Archive of SID

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

نسیم نهاوندی*، استادیار، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
اشرف نوروزی، دانشجوی دکترا، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail: n_nahavandi@modares.ac.ir
دریافت: ۱۳۹۰/۰٤/۲۰- پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۰٦

چکیده

به‌کارگیری 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 برون‌سپاری‌شده 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، به‌کارگیری 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 برمبنای 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 درنظر 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 درخصوص نحوه بهبود عملکرد در هر زیرمعیار، به‌گونه‌ای که بیشترین تأثیر را در عملکرد نهایی داشته باشد، به‌دست می‌دهد.

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

۱- مقدمه

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

* نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌صورت 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 این‌ترتیب 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 جدی‌تر است. از این رو بهتر است علاوه بر در نظرگرفتن 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 به‌دست آمده و با دعوت از ایشان برای شرکت در مناقصات محدود بر این مبنا، 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 نیروی‌انسانی 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 شده‌است، کلیه شرکت‌های پیمانکار راهبری قطارها، دارای قدرت بهره‌گیری از امکانات مناسب، نظیر تأمین تجهیزات مورد نیاز یک دوره

www.SID.ir

Archive of SID

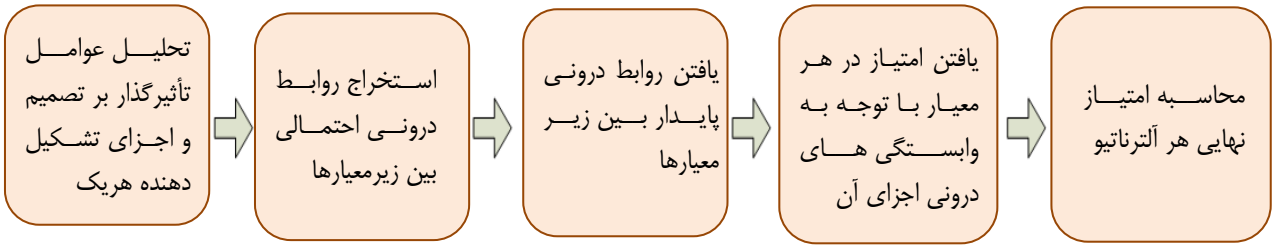
راهبری، عقدقرارداد با کارگاه‌های پشتیبانی و سایر الزامات مورد نیاز هستند (وجود این شرایط برای ورود شرکت‌ها به فرآیند پذیرش پیمانکاری الزامی می‌باشد). همچنین فرض دیگر وجود شرایط مشابه در بهره‌برداری از قطارهای مسیرهای مختلف می‌باشد. به عبارت دیگر، از تفاوت‌های ممکن موجود در شرایط راهبری قطارها در مسیرهای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

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 درحوزه تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه[1] (MCDM) شناخته می‌شود (Lin (et al.), 2009). مقالات مختلف، تکنیک‌های مختلف MCDM را برای حل این مسئله به‌کار برده‌اند که از جمله آنها می‌توان به فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP[2]، تحلیل پوششی داده‌ها[3] (DEA)، فرآیند تحلیل شبکه‌ای[4] (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).

در این تحقیق از ایده اولیه بهره‌گیری از تکنیک ISM[5] 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 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 تحت‌شرایط وابستگی درونی اجزای آنها استفاده شده است. همچنین مقاله حاضر برای اولین بار در ایران، مسئله ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران را با درنظرداشتن 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 این‌ترتیب، 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 جزییات شیوه اجرای آن به تفصیل معرفی شده است.



شکل ۱. مراحل پیشنهادی اجرای تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

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 ٦٠ که Dikson (١٩٦٠)، ٢٣ معیار مختلف را برای مسئله انتخاب تأمین کننده، ارایه کرده است تا به حال، روش‌های زیادی بیان شده است. از بین روش‌های ارایه شده، روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه و چندمعیاره به ویژه AHP، برای این منظور به طور گسترده‌ای به‌کار رفته است.

با توجه به کیفی‌بودن برخی از پارامترهای ارزیابی و اخذ نظرات خبرگان به‌صورت متغیرهای کلامی، در بسیاری موارد از روش‌های فازی برای بیان عدم قطعیت موجود در پاسخ‌های خبرگان بهره گرفته شده است. به عنوان مثال Mikhailov (٢٠٠٢)، روش AHP فازی را برای تعیین وزن هرمعیار و امتیازدهی به گزینه‌ها، مورد استفاده قرار داده است.

Kumar و Shankar (٢٠٠٤)، یک مسئله برنامه‌ریزی آرمانی فازی را برای حل مسئله ترکیبی پیمانکار با سه تابع هدف مورد استفاده قرار داده است. همچنین Jaskowski، Biruk و Bucon (٢٠١٠) نیز در فرآیند تصمیم‌گیری جمعی در خصوص انتخاب پیمانکار، پیشنهاد کاربرد روش AHP فازی را برای انتخاب وزن‌های مشخصه‌های ارزیابی، ارایه کرده اند.

Holt (٢٠٠٩)، در مقاله مروری خود روی مقالات منتشر شده طی دو دهه اخیر (از ١٩٩٠ تا ٢٠٠٩)، 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 درنظرگیری 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 (١٣٨٧)، 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 درنظرگیری وابستگی درونی و بازخورد میان معیارها می‌باشد. استفاده از این روش برای درنظرگیری روابط متقابل بین معیارها در بسیاری مقالات به چشم می‌خورد که از جمله آنها می‌توان به Shyur و Shih (٢٠٠٦) ، Lin و همکاران (٢٠١٠) و Kuo و Liang (٢٠١١) اشاره کرد. Zavadskas و همکاران (٢٠٠٩)، 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 غیرجمعی آن، کاربرد آن را در بررسی معیارهای مؤثر بر یکدیگر، مناسب می‌سازد. در ادامه و در بخش ٢-٢، به تفصیل به بحث در این خصوص پرداخته می‌شود.

یکی دیگر از مسایل مطرح شده در زمینه انتخاب پیمانکار، معیارهای مناسب برای ارزیابی می‌باشد. Padhi و Mohapatra (٢٠٠٩)، 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 درنظرگرفتن همزمان مشخصه‌های کمی و کیفی مرتبط با عملکرد گذشته، از روش فازی چند متغیره استفاده نموده‌اند. Boran و همکاران (٢٠٠٩)، نیز از ترکیب روش TOPSIS با روش وزنی برای ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران براساس شاخص‌های مختلف استفاده کردند.

درویش و همکاران (٢٠٠٩)، 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

www.SID.ir

Archive of SID

کیفی مختلفی برای این ارزیابی استفاده شده است. جدول زیر خلاصه‌ای از مطالعات در این زمینه، معیارهای به کاربرده 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 وزن‌دهی به شاخص‌های کیفی می‌باشد. همچنین همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در اکثر مطالعات، ارزیابی پیمانکاران به شکل ترکیبی از قیمت پیشنهادی مناقصه و سایر 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.

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
Missbauer و Hauber (۲۰۰۶)	استرالیا	قیمت پیشنهادی	برنامه‌ریزی عدد صحیح
Wang, Lai, Liu (۲۰۰٤)	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 (۱۹۹٦)	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

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲- معرفی برخی مفاهیم به‌کار گرفته شده در این تحقیق

- AHP گروهی در وزن‌دهی به معیارهای مختلف

فرآیند تحلیل سلسه مراتبی AHP، یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمنظوره است که اولین بار توسط ساعتی معرفی‌شده است (Saaty, 1980). اساس این روش بر مبنای مقایسات زوجی قرار گرفته است که طی آن اهمیت معیارها در مقایسه با یکدیگر مشخص می‌شود (قدسی‌پور، ۱۳۸۱).

در خصوص کاربرد AHP در تصمیم‌های گروهی، تا کنون تحقیقات فراوانی صورت پذیرفته است. در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی به اندازه تعداد تصمیم‌گیرندگان، ماتریس مقایسات زوجی داریم. یکی از روش‌های رویکرد به این مسئله، رسیدن به اجماع نظر در خصوص هر مؤلفه می‌باشد که از جمله معروف‌ترین روش‌های مورد استفاده در این زمینه، می‌توان به روش دلفی اشاره کرد که طی آن برای رسیدن به یک اجماع نظر گروهی، میان خبرگان در زمینه موضوع مورد بررسی، تلاش می‌شود.

این کار از طریق ارایه بازخورد به خبرگان و ارسال مجدد پرسشنامه به ایشان صورت می‌پذیرد. به عنوان مثال در این زمینه می‌توان به تحقیق صفارزاده و همکاران (۱۳۸٦)، اشاره کرد که این روش تصمیم‌گیری گروهی را در شناسایی معیارهای موثر در اولویت‌بندی مقاطع تصادف‌خیز به‌کار برده‌اند. شیوه دیگر برای رویکرد به این مسئله، تصمیم‌گیری هر یک از اعضا به صورت فردی و سپس تلفیق نتایج حاصل می‌باشد که از جمله معروف‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده در این زمینه، بهره‌گیری از میانگین هندسی نظرات اعضای گروه است. با توجه به این نکته که مقایسات زوجی، خود داده‌ای به صورت نسبت بین مؤلفه‌هاست، مناسب بودن میانگین هندسی برای بیان متوسط نظرات اعضای گروه آشکار می‌شود.

- معرفی تکنیک ISM برای بررسی و نگاشت روابط بین زیرمعیارها

در یک سیستم کاملاً وابسته، تمامی زیرمعیارها به یکدیگر به شکل دوبه‌دو (مستقیم یا غیرمستقیم) وابسته هستند. بنابراین، هرگونه تغییر مقدار برای یک زیرمعیار بر کلیه معیارهای دیگر اثر می‌گذارد. برای مشخص‌کردن این روابط درونی برای زیرمعیارهای یک معیار، معمولاً ماتریس دسترسی‌پذیری[٦] از ماتریس مجاورت[۷] حاصل می‌شود. این کار با افزودن یک ماتریس یکه به ماتریس دسترسی‌پذیری و سپس محاسبه توان‌های متوالی آن (تاجایی که نتیجه این به توان رساندن‌ها تغییری در نتیجه محاسبه ماتریس ایجاد نکند)، ادامه می‌یابد.

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

$$A = \begin{array}{c} \\ C_{i1} \\ C_{i2} \\ \vdots \\ C_{it} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_{i1} & C_{i2} & \dots & C_{it} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & e_{12}^{p} & \dots & e_{1t}^{p} \\ e_{21}^{p} & 0 & \dots & e_{2t}^{p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{t1}^{p} & e_{t2}^{p} & \dots & 0 \end{bmatrix}_{t\times t} \end{array} \quad , \; p = 1, \dots, P$$

(Feng et al., 2010) (۱)

که در آن $e_{r\acute{r}}^{P}$ بیانگر ارزش وابستگی زیرمعیار r به $\acute{r}$ بیان شده توسط ارزیاب M_p می‌باشد. به عبارت دیگر، چنان‌چه شخص نظردهنده، زیرمعیار $C_{i\acute{r}}$ را تأثیرگذار بر مقدار r بداند، آن‌گاه $e_{r\acute{r}}^{P} = 1$ و در غیراین‌صورت $e_{r\acute{r}}^{P} = 0$ خواهد بود. به منظور در نظرگرفتن نظر کلیه ارزیابی‌کنندگان از روش MOD برای محاسبه مقدار هر عنصر، ماتریس فوق استفاده می‌شود (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 دسترسی‌پذیری به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$T = (A + I) \qquad \text{(Feng, Wu and Chia, 2010)} \qquad (۲)$$

پس از آن، زمانی‌که $T^{l} = T^{l+1}, l > 1$ شود، توقف می‌کنیم. در این روابط I ماتریس یکه و l برابر، تعداد دفعاتی است که ماتریس T باید درخود ضرب شود تا T^{l} به صورتی پایا و بدون تغییر در ضرب‌های متوالی باقی بماند.

روابط و سلسله مراتب وابستگی بین زیر معیارها می‌توانند 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 می‌کند به صورت زیر ارزیابی شده است. بنابراین، کافی است این ماتریس به ماتریس یکه افزوده شود تا ماتریس دسترسی را ایجاد کند.

www.SID.ir

Archive of SID

$$A = \begin{array}{c} \\ C_{i1} \\ C_{i2} \\ C_{i3} \\ C_{i4} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_{i1} & C_{i2} & C_{i3} & C_{i4} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array} \quad \text{و} \quad T = A + I = \begin{array}{c} \\ C_{i1} \\ C_{i2} \\ C_{i3} \\ C_{i4} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_{i1} & C_{i2} & C_{i3} & C_{i4} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

(Feng, Wu and Chia, 2010) (۳)

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

$(1 * 1 = 1, 1 * 0 = 0 * 1 = 0, 0 * 0 = 0, 1 + 1 = 1,$
$1 + 0 = 0 + 1 = 1,$ and $0 + 0 = 0)$.

این ماتریس در توان دوم خود به حالت پایا می‌رسد.

$$T = (A + I)^2 = \begin{array}{c} \\ C_{i1} \\ C_{i2} \\ C_{i3} \\ C_{i4} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_{i1} & C_{i2} & C_{i3} & C_{i4} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1^* \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1^* \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

(Feng, Wu and Chia, 2010) (٤)

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

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

همان‌گونه که بیان شد، زمانی که معیارهای ارزیابی‌کننده یک آلترناتیو دارای روابط درونی و وابستگی به یکدیگر باشند، نمی‌توانند توسط سنجه‌های معمول دارای خاصیت جمعی[۸] بیان شده و ارزیابی گردند. بنابراین، در این‌گونه 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 تک‌معیار) ارایه کنند. درجه اهمیت داده شده به این مجموعه، الزاماً برابر با مجموع درجه اهمیت اعضای آن نیست. به این ترتیب که چنان چه اهمیت کل زیر مجموعه مزبور کمتر از 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 Feng، Wu 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 آلترناتیو 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:

$$g: P(X) \rightarrow [0,1] \qquad (۵)$$

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.

www.SID.ir

Archive of SID

شرط مرزی:

$$g_{ir}(\emptyset) = 0,\ g_{ir}(X) = 1, \qquad (۶)$$ (منهاج، ۱۳۸۸)

خاصیت یکنوایی:

$$if\ A, B \subset P(X)\ and\ A \subset B, then\ g_{ir}(A) \leq g_{ir}(B). \qquad (۷)$$ (منهاج، ۱۳۸۸)

خاصیت پیوستگی:

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

$$\lim_{i\to\infty} g(A_i) = g\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i\right) \qquad (۸)$$

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:

$$g(A\cup B) = g(A) + g(B) + \lambda\cdot g(A)\cdot g(B) \text{ for some } \lambda > -1$$

(Tzeng (et. al.), 2005) (۹)

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

حالت اول: اگر $\lambda > 0$ باشد، یعنی $g_r^\lambda(A\cup B) > g_r^\lambda(A) + g_r^\lambda(B)$ به معنای آن است که A و B دارای اثر ضربی[۱۰] هستند.

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.

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.

درحالت 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:

$$g_r^\lambda(\{x_1, x_2, \dots, x_t\}) = \sum_{r=1}^{t} g_r^\lambda + \lambda\sum_{r=1}^{t-1}\sum_{r=r+1}^{t} g_r^\lambda g_r^\lambda + \dots + \lambda^{t-1} g_1^\lambda g_2^\lambda \dots g_t^\lambda = \frac{1}{\lambda}\left|\prod_{r=1}^{t}(1+\lambda g_r^\lambda) - 1\right| \qquad (۱۰)$$

که در آن g^i اهمیت زیرمعیار i ام است. g(A)=g($x_1,\dots,x_n$) نیز اهمیت مجموعه زیرمعیارهای ۱ تا i است. به این ترتیب با در اختیار داشتن مقدار λ می‌توان ضریب اهمیت مجموعه A را از روابط فوق محاسبه کرد.

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

$$F(\lambda) = \prod_{i=1}^{n}(1+\lambda.g_i) - \lambda - 1 = G(\lambda) - \lambda - 1$$

(Tzeng (et al.), 2005) (۱۱)

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 به‌دست دهد، تعیین کننده مقدار λ می‌باشد.

$$F(\lambda) = \lambda\left(-1 + \sum_{i=1}^{n} g_i + \lambda\sum_{i_1=1}^{n-1}\sum_{i_2=i_1+1}^{n} g_{i_1}g_{i_2} + \dots + \lambda^{n-1} g_1 g_2 \dots g_n\right)$$

(Tzeng (et al.), 2005) (۱۲)

انتگرال فازی:

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

تعریف: فرض کنید g سنجه‌ای فازی بر X باشد. انتگرال‌فازی به شکل $h(X)\to[0,1]$ به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\int h.dg := \sum_{i=1}^{n}(h(x_i) - h(x_{i-1})).g(A(i))$$

(Yang, Chiu and Tzeg, 2008) (۱۳)

انتگرال‌فازی 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.

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

www.SID.ir

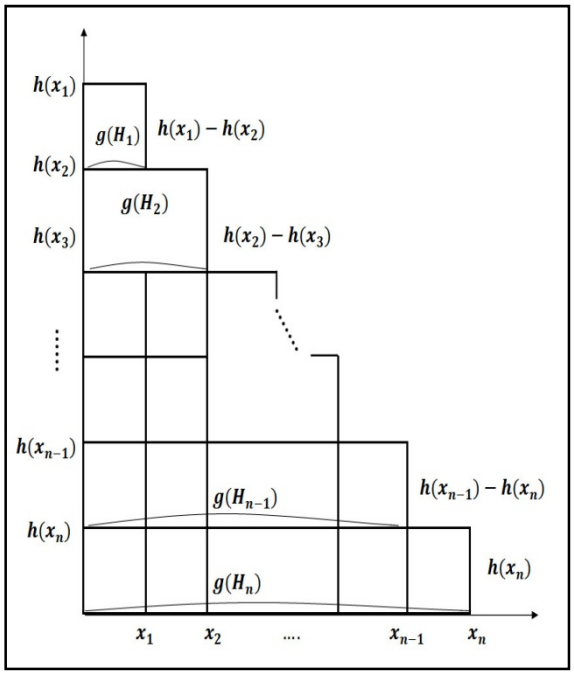
Archive of SID

که در آن:

$H1=\{x1\}$، $H2=\{x1,x2\}$ و $Ht=\{x1,x2,\ldots,xt\}$ ... است.

به این ترتیب $h(x_i)$ میزان ارزیابی معیار i توسط آلترناتیو و g اندازه فازی است که درجه تأثیرآن شاخص را در ارزیابی نشان می‌دهد. به عنوان مثال $g(\{x1\})$ درجه‌ای است که میزان تأثیر معیار i را برای تصمیم‌گیری می‌سنجد و $g(\{x1,x2\})$ میزانی را به ما می‌دهد که نشان می‌دهد دو معیار ۱ و ۲ تاچه میزان هم زمان در انتخاب آلترناتیوها و تصمیم‌گیری نقش دارند.

به این ترتیب، با محاسبه عدد فازی λ برای زیرمعیارهای دارای ارتباط درونی با یکدیگر، می‌توان مقادیر $g\{x1,\ldots xi\}$ 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 به‌دست آمده برای محاسبه امتیاز کلی هر پیمانکار در مورد معیارهای اصلی استفاده شده و در نهایت می‌توان نتایج به‌دست‌آمده از این روش (با در نظرگیری وابستگی درونی زیرمعیارهای هر معیاراصلی) را با نتایج حاصل از روش دوم (بدون در نظرگیری وابستگی‌های فوق) مقایسه کرد.



شکل۲. نمای شماتیک محاسبه انتگرال فازی برای یک آلترناتیو (Yang, Chiu and Tzeg, 2008)

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:

همان گونه 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 تصمیم گیرندگان 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 زیر معیارهای مختلف و سطوح وابستگی این زیرمعیارها به یکدیگر سنجیده شده‌است و سپس از این روابط درونی و ماتریس دسترسی‌پذیری توصیف کننده آنها برای اصلاح ضرایب اهمیت هر زیرمعیار در مقایسه با سایر زیرمعیارها استفاده شده است. روش مورد کاربرد در این مقاله طی گام‌های ۲ و۳ 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 اخذشده 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 (به‌دست آمده از مرحله قبل) و ضرایب اهمیت آنها (به‌دست آمده از نتایج AHP گروهی مرحله ۱)، مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در ادامه و در بخش ٤، هریک از این ۵ مرحله پیشنهادی و شیوه اجرای آن در مورد مطالعاتی به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. برای ایجاد رتبه بندی موردنظر سوابق عملکرد شرکت‌های پیمانکار در زمینه‌های مختلف براساس انواع داده‌های در دسترس

www.SID.ir

Archive of SID

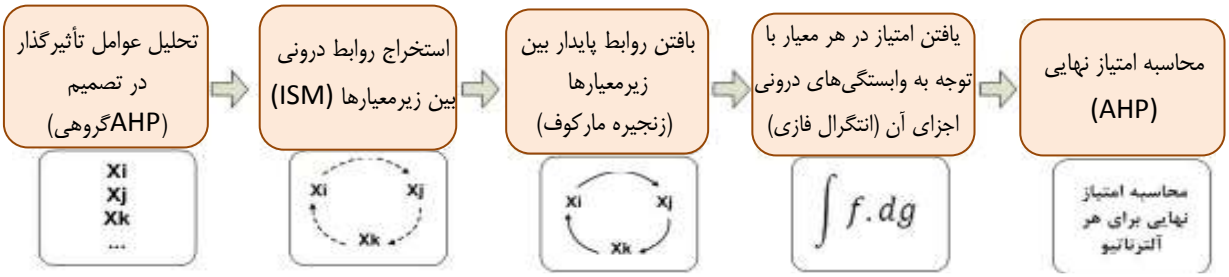
در خصوص عملکرد گذشته آنها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین به منظور شناسایی معیارهای تأثیرگذار و سطح اهمیت هر یک از آنها، روابط درونی بین این معیارها و ساختار این روابط، از مصاحبه با تعدادی از مدیران سطوح عملیاتی شرکت استفاده شده است. داده‌های موجود در خصوص سوابق عملکرد گذشته پیمانکاران راهبری در ٤ محور اصلی زیر مورد 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.

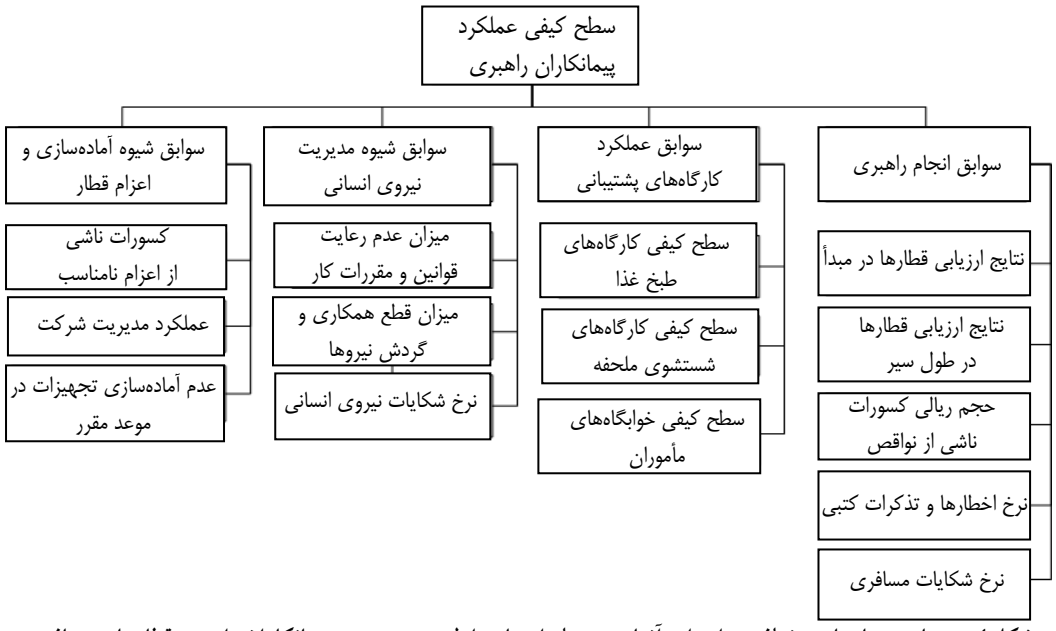
که در آن معیار اول به نحوه اجرای روزمره امر راهبری، معیار دوم به سطح کیفی کارگاه‌های پشتیبانی پیمانکار، معیار سوم به عملکرد شرکت در مدیریت نیروی انسانی (که تأثیر مستقیم بر کیفیت ارایه خدمات دارد) و معیار آخر به سوابق عملکرد در تأمین تدارکات مورد نیاز، اشاره دارد. هر یک از این معیارها خود به تعدادی زیرمعیار 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 ۸۸/٦/۱ لغایت ۸۹/٦/۱ 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 ٤ را تشکیل می‌دهند، از مستندات ثبت شده در سیستم و استخراج سوابق موجود از عملکرد شرکت‌های پیمانکار استفاده شده است.



شکل ۳. تکنیک مورد استفاده در اجرای هریک از مراحل تحقیق



شکل ٤. جزییات معیارهای مختلف و اجزای آنها در مسئله ارزیابی اولیه و رتبه‌بندی پیمانکاران راهبری قطارهای مسافری

www.SID.ir

Archive of SID

٤- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این بخش، هر یک از ٥ مرحله پیشنهادی اجرای این تحقیق (معرفی شده در بخش ١) 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 ٢ 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 ٩ درجه‌ای ساعتی به شرح مندرج در جدول ٢ (قدسی‌پور، ١٣٨١) 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 ٥ عضو، از میانگین هندسی برای جمع‌بندی نظرات تصمیم‌گیرندگان استفاده شده است. فرض کنید $a_{i,j}^{k}$ نظر شخص k-ام در مقایسه معیار i ام نسبت به معیار j ام باشد، میانگین هندسی برای همه مؤلفه‌های متناظر به صورت زیر محاسبه می‌شود $\bar{a}_{i,j} = \frac{\prod_{k=1}^{n} a_{i,j}^{(k)}}{n}$ که در آن، n تعداد تصمیم‌گیرندگان است.

این نظرخواهی در خصوص سطح اهمیت ٤ معیار اصلی با یکدیگر و نیز زیرمعیارهای تشکیل‌دهنده هر یک از این ٤ 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 (قدسی‌پور، ١٣٨١). مقدار شاخص ناسازگاری[١٣] و نرخ نسبت ناسازگاری[١٤] به ترتیب از روابط ($I.I.=\lambda_max/n-1$) و ($I.R.=(I.I)/(I.R.R$) قابل محاسبه هستند (قدسی‌پور، ١٣٨١). 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 ٣ و ٤ می‌باشد.

نرخ ناسازگاری کلیه موارد فوق با توجه به ابعاد ماتریس نظیر آنها درحد قابل قبول قرار دارد (قدسی‌پور، ١٣٨١).

گام دوم: اجرای تکنیک ISM برای شناسایی و نگاشت روابط بین زیرمعیارهای مختلف

همان‌گونه که بیان شد، اکثر روش‌های MADM برمبنای 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 براساس پایین‌تر شدن نتایج ارزیابی از حدی مشخص طی بازدیدهای 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 دوبه 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 aij به مفهوم وابسته بودن زیرمعیار i به زیرمعیار j از نظر بیشتر خبرگان است. نتیجه

www.SID.ir

Archive of SID

به دست آمده به ماتریس یکه نظیر خـود افـزوده شـده اسـت تـا ماتریس دسترسی‌پذیری حاصل گردد. نتیجه حاصل برای هر یک از چهار معیار اصلی مسئله مورد بررسی و گراف‌های بیانگر ایـن روابط به شرح مندرج در جدول ۵ می‌باشد.

جدول ۲. مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی برای انجام مقایسات زوجی (قدسی‌پور، ۱۳۸۱)

مقدار عددی	درجه اهمیت در مقایسات زوجی
۱	ترجیح یکسان
۲	یکسان تا نسبتاً مرجح
۳	نسبتاً مرجح
٤	نسبتاً تا قویاً مرجح
٥	قویاً مرجح
٦	قویاً تا بسیار قوی مرجح
۷	ترجیح بسیار قوی
۸	بسیار تا بی اندازه مرجح
۹	بی اندازه مرجح

جدول۳. ضرایب وزنی زیرمعیارهای مختلف براساس روش AHP

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

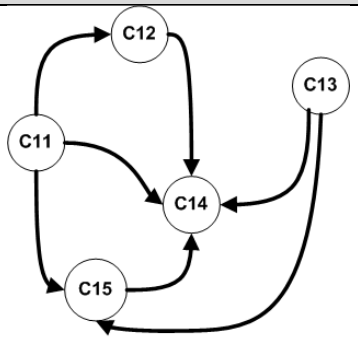
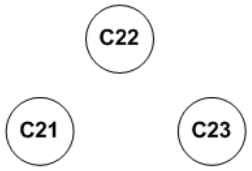
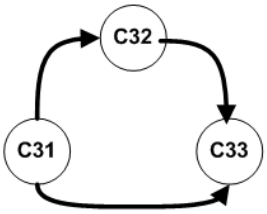
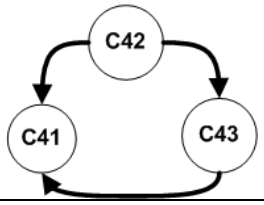
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤. ضرایب وزنی معیارهای اصلی براساس روش AHP

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

جدول ٥. ماتریس دسترسی‌پذیری و گراف اتصال زیرمعیارهای سوابق عملکردی شرکت در انجام امر راهبری قطار

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

کلیه 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. اساس روش مورد استفاده در این مقاله طی این گام برمبنای مدل توسعه داده شده توسط Feng، Wu 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

www.SID.ir

Archive of SID

دسترسی‌پذیری ماتریس یکه باشد)، ماتریس ضرایب تغییری نخواهد کرد و هرچه تعداد این وابستگی‌ها 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 وابستگی‌ها و وزن معیارهایی که به آنها وابسته‌اند، اصلاح می‌گردد؛ 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 ٤ 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، نرمال‌سازی شده و سپس برای به دست آوردن حالت پایدار به طور متوالی در خود ضرب می‌شود. نتیجه حاصل برای ماتریس زیرمعیارهای تشکیل‌دهنده معیار سوابق انجام راهبری پس از ٤ مرحله به توان رسیدن به شکل زیر می‌باشد:

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

حال ضرایب هر سطر بیانگر ضریب اهمیت هر زیر معیار در مقایسه با سایر زیرمعیارها می‌باشد. براین اساس اوزان ٥ زیرمعیار فوق به میزان زیر تغییر می‌یابد:

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

نظیر این تغییرات برای زیرمعیارهای هر٤ معیار اصلی با توجه به ماتریس دسترسی‌پذیری آنان صورت گرفته است. اوزان جدید برمبنای این محاسبات به شرح مندرج در جدول ٦ است.

جدول ٦. اوزان اصلاح‌یافته براساس وابستگی‌های درونی اجزا برای معیارهای مختلف

معیار	زیرمعیارها	ضرایب وزنی
سوابق انجام راهبری		
	C11	٠/٢٨٢
	C12	٠/١٩٧
	C13	٠/١٤٦
	C14	٠/١١٨
	C15	٠/٢٥٧
سوابق عملکرد کارگاه‌های پشتیبانی		
	C21	٠/٥٣٩
	C22	٠/٣٨٦
	C23	٠/٠٧٥
سوابق شیوه مدیریت نیروی انسانی		
	C31	٠/٦٣٢
	C32	٠/٢٦٧
	C33	٠/١٠١
سوابق شیوه آماده‌سازی و اعزام قطار		
	C41	٠/٤٦٤
	C42	٠/٢٧٩
	C43	٠/٢٥٧

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 وابستگی‌های درونی زیرمعیارهای آن محاسبه می‌شود. در بخش ٢-٢ در خصوص نحوه کاربرد اندازه و انتگرال فازی در تکنیک‌های MADM به منظور مورد توجه قرار دادن وابستگی‌های درونی بین معیارها بحث شد. این دو پارامتر باکمک روابط (١٠) و (١٣) قابل محاسبه می‌باشند.

برای این منظور در ابتدا امتیازات خام هر یک از ١٢ آلترناتیو (شرکت‌های موجود) در خصوص هر یک از ١٤ زیر معیار مسئله فهرست و به منظور یکسان‌سازی، کلیه امتیازات در بازه [٠,١] نرمال شده‌اند (معیارهای مثبت به

www.SID.ir

Archive of SID

شکل $r_{(i,j)}= x_{(i,j)}/(Max\ \{x_{(i,j)}\})$ و برای معیارهای منفی به شکل $r_{(i,j)}= [\![Max\ \{x_{(i,j)}\}]\!] - x_{(i,j)}$ 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 ترتیب نزولی مرتب شود. با در اختیار داشتن اهمیت برای زیر مجموعه‌های مختلف، انتگرال‌فازی 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 ٤ معیار اصلی مسئله را با کمک روش فوق نشان می‌دهد.

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	۰/٤۰۰	۰/۰۱
C13	۰/٥٤٦	۰/۰۰۱
C15	۰/۸۰۳	۰/۰۰۰٦
C12	۱	1E-۰۸
مقدار محاسبه شده انتگرال فازی		۰/۲٥۷

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

آلترناتیو	عملکرد در خصوص معیار اصلی سوابق انجام راهبری	عملکرد در خصوص معیار اصلی کارگاه‌های پشتیبانی	عملکرد در خصوص معیار اصلی مدیریت نیروی انسانی	عملکرد در خصوص معیار اصلی آماده‌سازی و اعزام قطار	میانگین امتیازات (محاسبه با روش انتگرال فازی)	میانگین امتیازات (محاسبه با روش معمول AHP)	رتبه در محاسبه با روش انتگرال فازی	رتبه در محاسبه با روش معمول AHP	رتبه براساس نظر خبرگان
A	۰/۲٥۷	۰/۹٤۹	۰/٦٦۷	۰/۰۷۷	۰/۳۰٥	۰/۳٤۰	۸	۹	۱۰
B	۰/٦۰٥	۰/۹۰٥	۰/۰۸۰	۰/٥٥۲	۰/٥۳٥	۰/٦۱۰	۲	۳	۲
C	۰/۲٥۹	۰/۹۷٤	۰/۰٦۷	۰/۱۲٤	۰/۲۳۷	۰/۲۹٦	۱۰	۱۰	۹
D	۰/۲٥۹	۰/۸۸٤	۰/۰٤۳	۰/۰۸٦	۰/۲۱۹	۰/۲٥۹	۱۱	۱۱	۱۲
E	۰/۳۹۹	۰/۹٦٤	۰/۱۳٤	۱	۰/٥۳٥	۰/٦۳۹	۳	۲	۳
F	۰/۳۹۲	۰/۹٥٥	۰/۷۰۹	۰/۱۷۳	۰/٤۱۲	۰/٤۷۷	٤	٤	٥
G	۰/۲٥٦	۰/۸٦٤	۰/۰۲۷	۰/۰٥۸	۰/۲۰۸	۰/۲۳٤	۱۲	۱۲	۱۱
H	۰/۲٦۲	۰/۹۰۷	۰/٦٦٦	۰/۰۹٥	۰/۳۱۱	۰/۳٤٥	٦	۸	۸
I	۰/۲٦۱	۰/۹٤۳	۰/٦۷۱	۰/۰۸۷	۰/۳۱۱	۰/۳٥۳	۷	٦	٦
J	۰/۳۸۰	۰/۹۸٥	۰/۰٦٥	۰/۰۹۸	۰/۲۱۰	۰/۳٤۸	۹	۷	۷
K	۰/٥۰۸	۰/۷٦۸	۰/۰٥۲	۰/۰۹۲	۰/۳٥۹	۰/٤۲۹	٥	٥	٤
L	۰/۷٤٤	۱	۰/۹٦۹	۰/۰۹٥	۰/٦۳۳	۰/۷۰۲	۱	۱	۱

www.SID.ir

Archive of SID

بـا کمـک ضـرایب حاصـل از اجـرای AHP گروهـی در مـورد معیارهای اصلی مسئله (در فاز یک)، رتبه نهایی هـر آلترنـاتیو بـا شیوه فوق به شرح مندرج در جدول فـوق محاسـبه شـده اسـت. محاسبه رتبه‌ها با روش معمول AHP و ترکیبی با انتگرال فازی و تغییرت رتبه‌بندی آلترناتیوها بر اساس دو شـیوه فـوق نیـز در دو ستون ۸ و ۹ این جدول نمایش داده شده است.

چنان‌چه مشاهده می‌شود، رتبه‌بندی آلترناتیوهـا بـا در نظرداشـتن روابط درونی بین متغیرها تا حدودی تغییر کرده است. این تغییـر در رده‌های میانی جدول بیشتر به چشم مـی‌خـورد و رتبـه‌بنـدی اولویت‌های برتر و نیز رده‌های آخر جدول چندان تحت تـأثیرآن قرار نگرفته است. لازم به ذکـر اسـت کـه در کـاربرد روش‌هـای تصمیم‌گیری چند معیاره، جواب بهینه‌ای که روش‌هـای مختلـف تلاش در نزدیک شدن به آن داشـته باشـند، وجـود نداشـته و بـا کـاربرد تکنیـک‌هـا و شـیوه‌هـای مختلـف ارزیـابی، رتبـه‌بنـدی آلترناتیوها دستخوش تغییر می‌شود. اگرچه این امر به نمرات اخذ شده در خصوص هر معیار و میزان فاصله آن از نمـرات نظیـر در دیگر آلترناتیوها نیز وابسته است. به عبارت بهتـر چنـان‌چـه طـی مورد مطالعاتی، عملکـرد یـک آلترنـاتیو در اکثـر معیارهـا بسـیار متفاوت از سایرین باشد، تغییرات تکنیک مورد استفاده چندان بـر نتایج حاصل تأثیرگذار نخواهد بود.

در این تحقیق، به منظور مقایسه دو روش به‌کار رفتـه، از نظـرات خبرگان استفاده شده است. برای این منظور از پنج نفر از مـدیران تصمیم‌گیرنده در حوزه اجرایی شرکت رجا خواسته شده است تا براساس تجربه کاری خود در همکاری با شرکت‌های راهبر، ایـن شرکت‌ها را رتبه‌بندی نمایند. با میانگین‌گیری از رتبه هر شـرکت پیمانکار، عددی به دست آمده است که برمبنای آن، شرکت‌هـا از رتبه ۱ تا ۱۲ مرتب شده‌اند. ایـن رتبـه‌بنـدی کـه در سـتون آخـر جدول ۸ نشـان داده شـده اسـت، دارای تفـاوت‌هـایی بـا نتـایج به‌دست آمده از هر دو روش است. در اینجا به سادگی اقـدام بـه محاسبه اختلاف رتبه‌های هر شرکت با رتبه‌های داده شده توسـط خبرگان شده و مجموع اختلاف رتبه‌ها برای هر یـک از دو روش محاسبه شـده اسـت. مجمـوع ایـن اخـتلاف بـرای روش AHP گروهی معمولی عدد ۱۲ و برای روش ترکیبـی AHP و انتگـرال فازی عدد ۸ است. همان‌گونه که مشاهده مـی‌شـود ایـن کـاهش، بیشتر مرتبط با تغییرات عناصر رده‌های میانی جدول است کـه در آنها تفاوت دو روش AHP معمولی و ترکیبی مشهودتر است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این تحقیق ارایه کننده مدل تصـمیم‌گیـری چنـدمعیاره بـر مبنـای انتگرال‌فازی برای مسئله ارزیابی پیمانکـاران در صـنعت حمـل و نقل ریلی مسافر در ایران می‌باشد. این مدل با بهره‌گیری از انـواع داده‌های موجود در سوابق عملکرد پیمانکـاران، آنهـا را براسـاس داده‌های موجود در چهار محور اصلی مورد ارزیابی قرار می‌دهد. این مدل به‌ویژه زمانی که معیارهـا دارای ویژگـی‌هـای وابسـتگی 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 معیارهـا، (۳) یافتن وزن اهمیـت معیارهـا در شـرایط پایـدار بـا توجـه بـه وابستگی‌های درونی، (٤) یافتن امتیاز نهایی هـر آلترنـاتیو در هـر معیار اصلی و (۵) محاسبه امتیاز نهایی است که با کمک تکنیک‌های AHP گروهی، ISM و انتگرال فازی انجام پذیرفتـه‌انـد. مسـایل مورد ارزیابی در ایـن روش در ٤ حـوزه اصـلی مسـایل راهبـری واگذار شده به پیمانکاران، یعنـی شـیوه اجـرای روزمـره فعالیـت راهبری، کارگاه‌های پشتیبانی شـرکت پیمانکـار، نحـوه مـدیریت نیروی انسانی و شیوه انجام تدارکات مورد نیاز برای اجـرای امـر راهبری قطارها می‌باشد که مسایل اصـلی مطـرح در ایـن حـوزه هستند. در این تحقیق از همه سوابق موجود در خصوص هر یک از این عوامل اصـلی کـه قابلیـت ارزیـابی و تخمـین مناسـب از عملکرد پیمانکار در هر زمینه را بـه دسـت دهنـد، اسـتفاده شـده 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 وابسـتگی و ارتباطـات درونی متعدد با یکدیگر هستند که کـاربرد تکنیـک‌هـای مرسـوم MADM برای آنها را دشوار می‌سازد. برای غلبه کـردن بـر ایـن 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 درونـی تشـکیل شـده‌انـد. نتایج حاصـل از اجـرای ایـن تکنیـک در تحقیـق حاضـر بیـانگر وابستگی‌های درونـی بیشـتر در خصـوص معیـار شـیوه اجـرای

www.SID.ir

Archive of SID

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 حدمعیارها 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، درنظرگیری 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 درنظرگیری 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 درخصوص نحوه بهبود عملکرد در هر زیرمعیار به گونه‌ای که بیشترین تأثیر را در عملکرد نهایی داشته‌باشد، به‌دست 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 ٤ 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.

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 درحالت 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

www.SID.ir

Archive of SID

٦- منابع

- 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 ۲٤۸-۲۳۳.
- 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 ۳٤۸-۳۳۳.
- 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 ۱٥٦-۱٤٥.
- قدسی پور، سیدحسن (۱۳۸۱) "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی"، تهران، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- منهاج، محمدباقر (۱۳۸۸) "هوش محاسباتی: محاسبات فازی" جلد سوم، چاپ دوم، تهران، انتشارات دانش نگار.
- 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.
- 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

www.SID.ir

Archive of SID

- 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.

www.SID.ir