نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۳، اسفند ۱۳۹۱
صفحـــــه ۵۲۶-۵۱۶

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید
دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

# ارائه یک زمانبندی بهینه تخصیص منابع مالی در یک پروژه طراحی و ساخت نیروگاه آبی بر اساس پارامترهای تصادفی فازی با استفاده از الگوریتم هیبریدی

کامران شهانقی* و علی علیرضایی

**کلمات کلیدی**

برنامه ریزی فازی احتمالی،
مدل ارزش انتظاری،
مدل بیشترین شانس،
شبیه‌سازی فازی،
الگوریتم ژنتیک،
نیروگاه آبی.

**چکیده:**

در حال حاضر با توجه به افزایش سرمایه گذاری در پروژه‌های بزرگ توسط بخش خصوصی و اجرای بسیاری از طرحها با روشهایی نظیر طراحی، ساخت و تامین مالی[1] برنامه ریزی تامین منابع مالی دارای اهمیت فراوان شده است.

در این مقاله تلاش می‌شود با توجه به عدم قطعیتها در زمان و هزینه فعالیتهای مختلف یک پروژه، برنامه‌ریزی منابع مالی به صورت 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، صورت می‌گیرد، همچنین یک نمونه از اجرای پروژه طراحی و ساخت نیروگاه آبی که با توجه به شرایط طراحی و اجرای خاص ذاتا دارای رخدادهایی با زمان و هزینه غیرقطعی می‌باشد، به تفکیک بخشهای مهندسی، تامین و نصب، در یک فضای احتمالی فازی مدل شده است و سپس بر اساس روش ارزش انتظاری و روش بیشترین شانس با در نظر گرفتن، محدودیت زمان کل اجرای طرح و محدودیت پیشنیازی فعالیتها مدل‌سازی و حل شده است.

جواب بهینه در این روش بر اساس ترکیب شبیه سازیهای تصادفی و فازی و مفهوم اعتبار با استفاده از الگوریتم ژنتیک می باشد.

## ۱. مقدمه

تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی هزینه و نحوه استقراض جهت اجرای فعالیتهای یک پروژه در شرایط عدم قطعیت زمانها، مسئله دشوار و مهمی از دید اجرای هر طرح کلان می‌باشد. چراکه اولاً تعدد فعالیت‌ها و وابستگی آن‌ها به یکدیگر شرایط را پیچیده می‌کند و ثانیاً وجود عدم‌قطعیت 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 تهیه‌کنندگان مقاله تلاش کرده اند 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 بفرد برای هر نیروگاه انجام می‌شود؛ شرایط خاصی برای بسیاری از این طرحها با توجه به موقعیت اجرا وجود دارد[۱] همچنین اجرای اینگونه طرحها در معرض طغیان رودها و آب و هوای خاص می‌باشد. کلیه این شرایط فعالیتهای متعدد اینگونه طرحها را با ریسکها متعدد در زمان و هزینه مواجه می کند [۲].

**تاریخ وصول:** ۸۹/۱۰/۲۰
**تاریخ تصویب:** ۹۰/۵/۳۰

***نویسنده مسئول مقاله: دکتر کامران شهانقی**، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم وصنعت ایران، shahanaghi@iust.ac.ir
**علی علیرضایی**، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، a.alirezaee@farab.com

1. *EPCF*

با توجه به گسترش استفاده از منابع مالی به صورت وام و یا سرمایه گذاری؛ تخصیص مناسب زمان تامین منابع مالی برای هر فعالیت، به منظور پیشبرد مناسب طرح با در نظر گرفتن عدم قطعیت در زمان و هزینه هر فعالیت به دلیل مسائل ذکر شده، حائز اهمیت است. رویکرد کلی در این تحقیق ارائه یک زمانبندی تخصیص منابع مالی با توجه به شرایط و محدودیتها می‌باشد [۳].
مسئله زمانبندی پروژه عبارت است از تعیین یک توالی زمانی یا برنامه زمانبندی جهت انجام مجموعه‌ای از فعالیت‌های وابسته که تشکیل‌دهنده پروژه می‌باشند. برنامه زمانبندی باید به‌گونه‌ای تعیین شود که ضمن برآورده ساختن محدودیت‌های پیش‌نیازی و منابع، تابع هزینه کلی مورد نظر بهینه گردد [۲۵].
از دهه ۱۹۶۰، محققان به بررسی مساله زمان بندی 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 زمان بندی پروژه با هدف کاهش کل هزینه را طراحی نمود [۴]. با این وجود، با توجه به ابهام در زمان و مدت فعالیت، عدم اطمینان همواره در مساله زمان بندی پروژه وجود دارد. فریمن ابتدا نظریه احتمال را در مساله زمان بندی پروژه در سال ۱۹۶۰ معرفی کرد. چارنس به بررسی مساله زمان بندی پروژه از طریق برنامه ریزی با محدودیت احتمال پرداخت بطوریکه بیشترین زمان تکمیل تحت محدودیت احتمال زمان کاهش می‌یابد[۱۷]. گلونکو- گنیزبرگ و گونیک، مدل ارزش مورد انتظار در حل نوع ساده مساله زمان بندی پروژه را ارائه کردند[۱۵].
همچنین در زمینه مدلهایی که با در نظر گرفتن منابع مالی و جریان نقدی یک طرح، الگوریتمهایی را توسعه داده اند، می توان به تحقیقات میکا[1] و دیگران در ارائه یک الگوریتم زمانبندی بر اساس انواع روشهای پرداخت با استفاده از شبیه سازی جستجوی ممنوع[2] و آنیلینگ[3] اشاره کرد [۱۳].
کاوالاک[4] و همکاران در سال ۲۰۰۹ طی یک تحقیق در خصوص مدل مشهور کارفرما - پیمانکار با منابع تجدید پذیر اثر دو روش پرداخت بر اساس پیشرفت کار و رسیدن به نقاط مشخص شده را در هزینه های یک پروژه با استفاده از شبیه سازی آنیلینگ[3] و الگوریتم ژنتیک تحقیق کردند [۴]. چن[5] و همکاران در سال ۲۰۱۰ با استفاده از الگوریتم حل خانه مورچگان مساله زمانبندی را در یک مدل با در نظر گرفتن جریان ورودی و خروجی منابع مالی تحقیق کردند. همچنین رضا اکبری و همکاران در سال ۲۰۱۱ با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی به حل مدل و مقایسه عملکردی آن با سایر الگوریتمهای حل پرداختند[۶]. در مدلهای ذکر شده که با هدف زمانبندی انجام فعالیتها با در نظر گرفتن محدودیت منابع تلاش کرده اند موارد مربوط به زمان فعالیتها به صورت قطعی دیده شده است [۹].
مدلهای دیگری در زمینه زمانبندی دریافت منابع مالی مورد بررسی قرار گرفت؛ فعالیت در خصوص این دسته از مدلها کمتر از موارد قبلی است؛ تلاشهای اخیر در این زمینه شامل، تحقیقات هی و زو[6] در سال ۲۰۰۸ به منظور تعیین یک روش پرداخت در طرحها با در نظر گرفتن جرائم ، پاداشها و روشهای مختلف اجرای یک فعالیت با استفاده از دو الگوریتم شبیه سازی آنیلینگ[3] برای حل این مساله که زمان پرداخت و نحوه اجرای فعالیت را مشخص کند [۱۲]. هی[7] و همکاران مساله زمانبندی پرداختها با در نظر گرفتن روشهای اجرایی مختلف برای هر فعالیت که به صورت پیوسته می تواند انتخاب شود را به منظور زمانبندی پرداختها و نحوه اجرای هر فعالیت به منظور دستیابی به بیشترین ارزش حال برای جریان نقدی با استفاده از شبیه سازی آنیلینگ و جستجوی ممنوعه جواب داده اند[۱۰]. در این مدلها، مساله زمانبندی به همراه تاثیر آن بر روشهای مختلف اجرای یک فعالیت مورد بررسی قرار گرفته است تا به یک تخصیص بهینه مشخص شود. هر چند تاثیر زمان و هزینه بر یکدیگر در اجرای هر فعالیت می تواند مورد نظر باشد ولی در نظر گرفتن عدم قطعیتهای طبیعی در اجرای یک فعالیت به خصوص برای پروژه‌هایی که با این مساله بیشتر مورد تاثیر قرار می‌گیرند می تواند زمینه کار مناسبتری باشد.
تحقیق در خصوص طراحی و اجرای طرحهای خاص مانند نیروگاههای آبی به دلیل استفاده از یک طراحی ویژه و منحصر بفرد در هر پروژه و شرایط اقلیمی اجرای هر طرح، استفاده از مدلهای غیر قطعی را در زمینه برنامه‌ریزی جهت تامین مناسب منابع مالی ناگزیر می‌سازد. لذا با در نظر گرفتن این موارد؛ تحقیقات بعدی در خصوص تاثیر عدم قطعیت در زمان و هزینه یک فعالیت و زمانبندی تخصیص متابع مالی به منظور کمترین هزینه جستجو شد.
تحقیقات اصلی در این خصوص توسط لیو و کی[8] صورت گرفته است که به منظور شفافیت بیشتر مختصری از این تحقیقات ذکر می شود [۱۷].
لیو و کی از سال ۲۰۰۵ در سه عنوان مقاله در این زمینه به ارائه مدل ترکیبی خود پرداخته اند ؛ ابتدا مساله تخصیص زمانها بر اساس فعالیتهای با زمان احتمالی مورد بررسی قرار گرفته است

---

[1] *Mika*
[2] *Tabu search*
[3] *Annealing*
[4] *Kavalak*
[5] *Chen*
[6] *He and Xu*
[7] *He*
[8] *Baoding Liu and Hua Ke*

سپس زمان این فعالیتها به صورت فازی در نظر گرفته شده و پس از آن با ترکیب مدل فازی و احتمالی در زمان انجام فعالیتها مدل جدیدی ارائه کرده اند این مدل با استفاده از الگوریتم هوشمند چندگانه را برای حل مساله زمان بندی پروژه به منظور کاهش هزینه مورد انتظار حل شده است، در این مدل سه روش برای تعیین تابع هدف مد نظر قرار گرفته است اولین آن مدلی است که هزینه مورد انتظار تحت محدودیت زمان تکمیل مورد انتظار کاهش می‌یابد [۱۸]. دومین مدل مدل کاهش هزینه $\alpha$ می‌باشد جایی که هزینه با احتمال $\alpha$ تحت محدودیت احتمال زمان تکمیل $\beta$ کاهش می‌یابد [۲۰] و مدل آخر، مدل بالاترین احتمال است جایی که احتمال این رویداد که هزینه بیش از بودجه نمی‌باشد تحت محدودیت احتمال زمان تکمیل افزایش می‌یابد [۲۲].

اگرچه نظریه احتمالی در مساله زمان بندی پروژه با موفقیت به کار برده شده است و مساله با فرضیه احتمالی بودن کاربردهای بسیاری را نشان داده است، اما گاهی اوقات زمان اجرای فعالیت را بعنوان یک متغیر تصادفی نمی‌توان در نظر گرفت.

در پروژه‌های مختلف به دلیل مشخصات منحصر بفرد هر پروژه و کمبود داده‌های آماری، توزیع‌های احتمال برای زمان‌های مدت فعالیت کاملا و یا تا حدی ناشناخته می‌باشند. در این مورد، نظریه احتمال جای خود را به نظریه مجموعه فازی می‌دهد که توسط زاده معرفی شده است.

در سال ۱۹۷۹، پاراد ابتدا از این نظریه در مساله زمان بندی پروژه استفاده کرد [۱۴]. همچنین چارنز و کوپر[1] برای اولین بار از یکسری پارامترهای احتمالی برای هزینه چرخه عمر پروژه وقتی که پارامترهای فازی خاصی به جای متغیرهای تصادفی بکار گرفته شوند، استفاده نمود [۱۵]. کی‌ولیو، ۳ نوع مدل مبهم تحت عنوان مدل کاهش هزینه مورد انتظار فازی، مدل کاهش هزینه $\alpha$ مبهم و مدل بیشترین افزایش اعتبار را ارائه کردند تا مساله زمان بندی پروژه مبهم را در سال ۲۰۰۴ حل کنند [۱۶].

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، 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 این مقاله در بخش دوم تعریف مفهوم اعتبار و ارزش انتظاری برای متغیر تصادفی فازی ارائه می‌شود در بخش سوم مساله مدل-سازی می‌شود و بر مبنای دو روش حل، ارزش‌انتظاری و بیشترین شانس یک مدل جدید تشکیل می‌شود ، در بخش چهارم با استفاده از شبیه سازی تصادفی فازی و الگوریتم ژنتیک، حل مدل ارائه می‌شود، سپس در بخش پنجم یک نمونه عددی مدل سازی و حل شده است و در نهایت نتیجه گیری ارائه می‌گردد.

## ۲. 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 باشد اما مقادیر پارامترهای آن به صورت فازی در نظر گرفته شود. مفهوم متغیر تصادفی فازی بوسیله کواکرناک معرفی شده است،[۱۵] برای مدل‌سازی مسئله زمانبندی پروژه تصادفی-فازی، مفاهیم اصلی مورد استفاده در این زمینه، ارائه می‌شوند [۱۱].

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

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

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

تعریف ۱: اگر $\xi$ یک متغیر فازی باشد، آن‌گاه مقدار ارزش انتظاری آن از این رابطه به‌دست می‌آید

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

به شرطی که حداقل یکی از دو انتگرال رابطه فوق متناهی باشد [۱۶]. برای تعریف مفهوم متغیر تصادفی-فازی، لازم است ابتدا مفهوم فضای امکان تعریف شود.

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

تعریف ۳: یک متغیر تصادفی-فازی مثل $\xi$، تابعی است که فضای امکان $(\Theta, P(\Theta), Pos)$ را به مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی نشان‌می‌هد [۱۶].

[1] Charnes and Cooper

برای مثال فرض کنید در یک پروژه، مدت زمان تکمیل یکی از فعالیت‌ها با متغیری مثل $\xi$ مشخص‌شود که دارای یک توزیع نرمال به‌صورت $N(\rho\ ,\ r)$ است، با این تبصره که مقدار میانگین این توزیع، یعنی $\rho$ ، 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 $\xi$ یک متغیر تصادفی-فازی خواهدبود.

تعریف ۴: اگر $\xi$ یک متغیر تصادفی-فازی باشد که روی یک فضای امکان مثل $(\Theta, P(\Theta), Pos)$ تعریف شده‌باشد، آن‌گاه مقدار ارزش انتظاری آن از رابطه (۳) به‌دست می‌آید.

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

به شرطی که حداقل یکی از دو انتگرال فوق متناهی باشد [۱۷]. اکنون با استفاده از مفاهیم فوق، می‌توان مدل تصادفی-فازی مورد نظر را ارائه‌کرد.

## ۳. شرح مدل

### ۳-۱. فرضیات مدل

در بسیاری از پروژه‌ها، به ویژه پروژه‌های با مقیاس بزرگ، وام‌ها همواره منبعی 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.

ب- هزینه مورد نیاز برای هر فعالیت یک مقدار غیرقطعی می‌باشد. 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.

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

### ۳-۲. شرح مدل

$$MinC(\mathbf{x},\xi) \qquad (۴)$$

$$\begin{aligned} &ST:\\ &T(\mathbf{x},\xi)\leq T^0,\\ &\mathbf{x}\geq 0 \end{aligned} \qquad (۵)$$

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

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

که علامت $\lceil\ \rceil$ 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 ۶ 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 [۱۶].

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

که در آن $cp_{ij}$ مقدار هزینه در حالت بدبینانه، $cn_{ij}$ مقدار نرمال هزینه و $co_{ij}$ مقدار هزینه در حالت خوشبینانه می باشد و $C_{i,j}$ 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.

$\boldsymbol{X} = (x_1, x_2 \dots x_n)$ بردار زمان تخصیص منابع مالی (وام) است.

$\xi$: بردار فازی تصادفی مدت زمان تکمیل فعالیتها می‌باشد.

$\varsigma$: بردار فازی تصادفی مدت زمان تاخیر فعالیتها می باشد.

متغیرهای تصادفی-فازی زمان‌های تکمیل فعالیت‌ها را به این صورت درنظربگیرید $\xi = \{\xi_{i,j} : (i,j) \in A\}$، که در آن هر $\xi_{i,j}$ یک متغیر تصادفی-فازی است که بیانگر مدت زمان لازم برای تکمیل فعالیتی است که با یال (i,j) نمایش‌داده‌شده‌است. توجه داشته‌باشید 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 می‌باشد.

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

$T_i$: زمان شروع فعالیت در مرحله شمارهٔ i می‌باشد که با توجه به فرض «د» واضح است که $T_i \ge X_i$ خواهدبود. با توجه به $T1(x,\xi)= x1$، زمان آغاز فعالیت‌های مرحله شمارهٔ i، به‌صورت رابطه شماره ۹ می‌باشد.

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

همین‌طور در یک جدول زمانبندی $\boldsymbol{X}$ تخصیص وامِ خاص و $\varsigma$ بردار تاخیرات و $\xi$ بردار مدت زمان تکمیل است، در نتیجه طبق رابطه شماره ۱۰ داریم :

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

$D_i$: زمان شروع تاخیرفعالیت در مرحله شمارهٔ i می‌باشد.

$T^0$: زمان تکمیل نهایی پروژه می باشد. که در نهایت پروژه در این زمان به اتمام می‌رسد و در ابتدای مدل مشخص می باشد.

با توجه به فرض «ج» و «د» تاخیرات قبل از اجرای هر فعالیت به صورت فعالیتهای موهومی در شبکه پیشنیازی و بدون هزینه تعریف شده اند. 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، به‌طوری‌که هر یال جهت‌دار (i , j) ∈ A نمایندهٔ فعالیتی باشد که پروژه را از مرحله i به j می‌برد. شکل شماره ۱.

### ۳-۳. مدل ارزش انتظاری

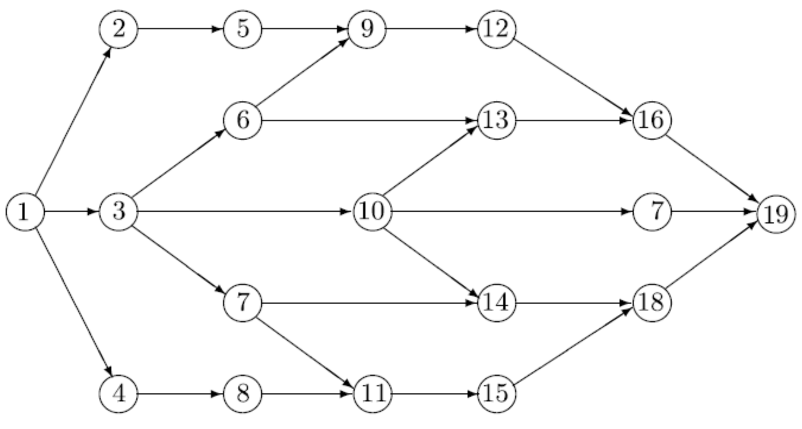
روشهای حل برای مدل مطرح شده؛ بر اساس مدل ارزش انتظاری و بیشترین شانس در ادامه ارائه شده است:

مدل ارزش انتظاری به شرح صفحه بعد می‌باشد:

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

$$\min E[C(\boldsymbol{x}, \xi)] \qquad (۱۱)$$

$$\begin{aligned} &ST: \\ &E[T(\boldsymbol{x}, \xi)] \le T^0, \\ &\boldsymbol{x} \ge 0 \end{aligned} \qquad (۱۲)$$




**شکل ۱. گراف نمایش روابط فعالیتهای پروژه جهت تشکیل مدل**

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

$ST:$

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

$$x \ge 0$$

### ۴-۳. مدل بیشترین شانس

در بسیاری از مشکلات عملی به خاطر مشکلات فضای واقعی در تخصیص سرمایه یا زمان، تصمیم گیرندگان می‌خواهند با بالاترین شانس به اهدافشان برسند چون برخی اهداف به طور کامل قابل دستیابی نمی‌باشند. برنامه‌ریزی احتمال وابسته (DCP) که توسط لیو آغاز شد، برای رسیدن به این نوع هدف بهینه سازی به کاربرده می‌شود [۱۵].

در مساله زمان بندی پروژه مبهم تصادفی به خاطر محدودیت سرمایه، تصمیم گیرنده می‌خواهد این احتمال را افزایش دهد که کل هزینه بیش از بودجه ارائه شده تحت محدودیت زمانی نمی‌باشد. در این مورد، ما مدل بالاترین احتمال را به صورت زیر ارائه می‌کنیم.

$$\text{Max}(\gamma | \text{Cr}\{\theta \in \Theta | \Pr\{C(\mathbf{x},\xi(\theta)) \le C^0\} \ge \gamma\}) \quad (۱۵)$$

$ST:$

$$\text{Cr}\{\theta \in \Theta | \Pr\{T(\mathbf{x},\xi(\theta)) \le T^0\}\} \ge \alpha \quad (۱۶)$$

$$x \ge 0$$

که در آن $T^0$ زمان مورد نظر برای تکمیل پروژه و $C^0$ مقدار بودجه هستند. $\boldsymbol{x}$ نیز بردار زمان‌های تخصیص وام، که یک بردار از اعداد صحیح نامنفی است، می‌باشد. همین‌طور $C$ و $T$ نیز به ترتیب از طریق روابط ۸ و ۱۰ تعریف می‌شوند.

## ۴. 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 شبیه سازی تصادفی - فازی در دو مدل بیشترین ارزش انتظاری و بیشترین شانس و الگوریتم ژنتیک می‌باشد، که در بخشهای بعدی ارائه می‌شود[۱۴].

### ۴-۱. شبیه‌سازی مدل تصادفی-فازی

در مدل‌های ارائه شده در بخش قبلی، دو تابع غیرقطعی $E[C(\mathbf{x},\xi)]$ (رابطه ۱۱) و $\text{Ch}\{C(\mathbf{x},\xi) \le C^0\}(\gamma)$ (رابطه ۱۳)، به‌عنوان توابع هدف بهینه‌سازی معین شدند. به طور کلی توابع غیرقطعی را نمی‌توان مستقیماً محاسبه کرد، بنابراین در این‌جا با استفاده از مفاهیم مقدار ارزش انتظاری و اندازهٔ شانس یک متغیر تصادفی-فازی، دو روش شبیه‌سازی تصادفی-فازی ارائه می‌شود تا این توابع غیرقطعی را شبیه‌سازی کند[۱۵].

### ۴-۲. شبیه‌سازی تصادفی-فازی ارزش انتظاری

برای شبیه‌سازی مقدار ارزش انتظاری هزینه، به ازای یک فهرست زمانبندی خاص مثل $\boldsymbol{x}$ ، 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 $\Theta$، $N$ متغیر مثل $\theta_j$ تولید کنید به طوری که $\text{Pos}\{\theta_j\} \ge \varepsilon$ باشد ($j=1,2,\dots,N$)، وقتیکه $\varepsilon$ یک عدد مثبت و به قدر کافی کوچک، و $N$ یک عدد به قدر کافی بزرگ است.

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

**مرحله ۴:** یک عدد تصادفی مثل $r$ در بازهٔ $[a , b]$ تولید کنید.

**مرحله ۵:** اگر $r \ge 0$ بود، آن‌گاه $E + \text{Cr}\{\theta \in \Theta | E[C(\boldsymbol{x},\xi(\theta))] \ge r\}$ را به جای $E$ قراردهید، و اگر $r < 0$ بود، آن‌گاه $E - \text{Cr}\{\theta \in \Theta | E[C(\boldsymbol{x},\xi(\theta))] \le r\}$ را به جای $E$ قراردهید.

**مرحله ۶:** مراحل چهارم و پنجم را $N$ بار تکرار کنید.

**مرحله ۷:** $E$ از این رابطه به‌دست می‌آید:

$$E[C(\boldsymbol{x},\xi)] = a \vee 0 + b \wedge 0 + E \cdot (b-a)/N$$

### ۴-۳. شبیه‌سازی تصادفی-فازی اندازه شانس

برای شبیه‌سازی اندازهٔ شانس، به ازای یک فهرست زمانبندی خاص مثل $\boldsymbol{x}$ و درجه اطمینان $\alpha$، مقدار $\text{Ch}\{T(\boldsymbol{x},\xi) \le T^0\}(\alpha)$ به صورت زیر شبیه‌سازی می‌شود. این کار معادل با این است که مقدار بیشینه $\beta$ را طوری پیدا کنیم که $\text{Cr}\{\theta \in \Theta | \Pr\{T(\boldsymbol{x},\xi(\theta)) \le T^0\} \ge \beta\} \ge \alpha$ باشد. برای این کار به صورت زیر عمل می‌شود.

**مرحله ۱:** در فضای مرجع $\Theta$، $N$ متغیر مثل $\theta_j$ تولید کنید به طوری که $\mathrm{Pos}\{\theta_j\}\geq\varepsilon$ باشد $(j=1,2,...,N)$، وقتیکه $\varepsilon$ یک عدد مثبت و به قدر کافی کوچک، و $N$ یک عدد به قدر کافی بزرگ است. مقدار $\mathrm{Pos}\{\theta_j\}$ را $\mu_j$ بنامید.

**مرحله ۲:** مقدار $g(\theta_j)=\Pr\{T(\boldsymbol{x},\xi(\theta))\leq T^0\}$ را برای تمام $j$ها و با استفاده از یک روش شبیه‌سازی تصادفی محاسبه کنید.

**مرحله ۳:** بزگترین $r$ را طوری پیداکنید که $L(r)\geq\alpha$ باشد، که در آن $L(r)$ به این صورت تعریف می‌شود:

$$L(r)=\frac{1}{2}\left(\max_{1\leq j\leq N}\{\mu_j|g(\theta_j)\geq r\}+\min_{1\leq j\leq N}\{1-\mu_j|g(\theta_j)<r\}\right).\qquad(۱۷)$$

**مرحله ۴:** $r$ مقدار مورد نظر است.

### ۴-۴. الگوریتم هیبریدی

برای دستیابی به یک تصمیم بهینه در مسئله زمانبندی پروژه‌ای با مدت زمان‌های فعالیت غیرقطعی، باید از یک الگوریتم هیوریستیک[1] استفاده می شود. از آن‌جایی‌که الگوریتم ژنتیک روش مناسبی برای مسئله بهینه‌سازی‌ای مثل مسئله ما می‌باشد، 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[۲۰].

#### ۴-۴-۱. معرفی کروموزوم مورد استفاده

بردار نامنفی $\mathrm{x}=(\mathrm{x}_1,\mathrm{x}_2,...,\mathrm{x}_n)$ را به‌عنوان کروموزوم روش الگوریتم ژنتیک برمی‌گزینیم که در آن، همان‌طور که قبلاً تعریف شد، هر $\mathrm{x}_i$ معرف زمانی است که وام همه فعالیت‌هایی که در مرحله شمارهٔ i پروژه باید انجام شوند، به آن‌ها اختصاص داده می‌شود.

#### ۴-۴-۲. فرآیند شروع

برای شروع یک کروموزوم تصادفی مثل $\mathrm{x}=(\mathrm{x}_1,\mathrm{x}_2,...,\mathrm{x}_n)$ تولید می‌کنیم. امکان‌پذیری x را با استفاده از روش شبیه‌سازی زیربخش قبل امتحان می‌کنیم، یعنی می‌سنجیم که آیا بردار x قیدهای مسئله را، که در رابطه ۳-۷ معرفی شدند، رعایت می‌کند یا خیر. اگر x امکان‌پذیر بود آن‌را به‌عنوان کروموزوم اولیه درنظرمی‌گیریم. اگر x امکان‌پذیر نبود یک کروموزوم تصادفی دیگر تولید می‌کنیم و همین کار را آن‌قدر تکرار می‌کنیم تا به اندازهٔ جمعیت مورد نظرمان، که آن‌را با متغیر pop-size نمایش می‌دهیم، کروموزوم اولیه امکان‌پذیر تولیدشود.

[1] Heuristic

#### ۴-۴-۳. عملیات تقاطع

پارامتر Pc را به‌عنوان احتمال رخ‌دادن تقاطع درنظرمی‌گیریم. برای انتخاب کروموزوم‌های والد در عملیات تقاطع، فرآیندی که در ادامه می‌آید را به اندازهٔ pop-size مرتبه تکرار می‌کنیم. به ازای $i=1,2,\ldots,$pop-size هر بار یک عدد تصادفی مثل v در بازهٔ [0,1] تولید می‌کنیم و اگر $v\leq Pc$ بود، کروموزوم xi را به‌عنوان یک والد در عملیات تقاطع انتخاب می‌کنیم. به‌این ترتیب تقریباً به تعداد $pop-size\times P_c$ والد برای عملیات تقاطع خواهیم رسید، آن‌ها را از نو شماره‌گذاری کرده و با علامت پریم مشخص می‌کنیم، به این شکل $x'_1,x'_2,....$. در مرحله بعد فرآیند تقاطع را به این طریق انجام می‌دهیم. مثلاً اگر بخواهیم تقاطع را بین دو والد مثل $\mathbf{x}'_1=(x_1^{(1)},x_2^{(1)},\ldots,x_n^{(1)})$ و $\mathbf{x}'_2=(x_1^{(2)},x_2^{(2)},\ldots,x_n^{(2)})$ انجام‌دهیم، ابتدا یک عدد تصادفی مثل u در بازهٔ [0,1] تولیدکرده و سپس عملیات تقاطع را با استفاده از رابطه زیر انجام می‌دهیم که حاصلش دو کروموزوم جدید است که آن‌ها را کروموزوم‌های فرزند می‌نامیم و با علامت زگوند مشخص می‌کنیم.

$$\begin{aligned}x''_1&=(x_1^{(1)}\times u+x_1^{(2)}\times(1-u),x_2^{(1)}\times u+x_2^{(2)}\times(1-u),\ldots,x_n^{(1)}\times u+x_n^{(2)}\times(1-u)),\\x''_2&=(x_1^{(2)}\times u+x_1^{(1)}\times(1-u),x_2^{(2)}\times u+x_2^{(1)}\times(1-u),\ldots,x_n^{(2)}\times u+x_n^{(1)}\times(1-u)).\end{aligned}\qquad(۱۸)$$

اگر هر دو فرزند فوق امکان‌پذیر باشند، آن‌گاه والدین را با آن‌ها جایگزین می‌کنیم. اگر یکی از دو فرزند امکان‌پذیر باشد، آن‌را نگه‌داشته و عملیات تقاطع را دوباره انجام می‌دهیم تا به یک فرزند امکان‌پذیر دیگر برسیم. اگر هیچکدام از فرزندها امکان‌پذیر نبودن فرایند فوق را آن‌قدر تکرار می‌کنیم تا به دو فرزند امکان‌پذیر دست یابیم.

#### ۴-۴-۴. عملیات جهش

پارامتر Pm را به‌عنوان احتمال رخ‌دادن جهش درنظرمی‌گیریم. از روشی مانند آن‌چه در عملیات تقاطع ذکرشد، کروموزوم‌های والد را انتخاب می‌کنیم که تقریباً به تعداد $pop-size\times P_m$ خواهندبود. سپس عملیات جهش روی هر کدام از کروموزوم‌های والد به روشی که در ادامه می‌آید انجام می‌شود. برای هر کروموزوم انتخاب‌شده مثل $x=(x_1,x_2,...,x_n)$ ، یک عدد تصادفی مانند w در بازهٔ [0,W] انتخاب می‌کنیم که در آن W عدد مثبتی است که از قبل انتخاب کردیم. اکنون کروموزوم جدید حاصل از عملیات جهش به شکل رابطه ۱۹ساخته می‌شود:

$$\mathbf{x}'=(x_1+d_1\times w,x_2+d_2\times w,\ldots,x_n+d_n\times w),\qquad(۱۹)$$

که در آن هر di یک عدد تصادفی است که از بازه [-1,1] انتخاب شده‌است. اگر x´ امکان‌پذیر نباشد، یک عدد تصادفی دیگر مثل

w´ تولیدکرده و فرایند فوق را تکرار می‌کنیم. آن‌قدر این فرایند را تکرار می‌کنیم تا به یک کروموزوم فرزند امکان‌پذیر دست‌یابیم. وقتی کروموزوم جدید امکان‌پذیر تولیدشد، کروموزوم والد را با آن جایگزین می‌کنیم.

### ۴-۴-۵. تابع ارزیابی

در هر مرحله ابتدا مقادیر هدف، یعنی مقدار هزینه ارزش انتظاری پروژه، را برای همه کروموزوم‌های یک نسل *(x1, x2,..., xpop-size)* از طریق روش شبیه‌سازی تصادفی-فازی، که پیش‌تر شرح‌داده‌شد، محاسبه می‌کنیم. سپس براساس مقداری که برای هرکدام از کروموزوم‌ها به‌دست می‌آید، آن‌ها را به ترتیب از خوب به بد مرتب و دوباره شماره‌گذاری می‌کنیم و ترتیب جدید را با علامت پریم از حالت قبل متمایز می‌کنیم به این صورت *x´1, x´2,..., x´pop-size* . اکنون سازگاری هرکدام از کروموزوم‌ها با استفاده از یک تابع ارزیابی محاسبه می‌شود. در این‌جا از تابع ارزیابی زیر استفاده شده‌است:

$$\mathrm{Eval}(\mathbf{x}_i') = a(1-a)^{i-1}, \quad i = 1,2,\ldots, pop-size \qquad (۲۰)$$

که در آن $a \in (0,1)$ پارامتری است که از قبل انتخاب‌کردیم.

### ۴-۴-۶. فرآیند انتخاب

به‌طور خلاصه فرایند تجدید کروموزوم‌ها به تعداد pop-size مرتبه تکرار می‌شود تا این‌که نسل جدیدی از کروموزوم‌ها تولید شود. یعنی ابتدا مقدار احتمال تجمعی برای هر کروموزوم $x_i$ به‌دست می‌آید که آن‌را با $q_i$ نشان می‌دهیم و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

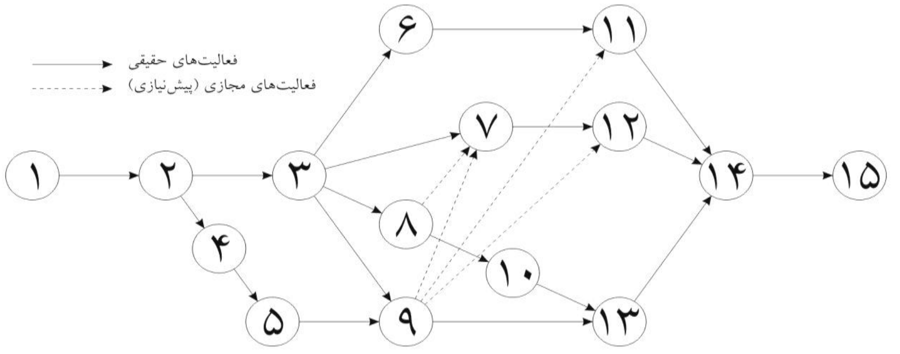
$$q_i = \sum_{j=1}^{i} \mathrm{Eval}(\mathbf{x}_j), \quad i = 1,2,\ldots, pop-size \qquad (۲۱)$$

مقدار *q0* را برابر با صفر درنظر می‌گیریم. سپس یک عدد تصادفی مثل s در بازه *[0,qpop-size)* تولیدکرده و کروموزوم $x_i$ را طوری انتخاب می‌کنیم که $q_{i-1} < s \le q_i$ باشد. با تکرار این مراحل به تعداد *pop-size* مرتبه، *pop-size* کروموزوم کپی تولید می‌شوند که آن‌ها را به‌عنوان نسل جدید کروموزوم‌ها درنظر می‌گیریم. از آن‌جایی‌که طی فرایندهای تقاطع، جهش و انتخاب، کروموزوم‌ها پیوسته تجدید می‌شوند، این فرآیندها را برای یک سری چرخه-های معین تکرار می‌کنیم تا به یک کروموزوم بهینه برسیم. در نهایت آن کروموزوم را به عنوان جدول شبه‌بهینه برای پروژه گزارش می‌کنیم.

## ۵. حل مدل توسط داده های واقعی

این مثال، بر اساس شرایط و اطلاعات ساخت و طراحی یک نیروگاه آبی هزار مگاواتی می باشد. 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 می شود. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، خصوصیت غیرقطعی دیگر این مدل فازی-بودن 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 شده‌اند، 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:




**شکل 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 نیروگاه‌های آبی با توجه به آن‌که نیروگاه می‌بایست منطبق با شرایط فیزیکی اطراف آن طراحی شود این عملیات بسیار حساس 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 می‌باشد. در این فرآیند تجهیزات طبق دستورالعملهای خاص سازندگان در محل خود مستقر و آماده راه‌اندازی می‌شوند.

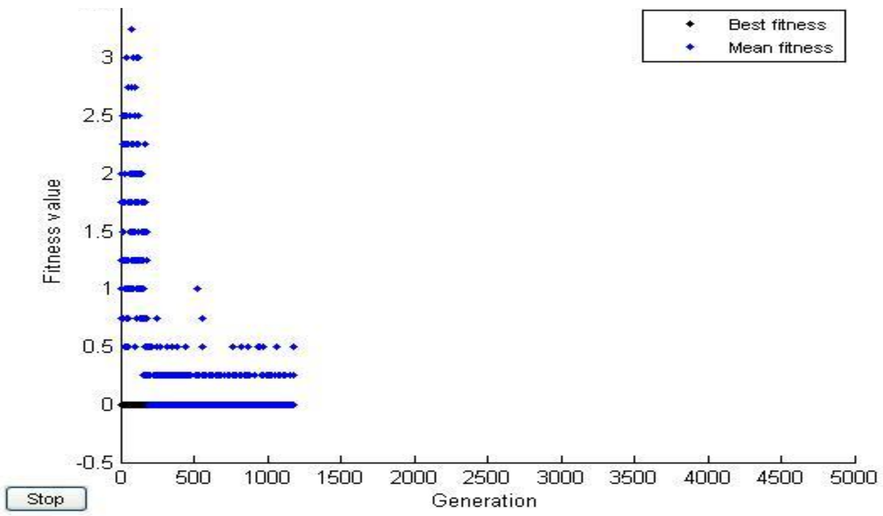
فرآیند نصب به دلیل حساسیت تجهیزات و دقتهای بسیار بالا همواره دارای اهمیت خاصی می باشد، طول عمر یک نیروگاه و یا بسیاری از ایرادات بر اساس دقت این فرآیند تعیین می شود.

پس از استقرار تجهیزات مرحله پیش‌راه اندازی صورت می گیرد وپس از رفع عیوب احتمالی مرحله راه اندازی انجام می شود.

**داده ها:**

**جدول ۱. اطلاعات مورد اولیه**

| شماره | عنوان فعالیت(i-j) – طبق شکل شماره ۲ | هزینه | توزیع نرمال زمان تکمیل | | توزیع نرمال زمان تأخیر | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | میانگین | واریانس | میانگین | واریانس |
| | **فعالیت‌های مرحله مهندسی** | | | | | |
| ۱ | طراحی پایه(۲-۱) | ۳۰۰۰۰ | (۱۰۰ ،۸۰ ،۶۰) | ۳۰ | (۳۰،۱۵،۰) | ۱۰ |
| ۲ | طراحی جزئیات تجهیزات(۳-۲) | ۶۴۵۰۰ | (۴۰۰ ،۳۰۰ ،۲۰۰) | ۱۰۰ | (۱۰۰،۸۰،۶۰) | ۲۰ |
| ۳ | طراحی ساختمانی نیروگاه(۴-۲) | ۲۷۰۰۰ | (۱۲۰،۱۰۰،۸۰) | ۱۰۰ | (۵۰،۴۰،۳۰) | ۲۰ |
| ۴ | تأمین توربین(۹-۳) | ۱۲۲۸۰۰۰ | (۹۰۰ ،۸۰۰ ،۷۰۰) | ۲۰۰ | (۱۲۰،۹۰،۶۰) | ۴۰ |
| ۵ | تأمین ژنراتور(۸-۳) | ۸۹۵۳۵۰ | (۱۰۵۰،۱۲۰۰،۱۳۵۰) | ۱۵۰ | (۱۵۰،۱۳۰،۱۱۰) | ۵۰ |
| ۶ | تأمین هیدرومکانیک(۶-۳) | ۷۰۰۰۰ | (۱۰۵۰ ،۸۰۰ ،۵۵۰) | ۲۵۰ | (۱۰۰،۸۰،۶۰) | ۳۰ |
| ۷ | تأمین جرثقیل(۵-۴) | ۱۷۵۰۰۰ | (۴۱۰ ،۳۶۰ ،۳۱۰) | ۵۰ | (۶۰،۴۰،۲۰) | ۱۰ |
| ۸ | تأمین تجهیزات کمکی(۷-۳) | ۳۸۵۰۰۰ | (۶۰۰ ،۵۰۰ ،۴۰۰) | ۶۰ | (۳۰،۲۰،۱۰) | ۱۰ |
| ۹ | تأمین ترانسفورمر(۱۰-۸) | ۳۷۵۰۰۰ | (۴۲۰ ،۳۷۰ ،۳۲۰) | ۶۰ | (۸۰،۶۰،۴۰) | ۲۰ |
| ۱۰ | تأمین باسداکت(۱۳-۱۰) | ۲۷۰۰۰۰ | (۳۳۰ ،۳۰۰ ،۲۷۰) | ۳۰ | (۴۰،۳۰،۲۰) | ۱۰ |
| ۱۱ | تأمین شیرپروانه‌ای(۱۱-۶) | ۲۲۵۰۰۰ | (۸۰۰ ،۵۰۰ ،۲۰۰) | ۳۰۰ | (۳۵۰،۳۰۰،۲۵۰) | ۴۰ |
| ۱۲ | خریدهای جانبی(۱۲-۷) | ۲۵۰۰۰ | (۱۴۰ ،۱۰۰ ،۶۰) | ۴۰ | (۳۰،۲۰،۱۰) | ۵ |
| | **فعالیت‌های مرحله نصب و راه‌اندازی** | | | | | |
| ۱۳ | نصب جرثقیل(۹-۵) | ۹۰۰۰ | (۱۲۰ ،۹۰ ،۶۰) | ۵۰ | (۲۰،۱۵،۱۰) | ۵ |
| ۱۴ | نصب تجهیزات هیدرومکانیک و شیرپروانه‌ای (۱۴-۱۱) | ۶۰۰۰۰ | (۵۸۰ ،۵۰۰ ،۴۲۰) | ۲۱۵ | (۲۵۰،۲۰۰،۱۵۰) | ۲۰ |
| ۱۵ | نصب توربین(۱۳-۹) | ۳۷۵۰۰۰ | (۵۰۰ ،۳۵۰ ،۲۰۰) | ۲۰۰ | (۲۰۰،۱۸۰،۱۶۰) | ۳۰ |
| ۱۶ | نصب ژنراتور، ترانسفومر و باسداکت(۱۴-۱۳) | ۴۸۲۵۰۰ | (۷۱۰ ،۶۱۰ ،۵۱۰) | ۱۵۵ | (۳۵۰،۳۰۰،۲۵۰) | ۳۰ |
| ۱۷ | نصب تجهیزات کمکی(۱۴-۱۲) | ۱۶۵۰۰۰ | (۲۸۰ ،۲۵۰ ،۲۲۰) | ۱۰۰ | (۳۰،۲۰،۱۰) | ۱۰ |
| ۱۸ | راه‌اندازی(۱۵-۱۴) | ۵۳۲۵۰ | (۳۰۰ ،۲۷۰ ،۲۴۰) | ۱۲۰ | (۵۰،۴۰،۳۰) | ۲۰ |




**شکل ۳. نتیجه حل مدل ارایه شده با داده‌های حقیقی با الگوریتم ژنتیک**

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

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

کل هزینه مالی :1.6 میلیون ریال می باشد.

**جدول ۳. جوابهای بهینه در روش ارزش انتظاری**

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ماه | ۰ | ۰ | ۱۳ | ۱۹ | ۳۲ | ۲۷ | ۵۴ | ۶۳ | ۷۰ | ۸۱ | ۸۶ | ۹۱ | ۱۱۸ | ۱۲۲ | ۱۲۶ |
| گره | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ |

**جدول ۴. جوابهای بهینه در روش بیشترین شانس**

در مدل بیشترین شانس:

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ماه | ۰ | ۰ | ۱۵ | ۲۱ | ۴۳ | ۴۵ | ۶۰ | ۶۳ | ۸۹ | ۸۹ | ۹۱ | ۱۱۱ | ۱۲۳ | ۱۲۲ | ۱۳۰ |
| گره | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ |

احتمال بیشترین شانس ۰,۹۶۳ می باشد.

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

## ۶. 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 برنامه ریزی می شود 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 می شد که با در نظر گرفتن هزینه قطعی؛ زمان دریافت وام به نحوی برنامه ریزی 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 مینیمم شود.

در این مدل 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 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 روشهای ارزش انتظاری(EVP) و حداکثر شانس (DCP) بر اساس یک الگوریتم هیبریدی حل

شده است. و جوابهای بسیار مناسبی با تائید شرکت پیمانکار اصلی طراحی و ساخت نیروگاههای آبی بدست آمده است.

الگوریتم هیبریدی ترکیب شبیه سازی تصادفی جهت مشخص کردن مقدار ارزش انتظاری برای زمان و هزینه در روش ارزش انتظاری و میزان شانس در مدل شانس با الگورین ژنتیک جهت بهینه سازی جواب می باشد.

## مراجع


[۱] ذگردی، س.ح.، رضایی نیک، ا. «پیشرفت‌ها و چالش‌های جدید در زمانبندی پروژه»، چهارمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، ۲۹-۳۰ مرداد، تهران، ایران، ۱۳۸۷.

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

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

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

[5] Mardi, I.I., *Hydropower Plant Facilities Ilynykh*, University of Abbaspour, 1997.

[6] *Hydro Power Plant*, Amirkabir, 2009.

[7] Sebt and Shayegh, *BOT and New Approach for Financialized Project*. Bayat, 2009.

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

[9] Yamashita, D.S., Armentano, V.A., Laguna, M.L., *'Scatter Search for Project Scheduling with Resource Availability Cost'*, European Journal of operational Research, 169, 2006, pp. 623-637.

[10] Debels, D., Reyck, B.D., Leus, R., Vanboucke, M., *'A Hybrid Scatter Search/Electromagnetism Meta-Heuristic for Project Scheduling'*, European Journal of operational Research 169, 2006, pp. 638-653.

[11] Zhang, H., Li, H., Tam, C.M., *'Particle Swarm Optimization for Resource - Constrained Project Schedulicg',* International Journal of project Management 24, 2006, pp. 83-92.

[12] Damay, J., Quilliot, A., Sanlaville, E., *'Linear Programming Based Algorithms for Preemptive and Non-Preemptive RCPSP'*, European Journal of operational Research 182, 2007, pp. 1012-1022.

[13] Ranjbar, M., Kianfar, F., Shadrokh, S., *'Solving the Resource Availability cost Problem in Project Scheduling by Path Relinking and Genetic Algorithm'*, Applied Mathematics and computation 196 (2), 2008, pp. 879-888.

[14] Taregbiac, H.R., Taheri, S.H., *'A Solution Procedure for the Discrete Time, Cost and Quality Tradeoff Problem using Electromagnetic Scatter Search'*, Applied Mathematics and computation 190, 2007, pp. 1136-1145.

[15] Jarboui, B., Damak, N., Siarry, P., Rebai, A., *'A Combinatorial Particle Swarm Optimization for Solving Multi-Mode Resource - Constrained Project Scheduling Problems'*, Applied Mathematics and computation 195, 2008, pp. 299-308.

[16] Mika, M., Waligora, G., Weglarz, J., *'Tabu Search for Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling with Schedule - Dependent Setup Times'*, European Journal of operational Research 187, 2008, pp. 1238- 1250.

[17] Waligora, G., '*Discrete-Continuous Project Scheduling with Discounted Cash Flows-A Tabu Search Approach',* computers & operations research 35, 2008, pp. 2141-2153.

[18] Ke, H., Liu. B., '*Project Scheduling Problem with Mixed Uncertainty of Randomness and Fuzziness'*, European Journal of operational Research 183, 2007, pp. 135-147.

[19] Liu, B., Liu, Y., '*Expected Value of Fuzzy Variable and Fuzzy Expected Value Models'*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems 10 (4), 2002, pp. 445–450.

[20] Liu, B., *Theory and Practice of Uncertain Programming*, Heidelberg, Physica-Verlag, 2002.

[21] Liu, Y., Liu, B., *'Expected Value Operator of Random Fuzzy Variable and Random Fuzzy Expected Value Models',* International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems 11 (2), 2003, pp. 195–215.

[22] Ke, H., Liu, B., *'Fuzzy Project Scheduling Problem and its Hybrid Intelligent Algorithm'*, Technical Paper, 2004.

[23] Liu, B., *'Dependent-Chance Programming: A Class of Stochastic Programming'*, Computers and Mathematics with Applications 34 (12), 1997, pp. 89–104.

[24] Liu, B., '*Dependent-Chance Programming with Fuzzy Decisions*', IEEE Transactions on Fuzzy Systems 7 (3), 1999, pp. 354–360.

[25] Liu, B., *'Random Fuzzy Dependent-Chance Programming and its Hybrid Intelligent Algorithm'*, Information Sciences 141 (3–4), 2002, pp. 259–271.

International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2013)

February 2013, Volume 23, Number 4
pp. 515-526

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

# Prepare Optimum Scheduling for Planning Financial Resources in a Design and Construction Hydropower Projects with Random Fuzzy Parameters using Hybrid Algorithm

**K. Shahanaghi*** **& A. Alirezaee**

***Kamran Shahanaghi,*** *Assitant professor, Faculty of Industiral Engineering, IUST, shahanaghi@iust.ac.ir*
***Ali Alirezaee,*** *-Master of Industrial Engineering, IUST, a.alirezaee@farab.com*

**Keywords**

Capital planning random fuzzy programming,
Genetic Algorithm

**ABSTRACT**

*Now with the increased investment in large projects and implementation of projects with many techniques such as engineering, construction and financing so planning finance has become very important.*
*This article has been struggling with a lack of existing history in the past for time and cost estimation to execute, design and construction of project in a minimum of financial cost. the specification of megaprojects activity related to engineering, supply and installation need to use of a fuzzy model based on expectation values and Greatest chance for a possible model variables - Fuzzy Scheduling get loans at the beginning of the project is planned to limit the whole time according to plan and lowest cost supply constraints prerequisite activities arise. Solving model simulations based on combining the concept of fuzzy random variables with using genetic algorithm. Finally solved by providing a numerical example is provided based on model assumptions.*



* Corresponding author. Kamran Shahanaghi
**Email**: *shahanaghi@iust.ac.ir*