

ارزیابی پیمانکاران با کمک روش‌های چندمعیاره فازی دارای روابط مستقل و وابسته (مطالعه موردی: پیمانکاران راهبری شرکت قطارهای مسافری رجا)

نسیم نهاوندی^{*}، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
اشرف نوروزی، دانشجوی دکترا، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: n_nahavandi@modares.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۲۰ - پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۰۶

چکیده

به کارگیری فرآیند مناسب برای بهره‌برداری از سوابق تعاملات گذشته با پیمانکاران و بهره‌گیری از آن در روابط آتی، اهمیت زیادی در موفقیت یک سازمان در اجرای فرآیندهای برون‌سپاری شده خود دارد. ساز و کارهای موجود انتخاب پیمانکاران که با دعوت همه شرکت‌های دارای سوابق و مشخصات فنی مورد نیاز و سپس، تنها براساس قیمت پیشنهادی در مناقصه می‌باشد، دشواری‌های فراوانی را برای سازمان‌ها پدید می‌آورد. حال، چنانچه امکان ارزیابی عملکرد گذشته پیمانکاران و دعوت ایشان به مناقصات محدود بر این مبنا فراهم شود، بسیاری از مشکلات فوق مرتفع خواهد گردید. مسئله رتبه‌بندی، یک مسئله تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که در بسیاری موارد، از معیارهای متعدد و پیچیده استفاده کرده و زیرمعیارهای تشکیل‌دهنده آن دارای وابستگی‌های درونی با یکدیگر هستند و این امر، به کارگیری روش‌های استاندارد MADM (که بر مبنای فرض اولیه استقلال معیارها از یکدیگر بنا شده‌اند) را دشوار می‌سازد. هدف تحقیق حاضر، رتبه‌بندی اولیه پیمانکاران حوزه خدمات مسافری ریلی بر مبنای عملکرد گذشته ایشان و بررسی تأثیر روابط درونی بین زیرمعیارها، در این رتبه‌بندی است. این تحقیق اولین نمونه از رتبه‌بندی با زیرمعیارهای وابسته در ایران بوده و نیز برای اولین بار از ترکیب دو تکنیک AHP گروهی و انتگرال فازی برای رتبه‌بندی تحت شرایط فوق استفاده کرده است. طی روش نام برده، از AHP گروهی برای وزن‌دهی اولیه معیارها، از مدل‌سازی ساختاری توصیفی برای بیان ارتباط بین زیرمعیارها و از انتگرال فازی برای بیان عملکرد ترکیبی زیرمعیارها استفاده شده است. نتایج حاصل از اجرای این مدل، (با در نظر داشتن وابستگی‌های درونی) در مقایسه با روش AHP معمول، بیانگر بروز تغییرات در رده‌های میانی بوده و برترین و بدترین شرکت‌ها تحت تأثیر در نظرگیری روابط بین معیارها تفاوت زیادی نکرده‌اند. همچنین نتایج این تحقیق، تأثیر تغییرات معیارهای وابسته بر یکدیگر و بر عملکرد کلی هر شرکت را روشن می‌سازد. مقایسه نتایج حاصل، اطلاعات بسیار ارزشمندی به شرکت‌ها در خصوص نحوه بهبود عملکرد در هر زیرمعیار، به گونه‌ای که بیشترین تأثیر را در عملکرد نهایی داشته باشد، به دست می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب پیمانکار، تصمیم‌گیری چندمعیاره، استقلال، وابستگی، انتگرال فازی غیرتجمعی

۱- مقدمه

سطوح پایین‌تر، پیچیده است. بسیاری از مدل‌های تصمیم‌گیری مرسوم، کمکی به ما در جهت شناسایی روابط درونی بین زیرمعیارها ارائه نمی‌دهند و این امر، بررسی و یافتن راه‌حل مناسب برای مسایل با زیرمعیارهای وابسته به هم را دشوار

مسئله انتخاب پیمانکار، مسئله پیچیده‌ای است که بستگی به معیارهای زیادی دارد که در بسیاری از موارد داده‌هایی غیرقطعی و نادقیق را نیز شامل می‌شوند. همچنین تعداد این معیارها معمولاً متفاوت و روابط بین معیارهای سطوح بالاتر و زیر معیارهای

جدی تر است. از این رو بهتر است علاوه بر در نظر گرفتن مبلغ پیشنهادی پیمانکاران در یک مناقصه، همزمان به امتیازات دیگر آنان که بیشتر جنبه کیفی دارد نیز توجه شود. در همین راستا، راهکاری پیشنهادی که منافاتی با تشریفات قانونی شرکت در مناقصات نداشته باشد، آن است که در مناقصات محدود، سوابق عملکردی و کیفی شرکت‌های مختلف سنجیده شده و با ایجاد رتبه‌بندی اولیه از پیمانکاران، از آنان بر این اساس، برای شرکت در مناقصات محدود دعوت به عمل آید.

در بخش مسافری صنعت حمل و نقل ریلی و در زمینه اجرای فرآیند راهبری قطارها توسط پیمانکاران، تا پیش از این به دلیل نبود رده‌بندی از شرکت‌های پیمانکار راهبری، از همه شرکت‌های دارای الزامات فنی مناسب و سابقه راهبری قطار، برای انجام راهبری قطارهای کلاس‌های مختلف، دعوت به عمل آمده و این امر به دلیل شرکت برخی شرکت‌ها با قیمت بسیار پایین در مناقصه و ایجاد مشکلات بعدی در طی دوره، راهبری قطار و فراهم نکردن سطح کیفی مورد انتظار، باعث بروز مشکلات بعدی شده است. از این رو، طی این تحقیق، تلاش می‌شود تا براساس سوابق عملکردی گذشته شرکت‌ها، رده‌بندی از عملکرد و سوابق آنان به دست آمده و با دعوت از ایشان برای شرکت در مناقصات محدود بر این مبنای، از ورود شرکت‌های با سوابق عملکردی بسیار ضعیف در گذشته برای مناقصات آینده جلوگیری به عمل آید. بنابراین، هدف از این تحقیق، رتبه‌بندی شرکت‌های دارای سابقه راهبری قطارهای مسافری بر مبنای مشخصه‌های سوابق عملکرد کیفی آنها در گذشته است. این سوابق گذشته، موارد مختلفی نظیر نتایج ارزیابی‌های دوره‌ای و روزانه، نرخ شکایات مردمی، کسر خدمات اعمال شده، نحوه مدیریت نیروی انسانی در طی دوره قرارداد و مواردی از این دست را شامل می‌شود. فرض اصلی این تحقیق، تأثیرگذاری مستقیم کلیه معیارهای کیفیت عملکرد پیمانکاران در حوزه‌های مختلف، بر رده‌بندی اولیه آنها است. در این تحقیق، از روش‌های تجزیه و تحلیل چندمعیاره به منظور ارزیابی تأثیرپذیری این معیارها از یکدیگر و نیز سطح تأثیر آنها بر مشخصه کلی کیفیت عملکرد گذشته پیمانکار استفاده شده است. همچنین در این تحقیق فرض شده است، کلیه شرکت‌های پیمانکار راهبری قطارها، دارای قدرت بهره‌گیری از امکانات مناسب، نظیر تأمین تجهیزات مورد نیاز یک دوره

می‌سازد (Feng, Wu and Chia, 2010; Yang, Chiu and Tzeg, 2008). درخصوص روش‌های اجرایی موجود برای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران، باید گفت که این مبحث، یکی از موارد تصمیم‌گیری است که آیین‌نامه‌ها و روش‌های فراوانی برای آن وجود دارد. در ایران، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، وظیفه طبقه‌بندی و تشخیص صلاحیت پیمانکاران را برعهده دارد و در این راستا، آیین‌نامه طبقه‌بندی و تشخیص صلاحیت پیمانکاران را تدوین کرده است. دستگاه‌های اجرایی با استناد به آیین‌نامه برگزاری مناقصات و آیین‌نامه تشخیص صلاحیت پیمانکاران، مناقصه‌های خود را اجرا می‌کنند. به طور کلی، روند موجود به صورت چند مرحله‌ای است و در مرحله نهایی، بهترین پیمانکار با توجه به قیمت پیشنهادی، به عنوان برنده مناقصه اعلام می‌شود.

تحقیقات و فعالیت‌های بسیار گسترده‌ای در زمینه ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران صورت گرفته است. در این راستا، در کشورمان نیز معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، مستنداتی برای ارزیابی پیمانکاران مختلف فراهم کرده و آنها را در پنج پایه تقسیم‌بندی نموده است و ورود هر شرکت پیمانکاری به این عرصه، مستلزم اخذ گواهینامه پیمانکاری از معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری است. علی‌رغم وجود رتبه‌بندی‌های اولیه و آیین‌نامه‌های موجود، در عمل، چنانچه چند پیمانکار که همگی شرایط لازم را برای شرکت در یک مناقصه دارند، بخواهند در مناقصه برنده شوند، صرفاً به قیمت پیشنهادی توجه می‌شود. در ابتدا بررسی اولیه‌ای روی قیمت‌ها انجام شده و قیمت‌های غیرمنطقی کنار گذاشته می‌شوند. سپس از بین قیمت‌های منطقی پیشنهاد شده، پیمانکاری که پایین‌ترین مبلغ را پیشنهاد داده است، انتخاب می‌شود. در حالی که ممکن است پیمانکاری دیگر در همان مناقصه قادر باشد آن پروژه را با کیفیت بهتری انجام دهد، ولی به دلیل تفاوت مبلغ پیشنهادی، رد شده باشد. به این ترتیب، در اغلب موارد امکان انتخاب پیشنهادات ارزان با سطح کیفی پایین‌تر نسبت به سایر شرکت‌کنندگان در مناقصه وجود دارد. به این ترتیب نیاز به ارزیابی اولیه پیمانکاران و مشخصات کیفی عملکرد آنان پیش از مناقصه آشکار می‌شود. این نیاز، به ویژه در مواردی که موضوع پیمان به شکلی غیرملموس و از نوع خدمات باشد، بسیار

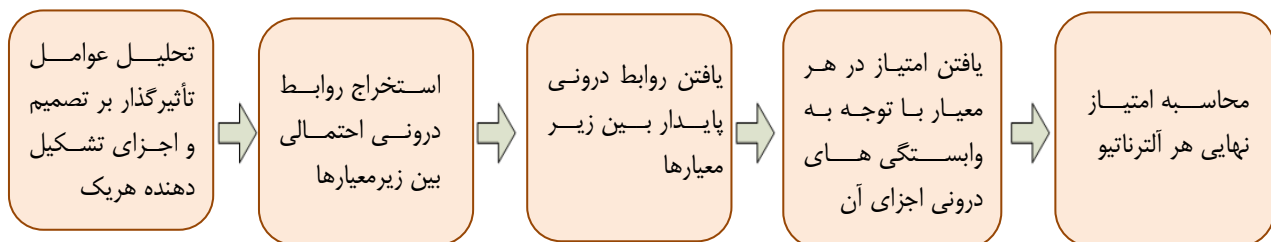
در این تحقیق از ایده اولیه بهره‌گیری از تکنیک ISM^۱ و انتگرال‌فازی برای نگاشت روابط درونی بین زیرمعیارها و محاسبه امتیاز نهایی هر جایگزین با توجه به روابط درونی اجزای آن استفاده شده است. این ایده برای اولین بار طی مقالات Tzeng و همکاران (۲۰۰۵)، Feng و همکاران (۲۰۱۰) و Yang و همکاران (۲۰۰۸) برای این منظور توسعه داده شده است. طی این مقاله با بهره‌گیری از ایده نام برده، برای اولین بار از ترکیب تکنیک‌های AHP گروهی و انتگرال فازی، برای ارزیابی عملکرد آلترناتیوهای مختلف تحت شرایط وابستگی درونی اجزای آنها استفاده شده است. همچنین مقاله حاضر برای اولین بار در ایران، مسئله ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران را با در نظر داشتن روابط درونی بین زیرمعیارهای اصلی مسئله مورد توجه قرار داده است. با توجه به رویکرد روزافزون در کاهش تصدی‌گری دولتی و پیمان‌سپاری فعالیت‌های مختلف، اهمیت این مسئله برای بسیاری از سازمان‌ها و ادارات روشن می‌گردد. نوآوری دیگر این تحقیق، پرداختن به حوزه رتبه‌بندی پیمانکاران در حوزه خدمات می‌باشد که تاکنون طی تحقیقات داخلی به ندرت به آن پرداخته شده است. در این مقاله، از یک تکنیک ترکیبی MCDM استفاده شده است که می‌تواند پاسخی با کیفیت بهتر را به دست دهد. در این تکنیک، از روش AHP گروهی برای وزن‌دهی اولیه به معیارها، تحلیل ساختاری توصیفی (ISM) برای شناسایی روابط درونی بین زیرمعیارها و از انتگرال‌فازی برای محاسبه امتیاز کلی عملکرد در یک معیار، تحت شرایطی که اجزای تشکیل‌دهنده آن معیار دارای استقلال از یکدیگر نمی‌باشند، استفاده شده است. به این ترتیب، ساختار کلی مراحل این تحقیق را می‌توان به صورت گام‌های زیر تصویر کرد.

در ادامه و طی بخش ۳، تکنیک مورد استفاده در هر مرحله و جزئیات شیوه اجرای آن به تفصیل معرفی شده است.

راهبری، عقد قرارداد با کارگاه‌های پشتیبانی و سایر الزامات مورد نیاز هستند (وجود این شرایط برای ورود شرکت‌ها به فرآیند پذیرش پیمانکاری الزامی می‌باشد). همچنین فرض دیگر وجود شرایط مشابه در بهره‌برداری از قطارهای مسیره‌های مختلف می‌باشد. به عبارت دیگر، از تفاوت‌های ممکن موجود در شرایط راهبری قطارها در مسیره‌های مختلف و فرهنگ‌های متفاوت مسافران صرف‌نظر شده است.

بررسی سوابق مختلف کیفی و کمی عملکرد پیمانکاران مختلف و رتبه‌بندی آنها براساس مجموع امتیازات معیارهای مختلف، یک مسئله برنامه‌ریزی چندمعیاره است. مسئله انتخاب پیمانکار به طور گسترده‌ای در ادبیات مورد مطالعه قرار گرفته و به عنوان یکی از مسایل شناخته‌شده در حوزه تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه^۱ (MCDM) شناخته می‌شود (Lin et al., 2009). مقالات مختلف، تکنیک‌های مختلف MCDM را برای حل این مسئله به کار برده‌اند که از جمله آنها می‌توان به فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۲ AHP، تحلیل پوششی داده‌ها^۳ (DEA)، فرآیند تحلیل شبکه‌ای^۴ (ANP) و انواع رویکردهای مبتنی بر نظریه فازی اشاره کرد (Chen, Lin, and Huang, 2006; Ha and Krishnan, 2008; Lee, 2009; Onut, Kara, and Isik, 2009; Shyur and Shih, 2006; Wu and Lee, 2007; Wu et al., 2009; Yang, Chiu, and Tzeng, 2008).

انواع مختلف تکنیک‌های MCDM برای رویکرد به مسئله انتخاب پیمانکار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این وجود اغلب تکنیک‌های MCDM مبتنی بر فرض اولیه استقلال معیارها از یکدیگر بوده و زمانی که معیارها دارای وابستگی درونی و عدم استقلال از یکدیگر باشند، ممکن است جواب‌هایی نادرست و غیردقیق به دست دهند (Feng, Wu and Chia, 2010; Yang, Chiu and Tzeg, 2008).



شکل ۱. مراحل پیشنهادی اجرای تحقیق

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱- پیشینه تحقیق

در زمینه مطالعه ارزیابی و انتخاب پیمانکاران با کمک روش‌های چندمعیاره، مطالعات فراوانی صورت گرفته است. از دهه ۶۰ که Dikson (۱۹۶۰)، ۲۳ معیار مختلف را برای مسئله انتخاب تأمین کننده، ارائه کرده است تا به حال، روش‌های زیادی بیان شده است. از بین روش‌های ارائه شده، روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه و چندمعیاره به ویژه AHP، برای این منظور به طور گسترده‌ای به کار رفته است.

با توجه به کیفی بودن برخی از پارامترهای ارزیابی و اخذ نظرات خبرگان به صورت متغیرهای کلامی، در بسیاری موارد از روش‌های فازی برای بیان عدم قطعیت موجود در پاسخ‌های خبرگان بهره گرفته شده است. به عنوان مثال Mikhailov (۲۰۰۲)، روش AHP فازی را برای تعیین وزن هر معیار و امتیازدهی به گزینه‌ها، مورد استفاده قرار داده است.

Kumar و Shankar (۲۰۰۴)، یک مسئله برنامه‌ریزی آرمانی فازی را برای حل مسئله ترکیبی پیمانکار با سه تابع هدف مورد استفاده قرار داده است. همچنین Biruk, Jaskowski و Bucon (۲۰۱۰) نیز در فرآیند تصمیم‌گیری جمعی در خصوص انتخاب پیمانکار، پیشنهاد کاربرد روش AHP فازی را برای انتخاب وزن‌های مشخصه‌های ارزیابی، ارائه کرده اند.

Holt (۲۰۰۹)، در مقاله مروری خود روی مقالات منتشر شده طی دو دهه اخیر (از ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹)، در خصوص مسئله انتخاب پیمانکار، معیارهای مورد ارزیابی، نحوه سنجش و تأثیرات متقابل آنها بر یکدیگر را یکی از موضوعات کلیدی مورد توجه در این حوزه معرفی کرده است. این درحالی است که در زمینه در نظرگیری روابط درونی میان معیارهای تصمیم‌گیری در مطالعات داخلی، تاکنون تحقیق چندانی صورت نگرفته است و به طور عموم، بررسی‌ها تنها در سطح ارزیابی سطح تأثیر مؤلفه‌های گوناگون بر متغیر هدف، مورد ارزیابی با شیوه‌های مختلف و نه بررسی تأثیر وابستگی درونی این معیارها برهم در مدل بوده است. به عنوان مثال سمیع‌زاده و همکاران (۱۳۸۷)، از روش تحلیل مسیر برای بررسی تأثیرگذاری اولیه متغیرهای مدل بر

مسئله هدف بهره برده و یا بهبهانی و همکاران از الگوریتم TOPSIS برای استخراج میزان تأثیرگذاری هر یک از مؤلفه‌های شناسایی شده بر هدف مسئله استفاده کرده‌اند.

یکی از مرسوم‌ترین شیوه‌های برخورد با وابستگی بین معیارها، کاربرد روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای در نظرگیری وابستگی درونی و بازخورد میان معیارها می‌باشد. استفاده از این روش برای در نظرگیری روابط متقابل بین معیارها در بسیاری مقالات به چشم می‌خورد که از جمله آنها می‌توان به Shyur و Shih (۲۰۰۶)، Lin و همکاران (۲۰۱۰) و Kuo و Liang (۲۰۱۱) اشاره کرد. Zavadskas و همکاران (۲۰۰۹)، نیز برای حل این مسئله، روشی مبتنی بر اعداد خاکستری را توسعه داده‌اند. یکی از رویکردهای جدید در برخورد با این مسئله، مدل‌سازی روابط درونی از طریق تکنیک مدل‌بندی ساختاری توصیفی (ISM) و محاسبه امتیازات نهایی با کمک انتگرال فازی است که بهره‌گیری از خاصیت غیرجمعیتی آن، کاربرد آن را در بررسی معیارهای مؤثر بر یکدیگر، مناسب می‌سازد. در ادامه و در بخش ۲-۲، به تفصیل به بحث در این خصوص پرداخته می‌شود. یکی دیگر از مسایل مطرح شده در زمینه انتخاب پیمانکار، معیارهای مناسب برای ارزیابی می‌باشد. Mohapatra و Padhi (۲۰۰۹)، نیز برای ارزیابی پیمانکاران سه عامل زمان پیشنهادی برای تکمیل یک پروژه، مدت‌زمان ضمانت نتایج و امتیاز عملکرد گذشته پیمانکار را پیشنهاد کرده‌اند. ایشان در مقاله خود برای در نظر گرفتن همزمان مشخصه‌های کمی و کیفی مرتبط با عملکرد گذشته، از روش فازی چند متغیره استفاده نموده‌اند. Boran و همکاران (۲۰۰۹)، نیز از ترکیب روش TOPSIS با روش وزنی برای ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران براساس شاخص‌های مختلف استفاده کردند.

درویش و همکاران (۲۰۰۹)، نیز در تحقیق خود در رتبه‌بندی پیمانکاران از رویکردی مبتنی بر گراف برای بیان اهمیت نسبی مؤلفه‌ها بر یکدیگر و تأثیر آنها بر یکدیگر در روند انتخاب استفاده کرده‌اند. به طور کلی، مطالعه و ارزیابی پیمانکاران از طریق فرآیند تجزیه و تحلیل چندمعیاره سابقه‌ای بسیار قدیمی در ادبیات دارد و در هر مطالعه‌ای بسته به شرایط خاص مورد مطالعاتی و زمینه همکاری شرکت پیمانکار، از معیارهای کمی و

ارزیابی پیمانکاران با کمک روش‌های چند معیاره فازی دارای روابط مستقل ...

پیشنهادات اجرایی شرکت‌ها نظیر برآورد زمان اجرا و ... است. به عبارت دیگر تحقیقاتی که به موضوع ارزیابی اولیه پیمانکاران و رده‌بندی آنها اختصاص داشته باشند، در مقایسه با تحقیقات مرتبط موجود با ارزیابی پیمانکاران در زمان برگزاری مناقصه بسیار محدودتر خواهد بود. یک رویکرد قابل اجرا در این زمینه، بررسی کلیه سوابق موجود از تعاملات گذشته شرکت‌های پیمانکار یا سوابق مشابه دیگر آنها است.

کیفی مختلفی برای این ارزیابی استفاده شده است. جدول زیر خلاصه‌ای از مطالعات در این زمینه، معیارهای به کار برده شده در ارزیابی پیمانکار و رویکرد مدل‌سازی مورد استفاده در هر زمینه را بیان می‌کند. نکته قابل توجه در این جدول، کاربرد فراوان انواع روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره و نیز کاربرد روش فازی در ارزیابی و وزن دهی به شاخص‌های کیفی می‌باشد. همچنین همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در اکثر مطالعات، ارزیابی پیمانکاران به شکل ترکیبی از قیمت پیشنهادی مناقصه و سایر

جدول ۱. شیوه‌های مدل‌سازی و معیارهای مورد بررسی در حل مسایل رتبه‌بندی پیمانکاران در تحقیقات مختلف

نویسنده	کشور	مشخصه‌های مورد بررسی	شیوه مدل‌سازی
Deng (۱۹۹۹)	استرالیا	قیمت پیشنهادی، قابلیت‌های تکنولوژیک	تجزیه و تحلیل چندمعیاره فازی
Hauber و Missbauer (۲۰۰۶)	استرالیا	قیمت پیشنهادی	برنامه‌ریزی عدد صحیح
Wang, Lai, Liu (۲۰۰۴)	چین	ساختار سازمانی پیمانکار حسن شهرت قیمت پیشنهادی	تجزیه و تحلیل چندمعیاره
Lamboropolous (۲۰۰۷)	یونان	قیمت پیشنهادی کیفیت کاری گذشته برآورد زمان اجرا	تجزیه و تحلیل چندمعیاره
Kumaraswamy (۱۹۹۶)	هنگ کنگ	وضعیت مالی تکنولوژی مورد استفاده تجربه در پروژه‌های مشابه	رتبه‌بندی بر مبنای عملکرد
Mohapatra, Padhi (۲۰۰۹)	هند	قیمت پیشنهادی وضعیت مالی منابع در دسترس حجم کار مشابه قبلی سطح همکاری و هماهنگی	تجزیه و تحلیل چندمعیاره فازی
Biruk, Jaskowski Bucon (۲۰۱۰)	لهستان	زمان اجرا کیفیت کاری هزینه برآورد شده	تجزیه و تحلیل چندمعیاره فازی

۲-۲- معرفی برخی مفاهیم به کار گرفته شده

در این تحقیق

AHP گروهی در وزن دهی به معیارهای مختلف

فرآیند تحلیل سلسه مراتبی AHP، یکی از معروفترین فنون تصمیم گیری چندمنظوره است که اولین بار توسط ساعتی معرفی شده است (Saaty, 1980). اساس این روش بر مبنای مقایسات زوجی قرار گرفته است که طی آن اهمیت معیارها در مقایسه با یکدیگر مشخص می شود (قدسی پور، ۱۳۸۱).

در خصوص کاربرد AHP در تصمیم های گروهی، تا کنون تحقیقات فراوانی صورت پذیرفته است. در فرآیند تصمیم گیری گروهی به اندازه تعداد تصمیم گیرندگان، ماتریس مقایسات زوجی داریم. یکی از روش های رویکرد به این مسئله، رسیدن به اجماع نظر در خصوص هر مؤلفه می باشد که از جمله معروفترین روش های مورد استفاده در این زمینه، می توان به روش دلفی اشاره کرد که طی آن برای رسیدن به یک اجماع نظر گروهی، میان خبرگان در زمینه موضوع مورد بررسی، تلاش می شود.

این کار از طریق ارایه بازخورد به خبرگان و ارسال مجدد پرسشنامه به ایشان صورت می پذیرد. به عنوان مثال در این زمینه می توان به تحقیق صفارزاده و همکاران (۱۳۸۶)، اشاره کرد که این روش تصمیم گیری گروهی را در شناسایی معیارهای موثر در اولویت بندی مقاطع تصادف خیز به کار برده اند. شیوه دیگر برای رویکرد به این مسئله، تصمیم گیری هر یک از اعضا به صورت فردی و سپس تلفیق نتایج حاصل می باشد که از جمله معروفترین تکنیک های مورد استفاده در این زمینه، بهره گیری از میانگین هندسی نظرات اعضای گروه است. با توجه به این نکته که مقایسات زوجی، خود داده ای به صورت نسبت بین مؤلفه هاست، مناسب بودن میانگین هندسی برای بیان متوسط نظرات اعضای گروه آشکار می شود.

معرفی تکنیک ISM برای بررسی و نگاشت روابط بین زیرمعیارها

در یک سیستم کاملاً وابسته، تمامی زیرمعیارها به یکدیگر به شکل دوه دو (مستقیم یا غیرمستقیم) وابسته هستند. بنابراین، هرگونه تغییر مقدار برای یک زیرمعیار بر کلیه معیارهای دیگر اثر می گذارد. برای مشخص کردن این روابط درونی برای

زیرمعیارهای یک معیار، معمولاً ماتریس دسترسی پذیری^۶ از ماتریس مجاورت^۷ حاصل می شود. این کار با افزودن یک ماتریس یک به ماتریس دسترسی پذیری و سپس محاسبه توان های متوالی آن (تاجایی که نتیجه این به توان رساندن ها تغییری در نتیجه محاسبه ماتریس ایجاد نکند)، ادامه می یابد.

برای زیر معیارهای یک معیار اصلی i ، ماتریس مجاورت (یا ماتریس وابستگی) توسط ارزیابی کننده M_p به شکل زیر تعریف می شود:

$$A = \begin{matrix} & C_{i1} & C_{i2} & \dots & C_{it} \\ \begin{matrix} C_{i1} \\ C_{i2} \\ \vdots \\ C_{it} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & e_{12}^p & \dots & e_{1t}^p \\ e_{21}^p & 0 & \dots & e_{2t}^p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{t1}^p & e_{t2}^p & \dots & 0 \end{bmatrix} & , & p = 1, \dots, P \end{matrix} \quad (1)$$

(Feng et al., 2010)

که در آن e_{pp}^p بیانگر ارزش وابستگی زیرمعیار i به i بیان شده توسط ارزیاب M_p می باشد. به عبارت دیگر، چنانچه شخص نظردهنده، زیرمعیار C_{ij} را تأثیرگذار بر مقدار C_{ij} بداند، آن گاه $e_{ij}^p = 1$ و در غیراین صورت $e_{ij}^p = 0$ خواهد بود. به منظور در نظر گرفتن نظر کلیه ارزیابی کنندگان از روش MOD برای محاسبه مقدار هر عنصر، ماتریس فوق استفاده می شود (چنانچه نظر اکثر پاسخگویان یک باشد، مقدار عنصر عدد یک و در غیر این صورت مقدار آن صفر خواهد بود). پس از آن از روی ماتریس مجاورت ماتریس دسترسی پذیری به شکل زیر تعریف می شود:

$$T = (A + I) \quad (\text{Feng, Wu and Chia, 2010}) \quad (2)$$

پس از آن، زمانی که $T^l = T^{l+1}, l > 1$ شود، توقف می کنیم. در این روابط I ماتریس یکبه و l برابر، تعداد دفعاتی است که ماتریس T باید در خود ضرب شود تا T^l به صورتی پایا و بدون تغییر در ضرب های متوالی باقی بماند.

روابط و سلسله مراتب وابستگی بین زیر معیارها می توانند به وسیله روابط بالا محاسبه شوند. به عنوان مثال، تصور کنید که زیر معیار i ام از چهار زیر معیار $C_{i1}, C_{i2}, C_{i3}, C_{i4}$ تشکیل شده باشد. مقادیر ماتریس همسایگی A که روابط بین زیر معیارها را بررسی می کند به صورت زیر ارزیابی شده است. بنابراین، کافی است این ماتریس به ماتریس یکبه افزوده شود تا ماتریس دسترسی را ایجاد کند.

مجموع اهمیت تک تک اعضای آن باشد، بدان معناست که فزونی^۹ اطلاعاتی بین آن زیرمعیارها وجود دارد (نوعی از هم‌پوشانی بین آنها را نشان می‌دهد). از سوی دیگر چنانچه اهمیت کل مجموعه بزرگ‌تر از مجموع اهمیت اعضای آن باشد، بدان معناست که این معیارها اثر یکدیگر را تقویت می‌کنند. از انتگرال‌های فازی در مقالات متعددی برای ارزیابی چندمعیاره در مواردی که معیارها دارای اثرات درونی و وابستگی به یکدیگر هستند، استفاده شده است که نمونه آن تحقیقات Yang و همکاران (۲۰۰۸)، Tzeng و همکاران (۲۰۰۵) و Wu, Feng و Chia (۲۰۱۰) هستند. مفهوم انتگرال فازی توسط Sugeno (۱۹۷۷) برای اولین بار معرفی شده است. سنجه فازی λ بر اساس تعریف سوگنو توسط پارامتر λ محدود شده است که توصیف کننده درجه جمع‌پذیری بین المان‌های مختلف است. درجه اهمیت مجموعه‌های وابسته از معیارها می‌تواند توسط انتگرال فازی تعیین شود و سپس با کمک روش انتگرال فازی می‌توان نتیجه ارزیابی آترناتیو در مورد معیارهای فوق را به دست آورد. در ادامه، توضیح مختصری در خصوص سنجه‌های فازی داده و سپس نحوه کاربرد آنها در محاسبه وزن زیرمجموعه‌های وابسته در انتگرال فازی بیان می‌شود.

• اندازه فازی:

گاهی به دلیل کمبود اطلاعات و شواهد، خطای اندازه‌گیری و نادقیقی‌هایی در تخصیص یک عدد به تعدادی از مجموعه‌های غیرفازی وجود دارد. برای مدل‌سازی این نادقیقی‌ها می‌توان عددی را از بازه $[0,1]$ به هر مجموعه غیرفازی نسبت داد که میزان شهود، اعتقاد و یقین را اندازه‌گیری می‌کند که آن عنصر ممکن است به آن مجموعه تعلق داشته باشد، این نوع نمایش از نایقینی را اندازه فازی می‌گویند (منهاج، ۱۳۸۸). بنابراین، اندازه فازی یک تابع مجموعه‌ای به شکل رابطه ۵ (منهاج، ۱۳۸۸) است:

$$g: P(X) \rightarrow [0,1] \quad (5)$$

با این مقدمه، حال فرض کنید مجموعه $X = \{x_1, x_2, \dots, x_t\}$ مجموعه‌ای متناهی از معیارهاست و $P(X)$ مجموعه قدرت X روی همه زیرمجموعه‌های ممکن X است. سنجه فازی g بر روی مجموعه معیارهای X به شکل تابعی به صورت $g: P(X) \rightarrow [0,1]$ تعریف می‌شود که دارای ویژگی‌های اشاره شده در صفحه بعد خواهند بود.

$$A = \begin{matrix} & C_{i1} & C_{i2} & C_{i3} & C_{i4} \\ \begin{matrix} C_{i1} \\ C_{i2} \\ C_{i3} \\ C_{i4} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & & & \end{matrix} \quad \text{و} \quad T = A + I = \begin{matrix} & C_{i1} & C_{i2} & C_{i3} & C_{i4} \\ \begin{matrix} C_{i1} \\ C_{i2} \\ C_{i3} \\ C_{i4} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & & & \end{matrix} \quad (\text{Feng, Wu and Chia, 2010}) \quad (3)$$

توجه کنید که ماتریس دسترس‌پذیری توسط عملگرهای جمع و ضرب بولی محاسبه شده است. یعنی:

$$(1 * 1 = 1, 1 * 0 = 0 * 1 = 0, 0 * 0 = 0, 1 + 1 = 1, 1 + 0 = 0 + 1 = 1, \text{ and } 0 + 0 = 0).$$

این ماتریس در توان دوم خود به حالت پایا می‌رسد.

$$T = (A + I)^2 = \begin{matrix} & C_{i1} & C_{i2} & C_{i3} & C_{i4} \\ \begin{matrix} C_{i1} \\ C_{i2} \\ C_{i3} \\ C_{i4} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1^* \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1^* \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & & & \end{matrix} \quad (\text{Feng, Wu and Chia, 2010}) \quad (4)$$

در اینجا * به معنای رابطه مشتق شده‌ای است که در ماتریس اولیه یعنی $A+I$ مشاهده نمی‌شود.

- ارزیابی آترناتیوها در مورد معیارهای وابسته به هم با کمک اندازه فازی و انتگرال فازی

همان‌گونه که بیان شد، زمانی که معیارهای ارزیابی کننده یک آترناتیو دارای روابط درونی و وابستگی به یکدیگر باشند، نمی‌توانند توسط سنجه‌های معمول دارای خاصیت جمعی^{۱۰} بیان شده و ارزیابی گردند. بنابراین، در این گونه موارد بهتر است معیارهای فوق توسط سنجه‌های فاقد خاصیت جمعی بیان شوند. از این رو، مدل‌سازی با کمک روش انتگرال فازی که طی آن فرض خاصیت جمعی و استقلال معیارها از یکدیگر ضروری نمی‌باشد، برای این منظور کاملاً مناسب است. این متدولوژی اجازه مدل‌سازی منعطف اهمیت معیارها را با توجه به وابستگی آنها فراهم می‌کند. در واقع انتگرال‌های فازی براین اساس بنا شده‌اند که درجه‌ای از اهمیت را به هر زیرمجموعه از معیارها (و نه تنها هر تک معیار) ارایه کنند. درجه اهمیت داده شده به این مجموعه، الزاماً برابر با مجموع درجه اهمیت اعضای آن نیست. به این ترتیب که چنانچه اهمیت کل زیر مجموعه مزبور کمتر از

شرط مرزی: اختیار داشتن مقدار λ می توان ضریب اهمیت مجموعه A را از روابط فوق محاسبه کرد.

$$g_{ir}(\emptyset) = 0, \quad g_{ir}(X) = 1, \quad (6) \text{ (منهاج, ۱۳۸۸)}$$

خاصیت یکنوایی: حال برای سادگی فرض کنید $G(\lambda)$ نشان دهنده $\prod_{i=1}^n (1 + \lambda \cdot g_i)$ باشد. بنابراین، نقطه تقاطع چندجمله‌ای $G(\lambda)$ و خط $\lambda + 1$ تعیین کننده مقدار λ است که از روی تابع $F(\lambda)$ تخمین زده می شود:

$$\text{if } A, B \subset P(X) \text{ and } A \subset B, \text{ then } g_{ir}(A) \leq g_{ir}(B). \quad (7) \text{ (منهاج, ۱۳۸۸)}$$

$$F(\lambda) = \prod_{i=1}^n (1 + \lambda \cdot g_i) - \lambda - 1 = G(\lambda) - \lambda - 1 \quad (11) \text{ (Tzeng et al., 2005)}$$

خاصیت پیوستگی: چنانچه مجموعه X نامتناهی باشد، لازم است ویژگی پیوستگی نیز برای آن برقرار باشد $\{A_i\}$ توالی افزایشی از زیر مجموعه‌های ممکن است (منهاج، ۱۳۸۸):

$$\lim_{i \rightarrow \infty} g(A_i) = g\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i\right) \quad (8)$$

از آنجا که $G(\lambda)$ تابعی محدب از λ در بازه $(-1, \infty)$ است (Tzeng, et al., 2005)، $F(\lambda)$ نیز تابعی محدب خواهد بود. فرض کنید یکی از پاسخ‌های $F(\lambda) = 0$ همواره $\lambda = 0$ باشد، حال مقداری از λ که مقدار کمینه عبارت دوم (ضریب λ) در رابطه زیر را به دست دهد، تعیین کننده مقدار λ می باشد.

سوگنو (۱۹۷۷) برای سهولت در اندازه‌گیری سنجه فازی g ، اصل زیر را به سه خاصیت دیگر سنجه‌های فازی افزوده است که اجازه می‌دهد تا بتوان $g(A)$ را از روی $\{g(\{x\}) | x \in A\}$ محاسبه کرد:

$$F(\lambda) = \lambda(-1 + \sum_{i=1}^n g_i + \lambda \sum_{i_1=1}^{n-1} \sum_{i_2=i_1+1}^n g_{i_1} g_{i_2} + \dots + \lambda^{n-1} g_1 g_2 \dots g_n) \quad (12) \text{ (Tzeng et al., 2005)}$$

$$g(A \cup B) = g(A) + g(B) + \lambda \cdot g(A) \cdot g(B) \text{ for some } \lambda > -1 \quad (9) \text{ (Tzeng et. al., 2005)}$$

انتگرال فازی:

برحسب مقدار لاند، انواع اندازه سوگنو از هم قابل تشخیص هستند:

حالت اول: اگر $\lambda > 0$ باشد، یعنی $g_r^\lambda(A \cup B) > g_r^\lambda(A) + g_r^\lambda(B)$ اثر ضربی^{۱۰} هستند.

تعریف زیر توسط Sugeno و Murofushi (۱۹۹۳) بیان شده است و به دلیل استفاده آن از نظریه ظرفیت معرفی شده توسط Choquet، به نام انتگرال Choquet معروف شده است:

حالت دوم: اگر $\lambda = 0$ باشد، یعنی $g_r^\lambda(A \cup B) = g_r^\lambda(A) + g_r^\lambda(B)$ به معنای آن است که A و B دارای اثر جمعی^{۱۱} هستند.

$$\int h \cdot dg := \sum_{i=1}^n (h(x_i) - h(x_{i-1})) \cdot g(A(i)) \quad (13) \text{ (Yang, Chiu and Tzeng, 2008)}$$

حالت سوم: اگر $\lambda < 0$ باشد، یعنی $g_r^\lambda(A \cup B) < g_r^\lambda(A) + g_r^\lambda(B)$ به معنای آن است که A و B دارای اثر جانشینی^{۱۲} هستند.

انتگرال فازی h روی ضرایب وزنی مجموعه‌های A_i بیانگر ارزیابی کلی آلترناتیو با در نظر داشتن وابستگی‌های درونی نسبی بین زیرمعیارها بیان شده توسط سنجه λ است.

در حالت عمومی و تعمیم داده شده رابطه فوق، چگالی فازی به شکل $g_r^\lambda = g_r^\lambda(\{x_r\})$ برای هر زیرمعیار، می‌تواند از رابطه زیر محاسبه شود:

تابع h ، بیانگر امتیاز هر آلترناتیو در مورد زیرمعیار i ام می‌باشد. این تابع را به عنوان یک تابع مجموعه تعریف شده روی فضای قابل اندازه‌گیری (X, \mathfrak{K}) در نظر بگیرید و فرض کنید $h_{i,j}(x_1) \geq h_{i,j}(x_2) \geq \dots \geq h_{i,j}(x_t)$ در آن $i=1, 2, \dots, n$ و $j=1, 2, \dots, m$ هستند. حال نمایش بصری از انتگرال فازی فوق را می‌توان به صورت رابطه ۱۱ نمایش داد:

$$g_r^\lambda(\{x_1, x_2, \dots, x_t\}) = \sum_{r=1}^t g_r^\lambda + \lambda \sum_{r=1}^{t-1} \sum_{r'=r+1}^t g_r^\lambda g_{r'}^\lambda + \dots + \lambda^{t-1} g_1^\lambda g_2^\lambda \dots g_t^\lambda = \frac{1}{\lambda} \left| \prod_{r=1}^t (1 + \lambda g_r^\lambda) - 1 \right| \quad (10)$$

که در آن g^i اهمیت زیرمعیار i ام است. $g(A) = g(x_1, \dots, x_n)$ نیز اهمیت مجموعه زیرمعیارهای A تا i است. به این ترتیب با در

که در آن:

$$H_1 = \{x_1\}, H_2 = \{x_1, x_2\}, \dots, H_t = \{x_1, x_2, \dots, x_t\}$$

است.

به این ترتیب $h(x_i)$ میزان ارزیابی معیار i توسط آلترناتیو و g اندازه فازی است که درجه تأثیر آن شاخص را در ارزیابی نشان می‌دهد. به عنوان مثال $g(\{x_1\})$ درجه‌ای است که میزان تأثیر معیار i را برای تصمیم‌گیری می‌سنجد و $g(\{x_1, x_2\})$ میزانی را به ما می‌دهد که نشان می‌دهد دو معیار ۱ و ۲ تا چه میزان هم‌زمان در انتخاب آلترناتیوها و تصمیم‌گیری نقش دارند.

به این ترتیب، با محاسبه عدد فازی λ برای زیرمعیارهای دارای ارتباط درونی با یکدیگر، می‌توان مقادیر $g\{x_1, \dots, x_i\}$ را محاسبه و سپس با کمک آن و از طریق محاسبه عملکرد فازی زیرمعیارها، نمره عملکرد هر پیمانکار را در مورد هر معیار اصلی محاسبه کرد. از نتایج به دست آمده برای محاسبه امتیاز کلی هر پیمانکار در مورد معیارهای اصلی استفاده شده و در نهایت می‌توان نتایج به دست آمده از این روش (با در نظرگیری وابستگی درونی زیرمعیارهای هر معیار اصلی) را با نتایج حاصل از روش دوم (بدون در نظرگیری وابستگی‌های فوق) مقایسه کرد.

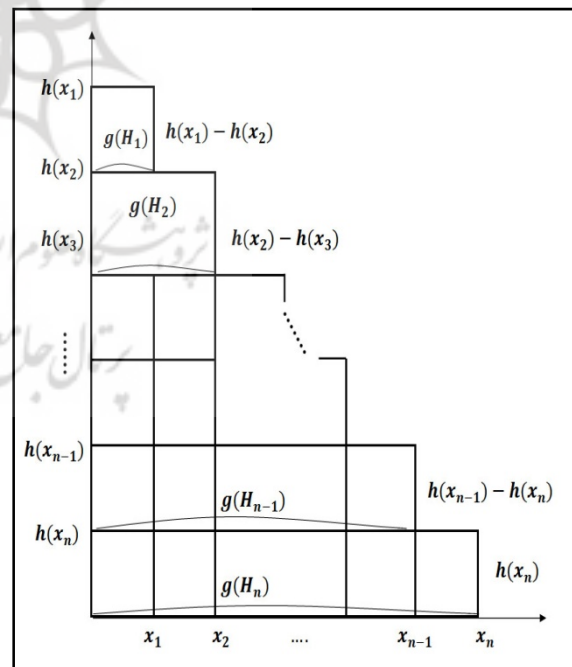
۳- روش تحقیق

شکل ۳ تکنیک مورد استفاده در هر یک از مراحل و گام‌های پیشنهادی برای اجرای این تحقیق که پیش از این در بخش ۱ معرفی شد را نشان می‌دهد:

همان‌گونه که در شکل فوق نمایش داده شده است، اجرای این تحقیق، طی ۵ گام اصلی صورت پذیرفته است. در ابتدا و طی گام اول، از روش AHP گروهی برای تعیین سطح اهمیت معیارهای اصلی و زیرمعیارهای تشکیل دهنده آنها از نظر تصمیم‌گیرندگان استفاده شده است. در مرحله دوم به منظور استخراج و ترسیم روابط درونی بین زیرمعیارها با استفاده از تکنیک مدل‌بندی ساختاری توصیفی (ISM) روابط بین زیرمعیارهای مختلف و سطوح وابستگی این زیرمعیارها به یکدیگر سنجیده شده است و سپس از این روابط درونی و ماتریس دسترسی‌پذیری توصیف‌کننده آنها برای اصلاح ضرایب اهمیت هر زیرمعیار در مقایسه با سایر زیرمعیارها استفاده شده است. روش مورد کاربرد در این مقاله طی گام‌های ۲ و ۳ بر اساس مدل توسعه داده شده توسط (Feng and Wu Chia, 2010) می‌باشد.

در ادامه و طی گام سوم براساس مدل پیشنهادی توسط (Feng and Wu Chia, 2010)، ضرایب اهمیت معیارها (به دست آمده از مرحله قبل) برای رسیدن به ماتریس پایدار ضرایب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

طی گام چهارم با کمک تکنیک انتگرال فازی، نمره عملکرد هر آلترناتیو در هر معیار اصلی با توجه به روابط درونی و نمرات اخذ شده در معیارهای فرعی تشکیل‌دهنده آن معیار، محاسبه می‌شود. استفاده از این تکنیک و کاربرد آن در مسایل MADM به منظور محاسبه امتیاز حاصل از معیارهای دارای وابستگی اولین بار توسط (Yang Chiu and Tzeng, 2008) توسعه داده شده است و در نهایت طی مرحله پنجم با در اختیار داشتن نمره نهایی عملکرد هر پیمانکار در هر یک از معیارهای اصلی (به دست آمده از مرحله قبل) و ضرایب اهمیت آنها (به دست آمده از نتایج AHP گروهی مرحله ۱)، مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در ادامه و در بخش ۴، هریک از این ۵ مرحله پیشنهادی و شیوه اجرای آن در مورد مطالعاتی به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. برای ایجاد رتبه بندی مورد نظر سوابق عملکرد شرکت‌های پیمانکار در زمینه‌های مختلف براساس انواع داده‌های در دسترس



شکل ۲. نمای شماتیک محاسبه انتگرال فازی برای یک آلترناتیو

(Yang, Chiu and Tzeng, 2008)

به تعدادی زیرمعیار که عملکرد شرکت پیمانکار را در جنبه‌های گوناگون ارزیابی نشان می‌دهد، تقسیم‌بندی می‌شود: آلترناتیوهای مختلف موجود در این مسئله ۱۲ شرکت پیمانکار هستند که همگی دارای سابقه قبلی در امر راهبری قطار به مدت بیش از یک سال هستند. نتایج ارزیابی هر یک از آلترناتیوهای مختلف موجود در این مسئله برای هر یک از این شرکت‌ها براساس سوابق عملکرد یک ساله این شرکت‌ها از مورخ ۸۸/۶/۱ لغایت ۸۹/۶/۱ مورد بررسی قرار گرفته است.

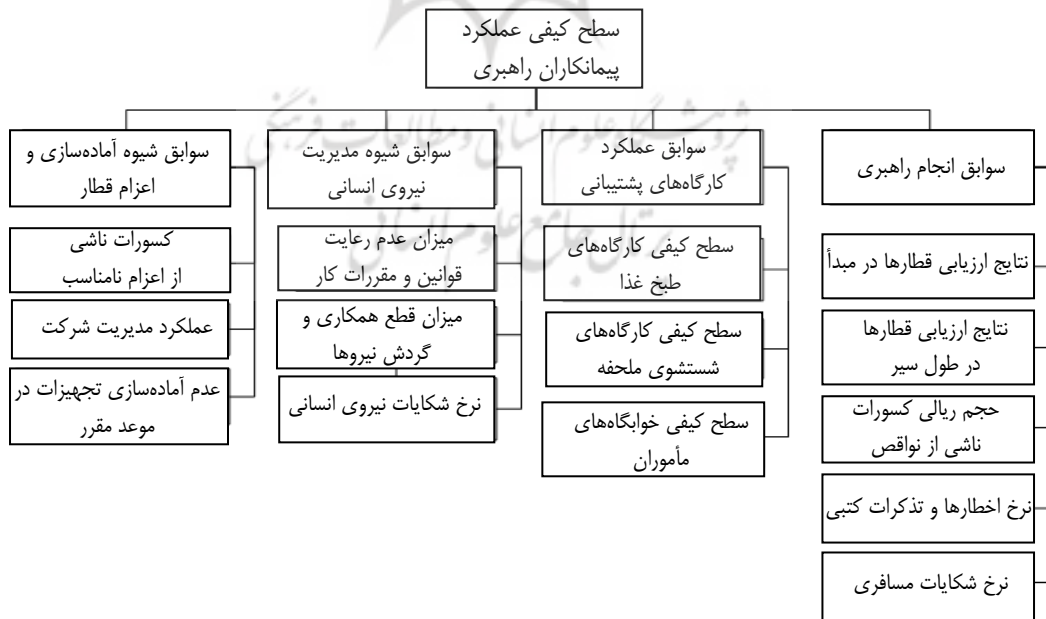
طی این تحقیق از نظرات ۵ نفر از مدیران حوزه اجرایی شرکت، برای تصمیم‌گیری در خصوص پارامترهای کیفی با کمک روش AHP گروهی استفاده شده است. در خصوص پارامترهای کمی نظیر حجم ریالی کسورات و جرایم ریالی، نرخ شکایات مسافری، نرخ شکایات و ... نیز که بخش بزرگی از معیارهای مندرج در شکل ۴ را تشکیل می‌دهند، از مستندات ثبت شده در سیستم و استخراج سوابق موجود از عملکرد شرکت‌های پیمانکار استفاده شده است.

در خصوص عملکرد گذشته آنها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین به منظور شناسایی معیارهای تأثیرگذار و سطح اهمیت هر یک از آنها، روابط درونی بین این معیارها و ساختار این روابط، از مصاحبه با تعدادی از مدیران سطوح عملیاتی شرکت استفاده شده است. داده‌های موجود در خصوص سوابق عملکرد گذشته پیمانکاران راهبری در ۴ محور اصلی زیرمورد توجه قرار گرفته است:

- سوابق عملکردی شرکت در انجام امر راهبری قطار؛
 - سوابق عملکردی شرکت در انتخاب و همکاری با کارگاه‌های پشتیبانی؛
 - سوابق عملکردی شرکت در مدیریت نیروی انسانی و
 - سوابق عملکردی شرکت در آماده‌سازی و اعزام قطارها.
- که در آن معیار اول به نحوه اجرای روزمره امر راهبری، معیار دوم به سطح کیفی کارگاه‌های پشتیبانی پیمانکار، معیار سوم به عملکرد شرکت در مدیریت نیروی انسانی (که تأثیر مستقیم بر کیفیت ارائه خدمات دارد) و معیار آخر به سوابق عملکرد در تأمین تدارکات مورد نیاز، اشاره دارد. هر یک از این معیارها خود



شکل ۳. تکنیک مورد استفاده در اجرای هر یک از مراحل تحقیق



شکل ۴. جزئیات معیارهای مختلف و اجزای آنها در مسئله ارزیابی اولیه و رتبه‌بندی پیمانکاران راهبری قطارهای مسافری

۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این بخش، هر یک از ۵ مرحله پیشنهادی اجرای این تحقیق (معرفی شده در بخش ۱) و شیوه پیاده‌سازی هر یک در مورد مطالعاتی مورد بررسی مورد بحث قرار می‌گیرد.

گام اول: اجرای AHP گروهی به منظور تعیین سطح اهمیت معیارها و زیرمعیارهای مختلف در فرآیند تصمیم‌گیری

همان‌گونه که در بخش ۲ به آن اشاره شد، در این تحقیق به منظور تعیین سطح اهمیت معیارها و نیز زیرمعیارهای مختلف در سطوح گوناگون از روش AHP استفاده شده است. به منظور این کار، از نظرات پنج تن از مدیران و کارشناسان خبره امر نظارت بر راهبری قطارهای مسافری برای امتیازدهی به سطوح اهمیت معیارهای مختلف استفاده شده است. مقیاس مورد استفاده نیز مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی به شرح مندرج در جدول ۲ (قدسی پور، ۱۳۸۱) می‌باشد. هر یک از خبرگان نظر خود را درخصوص مقایسات زوجی سطح اهمیت به طور جداگانه ابراز کرده است و سپس برای ترکیب نظر این ۵ عضو، از میانگین هندسی برای جمع‌بندی نظرات تصمیم‌گیرندگان استفاده شده است. فرض کنید a_{ij}^k نظر شخص k -ام در مقایسه معیار i نسبت به معیار j باشد، میانگین هندسی برای همه مؤلفه‌های متناظر به صورت زیر محاسبه می‌شود $\bar{a}_{ij} = \frac{\prod_{k=1}^n a_{ij}^{(k)}}{n}$ که در آن، n تعداد تصمیم‌گیرندگان است.

این نظرخواهی در خصوص سطح اهمیت ۴ معیار اصلی با یکدیگر و نیز زیرمعیارهای تشکیل دهنده هر یک از این ۴ معیار اصلی صورت پذیرفته است. سپس متوسط هندسی نظرات پاسخ‌گویان در مقایسه سطوح اهمیت با یکدیگر محاسبه شده است. در ادامه با کمک روش بردار ویژه، ضرایب وزنی معیارها در هر مورد محاسبه شده‌اند. در این روش بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی در رابطه $(A - \lambda_{\max} I) W = 0$ قرار داده شده و با استفاده از آن وزن‌ها محاسبه می‌شوند. محاسبه شاخص ناسازگاری (I.I) و نرخ نسبت ناسازگاری (I.R) ساز و کاری است که سازگاری مقایسات زوجی را مشخص کرده و نشان می‌دهد تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از نظرات اعضای گروه و یا اولویت‌های جدول‌های ترکیبی اعتماد کرد (قدسی پور، ۱۳۸۱). مقدار شاخص ناسازگاری^{۱۳} و نرخ

نسبت ناسازگاری^{۱۴} به ترتیب از روابط $(I.I) = \lambda_{\max} / (n-1)$ و $(I.R) = (I.I) / (I.R.R)$ قابل محاسبه هستند (قدسی پور، ۱۳۸۱). مقدار بزرگ‌ترین مقدار ویژه، شاخص ناسازگاری و نرخ ناسازگاری به ازای نظرات بیان شده توسط خبرگان برای زیرمعیارها و معیارهای اصلی به ترتیب به شرح مندرج در جداول ۳ و ۴ می‌باشد.

نرخ ناسازگاری کلیه موارد فوق با توجه به ابعاد ماتریس نظیر آنها درحد قابل قبول قرار دارد (قدسی پور، ۱۳۸۱).

گام دوم: اجرای تکنیک ISM برای شناسایی و نگاشت روابط

بین زیرمعیارهای مختلف

همان‌گونه که بیان شد، اکثر روش‌های MADM بر مبنای فرض اولیه استقلال معیارها از یکدیگر بنا شده‌اند. این در حالی است که در مسئله مورد بررسی به وضوح فرض استقلال برای تعدادی از این زیرمعیارها صدق نمی‌کند. به عنوان مثال می‌توان به زیرمعیارهای نتایج ارزیابی دوره‌ای قطارها در مبدأ و حجم ریالی کسورات ناشی از نواقص، در معیار سوابق انجام راهبری اشاره کرد (کسورات بر اساس پایین‌تر شدن نتایج ارزیابی از حدی مشخص طی بازدهی‌های مبدأ تعیین می‌گردد). به عبارت دیگر در تحقیق حاضر تعدادی از زیر معیارها از یکدیگر مستقل و تعدادی وابسته به یکدیگر می‌باشند. این وابستگی درونی اجزای هر معیارکلی، فرآیند مدل‌سازی و حل مسئله را تحت تأثیر قرار می‌دهد و جواب‌های محاسبه شده با فرض استقلال همه آلترناتیوها ممکن است چندان بهینه نبوده و در عمل، اولویت واقعی آلترناتیوها متفاوت باشد. در این بخش از روش مدل‌بندی ساختاری توصیفی، برای نگاشت روابط بین زیرمعیارها و وابستگی آنها به یکدیگر استفاده شده است. به منظور استخراج این روابط درونی، برای هر یک از معیارهای اصلی مسئله، زیرمعیارهای تشکیل دهنده، طی جدولی فهرست شده و از نظرات خبرگان در خصوص وابستگی هر زیرمعیار به زیرمعیار دیگر در این ماتریس سؤال شده است. نظرات خبرگان در خصوص مقایسه دوجه دو سطح وابستگی زیرمعیارها با یکدیگر جمع‌بندی شده و از آماره مد (بیشترین نظرات ابراز شده) برای تصمیم‌گیری در خصوص وابستگی یا عدم وابستگی زیرمعیارها استفاده شده است. نتیجه حاصل در یک ماتریس آورده می‌شود که در آن عدد یک برای عنصر \bar{a}_{ij} به مفهوم وابسته بودن زیرمعیار i به زیرمعیار j از نظر بیشتر خبرگان است. نتیجه

نهادندی و نوروژی

به دست آمده به ماتریس یکبه نظیر خود افزوده شده است تا ماتریس دسترسی پذیری حاصل گردد. نتیجه حاصل برای هر یک از چهار معیار اصلی مسئله مورد بررسی و گرافهای بیانگر این روابط به شرح مندرج در جدول ۵ می باشد.

جدول ۲. مقیاس ۹ درجه ای ساعتی برای انجام مقایسات زوجی (قدسی پور، ۱۳۸۱)

مقدار عددی	درجه اهمیت در مقایسات زوجی
۱	ترجیح یکسان
۲	یکسان تا نسبتاً مرجح
۳	نسبتاً مرجح
۴	نسبتاً تا قویاً مرجح
۵	قویاً مرجح
۶	قویاً تا بسیار قوی مرجح
۷	ترجیح بسیار قوی
۸	بسیار تا بی اندازه مرجح
۹	بی اندازه مرجح

جدول ۳. ضرایب وزنی زیرمعیارهای مختلف براساس روش AHP

I.I.R.	I.I.	بزرگ ترین مقدار ویژه نظیر	ضرایب وزنی	زیرمعیارهای هر معیار اصلی	شرح معیار
معیار اصلی: سوابق انجام راهبری					
0.044	0.049	$\lambda_{max} = 5.198$	0.283	C ₁₁	نتایج ارزیابی قطارها در مبدا
			0.205	C ₁₂	حجم ریالی کسورات ناشی از نواقص
			0.127	C ₁₃	نتایج ارزیابی قطارها در طول سیر
			0.090	C ₁₄	نرخ اخطارها و تذکرات کتبی
			0.295	C ₁₅	نرخ شکایات مسافری
معیار اصلی: سوابق عملکرد کارگاه های پشتیبانی					
0.015	0.009	$\lambda_{max} = 3.026$	0.539	C ₂₁	سطح کیفی کارگاه های طبخ غذا
			0.386	C ₂₂	سطح کیفی کارگاه های شستشوی ملحفه
			0.075	C ₂₃	سطح کیفی خوابگاه های مأموران
معیار اصلی: سوابق شیوه مدیریت نیروی انسانی					
0.003	0.002	$\lambda_{max} = 3.003$	0.625	C ₃₁	میزان رعایت نکردن قوانین کار
			0.277	C ₃₂	میزان قطع همکاری و گردش نیروها
			0.098	C ₃₃	نرخ شکایات نیروی انسانی
معیار اصلی: سوابق شیوه آماده سازی و اعزام قطار					
0.0009	0.00005	$\lambda_{max} = 3.000$	0.465	C ₄₁	کسورات ناشی از اعزام نامناسب
			0.280	C ₄₂	عملکرد مدیریت شرکت
			0.255	C ₄₃	عدم آماده سازی تجهیزات در موعد مقرر

جدول ۴. ضرایب وزنی معیارهای اصلی براساس روش AHP

I.I.R.	I.I.	بزرگ‌ترین مقدار ویژه نظیر	ضرایب وزنی	شرح
0.053	0.048	$\lambda_{max}=4.143$	0.572	سوابق انجام راهبری
			0.051	سوابق عملکرد کارگاه‌های پشتیبانی
			0.138	سوابق شیوه مدیریت نیروی انسانی
			0.239	سوابق شیوه آماده‌سازی و اعزام قطار

جدول ۵. ماتریس دسترسی‌پذیری و گراف اتصال زیرمعیارهای سوابق عملکردی شرکت در انجام امر راهبری قطار

گراف اتصال زیرمعیارها	ماتریس دسترسی‌پذیری
	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

اساس روش مورد استفاده در این مقاله طی این گام بر مبنای مدل توسعه داده شده توسط Wu, Feng و Chia (۲۰۱۰) می‌باشد. در این روش از ماتریس دسترسی‌پذیری (محاسبه شده طی گام قبل) برای اصلاح اوزان اهمیت استفاده می‌شود. آشکار است که چنانچه همه زیر معیارها از یکدیگر مستقل باشند (ماتریس

کلیمه ماتریس‌های فوق در توان دوم خود به حالت پایا می‌رسند. گام سوم: یافتن ماتریس ضرایب پایدار بین زیرمعیارها با کمک زنجیره مارکوف طی این گام از روابط درونی بین زیرمعیارهای مختلف برای تعدیل و تغییر ماتریس ضرایب اهمیت موجود استفاده می‌شود.

جدول ۶. اوزان اصلاح یافته براساس وابستگی های درونی اجزا

برای معیارهای مختلف

معیار	زیرمعیارها	ضرایب وزنی
سوابق انجام راهبری		
	C11	۰/۲۸۲
	C12	۰/۱۹۷
	C13	۰/۱۴۶
	C14	۰/۱۱۸
	C15	۰/۲۵۷
سوابق عملکرد کارگاه های پشتیبانی		
	C21	۰/۵۳۹
	C22	۰/۳۸۶
	C23	۰/۰۷۵
سوابق شیوه مدیریت نیروی انسانی		
	C31	۰/۶۳۲
	C32	۰/۲۶۷
	C33	۰/۱۰۱
سوابق شیوه آماده سازی و اعزام قطار		
	C41	۰/۴۶۴
	C42	۰/۲۷۹
	C43	۰/۲۵۷

دسترس پذیری ماتریس یکه باشد)، ماتریس ضرایب تغییری نخواهد کرد و هرچه تعداد این وابستگی ها بیشتر باشد، عناصر دارای وابستگی با توجه به مقادیر زیرمعیارهایی که به آنها وابستگی دارند، بیشتر تغییر خواهند کرد. به این ترتیب وزن معیارهای وابسته با توجه به تعداد وابستگی ها و وزن معیارهایی که به آنها وابسته اند، اصلاح می گردد؛ به عنوان مثال رابطه زیر، نحوه تغییر ماتریس ضرایب اهمیت برای زیر معیار سوابق شیوه انجام راهبری را نشان داده است. نظیر این محاسبات برای زیرمعیارهای هر ۴ معیار اصلی مسئله صورت پذیرفته است.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1.644 & 1.719 & 1.872 & 1.528 \\ 0.608 & 1 & 1.644 & 3.245 & 0.631 \\ 0.582 & 0.608 & 1 & 1.217 & 0.451 \\ 0.534 & 0.308 & 0.822 & 1 & 0.201 \\ 0.654 & 1.585 & 2.215 & 4.968 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2.644 & 1.719 & 7.762 & 4.247 \\ 0.608 & 1.608 & 1.643 & 7.129 & 2.883 \\ 0.582 & 1.190 & 1 & 3.858 & 2.033 \\ 0.534 & 0.842 & 0.822 & 2.865 & 1.557 \\ 0.654 & 2.239 & 2.215 & 10.422 & 3.869 \end{bmatrix}$$

ماتریس به دست آمده از این روش، نرمال سازی شده و سپس برای به دست آوردن حالت پایدار به طور متوالی در خود ضرب می شود. نتیجه حاصل برای ماتریس زیرمعیارهای تشکیل دهنده معیار سوابق انجام راهبری پس از ۴ مرحله به توان رسیدن به شکل زیر می باشد:

$$\begin{bmatrix} 0.281906 & 0.281886 & 0.281876 & 0.281868 & 0.281884 \\ 0.197409 & 0.19742 & 0.19742 & 0.197425 & 0.19742 \\ 0.145821 & 0.145809 & 0.14582 & 0.145815 & 0.145812 \\ 0.118237 & 0.118222 & 0.118244 & 0.118237 & 0.118228 \\ 0.256628 & 0.256662 & 0.25664 & 0.256654 & 0.256655 \end{bmatrix}$$

حال ضرایب هر سطر بیانگر ضریب اهمیت هر زیر معیار در مقایسه با سایر زیرمعیارها می باشد. براین اساس اوزان ۵ زیرمعیار فوق به میزان زیر تغییر می یابد:

$$\begin{bmatrix} 0.282 \\ 0.197 \\ 0.146 \\ 0.118 \\ 0.257 \end{bmatrix}$$

نظیر این تغییرات برای زیرمعیارهای هر ۴ معیار اصلی با توجه به ماتریس دسترس پذیری آنان صورت گرفته است. اوزان جدید بر مبنای این محاسبات به شرح مندرج در جدول ۶ است.

فاز چهارم: یافتن امتیاز کلی در هر معیار اصلی با کمک

انتگرال فازی

پس از محاسبه ضرایب اهمیت در مرحله قبل، در این فاز با کمک انتگرال فازی، امتیاز هر آلترناتیو در مورد هر معیار اصلی با توجه به وابستگی های درونی زیرمعیارهای آن محاسبه می شود. در بخش ۲-۲ در خصوص نحوه کاربرد اندازه و انتگرال فازی در تکنیک های MADM به منظور مورد توجه قرار دادن وابستگی های درونی بین معیارها بحث شد. این دو پارامتر با کمک روابط (۱۰) و (۱۳) قابل محاسبه می باشند.

برای این منظور در ابتدا امتیازات خام هر یک از ۱۲ آلترناتیو (شرکت های موجود) در خصوص هر یک از ۱۴ زیر معیار مسئله فهرست و به منظور یکسان سازی، کلیه امتیازات در بازه [۰,۱] نرمال شده اند (معیارهای مثبت به

ترتیب نزولی مرتب شود. با در اختیار داشتن اهمیت برای زیر مجموعه‌های مختلف، انتگرال فازی به سادگی از طریق رابطه (۱۳) قابل محاسبه است. نتایج این محاسبه برای آلترناتیو A در مورد زیرمعیارهای سوابق شیوه اجرای راهبری به شرح مندرج در جدول ۷ می‌باشد: نظیر این محاسبه برای همه معیارهای اصلی و اجزای تشکیل دهنده آنها صورت گرفته است. نتایج حاصل در جدول ۸ فهرست شده است که در آن ۵ ستون اول جدول، مقادیر محاسبه شده برای آلترناتیوهای مختلف در مورد هر یک از ۴ معیار اصلی مسئله را با کمک روش فوق نشان می‌دهد.

شکل $r_{(i,j)} = x_{(i,j)} / (\text{Max} \{x_{(i,j)}\})$ و برای معیارهای منفی به شکل $r_{(i,j)} = [(\text{Max} \{x_{(i,j)}\}) - x_{(i,j)}] / x_{(i,j)}$ جایگزین شده‌اند تا همه زیر معیارهای مورد بررسی، همسان و قابل مقایسه با یکدیگر باشند. حال با در اختیار داشتن امتیازات هر شرکت در هر زیر معیار و ضرایب اهمیت مجموعه‌های مختلف زیرمعیارها، می‌توان از انتگرال فازی برای محاسبه امتیاز هر شرکت در مورد هر معیار اصلی براساس امتیازات کسب شده در زیرمعیارهای آن استفاده کرد. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، برای این منظور می‌بایست امتیازات فوق به

جدول ۷. نتایج محاسبه انتگرال فازی برای آلترناتیو A در مورد زیرمعیارهای سوابق شیوه اجرای راهبری

زیرمعیارها	$g(h)$	$h(x_i)$ به ازای مقادیر کسب شده توسط آلترناتیو A
C11	۰/۲۸۲	۰/۹۰۵
C14	۰/۴۰۰	۰/۰۱
C13	۰/۵۴۶	۰/۰۰۱
C15	۰/۸۰۳	۰/۰۰۰۶
C12	۱	IE-۰۰۸
مقدار محاسبه شده انتگرال فازی		۰/۲۵۷

جدول ۸. مقایسه نتایج حاصل از دو روش انتگرال فازی و AHP معمول

رتبه	رتبه در محاسبه با روش معمول AHP	رتبه در محاسبه با روش انتگرال فازی	میانگین امتیازات (محاسبه با روش معمول AHP)	میانگین امتیازات (محاسبه با روش انتگرال فازی)	عملکرد در خصوص معیار اصلی آماده‌سازی و اعزام قطار	عملکرد در خصوص معیار اصلی مدیریت نیروی انسانی	عملکرد در خصوص معیار اصلی کارگاه‌های پشتیبانی	عملکرد در خصوص معیار اصلی سوابق انجام راهبری	آلترناتیو
۱۰	۹	۸	۰/۳۴۰	۰/۳۰۵	۰/۰۷۷	۰/۶۶۷	۰/۹۴۹	۰/۲۵۷	A
۲	۳	۲	۰/۶۱۰	۰/۵۳۵	۰/۵۵۲	۰/۰۸۰	۰/۹۰۵	۰/۶۰۵	B
۹	۱۰	۱۰	۰/۲۹۶	۰/۲۳۷	۰/۱۲۴	۰/۰۶۷	۰/۹۷۴	۰/۲۵۹	C
۱۲	۱۱	۱۱	۰/۲۵۹	۰/۲۱۹	۰/۰۸۶	۰/۰۴۳	۰/۸۸۴	۰/۲۵۹	D
۳	۲	۳	۰/۶۳۹	۰/۵۳۵	۱	۰/۱۳۴	۰/۹۶۴	۰/۳۹۹	E
۵	۴	۴	۰/۴۷۷	۰/۴۱۲	۰/۱۷۳	۰/۷۰۹	۰/۹۵۵	۰/۳۹۲	F
۱۱	۱۲	۱۲	۰/۲۳۴	۰/۲۰۸	۰/۰۵۸	۰/۰۲۷	۰/۸۶۴	۰/۲۵۶	G
۸	۸	۶	۰/۳۴۵	۰/۳۱۱	۰/۰۹۵	۰/۶۶۶	۰/۹۰۷	۰/۲۶۲	H
۶	۶	۷	۰/۳۵۳	۰/۳۱۱	۰/۰۸۷	۰/۶۷۱	۰/۹۴۳	۰/۲۶۱	I
۷	۷	۹	۰/۳۴۸	۰/۲۱۰	۰/۰۹۸	۰/۰۶۵	۰/۹۸۵	۰/۳۸۰	J
۴	۵	۵	۰/۴۲۹	۰/۳۵۹	۰/۰۹۲	۰/۰۵۲	۰/۷۶۸	۰/۵۰۸	K
۱	۱	۱	۰/۷۰۲	۰/۶۳۳	۰/۰۹۵	۰/۹۶۹	۱	۰/۷۴۴	L

بیشتر مرتبط با تغییرات عناصر رده‌های میانی جدول است که در آنها تفاوت دو روش AHP معمولی و ترکیبی مشهودتر است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این تحقیق ارایه کننده مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره بر مبنای انتگرال‌فازی برای مسئله ارزیابی پیمانکاران در صنعت حمل و نقل ریلی مسافر در ایران می‌باشد. این مدل با بهره‌گیری از انواع داده‌های موجود در سوابق عملکرد پیمانکاران، آنها را براساس داده‌های موجود در چهار محور اصلی مورد ارزیابی قرار می‌دهد. این مدل به‌ویژه زمانی که معیارها دارای ویژگی‌های وابستگی درونی و تأثیرپذیری از یکدیگر باشند، مناسب است.

مدل پیشنهادی شامل ۵ مرحله اصلی (۱) تحلیل عوامل تأثیرگذار و وزن‌دهی به آنان، (۲) استخراج روابط درونی بین زیر معیارها، (۳) یافتن وزن اهمیت معیارها در شرایط پایدار با توجه به وابستگی‌های درونی، (۴) یافتن امتیاز نهایی هر آلترناتیو در هر معیار اصلی و (۵) محاسبه امتیاز نهایی است که با کمک تکنیک‌های AHP گروهی، ISM و انتگرال‌فازی انجام پذیرفته‌اند. مسایل مورد ارزیابی در این روش در ۴ حوزه اصلی مسایل راهبری واکذار شده به پیمانکاران، یعنی شیوه اجرای روزمره فعالیت راهبری، کارگاه‌های پشتیبانی شرکت پیمانکار، نحوه مدیریت نیروی انسانی و شیوه انجام تدارکات مورد نیاز برای اجرای امر راهبری قطارها می‌باشد که مسایل اصلی مطرح در این حوزه هستند. در این تحقیق از همه سوابق موجود در خصوص هر یک از این عوامل اصلی که قابلیت ارزیابی و تخمین مناسب از عملکرد پیمانکار در هر زمینه را به دست دهند، استفاده شده است و سطح اهمیت هر یک از مؤلفه‌ها با کمک مقایسات زوجی تکنیک AHP به شکل گروهی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

با این وجود بسیاری از این معیارها دارای وابستگی و ارتباطات درونی متعدد با یکدیگر هستند که کاربرد تکنیک‌های مرسوم MADM برای آنها را دشوار می‌سازد. برای غلبه کردن بر این نقص، طی گام‌های ۲ و ۳ اقدام به شناسایی روابط درونی با کمک تکنیک ISM گردیده و با کمک روشی مبتنی بر زنجیره مارکوف، اوزان اصلاح و بر مبنای وابستگی‌های درونی تشکیل شده‌اند. نتایج حاصل از اجرای این تکنیک در تحقیق حاضر بیانگر وابستگی‌های درونی بیشتر در خصوص معیار شیوه اجرای

با کمک ضرایب حاصل از اجرای AHP گروهی در مورد معیارهای اصلی مسئله (در فاز یک)، رتبه نهایی هر آلترناتیو با شیوه فوق به شرح مندرج در جدول فوق محاسبه شده است. محاسبه رتبه‌ها با روش معمول AHP و ترکیبی با انتگرال‌فازی و تغییرت رتبه‌بندی آلترناتیوها بر اساس دو شیوه فوق نیز در دو ستون ۸ و ۹ این جدول نمایش داده شده است.

چنانچه مشاهده می‌شود، رتبه‌بندی آلترناتیوها با در نظر داشتن روابط درونی بین متغیرها تا حدودی تغییر کرده است. این تغییر در رده‌های میانی جدول بیشتر به چشم می‌خورد و رتبه‌بندی اولویت‌های برتر و نیز رده‌های آخر جدول چندان تحت تأثیر آن قرار نگرفته است. لازم به ذکر است که در کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، جواب بهینه‌ای که روش‌های مختلف تلاش در نزدیک شدن به آن داشته باشند، وجود نداشته و با کاربرد تکنیک‌ها و شیوه‌های مختلف ارزیابی، رتبه‌بندی آلترناتیوها دستخوش تغییر می‌شود. اگرچه این امر به نمرات اخذ شده در خصوص هر معیار و میزان فاصله آن از نمرات نظیر در دیگر آلترناتیوها نیز وابسته است. به عبارت بهتر چنانچه طی مورد مطالعاتی، عملکرد یک آلترناتیو در اکثر معیارها بسیار متفاوت از سایرین باشد، تغییرات تکنیک مورد استفاده چندان بر نتایج حاصل تأثیرگذار نخواهد بود.

در این تحقیق، به منظور مقایسه دو روش به‌کار رفته، از نظرات خبرگان استفاده شده است. برای این منظور از پنج نفر از مدیران تصمیم‌گیرنده در حوزه اجرایی شرکت رجا خواسته شده است تا براساس تجربه کاری خود در همکاری با شرکت‌های راهبر، این شرکت‌ها را رتبه‌بندی نمایند. با میانگین‌گیری از رتبه هر شرکت پیمانکار، عددی به دست آمده است که بر مبنای آن، شرکت‌ها از رتبه ۱ تا ۱۲ مرتب شده‌اند. این رتبه‌بندی که در ستون آخر جدول ۸ نشان داده شده است، دارای تفاوت‌هایی با نتایج به‌دست آمده از هر دو روش است. در اینجا به سادگی اقدام به محاسبه اختلاف رتبه‌های هر شرکت با رتبه‌های داده شده توسط خبرگان شده و مجموع اختلاف رتبه‌ها برای هر یک از دو روش محاسبه شده است. مجموع این اختلاف برای روش AHP گروهی معمولی عدد ۱۲ و برای روش ترکیبی AHP و انتگرال‌فازی عدد ۸ است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این کاهش،

تاکنون در زمینه رتبه‌بندی آلترناتیوها با کمک روش‌های MADM، تحت شرایطی که زیرمعیارها دارای وابستگی درونی با یکدیگر باشند، مطالعات محدودی صورت پذیرفته است که ایده به‌کارگیری انتگرال فازی در این خصوص، یکی از این موارد می‌باشد. یکی دیگر از روش‌های معمول در این خصوص که وابستگی معیارهای اصلی به یکدیگر را در حالت کلی مورد توجه قرار می‌دهد، تکنیک ANP است. یک زمینه پیشنهادی برای تحقیقات آتی در این خصوص به‌کارگیری تکنیک ANP برای هر دسته زیرمعیار و محاسبه امتیاز حاصل برای هر معیار اصلی با کمک این روش و مقایسه نتایج حاصل با کاربرد روش انتگرال فازی است. همچنین تحقیق حاضر به ارزیابی و رتبه‌بندی اولیه پیمانکاران، تنها براساس سوابق عملکردی ایشان در گذشته پرداخته است. این در حالی است که طی تحقیقات آتی، می‌توان از نتایج این تحقیق در کنار سایر جنبه‌های مورد توجه در مورد پیمانکاران نظیر تجهیزات در اختیار، قیمت پیشنهادی، وضعیت مالی، ساختار سازمانی و تشکیلاتی و مواردی از این دست برای ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران در سطحی بالاتر استفاده کرد. همچنین کاربرد روش فوق، که در این تحقیق برای اولین بار در بخش خدمات و صنعت حمل و نقل ریلی مسافر در داخل کشور، مورد استفاده قرار گرفته است، برای سایر سازمان‌ها و صنایع، در ارزیابی عملکرد پیمانکاران تحت شرایطی با معیارهای دارای عدم استقلال از یکدیگر روبه‌رو هستند، پیشنهاد می‌گردد که بی‌شک با توجه به کاهش تصدی‌گری دولت در زمینه‌های مختلف و افزایش حجم برون سپاری فعالیت‌های مختلف در سازمان‌ها و ادارات دولتی کاربرد فراوانی خواهد داشت.

۵- پی‌نوشت‌ها

1. Multi Criteria Decision Making
2. Analytical Hierarchy Process
3. Data Envelopment Analysis
4. Analytic Network Process
5. Interpretive Structural Modeling (ISM)
6. Reachability Matrix
7. Adjacency Matrix
8. Additive
9. Redundancy
10. Multiplicative Effect
11. Additive Effect
12. Substitutive Effect
13. Inconsistency Index
14. Inconsistency Ratio

راهبری که به مسایل روزمره اجرای مورد پیمان اختصاص دارد، می‌باشد. این درحالی است که در مورد معیارهای دیگر که به سوابق عملکرد کارگاه‌های پشتیبانی شرکت اختصاص دارد، هیچ وابستگی درونی بین زیرمعیارها مشاهده نمی‌شود. با اصلاح ضرایب مربوطه در هر دسته از زیرمعیارها بر این مبنا، نمره ترکیبی حاصل از عملکرد شرکت در هر دسته با کمک روش انتگرال فازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. انتگرال فازی به دلیل ویژگی غیرجمع‌ی خود، رویکردی مناسب در برخورد با مسایلی که وابستگی درونی بین معیارهای آن وجود دارد، است. کاربرد این تکنیک سبب جلوگیری از برآورد بیش از حد معیارها زمانی که دارای ویژگی جانشینی باشند، یا برآورد کمتر از واقع آنها زمانی که دارای خاصیت ضربی باشند، می‌گردد.

براساس نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی در مورد مطالعاتی مورد بررسی، در نظرگیری وابستگی‌های درونی بین معیارها در محاسبات، رتبه نهایی شرکت‌ها را در رده‌بندی دستخوش تغییر کرده است. با این وجود رده ضعیف‌ترین سه شرکت شناسایی شده با کاربرد روش فوق تغییری نکرده و بیشتر تغییرات مرتبط با رده‌های میانی جدول است. بنابراین، کاربرد روش فوق در مسئله مورد بررسی که مربوط به داده‌های سال ۸۸ از عملکرد پیمانکاران می‌باشد، شرکت‌های با ضعیف‌ترین عملکرد که هدف شناسایی برای دعوت نکردن در مناقصات محدود آتی می‌باشند، بدون تغییر باقی مانده‌اند. با این وجود، رتبه شرکت‌های میانی با در نظرگیری وابستگی درونی بین معیارها تغییرات زیادی کرده است. با این وجود نتایج این تحقیق، تأثیر تغییرات معیارهای وابسته بر یکدیگر و بر عملکرد کلی هر شرکت را روشن ساخته و مقایسه نتایج حاصل، اطلاعات بسیار ارزشمندی به شرکت‌ها در خصوص نحوه بهبود عملکرد در هر زیرمعیار به گونه‌ای که بیشترین تأثیر را در عملکرد نهایی داشته باشد، به دست می‌دهد. همچنین نتایج حاصل بیانگر تقارن نداشتن در امتیازات نهایی شرکت‌ها حول میانگین می‌باشد. در رده‌بندی فوق، تنها یک شرکت که عملکرد آن در هر ۴ زمینه مورد بررسی بالاتر از ۰/۵ باشد، مشاهده می‌شود و اغلب شرکت‌ها در زمینه‌های نحوه مدیریت نیروی انسانی و آماده‌سازی تدارکات مورد نیاز (معیار اصلی آماده‌سازی و اعزام قطار) دارای امتیازات سطوح پایین بوده‌اند.

۶- منابع

- Deng H (1999) "Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison", *Int J Approx Reason*, No. 21, pp. 215-231.
- Dickson, G. W. (1966) "An analysis of vendor selection systems and decisions", *Journal of Purchasing*, No. 2 (1), pp. 5-17.
- Feng, Cheng-Min, Wu, Pei-Ju, Chia, Kai-Chieh., (2010) "A hybrid fuzzy integral decision-making model for locating manufacturing centers in China: A case study", *European Journal of Operational Research*, No. 200, pp. 63-73.
- Ha, S. H., and Krishnan, R. (2008) "A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain". *Expert Systems with Applications*, Vol. 34, No. 2, pp. 1303-1311.
- Hassanzadeh A. and Razmi, J. (2009) "An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation", *Expert Systems with Applications* No. 36, pp. 8639-8648.
- Holt, Gary. (2009) "Contractor selection innovation: examination of two decades' published research", *Construction Innovation*, Vol. 10, No. 3, pp. 304-328.
- Holt G.D. (1998) "Which contractor selection methodology?" *International Journal of Project management*, No. 16(3), pp. 153-164.
- Jaskowski, P., Biruk, S., Bucon, R. (2010) "Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment", *Automation in Construction*, No. 19, pp. 120-126.
- Kumar, M., Vrat, P., Shankar, R.A. (2004) "fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain" *Computers and Industrial Engineering*, No. 46 (1), pp. 69-85.
- Kumaraswamy, M. M. (1996) "Contractor evaluation and selection: a Hong Kong perspective" *Build Environ*, No. 31(3), pp. 273-282.
- Kuo, Ming-Shin, Liang, Gin-Shuh, (2011) "A novel hybrid decision-making model for selecting locations in a fuzzy environment", *Mathematical and Computer Modelling*, No. 54, pp. 88-104.
- Lai, K. K., Liu, S. L. and Wang, S. Y. (2004) "A method used for evaluating bids in the Chinese
- بهبهانی، حمید، افندی‌زاده، شهریار و رحیم‌اف، کامران (۱۳۸۷) "بهینه‌سازی مدل تأخیر مسافران مترو با استفاده از الگوی تصمیم‌گیری چندشاخصه MADM" پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۷، ص ۲۴۸-۲۳۳.
- سمیع‌زاده، رضا، چهارسوقی، سیدکمال و جهانیان، سعید، (۱۳۸۷) "ارایه مدلی به منظور ارزیابی عملکرد شرکت‌های حمل و نقل عمومی در ورود به تجارت الکترونیکی" پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۸۷، ص ۳۴۸-۳۳۳.
- صفارزاده، محمود، پیروانی، علی و عبدی، علی (۱۳۸۷) "شناسایی معیارهای مؤثر در اولویت‌بندی مقاطع تصادف‌خیز و میزان اهمیت هر یک از آنها براساس روش‌های تصمیم‌گیری گروهی"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۷، ص ۱۵۶-۱۴۵.
- قدسی پور، سیدحسین (۱۳۸۱) "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی"، تهران، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- منهج، محمدباقر (۱۳۸۸) "هوش محاسباتی: محاسبات فازی" جلد سوم، چاپ دوم، تهران، انتشارات دانش‌نگار.
- Al-Harbi K. M. (2001) "Application of the AHP in project management", *International Journal of Project Management*, No. 19 (1), pp.19-27.
- Boran, Fatih Emre, Genç, Serkan, Kurt, Mustafa, Akay, Diyar. (2009) "A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method" *Expert Systems with Applications*, No. 36, pp. 11363-11368.
- Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006) "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*", Vol. 102, No. 2, pp. 289-301.
- Darvish, Maryam, Yasaei, Mehrdad, Saeedi, Azita. (2009) "Application of the graph theory and matrix methods to contractor ranking", *International Journal of Project Management*, No. 27, pp. 610-619.

- Sugeno, M. (1977) "Fuzzy measures and fuzzy integrals: A survey", in: M.M. Gupta, G.N. Saridis, B. R. Gaines (Eds.), *Fuzzy Automata and Decision Processes*, North-Holland, Amsterdam and New York, pp. 89–102.
- Topcu, Y. I. (2004) "A decision model proposal for construction contractor selection in Turkey" *Build Environ* No. 39, pp. 469–481.
- Tzeng, Gwo-Hshiung, Yang, Yu-Ping Ou., Lin, Chin-Tsai, Chen, Chie-Bein, (2005) "Hierarchical MADM with fuzzy integral for evaluating enterprise intranet web sites" *Information Sciences*.
- Wang, J. C. Chen, T. Y. and Shen, H. M. (2001) "Using fuzzy densities to determine the k-value for k-fuzzy measures" in *Proceedings of the Ninth National Conference on Fuzzy Theory and its Applications*, Taiwan, pp. 54–59.
- Wang, Z. Klir, G. J. (1992) "Fuzzy Measure Theory", Plenum Press, New York.
- Wang, W., Wang, H., Lai, Y, Li, J. C. (2006) "Unit-price-based model for evaluating competitive bids", *International Journal of Project Management*, No. 24, pp.156–166.
- Wu, W. W., and Lee, Y. T. (2007) "Selecting knowledge management strategies by using the analytic network process. *Expert Systems with Applications*", Vol. 32, No. 3, pp. 841–847.
- Wu, W. Y., Sukoco, B. M., Li, C. Y., & Chen, S. H. (2009) "An integrated multi-objective decision-making process for supplier selection with bundling problem". *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 2, pp. 2327–2337.
- Yang, Jiann Liang, Chiu, Huan Neng, & Tzeng, Gwo-Hshiung (2008) "Vendor selection by integrated fuzzy MCDM techniques with independence and interdependence". *Information Sciences*, Vol. 178, No. 21, pp. 4166–4183.
- Zavadskas, Edmundas Kazimieras., Kaklauskas, Arturas, Turskis, Zenonas, Tamosaitiene, Jolanta. (2009) "Multi-Attribute Decision-Making Model by Applying Grey Numbers" *informatica*, 2009, Vol. 20, No. 2, pp. 305–320.
- construction industry", *International Journal of Project Management*, No. 22, pp.193–201.
- Lambropoulos, S. (2007) "The use of time and cost utility for construction contract award under European Union Legislation". *Build Environ*, No. 42(1), pp. 452–463.
- Lee, A. H. I. (2009) "A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. *Expert Systems with Applications*", Vol. 36, No. 2, pp. 2879–2893.
- Lin, Ya-Ti., Lin, Chia-Li., Yu, Hsiao-Cheng, Tzeng, Gwo-Hshiung, (2010) "A novel hybrid MCDM approach for outsourcing vendor selection: A case study for a semiconductor company in Taiwan", *Expert Systems with Applications*, doi:10.1016/j.eswa.2009.12.036
- Missbauer H., Hauber, W. (2006) "Bid calculation for construction projects: regulations and incentive effects of unit price contracts". *European Journal of Operation Research*. No. 171, pp. 1005–1019.
- Mikhailov, L. (2002) "Fuzzy analytical approach of partnership selection in formation of virtual enterprises", *Omega*, No. 30 (2), pp. 393–401.
- Murofushi, T. Sugeno, M. (1993) "Some quantities represented by the choquet integral" *Fuzzy Sets and Systems* 56(2): pp. 229–235.
- Onut, S., Kara, S. S., and Isik, E. (2009). "Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company". *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 2, pp. 3887–3895.
- Padhi Sidhartha S., Mohapatra Pratap K. J. (2009) "Contractor selection in government procurement auctions: a case study" *European Journal of Industrial Engineering*, No. 3(2), pp.170–186.
- Saaty, T. L. (1980) "The analytic hierarchy process". New York: McGraw-Hill.
- Shyur Huan-Jyh, Shih, Hsu-Shih (2006) "A hybrid MCDM model for strategic vendor selection", *Mathematical and Computer Modeling*, No. 44 (8), pp. 749–761.