در یک پروژه، مدت زمان تکمیل یکی از فعالیت‌ها با متغیری مثل ξ مشخص‌شود که دارای یک توزیع نرمال به‌صورت $N(\rho , r)$ است، با این تبصره که مقدار میانگین این توزیع، یعنی ρ، نامعلوم است. در این شرایط اگر این مقدار میانگین به‌جای بررسی آماری با نظر یک فرد خبره تخمین زده‌شود، می‌توان آن‌را به‌عنوان یک مقدار فازی درنظرگرفت. در این صورت ξ یک متغیر تصادفی–فازی خواهدبود.

تعریف ٤: اگر ξ یک متغیر تصادفی–فازی باشد که روی یک فضای امکان مثل $(\Theta , P(\Theta) , Pos)$ تعریف است، آن‌گاه مقدار ارزش انتظاری آن از رابطه (۳) به‌دست می‌آید

$$[\xi] = \int_0^{\infty} \mathrm{Cr}\{\theta \in \Theta | E[\xi(\theta)] \geq r\} dr - \int_{-\infty}^{0} \mathrm{Cr}\{\theta \in \Theta | E[\xi(\theta)] \leq r\} dr \qquad (۳)$$

به شرطی که حداقل یکی از دو انتگرال فوق متناهی است[۱۷].

اکنون با استفاده از مفاهیم فوق، می‌توان مدل تصادفی–فازی مورد نظر را ارائه‌کرد.

شرح مدل

فرضیات مدل

در بسیاری از پروژه‌های نیروگاهی، به ویژه پروژه‌های تامین مالی به روش BOT، وام‌ها همواره منبعی اصلی برای سرمایه می‌باشند. بنابراین نحوهٔ ساخت جدول تخصیص وام‌ها برای فعالیت‌های مختلف جهت تکمیل به موقع پروژه برای تصمیم‌گیران بسیار مهم است. برای این‌که بتوان شرایط واقعی مسئله زمانبندی چنین پروژه‌ای را مدل کرد، لازم است که از چند فرض ساده‌کننده استفاده شود. مفروضات مدل حاضر از این قرارند:

الف– همه هزینه‌ها ازطریق وام‌ها و با نرخ سود معین به‌دست می‌آیند. (سود معین در یک طرح BOT نرخ بازگشت سایر سرمایه گذاریها با ریسک مشابه است).

ب– هزینه مورد نیاز برای هر فعالیت یک مقدار غیرقطعی است. که به صورت فازی در نظر گرفته شده است.

ج– قبل از آغاز عملیات اجرایی هر فعالیت، یک تاخیر زمانی بر اساس ریسک‌های شناسایی شده برای شروع فعالیت، با زمان فازی تصادفی رخ می‌دهد.

د– هر فعالیت تنها زمانی می‌تواند شروع به کار می‌کند که وام مورد نیازش تأمین شده، کلیه فعالیت‌های پیش‌نیازی آن تکمیل و تاخیر مربوط به هر فعالیت رخ داده باشد.

ه–در صورت مهیاشدن شرایط آغاز یک فعالیت، آن پروژه بدون هیچ وقفه‌ای آغاز به کار می‌کند.

و– مدت زمان تکمیل‌شدن همه فعالیت‌ها به صورت یک متغیر تصادفی– فازی درنظرگرفته می‌شود. به این صورت که زمان یک فعالیت، یک متغیر نرمال با میانگین فازی در نظر گرفته می‌شود.

تغییرات این مدل نسبت به مدل لیو موارد "ب" و "ج" است، که با توجه به شرایط اجرای طرح‌های بزرگ در کشور، و سوابق گذشته در اجرای اینگونه طرح‌ها در نظر گرفته شده است.

شرح مدل

$$MinC(\mathbf{x},\xi)$$

ST:

$$T(\mathbf{x},\xi) \le T^0, \quad (۴)$$

$$\mathbf{x} \ge 0 \quad (۵)$$

تابع هدف در این مدل کمترین مقدار برای هزینه تامین منابع مالی است.

محدودیت ارائه شده در این مدل بر اساس حداکثر مقدار جهت زمان تکمیل فعالیت‌ها است که نباید بیش از زمان کل اجرای پروژه شود.تعریف پارامترهای مدل به شرح زیر ذکر شده است.

$$C(\boldsymbol{x},\xi) = \sum_{(i,j)\in A} c_{i,j}\left(1+r\right)^{\lceil T(\boldsymbol{x},\xi)-x_i \rceil}, \quad (۶)$$

که علامت ⌈ ⌉در آن نمایش عملگر سقف است که یک عدد را به صورت صحیح و به سمت بالا گرد می‌کند.

برای این‌که بعداً در مرحله محاسبه مقدار ارزش انتظاری هزینه بتوان از رابطه ٦ استفاده کرد لازم است مقادیر فازی هزینه‌ها به مقادیر غیر فازی تبدیل شوند. این‌کار با استفاده از رابطه شماره ۷ به صورت زیر انجام می‌شود.[16]

$$C_{ij} = \left(cp_{ij} + cn_{ij} + co_{ij}\right)/4 \quad (۷)$$

که در آن cpijمقدار هزینه در حالت بدبینانه،cnij مقدار نرمال هزینه و coij مقدار هزینه در حالت خوشبینانه است و Ci,j معادل غیرفازی‌شدهٔ آن است. در نهایت اگر نرخ بهرهٔ بانکی، ثابت و برابر با r باشد، هزینه نهایی کل پروژه به این صورت محاسبه خواهدشد

X = (x1, x2… xn) بردار زمان تخصیص منابع مالی (وام) است.

ξ: بردار فازی تصادفی مدت زمان تکمیل فعالیت‌ها است.

ς: بردار فازی تصادفی مدت زمان تاخیر فعالیت‌ها است.

متغیرهای تصادفی–فازی زمان‌های تکمیل فعالیت‌ها را به این صورت در نظر بگیرید $\xi = \{\xi_{i,j} : (i,j) \in A\}$، که در آن هر ξi,j یک متغیر تصادفی–فازی است که بیانگر مدت زمان لازم برای تکمیل فعالیتی است که با یال (i,j) نمایش داده‌شده است. توجه داشته باشید که تأخیرها نیز در این مجموعه یال‌ها قراردارند. مجموعه زمان‌های تاخیر به صورت $\varsigma = \{\varsigma_{i,j} : (i,j) \in A\}$ نمایش داده شده است.

زمان تکمیل کل پروژه به صورت زیر است.

$$T(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\xi}) = \max_{(k,n+1)\in A}\{T_k(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\xi}) + \xi_{k,n+1}\} \quad (۸)$$

Ti: زمان شروع فعالیت در مرحله شمارهٔ i است که با توجه به فرض «د» واضح است که $Ti \geq Xi$ خواهدبود.

با توجه به $T1(x,\xi) = x1$، زمان آغاز فعالیت‌های مرحله شمارهٔ i، به‌صورت رابطه شماره ۹ است.

$$T_i(x,\xi) = x_i \vee \{D_i(x,\varsigma) + \varsigma_{k,i}\} \quad (۹)$$

همین‌طور در یک جدول زمانبندی X تخصیص وامِ خاص و ς بردار تاخیرات و ξ بردار مدت زمان تکمیل است، در نتیجه طبق رابطه شماره ۱۰ داریم :

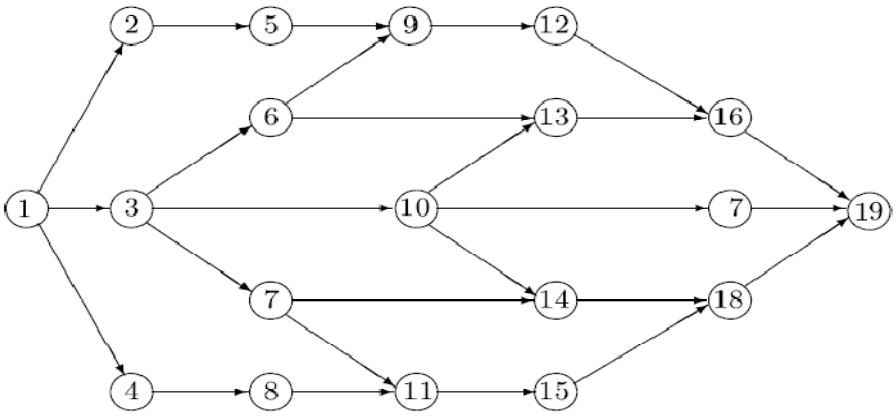
$$D_i(x,\varsigma) \geq \max_{(k,i)\in A}\{T_k(x,\xi) + \xi_{k,i}\} \quad (۱۰)$$

Di: زمان شروع تاخیرفعالیت در مرحله شمارهٔ i است.

To: زمان تکمیل نهایی پروژه است. که در نهایت پروژه در این زمان به اتمام می‌رسد و در ابتدای مدل مشخص است.

با توجه به فرض «ج» و «د» تاخیرات قبل از اجرای هر فعالیت به صورت فعالیت‌های موهومی‌در شبکه پیش‌نیازی و بدون هزینه تعریف شده‌اند.

به طور کلی، پروژه به وسیله یک گراف نمایش داده می‌شود. گراف جهت‌دار بدون دور $G = (V , A)$ را به‌عنوان گراف پروژه طوری درنظر بگیرید که در آن مجموعه رأس‌های $V = \{1, 2,..., n+1\}$ بیانگر مجموعه مراحل پروژه باشد و مجموعه یال‌های جهت‌دار A مجموعه فعالیت‌های پروژه، به‌طوری که هر یال جهت‌دار $(i , j) \in A$ نمایندهٔ فعالیتی اسکه پروژه را از مرحله i به j می‌برد. شکل شماره ۱



شکل شماره ۱- گراف نمایش روابط فعالیت‌های پروژه جهت تشکیل مدل

مدل ارزش انتظاری

روش حل برای مدل مطرح شده؛ بر اساس مدل ارزش انتظاری در ادامه ارائه شده است:

مدل ارزش انتظاری به شرح صفحه بعد است:

$$\min E[C(\boldsymbol{x},\xi)]$$

ST: (۱۱)

$$E[T(\boldsymbol{x},\xi)] \le T^0, \quad (۱۲)$$

$$\boldsymbol{x} \ge 0$$

با توجه به رابطه شماره ۳ که در قسمت قبل ذکر شد روابط ۱۱ و ۱۲ به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$Min(\int_0^{\infty} Cr\{\theta \in \Theta | E[C(x,\xi(\theta))] \ge r\}dr - \int_{-\infty}^{0} Cr\{\theta \in \Theta | E[C(x,\xi(\theta))] \le r\}dr) \quad (۱۳)$$

ST:

$$(\int_0^{\infty} Cr\{\theta \in \Theta | E[T(x,\xi(\theta))] \ge r\}dr - \int_{-\infty}^{0} Cr\{\theta \in \Theta | E[T(x,\xi(\theta))] \le r\}dr) \le T^0 \quad (۱۴)$$

$$x \ge 0$$

روش حل

روش حل مدل توسعه یافته جدید بر مبنای روش حل لیو در مدل‌های قبلی انتخاب شده است، این روش، یک روش ترکیبی با استفاده از شبیه‌سازی تصادفی – فازی در مدل بیشترین ارزش انتظاری و الگوریتم ژنتیک است، که در بخش‌های بعدی ارائه می‌شود. [15]

شبیه‌سازی مدل تصادفی–فازی

در مدل ارائه شده در بخش قبلی، دو تابع غیرقطعی $E[C(\mathbf{x},\xi)]$ (رابطه ۱۱)، به‌عنوان تابع هدف بهینه‌سازی معین شد. به طور کلی تابع غیرقطعی را نمی‌توان مستقیماً محاسبه کرد، بنابراین در این‌جا با استفاده از مفاهیم مقدار ارزش انتظاری یک متغیر تصادفی–فازی، روش شبیه‌سازی تصادفی–فازی ارائه می‌شود تا این توابع غیرقطعی را شبیه‌سازی کند.[15]

شبیه‌سازی تصادفی–فازی ارزش انتظاری

برای شبیه‌سازی مقدار ارزش انتظاری هزینه، به ازای یک فهرست زمانبندی خاص مثل x، از یک روش چندمرحله‌ای که در زیر می‌آید، استفاده می‌شود .

مرحله ۱: E را برابر با «صفر» قراردهید (E = 0).

مرحله ۲: در فضای مرجع Θ، N متغیر مثل θj تولید کنید به طوری که Pos{θj}≥ε باشد (j=1,2,…,N)، وقتی‌که ε یک عدد مثبت و به قدر کافی کوچک، و N یک عدد به قدر کافی بزرگ است.

مرحله ۳: در مجموعه انتخاب شده، مقادیر کمینه و بیشینه $E\left[C(\boldsymbol{x},\xi(\theta_j))\right]$ را به ترتیب a و b بنامید. با توجه به این نکته که به ازای هر θj مقدار $E\left[C(\boldsymbol{x},\xi(\theta_j))\right]$ را با استفاده از شبیه‌سازی تصادفی به‌دست می‌آید.

مرحله ٤: یک عدد تصادفی مثل r در بازهٔ [a , b] تولید کنید.

مرحله ٥: اگر $r \geq 0$ بود، آن‌گاه $E+\mathrm{Cr}\{\theta\in\Theta|E[C(\boldsymbol{x},\xi(\theta))]\geq r\}$ را به جای E قراردهید، و اگر $r < 0$ بود، آن‌گاه $E-\mathrm{Cr}\{\theta\in\Theta|E[C(\boldsymbol{x},\xi(\theta))]\leq r\}$ را به جای E قراردهید.

مرحله ٦: مراحل چهارم و پنجم را N بار تکرار کنید.

مرحله ۷: E از این رابطه به‌دست می‌آید: $E[C(\boldsymbol{x},\xi)]=a\vee 0+b\wedge 0+E\cdot(b-a)/N$.

الگوریتم هیبریدی

برای دستیابی به یک تصمیم بهینه در مسئله زمانبندی پروژه‌ای با مدت زمان‌های فعالیت غیرقطعی، باید از یک الگوریتم هیوریستیک[1] استفاده می‌شود. از آن‌جایی‌که الگوریتم ژنتیک روش مناسبی برای مسئله بهینه‌سازی ای مثل مسئله ما است، مدل شبیه‌سازی‌ای که در فصل قبل معرفی شد را با الگوریتم ژنتیک ترکیب می‌کنیم تا به یک الگوریتم هیبریدی دست یابیم. الگوریتم هیبریدی مورد نظر به روش زیر ساخته می‌شود.[20]

معرفی کروموزوم مورد استفاده

بردار نامنفی x = (x1, x2,..., xn) را به‌عنوان کروموزوم روش الگوریتم ژنتیک برمی‌گزینیم که در آن، همان‌طور که قبلاً تعریف شد، هر xi معرف زمانی است که وام همه فعالیت‌هایی که در مرحله شمارهٔ i پروژه باید انجام شوند، به آن‌ها اختصاص داده می‌شود.

مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک به ترتیب به صورت زیر برای حل مدل استفاده شده است.

- **فرآیند شروع**
- **عملیات تقاطع**
- **عملیات جهش**

[1] Heuristic

- **تابع ارزیابی**
- **فرآیند انتخاب**

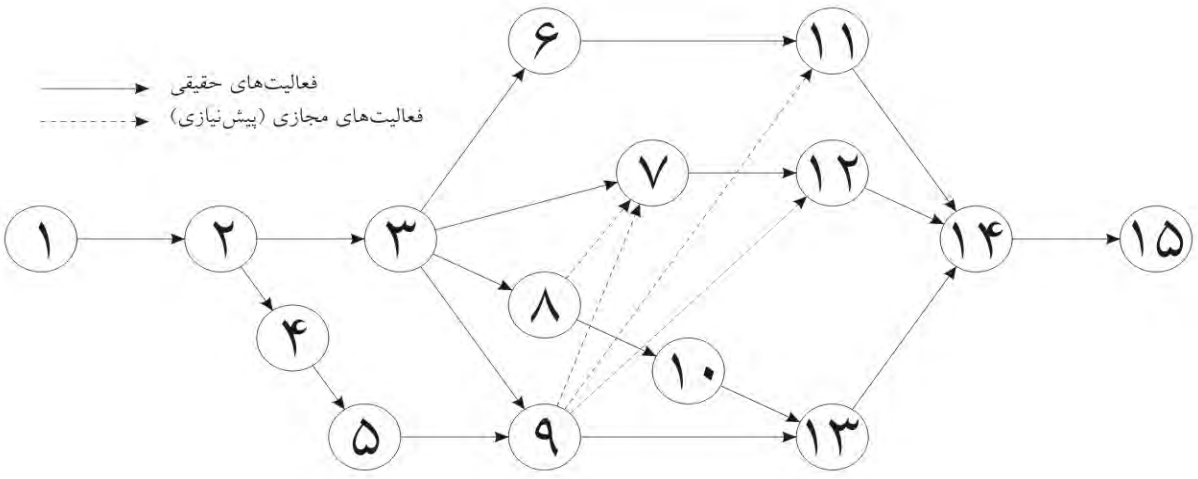
حل مدل توسط داده‌های واقعی

بر اساس اطلاعات ساخت و طراحی یک نیروگاه آبی؛ مثالی عددی ارائه می‌شود.

در تقریب زمان فعالیت‌ها با توجه به اتمام برخی پروژه‌ها و سوابق موجود، یک توزیع نرمال برای برازش این داده‌ها استفاده شده‌است. اما با توجه به امکان وقایع خاص و کنترل‌نشده مانند سیل و عوامل محیطی، خصوصیت فازی در این کمیت در نظر گرفته می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، خصوصیت غیرقطعی دیگر این مدل فازی‌بودن هزینه فعالیت‌ها است که مقادیر فازی آن‌ها نیز به همین روش استخراج شده‌است. به‌علاوه توزیع‌های تصادفی-فازی‌ای نیز که برای تأخیرها درنظر گرفته شده از همین روش بررسی داده‌های خام به‌دست آمده‌است.

در ادامه ابتدا مراحل مختلف پروژه، که هر یک به‌عنوان یک فعالیت در مدل ارائه‌شده در فصل قبل درنظرگرفته شده اند، معرفی شده و پیش‌نیازی، هزینه فازی، توزیع غیرقطعی مدت زمان تکمیل و امکان تأخیر هرکدام مشخص می‌شود. سپس با توجه به این اطلاعات گراف مدل ساخته‌می‌شود. پس از برنامه نویسی با استفاده از نرم افزار مطلب و حل مثال ارائه شده توسط لیو و تحقیق درستی الگوریتم حل؛ با استفاده از این الگوریتم مثال زیر در یک مدل توسعه یافته حل شده است.

مدل کلی



شکل شماره ۲- گراف مدل طراحی و ساخت نیروگاه آبی

مهندسی

در ابتدای مطالعه هر طرح بر اساس شرایط طرح مشخصات کلی آن استخراج می‌شود. در پروژه‌های احداث نیروگاه های آبی با توجه به آن‌که نیروگاه می‌بایست منطبق با شرایط فیزیکی اطراف آن طراحی شود این عملیات بسیار حساس است. هر سه فاز طراحی مفهومی، طراحی پایه و طراحی تفصیلی در این فعالیت در نظر گرفته شده است.

تامین

در زیر تأمین تجهیزات پروژه در چند فعالیت کلیدی خلاصه شده‌اند؛ همچنین پارامترهای مورد استفاده در مدل‌سازی هرکدام از فعالیت‌ها در جدول شماره ۱ ذکر شده است. اهمیت فرآیند تامین و چگونگی مدیریت سایر پیمانکاران تاثیر بسزایی در زمان و هزینه یک طرح نیروگاهی دارد.

نصب و راه اندازی

به طور کلی فرآیند پس از تامین تجهیزات، فرآیند نصب است. در این فرآیند تجهیزات طبق دستورالعمل‌های خاص سازندگان در محل خود مستقر و آماده راه‌اندازی می‌شوند.

فرآیند نصب به دلیل حساسیت تجهیزات و دقت‌های بسیار بالا همواره دارای اهمیت خاصی است، طول عمر یک نیروگاه و یا بسیاری از ایرادات بر اساس دقت این فرآیند تعیین می‌شود.

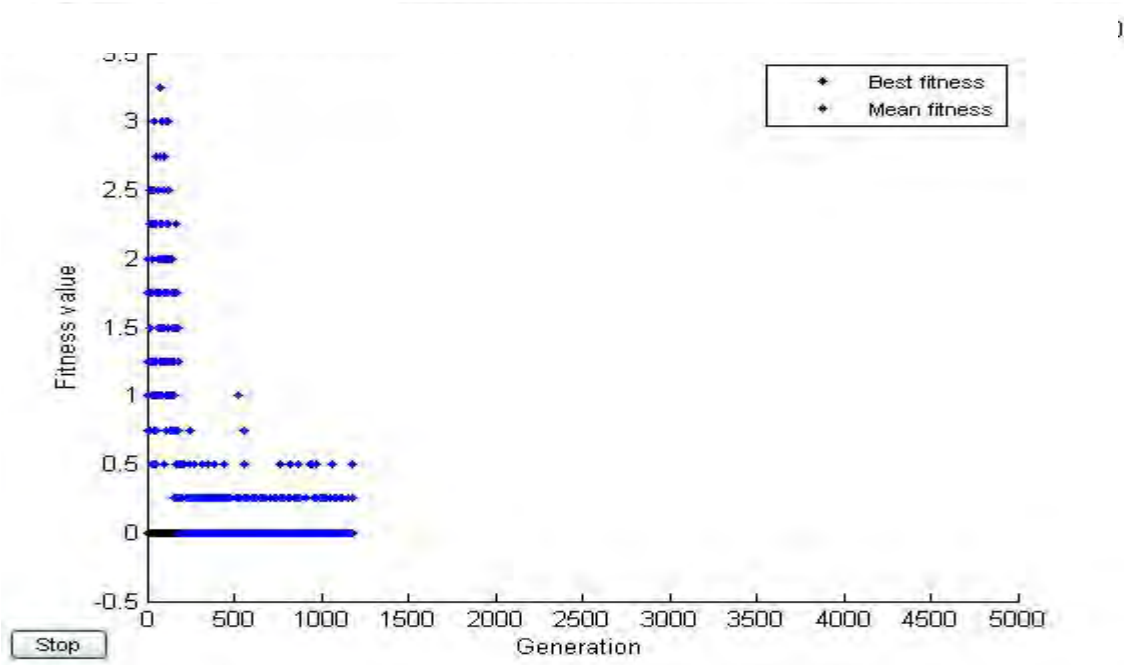
پس از استقرار تجهیزات مرحله پیش‌راه اندازی صورت می‌گیرد وپس از رفع عیوب احتمالی مرحله راه اندازی انجام می‌شود.

داده‌ها

شماره	عنوان فعالیت(i-j)- طبق شکل شماره ۲	توزیع نرمال زمان تکمیل		توزیع نرمال زمان تأخیر	
		میانگین	واریانس	میانگین	واریانس
	فعالیت‌های مرحله مهندسی				
۱	طراحی پایه(۲-۱)	(۶۰، ۸۰، ۱۰۰)	۳۰	(۳۰،۱۵،۰)	۱۰
۲	طراحی جزئیات تجهیزات(۳-۲)	(۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰)	۱۰۰	(۱۰۰،۸۰،۶۰)	۲۰
۳	طراحی ساختمانی نیروگاه(۴-۲)	(۸۰،۱۰۰،۱۲۰)	۱۰۰	(۵۰،۴۰،۳۰)	۲۰
	فعالیت‌های مرحله تأمین				
۴	تأمین توربین(۹-۳)	(۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰)	۲۰۰	(۱۲۰،۹۰،۶۰)	۴۰
۵	تأمین ژنراتور(۸-۳)	(۱۳۵۰،۱۲۰۰،۱۰۵۰)	۱۵۰	(۱۵۰،۱۳۰،۱۱۰)	۵۰
۶	تأمین هیدرومکانیک(۶-۳)	(۵۵۰، ۸۰۰، ۱۰۵۰)	۲۵۰	(۱۰۰،۸۰،۶۰)	۳۰
۷	تأمین جرثقیل(۵-۴)	(۳۱۰، ۳۶۰، ۴۱۰)	۵۰	(۶۰،۴۰،۲۰)	۱۰
۸	تأمین تجهیزات کمکی(۷-۳)	(۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰)	۶۰	(۳۰،۲۰،۱۰)	۱۰
۹	تأمین ترانسفورمر(۱۰-۸)	(۳۲۰، ۳۷۰، ۴۲۰)	۶۰	(۸۰،۶۰،۴۰)	۲۰
۱۰	تأمین باسداکت(۱۳-۱۰)	(۲۷۰، ۳۰۰، ۳۳۰)	۳۰	(۴۰،۳۰،۲۰)	۱۰
۱۱	تأمین شیرپروانه‌ای(۱۱-۶)	(۲۰۰، ۵۰۰، ۸۰۰)	۳۰۰	(۳۵۰،۳۰۰،۲۵۰)	۴۰
۱۲	خریدهای جانبی(۱۲-۷)	(۶۰، ۱۰۰، ۱۴۰)	۴۰	(۳۰،۲۰،۱۰)	۵
	فعالیت‌های مرحله نصب و راه‌اندازی				
۱۳	نصب جرثقیل(۹-۵)	(۶۰، ۹۰، ۱۲۰)	۵۰	(۲۰،۱۵،۱۰)	۵
۱۴	نصب تجهیزات هیدرومکانیک و شیرپروانه‌ای (۱۴-۱۱)	(۴۲۰، ۵۰۰، ۵۸۰)	۲۱۵	(۲۵۰،۲۰۰،۱۵۰)	۲۰
۱۵	نصب توربین(۱۳-۹)	(۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰)	۲۰۰	(۲۰۰،۱۸۰،۱۶۰)	۳۰
۱۶	نصب ژنراتور، ترانسفورمر و باسداکت(۱۴-۱۳)	(۵۱۰، ۶۱۰، ۷۱۰)	۱۵۵	(۳۵۰،۳۰۰،۲۵۰)	۳۰
۱۷	نصب تجهیزات کمکی(۱۴-۱۲)	(۲۲۰، ۲۵۰، ۲۸۰)	۱۰۰	(۳۰،۲۰،۱۰)	۱۰
۱۸	راه‌اندازی(۱۵-۱۴)	(۲۴۰، ۲۷۰، ۳۰۰)	۱۲۰	(۵۰،۴۰،۳۰)	۲۰

جدول شماره ۱- اطلاعات مورد اولیه

حل مدل ارائه شده با داده‌های واقعی



شکل شماره ۳- نتیجه حل شده الگوریتم ژنتیک

پس از اجرای برنامه مطلب؛مدل ارائه شده حل شده است (شکل شماره ۳) و نتایج آن به شرح زیر است:

در حالت ارزش انتظاری زمانبندی دریافت وام برای هر گره به صورت ماه اجرای پروژه در جدول زیر مشخص شده است:

ماه	۰	۰	۱۳	۱۹	۳۲	۲۷	٥٤	٦٣	۷۰	۸۱	۸٦	۹۱	۱۱۸	۱۲۲	۱۲٦
گره	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥

جدول شماره ۳- جواب‌های بهینه در روش ارزش انتظاری

تعداد نسل‌ها ۱۲۰۰ بار و در هر بار شبیه‌سازی تصادفی – فازی مقدار ۲۵ با در حلقه درونی و ۱۰ بار در حلقه بیرونی صورت گرفته است.

نتیجه گیری

در این تحقیق یک مدل جدید در زمان‌بندی بهینه جهت تخصیص منابع مالی ارائه شده است در این مدل با تخصیص بودجه هر فعالیت در زمان‌های مناسب طوری برنامه‌ریزی می‌شود تا هزینه مالی کل می‌نیمم شود.

در مدل‌های ارائه شده قبلی با توجه به روابط پیشنیازی فعالیت‌ها، و زمان‌های تصادفی – فازی هر فعالیت یک زمان نرمال با میانگین فازی برای اجرای هر فعالیت در نظر گرفته می‌شد که با در نظر گرفتن هزینه قطعی؛ زمان دریافت وام به نحوی برنامه‌ریزی می‌شد که زمان کلی اجرای طرح از زمان مشخص شده فراتر نرود و برای انجام فعالیت منابع کافی وجود داشته باشد، و جمع هزینه تامین مالی با توجه به نرخ بازگشت سرمایه مانند مدل‌های اقتصاد مهندسی می نیمم شود.

در این مدل با توجه به بررسی اجرای یک طرح ساخت و طراحی نیروگاه آبی، مدل‌های بررسی شده، جوابگوی مدلسازی و بهینه سازی تحصیص منابع مالی در اینگونه طرح‌ها نبود، در شرایط محیطی اجرای اینگونه پروژه‌ها مانند شرایط ایران، تاخیر در شروع هر فعالیت و هزینه‌های غیر قطعی به همراه زمان‌های غیر قطعی وجود دارد.لذا مدل جدید با توجه به مدل‌های قبلی و با در نظر گرفتن فرضیات جدید در این مقاله ارائه شده است.

در نهایت مدل جدید با استفاده از روش ارزش انتظاری(EVP) بر اساس یک الگوریتم هیبریدی حل شده است. و جواب‌های مناسبی به دست آمده است.

الگوریتم هیبریدی ترکیب شبیه‌سازی تصادفی جهت مشخص کردن مقدار ارزش انتظاری برای زمان و هزینه در روش ارزش انتظاری با الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی جواب است.

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر شهانقی عضو محترم هیات علمی‌دانشکده صنایع – دانشگاه علم و صنعت ایران؛ که به عنوان استاد راهنما، راهگشای تحقیق در خصوص این موضوع بوده‌اند، صمیمانه سپاسگزارم.

مراجع

[1] Hydropower plant facilities (1997) Ilynykh, I.I., Mardi ,University of Abbaspour

[2] Hydro power plant، (2009), Amirkabir

[3] Sebt and Shayegh , (2009) ,BOT and new approach for financialized project.Bayat,

[4] Liu, B. (2004) Uncertainty Theory: An Introduction to its Axiomatic Foundations, Berlin, Springer-Verlag.

[5] Yamashita, D.S., Armentano, V.A. and Laguna, M.L. (2006) 'scatter search for project scheduling with resource availability cost', European Journal of operational Research, 169, 623-637.

[6] Debels, D., Reyck, B.D., Leus, R. and Vanboucke, M. (2006) 'A hybrid scatter search / electromagnetism meta-heuristic for project scheduling', European Journal of operational Research 169, 638-653.

[7] Zhang, H., Li, H. and Tam, C.M. (2006) 'particle swarm optimization for resource - constrained project schedulicg', International Journal of project Management 24, 83-92.

[8] Damay, J., Quilliot, A. and Sanlaville, E. (2007) 'Linear programming based algorithms for preemptive and non-preemptive RCPSP', European Journal of operational Research 182, 1012-1022.

[9] Ranjbar, M., Kianfar, F. and Shadrokh, S. (2008) 'solving the resource availability cost problem in project scheduling by path relinking and genetic algorithm', Applied Mathematics and computation 196 (2), 879-888.

[10] Taregbiac, H.R. and Taheri, S.H. (2007) 'A Solution procedure for the discrete time, cost and Quality tradeoff problem using electromagnetic scatter search', Applied Mathematics and computation 190, 1136-1145.

[11] Jarboui, B., Damak, N., Siarry, P. and Rebai, A. (2008) 'A Combinatorial particle swarm optimization for solving Multi-Mode resource - constrained project scheduling problems', Applied Mathematics and computation 195, 299-308.

[12] Mika, M., Waligora, G. and Weglarz, J. (2008) 'Tabu search for multi-Mode resource -constrained project scheduling with schedule - dependent setup times', European Journal of operational Research 187, 1238- 1250.

[13] Waligora, G. (2008) 'Discrete - continuous project scheduling with discounted cash flows-A tabu search approach', computers & operations research 35, 2141-2153.

[14] Ke, H. and Liu. B. (2007) 'project scheduling problem with mixed uncertainty of randomness and fuzziness', European Journal of operational Research 183,135-147.

[15] Liu, B. and Liu, Y. (2002) 'Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models', IEEE Transactions on Fuzzy Systems 10 (4), 445–450.

[16] Liu, B. (2002) Theory and Practice of Uncertain Programming, Heidelberg, Physica-Verlag.

[17] Liu, Y. and Liu, B. (2003) 'Expected value operator of random fuzzy variable and random fuzzy expected value models', International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems 11 (2), 195–215.

[18] Ke, H and Liu, B. (2004) 'Fuzzy project scheduling problem and its hybrid intelligent algorithm', Technical Paper.

[19] Liu, B. (1997) 'Dependent-chance programming: A class of stochastic programming', Computers and Mathematics with Applications 34 (12), 89–104.

[20] Liu, B. (1999) 'Dependent-chance programming with fuzzy decisions', IEEE Transactions on Fuzzy Systems 7 (3), 354–360.

[21] Liu, B. (2002) 'Random fuzzy dependent-chance programming and its hybrid intelligent algorithm', Information Sciences 141 (3–4), 259–271.

[۲۲] سبط، محمد حسن، شایق،سهیل. (۱۳۸۵) BOT و کاربرد آن در قراردادهای زیر بنایی ایران؛ انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

شوندی، ح. (۱۳۸۵) نظریه مجموعه‌های فازی و کاربرد آن در مهندسی صنایع و مدیریت، انتشارات گسترش

[۲۳] احمدی، ا. و حسینی بهارانچی، س.ر. (۱۳۸۳) مدیریت و کنترل پروژهٔ فازی، موسسه انتشارات جهان جام‌جم.

[۲٤] غضنفری، م. و رضایی، م. (۱۳۸۵) مقدمه‌ای بر نظریه مجموعه‌های فازی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

[۲۵] شوندی، ح. (۱۳۸۵) نظریه مجموعه‌های فازی و کاربرد آن در مهندسی صنایع و مدیریت، انتشارات گسترش