

ارائه یک سیستم خبره فازی جهت تعیین زمان ختم پروژه در شبکه‌های پرت

ابوالفضل کاظمی*، پاشا فنخوری**، علی شکورلو***

تاریخ دریافت (۹۱/۱۰/۱۲) تاریخ پذیرش (۹۴/۶/۳۰)

چکیده

زمان‌بندی صحیح پروژه از ارکان اصلی و لازمه موفقیت و همچنین تطابق برنامه‌ریزی و اجرا، اصلی‌ترین موضوع مدیریت پروژه می‌باشد. در این مقاله سعی شده است تا سیستمی کاربردی و مناسب برای زمان‌بندی پروژه‌های مختلف ارائه شود تا از طریق آن زمان‌بندی پروژه‌ها دقیق‌تر انجام شود. در حال حاضر تکنیک ارزیابی و بازیابی پروژه PERT به طور گسترده‌ای برای مدیریت پروژه‌های با مقیاس بزرگ به کار می‌رود. در روش‌های سنتی موجود در تکنیک PERT، زمان انجام فعالیت‌ها به صورت اعداد قطعی و یا از طریق توزیع بتا حاصل می‌شده است، لیکن در شرایط و دنیای واقعی، تخمین زمان عملی انجام هر فعالیت به طور دقیق کار بسیار دشواری است. در این مقاله با استفاده از منطق فازی و به منظور مقابله با مشکلات مربوط به عدم قطعیت، سیستم خبره فازی طراحی شده است و در آن بسیاری از محدودیت‌ها و عوامل تأثیرگذار بر روی زمان انجام پروژه مد نظر قرار گرفته است. در این ارتباط پارامترهای ورودی و خروجی سیستم از طریق پرسشنامه تهیه و پایایی نتایج حاصله تحلیل شده است. نتایج حاصل حاکی از قدرت بالای سیستم در کنترل شرایط مختلف تأثیرگذار بر روی زمان انجام پروژه می‌باشد.

واژگان کلیدی: سیستم خبره فازی، تخمین زمان، مدیریت پروژه، تکنیک ارزیابی و بازیابی پروژه، زمان‌بندی پروژه.

* استادیار دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک - دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران (نویسنده مسئول)

** کارشناس ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران

*** کارشناس ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران

مقدمه

مدیریت و کنترل پروژه، فرآیندی است که به منظور دستیابی به یک تعادل اقتصادی موجه بین سه عامل هزینه، زمان و کیفیت، در حین اجرای پروژه انجام می‌شود. اصولاً تطابق برنامه‌ریزی و اجرا در یک پروژه، اصلی‌ترین موضوع مدیریت پروژه می‌باشد و از سوی دیگر مهمترین هدف در اجرای یک پروژه، اتمام پروژه در زمان بهینه و در شرایط مطلوب اقتصادی است. بدین منظور ترکیب مناسب منابع پروژه با توجه به محدودیت‌های موجود، از اهمیت والایی برای بهینه کردن زمان انجام هر فعالیت برخوردار است.

هر چند روش‌های مختلفی برای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌های مختلف وجود دارد، شبکه‌های PERT^۱ به دلیل مزایای متعددی که دارند (که از مهمترین آنها می‌توان به تخصیص سه تخمین مختلف برای زمان انجام هر فعالیت اشاره کرد)، در حال حاضر از جمله پرکاربردترین روش‌های مدیریت پروژه محسوب می‌شوند. بنابر تعریف سنتی برنامه‌ریزی پروژه، زمان، هزینه، تخصیص منابع و سایر پارامترهای تأثیرگذار در هر پروژه، قطعی و نتیجتاً مدل‌های توسعه یافته مرتبط نیز به صورت کاملاً قطعی تحلیل شده‌اند. در دنیای واقعی و در هنگام اجرای پروژه عواملی پدیدار می‌شود که منجر به تعریف زیر پروژه‌ها می‌گردند. تشکیل زیر پروژه‌ها، تشریک منابع و همچنین تخصیص منابع جدید را منجر می‌شود که این موضوع باعث تغییر در زمان و هزینه انجام پروژه‌ها شده و هزینه‌های نوینی را وارد مسأله می‌کند. بنابراین اجرای پروژه‌ها همواره با عدم قطعیت همراه بوده و عدم تطابق برنامه‌ریزی و اجرا در بسیاری از موارد به چشم می‌خورد.

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 آنالوگ ورودی را به خروجی پیوسته‌ای بین صفر و یک تبدیل می‌کند.

علی‌رغم وجود روش‌ها و تکنیک‌های مختلف برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، همچنان بسیاری از پروژه‌ها در مرحله اجرا با مشکل روبرو شده و نمی‌توانند مطابق با برنامه ارائه شده پیش روند. محیط اجرای پروژه‌ها بسیار پیچیده و پویا است. در این محیط عوامل و متغیرهای متعددی دخیل می‌باشند که تاثیر منفی این عوامل بعلاوه محیط پویای بیرونی، تأخیر پروژه‌ها را منجر می‌شوند. با توجه به وجود عامل عدم قطعیت در اجرای مراحل مختلف یک پروژه، مسأله دستیابی به روشی است که تأخیرها و مشکلات مربوط به عدم قطعیت را تا حد امکان کاهش و برنامه‌ریزی را با اجرا هرچه بیشتر منطبق سازد. در این تحقیق به کمک منطق فازی و با استفاده از پارامترهای موجود در تکنیک PERT، سیستم کنترلی پیشنهاد شده است که در آن بسیاری از حالت‌های موجود انجام پروژه به همراه وضعیت‌های مختلف پارامترهای تأثیرگذار در نظر گرفته شده و از طریق آن محدودیت‌های موجود پوشش و برنامه‌ریزی انجام پروژه منطقی‌تر و دقیق‌تر حاصل خواهد شد.

برای نیل به این هدف، در بخش دوم روش ارزیابی و بازنگری پروژه (PERT) تشریح می‌گردد. در بخش سوم سیستم‌های فازی و قواعد اگر-آنگاه فازی ارائه می‌شود. در بخش چهارم سیستم خبره فازی طراحی و در بخش پنجم این سیستم خبره شبیه‌سازی می‌گردد. بخش پایانی نیز به نتیجه‌گیری و بیان ایده‌های نو برای تحقیقات آتی اختصاص دارد.

تعاریف و نمادها

روش ارزیابی و بازنگری پروژه (PERT)

در سال‌های اخیر دانش مدیریت پروژه رشد وسیعی پیدا کرده است. مهمترین مسأله در این علم، برنامه‌ریزی و کنترل انجام فعالیت‌های مختلف پروژه به گونه‌ای است که پروژه در کوتاهترین زمان ممکن به پایان برسد [1,2]. در این ارتباط شبکه پروژه نیز بایستی به گونه‌ای

طراحی شود که با در نظر گرفتن محدودیت‌های مربوط به فعالیت‌های پیش نیاز و پس نیاز، تقدم و یا تأخر انجام فعالیت‌ها را تعیین کند.

از ابتدایی‌ترین و اساسی‌ترین روش‌ها و تکنیک‌های برنامه ریزی و مدیریت پروژه می‌توان به نمودار گانت و روش مسیر بحرانی^۱ و در نهایت روش PERT اشاره کرد. روش PERT، وسیع‌ترین و رایج‌ترین روش برای برنامه ریزی و کنترل پروژه‌های بزرگ می‌باشد [3,4]. این روش در سال ۱۹۵۰ به منظور کمک به مدیران جهت برنامه ریزی و مدیریت پروژه‌های بزرگ و پیچیده بوجود آمد. در حال حاضر از این روش در واحدهای صنعتی و خدماتی مختلف به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. با استفاده از این تکنیک، مدیران قادر خواهند بود به قابلیت‌های زیر دست یابند [5,6]:

۱- نمودار شبکه‌ای مناسب از وضعیت انجام فعالیت‌ها

۲- تخمین قابل قبولی از زمان ختم پروژه

۳- تحلیل فعالیت‌های بحرانی

۴- تحلیل قابلیت تأخیر فعالیت‌های پروژه بدون آنکه بر روی زمان انجام کل پروژه تأثیر بگذارد.

در سال‌های اخیر مدل‌های مختلفی جهت ارزیابی و زمانبندی شبکه‌ها برای مدیریت پروژه ارائه شده است، در سال ۲۰۱۴ یک مدل فازی ابتکاری با استفاده از اعداد فازی مثلثی برای مدیریت شبکه‌های پرت ارائه گردیده است [13]. همچنین در سال ۲۰۱۵ یک مدل برنامه-ریزی فازی چند هدفه برای حل مساله زمانبندی شبکه مدیریت پروژه با در نظر گرفتن سود و جریمه نموی ارائه شده است [14]. در میان مدل‌های متنوع ارائه شده یکی از متداول‌ترین روش‌ها زمانبندی پروژه استفاده از اعداد فازی می‌باشد [15].

یکی از مهمترین ویژگی‌ها و نقاط تمایز شبکه PERT با سایر روش‌های برنامه ریزی و کنترل پروژه، وجود سه وضعیت یا به عبارتی سه پارامتر مختلف برای تخمین زمان انجام هر فعالیت می‌باشد. این سه وضعیت به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- تخمین خوشبینانه زمان^۱ که کمترین زمان انجام هر فعالیت را مد نظر قرار می‌دهد.
 - ۲- تخمین محتمل زمان^۲ که بالاترین احتمال ختم انجام فعالیت را به خود تخصیص می‌دهد.
 - ۳- تخمین بدبینانه زمان^۳ که بیشترین زمان انجام هر فعالیت را مدنظر قرار می‌دهد.
- این سه پارامتر برای سنجش و محاسبه میانگین و واریانس زمان انجام هر فعالیت به کار برده می‌شوند، به گونه‌ای که میانگین و واریانس زمان انجام هر فعالیت از فرمول‌های (۱) و (۲) به شرح زیر بدست می‌آیند.

$$\mu = \frac{o + 4m + p}{6} \quad (1)$$

$$\sigma = \left(\frac{p - o}{6}\right)^2 \quad (2)$$

که در آن o ، m و p به ترتیب تخمین‌های خوشبینانه، محتمل و بدبینانه می‌باشند. همانطور که اشاره شد، مسأله اصلی دستیابی هر چه دقیق‌تر به تخمین پارامترهای مطرح شده می‌باشد. در دنیای واقعی، تخمین زمان انجام فعالیت‌ها به طور دقیق کار بسیار دشواری است. زاده با مطرح نمودن مجموعه‌های فازی، تحولی در زمینه برخورد با مسائل مربوط به عدم قطعیت ایجاد نمود [7]. در سال‌های اخیر، محققان زیادی از دانش و علم مجموعه‌های فازی برای تلفیق با مدیریت پروژه از طریق تکنیک PERT استفاده کرده‌اند. نتایج این تحقیقات گرایش جدیدی تحت عنوان پرت فازی (FPERT^۴) نام‌گذاری شده است [8]. شبکه PERT فازی برای اولین بار توسط Chanas و Kamburowski ارائه شد [9] که در آن از اعداد فازی برای تعریف زمان انجام فعالیت‌ها استفاده کردند. ضعف این تحقیق نبود روشی موثر برای یافتن فعالیت‌های بحرانی بود. Mon و همکارانش [10] با به کارگیری برش‌های مختلف α و تعریف حد بالا و پایین زودترین زمان شروع هر فعالیت،

-
- 1- Optimistic
 - 2- Most likely
 - 3- Pessimistic
 - 4- Fuzzy PERT

مشکلات موجود در تحقیقات پیشین را حل کردند. در حال حاضر تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است و کامل ترین سوابق این تحقیقات در [8,11,12] دیده می شود. تمام تحقیقاتی که در حوزه FPERT انجام شده است، از طریق راه حل های مختلف و با استفاده از منطق فازی، عدم قطعیت را کاهش می دهند؛ لیکن همچنان خلاء دستیابی به سیستمی کارا برای کنترل عوامل موثر بر زمان انجام پروژه و تحلیل زمان ختم پروژه با توجه به محدودیت های موجود احساس می شود. در این تحقیق ترکیب پارامترهای مختلف و تأثیر هر یک از آنها بر زمان انجام پروژه با تکیه بر منطق فازی و استفاده از ویژگی های شبکه PERT صورت می گیرد. همچنین سعی شده است تا با در نظر گرفتن حالت های مختلف انجام پروژه، وسعت برنامه ریزی و کنترل پروژه های مختلف گسترش داده شده و قدرت تصمیم گیری در هر مقطع زمانی از کنترل بسیار افزایش داده می شود. علاوه بر جدید بودن سیستم کنترل ارائه شده، به دلیل کامل بودن وضعیت های قابل بررسی، جواب های بدست آمده دقیق تر و نتیجتاً تصمیم گیری های صورت گرفته مطمئن تر خواهد بود.

مجموعه ها و سیستم فازی

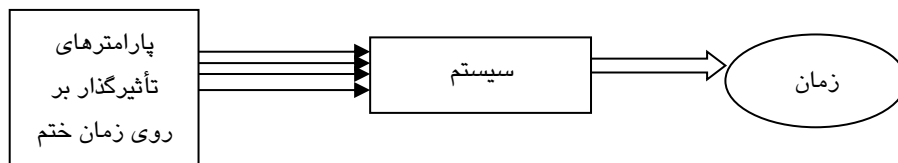
نظریه مجموعه های فازی یک تعمیم از مجموعه های معمولی است که برای صورت بندی، تجزیه و تحلیل مفاهیم و ویژگی های فازی به کار می رود و موافق با زبان و فهم طبیعی انسان نیز می باشد. در این نظریه اعضای یک مجموعه به طور دقیق و به صورت مشخص عضو مجموعه نیستند، بلکه برای هر عضو یک تابع عضویت تعریف می شود. عدد فازی A یک مجموعه فازی در نظر گرفته می شود هرگاه دو شرط زیر برقرار باشد:

$$1-A(x) \text{ تک نمایی باشد یعنی دقیقاً یک } x_0 \in R \text{ وجود داشته باشد که } A(x_0)=1$$

$$2-A(x) \text{ قطعه به قطعه پیوسته باشد.}$$

سیستم های فازی توانایی ایجاد این قابلیت را دارند که با استفاده از دانش فرد خبره به تصمیم گیری و کنترل یک سیستم پردازند. چنانکه پرکاربردترین موارد استفاده از آنها در مدل کردن روابط موجود در محیط های پیچیده و یا در شرایطی که مدلی روشن و واضح از

سیستم موجود نیست، می‌باشد. به‌طوریکه با آن مشابه یک Black Box برخورد کرده و با تکیه بر تعدادی ورودی و نتایج آنها به نتیجه‌گیری و تصمیم‌گیری برای سیستم می‌پردازد. در تصویر زیر شمای کلی مدل تطبیقی تشخیص زمان ختم پروژه با استفاده از تکنیک PERT، از طریق سیستم فازی نشان داده شده است. مهمترین ایده در استفاده از سیستم فازی وجود پارامترهای مرکب و علائم زیاد و همچنین نزدیک بودن بیش از حد علائم به یکدیگر می‌باشد. چنانکه در شکل شماره (۱) مشاهده می‌شود پارامترهای تأثیرگذار در زمان ختم پروژه به سیستم فازی سپرده می‌شود و سیستم فازی است که میزان نزدیک بودن هر یک از پارامترها را در تشخیص زمان ختم پروژه تعیین و به عنوان خروجی معرفی می‌کند.



شکل ۱: مدل فازی تشخیص زمان ختم پروژه

مفاهیم پایه سیستم فازی

به منظور مدلسازی مفاهیم این مقوله از قواعدی به فرم رابطه زیر استفاده شده است:

$$\text{if } x_1 \text{ is } A_1^l, \dots, x_m \text{ is } A_m^l \text{ then } y = B^l \quad (3)$$

توابع عضویت مورد استفاده قرار گرفته از نوع مثلثی، ذوزنقه‌ای و گوسی و همچنین تعداد متغیرها در آنها نیز متفاوت می‌باشند که این تفاوت از ماهیت طبیعی بودن پارامترها نظیر نوع روابط پرسنل با کارفرما و حتی وضعیت آب و هوایی نشأت می‌گیرد.

مهمترین دلایل استفاده از سیستم فازی عبارتند از:

- ۱- پیچیدگی بیش از حد دنیای واقعی که نهایتاً منجر به یک توصیف تقریبی و یا یک سیستم فازی برای مدل کردن می‌شود.
- ۲- نیاز به الگویی برای فرموله کردن دانش بشری به شکلی قانونمند و قرار دادن آن در سیستم‌های واقعی.

در این مقاله به کمک منطق فازی، سیستمی نوین جهت تشخیص زمان ختم پروژه از طریق تکنیک PERT ارائه و برای ساخت این مدل از ۵ پارامتر تأثیرگذار بر هدف مسأله استفاده شده است. با توجه به توضیحات ارائه شده، مراحل زیر جهت تعریف سیستم خبره فازی در نظر گرفته شده است:

- ۱- تعریف مجموعه‌های ورودی- خروجی که زوج‌های ورودی- خروجی نرمال شده را بپذیرد.
- ۲- تولید قاعد اگر- آنگاه فازی بر اساس زوج‌های ورودی- خروجی.
- ۳- ایجاد پایگاه قواعد فازی.

متدولوژی

تعیین پارامترهای ورودی- خروجی سیستم فازی

همانطور که قبلاً اشاره شد در این سیستم فازی از ۵ عامل تأثیرگذار بر روی زمان ختم پروژه به عنوان پارامترهای ورودی استفاده شده است. این پارامترها عبارتند از:

- ۱- روابط کارفرما و نیروی کار (Relationship) که می‌تواند خوب یا بد باشد.
- ۲- منابع (Resource) که می‌تواند کافی یا ناکافی باشد.
- ۳- شرایط آب و هوایی (Weather) که می‌تواند خوب یا بد باشد.
- ۴- واریانس (Variance) که می‌تواند پایین یا بالا یا متوسط باشد.
- ۵- میانگین (Mean) که می‌تواند پایین یا بالا یا متوسط باشد.

بدین ترتیب ۷۲ حالت مختلف برای انجام پروژه با در نظر گرفتن ورودی‌های مورد نظر وجود خواهد داشت که در ادامه، هر یک از این حالت‌ها به استناد نتایج بدست آمده از پرسشنامه طراحی شده تحلیل شده‌اند.

بر اساس این پنج پارامتر می‌توان در خصوص زمان ختم پروژه اظهار نظر کرد. باید توجه داشت که تخمین زمان ختم پروژه با پارامترهای ذکر شده قطعاً شناسایی نخواهند شد؛ چرا که

ماهیت اساسی این مسئله دارای عدم قطعیت می‌باشد. به هر حال در اینجا سعی شده است تا با استفاده از یک سیستم فازی، هدف مسأله را با توجه به پارامترهای ذکر شده محاسبه کنیم. سیستم فازی ارائه شده دارای یک خروجی می‌باشد که نشان دهنده وضعیت زمان ختم پروژه می‌باشد. این خروجی به شرح زیر تقسیم بندی شده است.

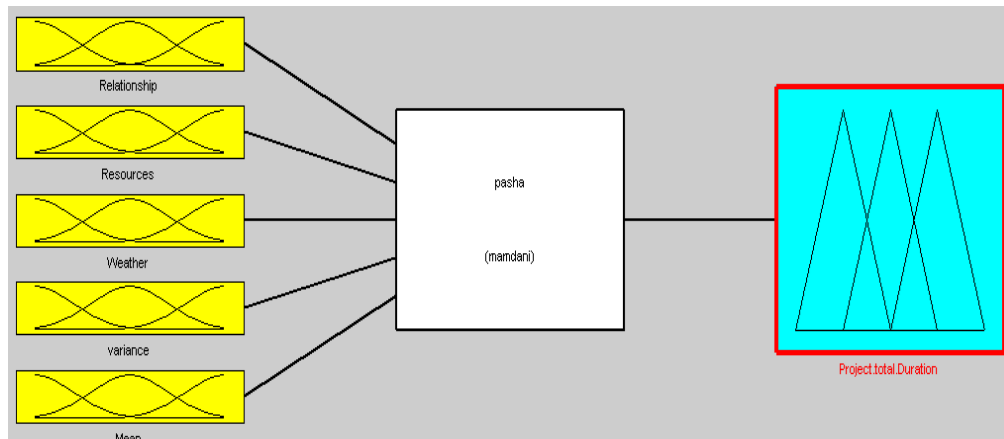
۱- زمان ختم خوشبینانه (Optimistic)

۲- زمان ختم محتمل (Most likely)

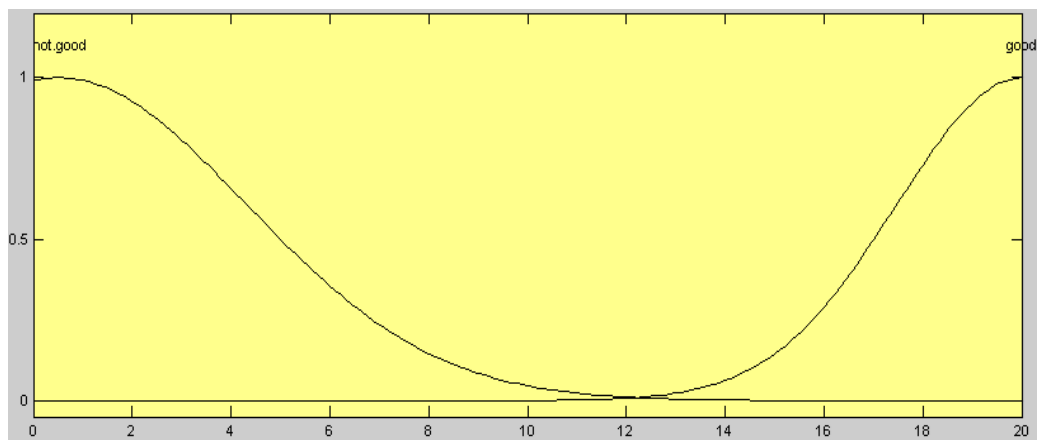
۳- زمان ختم بدبینانه (Pessimistic)

شکل ۲ شمای کلی سیستم فازی به همراه ورودی‌ها و خروجی طراحی شده را نشان می‌دهد. بخش سمت چپ اعداد فازی ورودی را نشان می‌دهد، بخش مرکزی معرفی سیستم استنتاج منطقی فازی است و بخش سمت راست معرفی اعداد فازی انتخاب شده برای خروجی سیستم است. شکل ۳ معرفی عدد فازی رابطه نیروی کار و کار فرما می‌باشد که با توجه به نظر خبرگان سازمانی نسبت به شدت رابطه، ۲۰ واحد برای آن تعریف گردیده است و دو تابع عضویت نرمال برای آن در نظر گرفته شده است، شکل شماره ۴ نیز با استفاده از مستندات موجود و نظر کارشناسان خبره با در نظر گرفتن مجموعه منابع در دسترس نشان دهنده مطلوبیت میزان منابع در دسترس می‌باشد که مجموعه‌ای از دو عدد فازی نرمال می‌باشد، زمانی که منابع مابین ۰ تا ۲,۵ نوسان دارد وضعیت مطلوبی از نظر منابع نداریم که عدد فازی سمت چپ معرف این وضعیت است، همچنین عدد فازی سمت راست زمانی مقدار مطلوبیت را نشان می‌دهد که منابع در دسترس حداقل بین ۲,۵ تا ۵ واحد نوسان داشته باشد. شکل شماره ۵ معرف اعداد فازی ورودی برای مولفه آب و هوا می‌باشد که به صورت دو عدد فازی بد و خوب نمایش داده شده است. این اعداد نیز با توجه به مستندات موجود و نظر سنجی از خبرگان سازمانی تهیه شده است. شکل‌های ۶-۷ به ترتیب معرف ورودی میانگین و واریانس انجام پروژه می‌باشد که بسته به مطلوبیت موجود با در نظر گرفتن مستندات و نظر کارشناسان خبره شامل سه عدد فازی کم، متوسط و زیاد می‌باشند. نهایتاً با در نظر گرفتن نظر

کارشناسان خبره شکل شماره ۸ معرف اعداد فازی خروجی سیستم برای مدت زمان انجام پروژه در سه حالت خوشبینانه، محتمل و بدبینانه می‌باشد.

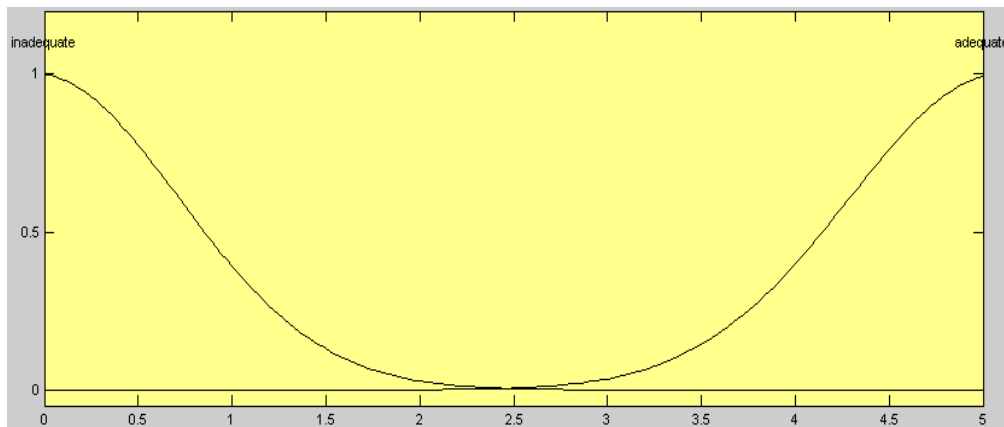


شکل ۲: شمای کلی سیستم فازی



شکل ۳: تابع عضویت مربوط به روابط نیروی کار و کارفرما در حین اجرای پروژه

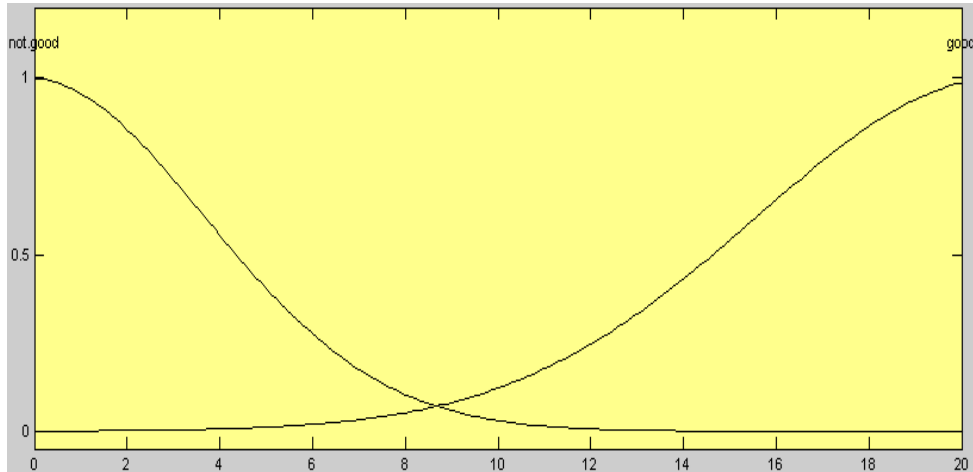
همانگونه که در شکل (۳) مشخص است جهت ارزیابی روابط نیروی کار و کارفرما یک عدد فازی در نظر گرفته شده است. هرچه از نقطه صفر به سمت ۲۰ حرکت کنیم تابع عضویت ابتدا سیر نزولی تا مقدار صفر را طی می‌کند و نهایتاً تا مقدار ۱ صعود می‌کند که تغییر از وضعیت نامطلوب به وضعیت مطلوب را نشان می‌دهد.



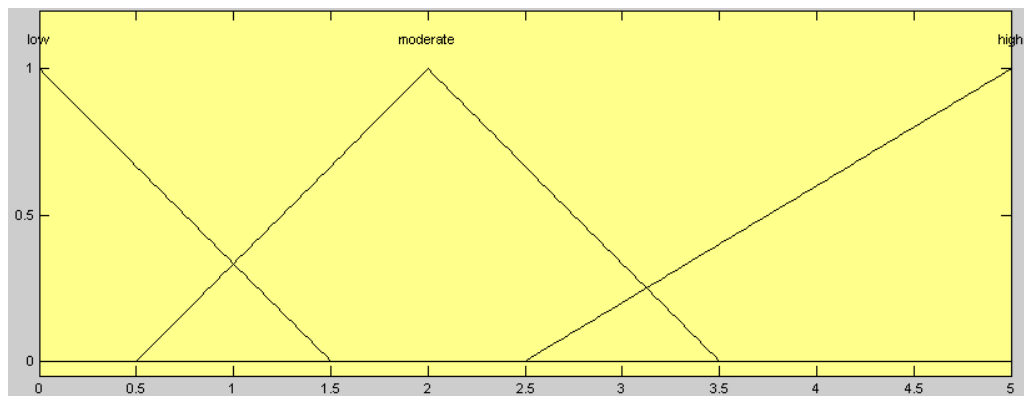
شکل ۴: تابع عضویت مربوط به میزان منابع در دسترس در حین اجرای پروژه

با توجه به شکل (۴) که عدد فازی تعریف شده برای تعیین مطلوبیت میزان منابع در دسترس را نشان می‌دهد، با در نظر گرفتن محور افقی که بر اساس میزان منابع در دسترس، مقیاس‌بندی شده است، هر چه بر روی محور افقی در جهت مثبت حرکت کنیم از میزان نامطلوب بودن کاسته شده و به میزان مطلوبیت تابع عضویت افزوده می‌شود.

شکل ۵: تابع عضویت مربوط به شرایط آب و هوایی در حین اجرای پروژه

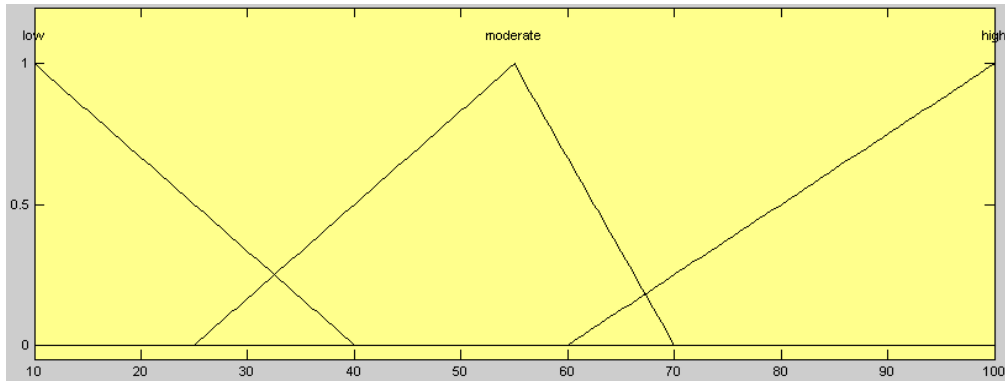


با توجه به شکل (۵) برای شرایط آب و هوایی دو تابع عضویت تعریف شده است که با توجه به مقیاس در نظر گرفته شده بر روی محور افقی میزان مناسب و یا نامناسب بودن وضعیت آب و هوا را تعیین می کند.



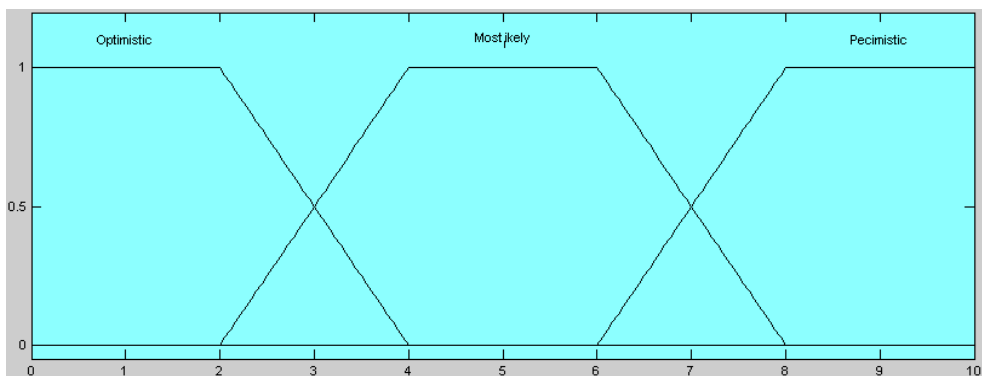
شکل ۶: تابع عضویت مربوط به واریانس زمان انجام پروژه

با توجه به شکل (۶) برای تغییرات زمان انجام پروژه سه عدد فازی مثلثی تعیین گردیده است که بسته به مقیاس محور افقی به هر عدد یک میزان مطلوبیت مشخص نسبت می‌دهد.



شکل ۷: تابع عضویت مربوط به میانگین زمان انجام پروژه

با توجه به شکل (۷) برای میانگین انجام پروژه سه عدد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است که با توجه به مقیاس محور افقی میزان مطلوبیت را تعیین می‌کنند، عدد مثلثی سمت چپ معرف مطلوبیت کم، عدد مثلثی وسط معرف مطلوبیت متوسط و آخری معرف مطلوبیت زیاد می‌باشد.



شکل ۸: تابع عضویت مربوط به خروجی سیستم خبره فازی (پیش‌بینی زمان ختم پروژه)

همانگونه که در شکل (۸) مشاهده می‌گردد سه عدد فازی دوزنقه‌ای برای خوشبینانه‌ترین، محتمل‌ترین و بدبینانه‌ترین زمان برای اتمام پروژه تعیین گردیده که هر یک با توجه به مقیاس محور افقی میزان مطلوبیت را مشخص می‌سازند.

قواعد اگر- آنگاه فازی

به منظور تحلیل ورودی‌های و همچنین خروجی (پیش بینی زمان انجام پروژه که می‌تواند خوشبینانه، محتمل و بدبینانه باشد) سیستم مورد بررسی، تعداد ۱۵ پرسشنامه تهیه و از طریق مدیران و کارشناسان خبره در مبحث مدیریت پروژه، نظر سنجی شده است. جهت بررسی روایی 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 ابزار اندازه‌گیری پس از اجرای مقدماتی از روش آلفای کرانباخ استفاده شده است. پس از بررسی ضریب همبستگی درونی، مقدار آلفای کرانباخ برابر با $\alpha = 0.87$ حاصل شد که نشان‌دهنده همبستگی قابل قبول درونی پرسش‌های پرسشنامه طراحی شده می‌باشد.

همانطور که پیشتر توضیح داده شد تعداد ۵ ورودی که مجموعاً ۷۲ حالت مختلف را در اجرای یک پروژه منجر می‌شوند، در این سیستم کنترل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این ۷۲ حالت به عنوان قواعد جداگانه‌ای و همچنین خروجی مربوط به هر قاعده بر اساس نتایج بدست آمده از پرسشنامه‌ها به شرح جدول (۱) در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۱: ورودی‌ها، خروجی‌ها و قواعد سیستم خبره فازی تعریف شده

قاعده	ورودی‌ها					خروجی (پیش‌بینی زمان)
	روابط کارفرما و نیروی کار	منابع	شرایط آب و هوایی	واریانس	میانگین	
۱	خوب	کافی	خوب	پایین	پایین	خوشبینانه
۲	خوب	کافی	خوب	پایین	متوسط	خوشبینانه
۳	خوب	کافی	خوب	پایین	بالا	محتمل
۴	خوب	کافی	خوب	متوسط	پایین	خوشبینانه
۵	خوب	کافی	خوب	متوسط	متوسط	محتمل
۶	خوب	کافی	خوب	متوسط	بالا	محتمل
۷	خوب	کافی	خوب	بالا	پایین	محتمل
۸	خوب	کافی	خوب	بالا	متوسط	بدبینانه
۹	خوب	کافی	خوب	بالا	بالا	بدبینانه
۱۰	خوب	کافی	بد	پایین	پایین	خوشبینانه
۱۱	خوب	کافی	بد	پایین	متوسط	محتمل
۱۲	خوب	کافی	بد	پایین	بالا	بدبینانه
۱۳	خوب	کافی	بد	متوسط	پایین	محتمل
۱۴	خوب	کافی	بد	متوسط	متوسط	بدبینانه
۱۵	خوب	کافی	بد	متوسط	بالا	بدبینانه
۱۶	خوب	کافی	بد	بالا	پایین	محتمل
۱۷	خوب	کافی	بد	بالا	متوسط	بدبینانه
۱۸	خوب	کافی	بد	بالا	بالا	بدبینانه
۱۹	خوب	ناکافی	خوب	پایین	پایین	خوشبینانه
۲۰	خوب	ناکافی	خوب	پایین	متوسط	محتمل
۲۱	خوب	ناکافی	خوب	پایین	بالا	بدبینانه
۲۲	خوب	ناکافی	خوب	متوسط	پایین	خوشبینانه
۲۳	خوب	ناکافی	خوب	متوسط	متوسط	محتمل

ورودی‌ها

قاعده	روابط کارفرما و نیروی کار	منابع	شرایط آب و هوایی	واریناس	میانگین	خروجی (پیش‌بینی زمان)
۲۴	خوب	ناکافی	خوب	متوسط	بالا	بدبینانه
۲۵	خوب	ناکافی	خوب	بالا	پایین	محتمل
۲۶	خوب	ناکافی	خوب	بالا	متوسط	بدبینانه
۲۷	خوب	ناکافی	خوب	بالا	بالا	بدبینانه
۲۸	خوب	ناکافی	بد	پایین	پایین	محتمل
۲۹	خوب	ناکافی	بد	پایین	متوسط	محتمل
۳۰	خوب	ناکافی	بد	پایین	بالا	بدبینانه
۳۱	خوب	ناکافی	بد	متوسط	پایین	محتمل
۳۲	خوب	ناکافی	بد	متوسط	متوسط	بدبینانه
۳۳	خوب	ناکافی	بد	متوسط	بالا	بدبینانه
۳۴	خوب	ناکافی	بد	بالا	پایین	بدبینانه
۳۵	خوب	ناکافی	بد	بالا	متوسط	بدبینانه
۳۶	خوب	ناکافی	بد	بالا	بالا	بدبینانه
۳۷	بد	کافی	خوب	پایین	پایین	خوشبینانه
۳۸	بد	کافی	خوب	پایین	متوسط	خوشبینانه
۳۹	بد	کافی	خوب	پایین	بالا	محتمل
۴۰	بد	کافی	خوب	متوسط	پایین	خوشبینانه
۴۱	بد	کافی	خوب	متوسط	متوسط	خوشبینانه
۴۲	بد	کافی	خوب	متوسط	بالا	بدبینانه
۴۳	بد	کافی	خوب	بالا	پایین	محتمل
۴۴	بد	کافی	خوب	بالا	متوسط	بدبینانه
۴۵	بد	کافی	خوب	بالا	بالا	بدبینانه
۴۶	بد	کافی	بد	پایین	پایین	محتمل
۴۷	بد	کافی	بد	پایین	متوسط	محتمل
۴۸	بد	کافی	بد	پایین	بالا	بدبینانه

ورودی‌ها						
قاعده	روابط کارفرما و نیروی کار	منابع	شرایط آب و هوایی	واریانس	میانگین	خروجی (پیش‌بینی زمان)
۴۹	بد	کافی	بد	متوسط	پایین	محتمل
۵۰	بد	کافی	بد	متوسط	متوسط	محتمل
۵۱	بد	کافی	بد	متوسط	بالا	بدبینانه
۵۲	بد	کافی	بد	بالا	پایین	محتمل
۵۳	بد	کافی	بد	بالا	متوسط	بدبینانه
۵۴	بد	کافی	بد	بالا	بالا	بدبینانه
۵۵	بد	ناکافی	خوب	پایین	پایین	محتمل
۵۶	بد	ناکافی	خوب	پایین	متوسط	محتمل
۵۷	بد	ناکافی	خوب	پایین	بالا	محتمل
۵۸	بد	ناکافی	خوب	متوسط	پایین	محتمل
۵۹	بد	ناکافی	خوب	متوسط	متوسط	محتمل
۶۰	بد	ناکافی	خوب	متوسط	بالا	بدبینانه
۶۱	بد	ناکافی	خوب	بالا	پایین	محتمل
۶۲	بد	ناکافی	خوب	بالا	متوسط	محتمل
۶۳	بد	ناکافی	خوب	بالا	بالا	بدبینانه
۶۴	بد	ناکافی	بد	پایین	پایین	محتمل
۶۵	بد	ناکافی	بد	پایین	متوسط	بدبینانه
۶۶	بد	ناکافی	بد	پایین	بالا	بدبینانه
۶۷	بد	ناکافی	بد	متوسط	پایین	محتمل
۶۸	بد	ناکافی	بد	متوسط	متوسط	بدبینانه
۶۹	بد	ناکافی	بد	متوسط	بالا	بدبینانه
۷۰	بد	ناکافی	بد	بالا	پایین	بدبینانه
۷۱	بد	ناکافی	بد	بالا	متوسط	بدبینانه
۷۲	بد	ناکافی	بد	بالا	بالا	بدبینانه

جدول (۱) قواعد فازی تعریف شده را نشان می‌دهد که ستون سمت چپ معرف شماره قاعده تعریف شده، ستون وسط معرف عدد فازی انتخابی با توجه به اعداد فازی تعریف شده در اشکال ۱ تا ۷ می‌باشد و ستون چپ معرف نحوه افراز این شرایط بر روی خروجی است که با توجه به شکل (۸) تعریف شده است.

ساخت سیستم فازی

در این تحقیق به منظور ساخت سیستم فازی، از موتور استنتاج حاصلضرب، فازی ساز منفرد و غیر فازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است. ضمن آنکه در موتور استنتاج حاصلضرب از استلزام حاصلضرب ممدانی و استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه با ترکیب اجتماع و ضرب جبری برای t نرم‌ها و \max برای s نرم‌ها استفاده شده است. بدین ترتیب موتور استنتاج حاصلضرب به صورت عبارت ذکر شده در فرمول (۴) خواهد بود.

$$\mu_B(y) = \max_{i=1}^{72} [\sup((\mu_{B_i}(y_i), \prod_{i=1}^5 \mu_{A_i}(x_i)))] \quad (4)$$

$\mu_{A_i}(x_i)$: تابع عضویت مؤلفه ورودی A_i

$\mu_{B_i}(y_i)$: تابع عضویت مؤلفه خروجی B_i

$\mu_B(y)$: عدد فازی معرف نتایج خروجی

بدین ترتیب سیستم فازی طراحی شده بر اساس موتور استنتاج فوق به صورت عبارت (۵) محاسبه می‌شود.

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^{72} y^l (\prod_{i=1}^5 \mu_{A_i}(x_i))}{\sum_{i=1}^{72} (\prod_{i=1}^5 \mu_{A_i}(x_i))} \quad (5)$$

y^l : میانگین مرکز l امین مجموعه فازی خروجی

در این سیستم فازی از فازی ساز منفرد و غیر فازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است. فازی ساز منفرد به دلیل آنکه محاسبات موتور استنتاج را بسیار ساده می‌کند پر کاربرد می‌باشد، ضمن آنکه غیر فازی ساز میانگین مراکز، متداولترین غیر فازی ساز مورد استفاده در سیستم‌های فازی و کنترل فازی می‌باشد که دلایل آن سادگی، توجیه پذیری و پیوستگی می‌باشد. چنانکه تغییرات کوچک در y^l ، تغییرات کوچکی را در y^* نتیجه می‌دهد. غیر فازی ساز میانگین مراکز به صورت عبارت ذکر شده در فرمول (۶) محاسبه می‌شود:

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^{72} y^l \cdot (w_i)}{\sum_{i=1}^{72} (w_i)} \quad (6)$$

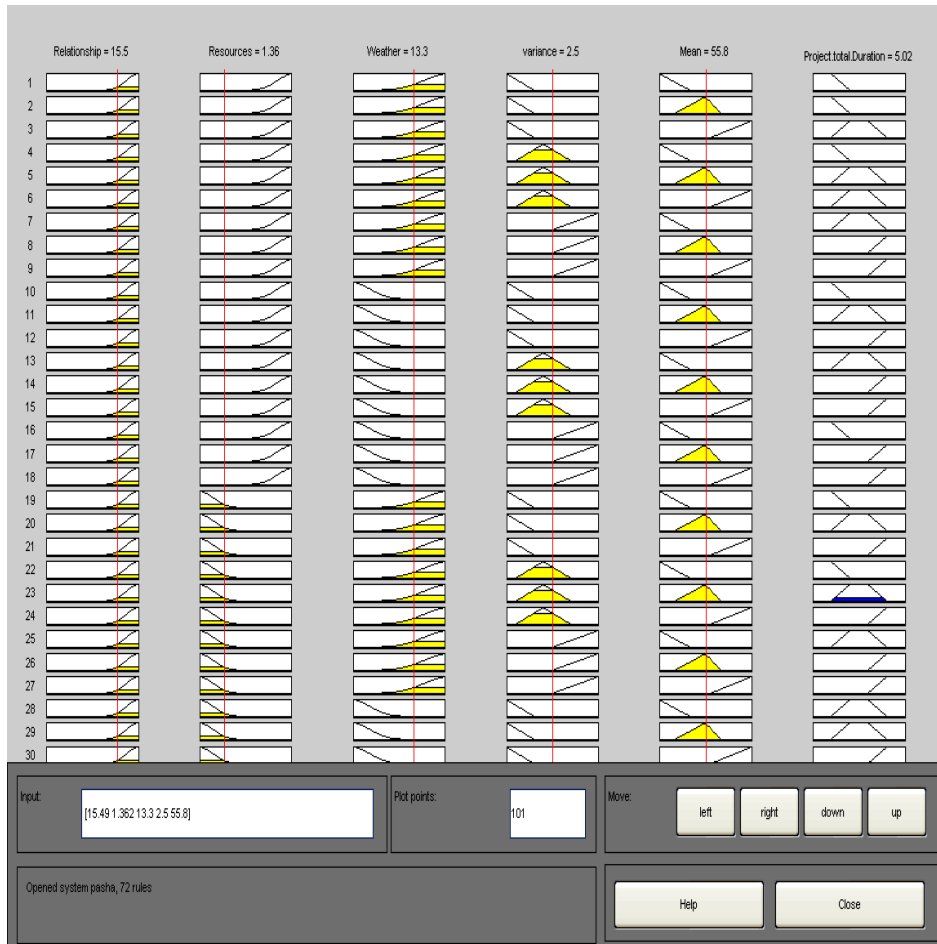
y^* : خروجی سیستم فازی بعد از قطعی سازی نتیجه

w_i : وزن در نظر گرفته شده برای هر یک از خروجی‌های فازی

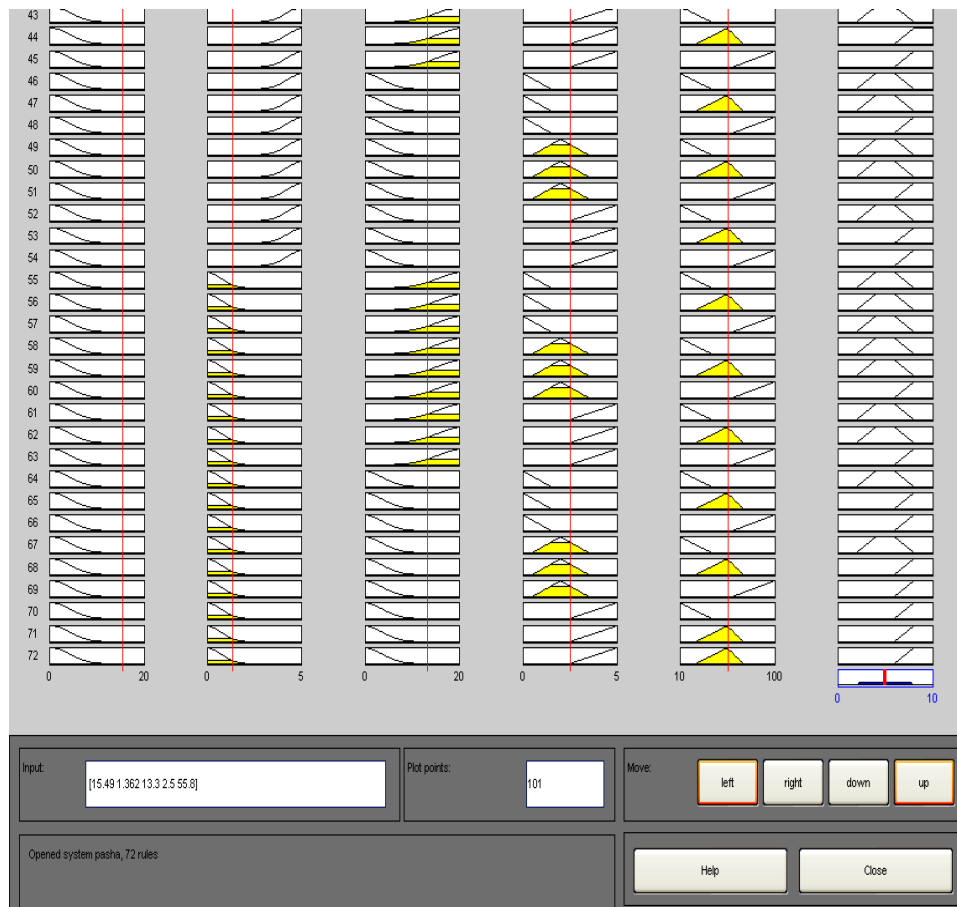
تجزیه و تحلیل

جهت شبیه سازی این سیستم، از نرم افزار مطلب که محیط مناسبی جهت شبیه سازی چنین سیستم‌هایی می‌باشد استفاده شده است. بدین منظور پارامترهای ورودی و خروجی به همراه توابع عضویت هر یک و همچنین ۷۲ قانون مطرح شده در قسمت قبل، در نرم افزار تعریف شده‌اند. نتایج حاصل از ۱۰ مورد آزمایش که در ارتباط با پروژه‌های مختلف یک شرکت مهندسی انجام شده است، نشان می‌دهد در ۸ نمونه از آزمایش‌ها نتایج حاصل از سیستم خبره فازی مطابق با تشخیص صحیح بوده و تنها در ۲ مورد دچار عدم تطابق گردیده است که می‌توان دلایل آن را وجود شرایط توأم با عدم قطعیت در پیش بینی زمان ختم پروژه و همچنین تأثیر پارامترهای دیگری دانست که در این سیستم لحاظ نشده‌اند. در تصاویر صفحه بعد نتایج یک نمونه آزمایش تصادفی با استفاده از شبیه‌سازی مدل مشخص شده است. همچنین در ادامه نتیجه تأثیر متقابل تعدادی از پارامترهای مختلف ورودی بر روی یکدیگر و نتیجتاً بر روی خروجی (تخمین زمان انجام پروژه) گرد آمده است، شکل‌های (۹)–(۱۰) نشان

دهنده یک نتیجه آزمایشی از مدل می‌باشند، اعداد فازی سمت چپ شکل معرف اعداد فازی ورودی برای سیستم فازی است که به رنگ زرد مشخص گردیده که با توجه به انتخاب ورودی و سیستم استنتاج ممدانی که قبلا معرفی شد محاسبه و ترسیم گردیده است، اعداد فازی سمت راست معرف خروجی سیستم با توجه به اعداد فازی انتخاب شده توسط خبرگان و ورودی‌های قطعی انتخاب شده با رنگ آبی مشخص گردیده اند. همانطور که مشخص است در شکل ۷۲ ردیف وجود دارد که معرف تعداد منطق‌های اگر- آنگاه است که توسط کارشناسان خبره تعیین گردیده است. شکل شماره ۱۱ نمایی کلی از محدوده موجود و تحلیل حساسیت دو فاکتور ورودی رابطه کارفرما و نیروی کار و منابع موجود بر روی زمان انجام پروژه را نشان می‌دهد، شکل شماره ۱۲ خروجی سیستم فازی با توجه به محدوده موجود و تحلیل حساسیت تاثیر دو فاکتور آب و هوا و رابطه کارفرما و کارگر بر روی خروجی سیستم را نشان می‌دهد، شکل شماره ۱۳ بیانگر تحلیل حساسیت تاثیر شرایط آب و هوایی و منابع در دسترس بر مدت زمان انجام پروژه را نشان می‌دهد، شکل‌های ۱۴-۱۶ هر یک سایر حالت‌های موجود از ۶ حالت باقی‌مانده را نشان می‌دهند.

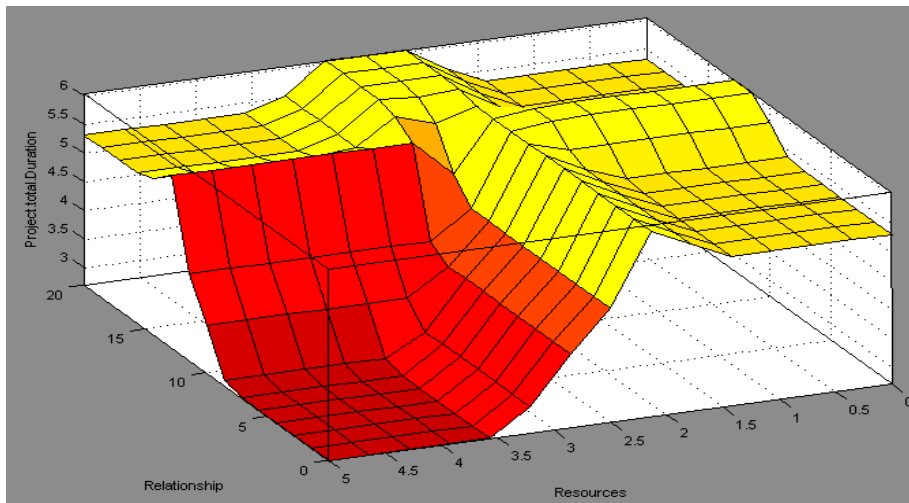


شکل ۹: نتایج یک نمونه آزمایشی با استفاده از شبیه‌سازی مدل



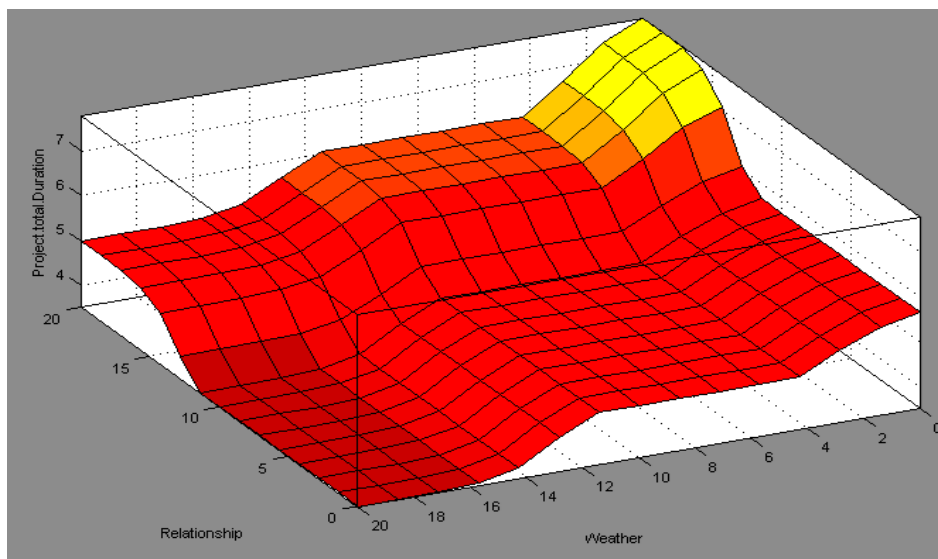
شکل ۱۰: ادامه نتایج نمونه آزمایشی با استفاده از شبیه‌سازی مدل

پس از ورود اطلاعات به نرم افزار مطلب با توجه به اعداد فازی ورودی و خروجی و مقیاس تعیین شده برای آنها، با تعیین یک مقدار در شرایط غیر فازی برای هر یک از ورودی‌ها یک مقدار غیر فازی برای خروجی حاصل می‌گردد، شکل‌های ۹-۱۰ دو نمونه آزمایشی را نشان می‌دهند.



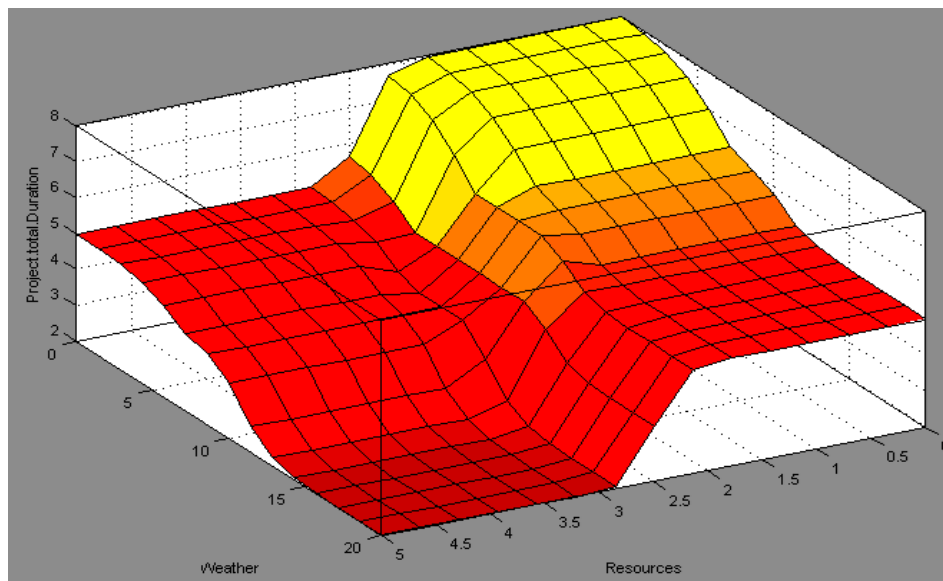
شکل ۱۱: نتیجه تأثیر متقابل دو پارامتر منابع در دسترس در حین اجرای پروژه و روابط کارفرما و نیروی کار

شکل (۱۱) تغییران مدت زمان اجرای پروژه (خروجی) را نسبت به تغییرات دو ورودی منابع در دسترس و روابط نیروی کار و کارفرما نشان می‌دهد، با توجه به مقیاس‌های تعیین شده کلیه تغییرات در بازه‌های مختلف در شکل قابل مشاهده است.



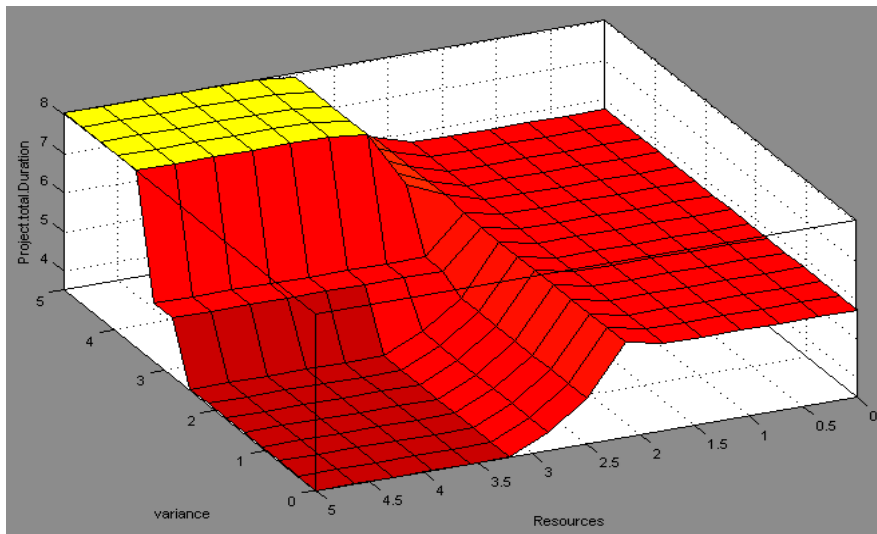
شکل ۱۲: نتیجه تأثیر متقابل دو پارامتر روابط کارفرما و نیروی کار و شرایط آب و هوایی در حین اجرای پروژه

شکل (۱۲) تغییرات مدت زمان اجرای پروژه (خروجی) را نسبت به تغییرات دو ورودی شرایط آب و هوایی و روابط نیروی کار و کارفرما نشان می‌دهد، با توجه به مقیاس‌های تعیین شده کلیه تغییرات در شکل قابل مشاهده است.



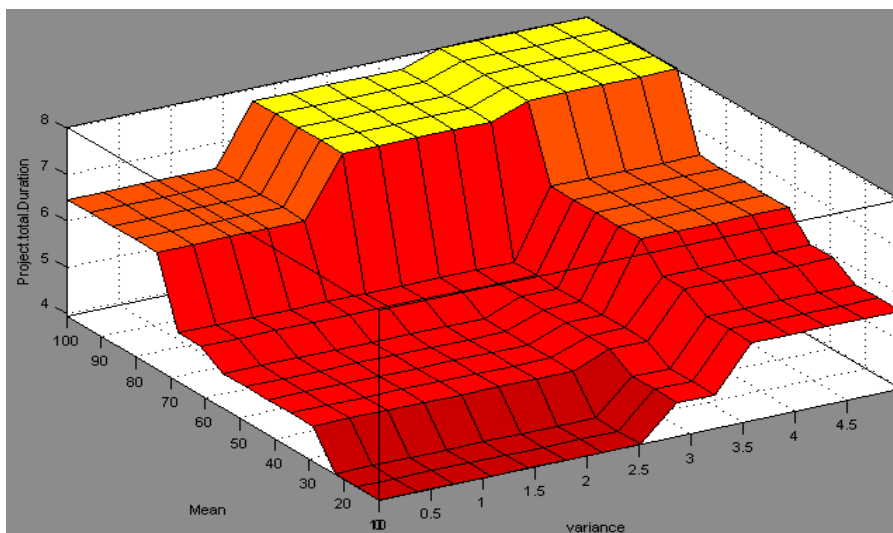
شکل ۱۳: نتیجه تأثیر متقابل دو پارامتر شرایط آب و هوایی و منابع در دسترس در حین اجرای پروژه

شکل (۱۳) تغییرات مدت زمان اجرای پروژه (خروجی) را نسبت به تغییرات دو ورودی شرایط آب و هوایی و منابع در دسترس نشان می‌دهد، به عنوان نمونه می‌توان مشاهده کرد که در صورتی که منابع در بازه ۳ تا ۵ و شرایط آب و هوایی در بازه ۱۵ تا ۲۰ تغییر کند مدت زمان انجام پروژه که بعد سوم می‌باشد مقدار صفر را به خود خواهد گرفت که مطلوبیت آن با توجه به عدد فازی تعریف شده ۱ می‌باشد.



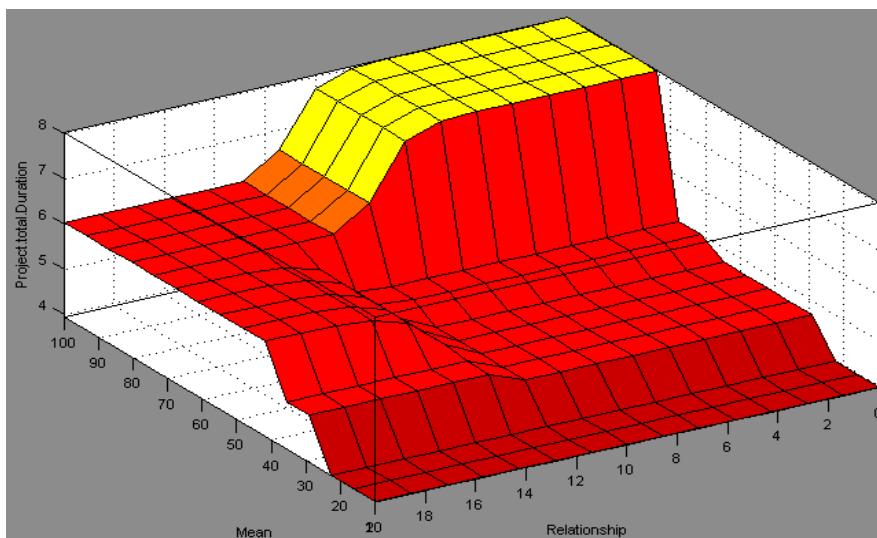
شکل ۱۴: نتیجه تأثیر متقابل دو پارامتر واریانس زمان انجام و منابع در دسترس در حین اجرای پروژه

شکل (۱۴) تغییران مدت زمان اجرای پروژه (خروجی) را نسبت به تغییرات دو ورودی منابع در دسترس و تغییرات زمان انجام پروژه نشان می‌دهد، با توجه به مقیاس‌های تعیین شده کلیه تغییرات در بازه‌های مختلف در شکل قابل مشاهده است.



شکل ۱۵: نتیجه تأثیر متقابل دو پارامتر واریانس و میانگین زمان انجام پروژه

شکل (۱۵) تغییران مدت زمان اجرای پروژه (خروجی) را نسبت به تغییرات دو ورودی میانگین و تغییرات زمان انجام پروژه نشان می‌دهد، با توجه به مقیاس‌های تعیین شده کلیه تغییرات در بازه‌های مختلف در شکل قابل مشاهده است.



شکل ۱۵: نتیجه تأثیر متقابل دو پارامتر میانگین زمان انجام پروژه و روابط کارفرما و نیروی کار

شکل (۱۶) تغییران مدت زمان اجرای پروژه (خروجی) را نسبت به تغییرات دو ورودی میانگین انجام پروژه و روابط نیروی کار و کارفرما نشان می‌دهد، با توجه به مقیاس‌های تعیین شده کلیه تغییرات در بازه‌های مختلف در شکل قابل مشاهده است.

نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور تخمین زمان ختم پروژه و با استفاده از تحلیل پارامترهای موجود در شبکه PERT، یک مدل و سیستم کنترل فازی ارائه گردید. بدین منظور با در نظر گرفتن ۵ ورودی تأثیرگذار، ۷۲ قاعده برای سیستم خبره فازی، طراحی و برای تعیین خروجی هر قاعده، از پرسشنامه‌هایی استفاده و پایایی نتایج حاصله بررسی شده است. نتایج حاصل از سیستم خبره فازی که در این تحقیق بدست آمده است نشان می‌دهد که علیرغم وجود عدم قطعیت و پیچیدگی بسیار زیاد در ماهیت

انجام پروژه و شرایط وابسته به آن، می‌توان سیستمی خبره جهت تشخیص پارامترهای تأثیرگذار بر زمان انجام پروژه طراحی و در پروژه‌های مختلف از آن بهره برد.

به منظور پیشبرد مطالعات و تحقیق ارائه شده، تمرکز بر روی نوع صنعت می‌تواند تأثیرگذار باشد چراکه سیستم مطرح شده به دلیل محدودیتی که در بخش تعریف توابع عضویت میانگین و واریانس زمان انجام هر فعالیت دارد، در تمامی شرایط نمی‌تواند کارا باشد. همچنین تحلیل موازنه هزینه و زمان در شبکه PERT با در نظر گرفتن پارامترهای فازی می‌تواند به عنوان تحقیقات آتی مد نظر قرار گیرد.

مراجع

Avraham S., Project segmentation, (1997) , a tool for project management, *International Journal of Project Management*, 15, 15-19.

Roy G., Nava P., Israel S., (2002), Integrating system analysis and project management tools, *International Journal of Project Management*, 20, 461–468.

Azaron A., Perkgoz C., Sakawa M. ,(2005), *A genetic algorithm approach for the time-cost trade-off in PERT networks*, *Applied Mathematics and Computation*, 168, 1317–1339.

Chen S.M., Chang T.H, (2001), *Finding multiple possible critical paths using fuzzy PERT*, *IEEE Transactions on Systems, man and Cybernetics – Part B: Cybernetics*, 31, 930–937.

Azaron A., Katagiri H., Sakawa M., Kato K., Memariani A. , (2006), *A multi-objective resource allocation problem in PERT networks*, *European Journal of Operational Research*, 172, 838–854.

Stevenson W.J., (2002), *Operation Management*, seventh ed., McGraw-Hill,

Zadeh L.A., Fuzzy sets, *Information and Control*, 8, (1965), 338–353.

Dubois D., Fargier H., Fortemps P., (2003), Fuzzy scheduling: *modeling flexible constraints vs. coping with incomplete knowledge*. *European Journal of Operational Research*, 147, 31–52.

Chanas S., Kamburowski J. , (1981), *The use of fuzzy variables in PERT*, *Fuzzy Sets and Systems*, 5, 11–19.

Mon D.L., Cheng C.H., Lu H.C, (1995)., *Application of fuzzy distributions on project management*, *Fuzzy Sets Systems*, 73, 227–234.

Bonnal P., Gourc D., Lacoste G., (2004), *Where do we stand with fuzzy project scheduling?* *Journal of Construct Engineering Management*, 130(1), 114–23.

Guiffrida A.L., Nagi R., (1998), *Fuzzy set theory applications in production management research: a literature survey*. Journal of Intelligent Manufacturing, 9, 39–56.

Saadon. T.A., Al Brahemi R., , (2014), International Journal of Advances in Engineering & Technology, *FUZZY PERT FOR PROJECT MANAGEMENT*, 7, 4, 1150-1160.

Cebi. F., Otay I,(2015), *A fuzzy multi-objective model for solving project network problem with bonus and incremental penalty cost*, Computer and industrial engineering, 82, 143-150.

Elizabeth S., Sujathaa L.,(2015), *Project Scheduling Method Using Triangular Intuitionistic Fuzzy Numbers and Triangular Fuzzy Numbers*, Applied Mathematical Sciences, 9, 185-198.