مدیریت صنعتی
Journal of Industrial Management
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۸، شمارهٔ ۴
زمستان ۱۳۹۵
صص. ۶۲۴- ۶۰۱

توسعهٔ روش بولزای ــ بولزای برای تصمیم‌گیری چندمعیاره با اعداد خاکستری به‌منظور انتخاب تأمین‌کنندهٔ تجهیزات (مطالعهٔ موردی: انتخاب و خرید تجهیزات بیمارستانی)

جلال رضایی نور[۱]، مهدی غضنفری نصرآباد[۲]، علی درودی[۳]

چکیده: انتخاب تأمین‌کننده به‌عنوان یکی از مسائل مهم در حوزهٔ تصمیم‌گیری، همواره یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران ارشد در این حوزه بوده است. ماهیت چنین تصمیم‌گیری‌هایی معمولاً پیچیده است. این پژوهش در نظر دارد در شرایط عدم قطعیت با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره و تئوری اعداد خاکستری رویکرد جدیدی برای انتخاب تجهیزات مناسب با معیارهای تعریف شده ارائه دهد. روش پیشنهادی در این تحقیق، استفاده از روش بولزای برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی است. در روش پیشنهاد شده، پس از تعیین وزن معیارها و تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری، در مرحلهٔ رتبه‌بندی گزینه‌ها سه روش حل ارائه می‌شود. این روش با توجه به یکپارچگی و به دلیل در اختیار قرار دادن سه شاخص برای راستی آزمایی نتایج، می‌تواند در رویکرد تصمیم‌گیری‌های چند معیاره در شرایط عدم اطمینان مفید واقع شود. نتایج این پژوهش نیز نشان می‌دهد این رویکرد توانایی و کارایی مناسبی برای انتخاب دقیق‌تر تأمین‌کننده و همچنین کاهش قضاوت‌های انسانی برای وزن‌دهی به معیارها و انطباق نتایج حاصل از رویکرد پیشنهادی با بازخوردهای واقعی دارد.

واژه‌های کلیدی:* *اعداد خاکستری، تصمیم‌گیری چندمعیاره، خرید تجهیزات بیمارستانی، روش بولزای ـ بولزای.

۱. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ فنی مهندسی دانشگاه قم، قم، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه قم، قم، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه قم، قم، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۲۶
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۲۴
نویسندهٔ مسئول مقاله: جلال رضایی نور
E-mail: j.rezaee@qom.ac.ir

مقدمه

امروزه با پیشرفت تکنولوژی و گسترش جهانی بازارهای رقـابتی در صـنایع مختلـف، بسـیاری از شرکت‌ها و مؤسسات تجاری اهمیت انتخاب درست تأمین‌کننده را درک کرده و در پی حـل ایـن مسئله هستند. مسئلهٔ تصمیم‌گیری و بازخوردهای آن، همیشه از دغدغه‌های مـدیران بـوده و بـه همین دلیل، روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای حل این مسئله توسط پژوهشگران پیشنهاد شـده است که با استفاده از آن بتوان به اهداف مد نظر با حداقل انحراف دست یافـت. مسـئلهٔ انتخـاب تأمین‌کننده از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است. انتخاب تأمین‌کننده و خریـد ماشـین‌آلات و تجهیزات که سرمایهٔ ثابت شرکت‌ها یا مؤسسه‌ها هستند نیز، یکی از مسائل مهم تصـمیم‌گیـری است و باید به درستی انجام شود تا عملیات سازمان را به‌گونه‌ای پشتیبانی کند کـه تـأمین‌کننـدهٔ منتخب، بیشترین پتانسیل را در رفع نیازهای شرکت با هزینهٔ قابل قبـول داشـته باشـد (کتـابی، حق‌شـناس و حـدادیان، ۱۳۸۷). یکـی دیگـر از دلایـل اهمیـت انتخـاب تـأمین‌کننـدهٔ مناسـب، هزینه‌های گزافی است که برای آن صرف می‌شود و سهم عظیمی از درآمد سـازمان را بـه خـود اختصاص می‌دهد. برای خرید تجهیزات سرمایه‌ای، معمولاً افراد بیشتری در خرید کالاهای جاری سازمان درگیرند (بردلی، ۱۹۷۷). خرید تجهیزات سرمایه‌ای، شامل خرید تجهیزات اصلی ثابت و با دوامی می‌شود که از نظر سازمان خریدار برای دستیابی موفقیت‌آمیز به اهـداف سـازمان ضـروری هستند، از این رو در سال‌های اخیر، موضوع انتخاب تأمین‌کننده به یکـی از موضـوعات مهـم در حوزهٔ تصمیم‌گیری تبدیل شده و به همین دلیـل بـرای حـل ایـن مسـئله از روش‌هـای مختلـف تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است.

تاکنون از روش‌ها و مدل‌های بسیاری برای حل مسئلهٔ انتخاب تـأمین‌کننـده اسـتفاده شـده است که از میان آنها می‌توان بـه روش وزن‌دهـی خطـی (LW)[1]، روش تحلیـل سلسـله‌مراتبـی (AHP)[2] و تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی (MP)[3] اشاره کرد. روش تحلیل سلسله‌مراتبـی، روش اثربخشی برای وزن‌دهی ساختارمند معیارهـا بـا اسـتفاده از مقایسـات زوجـی اسـت و تـا کنـون پژوهش‌های بسیاری از این روش برای وزن‌دهی معیارها چه در رابطه با اعـداد قطعـی و چـه در رابطـه بـا معیارهـای زبـانی ماننـد اعـداد خاکسـتری و فـازی اسـتفاده کـرده‌انـد. روش تحلیـل سلسله‌مراتبی یکی از مؤثرترین روش‌های حوزهٔ تصمیم‌گیری چند معیاره شناخته شده اسـت، امـا این روش نیز مانند سایر روش‌های خبره‌محور، بستگی زیادی به ذهنیت تصمیم‌گیرندگان هنگـام

1. Linear Weight
2. Analytical Hierarchy Process
3. Mathematical Programming

وزن‌دهی دارد و روش‌های دیگر نیز در برخورد با معیارهای کیفی و انطباق با واقعیت دچار مشکل می‌شوند. در واقع، همانند سایر مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره، در مسئلهٔ انتخاب تأمین‌کننده نیز تعدادی گزینه تجزیه و تحلیل می‌شود و در نهایت فرایند رتبه‌بندی آنها با شاخص‌های تعریف شده انجام می‌گیرد.

در این مسائل، اطلاعات مربوط به گزینه‌ها، معیارها و ترجیحات روی آنها، به قضاوت خبرگان بستگی دارد و از آنجا که گاهی قضاوت‌های انسانی مبهم است، اطلاعات مربوط به معیارها وگزینه‌ها واضح و شفاف نیستند و نمی‌توان آنها را با مقادیر عددی بیان کرد. از این رو در تصمیم‌گیری چند معیاره، نوعی نقصان اطلاعاتی وجود دارد و تصمیم‌گیرنده باید گاهی ترجیحات ذهنی را به‌صورت متغیرهای زبانی وارد مسئله کند. در این گونه مسائل، نوع امتیازدهی خبرگان به‌صورت زبانی است و وجه تمایز گزینه‌های مختلف به‌صورت زبانی و با امتیازهایی مانند خیلی خوب، خوب، بد و... بیان می‌شود. به همین دلیل برای محاسبهٔ دقیق در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره باید این معیارهای زبانی که کیفی نیز هستند را به معیارهای کمی تبدیل کرد تا بتوان محاسبات ریاضی مناسب را روی گزینه‌ها انجام داد. در سال‌های اخیر، برای کمی‌کردن این متغیرهای ذهنی از رویکردهایی مانند تئوری اعداد خاکستری و فازی استفاده شده است که در این پژوهش روشی بر مبنای تئوری اعداد خاکستری سه پارامتره ارائه می‌شود.

هدف این پژوهش، معرفی و استفاده از روش بولزای ـ بولزای به‌عنوان رویکردی جدید برای انتخاب تأمین‌کننده در شرایط عدم اطمینان و قضاوت‌های کیفی است (وانگ و لو، ۲۰۱۲). همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، روش‌های گوناگونی برای انتخاب تأمین‌کننده به‌کار گرفته شده است که یکی از ضعف‌های عمدهٔ آنها در قسمت وزن‌دهی، تکیه بر اعداد ارائه شدهٔ خبرگان است. از سوی دیگر، در رتبه‌بندی گزینه‌ها نیز روش‌های به‌کار گرفته شده تنها یک جواب واحد در اختیار محقق قرار می‌دهند که این جواب قابلیت مقایسه با جواب‌های دیگر را ندارد و نمی‌تواند جواب به‌دست آمده را با روش‌های دیگر مقایسه کند و کارایی این روش را با درصد بالایی از دقت به اثبات برساند. در این پژوهش روش بولزای برای رتبه‌بندی گزینه‌های مدنظر، سه روش را در نظر می‌گیرد که همگرایی این روش‌ها، خود می‌تواند علتی بر صحت و دقت زیاد این روش در مقایسه با سایر روش‌های رتبه‌بندی باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲). از سوی دیگر، برای وزن‌دهی به شاخص‌های مد نظر نیز، روش بولزای با استفادهٔ حداقلی از نظر خبرگان و محاسبهٔ مجدد وزن‌ها، می‌تواند اثر قضاوت‌های انسانی را روی وزن‌دهی معیارها، تا حد زیادی کاهش دهد. وانگ و لو (۲۰۱۲) در پژوهش خود که به معرفی و بررسی روش بولزای ـ بولزای برای رتبه‌بندی و وزن‌دهی در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره پرداختند، این همگرایی را ثابت

کردند. در برخی از پژوهش‌های انجام شده با استفاده از روش بولزای، از این روش تنها برای وزن‌دهی استفاده شده است. کامفیروزی، جعفری و علی‌احمدی (۱۳۹۳) در تحقیق خود از روش بولزای برای وزن‌دهی و از روش ویکور[1] برای رتبه‌بندی بهره بردند. بنابراین، در این مقاله با استفاده از روش وزن‌دهی بولزای، ابتدا وزن‌دهی به شاخص‌ها (معیارها) انجام می‌شود، سپس با به‌کارگیری هر سه حالت روش رتبه‌بندی بولزای، مسئلهٔ انتخاب تأمین‌کننده به‌عنوان یک مسئلهٔ تصمیم‌گیری چند معیاره بررسی خواهد شد.

ساختار پژوهش نیز بدین صورت است که در بخش اول به بیان مسئله، بررسی ادبیات نظری، معرفی اعداد خاکستری و روابط بین آنها پرداخته می‌شود. در بخش دوم روش بولزای ـ بولزای به‌منظور وزن‌دهی معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها با سه رویکرد مجزا معرفی خواهد شد. در بخش سوم نیز صحت و دقت روش پیشنهادی در قالب یک مثال عددی (خرید تجهیزات بیمارستانی)، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و دربخش آخر در قالب نتیجه‌گیری، به بررسی نتایج به‌دست آمده از این روش پرداخته خواهد شد.

پیشینهٔ پژوهش

برای انتخاب تأمین‌کنندگان مطالعات و پژوهش‌های متعددی صورت گرفته و از شاخص‌های متفاوتی برای انتخاب تأمین‌کنندهٔ مناسب با توجه به منطق و نوع مسئله استفاده شده است. از جملهٔ آنها می‌توان به ارتباطات، شهرت جایگاه صنعت، روابط نزدیک، پاسخگویی به مشتری و توان حل مسئله اشاره کرد (چن، لین و هوانگ، ۲۰۰۶). این درحالی است که هنگام مواجه‌شدن با یک مسئلهٔ تصمیم‌گیری، مدل‌های مختلفی نیز برای حل این نوع مسائل پیشنهاد شده است و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بیشترین کاربرد را در حل این مسائل داشته‌اند. اهمیت مسئلهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره در تمام حوزه‌ها قابل مشاهده است، به‌گونه‌ای که فارق از مسئلهٔ انتخاب تأمین‌کننده، در سایر حوزه‌ها مانند محیط زیست نیز از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. برای مثال، برزه‌کار، کارگری و مبرقعی (۱۳۹۵) از روش الکتره[2] برای بررسی و مقایسهٔ قابلیت‌های روش‌های معمول ارزیابی اثرات محیط زیستی استفاده کردند. در بحث انتخاب تأمین‌کننده نیز، یانگ، بین و وانگ (۲۰۱۵) برای انتخاب تأمین‌کننده از تئوری اعداد خاکستری استفاده کردند و به‌کمک این تئوری، روشی برای انتخاب تأمین‌کننده پیشنهاد دادند. امیری، صابری و حاله (۱۳۹۱) با استفاده از روش تصمیم‌گیری خاکستری و تحلیل عاملی، مدلی برای

1. Vikor
2. Electre

انتخاب تأمین‌کننده معرفی کردند. مطالعهٔ این گروه روی تأمین‌کنندگان قطعات شرکت سایپا بود. از طرف دیگر، با توجه به اهمیت انتخاب تأمین‌کننـده در زنجیـرهٔ تـأمین، نـائینی و کـامفیروزی (۱۳۹۲) مدلی بر اساس رویکرد تلفیقی تحلیل سلسله‌مراتبی ـ بـولزای و روش رتبـه‌بنـدی پـاف روی اعداد خاکستری سه پارامتره ارائه کردند. جدول ۱ به‌طور خلاصـه بـه مـرور برخـی از ایـن تحقیقات می‌پردازد.

جدول ۱. برخی مطالعات و مدل‌های استفاده شده برای مسئلهٔ انتخاب تأمین کننده

مدل	پژوهشگر
تاپسیس گروهی فازی	شهناقی و یزدیان (۲۰۰۹)
روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی	چامدراکاس، باتیس، مارتاکس (۲۰۰۹)
روش الکترهٔ فازی	صارمی و رمضانی (۲۰۰۹)
ترکیب برنامه‌ریزی خطی چند هدفه، تحلیل سلسله‌مراتبی و برنامه‌ریزی فازی	وانگ و یانگ (۲۰۰۹)
ترکیب دیمیتل هفت فازی و تاپسیس فازی	دالالا، هیاجنه، باتیه (۲۰۱۱)
ترکیب تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس فازی	چن و یانگ (۲۰۰۹)
ترکیب برنامه‌ریزی چندهدفهٔ فازی و الگوریتم PSO	ژو و این (۲۰۱۱)
ترکیب تاپسیس و مدل چند هدفهٔ فازی	جدیدی و همکاران (۲۰۰۹)
تحلیل سلسله‌مراتبی فازی	یانگ، چیو، تیژنگ، یه (۲۰۰۹)
ترکیب روش تحلیل سلسله‌مراتبی و تابع زیان تاگوچی	پی و لو (۲۰۰۶)
روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی	کهرمان، سبسی، روان (۲۰۰۴)
ترکیب تحلیل سلسله‌مراتبی و برنامه‌ریزی آرمانی	وانگ، هانگ، دیسموکس (۲۰۰۴)
ارائهٔ نوعی مدل تصمیم‌گیری برای بهره‌وری عملیاتی کارکنان در فرایند گردش کار بانکی دریافت تسهیلات مسکن	محمدپناه، یوسفی، حسن‌پور (۱۳۹۵)
توسعهٔ مدل مکان‌یابی فراملیتی با استفاده از ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره	روحی و همکاران (۱۳۹۴)
تحلیل مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری نفت به‌کمک تئوری مجموعه‌های خاکستری	رضوی و همکاران (۱۳۹۵)
تصمیم‌گیری خاکستری و تحلیل عاملی	امیری و همکاران (۲۰۱۲)
مدل ترکیبی تحلیل سلسله‌مراتبی دلفی فازی ـ ویکور	پویا (۱۳۹۴)

ادامهٔ جدول ۱

مدل	پژوهشگر
ترکیب روش بولزای، تحلیل سلسله‌مراتبی و الکتره در محیط خاکستری	کامفیروزی و بنیادی (۲۰۱۳)
تحلیل سلسله‌مراتبی ـ بولزای و رتبه‌بندی پاف روی اعداد خاکستری سه پارامتره	کامفیروزی و بنیادی (۲۰۱۴)
روش تصمیم‌گیری چند معیارهٔ خاکستری	ریحانی و همکاران (۲۰۱۵)
انتخاب چند معیارهٔ تأمین‌کنندگان با استفاده از AHP فازی	کتابی، حق‌شناس، حدادیان (۱۳۸۷)
استفاده از روش تصمیم‌گیری خاکستری به‌منظور رتبه‌بندی شاخص‌های کلید عملکرد	تقوی‌فرد و ملک (۱۳۹۰)
استفاده از روش درجهٔ امکان خاکستری به‌منظور رتبه‌بندی پروژه‌های استراتژیک سازمان	حمیدی و والافر (۱۳۹۳)

در سال‌های اخیر برخی از پژوهش‌ها با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری، مدلی جدید در تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه کرده‌اند. محمدپناه، یوسفی، حسن‌پور (۱۳۹۵) در بررسی بهره‌وری عملیاتی کارکنان در فرایند گردش کار بانکی دریافت تسهیلات مسکن، از الگوریتم ژنتیک برای مدل‌سازی این مسئلهٔ تصمیم‌گیری استفاده کردند. همچنین روحی، ابراهیمی، کتابیان (۱۳۹۴) نیز به‌کمک ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل مکان‌یابی در شرایط عدم اطمینان را توسعه دادند. در اغلب مدل‌های بررسی شده، به‌طور عمده از روش‌های رایج تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب تأمین‌کنندگان استفاده شده است و در مسائلی که با معیارهای کیفی و ترجیحات ذهنی روبه‌رو بوده‌اند، تئوری فازی و ترکیب آن با روش‌های رایج به‌کار رفته است. یکی از دلایل استفاده از روش‌های ترکیبی، کاهش عدم قطعیت‌هاست. بر اساس تحقیقات انجام شده یکی از انواع عدم قطعیت، از روش استفاده شده نشئت می‌گیرد (بوسون، ۲۰۰۴).

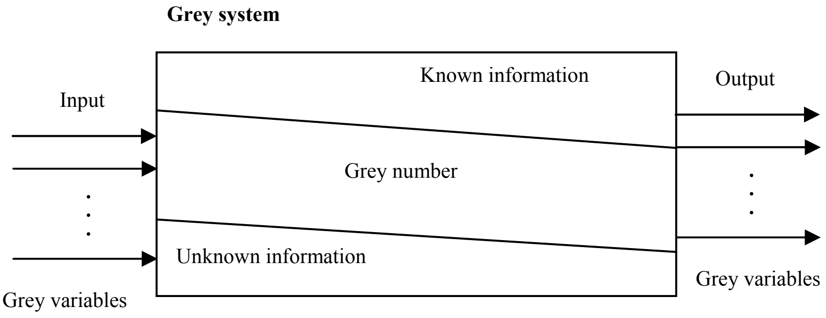
از طرفی، در سال‌های اخیر برای ارزیابی و رتبه‌بندی‌های مختلف از تئوری اعداد خاکستری به‌صورت گسترده‌ای استفاده شده است. برای مثال، تئوری مجموعه‌های خاکستری برای تحلیل مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری نفت به‌کار گرفته شده است (رضوی، ۱۳۹۳) و همچنین حمیدی و والافر (۱۳۹۳) نیز از روش درجهٔ امکان خاکستری برای رتبه‌بندی پروژه‌های استراتژیک در سازمان مپنا استفاده کردند. علاوه بر این طبق بررسی‌های صورت گرفته، از روش بولزای برای اعداد سه پارامترهٔ خاکستری و در محیط خاکستری، تنها برای تبدیل قضاوت‌های ذهنی و کیفی خبرگان به معیارهای کمی و قابل اندازه‌گیری استفاده شده و کاربرد آن با رسیدن به این مرحلهٔ تصمیم‌گیری متوقف شده است. در آخرین تحقیقات، کامفیروزی و بنیادی (۱۳۹۳)

از روش بولزای برای کمی‌نمودن قضاوت‌های ذهنی و زبانی و تبـدیل آنهـا بـه معیارهـای قابـل اندازه‌گیری در وزن‌دهی شاخص‌ها برای انتخـاب تـأمین‌کننـدگان، اسـتفاده کردنـد و بـا تلفیـق روش‌های دیگر به رتبه‌بندی گزینه‌هـا پرداختنـد. ایـن پـژوهش در نظـر دارد از روش بـولزای ـ بولزای برای وزن‌دهی به معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها در محیط خاکستری و در ادبیات انتخاب و خرید تأمین‌کنندگان تجهیزات بـرای بنگـاه‌هـای اقتصـادی (مطالعـۀ مـوردی: خریـد تجهیـزات بیمارستانی) استفاده کند.

روش‌شناسی پژوهش

عدد خاکستری

تئوری سیستم‌های خاکستری را نخستین‌بار دنـگ در سـال ۱۹۸۲ مطـرح کـرد و بعـدها توسـط پژوهشگران دیگر بسط داده شد (لین و سیفنگ، ۱۹۹۹). اساساً این منطق این‌گونه سـاخت‌دهـی می‌شود که اگر سیاه گویای اطلاعات کاملاً ناشناخته و سفید نشان‌دهندۀ اطلاعات کاملاً روشـن و واضح باشد، خاکستری اطلاعاتی است که تا حدی نامعلوم است. سیستمی که حاوی اطلاعـات خاکستری باشد را سیستم خاکستری می‌گویند. در شکل ۱ نمایی از مفهـوم سیسـتم خاکسـتری مشاهده می‌شود (احمدی و کامفیروزی، ۱۳۹۳).



شکل ۱. سیستم خاکستری

در نظریۀ سیستم خاکستری، عـدد خاکسـتری یـک عـدد واقعـی اسـت کـه ارزش آن بـرای تصمیم‌گیرنده نامعلوم است (لـی، ۲۰۰۹) ایـن روش از مـدل‌هـای آمـاری بـرای کنتـرل مقـادیر خاکستری استفاده نمی‌کند، بلکه به‌طور مستقیم داده‌های اصلی را مورد استفاده قرار داده و نظـم درونی و ذاتی داده‌ها را بررسی می‌کند (وانگ و همکـاران، ۲۰۰۹). مزیـت نظریـۀ خاکسـتری در

مقابل مدل‌های آماری متداول این است که مدل‌های خاکستری داده‌های کم و محـدودی بـرای برآورد رفتار سیستم‌های ناشناخته نیاز دارند.

تفاوت بین اعداد خاکستری و فازی در نحوهٔ محاسبهٔ کران بالا و پایین این دو نظریه خلاصه می‌شود (لیو ، ۲۰۰۶). کران بالا و پایین اعداد خاکستری با استفاده از نظر خبرگان به‌دست آمده و در بازه‌های مربوط به هر معیار زبانی ثابت در نظر گرفته می‌شود؛ در حالی که در اعداد فازی این دو کران با محاسبهٔ تابع عضویت به‌دست می‌آیند. این ویژگی اعداد خاکستری چالش‌های موجود در تبدیل معیارهای زبانی به اعداد قابل محاسبه را تا حدی برطرف کرده و محاسبات را سـاده‌تـر می‌کند. به همین دلیل امروزه برای تبدیل معیارهـای زبـانی بـه اعـداد قابـل محاسـبه از اعـداد خاکستری استفاده می‌شود.

با استناد به مقالهٔ وانگ (۲۰۱۲) می‌توان این‌گونه بیان کرد؛ در صورتی که $\otimes a$ یـک عـدد خاکستری سه پارامتره باشد، به‌صورت $a\otimes \in [\underline{a},\tilde{a},\overline{a}]$ نمـایش داده مـی‌شـود کـه در آن، $\underline{a}$ کران پایین، $\tilde{a}$ مرکز ثقل یعنی عددی که بیشترین امکان را دارد و $\overline{a}$ را کران بالا می‌نامنـد. در صورتی که مرکز ثقل یک عدد خاکستری سه پـارامترهٔ مشـخص نباشـد، عـدد خاکسـتری سـه پارامتره به عدد خاکستری معمولی یعنی دو پارامتره تبدیل خواهد شد.

وانگ (۲۰۱۲) و کامفیروزی و همکاران (۱۳۹۳) روابط میـان اعـداد خاکسـتری را ایـن‌گونـه تعریف کردند که اگر $a(\otimes)$ و $b(\otimes)$ را دو عدد خاکستری سه پارامتره در نظر بگیرید. در ایـن صورت خواهیم داشت:

$$a(\otimes)+b(\otimes)\in[\underline{a}+\underline{b},\tilde{a}+\tilde{b},\overline{a}+\overline{b}]$$ رابطهٔ ۱)

$$a(\otimes)/b(\otimes)\in[\min\{\underline{a}/\underline{b},\underline{a}/\overline{b},\overline{a}/\underline{b},\overline{a}/\overline{b}\},\tilde{a}/\tilde{b},\max\{\underline{a}/\underline{b},\underline{a}/\overline{b},\overline{a}/\underline{b},\overline{a}/\overline{b}\}]$$ رابطهٔ ۲)

فاصلهٔ دو عدد خاکستری سه پارامتره

فاصلهٔ بین دو عدد خاکستری $a(\otimes)$ و $b(\otimes)$ را با $d(a(\otimes),b(\otimes))$ نمایش می‌دهند.

رابطهٔ ۳)

$$d(a(\otimes),b(\otimes))\geq 0$$

$$d(a(\otimes),b(\otimes))=d(a(\otimes),\mathrm{a}(\otimes))$$

$$d(a(\otimes),b(\otimes))\leq d(a(\otimes),\mathrm{c}(\otimes))+d(\mathrm{c}(\otimes),b(\otimes))$$

$$L(a(\otimes),b(\otimes))=3^{-\frac{1}{2}}\sqrt{(\underline{a}-\underline{b})^2+(\tilde{a}-\tilde{b})^2+(\overline{a}-\overline{b})^2}$$

نرمال سازی ماتریس اعداد خاکستری سه پارامتره

اگر ماتریس تصمیم‌گیری را به‌صورت زیر تعریف کنیم:

$$S=\{\mu_{ij}(\otimes) \mid \mu_{ij}(\otimes)\in(\underline{\mu}_{ij},\tilde{\mu}_{ij},\overline{\mu}_{ij}), 0\le\underline{\mu}_{ij}\le\tilde{\mu}_{ij}\le\overline{\mu}_{ij}, i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m\}$$ رابطهٔ ۴)

برای بی‌مقیاس‌سازی ماتریس از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود:

در صورتی که مقادیر ما از نوع سود باشد: $i=1,2,\dots,m\,;j=1,2,\dots,n$

رابطهٔ ۵)

$$\underline{x}_{ij}=\frac{\underline{\mu}_{ij}-\underline{\mu}_j^{\nabla}}{\overline{\mu}_j^{*}-\underline{\mu}_j^{\nabla}}$$

$$\tilde{x}_{ij}=\frac{\tilde{\mu}_{ij}-\underline{\mu}_j^{\nabla}}{\overline{\mu}_j^{*}-\underline{\mu}_j^{\nabla}}$$

$$\overline{x}_{ij}=\frac{\overline{\mu}_{ij}-\underline{\mu}_j^{\nabla}}{\overline{\mu}_j^{*}-\underline{\mu}_j^{\nabla}}$$

و برای مقادیر از نوع هزینه: $i=1,2,\dots,m\,;j=1,2,\dots,n$

رابطهٔ ۶)

$$\underline{x}_{ij}=\frac{\overline{\mu}_j^{*}-\overline{\mu}_{ij}}{\overline{\mu}_j^{*}-\underline{\mu}_j^{\nabla}}$$

$$\tilde{x}_{ij}=\frac{\overline{\mu}_j^{*}-\tilde{\mu}_{ij}}{\overline{\mu}_j^{*}-\underline{\mu}_j^{\nabla}}$$

$$\overline{x}_{ij}=\frac{\overline{\mu}_j^{*}-\underline{\mu}_{ij}}{\overline{\mu}_j^{*}-\underline{\mu}_j^{\nabla}}$$

که در این رابطه‌ها $\overline{\mu}_j^{*}=\max_{1\le i\le n}\{\overline{\mu}_{ij}\}$ و $\underline{\mu}_j^{\nabla}=\min_{1\le i\le n}\{\underline{\mu}_{ij}\}$ است. همچنین در صورتی که $\overline{\mu}_j^{*}-\underline{\mu}_j^{\nabla}=0$ باشد، این شاخص یک شاخص بی‌تأثیر بوده و می‌توان آن را از ماتریس حذف کرد. با بی‌مقیاس‌سازی ماتریس اولیه، ماتریس تصمیم‌گیری استاندارد به‌صورت زیر خواهد بود:

$$R=\begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$ رابطهٔ ۷)

که $x_{ij} \in (\underline{x}_{ij}, \tilde{x}_{ij}, \overline{x}_{ij})$ یک عدد خاکستری سه پارامتره در بازۀ [۰,۱] است.

روش بولزای ـ بولزای

این روش را دو تن از پژوهشگران به نام‌های دانگ و وانگ (۲۰۱۲) برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی در ماتریس تصمیم خاکستری سه پارامتره به‌کار بردند. کامفیروزی نیز در پژوهش‌های سال‌های اخیر خود از روش بولزای برای وزن‌دهی استفاده کرد که به برخی از تحقیقات ایشان در جدول ۱ اشاره شده است.

روش وزن‌دهی بولزای

الگوریتم این روش را به‌صورت گام‌های زیر خلاصه می‌کنیم:

گام اول: بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه با استفاده از رابطه‌های ۵ و ۶

گام دوم: تعیین بولزای مثبت[1]: منظور از تعیین بولزای مثبت مجموعۀ $\mathrm{z}^+ = (z_1^+, z_2^+, \ldots, z_n^+)$ است که برای تعیین آن به‌صورت زیر عمل خواهیم کرد.

رابطۀ ۸)
$$z_j^+ \in (\underline{x}_j^{\,+}, \tilde{x}_j^{\,+}, \overline{x}_j^{\,+})$$

به‌طوری که
$$\tilde{x}_j^{\,+} = \max_{1\le i\le m}\{\tilde{x}_{ij}\},$$
$$\overline{x}_j^{\,+} = \max_{1\le i\le m}\{\overline{x}_{ij}\},$$
$$\underline{x}_j^{\,+} = \max_{1\le i\le m}\{\underline{x}_{ij}\}$$

گام سوم: در آخرین گام، وزن تعدیل شدۀ شاخص‌ها را با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه می‌کنیم:

رابطۀ ۹)
$$w_j^* = b_j[\alpha w_j^0 - (\sum_{j=1}^{n} \alpha w_j^0 b_j - 1) / \sum_{j=1}^{n} b_j]$$

در رابطه فوق b_j برابر است با:

$$b_j = \frac{1}{\alpha + \beta \sum_{i=1}^{m} [(\underline{x}_{ij} - \underline{x}_{ij}^{\,+})^2 + (\tilde{x}_{ij} - \tilde{x}_{ij}^{\,+})^2 + (\overline{x}_{ij} - \overline{x}_{ij}^{\,+})^2]}$$

1. Positive Bull's-eye

مقادیر α و β در رابطهٔ ۱۰ اهمیت وزن‌های بیرونی و درونی را مشخص مـی‌کننـد و حاصـل جمع این دو برابر یک و هر دو غیر منفی هستند. این مقادیر معمولاً توسط تصمیم‌گیرنده یا با بـر اساس نظر خبرگان تعیین می شود.

در رابطهٔ ۱۰، w_j^0 وزن‌های بیرونی هستند که خبرگان تعیـین کـرده‌انـد و مـی‌تـوان آنهـا را به‌صورت زیر نشان داد:

$$w_j^0 = (w_1^0, w_2^0, ..., w_n^0) \quad \text{(رابطهٔ ۱۰)}$$

روش رتبه‌بندی بولزای ـ بولزای

روش رتبه‌بندی بولزای ـ بولزای را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد که هر یک به‌طـور مسـتقل برای رتبه‌بندی گزینه‌ها به‌کار می‌رود. در این پژوهش از هر سه روش برای رتبه‌بندی گزینـه‌هـا استفاده می‌شود. در ادامه به معرفی و تشریح هر سه روش پرداخته می‌شود.

بولزای مثبت ـ بولزای مثبت

روش بولزای مثبت ـ بولزای مثبت برای رتبه‌بندی گزینه‌ها در مـاتریس‌هـای تصـمیم بـا اعـداد خاکستری سه پارامتره طی گام‌های زیر اجرا می‌شود:

گام یک: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم؛

گام دو: تعیین وزن معیارها با استفاده از روش بولزای مثبت؛

گام سه: تعیین رتبهٔ گزینه‌ها با استفاده از رابطهٔ ۱۱.

$$\varepsilon_i^+ = 3^{-\frac{1}{2}} \{\sum_{j=1}^{m} w_j [(\underline{x}_{ij} - \underline{x}_{ij}^{\ +})^2 + (\tilde{x}_{ij} - \tilde{x}_{ij}^{\ +})^2 + (\overline{x}_{ij} - \overline{x}_{ij}^{\ +})^2]\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{(رابطهٔ ۱۱)}$$

رابطهٔ ۱۱ مقدار بولزای مثبت گزینه‌ها را با در نظر گرفتن وزن هر معیار مشخص مـی‌کنـد و هر چه این مقدار برای گزینه‌های مد نظر کمتر باشد، آن گزینه انتخاب بهتری خواهد بود.

بولزای مثبت ـ بولزای نسبی در اعداد سه پارامترهٔ خاکستری

دومین روشی که معرفی می‌شود، روش بولزای نسـبی بـرای اعـداد خاکسـتری سـه پـارامتره در ماتریس‌های تصمیم است. برای رتبه‌بندی گزینه‌ها در این روش، گام‌های زیر به‌ترتیب پیشـنهاد شده است:

گام اول: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم؛

گام دوم: تعیین وزن معیارها با استفاده از روش بولزای مثبت؛

گام سوم: محاسبهٔ فاصله بولزای منفی ـ مثبت[1]

ابتدا مجموعهٔ $z^- = \{z_1^-, z_2^-, \ldots, z_m^-\} = \{[\underline{x}_{i1}^-, \tilde{x}_{i1}^-, \overline{x}_{i1}^-], \ldots, [\underline{x}_{im}^-, \tilde{x}_{im}^-, \overline{x}_{im}^-]\}$ را شکل داده و با استفاده از رابطهٔ ۱۲ شاخص فاصلهٔ بولزای مثبت ـ منفی را محاسبه می‌کنیم:

$$\varepsilon_i^0 = 3^{-\frac{1}{2}}\{\sum_{j=1}^{m} w_j[(\underline{x}_{ij}^{\ +} - \underline{x}_{ij}^{\ -})^2 + (\tilde{x}_{ij}^{\ +} - \tilde{x}_{ij}^{\ -})^2 + (\overline{x}_{ij}^{\ +} - \overline{x}_{ij}^{\ -})^2]\}^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(۱۲ رابطهٔ)}$$

گام چهارم: محاسبهٔ فاصلهٔ بولزای نسبی[2]

با استفاده از رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ فاصله بولزای نسبی را محاسبه می‌کنیم:

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_i^0}{\varepsilon_i^+ + \varepsilon_i^0} \qquad \text{(۱۳ رابطهٔ)}$$

رابطهٔ ۱۳ مقدار فاصلهٔ بولزای نسبی گزینه‌ها را با در نظر گرفتن وزن هر معیار مشخص می‌کند و هرچه این کمیت برای گزینه‌ها بیشتر باشد، آن گزینه انتخاب بهتری خواهد بود.

بولزای مثبت ـ بولزای جامع در اعداد سه پارامترهٔ خاکستری

سومین روشی که معرفی می‌شود، روش بولزای جامع[3] برای اعداد خاکستری سه پارامتره در ماتریس‌های تصمیم است. برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، گام‌های زیر پیشنهاد شده است:

گام اول: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم؛

گام دوم: تعیین وزن معیارها با استفاده از روش بولزای مثبت؛

گام سوم: محاسبهٔ فاصله بولزای منفی[4].

با استفاده از رابطهٔ ۱۴ کمیت فوق را محاسبه می‌کنیم:

$$\varepsilon_i^- = 3^{-\frac{1}{2}}\{\sum_{j=1}^{m} w_j[(\underline{x}_{ij} - \underline{x}_{ij}^{\ -})^2 + (\tilde{x}_{ij} - \tilde{x}_{ij}^{\ -})^2 + (\overline{x}_{ij} - \overline{x}_{ij}^{\ -})^2]\}^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(۱۴ رابطهٔ)}$$

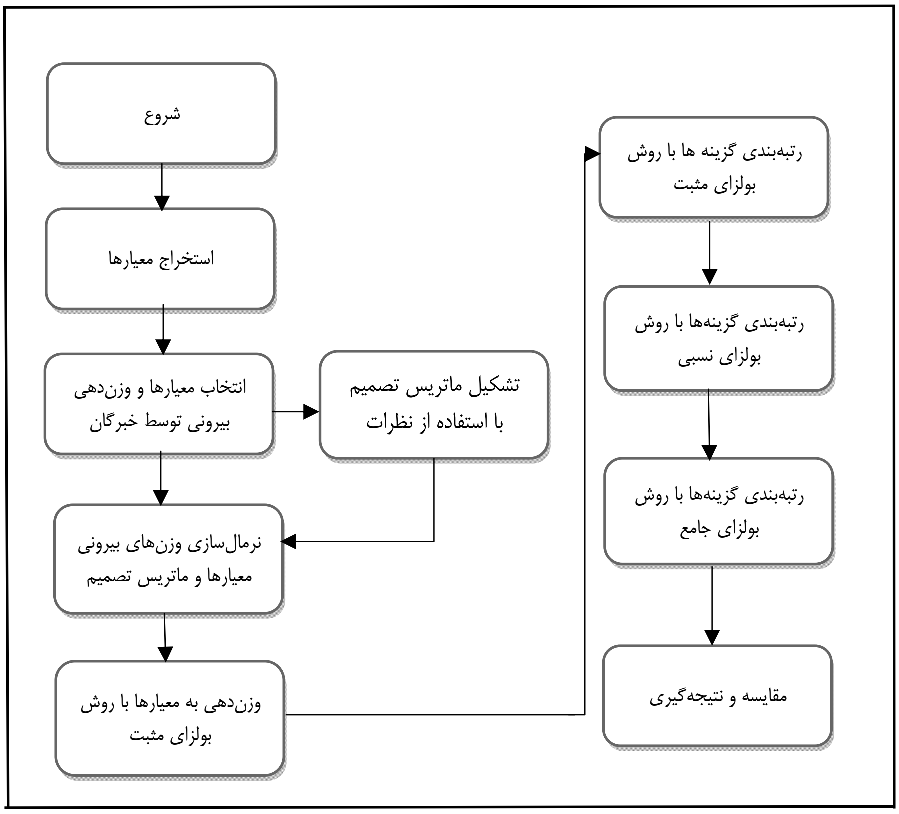
در این رابطه ε_i^-، فاصلهٔ بولزای منفی نامیده می‌شود.

1. Positive–Negative Bull's-eye Distance
2. Relative Bull's-eye Distance
3. Comprehensive The Bull's-eye Distance
4. Negative Bull's-eye Distance

با استفاده از روابط هندسی، می‌توان گفت سه بـردار ε_i^+، ε_i^- و ε_i^0 در فضـا یـک مثلـث را تشکیل می‌دهند. اگر θ را زاویهٔ بین بولزای مثبت و بولزای منفی در نظر بگیـریم، طبـق قـانون کسینوس‌ها داریم: $(\varepsilon_i^+)^2 + (\varepsilon_i^0)^2 - 2\varepsilon_i^+\varepsilon_i^0 \cos\theta = (\varepsilon_i^-)^2$ که این رابطـه را مـی‌تـوان به‌صورت $Cos\theta = \frac{(\varepsilon_i^+)^2+(\varepsilon_i^0)^2-(\varepsilon_i^-)^2}{2\varepsilon_i^+\varepsilon_i^0}$ نیز نوشت. در نهایـت بـرای بـه‌دسـت آوردن فاصـلهٔ بولزای جامع (ε_i) از رابطهٔ ۱۵ استفاده می‌شود.

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i^+ \cos\theta = \frac{(\varepsilon_i^+)^2 + (\varepsilon_i^0)^2 - (\varepsilon_i^-)^2}{2\varepsilon_i^0} \quad \text{(۱۵ رابطهٔ)}$$

در فاصلهٔ بولزای جامع هر چه، ε_i کمتر باشد، فاصلهٔ گزینهٔ انتخاب شده از مقدار ایده‌ال بهتـر است و گزینه با ε_i کمتر انتخاب می‌شود. در شکل ۲ فلوچارت روش پیشنهادی نشـان داده شـده است.



شکل ۲. روش پیشنهادی

مثال عددی

در این بخش، از داده‌های مقالهٔ عبدالله ریحانی و همکارانش (۱۳۹۳) استفاده شده است و مطابق با اظهار نظر نویسندگان آن، اطلاعات مورد نیاز در سازمان مد نظر، از طریق بررسی مدارک و اسناد، مصاحبه و پرسشنامه جمع‌آوری شده است. نخست، با مطالعهٔ تحقیقات قبلی انجام شده در ارتباط با موضوع این تحقیق، معیارهای لازم برای خرید تجهیزات بیمارستانی استخراج شده است؛ سپس به‌منظور منطبق کردن این معیارها با مؤلفه‌های خرید تجهیزات بیهوشی در بیمارستان و افزودن معیارهای تخصصی که در ادبیات ذکر نشده بود، مصاحبه‌هایی با برخی از خبرگان صورت گرفته و در نهایت معیارهای نهایی انتخاب شده‌اند. در مرحلهٔ سوم، تمام معیارهای شناسایی شده طی مراحل قبل، به‌صورت پرسشنامه در اختیار پاسخ‌دهندگان قرار گرفته تا نظرشان را نسبت به اهمیت هر یک از این ویژگی‌ها بیان کنند. با استفاده از نتایج این پرسشنامه، مؤلفه‌های مؤثر بر خرید تجهیزات و وزن هر یک از طریق به‌کارگیری نظریهٔ سیستم‌های خاکستری مشخص شد. در مرحلهٔ چهارم، گزینه‌ها و برندهای تجاری مختلف تجهیزات بیهوشی، طی پرسشنامه‌ای در اختیار پاسخ‌دهندگان قرار داده شد تا نظرشان را دربارهٔ هر یک از این گزینه‌ها در ارتباط با مؤلفه‌های به‌دست آمده، اعلام کنند.

برای ارزیابی گزینه‌ها، پس از جمع‌بندی نهایی، ۱۶ معیار برای انتخاب پنج تأمین‌کنندهٔ تجهیزات بیمارستانی به شرح جدول ۲ انتخاب شده است (برای اطلاع از نحوهٔ وزن‌دهی به معیارها، به مقاله دانگ و وانگ (۲۰۱۲) رجوع کنید). در ضمن، همان‌طور که در بخش‌های قبلی به این نکته اشاره شد، در صورت در دسترس نبودن حد وسط اعداد خاکستری، این اعداد به اعداد خاکستری دو پارامتره یا معمولی تبدیل می‌شوند و همچنین در روش بولزای با اعداد خاکستری سه پارامتره، از میانگین حد بالا و حد پایین به‌عنوان مقدار میانهٔ اعداد خاکستری استفاده شده است. در گام بعدی با استفاده از روش بولزای مثبت، وزن معیارها با لحاظ کردن ضریب اهمیت ($\alpha =$ ۰/۵) برای وزن‌های بیرونی محاسبه می‌شود. با استناد به مقالهٔ وانگ (۲۰۱۲) که در رابطه با کاربرد روش بولزای روی اعداد خاکستری سه پارامتره انجام شده است، مقدار α برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است تا به دقت حل روش پیشنهادی صحت بیشتری بخشد. در انتها و در گام آخر، با استفاده از سه روش بیان شده در این تحقیق، گزینه‌های مد نظر رتبه‌بندی خواهند شد.

در تحقیق ریحانی و همکارانش (۱۳۹۳)، پنج برند مختلف تجهیزات بیهوشی که بیشتر مورد توجه بیمارستان‌های کشور بودند، در فرایند تصمیم‌گیری وارد شده است. هر یک از این برندها با توجه به مؤلفه‌های مختلف از طریق پرسشنامه ارزیابی شدند؛ سپس وزن هر معیار برای هر برند با توجه به جمع‌بندی نظر خبرگان، به‌صورت اعداد خاکستری مطابق جدول ۳ محاسبه شده است.

گفتنی است، در این پژوهش ماتریس تصمیم به‌منظـور اسـتفاده از روش بـولزای ـ بـولزای سـه پارامتره، به اعداد خاکستری سه پارامتره تبدیل شده است.

جدول ۲. معیارهای انتخاب شده برای خرید تجهیزاتِ بیمارستان

ردیف	مؤلفه مؤثر بر خرید تجهیزات	حد پایین	حد بالا
۱	کیفیت محصول	۰/۶۱	۰/۸۱
۲	کیفیت خدمات تحویل	۰/۶۱	۰/۸۱
۳	برتری محصولات نسبت به رقبا	۰/۶۰	۰/۷۴
۴	قیمت	۰/۵۶	۰/۷۰
۵	سهولت تعمیرات و نگهداری تجهیزات بیهوشی	۰/۶۶	۰/۸۶
۶	کیفیت خدمات پس از فروش	۰/۷۰	۰/۸۶
۷	گارانتی محصول	۰/۷۲	۰/۸۷
۸	کوتاه بودن زمان تحویل، نصب و راه‌اندازی تجهیزات توسط شرکت تولیدکننده	۰/۵۳	۰/۶۵
۹	منطبق بودن تجهیزات با نیاز خریدار	۰/۶۹	۰/۸۷
۱۰	داشتن انحراف‌سنج (کالیبره‌کردن) در دستگاه	۰/۷۰	۰/۸۶
۱۱	نظر خریداران قبلی تجهیزات	۰/۵۳	۰/۷۱
۱۲	سهولت دسترسی به شرکت تولیدکننده	۰/۵۳	۰/۷۰
۱۳	عملکرد قبلی شرکت تولیدکننده در ارائهٔ محصول مناسب	۰/۶۰	۰/۷۵
۱۴	آموزش روش‌های استفاده از محصول توسط شرکت تولیدکننده به خریدار	۰/۵۳	۰/۷۰
۱۵	جهانی بودن بِرَند (مارک) تجاری شرکت تولیدکننده	۰/۶۸	۰/۸۵
۱۶	سهولت استفاده از تجهیزات	۰/۶۵	۰/۸۱

یافته‌های پژوهش

در این بخش، روش‌های پیشنهاد شده برای وزن‌دهی و رتبـه‌بنـدی انتخـاب و خریـد تجهیـزات بیمارستانی پژوهش ریحانی و همکاران (۱۳۹۳) را گام‌به‌گام اجرا کرده و نتایج به‌دست آمده را در بخش نتیجه‌گیری بررسی می‌کنیم. جدول ۳ ماتریس تصمیم‌گیری اولیه را نشان می‌دهد.

جدول ۳. ماتریس تصمیم‌گیری

معیارها	A	B	C	D	E
C۱	۴/۴۲-۵-۵/۵۸	۷/۰-۷/۸۴-۸/۶۷	۴/۷۵-۵/۵-۶/۲۵	۴/۳۴ -۴/۹۲-۵/۵۰	۴/۴۲ -۴/۹۲-۵/۴۲
C۲	۴/۵۰- ۵/۰۹-۵/۶۷	۶/۸۴- ۶/۶۷-۸/۸۴	۴/۰۸ -۵/۹۶-۵/۰۸	۴/۵۸-۵-۵/۹۲	۴/۰-۴/۸۳-۵/۰۸
C۳	۴/۹۰- ۵/۰۹-۶/۸	۶/۶۷-۷/۸۴-۹	۴/۹۲-۵/۵۹-۶/۲۵	۴/۴۲- ۵-۵/۵۷	۴/۲۵ -۴/۷۵-۵/۲۵
C٤	۴/۹۲ -۵/۴۲-۵/۹۲	۶/۴۲ -۷/۶۷-۸/۹۲	۴/۱۷- ۴/۶۷-۵/۱۷	۴/۴۲-۵/۰۹-۵/۷۵	۴/۰-۴/۸۳-۵/۰۸
C٥	۴/۷۵- ۵/۳۴-۵/۹۲	۷/۳۴ -۸/۱۷-۹/۰	۵/۴۲ -۶/۱۷-۶/۹۲	۴/۵۸-۵/۱۷-۵/۷۵	۴/۲۵-۴/۷۵-۵/۴۲
C٦	۵/۰۸-۴/۶۷-۴/۲۵	۶/۷۵-۷/۶۷-۸/۵۸	۵/۴۲ -۶/۱۷-۶/۹۲	۴/۵۸-۵/۱۷-۵/۷۵	۴/۲۵-۴/۷۵-۵/۴۲
C۷	۴/۵۰-۵/۱-۵/۷۰	۷/۲۵ -۸/۰۹-۸/۹۲	۵/۱۸ -۵/۹۶-۶/۷۳	۵/۰-۵/۸۴-۶/۶۷	۴/۱۷ -۴/۶۷-۵/۱۷
C۸	۴/۵۰-۵/۱۷-۵/۸۴	۶/۹۱-۷/۵۹-۸/۲۷	۳/۶۷-۴/۴۲-۵/۱۷	۴/۵۰ -۵/۲۵-۶/۰	۳/۹۲-۴/۵۵-۵/۱۷
C۹	۴/۳۴-۵/۳۴-۵/۷۵	۷/۴۲ -۸/۰۹-۸/۵۸	۴/۷۵ -۵/۵-۶/۲۵	۴/۷۵-۵/۴۲-۶/۰۸	۳/۹۲ -۴/۴۶-۵/۰۰
C۱۰	۵/۰۸-۵/۶۷-۶/۲۵	۷/۹۲-۸/۶۷-۹/۴۲	۵/۳۴-۵/۸۴-۶/۳۴	۴/۳۴ -۵/۰۱-۵/۶۷	۴/۲۵ -۴/۷۵-۵/۲۵
C۱۱	۴/۵۸-۵/۳۳-۶/۰۸	۶/۹۲ -۷/۶۷-۸/۴۲	۵/۵۰- ۶/۴۲-۷/۳۴	۴/۸۲-۵/۶-۶/۳۷	۴/۵۰-۵/۱۷-۵/۸۴
C۱۲	۴/۵۰-۵/۱۷-۵/۸۴	۵/۹۲ -۶/۸۴-۷/۷۵	۵/۵۸-۶/۲۵-۶/۹۲	۴/۵ -۵/۱۷-۵/۸۴	۴/۳۴-۴/۹۲ -۵/۵
C۱۳	۴/۰-۴/۵۹ -۵/۱۷	۶/۲۵-۷/۰۹-۷/۹۲	۴/۷۵- ۵/۴۲-۶/۰۸	۴/۶۴- ۵/۳۲-۶/۰	۴/۲۸- ۴/۷۸-۵/۲۸
C۱٤	۴/۰۸- ۴/۷۵-۵/۴۲	۶/۱۷ -۷/۱۷-۸/۱۷	۴/۳۴- ۴/۹۲-۵/۵	۴/۸۲- ۵/۵۱-۶/۱۹	۳/۶۷ -۴/۴۶-۵/۲۵
C۱٥	۵/۱۷ -۵/۸۴-۶/۵۰	۵/۳۴- ۶/۵۱-۷/۶۷	۴/۰-۴/۵-۵/۰	۴/۶۷- ۵/۲۶-۵/۸۴	۳/۶۷ -۴/۳۴-۵/۰
C۱٦	۵/۱۷-۵/۸۴-۶/۵۰	۶/۰-۷/۱۷-۸/۳۴	۴/۴۲-۴/۹۲-۵/۴۲	۴/۷۵-۵/۳۴-۵/۹۲	۳/۶۷-۴/۴۲-۵/۱۷

گام اول: وزن بیرونی هر معیار، از طریق محاسبهٔ میانگین حسابی بین حدود بالا و پایین هر معیار محاسبه و نرمال می‌شود که نتایج آن در جدول ۴ مشاهده می‌شود.

جدول ٤. وزن بیرونی نرمال شده معیارهای انتخاب شده

C۱	C۲	C۳	C٤	C٥	C٦	C۷	C۸
۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶	۰/۰۵۶	۰/۰۶۸	۰/۰۶۹	۰/۰۷۱	۰/۰۵۳
C۹	**C۱۰**	**C۱۱**	**C۱۲**	**C۱۳**	**C۱٤**	**C۱٥**	**C۱٦**
۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۶	۰/۰۵۵	۰/۰۶۸	۰/۰۶۵

گام دوم: وزن نهایی هر معیار با در نظر گرفتن وزن‌های بیرونی و استفاده از روش بولزای مثبت مطابق با جدول ۵ محاسبه شده است. شایان ذکر است، همان‌طور که در ابتدای این بخش توضیح داده شد، مقادیر α و β برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است. همچنین در مسئلهٔ اصلی فرض شده که تمام تجهیزات، برای بیمارستان سودآور است؛ به همین دلیل برای بی‌مقیاس‌سازی ماتریس از رابطه‌های ۵ که برای مقادیر سودآور به‌کار می‌روند، استفاده شده است.

جدول ٥. وزن نهایی معیارها با استفاده از روش بولزای مثبت

C۱	C۲	C۳	C٤	C٥	C٦	C۷	C۸
۰/۰۴۵	۰/۰۶۸	۰/۰۵۶	۰/۰۴۹	۰/۰۵۸	۰/۰۵۴	۰/۰۶۳	۰/۰۶۱
C۹	**C۱۰**	**C۱۱**	**C۱۲**	**C۱۳**	**C۱٤**	**C۱٥**	**C۱٦**
۰/۰۶۲	۰/۰۴۹	۰/۰۷	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷	۰/۰۷۳	۰/۰۷۷

گام سوم: ماتریس تصمیم با توجه به رابطه‌های ۴ و ۵ نرمال‌سازی می‌شود؛ نتایج محاسبات در جدول ۶ درج شده است.

جدول ٦. ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه

معیار ها \ برند	A	B	C	D	E
C۱	۰/۰۲-۰/۱۵-۰/۲۹	۰/۶۱-۰/۸۱-۱/۰۰	۰/۰۹-۰/۲۷-۰/۴۴	۰/۰-۰/۱۳-۰/۲۷	۰/۰۲-۰/۱۳-۰/۲۵
C۲	۰/۰۱-۰/۲۲-۰/۳۵	۰/۳۳-۰/۵۵-۱/۰۰	۰/۰۲-۰/۱۲-۰/۲۲	۰/۱۲-۰/۲۶-۰/۴	۰/۰-۰/۱۱-۰/۲۲
C۳	۰/۱۴-۰/۳۴-۰/۵۴	۰/۲۷-۰/۷۵-۱/۰	۰/۱۴-۰/۲۸-۰/۴۲	۰/۰۴-۰/۱۶-۰/۲۸	۰/۰-۰/۱۱-۰/۲۱
C٤	۰/۱۹-۰/۲۹-۰/۳۹	۰/۴۹-۰/۷۵-۱/۰۰	۰/۰۳-۰/۱۴-۰/۲۱	۰/۰۹-۰/۲۲-۰/۳۶	۰/۰-۰/۱۱-۰/۲۱
C٥	۰/۱۱-۰/۲۳-۰/۳۵	۰/۶۵-۰/۸۳-۱/۰	۰/۲۵-۰/۴-۰/۵۶	۰/۰۷-۰/۱۹-۰/۳۲	۰/۰-۰/۱۲-۰/۲۵
C٦	۰/۰-۰/۱-۰/۱۹	۰/۵۸-۰/۷۹-۱/۰۰	۰/۲۷-۰/۴۴-۰/۶۲	۰/۰۸-۰/۲۱-۰/۳۵	۰/۰-۰/۱۴-۰/۲۷
C۷	۰/۰۷-۰/۲-۰/۳۲	۰/۶۵-۰/۸۲-۱/۰۰	۰/۲۱-۰/۳۸-۰/۵۴	۰/۱۷-۰/۳۵-۰/۵۳	۰/۰-۰/۱۱-۰/۲۱
C۸	۰/۱۸-۰/۳۳-۰/۴۷	۰/۷-۰/۸۵-۱/۰	۰/۰-۰/۱۶-۰/۳۳	۰/۱۸-۰/۳۴-۰/۵۱	۰/۰۵-۰/۱۹-۰/۳۳
C۹	۰/۰۹-۰/۲۴-۰/۳۹	۰/۷۵-۰/۸۸-۱/۰	۰/۱۸-۰/۳۴-۰/۵۰	۰/۱۹-۰/۲۹-۰/۳۹	۰/۰-۰/۱۲-۰/۲۳
C۱۰	۰/۱۶-۰/۲۷-۰/۳۹	۰/۷۱-۰/۸۵-۱/۰	۰/۲۱-۰/۳۱-۰/۴۰	۰/۰۲-۰/۱۵-۰/۲۷	۰/۰-۰/۱-۰/۱۹
C۱۱	۰/۰۲-۰/۲۱-۰/۴	۰/۶۲-۰/۸۱-۱/۰	۰/۲۶-۰/۴۸-۰/۷۲	۰/۰۸-۰/۲۸-۰/۴۸	۰/۰-۰/۱۷-۰/۳۴
C۱۲	۰/۰۵-۰/۲۴-۰/۴۴	۰/۴۶-۰/۷۳-۱/۰۰	۰/۳۶-۰/۵۶-۰/۷۶	۰/۰۵-۰/۲۴-۰/۴۴	۰/۰-۰/۱۷-۰/۳۴
C۱۳	۰/۰-۰/۱۵-۰/۳	۰/۵۷-۰/۷۹-۱/۰	۰/۱۹-۰/۳۶-۰/۵۳	۰/۱۶-۰/۳۴-۰/۵۱	۰/۰۷-۰/۲-۰/۳۳
C۱٤	۰/۰۹-۰/۲۴-۰/۳۹	۰/۵۶-۰/۷۸-۱/۰۰	۰/۱۵-۰/۲۸-۰/۴۱	۰/۲۶-۰/۴۱-۰/۵۶	۰/۰-۰/۱۸-۰/۳۵
C۱٥	۰/۱۹-۰/۲۹-۰/۳۹	۰/۴۲-۰/۷۱-۱/۰	۰/۰۸-۰/۲۱-۰/۳۳	۰/۲۵-۰/۴-۰/۵۴	۰/۰-۰/۱۷-۰/۳۳
C۱٦	۰/۳۲-۰/۴۶-۰/۶۱	۰/۵-۰/۷۵-۱/۰۰	۰/۱۶-۰/۲۷-۰/۳۷	۰/۲۳-۰/۳۶-۰/۴۸	۰/۰-۰/۱۶-۰/۳۲

گام چهارم: در این گام رتبه‌بندی پنج گزینهٔ انتخابی با استفاده از سه روش بولزای مثبت، بولزای نسبی و بولزای جامع، محاسبه می‌شود؛ نتایج این محاسبات در جدول‌های ۷، ۸ و ۹ مشاهده می‌شود.

جدول ۷. رتبه‌بندی بولزای مثبت گزینه‌ها

برند	ε^{+}	رتبه
A	۰/۵۳	۴
B	۰	۱
C	۰/۴۸	۲
D	۰/۵۱	۳
E	۰/۶۴	۵

جدول ۸. رتبه‌بندی بولزای نسبی گزینه‌ها

برند	ε_{iR}	رتبه
A	۰/۵۵	۳
B	۱	۱
C	۰/۵۷	۲
D	۰/۵۶	۴
E	۰/۵	۵

جدول ۹. رتبه‌بندی بولزای جامع گزینه‌ها

برند	ε_{iC}	رتبه
A	۰/۵۲	۴
B	۰	۱
C	۰/۴۷	۲
D	۰/۵	۳
E	۰/۶۴	۵

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، نتایج محاسبات به روش بولزای مثبت نشان می‌دهد برند B کمترین مقدار بولزای مثبت را به‌دست آورده است و همان‌گونه که در بخش معرفی روش رتبه‌بندی بولزای توضیح داده شد، گزینه‌ای که در روش بولزای مثبت کمترین مقدار را به خود اختصاص دهد، بالاترین رتبه را خواهد داشت (وانگ، ۲۰۱۲). بنابراین برند B بهترین رتبه را در بین پنج گزینهٔ انتخابی دارد و با منطق این روش، گزینه‌های C، D، E، A به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی رتبه‌بندی قرار می‌گیرند. مقاله دانگ و وانگ در روش بولزای نسبی نیز با توجه به اینکه هر چه شاخص بولزای نسبی بیشتر باشد، گزینهٔ مدنظر رتبهٔ بهتری در بین سایر گزینه‌ها کسب می‌کند، برند B بیشترین امتیاز را کسب کرده و بهترین رتبه را در بین پنج گزینه دارد. بدین ترتیب گزینه‌های B، C، D، E، A به ترتیب اولویت در این روش رتبه‌بندی شدند (جدول ۸).

در روش بولزای جامع نیز با توجه به اینکه هرچه شاخص بولزای جامع کمتر باشد، رتبه بهتری در بین گزینه‌ها دارد، مطابق جدول ۹ برند B بیشترین امتیاز را در این روش به‌دست آورده است؛ بدین ترتیب گزینه‌هایB، C، D، E و A به‌ترتیب اولویت در این روش رتبه‌بندی شدند.

جدول ۱۰. رتبه‌بندی امکان خاکستری گزینه‌ها

برند	P(MAX)	رتبه
A	۰/۵	۱
B	۰/۸۵۷	۲
C	۰/۸۷۲	۳
D	۰/۸۸۶	۴
E	۰/۹۵۷	۵

مقایسهٔ نتایج این روش با روش استفاده شده در مقالهٔ ریحانی و همکاران (۱۳۹۳) که به‌صورت خلاصه در جدول ۱۰ آمده است، نشان می‌دهد در روش پیشنهادی، رتبهٔ گزینه‌های B، C، D و E به‌صورت تقریبی با روش ارائه‌شده در تحقیق آنها برابر است. در خصوص سایر اختلاف‌ها، باید گفت که ریشهٔ این اختلاف به تفاوت روش‌های استفاده شده مربوط می‌شود (کامفیروزی و همکاران، ۱۳۹۳). از آنجا که روش بولزای برای رتبه‌بندی گزینه‌های مد نظر سه روش مختلف را پیشنهاد می‌کند و با توجه به نتایج تحقیق وانگ و همکاران، همگرایی بیشتر سه روش رتبه‌بندی بولزای، صحت و دقت این روش را در حوزهٔ تصمیم‌گیری چند معیاره نشان

می‌دهد. همان‌گونه که در بخش‌های قبلی نیز ذکر شد، بر اساس بررسی‌های انجام شده، در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله مسئلهٔ انتخاب تأمین‌کننده، از روش بولزای فقط برای وزن‌دهی استفاده شده و این روش برای رتبه‌بندی به‌کار نرفته است؛ این در حالی است که نتایج این پژوهش، دقت و قدرت زیاد روش بولزای را نسبت به سایر روش‌ها نمایان می‌کند.

نتیجه‌گیری

امروزه در بازار رقابتی موجود و با توجه به اهمیت انتخاب تأمین‌کنندهٔ مناسب برای اکثر شرکت‌ها و مؤسسه‌ها، بهره‌مندی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به دلیل استفاده از معیارهای کمی و کیفی، اهمیت بسیاری دارد. در این مقاله با مروری بر تحقیقات صورت گرفته در حوزهٔ انتخاب تأمین‌کننده که خود از جمله مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره به شمار می‌رود، به ارائهٔ مدلی اقدام شد که از روش بولزای هم برای وزن‌دهی معیارها و هم رتبه‌بندی گزینه‌های مد نظر استفاده می‌کند. این روش به دلیل استفاده از سه حالت بولزای مثبت، بولزای نسبی و بولزای جامع، دقت نسبتاً زیادی دارد. همگرایی این سه روش می‌تواند ضمن افزایش ضریب اطمینان محقق در مقایسه با سایر روش‌ها، به انتخاب تأمین‌کنندهٔ مناسب برای شرکت‌ها و مؤسسه‌ها کمک شایان توجهی کند.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد به‌کارگیری روش بولزای ـ بولزای برای وزن‌دهی معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها، به‌دلیل یکپارچگی و ارائهٔ سه روش برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و در اختیار قرار دادن سه شاخص یا سناریو برای راستی‌آزمایی نتایج، روش مناسبی برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان به‌شمار می‌رود. در واقع این پژوهش قصد داشت با معرفی و ارائهٔ روشی یکپارچه و ساده در محیط‌های خاکستری و با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف، نتایج قابل اطمینان و با حداقل انحرافی را نسبت به شرایط واقعی، در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار دهد و از این طریق تا حدی عدم قطعیت را در مسائل مرتبط کاهش دهد. همچنین استفاده از اعداد خاکستری و ساده بودن آنها می‌تواند به روش قابل اتکایی برای تبدیل شاخص‌های کیفی به کمی، از جمله کمی‌نمودن نظر خبرگان در تصمیم‌گیری‌ها تبدیل شود.

پیشنهادهای آتی

علاوه بر اعداد خاکستری سه پارامتره به‌عنوان داده‌های پایه در روش بولزای ـ بولزای، این مقاله استفاده از روش بولزای ـ بولزای را برای داده‌های بازه‌ای پیشنهاد می‌کند. به‌طور مثال، برای رتبه‌بندی بانک‌ها از آنجا که اطلاعات موجود در این زمینه به‌صورت داده‌های بازه‌ای است، استفاده از این روش در کنار سایر روش‌های وزن‌دهی و رتبه‌بندی، می‌تواند ابزار مناسبی باشد.

علاوه بر این، با توجه به اینکه روش بولزای معمولاً برای اعداد خاکستری استفاده شده است، می‌توان از این روش برای سایر معیارهای زبانی مانند اعداد فازی و اعداد راف نیز استفاده کرد تا کارایی این روش در این دو معیار زبانی نیز مشخص شود.

References

Amini, F. & Rezaeenour, J. (2016). Ranking Healthcare Centers Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS: Iranian Experience. *International Journal of Applied Operational Research*, 6(1), 25-39.

Bezuglov, A. & Comert, G. (2016). Short-term freeway traffic parameter prediction: Application of grey system theory models. *Expert Systems with Applications* 62 (2016): 284-292.

Bradley, M. F. (1977). Buying behavior in Ireland's public sector. *Industrial Marketing Management*, 6(4), 251-258.

Chamodrakas, I., Batis, D. & Martakos, D. (2010). Supplier selection in electronic marketplaces using satisficing and fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications* 37(1), 490-498.

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*, 102(2), 289-301.

Chen, Z. & Yang, W. (2011). An MAGDM based on constrained FAHP and FTOPSIS and its application to supplier selection. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(11), 2802-2815.

Dalalah, D., Hayajneh, M. & Batieha, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert systems with applications*, 38(7), 8384-8391.

Dang, L. U. O. (2009). Decision-making methods with three-parameter interval grey number. *Systems Engineering-Theory & Practice*, *29*(1), 124-130

Golmohammadi, D. & Mellat-Parast, M. (2012). Developing a grey-based decision-making model for supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 137(2), 191-200.

Gu, Z., Niu, D. & Wang, H. (2009). Multiple attribute grey target decision making model based on linear combination weights determining and entropy. *International Journal of Business and Management*, *3*(1), 106-111.

Hasanpoor, A., Mohammadpanah, M. & Yosefi Zenooz, R. (2016). A decision-making model for operational efficiency in the banking workflow process of housing facilities. *Industrial Management,* 8(1), 74-61. (*in Persian*)

Julong, D. (1989). Introduction to grey system theory. *The Journal of grey system*, 1(1), 1-24.

Kahraman, C., Cebeci, U. & Ruan, D. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. *International Journal of Production Economics,* 87 (2), 171-184.

Kamfiroozi, M. H. & Naeini, A. B. (2012). Supplier Selection in Grey Environment: A Grey, AHP, Bulls-Eye and ELECTRE Approach. *International Journal of Information, Security and Systems Management*, *2*(1), 110-116.

Kamfiroozi, M. H. & Naeini, A. B. (2013). Provide a robust model the supply chain providing an integrated approach to analyzing Hierarchy-Bulls-eye and Methods Rating puffs on the Gray numbers three parameterization. *Modiriat-Farda Journal*, 34, 37-54. (*in Persian*)

Kamfiroozi, M. H., Jafarieskandari, H. & Aliahmadi, A. (2015). Integrating multi-criteria decision making methods Bolzay and Vikor with gray numbers three, *International journal industrial engineering and production management*, 25(4), 432-437. (*in Persian*)

Kamfiroozi, M.H., Jafarieskandari, H., Aliahmadi, A. & Ferdosinir, A. (2012). Weighted companies in the balanced scorecard performance metrics using a combination of Shapley value of Bulls-eye Case study peg manufacturers in the country, *Journal of Production and Operations Management*, 5(1), 113-124. (*in Persian*)

Luo, D. & Wang, X. (2012). The multi-attribute grey target decision method for attribute value within three-parameter interval grey number. *Applied Mathematical Modelling*, *36*(5), 1957-1963.

Luo, D. (2005). *Analysis Method for Grey Decision-making Problems.* Zhengzhou: Yellow River Water Conservation Press.

Mehregan, M.R., Dabaghi, A. (2014). The development of a comprehensive method for Multiple Attribute Decision Making uncertain Based on an analysis of the Grey Relational Analysis. *Journal of Management Researches,* 23, 5-26. (*in Persian*)

Memon, M. S., Lee, Y. H., & Mari, S. I. (2015). Group multi-criteria supplier selection using combined grey systems theory and uncertainty theory. *Expert Systems with Applications*, *42*(21), 7951-7959.

Mirghafoori, H., Morovatisharifabad, A. & Asadianardakani, F. (2012) .Analysis of the risks suppliers in the supply chain with Hybrid Model Gray relational analysis and fuzzy VIKOR. *Journal of industrial management*, 2(4), 153-178. (*in Persian*)

Montazer, Gh., Ali, Qahri Saremi, H. & Ramezani, M. (2009). Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection. *Expert Systems with Applications*, 36 (8): 10837-10847.

Reyhani, A. & et al .(2014). Application of Gray Multi Criteria Decision Making In Purchasing Hospital Anesthesia Equipment. *Journal of peyavarde salamat*, 8(6), 492-505. (*in Persian*)

Roohi, F., Ebrahimi, S.B. & Ketabian, H. (2015). Development of International facility location model applying the combination of MCDM and location covering techniques under uncertainty. *Industrial Management,* 7(4), 743-766. (*in Persian*)

Shahanaghi, K. & Yazdian, S.A. (2009). Vendor selection using a new fuzzy group TOPSIS approach. *Journal of Uncertain Systems*, 3 (3), 221-231.

Wang, T.Y. & Yang, W.H. (2009). A fuzzy model for supplier selection in quantity discount environments. *Expert Systems with Applications* 36(10), 12179-12187.

Xu, J. & Yan, F. (2011). A multi-objective decision making model for the vendor selection problem in a bifuzzy environment. *Expert systems with applications,* 38(8), 9684-9695.

Yang, J.L., Chiu, H.N., Tzeng, G.H., Yeh, R.H. (2008). Vendor selection by integrated fuzzy MCDM techniques with independent and interdependent relationships. *Information Sciences*, 178(21), 4166-4183.

Zhu, J. & Hipel, K. W. (2012). Multiple stages grey target decision making method with incomplete weight based on multi-granularity linguistic label. *Information Sciences*, 212, 15-32.