فصل‌نامه مطالعات کمی در مدیریت
دورهٔ ۱۰، شمارهٔ چهارم، اسفند ۱۳۹۹، صص۴۵ – ۷۰

ارزیابی و انتخاب پیمانکاران پروژه‌های عمرانی شهرداری با در نظر گرفتن معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری

مهیار کیان‌پور[۱]، سید علی ترابی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۲۱ ، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۱

چکیده

امروزه، سازمان‌ها برای رشد و پایداری خود باید از استراتژی مناسب جهت پیشرفت و حفظ بقای خود بهره‌گیری نمایند. شهرداری‌ها نیز از این قاعده مستثنی نیستند. محدودیت مهمی که شهرداری‌ها با آن روبرو هستند، محدودیت منابع و امکانات جهت اجرای پروژه‌های عمرانی است. یکی از راه‌های کاهش این مشکلات، استفاده از پیمانکارانی است که در سطح مناسبی از کارایی قرار دارند. در این مطالعه، با استفاده از روش تاپسیس فازی، ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران در دو حالت انتخاب پیمانکار بر اساس معیارهای کلاسیک(معیارهای منتخب مطالعات پیشین) و انتخاب پیمانکار با در نظر گرفتن معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری انجام شده است. رشد ۷۴٪ میانگین شاخص نزدیکی به حالت ایده آل در حالت در نظر گرفتن مجموعه معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری، نشان‌دهنده نقش کلیدی معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری در انتخاب پیمانکاران برتر است. هم‌چنین از میان این معیارها، کارگروهی موثرترین معیار در انتخاب پیمانکار بوده است.

کلمات کلیدی: تاپسیس فازی، پیمانکاران، رتبه‌بندی، شهرداری و مهندسی مقاومت‌پذیری.

[۱]. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
omidian.2013@gmail.com
[۲]. نویسنده مسئول، استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
satorabi@ut.ac.ir

مقدمه

با توجه به روند رو به رشد جمعیت کشورها، دولت‌ها برای تحت کنترل داشتن شهرها ملزم به تفویض کارها به شکل ادارات و سازمان‌های مختلف شدند(Gordon, 1994). در شهرهای بزرگ به‌تدریج باافزایش ادارات دولتی و افزایش اختیارات دولتی، دولت‌ها برای اداره‌ی امور خود ارگان‌هایی به نام "پیمانکاران "را تعریف کردند(Hatush et.al., 1998) . پیمانکاران به گروه‌هایی گفته می‌شود که در قالب "شرکت" تمایل خود را در قبال گرفتن مبالغی از طرف کارفرما، به‌منظور انجام اموری محوله که به آن‌ها تشریح می‌شود اعلام می‌کنند و متعهد انجام آن امور می‌شوند(Bresnen et.al., 2000) . اگرچه این سیستم اتخاد پیمانکار و تفویض قدرت و اجرای امور هم می‌تواند معایب زیادی داشته باشد ولی به‌هرحال مزایای آن بسیار بیشتر از معایب آن است(Holt, 1998). بدیهی است که در این نوع سیستم کاری نه تنها از نیروها و پتانسیل‌های مردمی به راحت‌ترین و آسان‌ترین شکل می‌توان استفاده کرد بلکه چون سازمان‌های کارگزار، عمدتاً خصوصی هستند حداکثر تلاش خود را برای داشتن بالاترین بهره‌وری به کار می‌برند(Russell et.al., 1992) .

منظور از داشتن حداکثری بهره‌وری این است که پیمانکار به ازای مقدار مشخص و محدود مبلغ مورد قرارداد متعهد است که در بازار دارای نوسان خارجی کار را که به عهده گرفته و به بهترین شکل ممکن انجام دهد و در نتیجه تمام تلاش خود را برای داشتن بالاترین صرفه اقتصادی خواهد کرد(Holt, 1996) و (Kanggari et.al., 1992). در شرایط عادی پیمانکارانی می‌توانند موفق باشند که دارای مدیریت زمانی و اقتصادی بالایی باشند یعنی بتوانند با حداقل هزینه بهترین بهره‌وری را در زمان مشخص شده داشته باشند (Harris et.al., 2013). در این میان، شهرداری‌ها هم به‌عنوان یک انجمن مربوط به شهر، دارای صلاحیت اعمال قدرت سیاسی بوده و خدمات دولتی محلی را مانند انجام امور راه‌سازی و عمرانی، پیش‌گیری از جرم و جنایت و خدمات آتش‌نشانی و ... را به عموم ارایه می‌دهد (Haghnazar et.al., 2010). در سراسر جهان و به‌ویژه کشورهای توسعه‌یافته، شهرداری‌ها از وظائف متنوع و متعددی برخوردار می‌باشند و بر همین اساس در حال حاضر می‌توان وظایف شهرداری‌ها را به پنج گروه وظایف عمرانی، وظایف خدماتی، وظایف نظارتی و

حفاظتی، وظایف رفاهی و مدیریت منابع تقسیم‌بندی کرد.دلایل مختلفی وجود دارد که شهرداری‌ها برای انجام امور خود بخشهای خصوصی و یا حتی دولتی را در غالب شرکت‌های خصوصی به‌منظور انجام امور خود به‌ویژه پروژه‌های عمرانی خود انتخاب کردند : به‌عنوان مثال حفظ کنترل بر کادر اداری که با گستردگی و پیچیده شدن وظایف شهرداری‌ها این امر ناممکن تلقی می‌شود (Tanaka, 2014) . در بررسی تاریخی پروژه‌های عمرانی شهرداری به وضوح نشان داده شده است که این نهاد عموماً نمی‌توانستند پروژه‌های خود را تا آخر انجام دهند چرا که تجربه‌ی عملی آن‌ها کم بوده و نمی‌توانستند مشکلات و بارهای مالی که به‌طور اتفاقی و غیرقابل پیش‌بینی به آن‌ها تحمیل شود را جبران کنند، بنابراین موضوع انتخاب پیمانکار برای اجرای پروژه‌های عمرانی شهرداری محور کار شهرداری‌ها قرار گرفت (San Cristobal, 2011).در این مطالعه به بررسی تاثیر معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری در انتخاب پیمانکار شهرداری پرداخته شده است.یکی از موارد کاربرد مهندسی مقاومت‌پذیری در رابطه با مسائل تصمیم‌گیری پیچیده است. مساله انتخاب پیمانکار شهرداری نیز از جمله مسائلی است که همواره به‌عنوان یک چالش جدی برای شهرداری مطرح است.تیم انتخاب پیمانکار شهرداری، اخیراً به این موضوع پی برده‌اند که انتخاب پیمانکار صرفاً بر اساس معیارهای کلاسیک ارضاکننده نیست، بنابراین باید معیارهایی تعیین شوند که بر اساس آن‌ها بتوانند سطح پایداری و استواری پیمانکاران را عمدتاً در هنگام وقوع بحران (مانند بلایای طبیعی، جنگ و ...)ارزیابی کنند. مهندسی مقاومت‌پذیری شامل معیارهایی است که توانایی یک سیستم را ازنظر مقاومت در برابر این تغییرات ناگهانی و غیرقابل کنترل و هم‌چنین عملکرد یک سیستم را در به حداقل رساندن اثر شوک‌هایی که ممکن است سیستم را به‌کل مختل کنند، اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین برای انتخاب پیمانکاران درزمینه اجرای پروژه‌های عمرانی شهرداری باید به سوالاتی از قبیل سوالات زیر پاسخ داده شود:

مکانیزم انتخاب پیمانکاران شهرداری چگونه است؟ در حال حاضر چه معیارهایی برای انتخاب پیمانکاران شهرداری تعریف شده است؟ با توجه به پیچیدگی‌های بسیار زیاد در تجهیزات پیمانکاران و هزینه‌های بسیار زیاد اجرای پروژه‌های شهرداری چه معیارهایی باید

در گزینش نهایی پیمانکاران موردتوجه قرار بگیرد؟ وزن دهی به معیارها توسط چه کسانی و با چه معیاری صورت می‌گیرد؟ اهمیت و وزن هر معیار در گزینش پیمانکاران شهرداری به چه میزان است؟ پیمانکاران شهرداری باید در قالب چه مدلی تعیین شوند؟ چه میزان معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری در انتخاب پیمانکار نقش دارند؟

بنابراین در این مطالعه، به تمامی سوالات مطرح‌شده فوق پاسخ داده می‌شود و هم‌چنین در نهایت با در نظر گرفتن دو حالت معیارهای کلاسیک و معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری به ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکارانی که شرایط لازم را جهت اخذ پروژه و هم‌چنین انعقاد قرارداد با کارفرما (شهرداری) برای اجرای پروژه‌های عمرانی را دارا هستند می‌پردازیم.

پیشینه پژوهش

عملکرد پیمانکاران، نقش اساسی بر موفقیت یا شکست یک سازمان دارد، در نتیجه، تصمیم‌گیری‌های نادرست در زمینه انتخاب پیمانکاران، پیامدهای منفی و زیان‌های بسیاری را برای سازمان در پی خواهد داشت. بنابراین، بررسی و به‌کارگیری مفاهیم جدید مدیریتی در انتخاب پیمانکاران، ضروری به نظر می‌رسد. به‌طورکلی، در تصمیمات مربوط به انتخاب پیمانکار، دو دیدگاه از اهمیت ویژه برخوردار هستند: یکی اینکه چه معیارهایی باید به کار گرفته شوند و دیگری اینکه چه روش‌هایی برای مقایسه پیمانکاران باید به کار رود. بنابراین ابتدا به بررسی مطالعات انجام‌گرفته بر اساس معیارهای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران می‌پردازیم و بعد از آن رویکردهای مورد استفاده در این مقالات را موردبحث و تحلیل قرار می‌دهیم.

برای انتخاب پیمانکاران در کل۴۱ معیار مختلف از مقالات جمع‌آوری‌شده است که در۱۰گروه معیار طبقه‌بندی شده‌اند. این معیارها و گروه معیارها از مقالات:

(Jaskowski et.al., 2010; Watt et.al., 2010; Singh et.al., 2006; Mahdi et.al., 2002; Cheng et.al., 2004; Waara et.al., 2006)

گردآوری شده‌اند که شامل: هزینه، کیفیت، ایمنی، تجربه و رفتار نیروی کار، ریسک، بیمه تجهیزات و نیروی انسانی، زمان، مناقصه و تجربه می‌باشند. برای مثال تاپکو (۲۰۰۴) به

انتخاب سه معیار هزینه، کیفیت و زمان برای انتخاب پیمانکاران در مناقصه‌ها در کشور ترکیه پرداخته است(Ilker Topcu, 2004).

فانگ و چوی (۲۰۰۰) در مطالعه اشان پیرامون معیارهای انتخاب پیمانکار از معیارهایی مانند هزینه، تجربه، ایمنی و زمان نام برده‌اند (Fong et.al., 2000). زوادسکاس(۲۰۰۸)در مطالعه خود به ارایه و دسته‌بندی معیارهای انتخاب پیمانکار پرداخته است، دسته‌بندی که وی به آن اشاره کرده است با دسته‌بندی ارایه شده در مقالات:

(Jaskowski et.al., 2010; Watt et.al., 2010; Singh et.al., 2006; Mahdi et.al., 2002; Cheng et.al., 2004; Waara et.al., 2006)

تفاوت چندانی ندارد و تنها نام برخی از معیارها و گروه معیارها تغییر کرده است و در برخی موارد معیارهایی که دارای وجه مشترک بوده‌اند در هم ادغام شده‌اند (Zavadskas et.al., 2008). زو و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعاتشان به معرفی معیارهای ایمنی، بیمه و رفتار نیروی کار پیمانکاران پرداخته‌اند. هم‌چنین اهمیت هر یک از این معیارها را در انتخاب پیمانکار سازمان مورد نقد و تحلیل قرار داده‌اند (zou et.al., 2007) . چانگ و همکاران (۲۰۰۱) نیز با مروری بر معیارهایی که محققان پیشین در رابطه با انتخاب پیمانکار در نظرگرفته بودند، حوزه‌های دیگری از معیارهای انتخاب را تعیین کرده است. برخی از این حوزه‌ها که شامل ریسک، تجربه، نوع مناقصه و برخی از معیارهای فیزیکی مانند دوری و نزدیکی پیمانکار به محل کار را مورد بررسی قرار داده است (Cheung et.al., 2001). هولت و همکاران (۱۹۹۵) در مطالعه خود دسته‌بندی دیگری از معیارها ارایه داده‌اند که از میان آن‌ها کیفیت، زمان تحویل، پیشینه پیمانکار، تضمین کیفیت و تکنولوژی ۵ معیار مهم و کلیدی از میان ۲۳ معیار شناسایی‌شده انتخاب پیمانکار معرفی شده‌اند (Holt et.al., 2001) .

هم‌چنین پژوهش‌های بسیار زیادی در رابطه با فرآیند انتخاب پیمانکار صورت پذیرفته است که هرکدام از رویکرد خاصی بهره گرفته‌اند. در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

فورکر و مندز (۲۰۰۱) یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تک هدفه را برای حداقل کردن جمع خرید، هزینه‌های موجودی و حمل‌ونقل با در نظر گرفتن چند محصولی بودن، چند دوره زمانی، کیفیت، تحویل و ظرفیت ارایه کردند (Forker et.al., 2001). ونگ و

همکاران (۲۰۱۳)، یک سیستم پشتیبانی تصمیم را برای کاهش تعداد پیمانکاران (بر اساس استراتژی بهینه‌سازی پایگاه عرضه) ایجاد کردند. آن‌ها از یک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط استفاده کردند و محدودیت ظرفیت پیمانکاران و محدودیت‌های بودجه و کیفیت خریدار را در نظرگرفتند(Wang et.al., 2013). قلی‌پور و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه خود یک مدل ترکیبی AHP و برنامه‌ریزی خطی را برای کمک به مدیران درزمینه انتخاب پیمانکار ارایه کردند که هم عوامل کمّی و هم عوامل کیفی را در فعالیت خرید به‌حساب می‌آورد (Gholipour et.al., 2014). تالاوری و بیکر(۲۰۰۲) از یک رویکرد بهینه‌سازی ترکیبی، شامل برنامه‌ریزی چندهدفه و رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کردند. در این رویکرد، ابتدا از برنامه‌ریزی چندهدفه برای انتخاب پیمانکار استفاده شد و سپس برای ارزیابی کارآمدی پیمانکاران انتخاب‌شده براساس چندین معیار، از رویکرد DEA بهره گرفته شد (Talluri et.al., 2002). رویکرد برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه نیز ازجمله رویکردهای انتخاب پیمانکار است که همزمان تعداد پیمانکاران و مقدار سفارش تخصیصی به هر کدام را در محیط منبع‌یابی چند منبعی با چند محصول تعیین می‌گردد (Senthil et.al., 2014). کومار و روی(۲۰۱۱) یک روش‌شناسی تصمیم‌گیری را برای زنجیره عرضه طراحی کردند که مدیرکارخانه را قادر به انتخاب پیمانکار مناسب می‌سازد. در این روش‌شناسی، از تکنیک‌های AHP و برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده است (Kumar et.al., 2011). ابراهیم نژاد و همکاران (۲۰۱۲) از یک روش ترکیبی شامل AHP و برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی، برای انتخاب پیمانکاران استفاده کردند و نشان دادند که نتیجه مدل ترکیبی در مقایسه با حالتی که مسأله انتخاب پیمانکار تنها با مدل AHP حل می‌شود، سازگاری بیشتری با واقعیت دارد و لذا استفاده از مدل ترکیبی را برای قطعات در کلاس A پیشنهاد کردند (Ebrahimnejad et.al., 2012). تالوری و ناراسیمن (۲۰۰۴)، رویکردهای کمّی برای انتخاب پیمانکار را در ۳ طبقه گروه‌بندی کردند: مدل‌های وزنی خطی، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی و رویکردهای آماری/ احتمالی (Talluri et.al., 2004).

اهداف اصلی این مطالعه عبارتند از: تعیین معیارهای کلاسیک و مهندسی مقاومت‌پذیری

مهم و موثر در انتخاب پیمانکاران شهرداری و اهمیت هر یک از آن‌ها از نظر مدیران در انتخاب پیمانکار، بررسی اثر مجموعه معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری در رتبه‌بندی ارایه شده از پیمانکاران کاندید و هم‌چنین تعیین موثرترین معیار مهندسی مقاومت‌پذیری در اراده رتبه‌بندی معتبر پیمانکاران با استفاده از روش تاپسیس فازی.ساختار این مطالعه به صورت زیر سازماندهی شده است: ابتدا به تشریح معیارها و تکنیک‌های انتخاب پیمانکار پرداخته می‌شود و در ادامه، مباحثی در ارتباط با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت وزن دهی به معیارها ارایه می‌گردد. بعد از آن روش تصمیم‌گیری با استفاده از تاپسیس فازی جهت انتخاب پیمانکاران مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بخش بعدی، مقایسه نتایج رتبه‌بندی پیمانکاران ارایه می‌شود که نتیجه آن بررسی اثر معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری در انتخاب پروژه است. بعد از آن نیز بحث و نتیجه‌گیری مطالعه آورده می‌شود.

معیارهای انتخاب پیمانکاران شهرداری

در این قسمت از مطالعه به تشریح معیارهای انتخاب پیمانکاران شهرداری پرداخته شده است و در عین حال استراتژی اثرگذار را مورد بررسی قرار داده‌ایم. با مصاحبه و مشورت با خبرگان امور اجرایی شهرداری در این مطالعه به پالایش تمامی معیارهای کلاسیک و معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری موثر در انتخاب پیمانکار پرداختیم و در نهایت با نظر ایشان از میان معیارهای کلاسیک، معیارهای قیمت مناقصه، ثبات مالی، پیگیری قانونی موارد تخلف، آینده نگری (پیش‌بینی) ریسک، شهرت و اعتبار، تاخیر، دانش و تجربه و برنامه‌های کنترل کیفیت و تضمین کیفیت انتخاب شدند و هم‌چنین از میان معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری معیارهای تعهد مدیریت پیمانکاری، آمادگی و آگاهی، انعطاف‌پذیری، کار تیمی و افزونگی ازجمله معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری و کلیدی و جامع جهت انتخاب پیمانکار در شهرداری‌ها انتخاب شدند. در ادامه تشریح مختصری از هریک از این معیارهای کلاسیک و معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری ارایه شده است:

قیمت مناقصه

در مناقصات پیمانکاران به پیشنهاد قیمت جهت انجام پروژه می پردازند. این پیشنهاد

وابستگی زیادی به مهارت، تجهیزات و نیرون انسانی پیمانکار دارد. پیشنهاد قیمت، هسته اصلی هر برنامه پیمانکار است و تاثیر مستقیمی روی استراتژی پیمانکار شرکت خواهد داشت (Tanaka, 2014).

ثبات مالی

یکی از چالش‌های در حال حاضر پیمانکارها در فضای رقابتی امروز، توانایی مالی این سازمان‌هاست تا آن‌ها را در برابر بحران‌های مالی که به‌طور ناگهانی و ریسک ممکن است در حین اجرای پروژه با آن مواجه شوند را ایمن کند. در این رابطه پیمانکاران با مدیریت درست منابع مالی به راحتی می‌توانند از این چالش رهایی پیدا کنند (Watt et.al., 2010).

پیگیری قانونی موارد تخلف

در حین اجرای پروژه‌های اجرایی، برای شهرداری تعهد قانونی پیمانکاران جهت عدم تجاوز به حقوق زیستی از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین پیمانکاران باید نسبت به هرگونه تخلف از حوزه اجرایی (مانند آلودگی زیستی) به کارفرما اطمینان دهند (Cheng et.al., 2004).

آینده‌نگری(پیش‌بینی) ریسک

یک پیمانکار خبره همیشه دارای دیدگاه آینده‌نگری نسبت به تمامی رویداد های احتمالی که ممکن است در طول اجرای پروژه با آن روبرو شود، می‌باشد. بنابراین پیمانکارانی که ریسک‌های احتمالی آتی را در برنامه خود به کارفرما ارایه می‌دهند بیشتر موردتوجه قرار می‌گیرند (Mahdi et.al., 2002).

شهرت و اعتبار

زمانی که یک پیمانکار در میان کارفرماها محبوب می‌شود او در شناساندن نام خود موفق بوده است. در واقع شهرت و اعتبار در راستای موفقیت‌های پیشین پیمانکاران ایجاد می‌شود. بنابراین شهرت و اعتبار دست خوش سابقه درخشانی است که پیمانکار از خود به جای می‌گذارد، هرچند نمی‌توان تبلیغات را بی‌اثر دانست (Waara et.al., 2006).

تاخیر

پیمانکاری که برای اجرای پروژه ای انتخاب می‌شود، هم برای اتمام نهایی ریز فعالیت‌ها

و هم برای تحویل نهایی پروژه با کارفرما به توافق می‌رسد. بنابراین هرگونه تاخیر از زمان مقرر شده، تاخیر محسوب می‌شود (Cheng et.al., 2004).

دانش و تجربه

یکی از ارکان مهم گروه پیمانکاری، دانش و مهارت نیروی متخصص و فنی آن‌ها می‌باشد. بنابراین کارفرمایان باید نسبت به تخصص پیمانکاران اطمینان حاصل کنند و هم‌چنین سابقه پیشین پیمانکاران نیز در نظر داشته باشند (Singh et.al., 2006).

کنترل کیفیت و تضمین کیفیت

کارفرما اختیار این را دارد تا در طول اجرای پروژه سطح کیفی کارهای انجام شده را جویا شود بنابراین از وظایف پیمانکاران است تا کیفیت مطلوب را در انجام فعالیت‌ها و مواد مورد استفاده در انجام پروژه به کار گیرند. هم‌چنین پیمانکاران باید در نهایت مجموعه تحویلی را به لحاظ کیفیت تضمین کنند (Mahdi et.al., 2002).

معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری نیز به صورت زیر تعریف می‌شوند:

تعهد مدیریت

این معیار مرتبط با مدیران ارشد پیمانکاران است و نشان‌دهنده این موضوع است که تا چه میزان سیاست های لازم را جهت افزایش بهره‌وری در پیش می‌گیرند. برای مثال تا چه میزان مدیران ارشد پیمانکاران نسبت به طرح‌های تشویق کارکنانشان برنامه دارند و قدردان کارکنان نمونه هستند یا این که تا چه میزان مدیران ارشد منابع و تجهیزات کافی را جهت حفظ و ارتقا ایمنی به کار می‌گیرند (Hollnagel, 2006).

آمادگی و آگاهی

این معیار تعیین‌کننده این موضوع است که کارکنان و تیم پیمانکاری تا چه میزان از حوادث و رویداد های آتی اطلاع دارند. یا این که چه میزان به نظرات افرادی که راجب رویدادهای بالقوه آینده اطلاع‌رسانی می‌کنند اهمیت قائل می‌شوند (Hollnagel, et.al., 2006) .

انعطاف‌پذیری

با گسترش مبانی رقابتی میان پیمانکاران و افزایش اهمیت زمان، یک مسأله حیاتی، انعطاف

پذیری خواهد بود. محققان در مورد انعطاف‌پذیری به ندرت بین تغییرات برنامه‌ریزی شده و برنامه‌ریزی نشده تمایز قائل می‌شوند ولی بیش‌تر آن‌ها تنها تغییرات برنامه‌ریزی نشده را برای انعطاف‌پذیری در نظر می گیرند. تغییرات برنامه‌ریزی نشده مستقل از اراده سازمان رخ می‌دهند ولی سازمان باید با آن‌ها تطبیق یابد . در مقابل، تغییرات برنامه‌ریزی شده در نتیجه تصمیمات مدیریتی محتاطانه سازمان رخ می‌دهند که برای تغییر برخی جنبه‌های سازمان یا ارتباط آن با محیط اتخاذ می‌شوند (Hollnagel, 2013).

کارتیمی

از مهم‌ترین مولفه‌های کارگروهی، رهبری، ارتباط، حمایت متقابل و نظارت بر وضعیت می‌باشد. کار گروهی باعث می‌شود خطاهای انسانی که در سیستم انفرادی رخ می‌دهد، در بسیاری از مسائل پوشش داده شود و بسیاری از مشکلات، قابل حل شود. کار گروهی، فشار ناشی از کار در سیستم‌های تک نفره و خطاهای سیستم را کاهش می‌دهد. هم‌چنین به اعتبار سیستم می‌افزاید (Costella et.al., 2009; Woods et.al., 2012).

افزونگی

افزونگی در سیستم‌هایی که در آن انسان و ماشین هستند، اتفاق می‌افتد و در شرایطی رخ می‌دهد که دو نفر یا بیشتر در یک سیستم برای انجام کاری همکاری می‌کنند تا با دسترسی اطلاعات وظایف لازم را اجرا کنند (Azadeh et.al., 2016).

مبانی نظری پژوهش

با توجه به این که روش تاپسیس روش معروفی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره کلاسیک می‌باشد، بسیاری از محققان از این روش برای مسائل تصمیم‌گیری فازی استفاده می‌کنند. بسیاری از محققان در مطالعه‌اشان مقادیر وزنی معیارها و گزینه‌ها را از حالت فازی به حالت دقیق تبدیل کرده‌اند (فازی‌زدایی) در حالی که این کار باعث از دست رفتن بخش زیادی از اطلاعات مسأله می‌شود (Chen et.al., 2008).

در این مطالعه نرخ‌ها و وزن معیارها در حالت فازی تعیین شده است و هم‌چنین مقایسات زوجی مربوط به روش تاپسیس نیز در فضای فازی انجام گرفته است تا نتایج به‌دست آمده

از این روش تا حد امکان به جواب ایده آل در دنیای واقعی نزدیک‌تر باشد. بر اساس مفاهیم، روش تاپسیس در این تکنیک با استفاده از n معیار به ارزیابی m گزینه پرداخته می‌شود. بنابراین به هر گزینه براساس هر معیار امتیازی داده می‌شود. این امتیازات می‌تواند براساس مقادیر کمی و واقعی باشد یا اینکه کیفی و نظری باشد. در هر صورت باید یک ماتریس تصمیم $m\times n$ فازی تشکیل شود. سپس مانند سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ماتریس تصمیم باید نرمال شود. برای نرمال‌سازی مقادیر از روش برداری استفاده می‌شود. روش برداری برخلاف روش ساده نرمال‌سازی خطی با استفاده از رابطه زیر انجام می‌شود:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{1}^{m} x_{ij}^{2}}}$$

سپس ماتریس نرمال موزون براساس وزن معیارهای تعیین می‌گردد. بنابراین باید از پیش اوزان معیارها با استفاده از تکنیکی مانندAHP یا آنتروپی شانون محاسبه شده باشد. موزون کردن بسیار ساده است و وزن هر معیار در درایه‌های مربوط به آن معیار ضرب می‌شود.

سپس جواب های ایده آل مثبت و ایده آل منفی برای هریک از معیارها تعیین می‌گردد. سرانجام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل حساب می‌شود. فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی با روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$d_i^{+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^{+})^2}$$

$$d_i^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^{-})^2}$$

در نهایت میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$CL_i^{*} = \frac{d_i^{-}}{d_i^{-} + d_i^{+}}$$

الگوریتم تاپسیس فازی پیشنهادی

هدف روش تاپسیس پیشنهاد شده در این مطالعه رتبه‌بندی پیمانکاران پروژه‌های عمرانی شهرداری بر اساس دو گروه معیار کلاسیک و مهندسی مقاومت‌پذیری و هم‌چنین بررسی نقش

معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری بر انتخاب پیمانکاران است.

در این مطالعه متغیرهای گفتاری برای اهمیت وزن‌های معیارها به صورت خیلی زیاد (VH)، زیاد(H)، تاحدودی زیاد (MH)، بی‌تفاوت (M)، تا حدودی کم (ML)، کم (L) و خیلی کم (VL) بوده و هم‌چنین متغیرهای گفتاری برای نرخ های معیارهای هر گزینه به صورت خیلی خوب (VG)، خوب(G)، تا حدودی خوب (MG)، بی‌تفاوت (F)، تا حدودی ضعیف (MP)، ضعیف (P) و خیلی ضعیف (VP) می‌باشد (Chen et.al., 2008). در میان انواع گوناگون اعداد فازی،اعداد فازی مثلثی از کاربرد بیشتری برخوردار هستند. برای این منظور نیز داده‌های مورد نیاز جهت انجام این مطالعه به صورت داده‌های فازی مثلثی گردآوری شده است. در مسایل واقعی پیرامون ما، مسایل تصمیم‌گیری عمدتاً مسایل تصمیم‌گیری گروهی می‌باشند. بنابراین ابتدا از یک تیم خبره k نفره در مرکز شهرداری تشکیل دادیم. این تیم خبره از افرادی که در کادر انتخاب پیمانکاران حضور دارند تشکیل شده است.

این مجموعه افراد را با E_kنشان می‌دهیم. مجموعه معیارهای کلاسیک شناسایی شده و منتخب برای انتخاب پیمانکار را با $CC_j = \{1,2,...,n\}$ و هم‌چنین مجموعه معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری را نیز با $CR_j = \{1,2,...,n'\}$نمایش می‌دهیم. مجموعه گزینه‌ها را که همان تشکیل دهنده مجموعه پیمانکاران هستند را با $A_i = \{1,2,...,m\}$نمایش می‌دهیم. فرض می‌کنیم که مجموعه $X = \{x_{ij} \mid i = 1,2,...,m, j = 1,2,...,n\}$نرخ های ارزیابی $A_i = \{1,2,...,m\}$بر اساس $CC_j = \{1,2,...,n\}$ باشد که با اضافه شدن معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری مجموعه معیارهای ما به $n+n'$افزایش می‌یابد.

هر تصمیم گیرنده DM_kکه ($k = 1,2,...,K$)می‌تواند نرخ فازی خود را به صورت یک عدد فازی مثلثی مثبت به صورت $\tilde{R}_k$که ($k = 1,2,...,K$) با تابع عضویت $\mu_{\tilde{R}_k}(x)$ تعیین کند. اگر نرخ های فازی همه تصمیم گیرنده ها به صورت اعداد فازی مثلثی مثبت $\tilde{R}_k = (r_k^a, r_k^b, r_k^c)$باشد، برای ادغام نرخ های فازی تصمیم گیرنده ها، می‌توان نرخ فازی مثلثی ادغام شده را به صورت $\tilde{R} = (r^a, r^b, r^c)$ در نظر گرفت که: $r^a = \min(r_k^a)$ و

$$r^c = \max(\mathrm{r}_k^c) \quad \text{و} \quad r^b = \frac{1}{k}\sum_k (\mathrm{r}_k^b)$$

فرض کنیم معیارهای ارزیابی هر گزینه و اهمیت وزن های فازی هرمعیار توسط k امین تصمیم گیرنده به صورت $\tilde{x}_{ijk} = \left\{x_{ijk}^a, x_{ijk}^b, x_{ijk}^c\right\}$ و $\tilde{W}_{jk} = \left\{w_{jk}^a, w_{jk}^b, w_{jk}^c\right\}$ که $i = 1,2,...,m, j = 1,2,...,n$ و با اضافه شدن معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری این معیارهای ما به $n+n'$ افزایش می‌یابد. از این رو ادغام نرخ های فازی معیارهای هر گزینه x_{ij} به صورت $x_{ij} = \left\{x_{ij}^a, x_{ij}^b, x_{ij}^c\right\}$ محاسبه می‌گردد. به‌طوری‌که $x_{ij}^a = \min(x_{ijk}^a)$ و $x_{ij}^b = \frac{1}{k}\sum_k (x_{ijk}^b)$ و $x_{ij}^c = \max(x_{ijk}^c)$. ادغام وزن های فازی هریک از وزن های معیارها $\tilde{W}_j$ نیز به صورت $\tilde{W}_j = \left\{w_j^a, w_j^b, w_j^c\right\}$ محاسبه می‌گردد. به طوری که $w_j^a = \min(w_{jk}^a)$ و $w_j^b = \frac{1}{k}\sum_k (w_{jk}^b)$ و $w_j^c = \max(w_{jk}^c)$

در مسایل تصمیم‌گیری عمدتاً معیارها ممکن است در ماهیت با یکدیگر در تعارض باشند. مثال عده‌ای از این معیارها مانند قیمت مناقصه و تاخیر و ... به صورت هزینه معرفی می‌شوند و بعضی دیگر از معیارها مانند دانش و تجربه و کیفیت و ... به صورت سود معرفی می‌گردند. بنابراین برای بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری فازی به صورت $\tilde{R} = \left[\tilde{r}_{ij}\right]_{m\times n}$ نرمال می‌کنیم. برای مثال اگر M و N به ترتیب معیارهای سود و هزینه باشند، داریم:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{x_{ij}^a}{\theta_j^*}, \frac{x_{ij}^b}{\theta_j^*}, \frac{x_{ij}^c}{\theta_j^*}\right) \qquad j \in M$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{\varphi_j^-}{x_{ij}^a}, \frac{\varphi_j^-}{x_{ij}^b}, \frac{\varphi_j^-}{x_{ij}^c}\right) \qquad j \in N$$

که $\theta_j^* (\mathrm{j} \in \mathrm{M})$ و $\varphi_j^- (\mathrm{j} \in N)$ به ترتیب به صورت $\max\left\{x_{ij}^c\right\}$ و $\min\left\{x_{ij}^a\right\}$ تعریف می‌گردند. روش نرمال سازی مذکور تمام خصوصیات معیار را حفظ می‌کند در حالی‌که $\tilde{r}_{ij}$ به ازای هر i, j اعداد فازی نرمال مثلثی می‌باشند. حال ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون را به صورت $\tilde{Q} = \left[\tilde{q}_{ij}\right]_{m\times n}$ $i = 1,2,...,m, j = 1,2,...,n$ به‌دست می‌آوریم به‌طوری که

عناصر ماتریس موزون به صورت $\tilde{q}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j$ تعریف می‌شوند و همچنان به صورت اعداد فازی مثلثی $\tilde{q}_{ij} \cong (q_{ij}^a, q_{ij}^b, q_{ij}^c)$ می‌باشند.اکنون مقادیر ایده آل مثبت و مقادیر ایده آل منفی را می‌توانیم به صورت رابطه ذیل تعریف کنیم:

$$F^* = (\tilde{V}_1^*, \tilde{V}_2^*, ..., \tilde{V}_n^*)$$

$$F^- = (\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, ..., \tilde{V}_n^-)$$

به‌طوریکه $\tilde{V}_j^* = (v_j^*, v_j^*, v_j^*)$ و $v_j^* = \max\{q_{ij}^c\}$ و $\tilde{V}_j^- = (v_j^-, v_j^-, v_j^-)$ و $v_j^- = \min\{q_{ij}^c\}$.

حل ایده آل فازی یک حل مجازی ایده آل است که معیارهای سود را ماکزیمم کرده و معیارهای زیان را مینیمم می‌کند و یا به عبارت دیگر گزینه‌ای است که معیارهای آن در بهترین مقدار خود قرار دارند. بنابراین در ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمال شده موزون گزینه‌ای را می‌توانبه‌عنوان حالت ایده آل مثبت در نظر گرفت که هریک از معیارهای آن به صورت $(1,1,1)$باشند.

از طرفی ایده آل منفی حالتی است که معیارهای سود را مینیمم کرده و معیارهای زیان را ماکزیم می‌کند یا به عبارت دیگر گزینه‌ای است که معیارهای ان در بدترین مقدار خود باشند بنابراین در ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمال شده موزون گزینه‌ای را می‌توانبه‌عنوان حالت ایده آل منفی در نظر گرفت که هریک از معیارهای آن به صورت $(0,0,0)$ می‌باشد.فاصله هر گزینه را از F^*و F^-را به ترتیب از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$S_i^* = \sum_{j=1}^{n} d(\tilde{v}_{ij}, v_j^*) \qquad ,i = 1,2,...,m$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^{n} d(\tilde{v}_{ij}, v_j^-) \qquad ,i = 1,2,...,m$$

$d(.,.)$فاصله بین دو عدد فازی است که اگر (a_1, b_1, c_1)و (a_2, b_2, c_2)دو عدد فازی مثلثی باشند، فاصله دو عدد برابر است با رابطه:

$$d(\tilde{M}_1, \tilde{M}_2) = \sqrt{\frac{1}{3}\left[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2\right]}$$

در ضمن لازم به ذکر است که اعداد $d(\tilde{v}_{ij}, v_j^*)$ و $d(\tilde{v}_{ij}, v_j^-)$ اعداد قطعی هستند.هم چنین در نهایت برای هر یک از گزینه‌ها باید یک مقدار شاخص نزدیکی به مقادیر ایده آل مثبت و ایده آل منفی تعریف گردد تا به وسیله ان بتوان گزینه ها را رتبه‌بندی کرد. بنابراین برای این منظور از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$CC_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \qquad i = 1, 2, ..., m$$

واضح است که اگر $F_i = F^*$باشد مقدار $CC_i = 1$ است و اگر $F_i = F^-$ باشد مقدار $CC_i = 0$ است. بنابراین هر چه به مقدار ایده آل مثبت نزدیک شویم مقدار عددی CC_i به سمت ۱ حرکت می‌کند و بالعکس هر چه به مقدار ایده آل منفی نزدیک شویم CC_i به صفر میل می‌کند.

نمونه مورد مطالعه

شهرداری منطقه ۸ کرج در سال ۱۳۹۵ به برگزاری یک مناقصه بزرگ برای انتخاب پیمانکار جهت احداث ساختمان کانون پرورش فکری کودکان به همراه فضای سبز اطراف آن اقدام کرده است. بنابراین در نهایت ۶ پیمانکار کاندیدای حضور در این مناقصه شدند.انتخاب پیمانکار برتر بر اساس ۸ معیار کلاسیک، یعنی معیارهای قیمت مناقصه، ثبات مالی، پیگیری قانونی موارد تخلف، آینده‌نگری (پیش‌بینی) ریسک، شهرت و اعتبار، تاخیر، دانش و تجربه و برنامه‌های کنترل کیفیت و تضمین کیفیت و هم‌چنین۵ معیار مهندسی مقاومت‌پذیری یعنی معیارهای تعهد مدیریت پیمانکاری، آمادگی و آگاهی، انعطاف‌پذیری، کار تیمی و افزونگی که معیارهای منتخب ۱۶ نفر از خبرگان شهرداری جهت انتخاب پیمانکار بودند صورت می‌گیرد.. بنابراین جهت انتخاب پیمانکار برتر و هم‌چنین تحلیل اثر معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری از رویکرد تاپسیس فازی استفاده کردیم.

۱۶ نفر خبره در ابتدا اهمیت معیارها را با استفاده از متغیرهای گفتاری ارزیابی کرده‌اند و با استفاده از جدول زیر این مقادیر بیانی به صورت مقادیر فازی به‌دست آمده‌اند (چگونگی ادغام مقادیر وزنی هر معیار در قسمت قبل شرح داده شده است).

جدول ۱- متغیرهای گفتاری برای ارزیابی اهمیت معیارها

متغیر گفتاری	عدد فازی متناظر
بسیار کم اهمیت	(۰,۰و۰,۱)
کم اهمیت	(۰,۰و۰,۱و۰,۳)
تا حدودی کم اهمیت	(۰,۱و۰,۳و۰,۵)
بی تفاوت	(۰,۳و۰,۵و۰,۷)
تاحدودی بااهمیت	(۰,۵و۰,۷و۰,۹)
بااهمیت	(۰,۷و۰,۹و۱)
بسیار بااهمیت	(۰,۹و۱و۱)

ماخذ: یافته‌های پژوهش

بنابراین ارزیابی به‌دست آمده از تعیین میزان اهمیت معیارها توسط خبرگان به صورت اعداد فازی مثلثی مشخص شده به صورت جدول ۲ قابل مشاهده است:

جدول ۲- میزان اهمیت فازی معیارها

معیارها	وزن معیارها	معیارها	وزن معیارها
قیمت مناقصه(C1)	(۰,۳و۰,۵۵و۰,۹)	برنامه‌های کنترل کیفیت و تضمین کیفیت(C8)	(۰,۱و۰,۵۵و۰,۷)
ثبات مالی(C2)	(۰,۵و۰,۶۵و۰,۹)	تعهد مدیریت(*C1)	(۰,۷و۰,۸۴و۰,۹)
پیگیری قانونی موارد تخلف(C3)	(۰,۳و۰,۴۱و۰,۷)	آمادگی و آگاهی(*C2)	(۰,۵و۰,۷۳و۰,۹)
آبنده نگری(پیش‌بینی) ریسک(C4)	(۰,۳و۰,۵۶و۰,۹)	انعطاف‌پذیری(*C3)	(۰,۳و۰,۵۵و۰,۹)
شهرت و اعتبار(C5)	(۰,۱و۰,۳۷و۰,۷)	کارتیمی(*C4)	(۰,۷و۰,۸۶و۱)
تاخیر(C6)	(۰,۳و۰,۵۵و۰,۷)	افزونگی(*C5)	(۰,۷و۰,۹۲و۱)
دانش و تجربه(C7)	(۰,۳و۰,۷۴و۱)		

ماخذ: یافته‌های پژوهش

بعد از تعیین وزن فازی معیارها، ماتریس تصمیم‌گیری فازی تشکیل می‌شود. بنابراین در ابتدا این ماتریس باید به صورت نرمال شده درآید و بعد از آن با ضرب وزن های فازی معیارها ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون به‌دست می‌آید. ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون برای

دو گروه معیار کلاسیک و مهندسی مقاومت‌پذیری تصمیم‌گیری به ترتیب به صورت جداول زیر قابل مشاهده است:

جدول ۳- ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون (گروه معیار کلاسیک)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	(۰,۰۴,۰,۱,۰,۳)	(۰,۰۷,۰,۱۴,۰,۹)	(۰,۰۳,۰,۱۱,۰,۲۳)	(۰,۰۹,۰,۲۴,۰,۴۵)	(۰,۰۹,۰,۳۴,۰,۷)	(۰,۱۷,۰,۴۰,۰,۵۴)	(۰,۱۵,۰,۵۳,۱,۰)	(۰,۰۳,۰,۳۱,۰,۴۹)
A2	(۰,۰۳,۰,۸,۰,۱۸)	(۰,۰۷,۰,۱۲,۰,۳)	(۰,۰۳,۰,۱۱,۰,۲۳)	(۰,۰۹,۰,۲۵,۰,۴۵)	(۰,۰۳,۰,۱۶,۰,۳۵)	(۰,۱,۰,۲۸,۰,۳۹)	(۰,۰۹,۰,۴۲,۰,۹)	(۰,۰۱,۰,۱۵,۰,۲۱)
A3	(۰,۱,۰,۴,۰,۹)	(۰,۰۷,۰,۱۳,۰,۳)	(۰,۱۷,۰,۳۱,۰,۵۴)	(۰,۰۳,۰,۱۳,۰,۲۷)	(۰,۰۷,۰,۳۱,۰,۶۳)	(۰,۰۳,۰,۱۴,۰,۲۳)	(۰,۱۵,۰,۵۳,۰,۹)	(۰,۰۳,۰,۲۳,۰,۳۵)
A4	(۰,۰۳,۰,۷,۰,۱۳)	(۰,۱۷,۰,۲۵,۰,۹)	(۰,۱,۰,۲,۰,۳۹)	(۰,۱۵,۰,۳۸,۰,۶۳)	(۰,۰۳,۰,۱۷,۰,۳۵)	(۰,۲۳,۰,۵۱,۰,۷)	(۰,۲۱,۰,۶۴,۰,۹)	(۰,۰۵,۰,۳۵,۰,۶۳)
A5	(۰,۰۴,۰,۱۲,۰,۳)	(۰,۰۷,۰,۱,۰,۱۸)	(۰,۱۷,۰,۳۳,۰,۷)	(۰,۲۷,۰,۵۱,۰,۹)	(۰,۰۵,۰,۲۹,۰,۶۳)	(۰,۱۷,۰,۳۷,۰,۵۴)	(۰,۰۹,۰,۳۸,۰,۷)	(۰,۰۷,۰,۵,۰,۷)
A6	(۰,۰۳,۰,۶,۰,۱۳)	(۰,۰۵,۰,۷,۰,۱۳)	(۰,۱۷,۰,۳۷,۰,۷)	(۰,۲۱,۰,۵۲,۰,۹)	(۰,۱,۰,۸,۰,۲۱)	(۰,۱,۰,۳۲,۰,۵۴)	(۰,۱۵,۰,۵۵,۱,۰)	(۰,۰۷,۰,۴۵,۰,۶۳)

ماخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۴- ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون (گروه معیار مهندسی مقاومت‌پذیری)

	C1*	C2*	C3*	C4*	C5*
A1	(۰,۳۵و۰,۵۹و۰,۷)	(۰,۳۵و۰,۶۱و۰,۹)	(۰,۲۱و۰,۴۶و۰,۸۱)	(۰,۳۵و۰,۵۹و۰,۸۱)	(۰,۳۵و۰,۶۱و۰,۸۱)
A2	(۰,۳۵و۰,۶۹و۰,۹)	(۰,۳۵و۰,۶۳و۰,۹)	(۰,۲۱و۰,۴۸و۰,۹)	(۰,۲۵و۰,۵۶و۰,۸۱)	(۰,۴۹و۰,۶۸و۰,۸۱)
A3	(۰,۴۹و۰,۷۴و۱)	(۰,۲۱و۰,۴۹و۰,۷)	(۰,۱۵و۰,۴و۰,۸۱)	(۰,۳۵و۰,۶۳و۰,۹)	(۰,۴۹و۰,۷۳و۰,۸۱)
A4	(۰,۴۹و۰,۷۷و۱)	(۰,۶۳و۰,۸و۱)	(۰,۱۵و۰,۴۱و۰,۸۱)	(۰,۴۵و۰,۶۸و۰,۹)	(۰,۶۳و۰,۷۷و۰,۹)
A5	(۰,۶۳و۰,۸۹و۱)	(۰,۳۵و۰,۶۶و۰,۹)	(۰,۰۹و۰,۲۸و۰,۶۳)	(۰,۴۵و۰,۶۷و۰,۹)	(۰,۶۳و۰,۷۸و۰,۹)
A6	(۰,۶۳و۰,۸۸و۱)	(۰,۴۹و۰,۷۱و۱)	(۰,۲۵و۰,۴۹و۰,۹)	(۰,۲۵و۰,۴۷و۰,۶۳)	(۰,۳۵و۰,۵۱و۰,۶۳)

ماخذ: یافته‌های پژوهش

بعد از تشکیل دادن ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون در دو حالت در نظر گرفتن معیارهای کلاسیک و معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری،مقادیر عددی مقادیر ایده آل مثبت (F^*) و ایده آل منفی(F^-) محاسبه می‌شود:

مقادیر ایده آل مثبت و منفی در حالت معیارهای کلاسیک:

$$F^* = \begin{Bmatrix}(0.9, 0.9, 0.9), (0.9, 0.9, 0.9), (0.7, 0.7, 0.7), (0.9, 0.9, 0.9)\\(0.7, 0.7, 0.7), (0.7, 0.7, 0.7), (1, 1, 1), (0.7, 0.7, 0.7)\end{Bmatrix}$$

$$F^- = \begin{Bmatrix}(0.03, 0.03, 0.03), (0.05, 0.05, 0.05), (0.03, 0.03, 0.03), (0.03, 0.03, 0.03)\\(0.01, 0.01, 0.01), (0.03, 0.03, 0.03), (0.09, 0.09, 0.09), (0.01, 0.01, 0.01)\end{Bmatrix}$$

مقادیر ایده آل مثبت و منفی در حالت معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری:

$$F^* = \{(0.9, 0.9, 0.9), (0.9, 0.9, 0.9), (0.9, 0.9, 0.9), (1, 1, 1), (1, 1, 1)\}$$

$$F^- = \{(0.35, 0.35, 0.35), (0.25, 0.25, 0.25), (0.09, 0.09, 0.09), (0.21, 0.21, 0.21), (0.35, 0.35, 0.35)\}$$

بعد از محاسبه مقادیر ایده آل مثبت و ایده آل منفی، باید فاصله هر یک از گزینه ها از مقادیر ایده‌آل تعیین گردد، بنابراین مقادیر فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی به صورت جداول زیر برای هر یک از گروه معیارها نشان داده شده است:

جدول ۵- مقادیر عددی فاصله گزینه‌ها از ایده‌آل‌های مثبت و منفی هر معیار(معیارهای کلاسیک)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
S_{1+}	۰,۷۶۰	۰,۶۴۹	۰,۵۷۹	۰,۶۵۶	۰,۴۰۸	۰,۳۶۳	۰,۵۶۲	۰,۴۶۲
S_{1-}	۰,۱۶۱	۰,۴۹۴	۰,۱۲۷	۰,۲۷۴	۰,۴۴۵	۰,۳۷۵	۰,۵۸۴	۰,۳۲۹
S_{2+}	۰,۸۰۶	۰,۷۴۳	۰,۵۸۱	۰,۶۵۴	۰,۵۳۸	۰,۴۵۹	۰,۶۲۵	۰,۵۸۱
S_{2-}	۰,۰۹۱	۰,۱۵۰	۰,۱۲۶	۰,۲۷۵	۰,۲۱۴	۰,۲۵۶	۰,۵۰۵	۰,۱۴۲
S_{3+}	۰,۵۴۴	۰,۷۳۹	۰,۳۹۲	۰,۷۶۲	۰,۴۳۱	۰,۵۶۹	۰,۵۶۵	۰,۵۱۲
S_{3-}	۰,۵۴۸	۰,۱۵۲	۰,۳۴۷	۰,۱۵۱	۰,۳۹۸	۰,۱۳۴	۰,۵۳۳	۰,۲۳۶
S_{4+}	۰,۸۲۵	۰,۵۶۴	۰,۴۸۷	۰,۵۴۹	۰,۵۳۲	۰,۲۹۲	۰,۵۰۵	۰,۴۲۸
S_{4-}	۰,۰۶۱	۰,۵۰۹	۰,۲۳۱	۰,۴۰۷	۰,۲۱۸	۰,۴۸۹	۰,۵۶۹	۰,۴۰۹
S_{5+}	۰,۷۵۴	۰,۷۸۳	۰,۳۷۵	۰,۴۲۸	۰,۴۴۶	۰,۳۷۳	۰,۶۵۹	۰,۳۸۲
S_{5-}	۰,۱۶۴	۰,۰۸۲	۰,۴۳۱	۰,۵۹۰	۰,۳۹۳	۰,۳۶۵	۰,۳۹۰	۰,۴۸۹
S_{6+}	۰,۸۲۷	۰,۸۱۷	۰,۳۶۳	۰,۴۵۳	۰,۶۰۶	۰,۴۲۰	۰,۵۵۶	۰,۳۹۴
S_{6-}	۰,۰۶۰	۰,۰۴۷	۰,۴۴۰	۰,۵۸۷	۰,۱۲۲	۰,۳۴۳	۰,۵۸۹	۰,۴۴۰

ماخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۶- مقادیر عددی فاصله گزینه ها از ایده آل های مثبت و منفی هر معیار(معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری)

	C1*	C2*	C3*	C4*	C5*
S_{1+}	۰,۳۶۴	۰,۳۶۸	۰,۴۷۶	۰,۴۴۰	۰,۴۷۶
S_{1-}	۰,۳۰۴	۰,۳۸۳	۰,۴۷۲	۰,۴۶۹	۰,۲۴۶
S_{2+}	۰,۲۷۳	۰,۴۲۶	۰,۴۶۵	۰,۴۳۵	۰,۴۲۱
S_{2-}	۰,۳۳۸	۰,۳۷۱	۰,۵۲۵	۰,۴۷۴	۰,۳۷۲
S_{3+}	۰,۲۶۲	۰,۳۵۲	۰,۵۲۲	۰,۵۷۰	۰,۳۳۰
S_{3-}	۰,۳۵۳	۰,۴۴۰	۰,۴۵۴	۰,۳۲۶	۰,۴۴۵
S_{4+}	۰,۱۷۳	۰,۲۸۹	۰,۵۱۹	۰,۲۴۴	۰,۳۲۴
S_{4-}	۰,۴۳۱	۰,۴۶۴	۰,۴۵۷	۰,۶۱۸	۰,۴۵۳
S_{5+}	۰,۱۷۰	۰,۲۹۱	۰,۶۰۸	۰,۴۲۷	۰,۲۲۳
S_{5-}	۰,۴۳۵	۰,۴۶۲	۰,۳۳۱	۰,۴۸۳	۰,۵۱۳
S_{6+}	۰,۴۱۸	۰,۴۷۶	۰,۴۳۳	۰,۳۳۹	۰,۲۲۵
S_{6-}	۰,۱۸۷	۰,۲۵۴	۰,۵۳۲	۰,۵۶۳	۰,۵۱۰

ماخذ: یافته‌های پژوهش

در نهایت برای هر یک از گزینه‌ها (پیمانکاران) شاخص ضریب نزدیکی تعریف می‌شود که در بازه صفر تا یک تعریف می‌گردد و هر چه گزینه مورد نظر به مقدار عددی ایده آل مثبت نزدیک‌تر باشد این شاخص ضریبی نزدیک به عدد یک می‌گیرد و در واقع به سمت عدد یک میل می‌کند و بالعکس هر چه گزینه مورد نظر به مقدار ایده آل منفی نزدیک‌تر باشد شاخص نزدیکی به سمت صفر میل می‌کند. در این قسمت شاخص نزدیکی هر یک از گزینه ها را بر اساس معیارهای کلاسیک و معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری و هم‌چنین رتبه‌بندی گزینه ها را بررسی می کنیم. جدول صفحه بعد رتبه‌بندی گزینه ها را بر اساس معیارهای کلاسیک معرفی شده نشان می‌دهد.

جدول ۷- شاخص نزدیکی و رتبه‌بندی گزینه‌ها را براساس معیارهای کلاسیک

گزینه	شاخص نزدیکی(CC)	رتبه
A1	۳,۴۲	۲
A2	۲,۱۱	۵
A3	۳,۰۵	۴
A4	۳,۵۹	۱
A5	۳,۵۹	۱
A6	۳,۲۲	۳

ماخذ: یافته‌های پژوهش

و هم‌چنین جدول بعدی رتبه‌بندی گزینه‌ها را براساس مجموعه معیارها (معیارهای کلاسیک و معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری) نشان می‌دهد.

جدول ۸- شاخص نزدیکی و رتبه‌بندی گزینه‌ها را بر اساس مجموعه معیارها

گزینه	شاخص نزدیکی(CC)	رتبه
A1	۵,۳۷	۴
A2	۴,۳۹	۶
A3	۵,۲۱	۵
A4	۶,۲۴	۱
A5	۵,۹۹	۲
A6	۵,۴۱	۳

ماخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج و بحث

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در حالت در نظر گرفتن معیارهای کلاسیک گزینه‌ای که به‌عنوان گزینه برتر ارایه می‌شود، یکی از گزینه های ۴ و ۵ است. بنابراین تصمیم‌گیرنده یا تصمیم‌گیرندگان باز هم در انتخاب گزینه برتر دچار مشکل می‌شوند ولی در حالت در نظر گرفتن مجموعه معیارها تنها گزینه ۴ است که صلاحیت لازم را جهت انتخاب شدن کسب کرده است. با مقایسه نتایج دو جدول ۷ و ۸، میانگین شاخص نزدیکی گزینه‌ها در حالت در نظر گرفتن معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری نسبت به حالت کلاسیک به میزان ۷۴٪ افزایش داشته است و این نشان‌دهنده اهمیت معیارهای کلیدی مهندسی مقاومت‌پذیری در انتخاب پیمانکار در سازمان شهرداری است و هم‌چنین رتبه‌بندی ارایه شده در حالت در نظر گرفتن معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری نسبت به حالت کلاسیک رتبه‌بندی دقیق‌تری بوده و تصمیم‌گیرنده به راحتی می‌تواند گزینه برتر را تعیین کند. با محاسبه شاخص نزدیکی به ازای هر یک از معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری در کنار معیارهای کلاسیک نشان داده شده است که معیار تعهد مدیریت به میزان ۱۲٪، معیار آمادگی و آگاهی به میزان ۱۴٪، معیار انعطاف‌پذیری به میزان ۱۶٪، معیار کارگروهی به میزان ۱۷٪ و معیار افزونگی به میزان ۱۵٪ نسبت به حالت کلاسیک رشد داشته اند و این موضوع نشان‌دهنده اهمیت به سزای هر یک از این معیارها در ارایه رتبه‌بندی پیمانکاران است. از میان این معیارها معیار کارگروهی موثرترین معیار شناخته شده از دیدگاه خبرگان در انتخاب پیمانکار منتخب بوده است. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که گزینه ۴ نسبت به سایر گزینه‌ها در حالت در نظر گرفتن معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری در رابطه با نزدیکی به ایده ال های مثبت رشد چشم‌گیرتری داشته است (رشد ۷۴٪).

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این مطالعه سعی شده است، ابتدا با استفاده مطالعات میدانی به شناسایی معیارهای موثر در انتخاب پیمانکاران شهرداری پرداخته شود و بعد از آن سطح بندی معیارهای شناسایی شده صورت گرفته است. نتایج این فرآیند به مدیران سازمان‌ها و مدیران زنجیره های تامین

به خصوص شهرداری کمک می‌کند تا بتوانند جهت افزایش سطح کارایی و عملکرد خود مسیر مناسب‌تری را انتخاب نمایند. نتایج حاصل از محاسبات وزن معیارهادر محیط فازی نشان می‌دهد که معیاردانش و تجربه و همچین تاخیر در میان معیارهای کلاسیک انتخاب پیمانکار شهرداری از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری می‌باشند و هم‌چنین معیارهای افزونگی و کارتیمی هم ازجمله معیارهایی هستند که در میان معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. قرار گرفتن در محیط واقعی برای حل مسأله و به دلیل داشتن گستردگی تصمیم‌گیری از محیط فازی در این مطالعه استفاده شده است. در ادامه با استفاده از روش تاپسیس فازی ۶ پیمانکار رتبه‌بندی شدند و نتایج آن‌ها ارایه شد. در حالت درنظر گرفتن معیارهای کلاسیک گزینه‌ای که به‌عنوان گزینه برتر ارایه می‌شود یکی از گزینه‌های ۴ و ۵ است پس بنابراین تصمیم گیرنده یا تصمیم گیرندگان باز هم در انتخاب گزینه برتر دچار مشکل می‌شوند ولی در حالت در نظر گرفتن مجموعه معیارها که معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری نیز به معیارهای کلاسیک افزوده شده‌اند تنها گزینه ۴ است که صلاحیت لازم را جهت انتخاب شدن کسب کرده است.

با مقایسه نتایج دو جدول آخر، میانگین شاخص نزدیکی گزینه‌ها در حالت در نظر گرفتن معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری نسبت به حالت کلاسیک به میزان ۷۴٪ افزایش داشته است و این نشان‌دهنده اهمیت معیارهای کلیدی مهندسی مقاومت‌پذیری در انتخاب پیمانکار در سازمان شهرداری است. از میان پیمانکارانی که مورد ارزیابی توسط شهرداری قرار گرفتند، پیمانکار شماره ۴ پیمانکار برتر شناخته شد و بعد از آن به ترتیب پیمانکاران ۵، ۶، ۱،۳ و۲ قرار گرفتند. در رابطه با شاخص نزدیکی به حالت ایده آل معیار تعهد مدیریت به میزان ۱۲٪، معیار آمادگی و آگاهی به میزان ۱۴٪، معیار انعطاف‌پذیری به میزان ۱۶٪، معیار کارگروهی به میزان ۱۷٪ و معیار افزونگی به میزان ۱۵٪ نسبت به حالت کلاسیک رشد داشته‌اند و این موضوع نشان‌دهنده اهمیت به سزای هر یک از این معیارها در ارایه رتبه‌بندی پیمانکاران است. معیار کارگروهی موثرترین معیار شناخته شده در انتخاب پیمانکار منتخب بوده است. بنابراین معیارهای مهندسی مقاومت‌پذیری در کنار معیارهای کلاسیک نقش موثر و کلیدی را در انتخاب پیمانکاران بازی می‌کنند.

فهرست منابع

1. Azadeh, A., Salehi, V., & Kianpour, M. (2016). Performance evaluation of rail transportation systems by considering resilience engineering factors: Tehran railway electrification system. *Transportation Letters*, 1-14.
2. Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, *36*(8), 11363-11368.
3. Bresnen, M., & Marshall, N. (2000). Building partnerships: case studies of client–contractor collaboration in the UK construction industry. *Construction Management & Economics*, *18*(7), 819-832.
4. Chen, T. Y., & Tsao, C. Y. (2008). The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, *159*(11), 1410-1428.
5. Cheng, E. W., & Li, H. (2004). Contractor selection using the analytic network process. *Construction management and Economics*, *22*(10), 1021-1032.
6. Cheung, S. O., Lam, T. I., Leung, M. Y., & Wan, Y. W. (2001). An analytical hierarchy process based procurement selection method. *Construction Management & Economics*, *19*(4), 427-437.
7. Costella, M. F., Saurin, T. A., & de Macedo Guimarães, L. B. (2009). A method for assessing health and safety management systems from the resilience engineering perspective. *Safety Science*, *47*(8), 1056-1067.
8. Ebrahimnejad, S., Mousavi, S.M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hashemi, H., Vahdani, B., 2012. A novel two-phase group decision making approach for construction project selection in a fuzzy environment. Appl. Math. Modell. 36 (9), 4197–4217.
9. Fong, P.S.-W., Choi, S.K.-Y., 2000. Final contractor selection using the analytical hierarchy process. Constr. Manage. Econ. 18, 547–557.
10. Forker, L.B., Mendez, D., 2001. An analytical method for benchmarking best peer suppliers. International Journal of Operations and Production Management 21 (1–2), 195–209.
11. Gholipour, R., Jandaghi, G., & Rajaei, R. (2014). Contractor selection in MCDM context using fuzzy AHP. *Iranian Journal of Management Studies*,*7*(1), 151-173.
12. Gordon, C. M. (1994). Choosing appropriate construction contracting method.*Journal of Construction Engineering and Management*, *120*(1), 196-210.
13. Haghnazar, M. A., & Sepehri, M. (2010). Client's critical success factors in

outsourcing of construction projects-case study: Tehran municipality. In*Proceedings of the 5th Scientific Conference on Project Management, May*(pp. 29-31).

14. Harris, F., & McCaffer, R. (2013). *Modern construction management*. John Wiley & Sons.
15. Hatush, Z., & Skitmore, M. (1998). Contractor selection using multicriteria utility theory: an additive model. *Building and environment*, *33*(2), 105-115.
16. Hollnagel, E. (2006). Resilience: the challenge of the unstable.
17. Hollnagel, E. (Ed.). (2013). *Resilience engineering in practice: a guidebook*. Ashgate Publishing, Ltd.
18. Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (2007). *Resilience engineering: concepts and precepts*. Ashgate Publishing, Ltd..
19. Holt, G. D. (1998). Which contractor selection methodology?. *International Journal of project management*, *16*(3), 153-164.
20. Holt, G. D. (1996). Applying cluster analysis to construction contractor classification. *Building and Environment*, *31*(6), 557-568.
21. Holt, G., Olomolaiye, P., Harris, F.C., 1995. A review of contractor selection practice in the U.K. construction industry. Build. Environ. 30 (4), 553–561.
22. Ilker Topcu, Y., 2004. A decision model proposal for construction contractor selection in Turkey. Build. Environ. 39, 469–481.
23. Jaskowski, P., Biruk, S., & Bucon, R. (2010). Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment. *Automation in construction*, *19*(2), 120-126.
24. Kangari, R., Farid, F., & Elgharib, H. M. (1992). Financial performance analysis for construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, *118*(2), 349-361.
25. Kumar J., & Roy N. 2011. Analytic hierarchy process (AHP) for a power transmission industry to vendor selection decisions. International Journal of Computer Applications. 12 (11), 26-30.
26. Mahdi, I. M., Riley, M. J., Fereig, S. M., & Alex, A. P. (2002). A multi-criteria approach to contractor selection. *Engineering Construction and Architectural Management*, *9*(1), 29-37.
27. Russell, J. S., Hancher, D. E., & Skibniewski, M. J. (1992). Contractor prequalification data for construction owners. *Construction Management and Economics*, *10*(2), 117-135.
28. San Cristóbal, J. R. (2011). Contractor selection using multicriteria decision-making methods. *Journal of Construction Engineering and Management*,*138*(6), 751-758.

29. Senthil, S., Srirangacharyulu, B., & Ramesh, A. (2014). A robust hybrid multi-criteria decision making methodology for contractor evaluation and selection in third-party reverse logistics. *Expert Systems with Applications*,*41*(1), 50-58.
30. Singh, D., & Tiong, R. L. (2006). Contractor selection criteria: investigation of opinions of Singapore construction practitioners. *Journal of construction engineering and management*, *132*(9), 998-1008.
31. Talluri, S., Baker, R.C., 2002. A multi-phase mathematical programming approach for effective supply chain design. European Journal of Operational Research 141 (3), 544–558.
32. Talluri, S., Narasimhan, R., 2004. A methodology for strategic sourcing. European Journal of Operational Research 154 (1), 236–250.
33. Tanaka, M. (2014). Municipal solid waste management in Japan. In*Municipal Solid Waste Management in Asia and the Pacific Islands* (pp. 157-171). Springer Singapore.
34. Waara, F., & Bröchner, J. (2006). Price and nonprice criteria for contractor selection. *Journal of construction engineering and management*, *132*(8), 797-804
35. Wang, W. C., Yu, W. D., Yang, I. T., Lin, C. C., Lee, M. T., & Cheng, Y. Y. (2013). Applying the AHP to support the best-value contractor selection–lessons learned from two case studies in Taiwan. *Journal of Civil Engineering and Management*, *19*(1), 24-36.
36. Watt, D. J., Kayis, B., & Willey, K. (2010). The relative importance of tender evaluation and contractor selection criteria. *International Journal of Project Management*, *28*(1), 51-60.
37. Woods, D. D., Leveson, N., & Hollnagel, E. (Eds.). (2012). *Resilience engineering: concepts and precepts*. Ashgate Publishing, Ltd..
38. Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Tamošaitiene, J. (2008). Contractor selection of construction in a competitive environment. *Journal of Business Economics and Management*, *9*(3), 181-187.
39. Zou, P. X., Zhang, G., & Wang, J. (2007). Understanding the key risks in construction projects in China. *International Journal of Project Management*,*25*(6), 601-614.