



## A Fuzzy Control System for Estimating the Total Project Duration in GERT Networks

A. Kazemi\* & P. Fakhouri

Abolfazl Kazemi, Assistant Professor, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran  
Pasha Fakhouri, M.Sc, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

### Keywords

Project scheduling,  
Graphical Evaluation  
and Review Technique,  
Fuzzy control system,  
Fuzzy logic

### ABSTRACT

*Project scheduling is one of the main fundamentals in project management so the related progressive methods which consider most of the project limitations would be valuable. The GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) is a network analysis method which has unique capabilities in comparison with other conventional scheduling methods. On the other hand and, there is no definite conformity between the scheduling and implementation of projects mostly in the reality. So a project always accompanied by uncertainty. In this research, for decreasing the constraint's consequences, caused by ambiguity and indecisiveness, fuzzy logic and fuzzy control system has been recommended. For this purpose, the mean, variance, value and number of loops in the GERT network and also environmental effective risks has been considered as fuzzy variables. Thus, by using capabilities of GERT network and with emphasis on fuzzy logic and fuzzy system, a fuzzy control system has been designed for the first time. In accordance with the results obtained from 15 experiments which was done among different medium-sized projects, it could be assert that, by using the designed control system, scheduling the project in a more logically and precisely way would be achievable.*

© 2012 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 23, No. 2, All Rights Reserved

\*  
Corresponding author. Abolfazl Kazemi  
Email: [Abkaazemi@gmail.com](mailto:Abkaazemi@gmail.com)



# ارائه یک سیستم کنترل فازی برای تخمین زمان ختم پروژه در شبکه‌های گرت

ابوالفضل کاظمی\* و پاشا فخوری

چکیده:

زمانبندی پروژه از اصلی‌ترین پایه‌های مدیریت پروژه است و به همین دلیل روش‌هایی که بتواند محدودیت‌های حاکم بر پروژه را بیشتر پوشش دهد، بسیار با ارزش می‌باشند. فن ارزیابی و بازنگری پروژه، روش آنالیز شبکه‌ای است که از قابلیت‌های بالایی در مقایسه با دیگر روش‌های برنامه ریزی و کنترل پروژه برخوردار می‌باشد. از سوی دیگر در دنیای واقعی، در اکثر موارد، تطابق کامل میان برنامه‌ریزی و اجرا مشاهده نمی‌شود. بنابراین محیط اجرای پروژه همواره با عدم قطعیت همراه است. در این تحقیق به منظور کاهش محدودیت‌های مربوط به عدم قطعیت در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه، منطق و سیستم کنترل فازی پیشنهاد و در آن میانگین، واریانس، ارزش و تعداد حلقه‌های شبکه گرت و همچنین عوامل تأثیرگذار محیطی بر اجرای پروژه به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. بدین ترتیب برای اولین بار، با استفاده از قابلیت‌های موجود در شبکه‌های گرت و همچنین منطق و سیستم فازی، سیستم کنترل فازی طراحی شده و در آن سعی گردیده تا تمامی حالت‌های موجود در اجرای یک پروژه تحلیل شود. مطابق با نتایج بدست آمده از ۱۵ آزمایش مختلف بر روی پروژه‌های با ابعاد متوسط که عمدتاً در حوزه احداث واحدهای صنعتی بوده‌اند، می‌توان گفت که با استفاده از روش پیشنهادی، زمانبندی فعالیت‌ها منطقی‌تر و دقیق‌تر بدست خواهد آمد.

کلمات کلیدی

زمانبندی پروژه،  
فن ارزیابی و بازنگری پروژه،  
سیستم کنترل فازی،  
منطق فازی

## ۱. مقدمه

مدیریت پروژه، عاملی اساسی برای توسعه اقتصاد می‌باشد. چرا که توسعه رابطه‌ای مستقیم با رشد داشته و رشد همان تحقق مدیریت پروژه‌های مختلف می‌باشد [۱]. در دنیای امروزی سازمان‌های پروژه محور مجبور به استفاده از ابزارهایی علمی به منظور تخمین پارامترهای مختلف پروژه‌های خود می‌باشند [۲]. در این ارتباط زمانبندی صحیح پروژه از ارکان اصلی و لازمه موفقیت و همچنین تطابق برنامه‌ریزی و اجرا، از اصلی‌ترین موضوعات مدیریت پروژه می‌باشد. محیط اجرای پروژه‌ها بسیار پیچیده و پویا است. در این محیط عوامل و متغیرهای متعددی دخیل می‌باشند که تأثیر منفی این عوامل همراه با محیط پویای

بیرونی، تأخیر پروژه‌ها را منجر می‌شوند. با توجه به وجود عامل عدم قطعیت در اجرای مراحل مختلف یک پروژه، دستیابی به روش‌های نوینی که تأخیرها و مشکلات مربوط به عدم قطعیت را کاهش و برنامه‌ریزی را با اجرا هرچه بیشتر منطبق سازد، بسیار ارزشمند است. در محیط رقابتی و پویای امروز، قابلیت مدیریت پروژه در زمانبندی و کنترل اجرای فعالیت‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌های زمانی و هزینه‌ای اهمیت بسیاری پیدا کرده است. در بسیاری از موقعیت‌ها پروژه‌ها با دشواری‌ها و چالش‌های فراوانی در حین اجرا مواجه می‌شوند [۳]. هنگامیکه زمان انجام فعالیت‌ها در پروژه قطعی است، روش مسیر بحرانی<sup>۲</sup> (CPM) ابزاری مفید در مدیریت چنین پروژه‌هایی است. لیکن در بسیاری از شرایط، زمان اجرای فعالیت‌ها در قالب اعداد قطعی قابل ارائه نمی‌باشند. بنابراین ابزارهایی که بتوانند با چنین مسائلی مقابله کنند بسیار موثر خواهند بود [۴]. از مهمترین روش‌های مورد استفاده برای حل مشکل مذکور، فن ارزیابی و بازنگری پروژه (پرت)<sup>۳</sup> می‌باشد که در آن از تقریب توزیع سه پارامتری بتا یا توزیع مثلثی برای

تاریخ وصول: ۸۹/۱۱/۲۵

تاریخ تصویب: ۹۰/۴/۲۹

\*نویسنده مسئول مقاله: دکتر ابوالفضل کاظمی، استادیار دانشکده صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران  
abkaazemi@qiau.ac.ir  
پاشا فخوری، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران  
pasha\_fakhuri@yahoo.com

<sup>2</sup> Critical Path Method

<sup>3</sup> Program Evaluation and Review Technique

کرد. برای اولین بار مدل شبکه‌ی ۱۷ گره‌ای برای زمانبندی برنامه‌های آکادمیک توسط Prade در سال ۱۹۷۹ ارائه شد [۶]. پس از آن در سال ۱۹۸۱، Kamburowski و Chanas تکنیک جدیدی به نام فن ارزیابی و بازنگری پروژه فازی<sup>۲</sup> را ارائه نمودند که در آن با استفاده از نظریه فازی، تخمین زمان فعالیت‌ها و اتمام پروژه به صورت فازی صورت می‌پذیرفت [۷]. Lee و McCahon در سال ۱۹۸۸ از تئوری امکان برای زمان ختم فازی در پروژه استفاده و نهایتاً روش خود را با چند تحقیق موجود مقایسه و تحلیل کردند [۸]. McCahon در سال ۱۹۹۳ تکنیک تجزیه و تحلیل شبکه پروژه فازی<sup>۳</sup> را جهت شناسایی مسیر بحرانی، بدست آوردن مقدار فرجه کل و احتمال زمانی تکمیل پروژه ارائه نمود [۹]. Shipley و همکارانش در سال ۱۹۹۶، الگوریتم PERT فازی را توسعه بخشیده و در نهایت اعتقاد به احتمالات فازی در تخمین زمان<sup>۴</sup> را نتیجه گرفتند [۱۰]. Jing-Shing و Feng-Tes در سال ۲۰۰۳ مدل CPM فازی را توسعه دادند. آنها از ریاضیات فازی به همراه تعاریف مختلف فاصله اطمینان در مباحث آماری بهره بردند [۱۱]. Wen-Ping و همکارانش در سال ۲۰۰۶ با استفاده از اعداد فازی مثلثی مدت زمان فعالیت‌ها را نشان داده و فرمولهایی جهت محاسبه پارامترهای زمانی ارائه نمودند [۱۲]. Rao و همکارانش در سال ۲۰۰۸، با استفاده از سیستم خبره فازی، نمودار PERT بهینه را در پروژه‌های بزرگ بررسی کردند. آنها به منظور انتخاب نمودار بهینه از سیستم خبره فازی بهره بردند [۱۳]. Lin و Hsiao در سال ۲۰۰۹ پروژه‌های احداث کارخانه را با استفاده از روش PERT فازی ارزیابی و شاخصی به نام میزان ریسک در زمانبندی پروژه را در محاسبات خود تعریف و اعمال کردند [۱۴].

## ۱-۲. فن گرافیکی ارزیابی و بازنگری پروژه

روش ارزیابی و بازنگری پروژه‌ها (گرت)، روشی مرکب از تئوری فلوگراف، توابع مولد گشتاور<sup>۵</sup> و روش PERT جهت حل مسائل احتمالی می‌باشد. این روش امکان تجزیه و تحلیل سیستم‌ها و مسائل پیچیده را امکان‌پذیر می‌سازد. یک شبکه گرت از مجموعه‌ای از رویدادها و فعالیت‌ها که برای تشکیل مدل یک سیستم به صورت منطقی به یکدیگر می‌پیوندند بوجود می‌آید، اما کلیه محدودیت‌هایی که در دیگر شبکه‌ها وجود دارد، در شبکه‌های گرت وجود نداشته و بنابراین همه آن حالات را می‌توان مدل سازی نمود [۱۵]. در شبکه‌های گرت ۶ نوع گره قابل دستیابی خواهد بود که در جدول ۱ نشان داده شده‌اند:

محاسبه میانگین و واریانس زمان انجام فعالیت‌ها استفاده می‌شود. هر چند روش‌های مختلفی برای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌های مختلف وجود دارد، روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری پروژه‌ها<sup>۱</sup> یا همان روش گرت به دلیل مزایای متعددی که دارد، در حال حاضر یکی از پرکاربردترین روش‌های مدیریت پروژه محسوب می‌شود. روش گرت، روش آنالیز شبکه‌ای است و قابلیت اعمال توابع مختلف احتمال، تخصیص توابع مولد گشتاور و تکرار حلقه‌های مختلف، از مهمترین مزایای این روش نسبت به سایر روش‌های سنتی بوده و با دنیای واقعی تطابق بیشتری دارد. تاکنون با استفاده از روش‌های مختلف زمانبندی پروژه، تحقیقات زیادی جهت تخمین زمان ختم پروژه انجام شده و در بسیاری از آنها سعی بر این بوده تا با ارائه مدل‌های مختلف، ابهام و عدم قطعیت حاکم بر پروژه‌ها در نظر گرفته شود. با وجود راه‌حل‌های متعددی که توسط محققین مختلف برای مقابله با مشکل عدم قطعیت ارائه شده است، می‌توان گفت که بهترین روش به منظور شناخت همه جانبه محدودیت‌های موجود، منطق فازی می‌باشد که با دارا بودن ویژگی‌هایی منحصر به فرد، قابلیت تحلیل عواطف و احساسات انسان‌ها را نیز دارد. سیستم کنترل فازی که بر مبنای مقابله با حالت گسسته صفر و یک بوجود آمده است، سیستمی می‌باشد که با استفاده از منطق فازی مقادیر و تعاریف ورودی را به خروجی پیوسته‌ای بین صفر و یک تبدیل می‌کند. در این تحقیق به کمک منطق و سیستم فازی و با استفاده از قابلیت‌های موجود در شبکه گرت، برای اولین بار سیستم کنترلی ارائه گردیده که در آن سعی شده است تا تمامی حالت‌های موجود در انجام پروژه به همراه پارامترهای کیفی تأثیرگذار که در قالب اعداد و ارقام قابل ارائه نیستند در نظر گرفته شود و از طریق آن برنامه‌ریزی منطقی‌تر و محدودیت‌های موجود در تخمین زمان ختم پروژه تا حد امکان پوشش داده شود. بدین منظور در بخش دوم، مقالات و تحقیقات مرتبط، روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری پروژه (گرت) و همچنین مجموعه‌ها و سیستم‌های فازی توضیح داده شده‌اند. در بخش سوم سیستم کنترل فازی و در بخش چهارم آزمایش‌های مختلف از سیستم طراحی شده اجرا گردیده است. نهایتاً بخش پنجم به نتیجه‌گیری و بیان ایده‌های نو برای تحقیقات آتی اختصاص یافته است.

## ۲. بررسی ادبیات موضوع

آنچه امروز به عنوان نظریه فازی شناخته می‌شود، نخستین بار از سوی پروفیسور لطفی زاده استاد دانشگاه برکلی در سال ۱۹۶۵ ارائه گردید [۵]. سابقه نخستین مطالعات منتشر شده در مورد کاربرد فازی در کنترل پروژه را باید در اواخر دهه هفتاد جستجو

<sup>2</sup> Fuzzy Program Evaluation Review and Technique (FPERT)

<sup>3</sup> Fuzzy Project Network Analysis (FPNA)

<sup>4</sup> Belief in Fuzzy Probability Estimations of Time (BIFPET)

<sup>5</sup> Moment Generating Function

<sup>1</sup> Graphical Evaluation and Review Technique

که در آن حرف  $E$  به معنای پایان مقصد مورد نظر بوده و  $P_E$  احتمال رسیدن از مبدأ به مقصد مورد نظر و  $M_E(t)$  تابع مولد گشتاور مبدأ به مقصد مورد نظر است. نهایتاً با استفاده از فرمول ۲، متوسط و واریانس زمان بین دو گره از روابط ۳ و ۴ حاصل می‌شود [۱۵]:

$$\left. \frac{\delta M_E(t)}{\delta t} \right|_{t=0} = E(X) = \mu \quad (3)$$

$$Var(X) = E(X^2) - \mu^2 \quad (4)$$

## ۲-۲. مجموعه‌ها و سیستم‌های فازی

مسائل دنیای واقعی معمولاً ساختار پیچیده‌ای دارند که به دلیل وجود ابهام و عدم قطعیت در تعریف و درک آنهاست. در بیان و تحلیل کامل یک مسأله نیاز به اطلاعات کافی و دقیق می‌باشد و حال اگر به دلایل مختلف اطلاعات کافی و دقیق در دسترس نباشد، می‌باید از ظرفیت استدلال تقریبی انسان بهره برد. هرچه میزان آگاهی از یک سیستم افزایش یابد پیچیدگی سیستم کاهش یافته و دقت درک و تحلیل سیستم افزایش می‌یابد. برای سیستم‌هایی که پیچیدگی و عدم قطعیت در آنها زیاد می‌باشد دیگر نمی‌توان تحلیل قطعی و دقیق از سیستم داشت. در این سیستم‌ها امکان استفاده از روش‌های ابتکاری جدید مانند شبکه‌های عصبی و هوش مصنوعی وجود دارد. نهایتاً برای سیستم‌هایی با پیچیدگی بالا و عدم قطعیت زیاد که اطلاعات کافی و زیادی در دسترس نیست، رویکرد استدلال تقریبی فازی مطرح می‌شود که به سیستم‌های فازی معروف هستند. ورودی سیستم‌های فازی می‌تواند اطلاعات نادقیق (فازی) باشد و پردازش‌های سیستم نیز با بهره‌گیری از استدلال تقریبی و به طور فازی انجام شود [۱۶]. سیستم‌هایی که خیلی پیچیده هستند، در بسیاری از موارد به قدری ضعیف تعریف شده‌اند که اجازه بکارگیری روش‌های تحلیل ریاضی را نمی‌دهند.

استفاده از تقریب و البته تحلیل موثر رفتار سیستم به طور تقریبی یک رویکرد جدید در تحلیل سیستم‌ها است. یک سیستم فازی سیستمی است که اطلاعات ورودی آن به طور نادقیق (فازی)، پردازش سیستم به صورت تقریبی (فازی) و تصمیم‌گیری سیستم نیز در شرایط فازی انجام می‌شود. روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی اطلاعات ورودی سیستم، پردازش و تبدیل به تصمیم وجود دارد که یکی از آنها استفاده از قوانین فازی با ساختار اگر-آنگاه است. یک سیستم کنترل فازی از چهار بخش اصلی تشکیل شده است [۱۷]. فازی‌ساز، پایگاه قواعد، تصمیم‌گیری و غیر فازی‌ساز. شکل ۱ نمایی از یک کنترل‌کننده فازی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. گره‌های موجود در شبکه گرت [۱۵]

ورودی گره خروجی گره	یای خاص <sup>۱</sup>	یای عام <sup>۲</sup>	و <sup>۳</sup>
قطعی			
احتمالی			

لازم به توضیح است که در گره یای خاص و یای عام وقوع هر یک از شاخه‌های منتهی به این گره باعث وقوع گره خواهد شد با این تفاوت که در گره یای خاص تنها یک شاخه به وقوع می‌پیوندد و در گره یای عام زمان وقوع گره برابر با زمان تکمیل شاخه‌ای است که کوچکترین زمان تکمیل را نسبت به سایر شاخه‌ها دارد. گره و نیز تنها زمانی به وقوع می‌پیوندد که تمامی شاخه‌های منتهی به آن وقوع یابند. روش GERT نسبت به دیگر روش‌های زمانبندی پروژه، مزیت‌های زیادی دارد که برخی از آنها عبارتند از:

- قابلیت تخصیص توابع مختلف احتمال به زمان انجام فعالیت‌ها
  - مجاز بودن انشعاب‌های احتمالی
  - مجاز بودن ایجاد حلقه
  - عدم نیاز به تحقق کلیه فعالیت‌های پیش‌نیاز برای تحقق فعالیتی مشخص
  - امکان تعریف چند رویداد شروع و چند رویداد ختم در شبکه
- به منظور انجام محاسبات در شبکه‌های گرت از آنالیز فلورگراف استفاده و از طریق آن ارزش بین دو گره محاسبه می‌شود. معروفترین روش برای بدست آوردن ارزش بین دو گره در یک فلورگراف، معادله توپولوژی می‌باشد که به صورت زیر شناخته می‌شود:

$$H = 1 \sum T(l_1) + \sum T(l_2) \sum T(l_3) + \dots + (-1)^n \sum T(l_n) + \dots \quad (1)$$

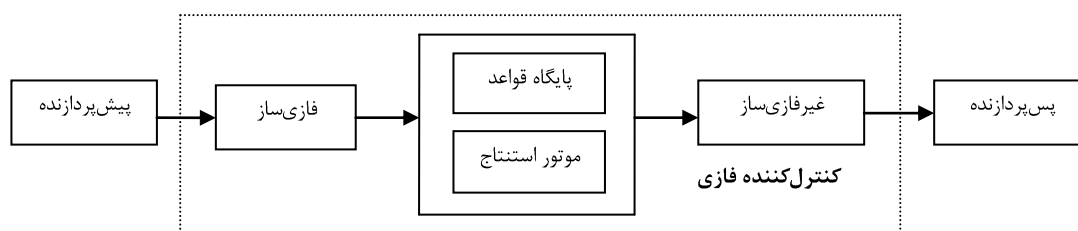
که در آن  $\sum T(l_n)$  مجموع ارزش حلقه‌های رسته  $n$ ام می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به اینکه عنصر زمان جمع پذیر می‌باشند، می‌بایست از تبدیلی جهت تبدیل خاصیت جمع‌پذیری به ضرب-پذیری استفاده نمود. بدین منظور در روش گرت تابع مولد گشتاور مورد استفاده قرار گرفته است. اگر  $W_E(t)$  ارزش بین یک گره مبدأ دلخواه تا گره نهایی مورد نظر باشد، در این صورت مقدار آنرا می‌توان به صورت زیر نوشت [۱۵]:

$$W_E(t) = P_E \cdot M_E(t) \quad (2)$$

<sup>1</sup> Exclusive – or

<sup>2</sup> Inclusive – or

<sup>3</sup> And



شکل ۱. ساختار کنترل‌کننده فازی [۲۳]

### ۲-۳. مرور مقالات و تجارب صورت گرفته

در بخش‌های قبل توضیحات جامعی در خصوص جایگاه علم فازی در مدیریت پروژه و همچنین ابزارهای اصلی مورد استفاده در این تحقیق توضیح داده شدند. حال در این بخش، محدود تحقیقات صورت گرفته در خصوص شبکه‌های گرت فازی، از آغاز، به شرحی که در ادامه آمده مورد ارزیابی قرار گرفته است.

روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری پروژه‌ها (گرت) ابتدا در سال ۱۹۶۶ توسط دکتر Pritsker مطرح شد. او در این کتاب، روش‌ها و محاسبات مختلف موجود در شبکه‌های گرت را به همراه برنامه کامپیوتری برای آنالیز شبکه‌های مختلف ارائه کرد [۱۸]. در ادامه تحلیل موازنه هزینه و زمان در شبکه‌های گرت که پیشتر توسط فالکرسن در شبکه CPM و از طریق Breman و Elmaghraby در شبکه PERT انجام شده بود، توسط Arisawa و Elmaghraby در سال ۱۹۷۲ صورت گرفت [۱۹]. می‌توان Itakura و Nishikawa را اولین افرادی دانست که مفاهیم فازی را در شبکه‌های گرت جهت زمانبندی پروژه به کار گرفتند. آنها در سال ۱۹۸۴ ترکیب‌هایی مختلف گره‌های منطقی را با شاخه‌های فازی فعالیت‌ها مورد مطالعه قرار دادند [۲۰]. Nishiuchi و Kurihara در سال ۲۰۰۲، مشخصه‌های مختلف پروژه از قبیل زمان، هزینه و ... را از طریق شبیه‌سازی مونت کارلو در شبکه‌های گرت بررسی کردند [۲۱]. Gavaeshki در سال ۲۰۰۴، روشی جدید از طریق تکنیک گرت فازی برای زمانبندی پروژه‌های تحقیقاتی ارائه کرد. او از اعداد فازی ذوزنقه‌ای برای تعریف زمان و حلقه‌های موجود در شبکه استفاده کرد [۲۲].

Asgharpour و Gavaeshki در سال ۲۰۰۴، روشی را برای زمانبندی پروژه‌های تحقیقاتی توسعه دادند و در آن با تکیه بر محاسبات روبه جلو در روش CPM فازی، شبکه زمانبندی شده پروژه و زمان تکمیل پروژه فازی را ارائه کردند [۲۳]. Chen در سال ۲۰۰۷، از اعداد فازی برای تعریف زمان انجام فعالیت‌ها به منظور تحلیل مسیرهای بحرانی پروژه استفاده کرد و نهایتاً از طریق مدل‌سازی خطی و با استفاده از رتبه بندی اعداد فازی، بحرانی‌ترین مسیر را مشخص نمود [۲۴]. Abdi و همکارانش در سال ۲۰۱۰، مکانیزم پروژه تولید گندم را با شبکه گرت مدل‌سازی، شبیه‌سازی و آنالیز کردند. آنها در این تحقیق، فعالیت‌های

بحرانی، رویدادها و مسیرهای مختلف را بررسی و شبکه نهایی را طراحی کردند [۲۵]. Wang و همکارانش در سال ۲۰۱۱، روش نوینی برای تحلیل شبکه‌های گرت را در تولید لوح‌های سیلیکونی در صنعت الکترونیک پیشنهاد نموده‌اند. آنها در مدل پیشنهادی خود از یک سیستم تصمیم‌گیری پشتیبان برای انجام محاسبات پیچیده بهره بردند [۲۶]. هر چند استفاده از قابلیت‌های شبکه گرت و همچنین منطق فازی در بحث زمانبندی پروژه توسط بسیاری از محققین مورد ارزیابی قرار گرفته است لیکن تاکنون سیستم کنترل فازی به عنوان ابزاری کارا در بحث مدیریت پروژه بررسی نشده است. در تحقیق حاضر با فازی در نظر گرفتن پارامترهای شبکه‌های گرت و همچنین ریسک‌های اثرگذار بر اجرای پروژه، برای اولین بار سیستم کنترل فازی برای زمانبندی پروژه طراحی شده است.

### ۳. طراحی سیستم کنترل فازی پیشنهادی

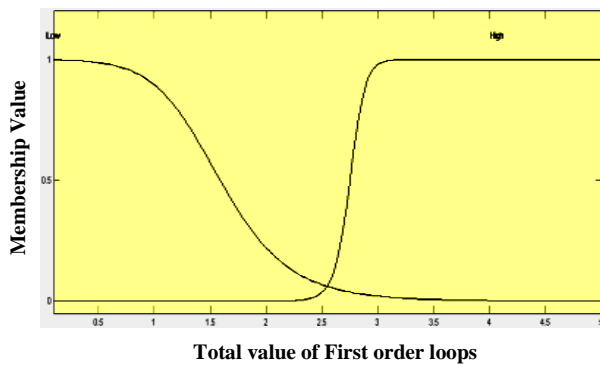
در حین اجرای پروژه‌های مختلف عواملی بوجود می‌آیند که باعث عدم تطابق میان برنامه‌ریزی و اجرا می‌شود. بدین ترتیب اجرای پروژه همواره با نااطمینانی همراه است. به منظور تعدیل احتمالات خطا در برنامه ریزی و اجرا، منطق فازی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. منطق فازی با داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد قابلیت تحلیل عواطف، تجربه و دانش انسان‌ها را داشته و از طریق آن می‌توان پارامترهای کیفی را به پارامترهای کمی تبدیل کرد. هرچند تحقیقات زیادی در زمینه زمانبندی فازی پروژه انجام شده، لیکن در هیچ یک زمانبندی پروژه در قالب یک سیستم کنترل فازی بررسی نشده است. در این تحقیق با استفاده از قابلیت‌های شبکه گرت در زمانبندی پروژه، سیستم کنترل فازی برای تخمین زمان ختم پروژه طراحی شده و در آن بسیاری از حالات مختلف برای اجرای یک پروژه در نظر گرفته شده است.

#### ۳-۱. پارامترهای ورودی-خروجی سیستم فازی

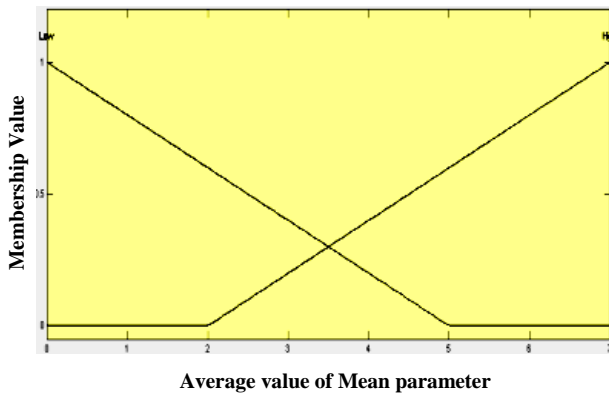
به منظور تعریف دقیق سیستم کنترل فازی انتخابی موارد زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

- تعریف مجموعه‌های ورودی-خروجی که زوج‌های ورودی-خروجی نرمال شده را بپذیرد.
- تولید قاعد اگر-آنگاه فازی بر اساس زوج‌های ورودی-خروجی

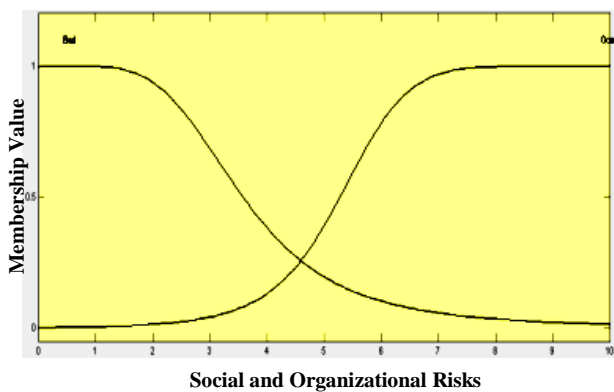
است. لازم به توضیح است که به دلیل اینکه به صورت تجربی چنین بدست آمده که در اکثر موارد، تابع توزیع احتمال زمان انجام فعالیت‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کند، فرض شده که تابع توزیع فعالیت‌ها یا نرمال بوده و یا پارامترهای آن توسط کاربر تقریب زده شود. هدف از این فرض، حفظ تعداد قوانین و سرعت سیستم کنترل فازی در محدوده‌های منطقی و قابل قبول می‌باشد. در ادامه برخی از متغیرهای ورودی سیستم کنترل فازی پیشنهادی تصویر شده‌اند:



شکل ۲. تابع عضویت مربوط به مجموع ارزش حلقه‌های رسته اول



شکل ۳. تابع عضویت مربوط به متوسط میانگین زمان فعالیت‌ها



شکل ۴. تابع عضویت مربوط به شرایط داخل و برون سازمانی

بدین ترتیب با ترکیب حالات مختلف متغیرهای ورودی، ۲۵۶ وضعیت مختلف برای انجام پروژه با در نظر گرفتن ورودی‌های

• ایجاد پایگاه قواعد فازی

• ساخت سیستم فازی بر اساس قواعد فازی

به منظور دستیابی به بهترین و کاراترین سیستم کنترل فازی، ترکیب‌های مختلفی از متغیرهای ورودی، که سیستم‌های کنترلی و متعاقباً نتایج مختلفی را منجر می‌شوند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به منظور انتخاب بهترین و کاراترین سیستم کنترلی، متغیرهای ورودی در هر سیستم تحلیل و تأثیر ترکیب هر یک از متغیرها بر روی متغیرهای خروجی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتیجه تحقیقات انجام شده و همچنین نظرات اخذ شده از خبرگان حاکی از آن بود که به جهت سازگار بودن با شرایط واقعی و همچنین پوشش کلیه محدودیت‌های موجود، متغیرهای ورودی زیر، بهترین و دقیقترین سیستم کنترل فازی را نتیجه می‌دهد. جزئیات مربوط به کلیه سیستم‌های بررسی شده در ضمیمه ب آمده است.

۱- مجموع ارزش حلقه‌های رسته اول که می‌تواند زیاد یا کم باشد. لازم به توضیح است که در این پارامتر، ارزش حلقه مجازی در نظر گرفته نمی‌شود.

۲- مقدار ضریب  $1/T$  در حلقه مجازی که می‌تواند زیاد یا کم باشد. (متغیر  $T$  معکوس ارزش شاخه مجازی است که از گره پایانی به گره آغازین در شبکه گرت متصل می‌شود)

۳- تعداد حلقه‌های رسته دوم و بالاتر که می‌تواند زیاد یا کم باشد.

۴- متوسط پارامتر میانگین زمان انجام فعالیت‌ها که می‌تواند زیاد یا کم باشد.

۵- متوسط پارامتر واریانس زمان انجام فعالیت‌ها که می‌تواند زیاد یا کم باشد.

۶- شرایط اقتصادی، مالی و سیاسی حاکم بر پروژه که می‌تواند تأثیرگذار یا بی‌تأثیر باشد.

۷- شرایط داخل و برون سازمانی که می‌تواند خوب یا بد باشد.

۸- شرایط زیست محیطی که می‌تواند مساعد یا نامساعد باشد. شرایط اقتصاد، مالی و سیاسی، شرایط درون و برون سازمان و شرایط زیست-محیطی که هر یک به نوعی بر نحوه اجرای پروژه تأثیر می‌گذارند، در برگزیده مشخصه‌های کیفی بسیاری هستند که در قالب اعداد و ارقام قابل ارائه نمی‌باشند. این مشخصه‌ها در تحلیل ریسک پروژه‌ها مختلف بسیار با اهمیت هستند. به منظور تحلیل موارد مذکور و تنظیم توابع عضویت مربوط به هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی، از دانش مهندسی کنترل و دانش خبرگان استفاده و مدل فازی فرآیند، تحلیل شده است.

همچنین به منظور تعیین نوع توابع عضویت متغیرهای ورودی، علاوه بر اخذ نظر خبرگان، با استفاده از نمودارهای پراکندگی، رابطه‌های منطقی بین متغیرهای مورد بررسی و مقدار تابع عضویت ایجاد گردیده و نهایتاً نزدیکترین جواب (تابع عضویت) انتخاب شده

### ۲-۳. قواعد اگر- آنگاه فازی

در مدلسازی مفاهیم مورد بررسی از قواعدی به فرم رابطه زیر استفاده شده است:

$$\text{if } x_1 \text{ is } A_1^l, \dots, x_m \text{ is } A_m^l \text{ then } y = B^l \quad (5)$$

با توجه به اینکه حجم قواعد سیستم کنترل فازی پیشنهادی بسیار زیاد می‌باشد، به منظور دستیابی به الگویی کارا، تدوین قواعد اگر-آنگاه در سیستم کنترل فازی در دو بخش جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت ادغام شده است. در بخش اول به منظور تحلیل مشخصه‌های کیفی اثرگذار بر اجرای پروژه، تعداد ۱۰ پرسشنامه تهیه و از طریق مدیران و کارشناسان خبره در علم مدیریت پروژه خصوصاً پروژه‌های طراحی و احداث واحدهای صنعتی، نظر سنجی شده است.

هر پرسشنامه شامل ۸ پرسش بوده که در حقیقت از تلفیق متغیرهای شرایط اقتصادی، مالی و سیاسی، شرایط داخل و برون سازمانی و شرایط زیست محیطی طراحی شده بودند. جهت بررسی روایی<sup>۱</sup> صوری و محتوایی ابزار جمع آوری خروجی‌ها (پرسشنامه)، پس از اعمال نظرات مدیران و کارشناسان و انجام اصلاحات لازم و با نظر مدیر ناظر، فرم نهایی چک لیست تدوین و مورد استفاده قرار گرفته است.

برای بررسی و تعیین اعتبار<sup>۲</sup> ابزار اندازه‌گیری پس از اجرای مقدماتی از روش آلفای کرانباخ استفاده شده است. پس از بررسی ضریب همابستگی درونی، مقدار آلفای کرانباخ برابر با ۰/۸۶ حاصل شد که نشان‌دهنده همابستگی قابل قبول درونی پرسش‌های پرسشنامه طراحی شده می‌باشد.

### ۳-۳. ساخت سیستم فازی

در این تحقیق به منظور ساخت سیستم فازی، از موتور استنتاج حاصلضرب، استلزام حاصلضرب ممدانی، فازی ساز منفرد، غیر فازی ساز میانگین مراکز و استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه استفاده شده است.

بدین ترتیب موتور استنتاج حاصلضرب به صورت عبارت ذکر شده در فرمول ۶ خواهد بود.

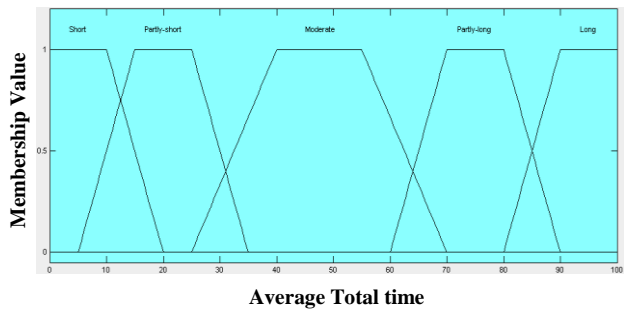
$$\mu_B(y) = \max_{i=1}^n [\sup (\mu_A(x) \prod_{i=1}^p \mu_{A_i}(x_i) \mu_B(y))] \quad (6)$$

<sup>1</sup> Validity

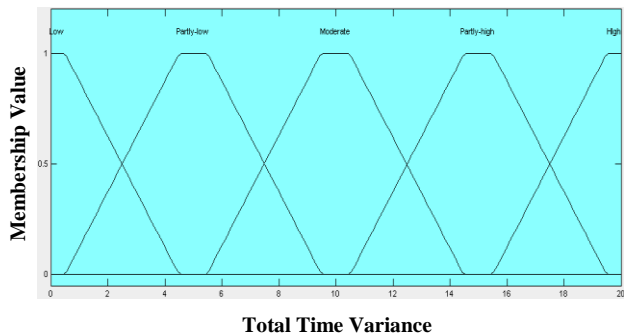
<sup>2</sup> Reliability

شرح داده شده وجود خواهد داشت. بر اساس این ۸ متغیر، می‌توان در خصوص زمان ختم پروژه اظهارنظر کرد. باید توجه داشت که تخمین زمان ختم پروژه با پارامترهای ذکر شده به طور قطعی شناسایی نخواهند شد چرا که ماهیت اساسی زمانبندی پروژه دارای عدم قطعیت می‌باشد لیکن به هر حال در اینجا سعی شده است تا با استفاده از یک سیستم فازی، هدف مسأله را با توجه به متغیرهای ذکر شده محاسبه کرد. سیستم فازی ارائه شده دارای سه خروجی می‌باشد که نشان‌دهنده وضعیت زمان ختم پروژه می‌باشد. این خروجی‌ها به شرح زیر تقسیم بندی شده‌اند.

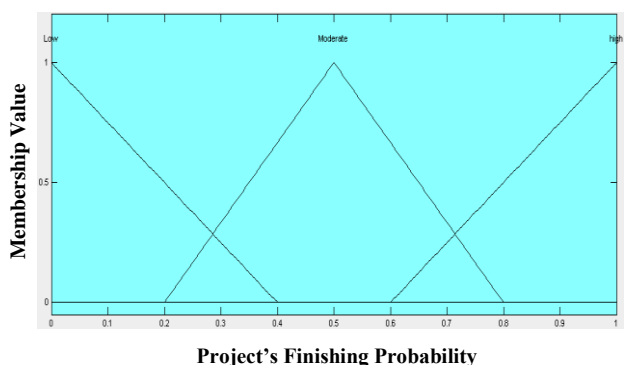
۱- احتمال ختم پروژه در زمان تعیین شده که می‌تواند زیاد، متوسط یا کم باشد. ۲- متوسط زمان ختم پروژه که می‌تواند کوتاه، نسبتاً کوتاه، متوسط، نسبتاً طولانی یا طولانی باشد. ۳- واریانس زمان ختم پروژه که می‌تواند کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد یا زیاد باشد. توابع عضویت مربوط به متغیرهای خروجی در ادامه آمده است:



شکل ۵. تابع عضویت مربوط به متوسط زمان ختم پروژه



شکل ۶. تابع عضویت مربوط به واریانس زمان ختم پروژه



شکل ۷. تابع عضویت مربوط به احتمال ختم پروژه

جدول ۲. ورودی‌ها، خروجی‌ها و قواعد منتخب در سیستم کنترل فازی تعریف شده

شماره قانون	متغیرهای ورودی								متغیرهای خروجی	
	مجموع ارزش حلقه‌های رستگراول	مقدار ضرب ۱/۲ در حلقه موازی	تعداد حلقه‌های بسته دوم و بالاتر	متوسط میانگین زمان فعالیت‌ها	شرایط اقتصادی، مالی و سیاسی	شرایط داخلی و برون سازمانی	شرایط زمینی	احتمال ختم پروژه در زمان تعیین شده	متوسط زمان ختم پروژه	نسبت طولانی و کوتاه نسبی
۱	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	تأثیرگذار	خوب	مساعد	کم	نسبتاً طولانی	نسبتاً زیاد
۲	زیاد	زیاد	زیاد	کم	تأثیرگذار	بد	مساعد	کم	طولانی	زیاد
۳	کم	زیاد	زیاد	زیاد	بی‌تأثیر	خوب	نامساعد	زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد
۴	زیاد	زیاد	کم	زیاد	بی‌تأثیر	بد	نامساعد	کم	متوسط	نسبتاً کم
۵	کم	زیاد	زیاد	کم	تأثیرگذار	خوب	نامساعد	متوسط	طولانی	زیاد
۶	زیاد	زیاد	کم	کم	تأثیرگذار	بد	مساعد	کم	طولانی	زیاد
۷	کم	زیاد	زیاد	کم	بی‌تأثیر	خوب	مساعد	زیاد	نسبتاً طولانی	نسبتاً زیاد
۸	کم	زیاد	کم	زیاد	بی‌تأثیر	بد	مساعد	زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد
۹	کم	کم	کم	زیاد	تأثیرگذار	خوب	مساعد	کم	نسبتاً کوتاه	نسبتاً کم
۱۰	کم	کم	زیاد	کم	تأثیرگذار	خوب	نامساعد	کم	نسبتاً طولانی	زیاد
۱۱	کم	زیاد	کم	کم	تأثیرگذار	بد	مساعد	متوسط	طولانی	زیاد
۱۲	کم	زیاد	کم	زیاد	بی‌تأثیر	خوب	نامساعد	زیاد	نسبتاً طولانی	نسبتاً زیاد
۱۳	زیاد	کم	کم	کم	بی‌تأثیر	بد	مساعد	زیاد	متوسط	نسبتاً کم
۱۴	زیاد	کم	زیاد	کم	تأثیرگذار	خوب	نامساعد	کم	طولانی	نسبتاً زیاد
۱۵	زیاد	زیاد	کم	کم	تأثیرگذار	بد	مساعد	کم	طولانی	نسبتاً زیاد
۱۶	کم	کم	کم	زیاد	بی‌تأثیر	بد	مساعد	کم	نسبتاً کوتاه	نسبتاً کم

که در آن  $i$  شماره قانون،  $(x_i)$  نشاندهنده تابع عضویت فازی  $i$  امین ورودی  $(y)$  مقدار حاصل از قانون  $i$  ام می‌باشد. بدین ترتیب سیستم فازی طراحی شده بر اساس موتور استنتاج فوق به صورت عبارت ۷ محاسبه می‌شود.

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^{256} y^i (\prod_{j=1}^8 \mu_{A_j}(x_j))}{\sum_{i=1}^{256} (\prod_{j=1}^8 \mu_{A_j}(x_j))} \quad (7)$$

که در آن  $x_i$  ها معرف  $i$  امین ورودی قطعی و  $\mu_{A_i}(x_i)$  نشاندهنده تابع عضویت فازی  $i$  امین ورودی است ضمن آنکه  $y^i$  میانگین مراکز  $i$  امین مجموعه فازی خروجی است.

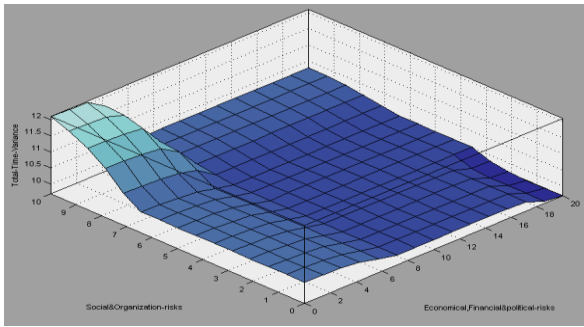
در این سیستم فازی از فازی ساز منفرد و غیر فازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است. فازی ساز منفرد بدلیل آنکه محاسبات موتور استنتاج را بسیار ساده می‌کند بر کاربرد می‌باشد ضمن

آنکه غیر فازی ساز میانگین مراکز، متداولترین غیر فازی ساز مورد استفاده در سیستم های فازی و کنترل فازی می باشد که دلایل آن سادگی، توجیه پذیری و پیوستگی می باشد چنانکه تغییرات کوچک در  $y^i$  تغییرات کوچکی را در  $y^*$  نتیجه می دهد. غیر فازی ساز میانگین مراکز به صورت عبارت ذکر شده در رابطه ۸ محاسبه می شود:

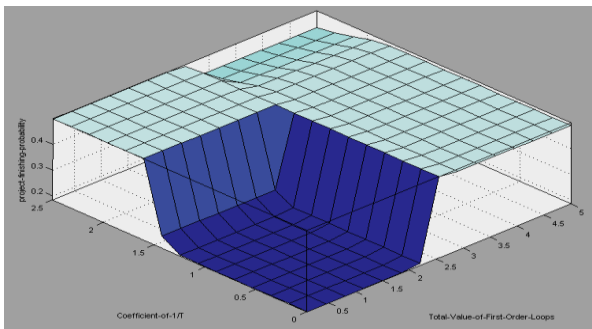
$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^{256} y^i \cdot (w_i)}{\sum_{i=1}^{256} (w_i)} \quad (8)$$

که در آن  $w_i$  ها معرف موقعیت تک مقدار  $i$  در مجموعه جهانی و  $y^i$  میانگین مراکز  $i$  امین مجموعه فازی خروجی می باشد.





شکل ۱۰. نتیجه تأثیر متقابل متغیرهای شرایط درون و برون سازمانی و شرایط اقتصادی-مالی-سیاسی بر روی واریانس زمان ختم پروژه

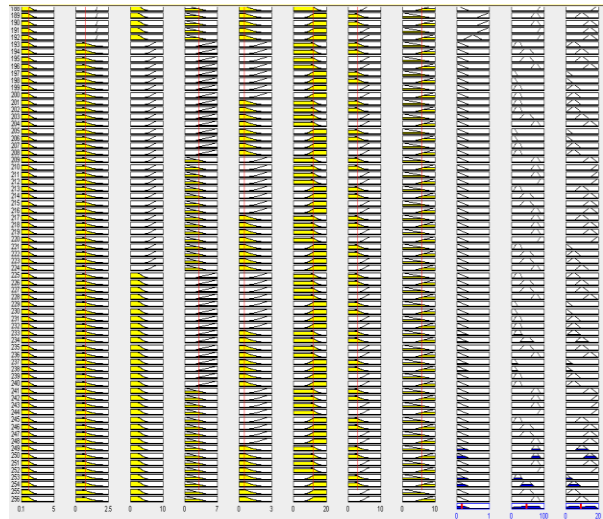


شکل ۱۱. نتیجه تأثیر متقابل متغیرهای ارزش حلقه‌های رسته اول و ارزش حلقه مجازی بر روی احتمال ختم پروژه در زمان تعیین شده

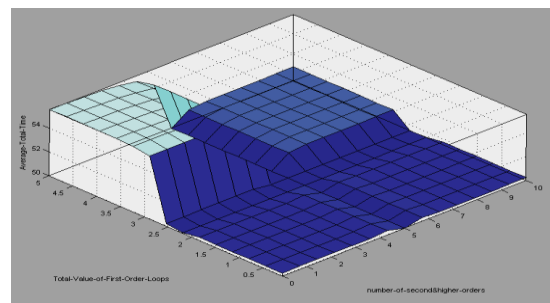
نتایج مختلف و تحلیل‌های مفیدی از نمودارهای حاصل از سیستم کنترل فازی حاصل می‌شود. به عنوان مثال در نمونه آزمایشی در مثال قبل، به هنگامی که ریسک‌های مربوط به شرایط درون و برون سازمانی زیاد و ریسک‌های مربوط به شرایط اقتصادی، مالی و سیاسی زیاد باشند، محتمل است که واریانس زمان ختم پروژه به بیشترین مقدار (که در سیستم طراحی شده با عنوان "زیاد" مطرح شد) برسد که با واقعیت تطابق کامل دارد. با توجه به اینکه در این سیستم کنترل، برای اولین بار متغیرهای کیفی نوینی وارد مسأله شده است بنابراین مقایسه مستقیم آن با روش‌های سنتی در شبکه‌های گرت امکان پذیر نبوده و بی‌فایده می‌باشد. بدین ترتیب به منظور اعتبار سنجی مدل پیشنهادی، مثال موردی که مربوط به پروژه احداث کارخانه قطعه‌سازی می‌باشد بررسی شده است. زمانبندی در این پروژه توسط شبکه CPM و از طریق نرم افزار Primavera ورژن 3,1 صورت گرفته است. لازم به ذکر است که در زمان شروع زمانبندی، پروژه حدود ۲۰ درصد پیشرفت داشته است (بخشی از محوطه‌سازی و احداث سالن‌های تولید انجام شده بود) جدول زیر نتایج حاصل از گزارش اولیه و گزارش کنترلی سوم (گزارش نهایی) را نشان می‌دهد.

#### ۴. آزمایشات: شبیه‌سازی سیستم کنترل فازی

جهت شبیه‌سازی این سیستم، از نرم افزار MATLAB ورژن ۷ که محیط مناسبی جهت شبیه‌سازی چنین سیستم‌هایی می‌باشد استفاده شده است. بدین منظور پارامترهای ورودی و خروجی به همراه توابع عضویت هر یک و همچنین ۲۵۶ قانون طراحی شده در نرم افزار تعریف شده‌اند. در ادامه تصاویر نتایج یک نمونه آزمایش تصادفی با استفاده از شبیه‌سازی مدل به همراه نتیجه تأثیر متقابل تعدادی از متغیرهای مختلف ورودی بر روی یکدیگر و نتیجتاً بر روی یک متغیر خروجی تصویر شده است. نمونه موجود در تصویر حاکی از احتمال کم در ختم پروژه و واریانس و میانگین زمان متوسط در تخمین زمان ختم پروژه می‌باشد که بر مبنای ورودی‌های مجموع ارزش حلقه‌های رسته اول، تعداد حلقه‌های رسته‌های دوم، میانگین، واریانس، شرایط اقتصادی و سیاسی، شرایط داخل و برون سازمانی و شرایط زیست محیطی به ترتیب برابر با مقادیر ۲/۲۵، ۱/۲۵، ۵، ۳/۵، ۱/۵، ۱۰، ۵ و ۵ نتیجه شده است.



شکل ۸. نتایج یک نمونه آزمایشی با استفاده از شبیه‌سازی مدل



شکل ۹. نتیجه تأثیر متقابل متغیرهای ارزش حلقه‌های رسته اول و تعداد حلقه‌های رسته دوم و بالاتر بر روی متوسط زمان ختم پروژه

### جدول ۳. نتایج حاصل از برنامه‌ریزی و کنترل پروژه احداث کارخانه قطعه‌سازی

زمان	شرح
۷۰	زمانبندی مطابق با برنامه اولیه در شبکه CPM، پیاده‌سازی شده در نرم‌افزار Primavera
۱۲۲	مدت زمان ختم پروژه با توجه به نتایج بدست آمده از گزارش کنترلی سوم (گزارش نهایی)

تأثیرگذار ورودی به دوبخش تقسیم گردیدند. بخش اول پارامترهای کیفی و در حقیقت عوامل محیطی اثرگذار بر اجرای پروژه هستند که از طریق پرسشنامه، نتایج آن ثبت و بررسی گردید. بخش دوم متغیرهای کمی تأثیرگذار بر شبکه گرت می‌باشند که از طریق برنامه کامپیوتری طراحی شده، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نهایتاً با ادغام متغیرهای کمی و کیفی، تعداد ۲۵۶ قانون تعریف و از طریق نرم افزار MATLAB ورژن ۷ در سیستم کنترل فازی پیاده سازی شد. نتایج بدست آمده از اکثر آزمایشات انجام شده در سیستم فازی پیشنهادی حاکی از قرار گرفتن جواب در محدوده مطلوب و قابل قبول بوده است.

در روش های سنتی زمانبندی و اجرای پروژه، پارامترهای کیفی و عوامل محیطی اثرگذار بر نحوه اجرای پروژه در محاسبات زمانبندی در نظر گرفته نمی‌شوند. با توجه به اینکه تحقیق حاضر به عنوان نقطه شروعی برای اعمال متغیرهای کیفی در بحث مدیریت پروژه با استفاده از سیستم کنترل فازی است، می‌توان ادعا داشت که سیستم طراحی شده در بسیاری از پروژه های با اندازه متوسط کارا خواهد بود.

بدین ترتیب این تحقیق، پایه و اساسی برای انجام بسیاری از تحقیقات دیگر خواهد بود. تلفیق متغیر زمان با پارامترهای هزینه و منابع موجود در پروژه و در نظر گرفتن کلیه پارامترها به صورت فازی، اعمال کلیه توابع احتمال در سیستم کنترل فازی و تعیین متغیرهای ورودی با هدف از بین بردن محدودیت مربوط به اندازه پروژه می‌تواند به عنوان تحقیقات آتی مد نظر قرار گیرد. با توجه به اینکه متأسفانه در حیطه پروژه‌های داخلی تأکید بر ضرورت زمانبندی صحیح رعایت نمی‌شود، لزوم استفاده از روش‌های نوین که منجر به کاهش احتمال خطا و افزایش تطابق برنامه‌ریزی و اجرا شود، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. امید است با توسعه این تحقیق و تحقیق‌های مشابه، بخشی از مشکلات مربوط به زمانبندی پروژه‌ها برطرف شود.

### مراجع

- [۱] سبزه‌پرور، م.، "کنترل پروژه"، انتشارات ترمه، چاپ اول، ۳۸۱.
- [۲] شونیدی، ح.، "نظریه مجموعه های فازی و کاربردهای آن در مهندسی صنایع و مدیریت"، انتشارات گسترش علوم پایه، چاپ اول، ۱۳۸۵.
- [۳] اصغرپرور، م. و کریمی گوارشکی، م.، "روشی جدید در گرت فازی برای زمانبندی پروژه های تحقیقاتی"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه مالک اشتر، جلد ۱۵، شماره ۱، ۱۳۸۳، صفحه ۱۳۱-۱۱۳.

به منظور پیاده‌سازی پروژه مورد بررسی در سیستم کنترلی ارائه شده و با توجه به اینکه در پروژه احداث کارخانه فعالیت‌های زیادی وجود دارند که چند بار تکرار می‌شوند که حلقه‌های متعددی را بوجود می‌آورند (مانند سفارش مجدد مواد اولیه برای تولید آزمایشی)، شبکه گرت مربوط به این پروژه طراحی و متغیرهای اثرگذار بر پروژه وارد سیستم کنترلی شدند. همچنین متغیرهای کیفی مانند تحریم و تغییرات نرخ ارز و ...، در مقطع گزارش اولیه بررسی و در سیستم اعمال شدند. نتیجه بدست آمده از سیستم کنترل فازی این بود که پروژه با شرایط مذکور حدود ۸۵ روز به طول خواهد انجامید. مشخصاً در حین اجرای پروژه عواملی دخیل شدند که در زمانبندی اولیه قابل پیش بینی دقیق نبوده‌اند لیکن مطلبی که پر واضح است برتری سیستم پیشنهادی در مثال ارائه شده می‌باشد. شایان ذکر است که این سیستم در پروژه‌هایی با اندازه متوسط مطلوب عمل می‌کند. همانطور که پیشتر اشاره شد، سیستم کنترلی مورد بررسی با هدف اثربخشی در پروژه های با ابعاد متوسط طراحی شده است. به همین منظور علاوه بر مثال ارائه شده، زمانبندی ۱۵ پروژه در حوزه احداث واحدهای صنعتی با استفاده از سیستم کنترلی ارائه شده، شبیه سازی گردیدند. در این ارتباط لازم به توضیح است که محدوده قابل قبول برای آزمایشات در پایان آخرین برنامه کنترلی با اختلاف ۲ ماه از زمان واقعی در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده از آزمایشات حاکی از آن است که در ۱۱ نمونه، نتایج حاصل از سیستم کنترل فازی مطابق با تشخیص صحیح بوده و در ۴ مورد دچار عدم تطابق گردیده است.

به هر تقدیر می‌توان دلایل مربوط به محدود موارد عدم انطباق را وجود دیگر شرایط توأم با عدم قطعیت در پیش بینی زمان ختم پروژه و همچنین تأثیر متغیرهایی دانست که در این سیستم لحاظ نشده‌اند.

### ۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای اولین بار یک سیستم کنترل فازی به منظور تخمین زمان ختم پروژه با استفاده از قابلیت‌های موجود در شبکه‌های گرت طراحی و ارائه گردید. بدین منظور متغیرهای

- [18] Jantzen, J., *Design Of Fuzzy Controllers*, Technical University of Denmark, Department of Automation, 1998.
- [19] Pritsker, A.A.B., *Graphical Evaluation and Review Technique*, The RAND corporation, 1966.
- [20] Arisawa, S., Elmaghraby, S., *Optimal Time-Cost Trade-Offs In GERT Networks*, Management Science, Vol 18, No 11, 1972, pp. 589-599.
- [21] Itakura, H., Nishikawa, Y., *Fuzzy Network Technique for Technological Forecasting*, Fuzzy Sets and Systems, Vol 14, No 2, 1984, pp. 99-113.
- [22] Kurihara, K., Nishiuchi, N., *Efficient Monte Carlo simulation method of GERT-type network for project management*, Elsevier computers and industrial engineering, Vol 42, No 2, 2002, pp. 521-531.
- [23] Gavarehki, M.H., *New Fuzzy GERT Method for Research Projects Scheduling*, IEEE, 2004, pp. 820-824.
- [24] Chen, S., *Analysis of Critical Paths in a Project Network with Fuzzy Activity Times*, European Journal of Operational Research, Vol 183, No 1, 2007, pp. 442-459.
- [25] Abdi, A., et al., *Modeling and Analysis of Mechanization Projects of Wheat production by GERT Networks*, Agricultural Sciences in China, Vol 9, No 7, 2010, pp. 1078-1083.
- [26] Wang, C., et al., *Evaluating the Manufacturing Capability of a Lithographic Area by using a Novel Vague GERT*, Expert Systems with Applications, Vol 38, No 1, 2011, pp. 923-932.
- [4] Hillier, F.S., Lieberman, G.J., *Introduction to Operation Research*, seventh ed., McGraw-Hill, Singapore, 2001.
- [5] Krajewski, L.J., Ritzman, L.P., *Operations Management: Process and Value Chains*, seventh ed., Prentice-Hill, New Jersey, 2005.
- [6] Choudhur, S., *Project Management*, McGraw-Hill Publishing Company, 2000.
- [7] Baccarini, D., *The Logical Framework Method for Defining Project Success*, Project Management Journal, Vol 30, No 4, 1999, pp. 25-32.
- [8] Zadeh, L.A., *Fuzzy Sets*, Information and Control, Vol 8, No 3, 1965, pp: 338-353.
- [9] Prade, H., *Using Fuzzy Set Theory in a Scheduling Problem: a Case Study*, Fuzzy Sets and Systems, Vol 2, No 2, 1979, pp.153-165.
- [10] Chanas, S., Kamburowski, J., *The use of Fuzzy Variables in PERT*, Fuzzy Sets and Systems, Vol 5, No 1, 1981, pp. 11-19.
- [11] McCahon, C.S., Lee, E.S., *Project Network Analysis With Fuzzy Activity Times*, Computers and Mathematics with Applications, Vol 15, No 10, 1988, pp. 829-838.
- [12] McCahon, C.S., *Using PERT as Approximation of Fuzzy Project-Network Analysis*. IEEE Transaction and Engineering Management, Vol 40, No 2, 1993, pp. 146-153.
- [13] Shipley, M.F., De Korvin, A., Omer, K., *A Fuzzy Logic Approach for Determining Expected Values: A Project Management Application*, Journal of the Operational Research Society, Vol 47, No 4, 1996, pp. 562-569.
- [14] Feng-Tes, I., Jing-Shing, Y., *Fuzzy Critical Path Method Based on Signed Distance Ranking and Statistical Confidence-Interval estimates*. The journal of supercomputing, Vol 24, No 3, 2003, pp. 305-325.
- [15] Wen-Ping, W., Xia L., Xia L., Xiao-ping, Z., *Study on Water Conservancy Project Network Planning in Fuzzy Environment*, International Conference on Hybrid Information Technology, Vol.1, 2006, pp. 566-568.
- [16] Rao, K., et al., *Optimal Selection of PERT for Large Complex and Distributed Projects*, International Journal of Computer Science and Network Security, Vol 8, No 6, 2008, pp.7-17.
- [17] Hsiau, H., Lin, C., *A Fuzzy Pert Approach to Evaluate Plant Construction Project Scheduling risk Under Uncertain Resources Capacity*, Journal of Industrial Engineering and Management, Vol 2, No 1, 2009, pp. 31-47.

```

    MX (i) =pv*exp (t)/ (1-exp (t) +pv*exp (t));
end
if j==7
    a=input ('please enter the value of lower limit of
interval');
    b=input ('please enter the value of upper limit of
interval');
    MX (i) = (exp (b*t)-exp (a*t))/(t*(b-a));
end
end
%%%%%%%%%% occurrence probability of
activities
for i=1: n
    p (i) =input ('please enter the value of occurrence
probability of the activity No. ');
    while p (i) <=0 | p (i)>1
        display ('you have to enter a number between
0 and 1');
        p (i) =input ('please enter the value of
occurrence probability of the activity No. ');
    end
    w (i) =p (i)*MX (i);
    display (w (i));
end
w (n+1) =1/T;
w
%%%%%%%%%% Orders and Loops Detection
ax1 (1:1000, 1, 1:1000) =1;
L (1:1000) =0;
w (n+2) =1;
order=input ('please enter the number of orders');
if order==0
    display ('you are not working on GERT network')
end
for I=1: order
    display (I)
    norder (I) =input ('please enter the number of loops
(Or complex of loops)');
    if norder (I) ~=0
        for i=1: norder (I)
            nactivity (i, I) =input ('please enter the number
of activities in this loop (Or complex of loops)');
            for j=1: nactivity (i, I)
                B1 (i, j, I) =input ('please enter the activity
number');
                for k=nactivity (i, I) +1: n+1
                    B1 (i, k, I) =n+2;
                end
            end
        end
    end
end
%%%%%%%%%% Formation of Topology
Equation
for i=1: norder (I)
    for j=1: nactivity (i, I)
        ax1(i, I, I) =ax1(i, I, I)*w(B1(i, j, I));
    end
end

```

## ضمائم

ضمیمه الف- برنامه کامپیوتری طراحی شده برای محاسبات  
شبکه GERT

```

function Y=GERT(X)
close all
clear all
clc
clear
format long
syms t w MX L T ax1 H h1 h2 WE ME;
n=input ('please enter number of activities');
for i=1: n
    %%%%%%%%%%% distribution function of
activities
    display (i)
    display ('please enter the distribution function type as
below');
    display ('1= normal distribution');
    display ('2= Poisson distribution');
    display ('3= exponential distribution');
    display ('4= negative binominal distribution');
    display ('5= binominal distribution');
    display ('6= geometric distribution');
    display ('7= uniform distribution');
    j=input ('');
    if j==1
        mio=input ('please enter the value of mean');
        sigma2=input ('please enter the value of
variance');
        MX (i) =exp (mio*t+.5*sigma2*t^2);
    end
    if j==2
        lambda=input ('please enter the value of lambda');
        MX (i) =exp (lambda*(exp (t)-1));
    end
    if j==3
        alpha=input ('please enter the value of alpha');
        beta=input ('please enter the value of beta');
        MX (i) = (1/ (1-beta*t)) ^alpha;
    end
    if j==4
        pv=input ('please enter the value of success
probability');
        r=input ('please enter the number of success');
        MX(i)=(pv*exp(t)/(1-exp(t)+pv*exp(t)))^r;
    end
    if j==5
        n1=input ('please enter the number of Bernoulli
exprements');
        pv=input ('please enter the value of success
probability');
        MX (i) = (pv*exp (t) +1-pv) ^n1;
    end
    if j==6
        pv=input ('please enter the value of success
probability');

```

```

L(I)=L(I)+ax1(i·I)
end
elseif norder (I) ==0
display ('you are not working on GERT network')
end
end
h1=0;
h2=0;
for I=1: order
h1=h1+L (2*I-1);
h2=h2+L (2*I);
end
H=1-h1+h2;

%%%%%%%%%% Calculation of PE, average
Total Time and Total Time Variance
WE=solve (H,'T');
PE=subs (WE,t,0)
ME=WE/PE;
DME1=diff (ME,t,1);
Average total Time =subs (DME1,t,0)
DME2=diff (ME,t,2);
Q=DME2-DME1^2;
Total Time Variance=subs (Q,t,0)
Return

```