نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۱، شماره ۱، سال ۱۳۹۸، صفحات ۱۴۳ تا ۱۵۶
DOI: 10.22060/ceej.2018.13974.5524

تعیین تاخیر در پروژه های ساخت مترو با روش چند معیاره فازی

حسنعلی مسلمان یزدی*، محمدرضا مسلمان یزدی، عرفان محمدی

دانشکده مهندسی عمران، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

چکیده: مهم‌ترین شاخص موفقیت یک پروژه علاوه بر مقرون ب صرفه بودن، اتمام آن در زمان پیش‌بینی شده‌است. در پروژه‌هایی مانند متروسازی، سدسازی و غیره، تاخیر در اجرای پروژه موجب بروز مشکلات گسترده در سطوح اقتصادی، اجتماعی و گاهی سیاسی در کشور خواهد شد. جهت جلوگیری یا کاهش تاخیرات در اجرای پروژه‌های عمرانی، نیاز به برنامه‌ریزی در زمینه بهینه‌سازی زمان کاملا احساس می‌شود. هدف اصلی این تحقیق، بررسی تاخیر در احداث متروی کرج می‌باشد که در این راستا، علل تاخیرات پروژه شناسایی شده و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. درگام نخست با بررسی مستندات پروژه، پرسش‌نامه‌ای طراحی شده‌است و با تکمیل آن توسط مجموعه‌ای از متخصصین (کارشناسان فنی کارفرما،پیمانکار و مشاور متروی کرج)، عوامل تاخیر در احداث متروی کرج، شناسایی شده‌اند. پرسش‌نامه مورد استفاده دارای ۵۰ سوال در قالب ۵ دسته اصلی است که شامل عوامل تاخیر مربوط به کارفرما، مشاور، پیمانکار، عوامل محیطی و شرایط جوی و تاخیر مربوط به عوامل غیرقابل کنترل می‌باشد. در مرحله بعد این عوامل، با بکارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، وزن‌دهی و اولویت‌بندی شده‌اند. در انتها با استفاده از منطق فازی روشی برای تخمین میزان تاخیر پروژه‌ها ارائه شده‌است که بر اساس آن یک مدیر پروژه می‌تواند با بهره‌گیری از نظر متخصصین، از میزان پیشرفت پروژه خود مطلع گردیده و اقدامات لازم جهت بهره‌برداری سریع‌تر از آن را انجام دهد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۲۷ دی ۱۳۹۶
بازنگری: ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۷
پذیرش: ۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۷
ارائه آنلاین: ۲ خرداد ۱۳۹۷

کلمات کلیدی:
تاخیر
منطق فازی
تصمیم‌گیری چند معیاره
مترو
مدیریت ساخت

۱- مقدمه

یکی ازشاخص‌های موفقیت پروژه، اتمام آن در زمان پیش‌بینی شده‌است [۱]. زمان یکی از با ارزش‌ترین منابع در پروژه‌های عمرانی می‌باشد [۲]. در اکثر مواقع پروژه‌های عمرانی با این مشکل رو به رو هستند که مدت زمان تکمیل آن‌ها در عمل طولانی‌تر از مهلت محاسبه شده در برنامه زمان‌بندی پروژه‌ها می‌باشد. تاخیرات موجود در پروژه‌های عمرانی یک پدیده جهانی می‌باشند [۳ و ۴]. تاخیرات می‌توانند به عنوان افزایش زمان یا طولانی شدن زمان اتمام پروژه تعریف شوند. تاخیر در پروژه‌های عمرانی به دلیل پیچیدگی‌های خاص آن‌ها امری غیرقابل‌انکار است [۵ و ۶]. تاخیرات موجود در پروژه‌های مختلف معمولا باعث تکمیل دیرهنگام پروژه، افزایش هزینه، توقف پروژه، کاهش تولید، افزایش ادعاها و ترک قرارداد، می‌شوند [۲]. معمولاً وقتی پروژه با تاخیر روبه‌رو می‌شود، در اجرای آن تعجیل بوجود آمده و هزینه‌ها را افزایش می‌دهد [۵]. و هم‌چنین سبب کاهش کیفیت کار نیز می‌شود. در این تحقیق به بررسی تاخیرات موجود در احداث متروی کرج پرداخته شده‌است. محدودیت منابع مالی،کمبود تجهیزات مناسب و نیروی انسانی متخصص در بخش‌های اجرایی پروژه متروی کرج، الزام شناسایی عوامل تأخیر در اجرای این پروژه را بیشتر می‌کند. شناسایی عوامل تاخیر، می‌تواند از یک سو به پیشرفت پروژه‌های نیمه‌تمام کمک کند و از سوی دیگر باعث جلوگیری از تاخیر در پروژه‌های جدید می‌گردد. به همین دلیل کسب تجربه، حفظ و استفاده از آن در پروژه‌های بعدی از اهمیت بالایی برخوردار است.

۲- مروری بر تحقیقات صورت گرفته

در مورد تاخیرات مطالعات مختلفی توسط محققان صورت گرفته است در تحقیقی که در مالزی انجام شده‌است به ریشه‌یابی علل بروز تاخیر و میزان تاثیرگذاری آن‌ها در صنعت ساخت و ساز پرداخته‌اند. آن‌ها در این تحقیق اهمیت و ضریب تاثیر هر یک از علل را مورد بررسی قرار داده‌اند و در نهایت رابطه علت و معلولی بین عوامل تاخیر را شناسایی کرده‌اند. آن‌ها برای دستیابی به اطلاعات اولیه از پرسش‌نامه استفاده کرده‌اند. ۱۵۰ متخصص به پرسش‌نامه آن‌ها پاسخ داده‌اند و مشخص گردید که عواملی مانند برنامه‌ریزی نامناسب پیمانکار، مدیریت نامناسب و ضعیف کارگاه توسط پیمانکار، تجربه ناکافی پیمانکار، بودجه ناکافی کافرما، مشکلات با پیمانکاران دست دوم، کمبود مصالح و غیره در صدر علل تاخیر هستند [۳]. در تحقیق دیگری، تحلیلی کمی بر روی ۱۳۰ پروژه عمرانی شامل خانه‌های

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: hmosalman@maybodiau.ac.ir

مسکونی، ساختمان‌های اداری، مدارس، مراکز پزشکی و تسهیلات ارتباطی کشور اردن انجام داده شده‌است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که دلایل اصلی تاخیر در پروژه‌های ساخت در ارتباط با طراحان، تغییرات سفارشات، بدی آب و هوا، شرایط پیش‌بینی نشده زمین، تحویل دیر هنگام، شرایط اقتصادی نامناسب و افزایش قیمت بوده است که از نظر بسیاری از مسئولان اجرای این پروژه‌ها رضایت‌بخش نبوده است. او به این نتیجه دست یافت که تاخیر ارتباط تنگاتنگی با شکست و اجرای نامناسب پروژه‌ها دارد [۷]. تاخیر صنعت ساخت‌وساز در هنگ‌کنگ تحقیق دیگری در این زمینه می‌باشد که محققان در آن تاکید کرده‌اند که واگذاری به موقع پروژه با هزینه و کیفیت مطلوب و استاندارد توسط کارفرما یکی از دلایل تحویل موفقیت‌آمیز پروژه است. شکست در انجام به موقع و با هزینه و کیفیت معین شده پروژه ناشی از تاثیرات منفی و غیرقابل پیش‌بینی عوامل مختلف روی پروژه است. این دو محقق هم‌چنین علل تأخیر پروژه‌ها در یازده کشور را با یکدیگر مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که عوامل تأخیر، مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه یکسان می‌باشند. به عنوان مثال در این کشورها طراحی و برآورد نادرست، مدیریت پروژه ضعیف و کمبود مصالح از جمله عوامل مهم تأخیر بشمار می‌آیند. حال آنکه عوامل تأخیر در کشورهای توسعه یافته همانند ایالات متحده و انگلستان بیشتر از نوع عوامل موجه تأخیر مانند آب و هوای نامساعد و عملکرد ضعیف نیروی انسانی می‌باشند [۸]. تحقیق دیگری برای شناخت عوامل موثر در ایجاد تاخیر در اردن انجام شده‌است که در این تحقیق، مولفان با استفاده از پرسش‌نامه به مشخص نمودن علل تاخیرات اقدام کرده‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که مشکلات مالی و تغییرات زیاد در مشخصات پروژه‌ها از سوی کارفرما بیشترین سهم را در ایجاد تاخیرات دارند. پس از آن شرایط آب و هوایی و تغییرات قوانین و مقررات دولتی در ایجاد تاخیر در پروژه‌های عمرانی نقش دارند [۹]. در تحقیقی دیگر، عوامل اصلی موثر بر ایجاد تاخیر در پروژه‌های ساختمانی کشور مالزی بررسی شده‌است. این تحقیق با پرسش‌نامه‌ای که حاوی ۳۱ عامل بود و در ۴ گروه کلی بر حسب مسئولیت طبقه‌بندی شده بود، انجام شده‌است. گروه‌ها شامل پیمانکار، کارفرما، مشاور و عوامل خارجی می‌شوند. در پایان، یافته‌ها حاکی از آن است که عوامل مالی و پس از آن مشکلات هماهنگی بیشترین نقش را در ایجاد تاخیر در پروژه‌های ساختمانی مالزی داشته‌اند. پرسش‌نامه مورد استفاده در این تحقیق دارای طیف پاسخ لیکرتی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) است [۱]. دلایل تاخیر در پروژه‌های بزرگ ساختمانی تحقیق دیگری است که در این زمینه انجام شده‌است. در این پژوهش دامنه تحقیق شامل ۲۳ پیمانکار، ۱۹ مشاور و ۱۵ کارفرما بوده است. آن‌ها از پرسش‌نامه برای جمع‌آوری اطلاعات خود بهره گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین دلایلی که توسط هر سه گروه پاسخ دهنده تایید شده‌است، عوامل مربوط به تغییر در مشخصات فنی پروژه‌ها می‌باشد [۱۰]. بررسی دلایل تاخیر و افزایش هزینه‌ها در پروژه‌های عمرانی کشور نیجریه تحقیق دیگری می‌باشد که محققان در این تحقیق از ۵۰ نفر از دست اندر کاران ساخت و ساز که شامل پیمانکار، کارفرما و مشاور بودند، تهیه شده‌است. یافته‌ها حاکی از آن است که مسائل مالی، مدیریت پروژه ضعیف و کمبود مصالح در ایجاد تاخیر و افزایش هزینه‌های پروژه بیشترین نقش را دارند [۱۱]. در تحقیق دیگری که بروی علل تاخیرات صورت گرفته است. فرهنگ سازمانی در شرکت‌های ساختمانی به عنوان یکی از عوامل تاخیر مورد ارزیابی قرار گرفته است. این تحقیق که با استفاده از پرسش‌نامه بوده از عامل فرهنگی به عنوان یک عامل مهم و تاثیر گذار یاد شده‌است [۱۲]. در تحقیق دیگری که در کشور مصر بر روی علل تاخیر انجام شده‌است. تاخیرات در پروژه‌های راهسازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق دویست علل تاخیر مورد ارزیابی پانصد کارشناس توسط پرسش‌نامه قرار گرفته است و ارتباط موثر بین سه عامل کارفرما، پیمانکار و مشاور به عنوان یکی از مهمترین موارد جهت جلوگیری از تاخیر ذکر شده‌است [۱۳]. در این تحقیق به بررسی عوامل تاخیر در احداث مترو پرداخته شده‌است.

۳- روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش، پس از مطالعه تحقیقات صورت گرفته در خصوص تاخیرات پروژه‌های عمرانی در داخل و خارج از کشور، از طریق کنترل اسناد پروژه و مصاحبه با کارشناسان و متخصصان صنعت ساخت مترو، دلایل تاخیرات چنین پروژه‌هایی شناسایی و سپس با استفاده از پرسش‌نامه، عوامل تاخیر در احداث متروی کرج ارزیابی شده‌اند. سپس عوامل شناسایی شده با بکارگیری منطق فازی رتبه‌بندی گردیده‌اند. در انتها نیز با استفاده از سیستم فازی سوگنو به تهیه قالبی برای پیش‌بینی تاخیرات محتمل در پروژه‌های آتی شهر کرج اقدام شده‌است، که انتظار می‌رود این نتایج در تصمیم‌گیری مدیران برای آینده پروژه متروی کرج تاثیرگذار باشند.

شکل ۱. فرآیند روش‌شناسی تحقیق

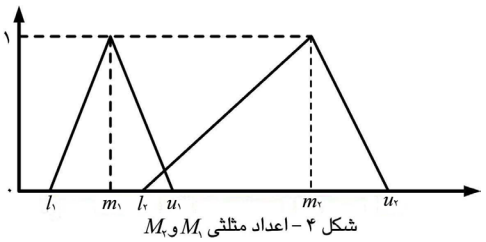
Fig. 1. Procedure of research methodology

۳- ۱- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

روش تحلیل سلسله مراتبی فازی براساس مفهوم تئوری مجموعه فازی، که توسط پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ ارائه کرد، بنا نهاده شده‌است [۱۴]. روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، روش تحلیل سلسله مراتبی ساعتی را از رهگذر ترکیب آن با تئوری مجموعه فازی بسط می‌دهد. در AHP فازی، بعد از ایجاد ساختار سلسله مراتبی، برای نشان دادن اهمیت نسبی

عوامل متناظر با معیارها از مقیاس‌های نسبی فازی استفاده می‌شود. به این ترتیب، یک ماتریس قضاوت فازی ساخته می‌شود که امتیازات نهایی گزینه‌ها توسط اعداد فازی ارائه می‌گردند و گزینه بهینه از رهگذر رتبه‌بندی اعداد فازی با استفاده از عملگرهای جبری خاص به دست می‌آید [۱۱ و ۱۵].

در ۱۹۹۶ یونگ چانگ[1] روش آنالیز گسترده ای را ارائه کرد. در این روش، کلیه داده‌های ورودی به صورت عددهای فازی مثلثی در ماتریس مقایسات زوجی و بردارهای وزن به کار گرفته می‌شوند. این روش، به علت سادگی محاسباتش، در اکثر تحقیقاتی که برای حل مسائل در شرایط عدم اطمینان انجام می‌شود، به کار می‌رود [۱۶]. اگر دو عدد فازی مثلثی $M_1=(l_1, m_1,u_1)$ و $M_2=(l_2, m_2,u_2)$ را که در شکل ۲ رسم شده‌اند، در نظر گیریم، خواهیم داشت [۱۷]:



شکل ۴ – اعداد مثلثی M_1 و M_2

شکل ۲. اعداد فازی مثلثی M_1 و M_2

Fig. 2. Triangular fuzzy numbers M_1 , M_2

(۱) مجموع اعداد فازی مثلثی $M_1+M_2=(l_1+l_2,m_1+m_2,u_1+u_2)$

(۲) حاصل‌ضرب اعداد فازی مثلثی $M_1\times M_2=(l_1\times l_2,m_1\times m_2,u_1\times u_2)$

(۳) معکوس اعداد فازی مثلثی $M_1^{-1}=\left(\frac{1}{u_1},\frac{1}{m_1},\frac{1}{l_1}\right)$, $M_2^{-1}=\left(\frac{1}{u_2},\frac{1}{m_2},\frac{1}{l_2}\right)$

برای حل مدل با روش آنالیز گسترده در هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، ارزش S_k که خود یک عدد فازی مثلثی است، محاسبه می‌گردد (k نشان‌دهنده شماره هر سطر است). S_kها به صورت معادله ۴ محاسبه می‌شوند [۱۷]:

$$S_k=\sum_{j=1}^{n}M_{kj}*\left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}M_{ij}\right]^{-1} \qquad (۴)$$

در این روش، پس از محاسبه S_kها درجه بزرگی آن‌ها نسبت به هم محاسبه می‌گردد. به طورکلی، اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_1 بر M_2 به صورت زیر تعریف می‌شود[۱۷]:

$$\begin{cases} V(M_1\geq M_2)=1 & \ldots\ldots m_1\geq m_2 \\ V(M_1\geq M_2)=hgt(M_1\cap M_2) & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \qquad (۵)$$

$$hgt(M_1\cap M_2)=\frac{u_1-l_2}{(u_1-l_2)+(m_2-m_1)}$$

برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسات زوجی به صورت معادله ۶ عمل می‌کنیم [۱۷] :

$$W'(X_i)=\min\left\{V(S_i\geq S_k)\right\} \ldots\ldots k=1,2,\ldots\ldots,n,k\neq i \qquad (۶)$$

۴- جمع آوری اطلاعات اولیه

۴- ۱- تنظیم پرسش‌نامه

با بررسی ادبیات تحقیق و بررسی مستندات موجود در پروژه اعم از گزارش‌های کارگاهی پروژه و بررسی برنامه زمان‌بندی پروژه به همراه مصاحبه با متخصصین پروژه متروی کرج، سوالات پرسش‌نامه تهیه شدند. با توجه به اینکه هدف اصلی، بررسی عوامل تأخیر در احداث پروژه متروی کرج می‌باشد و تعداد محدودی متخصص در این زمینه فعالیت دارند، در نتیجه متخصصین جامعه آماری به شکل غیراحتمالی و هدفدار انتخاب شده‌اند. پرسش‌نامه‌ها توسط متخصصین که از افراد صاحب نظر با حداقل ده سال سابقه کار در مدیریت ساخت مترو می‌باشند(جدول۱)، تکمیل شدند و اطلاعات حاصل از آن‌ها بوسیله نرم‌افزار SPSS19 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و اصلی‌ترین عوامل تاخیر در احداث متروی کرج، شناسایی شدند.

پرسش‌نامه نهایی مورد استفاده برای شناسایی عوامل تاخیر دارای ۵۰ سوال در قالب ۵ دسته اصلی است که به ترتیب قرارگیری در جدول، شامل:

۱. ۱۰ سوال مربوط به عوامل تاخیر مربوط به کارفرما.
۲. ۱۰ سوال مربوط به عوامل تاخیر مربوط به مشاور.
۳. ۱۰ سوال مربوط به عوامل تاخیر مربوط به پیمانکار.
۴. ۱۰ سوال مربوط به عوامل تاخیر مربوط به عوامل محیطی و شرایط جوی.
۵. ۱۰ سوال مربوط به عوامل تاخیر مربوط به عوامل غیرقابل کنترل،

می‌باشد که در جدول ۲ نشان داده شده‌است.

1 Yong Chang

جدول ۱. متخصصین پروژه متروی کرج

Table. 1. Karaj subway project specialists

عنوان	سابقه کار مرتبط	مدرک تحصیلی	سمت
کارشناس ۱	احداث متروی تهران	کارشناسی ارشد مهندسی عمران- خاک و پی	مشاور مدیر عامل سازمان قطار شهری در امور فنی
کارشناس ۲	احداث متروی تهران	کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه	مدیر فنی شرکت مشاور
کارشناس ۳	احداث متروی تهران	کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه	معاون مدیر فنی شرکت مشاور
کارشناس ۴	احداث متروی تهران	کارشناسی ارشد مهندسی عمران- تونل	مدیر پروژه شرکت پیمانکار
کارشناس ۵	احداث متروی تهران	کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت	نماینده شرکت مشاور در واردات قطعات و ادوات مورد نیاز
کارشناس ۶	احداث متروی تهران	دکترای مهندسی عمران- مدیریت ساخت	مدیر عامل سازمان قطار شهری
کارشناس ۷	احداث متروی تهران	کارشناسی مهندسی عمران- عمران	نماینده فنی سازمان قطار شهری
کارشناس ۸	احداث متروی تهران	کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک	نماینده فنی سازمان نظام مهندسی استان البرز در پروژه
سایر کارشناسان	احداث متروی تهران	کارشناسی عمران- عمران	۹ نفر مهندس عمران که در احداث پروژه خط ۵ متروی تهران مشغول به کار بوده‌اند

جدول ۲. پرسش‌نامه نهایی تحقیق

Table. 2. Final research questionnaire

عامل	دسته	سوالات	عامل	دسته	سوالات
۱	کارفرما	کمبود یا عدم نظارت کافی بر پروژه	۲۶	پیمانکار	عدم وجود سیستم تعمیر و نگهداری به روز ماشین آلات
۲		عدم تامین اعتبار کافی و عدم پرداخت به موقع مبالغ مالی به پیمانکاران	۲۷		عدم مدیریت صحیح از جانب پیمانکار
۳		فقدان روش تشویقی در اجرای به موقع و یا روش تنبیهی در صورت تاخیر	۲۸		عدم استفاده از روش های اجرایی مناسب
۴		اجرای پروژه های جدید قبل از به اتمام رسیدن پروژه در دست اجرا	۲۹		تغییر مدیریت کارگاه
۵		مشکلات مالی و اجتماعی برای تملک جهت اجرای پروژه	۳۰		تاخیر در پرداخت به پرسنل و پیمانکاران دست دوم
۶		تاخیر در تحویل زمین	۳۱	محیطی و شرایط جوی	معارضین
۷		تاخیر در تصمیم‌گیری از سوی کارفرما	۳۲		حوادث طبیعی مانند سیل، زلزله، باد، طوفان، بارندگی شدید و غیره
۸		عدم توجه به نظرات کارشناسی دستگاه نظارت	۳۳		صعب العبور بودن راه دسترسی به محل پروژه

۹		تاخیر در تامین آب، برق، گاز و تلفن	۳۴		تردد افراد و وسایل نقلیه عمومی از محل پروژه
۱۰		تاخیر در تامین مصالح و ماشین آلات مورد تعهد کارفرما	۳۵		آلاینده های محیطی
۱۱		فقدان بانک اطلاعاتی فنی و نظارتی جهت ارزیابی به‌موقع و مستمر پروژه‌ها	۳۶		مشکل دسترسی به آب، برق، گاز و تلفن
۱۲		ضعف در مطالعات پیش از اجرا	۳۷		عدم دسترسی به مصالح مناسب در منطقه
۱۳		تغییرات مکرر نقشه‌ها	۳۸		دور بودن محل پروژه از امکانات رفاهی
۱۴		تاخیر در ابلاغ نقشه‌ها	۳۹		تغییر شرایط محیطی بعد از انجام مطالعات مشاور
۱۵	مشاور	تاخیر در تایید صورت وضعیت ها	۴۰		مواجهه با قنوات و تاسیسات زیرزمینی در مسیرهای حفاری
۱۶		عدم تخصص کافی دستگاه نظارت	۴۱		کمبود مصالح حین انجام کار (مثل سیمان و آرماتور)
۱۷		تاخیر در ابلاغ دستور کار	۴۲		مشکلات و مسائل اجتماعی، فرهنگی، سیاسی
۱۸		عدم تصمیم گیری فنی به موقع توسط مشاور	۴۳		تحریم ها
۱۹		تاخیر در تایید صورت مجالس	۴۴		تورم
۲۰		واقعی نبودن پیش‌بینی انجام پروژه	۴۵		کمبود ماشین آلات استیجاری و پیمانکاران دست دوم در منطقه
۲۱		فقدان تخصص در پیمانکار اصلی و ارجاع کار به پیمانکاران دست دوم	۴۶	غیرقابل کنترل	قوانین محدود کننده ظرفیت حمل و نقل در جاده های دسترسی به محل پروژه
۲۲		فقدان تجهیزات مناسب و کافی برای اجرای کار	۴۷		قوانین شهرسازی حاکم بر منطقه
۲۳	پیمانکار	عدم هماهنگی بین پیمانکاران	۴۸		بافت مسکونی و راه های دسترسی منطقه
۲۴		ضعف بنیه مالی پیمانکار	۴۹		نقاط اجباری پروژه در سطح شهر
۲۵		عدم استفاده مناسب از ماشین آلات	۵۰		تامین حداقل های لازم برای احداث مترو (شیب طولی، شعاع قوس و غیره)

کلیه پرسش‌های مطرح شده در این پرسش‌نامه دارای طیف پاسخ لیکرتی شامل: خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد هستند. پرسش‌نامه نهایی مورد استفاده در این تحقیق پس از دو سیکل اصلاحی با روش دلفی از روایی و پایایی لازم برخوردار شد. جهت بررسی پایایی این پرسش‌نامه از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شده‌است. ضریب آلفای کرونباخ این پرسش‌نامه ۰/۸۷۳ می‌باشد که با توجه به پهنه‌بندی این ضریب بین صفر و یک، ضریب این پرسش‌نامه نزدیک به ضریب عالی می‌باشد که می‌توان عنوان بسیار خوب را به آن اختصاص داد.

۴- ۲- نتایج حاصل از پرسش‌نامه

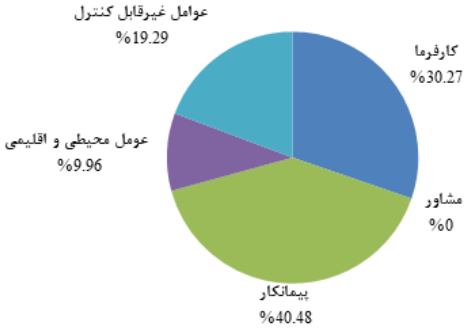
پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها و وارد کردن داده‌های خام به نرم‌افزار SPSS 19، عوامل بر اساس میانگین تاثیر هر یک از آن‌ها بر روی تاخیر و میزان انحراف معیار پاسخ‌ها، مرتب شدند.جهت بررسی دقیق‌تر عوامل تاخیر موجود در پروژه متروی کرج و با توجه به محدودیت روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، به دلیل ظرفیت محدود بشری در پردازش اطلاعات، سقف مقایسات زوجی عوامل بطور قابل ملاحظه محدود گشته و به تعداد هفت بعلاوه یا منهای دو(۲±۷) در نظر گرفته می‌شود [۱۸] و بر اساس اصل پارتو، ۸۰ درصد خطاها توسط ۲۰ درصد عوامل بوجود می‌آیند [۱۹]، در نتیجه ۱۰ عامل اول (۲۰ درصد ۵۰ عامل) که از میانگین بیشتر و تاثیرگذاری بالاتری بر روی تاخیر برخوردار بودند، مطابق جدول ۳ انتخاب شدند.

جدول ۳. اصلی‌ترین عوامل شناسایی شده بر اساس میانگین آرای متخصصین

Table. 3. Identified key factors based on specialists opinion

عوامل تاخیر به ترتیب بر اساس میانگین تاثیر بر تاخیر	میانگین پاسخ‌ها	انحراف معیار پاسخ‌ها
عدم تامین اعتبار کافی و عدم پرداخت به‌موقع مبالغ مالی به پیمانکاران	۴/۳	۱/۰۸۱
تاخیر در پرداخت به پرسنل و پیمانکاران دست دوم	۴/۲	۰/۷۶۸
ضعف بنیه مالی پیمانکار	۴/۱۵	۰/۶۷۱
معارضین	۳/۹۵	۰/۹۴۵
مشکلات مالی و اجتماعی برای تملک جهت اجرای پروژه	۳/۹	۰/۷۱۸
فقدان تخصص در پیمانکار اصلی و ارجاع کار به پیمانکاران دست دوم	۳/۸۵	۰/۸۷۵
عدم مدیریت صحیح از جانب پیمانکار	۳/۸۵	۰/۸۱۳
تورم	۳/۸۵	۰/۹۳۳
تاخیر در تصمیم‌گیری از سوی کارفرما	۳/۸	۰/۷۶۸
تحریم‌ها	۳/۸	۱/۱۵۲

سهم هریک از عوامل ایجادکننده تاخیر در بین ۱۰ عامل اصلی در شکل ۲ به صورت نمودار نشان داده شده‌است.



شکل ۳. نمودار سهم تاخیر عوامل ایجادکننده تاخیرات

Fig. 3. The rate graph of delay factors

در مرحله بعد، عوامل ۱۰گانه جدول ۳ بر اساس معیارهایی که بنا به نظر متخصصین پروژه متروی کرج تعیین شده‌اند، اولویت‌بندی می‌شوند. این معیارها در جلسه‌ای متشکل از متخصصین ساخت مترو و در نهایت جمع‌بندی نظرات مشخص شده‌است. معیارهایی که در این مرحله عوامل ۱۰گانه را مورد سنجش قرار می‌دهند عبارتند از: میزان انعطاف پذیری، میزان پایداری، میزان اثر و میزان پیچیدگی. که به صورت زیر تعریف شده‌اند:

- منظور از میزان انعطاف‌پذیری عوامل، این است که برای رفع عامل تاخیر چه تعداد راه حل وجود دارد و میزان سهولت اجرای هر یک از راه‌حل‌ها چه میزان می‌باشد. این معیار در واقع انعطاف عوامل را نسبت به یکدیگر مورد مقایسه قرار می‌دهد.
- منظور از معیار میزان پایداری، این است که عامل تاخیر چه مدتی پروژه و تاخیرات آن را تحت تاثیر خود قرار داده است. این معیار مدت زمان پایداری عوامل را نسبت به یکدیگر مورد سنجش قرار می‌دهد.
- منظور از معیار میزان اثر عوامل، همان مدت زمانی است که عوامل در پروژه تاخیر ایجاد کرده‌اند. این معیار اثرگذاری عوامل را نسبت به یکدیگر مورد سنجش قرار می‌دهد.
- منظور از میزان پیچیدگی عوامل، پیچیدگی‌های راه حل‌های پیش رو برای رفع عامل تاخیر می باشند. این معیار میزان پیچیده بودن راه‌حل‌های رفع عوامل تاخیر را نسبت به یکدیگر مورد سنجش قرار می‌دهد.

۴- ۳- اولویت‌بندی عوامل تاخیر

نتیجه محاسبات ماتریس‌های مقایسات زوجی معیارها، مقایسات زوجی عوامل بر اساس هر یک از معیارها در جدول ۴ مشخص شده‌است. در محاسبه درجه اهمیت عوامل تاخیر، ردیف مربوط به وزن معیارها در ردیف

S_k مربوط به عوامل، ضرب شده و در آخر چهار عدد حاصل با یکدیگر جمع شده‌اند (k نشان‌دهنده عوامل ۱۰گانه تاخیر می‌باشد).

وزن عوامل تاخیر شناسایی شده در احداث متروی کرج بر اساس معیارهای اولویت‌بندی، پس از انجام محاسبات بر اساس معادله‌های ۵ و ۶ در جدول ۵ نشان داده شده‌اند.

جدول ۴. S_kها

Table. 4. S_K

معیارها / وزن معیارها	انعطاف پذیری	پایداری	اثر	پیچیدگی	درجه اهمیت عوامل
	۰/۲۰۳۰	۰/۳۳۸۱	۰/۳۲۱۳	۰/۱۳۷۶	
S1	۰/۱۱۳۸	۰/۰۸۴۲	۰/۰۱۵۹	۰/۰۱۰۷	۰/۰۵۸۱
S2	۰/۰۰۶۲	۰/۰۴۹۹	۰/۰۸۰۸	۰/۰۰۶۲	۰/۰۴۴۹
S3	۰/۰۷۴۶	۰/۰۳۹۲	۰/۰۲۱۲	۰/۱۲۸۲	۰/۰۵۲۸
S4	۰/۱۱۲۷	۰/۱۹۰۳	۰/۱۶۸۳	۰/۱۶۰۹	۰/۱۶۳۴
S5	۰/۱۶۰۹	۰/۱۷۴۰	۰/۱۲۸۹	۰/۱۱۷۱	۰/۱۴۹۰
S6	۰/۱۷۷۹	۰/۰۵۲۷	۰/۰۶۲۸	۰/۰۴۴۸	۰/۰۸۰۳
S7	۰/۰۱۲۶	۰/۰۳۸۷	۰/۰۳۵۱	۰/۰۷۲۱	۰/۰۳۶۸
S8	۰/۱۷۱۲	۰/۰۱۰۸	۰/۲۰۴۹	۰/۱۵۴۷	۰/۱۲۵۶
S9	۰/۰۲۷۳	۰/۱۱۸۸	۰/۰۹۷۳	۰/۱۲۰۹	۰/۰۹۳۶
S10	۰/۱۴۲۹	۰/۲۴۱۵	۰/۱۸۴۸	۰/۱۸۴۳	۰/۱۹۵۴

جدول ۵. اولویت‌بندی عوامل تاخیر با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

Table. 5. Prioritizing of project delay factors using the fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP)

عوامل تاخیر به ترتیب اولویت		عامل ایجاد تاخیر
وزن عوامل	عامل	
۰/۲۴۰۴۰	تحریم‌ها	عامل غیرقابل کنترل
۰/۲۰۳۶	معارضین	عامل محیطی و جوی
۰/۱۶۸۵	مشکلات مالی واجتماعی برای تملک جهت اجرای پروژه	کارفرما
۰/۱۳۲۰	تورم	عامل غیرقابل کنترل
۰/۱۲۶۶	تاخیر درتصمیم گیری از سوی کارفرما	کارفرما
۰/۰۴۸۰	عدم تامین اعتبار کافی و عدم پرداخت به‌موقع مبالغ مالی به پیمانکاران	کارفرما
۰/۰۳۱۴	عدم مدیریت صحیح از جانب پیمانکار	پیمانکار
۰/۰۲۵۶	فقدان تخصص پیمانکار اصلی و ارجاع کار به پیمانکاران دست دوم	پیمانکار
۰/۰۲۳۹	ضعف بنیه مالی پیمانکار	پیمانکار
۰/۰۰۰۰	تاخیر درپرداخت به پرسنل و پیمانکاران دست دوم	پیمانکار

جهت کنترل صحت محاسبات در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، کلیه داده‌های اولیه حاصل از پرسش‌نامه‌ها، با استفاده از روش شباهت به راه‌حل ایده‌آل فازی، تحلیل شدند تا با مقایسه بین دو روش بکار گرفته شده، وجه اشتراک آن‌ها برای ادامه کار انتخاب گردد.

۴- ۴- روش شباهت به راه‌حل ایده‌آل فازی

تکنیک تاپسیس فازی، تعمیمی از تکنیک تاپسیس در محیط فازی است. منطق زیربنایی تاپسیس، تعریف راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی است. راه‌حل ایده‌آل مثبت، معیارهای از نوع سود را حداکثر و معیارهای از نوع هزینه را حداقل می‌نماید. راه‌حل ایده‌آل منفی، معیارهای از نوع هزینه را حداکثر و معیارهای از نوع سود را حداقل می‌کند. گزینه بهینه، نزدیکترین گزینه به راه‌حل ایده‌آل مثبت و دورترین گزینه از راه‌حل ایده‌آل منفی است. برای ارزیابی عملکرد زمان، ابتدا یک مسأله FMCDM را فرمول‌بندی می‌کنیم. مسأله FMCDM، شامل مجموعه‌ای از m گزینه است که توسط n معیار ارزیابی می‌شوند [۲۰].

$$G=\left[G_{ij}\right]_{m*n}=\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ A_m \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} C_1 & C_2 & . & . & . & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & . & . & . & G_{1n} \\ G_{21} & G_{22} & . & . & . & G_{2n} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ G_{m1} & G_{m2} & . & . & . & G_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۷)$$

$$W=[w_1,w_2,\ldots,w_n] \qquad (۸)$$

دراینجا $A_1, A_2,\ldots,A_m$ گزینه‌های ممکن هستند که متخصصین باید در مورد آن‌ها تصمیم‌گیری نمایند. $C_1,C_2,\ldots,C_n$ معیارهایی هستند که در مقابل عملکرد گزینه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. G_{ij} رتبه عملکرد گزینه A_i در برابر معیار C_j و W_j وزن C_j می‌باشد. در فرآیند ارزیابی، وزن هر یک از معیارها درجه اهمیت آن معیار را، ازطریق بررسی‌ها و ارزیابی‌های ذهنی، نشان می‌دهد[۱۶].

با استفاده از عملگرهای MAX و MIN، راه‌حل‌های ایده‌آلمثبت (A+) وایده‌آل منفی (A–) برای مجموعه گزینه‌ها شناسایی می‌شوند [۲۰].

$A=[G^{1-}, G^{2-},\ldots, G^{n-}]$ راه‌حل ایده‌آل منفی (۹)

$B\text{-}A^{+}=[G^{1+}, G^{2+},\ldots, Gn^{+}]$ راه‌حل ایده‌آل مثبت (۱۰)

درمعادلات ۹ و ۱۰، G_n^- و G_n^+ که اعداد فازی مثلثی هستند، به ترتیب از کمترین و بیشترین مقادیر l, m, u برای گزینه nام تشکیل شده‌اند.

d_{ij}^- و d_{ij}^+ به ترتیب نشان‌دهنده فاصله G_{ij} از G_j^- و G_j^+ هستند که با استفاده از معادلات ۱۱ و ۱۲ محاسبه می‌شوند [۲۰]:

فاصله G_j^- از $G_{ij}=$

$$d_{ij}=d(G_{ij},G_j)=\sqrt{\frac{1}{3}[(g_{ij}^l-g_j^l)^2+(g_{ij}^m-g_j^m)^2+(g_{ij}^r-g_j^r)^2} \qquad (۱۱)$$
$$(i=1,2,\ldots,m),\ (j=1,2,\ldots,n)$$

فاصله G_j^+ از G_{ij}

$$d_{ij}^+=d(G_{ij},G_j^{l+})=\sqrt{\frac{1}{3}[(g_{ij}^l-g_j^{l+})^2+(g_{ij}^m-g_j^{m+})^2+(g_{ij}^r-g_j^{r+})^2} \qquad (۱۲)$$
$$(i=1,2,\ldots,m),\ (j=1,2,\ldots,n)$$

را به عنوان مجموع فواصل هر گزینه با راه‌حل ایده‌آل منفی و S_{ij}^+ را به عنوان مجموع فواصل هر گزینه با راه‌حل ایده‌آل مثبت، در نظر می‌گیریم و آن‌ها را با استفاده از معادلات ۱۳ و ۱۴محاسبه می‌کنیم [۲۰]:

$S_{ij}^-=\sum d_{ij}^-$ محاسبه مجموع فواصل هر گزینه با راه‌حل منفی (۱۳)

$S_{i+}=\sum d_{ij}^+$ محاسبه مجموع فواصل هر گزینه با راه‌حل مثبت (۱۴)

درنهایت، شاخص شباهت گزینه i که با CC_i نشان داده می‌شود، با استفاده از معادله ۱۵ محاسبه می‌گردد [۲۰].

$$CC_i=\frac{Sij^-}{Sij^+ + Sij^-} \qquad \text{محاسبه شاخص شباهت} \quad (۱۵)$$

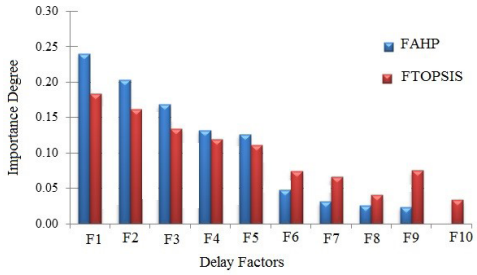
واضح است که اگر ضریب CC_i برابر ۱ باشد، آن گزینه راه‌حل ایده‌آل مثبت و در صورتی که این ضریب ۱– باشد، آن گزینه راه‌حل ایده‌آل منفی خواهد بود. لذا می‌توان رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف را با توجه به میزان نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و دوری از راه‌حل ایده‌آل منفی انجام داد. رتبه‌بندی نهایی حاصل از روش شباهت به راه‌حل ایده‌آل فازی در جدول ۶ نشان داده شده‌است.

در انتها با مقایسه بین نتایج حاصل از دو روش در شکل ۴، مشخص گردید که این دو روش متفاوت در ۵ عامل اول یعنی تحریم‌ها، معارضین، مشکلات مالی و اجتماعی برای تملک جهت اجرای پروژه، تورم و تاخیر در تصمیم‌گیری از سوی کارفرما، دارای نتیجه حدودا یکسانی هستند. در نتیجه برای ایجاد سیستم فازی تخمین‌گر تاخیر از این عوامل استفاده شده‌است.

جدول ۶. اولویت‌بندی عوامل تاخیر با روش شباهت به راه‌حل ایده‌آل فازی

Table. 6. Prioritizing of project delay factors using the fuzzy Technique of Order of Preference by Similarity (TOPSIS)

عوامل تاخیر به ترتیب اولویت		عامل ایجاد تاخیر
وزن عوامل	عامل	
۰/۱۸۴۰	تحریم‌ها	عامل غیرقابل کنترل
۰/۱۶۱۴	معارضین	عامل محیطی و جوی
۰/۱۳۴۷	مشکلات مالی و اجتماعی برای تملک جهت اجرای پروژه	کارفرما
۰/۱۱۹۵	تورم	عامل غیرقابل کنترل
۰/۱۱۰۹	تاخیر در تصمیم گیری از سوی کارفرما	کارفرما
۰/۰۷۵۰	ضعف بنیه مالی پیمانکار	پیمانکار
۰/۰۷۴۱	عدم تامین اعتبار کافی و عدم پرداخت به‌موقع مبالغ مالی به پیمانکاران	کارفرما
۰/۰۶۵۸	عدم مدیریت صحیح از جانب پیمانکار	پیمانکار
۰/۰۴۰۸	فقدان تخصص در پیمانکار اصلی و ارجاع کار به پیمانکاران دست دوم	پیمانکار
۰/۰۳۳۹	تاخیر در پرداخت به پرسنل و پیمانکاران دست دوم	پیمانکار



شکل ۴. مقایسه نتایج حاصل از دو روش فازی روی عوامل تاخیر

Fig. 4. Comparison of the results of two fuzzy methods on delay factors

۵- استنتاج فازی و تعیین سیستم فازی تخمین‌گر

برای نتیجه‌گیری و ارائه یک سیستم تخمین‌گر از سیستم فازی سوگنو[1] استفاده شده‌است. سیستم فازی سوگنو کلیه داده‌ها را به صورت فازی وارد خود کرده و سپس بر اساس قوانین فازی، داده‌ها را تحلیل نموده و نهایتا خروجی خود را به صورت قطعی در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران قرار می‌دهد. اگر هر یک از عوامل تاخیر را با x_i و وزن هریک از آن‌ها را با a_i نشان دهیم [۱۵ و ۲۱].

$$0 \le x_i \le 5 \qquad i = 1,2,3,4,5$$

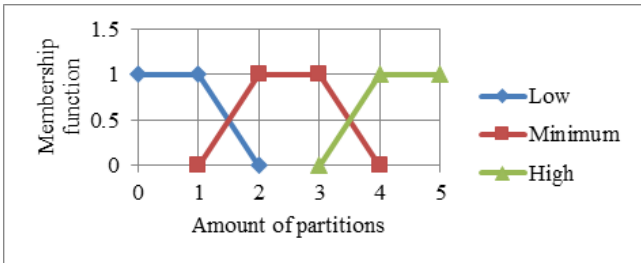
$$0 \le a_i \le 1 \qquad i = 1,2,3,4,5$$

آنگاه سهم تاخیر هر یک از عوامل برابر است با ضرب وزن هر عامل در مقدار آن عامل. در نهایت کل تاخیر برابر است با:

$$D = \sum x_i a_i \qquad 0 \le D \le 5$$

برای ایجاد قوانین فازی باید از سهم تاخیر عوامل استفاده گردد. پارامتر دیگری به نام تابع عضویت در ایجاد قوانین فازی تاثیرگذار است. برای تمام عوامل تاخیر بایستی تابع عضویت تعریف شود، که کلیه توابع عضویت مشابه یکدیگر تعریف شده‌اند تا اوزان بدست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در این قوانین حاکم باشند، یعنی نظرات متخصصین تعیین‌کننده خروجی سیستم فازی باشند نه افرازهای توابع عضویت. افرازهای در نظر گرفته شده برای عوامل تاخیر در شکل ۵ به صورت نمودار نشان داده شده‌است.

1 Sugeno



شکل ۵. نمودار افرازهای توابع عضویت هر یک از عوامل تاخیر

Fig. 5. Partitions of membership functions

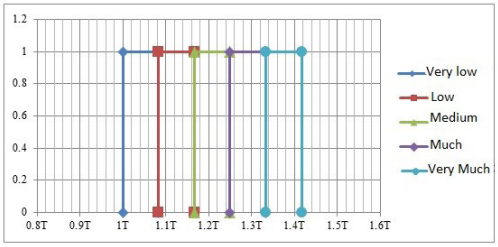
با توجه به ماده‌های ۴۶ و ۵۰ شرایط عمومی پیمان، مبنی بر فسخ پیمان در اثر افزایش تاخیر بیش از یک‌چهارم مدت پیمان، و با صلاحدید متخصصین پروژه متروی کرج، حد میانگین بازه تاخیر یعنی عدد ۳ برای تعیین ثابت تاخیر در محاسبات لحاظ گردید. نتیجه بدست آمده از محاسبات در جدول ۷ نشان داده شده‌است.

یک چهارم مدت پیمان = مدت پیمان × ثابت تاخیر × حد میانگین بازه تاخیر

۳ × ثابت تأخیر × T = ۰/۲۵ T

ثابت تاخیر = ۰/۰۸۳۳

افرازهای قطعی سوگنو به شرح شکل ۶ است:



شکل ۶. نمودار افرازهای خروجی قطعی سوگنو

Fig. 6. Sugeno output partitions

جهت تعیین قانون‌های فازی (Fuzzy Rules)، افرازهای فازی عوامل (کم، متوسط و زیاد) در وزن خروجی آن‌ها از روش FAHP ضرب شدند و با یکدیگر جمع گردیدند. برای اینکه بتوان به پاسخ‌ها اطمینان نمود کلیه حالات ممکن در قانون‌های فازی مدل گردید. نتیجه این محاسبات ۲۴۳ قانون است که کلیه حالات ممکن را دربرمی‌گیرد. این سیستم فازی قادر خواهد بود تاخیرات مربوط به ۵ عامل مذکور را در پروژه‌های آتی شهر کرج تخمین بزند. به عنوان مثال اگر در یک پروژه راه‌سازی در حومه شهر کرج، تحریم‌ها در طول دوره اجرای پروژه راه‌سازی متوسط باشند، معارضین کم باشند، مشکلات مالی و اجتماعی برای تملک جهت اجرای پروژه متوسط باشند، میزان تورم در طول دوره اجرای پروژه نسبتا متوسط (۷۵٪ متوسط و ۲۵٪ کم) باشد و تاخیر در تصمیم‌گیری از سوی کارفرما (به عنوان مثال تصمیم‌گیری در انتخاب نقاط اجباری مسیر راه) زیاد باشد، محتمل‌ترین حالتی که ممکن است در زمان اجرای این پروژه اتفاق بیافتد این است که این پروژه با تاخیر متوسط (۱/۲۵ T) مواجه گردد. اکنون به منظور بررسی کارکرد روش ارائه شده مثال‌هایی از چهار پروژه و وضعیت معیارها در آن‌ها، در جدول ۸ ارائه شده‌است. لذا با توجه به سیستم فازی تخمین‌گر بیان شده در این پژوهش جهت پیش‌بینی تاخیرات، نتایج دو روش ارائه شده برای این پروژه‌ها در ادامه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

جهت کنترل نتایج حاصل از سیستم فازی تخمین‌گر با اوزان روش FAHP، کلیه مراحل با اوزان روش FTOPSIS مدل شده‌است. مقایسه نتایج حاصل از دو روش نشان می‌دهد که در بین ۲۴۳ قانون فازی، این دو روش در ۹ مورد مختلف، دارای اختلاف نظر هستند. این ۹ مورد متفاوت در جدول ۹ نشان داده شده‌است.

کلیه ۹ حالت متفاوت در شکل ۶ به صورت نمودار نشان داده شده‌است. لذا دو روش ارائه شده در ۹ قانون استنتاج فازی دارای اختلاف ناچیزی در خروجی بوده و می توان از این دو روش برای بررسی و تخمین تاخیر پروژه‌ها استفاده نمود. که این امر می‌تواند در پیش‌بینی تاخیرات پروژه موثر باشد.

جدول ۷. تعیین افرازهای خروجی قطعی سوگنو

Table. 7. Sugeno final output partitions

افرازها	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
میزان تاخیر	۱/۰۸۳۳ T	۱/۱۶۶۶ T	۱/۲۴۹۹ T	۱/۳۳۳۲ T	۱/۴۱۶۵ T

جدول ۸. مثال‌هایی از کاربرد سیستم فازی تخمین‌گر در پیش‌بینی تاخیر پروژه‌ها

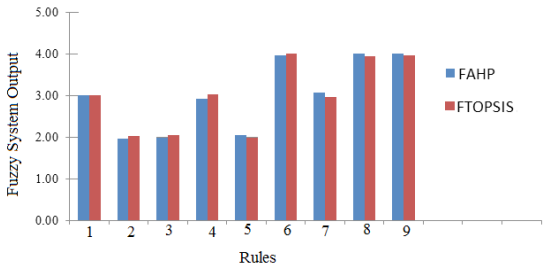
Table. 8. The examples of using the predicting fuzzy system to predict the project delays

عوامل	پروژه ۱	پروژه ۲	پروژه ۳	پروژه ۴
تحریم ها	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد
معارضین	٪۵۰ متوسط ٪۵۰ کم	زیاد	٪۵۰ متوسط ٪۵۰ کم	زیاد
مشکلات مالی واجتماعی برای تملک جهت اجرای پروژه	زیاد	٪۴۰ زیاد ٪۶۰ متوسط	متوسط	٪۵۰ زیاد ٪۵۰ متوسط
تورم	٪۶۰ زیاد ٪۴۰ متوسط	٪۸۰ زیاد ٪۲۰ متوسط	٪۲۰ متوسط ٪۸۰ کم	زیاد
تاخیر در تصمیم‌گیری ازسوی کارفرما	متوسط	کم	کم	متوسط
تاخیر پروژه	زیاد	زیاد	کم	خیلی زیاد

جدول ۹. حالات متفاوت در سیستم‌های فازی تخمین‌گر تشکیل شده با اوزان حاصل از دو روش FAHP و FTOPSIS

Table. 9. Different states in predicting fuzzy systems formed by the weights obtained by the two methods FAHP and FTOPSIS

	موارد متفاوت بین سیستم‌های فازی					پیش‌بینی تاخیر سیستم فازی تحت نتایج	
حالت	تحریم ها	معارضین	مشکلات مالی و اجتماعی برای تملک جهت اجرای پروژه	تورم	تاخیر در تصمیم گیری از سوی کارفرما	FAHP	FTOPSIS
اول	زیاد	کم	کم	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد
دوم	کم	کم	متوسط	متوسط	متوسط	کم	متوسط
سوم	کم	کم	متوسط	زیاد	کم	کم	متوسط
چهار	کم	کم	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد
پنجم	متوسط	متوسط	کم	کم	کم	متوسط	کم
ششم	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد
هفتم	زیاد	زیاد	کم	کم	کم	زیاد	متوسط
هشتم	زیاد	زیاد	متوسط	کم	زیاد	خیلی زیاد	زیاد
نهم	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	زیاد



شکل۷. نمودار حالات متفاوت در سیستم‌های فازی تخمین‌گر تشکیل شده با اوزان حاصل از دو روش FAHP و FTOPSIS

Fig. 7. Different states in fuzzy predicting systems with the weights obtained from both methods FAHP and FTOPSIS

۶- بحث در نتایج

نحوه اجرای طرح‌های بزرگ در ایران در مقایسه با کشورهای پیشرفته دیگر نشان می‌دهد، مدتی که صرف انجام مطالعات و بررسی یک طرح بزرگ در کشورهای پیشرفته می‌گردد به مراتب بیشتر از مدت نظیر در ایران بوده و در نتیجه این موضوع آن‌ها را قادر می‌سازد تا اجرای عملیات را در مدتی به مراتب کمتر از مدت نظیر در ایران انجام دهند. بنابراین در کل، جمع مدت تهیه و اجرای طرح و هزینه آن به حداقل ممکن می‌رسد [۲۲]. با دقت در مورد عوامل تأخیر شناسایی شده در احداث متروی کرج می‌توان نتیجه گرفت، بخش زیادی از عوامل که تأخیرها را بوجود آورده‌اند از ابتدا قابل پیش‌بینی بوده‌اند. در واقع اگر در تخمین زمان اجرای پروژه مترو، این مشکلات با دقت بیشتری در نظر گرفته می‌شدند، زمان اجرای اولیه افزایش می‌یافت و در بسیاری از موارد آنچه بعنوان تأخیر در نظر گرفته شده، در تخمین اولیه زمان اجرا محسوب می‌شد. از طرفی میزان ادعاها و درگیری‌ها بین دستگاه‌های اجرایی نیز کاهش می‌یافت. این امر به نوبه خود لزوم توجه و دقت بیشتر در تخمین زمان اجرای پروژه‌های مشابه را نشان می‌دهد، زیرا این تخمین جنبه اقتصادی پروژه را نیز تحت پوشش قرار می‌دهد. هدف از شناسایی عوامل افزایش زمان، رفع یا کاهش اثرات آن عوامل می‌باشد، به طوری که بتوانیم پروژه را با حداقل تغییرات نسبت به برنامه زمان‌بندی اولیه به پایان برسانیم. با مقایسه نتایج بدست آمده و نتایج تحقیقات گذشته و بررسی سیستم فازی تخمین‌گر طراحی شده در این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که ضرورت دوری از مدیریت سنتی و پیاده‌سازی مدیریت نوین به خصوص وجود سیستم مدیریت پروژه در پروژه‌های بزرگ امری بدیهی است. اهمیت موضوع تأخیر نزد دستگاه‌های درگیر در اجرای پروژه، ارائه یک روش جدید جهت تعیین میزان تأخیر پروژه را ضروری می‌نماید. به همین منظور در این تحقیق یک روش جدید برای تعیین میزان تأخیر پروژه‌ها ارائه شده‌است. این روش قابلیت کاربرد در پروژه‌های جاری و پروژه‌های آتی شهر کرج را دارا می‌باشد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهند که تأخیرات صورت گرفته در پروژه متروی کرج تا حد زیادی مشابه تأخیرات صورت گرفته در پروژه‌هایی است که در کشورهای در حال توسعه اجرا شده‌اند که در قسمت سابقه تحقیق به آن‌ها اشاره شده‌است، زیرا تأخیرات اتفاق افتاده در پروژه متروی کرج به شکلی است که دستگاه‌های درگیر در پروژه عامل اصلی ایجادکننده تأخیرات بوده‌اند. این شرایط در حالی است که تأخیرات پروژه‌هایی که در کشورهای توسعه یافته اجرا می‌شوند دارای عوامل تأخیر غیرمترقبه و خارج از کنترل دستگاه‌های درگیر نظیر شرایط آب و هوای نامناسب و عوامل مشابه، هستند.

مهمترین نیاز برای یک تصمیم‌گیرنده، اطلاعات صحیح و دقیق می‌باشد. سیستم‌های پشتیبانی از تصمیم، با ارائه آمار و اطلاعات مفید می‌تواند همواره یاری گر تصمیم‌گیران و مدیران باشند. در این تحقیق نیز از سیستم سوگنو برای پشتیبانی از تصمیم استفاده شده‌است. این سیستم با استفاده از ورودی ها و قوانین فازی به نوعی پیش‌بینی آینده می‌پردازد. همواره استفاده از تجربیات موفق پروژه‌های پیشین و هم‌چنین آموختن درس مناسب از تجربیات ناموفق گذشته بهترین ره‌یافت کسب موفقیت برای هر سازمان اجرایی می‌باشد. لذا استفاده از مستندات پروژه‌های گذشته و بررسی راه‌حل‌های استفاده شده در آن‌ها می‌تواند بسیار مفید و کارساز باشد. سیستم سوگنو، که در این تحقیق به کار گرفته شده‌است، می‌تواند با استفاده از مستندات حاضر به تصمیم‌گیری آینده مدیران کمک نماید.

۷- نتیجه‌گیری

در احداث متروی کرج، کارفرما به دلیل عدم تصمیم‌گیری سریع و به‌موقع، عدم تامین منابع مالی مورد نیاز و عدم پرداخت به‌موقع به پیمانکاران و داشتن مشکلات مالی جهت تملک املاک مورد نیاز باعث تاخیر در اجرای پروژه شده‌است. مشاور پروژه متروی کرج با مدیریت صحیح، بررسی به‌موقع صورت وضعیت‌ها و ایجاد هماهنگی‌های مورد نیاز تا حد ممکن از تاخیر پروژه جلوگیری کرده است. پیمانکار پروژه متروی کرج به دلیل فقدان تخصص در برخی زمینه‌ها و ارجاع کار به پیمانکاران دست دوم، ضعف بنیه مالی، تاخیر در پرداخت به پیمانکاران دست دوم و عدم مدیریت صحیح، زمینه ایجاد تاخیر در پروژه را فراهم نموده است. مهمترین عوامل غیرقابل کنترل تاثیرگذار در پروژه متروی کرج، تحریم‌ها و تورم‌ها بوده‌اند که به دلیل عدم ثبات قیمت مصالح و محدودیت‌های حساب‌های ارزی، زمینه تاخیر را فراهم نموده‌اند.

صنعت متروسازی در کشور ایران یک تکنولوژی جدید محسوب می‌شود. در نتیجه ایران در زمینه تکنولوژی مترو پیشرفت زیادی نکرده است و تمامی قطعات مورد نیاز در این صنعت از کشورهای توسعه یافته وارد می‌شوند. یکی از بزرگترین مشکلاتی که اجرای پروژه متروی کرج با آن مواجه بوده است، تحریم‌های صورت گرفته از طرف کشورهای توسعه یافته است. در مورد تحریم‌ها می‌توان به خرید جت‌فن مورد نیاز در تونل‌ها اشاره کرد که

به دلیل تحریم‌های کشورهای توسعه یافته امکان باز کردن حساب ارزی برای خرید کالای مورد نیاز، وجود نداشته و این امر باعث تاخیر در پروژه گشته است. در این زمینه می‌توان به مواردی مشابه نظیر تحریم شدن برای انجام آزمایش‌هایی که امکان انجام آن‌ها در ایران میسر نیست، اشاره کرد.

در سطح بعدی از عوامل تاخیر پروژه متروی کرج، معارضین در مسیر اجرای پروژه بوده‌اند که منجر به افزایش زمان شده‌اند. عامل معارضین در احداث اکثر ایستگاه‌های مترو که باید به سطح خیابان راه پیدا کنند، باعث افزایش زمان و تاخیر شده‌اند. از طرفی مشکلات مالی و اجتماعی برای تملک جهت اجرای پروژه، عامل دیگری برای تاخیر محسوب می‌شود. مشکلات مالی کارفرما جهت خرید اراضی و ملکیت آن‌ها و از طرف دیگر مشکلات اجتماعی تملک اراضی نظیر مشکلات ایجاد شده بعلت احداث ایستگاه‌ها در اماکن عمومی مثل پارک‌ها و غیره، موجب افزایش زمان و تاخیر در اجرا شده‌اند. تورم موجود در دوره اجرای پروژه متروی کرج باعث شده تا جلسات زیادی بین کارفرما و پیمانکار طرح، تشکیل شود تا بر روی قیمت‌های جدید تفاهم‌های لازم صورت گیرد، که نهایتا این عامل نیز به نوبه خود در تاخیر نقش اساسی داشته است. تاخیر در تصمیم‌گیری از سوی کارفرما باعث بسیاری از تاخیرات در پروژه گردیده است، زیرا بزرگترین تصمیم‌گیری‌ها در اجرای یک پروژه به کارفرما وابسته می‌باشد. در اجرای پروژه متروی کرج بسیاری از تصمیم‌هایی که توسط کارفرما گرفته شده‌است، نظیر خرید تجهیزات، ایجاد روابط با سازندگان قطعات، بررسی تخصص پیمانکاران دست دوم و غیره دارای تاخیر بوده‌اند.

نتایج حاصل از سیستم‌های فازی تخمین‌گر (تحت اوزان روش FAHP و FTOPSIS) نشان می‌دهند که روش شباهت به راه‌حل ایده‌آل فازی نسبت به تاخیرات پروژه‌ها دارای برخوردی سخت‌گیرانه‌تری است، این در حالی است که روش تحلیل سلسله مراتبی نسبت به تاخیرات پروژه‌ها دارای برخوردی خوش‌بینانه‌تری است. این بدان معناست که روش شباهت به راه‌حل ایده‌آل فازی تاخیر پروژه‌ها را به صورت بهینه‌تری پیش‌بینی می‌کند. هم‌چنین سیستم فازی تخمین‌گر تاخیر می‌تواند میزان تاخیر مربوط به پروژه‌های آتی شهر کرج را تخمین زده و تا حد زیادی از اتلاف زمان و هزینه جلوگیری نماید.

مدیریت صحیح زمان، در نظر گرفتن جرایم مالی برای مجریان پروژه و مدیریت ریسک عوامل تاخیر از جمله مواردی هستند که می‌توانند از تاخیرات جلوگیری نمایند.

مراجع

[1] S.A. Assaf, S. Al-Hejji, Causes of delay in large construction projects, International journal of project management, 24(4) (2006) 349-357.

[2] R.F. Aziz, Ranking of delay factors in construction projects after Egyptian revolution, Alexandria Engineering Journal, 52(3) (2013) 387-406.

[3] M. Sambasivan, Y.W. Soon, Causes and effects of delays in Malaysian construction industry, International Journal of project management, 25(5) (2007) 517-526.

[4] M.F. Nagata, W.A. Manginelli, J.S. Lowe, T.J. Trauner, Chapter Eighteen - Delays and the Contract, in: Construction Delays (Third Edition), Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 355-385.

[5] N. Hamzah, M. Khoiry, I. Arshad, N.M. Tawil, A.C. Ani, Cause of construction delay-Theoretical framework, Procedia Engineering, 20 (2011) 490-495.

[6] M.F. Nagata, W.A. Manginelli, J.S. Lowe, T.J. Trauner, Chapter Four - Types of Construction Delays, in: Construction Delays (Third Edition), Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 73-82.

[7] A.H. Al-Momani, Construction delay: a quantitative analysis, International journal of project management, 18(1) (2000) 51-59.

[8] D.W. Chan, M.M. Kumaraswamy, Compressing construction durations: lessons learned from Hong Kong building projects, International journal of project management, 20(1) (2002) 23-35.

[9] G. Sweis, R. Sweis, A.A. Hammad, A. Shboul, Delays in construction projects: The case of Jordan, International Journal of Project Management, 26(6) (2008) 665-674.

[10] W.e. Alaghbari, M. Razali A. Kadir, A. Salim, Ernawati, The significant factors causing delay of building construction projects in Malaysia, Engineering, Construction and Architectural Management, 14(2) (2007) 192-206.

[11] O. Durán, J. Aguilo, Computer-aided machine-tool selection based on a Fuzzy-AHP approach, Expert systems with Applications, 34(3) (2008) 1787-1794.

[12] D. Arditi, S. Nayak, A. Damci, Effect of organizational culture on delay in construction, International Journal of Project Management, 35(2) (2017) 136-147.

[13] R.F. Aziz, A.A. Abdel-Hakam, Exploring delay causes of road construction projects in Egypt, Alexandria Engineering Journal, 55(2) (2016) 1515-1539.

[14] M. Celik, I.D. Er, A.F. Ozok, Application of fuzzy extended AHP methodology on shipping registry selection: The case of Turkish maritime industry, Expert Systems with Applications, 36(1) (2009) 190-198.

[15] H.M. Yazdi, Implementing designer's preferences using fuzzy logic and Genetic Algorithm in structural optimization, International Journal of Steel Structures, 16(3) (2016) 987-995.

[16] L. Wang, J. Chu, J. Wu, Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process, International journal of production economics, 107(1) (2007) 151-163.

[17] B. Nepal, O.P. Yadav, A. Murat, A fuzzy-AHP approach to prioritization of CS attributes in target planning for automotive product development, Expert Systems with Applications, 37(10) (2010) 6775-6786.

[18] H.-S. Shih, H.-J. Shyur, E.S. Lee, An extension of TOPSIS for group decision making, Mathematical and Computer Modelling, 45(7-8) (2007) 801-813.

[19] I. Pm, A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide), in: Project Management Institute, (2000).

[20] S.-J. Chen, C.-L. Hwang, Fuzzy multiple attribute decision making methods, in: Fuzzy multiple attribute decision making, Springer, (1992) 289-486.

[21] M. Cerami, F. Esteva, À. García-Cerdaña, On the relationship between fuzzy description logics and many-valued modal logics, International Journal of Approximate Reasoning, 93 (2018) 372-394.

[22] Deputy of supervision and assesment of projects, Supervison report of national construction porjects of year 2007, Deputy of Management and Planning Organization of Iran, (2007).

Please cite this article using:
E. Mohammadi, H. Mosalman Yazdi, M. R. Mosalman, Delay Determination of Subway Construction Project by Fuzzy MCDM (Case Study, Karaj Subway), *Amirkabir J. Civil Eng.*, 51(1) (2019) 143-156.
DOI: 10.22060/ceej.2018.13974.5524