

توسعه روش بولزای - بولزای برای تصمیم‌گیری چندمعیاره با اعداد خاکستری به منظور انتخاب تأمین‌کننده تجهیزات (مطالعه 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 حوزه 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 مرحله رتبه‌بندی گزینه‌ها سه روش حل ارائه می‌شود. این روش با توجه به یکپارچگی و به دلیل در اختیار قرار دادن سه شاخص برای راستی‌آزمایی 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 - بولزای.

۱. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده 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

نویسنده مسئول مقاله: جلال رضایی نور

E-mail: j.rezaee@qom.ac.ir

مقدمه

امروزه با پیشرفت تکنولوژی و گسترش جهانی بازارهای رقابتی در صنایع مختلف، بسیاری از شرکت‌ها و مؤسسات تجاری اهمیت انتخاب درست تأمین‌کننده را درک کرده و در پی حل این مسئله هستند. مسئله تصمیم‌گیری و بازخوردهای آن، همیشه از دغدغه‌های مدیران بوده و به همین دلیل، روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای حل این مسئله توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است که با استفاده از آن بتوان به اهداف مد نظر با حداقل انحراف دست یافت. مسئله انتخاب تأمین‌کننده از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است. انتخاب تأمین‌کننده و خرید ماشین‌آلات و تجهیزات که سرمایه ثابت شرکت‌ها یا مؤسسه‌ها هستند نیز، یکی از مسائل مهم تصمیم‌گیری است و باید به درستی انجام شود تا عملیات سازمان را به گونه‌ای پشتیبانی کند که تأمین‌کننده منتخب، بیشترین پتانسیل را در رفع نیازهای شرکت با هزینه قابل قبول داشته باشد (کتابی، حق‌شناس و حدادیان، ۱۳۸۷). یکی دیگر از دلایل اهمیت انتخاب تأمین‌کننده مناسب، هزینه‌های گزافی است که برای آن صرف می‌شود و سهم عظیمی از درآمد سازمان را به خود 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 اهداف سازمان ضروری هستند، از این رو در سال‌های اخیر، موضوع انتخاب تأمین‌کننده به یکی از موضوعات مهم در حوزه تصمیم‌گیری تبدیل شده و به همین دلیل برای حل این مسئله از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است.

تاکنون از روش‌ها و مدل‌های بسیاری برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده استفاده شده است که از میان آنها می‌توان به روش وزن‌دهی خطی (LW)^۱، روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^۲ و تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی (MP)^۳ اشاره کرد. روش تحلیل سلسله‌مراتبی، روش اثربخشی برای وزن‌دهی ساختارمند معیارها با استفاده از مقایسات زوجی است و تاکنون پژوهش‌های بسیاری از این روش برای وزن‌دهی معیارها چه در رابطه با اعداد قطعی و چه در رابطه با معیارهای زبانی مانند اعداد خاکستری و فازی استفاده کرده‌اند. روش تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از مؤثرترین روش‌های حوزه تصمیم‌گیری چند معیاره شناخته شده است، اما این روش نیز مانند سایر روش‌های خبره‌محور، بستگی زیادی به ذهنیت تصمیم‌گیرندگان هنگام

-
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 مسئله 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 و گزینه‌ها واضح و شفاف نیستند و نمی‌توان آنها را با مقادیر عددی بیان کرد. از این رو در تصمیم‌گیری چندمعیاره، نوعی نقصان اطلاعاتی وجود دارد و تصمیم‌گیرنده باید گاهی ترجیحات ذهنی را به صورت متغیرهای زبانی وارد مسئله کند. در این گونه مسائل، نوع امتیازدهی خبرگان به صورت زبانی است و وجه تمایز گزینه‌های مختلف به صورت زبانی و با امتیازهایی مانند خیلی خوب، خوب، بد و... بیان می‌شود. به همین دلیل برای محاسبه 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 - بولزای به عنوان 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 به کار گرفته شده است که یکی از ضعف‌های عمده آنها در قسمت وزن‌دهی، تکیه بر اعداد ارائه شده خبرگان است. از سوی دیگر، در رتبه‌بندی گزینه‌ها نیز روش‌های به کار گرفته شده تنها یک جواب واحد در اختیار محقق قرار می‌دهند که این جواب قابلیت مقایسه با جواب‌های دیگر را ندارد و نمی‌تواند جواب به دست 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 مدنظر نیز، روش بولزای با استفاده حدافلی از نظر خبرگان و محاسبه 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 - بولزای برای رتبه‌بندی و وزن‌دهی در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره 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^۱ 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، مسئله انتخاب تأمین‌کننده به‌عنوان یک مسئله 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 - 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 در بخش آخر در قالب نتیجه‌گیری، به بررسی نتایج به‌دست آمده از این روش پرداخته خواهد شد.

پیشینه پژوهش

برای انتخاب تأمین‌کنندگان مطالعات و پژوهش‌های متعددی صورت گرفته و از شاخص‌های متفاوتی برای انتخاب تأمین‌کننده مناسب با توجه به منطق و نوع مسئله استفاده شده است. از جمله 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 مواجهه شدن با یک مسئله 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 مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره در تمام حوزه‌ها قابل مشاهده است، به‌گونه‌ای که فارق از مسئله انتخاب تأمین‌کننده، در سایر حوزه‌ها مانند محیط زیست نیز از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. برای مثال، برزه‌کار، کارگری و مبرقعی (۱۳۹۵) از روش الکتراه^۲ برای بررسی و مقایسه 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 به کمک 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. مطالعه این گروه روی تأمین‌کنندگان قطعات شرکت سایپا بود. از طرف دیگر، با توجه به اهمیت انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین، نائینی و کامفیروزی (۱۳۹۲) مدلی بر اساس رویکرد تلفیقی تحلیل سلسله‌مراتبی - بولزای و روش رتبه‌بندی پاف روی اعداد خاکستری سه پارامتره ارائه کردند. جدول ۱ به‌طور خلاصه به مرور برخی از این تحقیقات می‌پردازد.

جدول ۱. برخی مطالعات و مدل‌های استفاده شده برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده

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

ادامه جدول ۱

پژوهشگر	مدل
کامفیروزی و بنیادی (۲۰۱۳)	ترکیب روش بولزای، تحلیل سلسله‌مراتبی و الکترو در محیط خاکستری
کامفیروزی و بنیادی (۲۰۱۴)	تحلیل سلسله‌مراتبی - بولزای و رتبه‌بندی پاف روی اعداد خاکستری سه پارامتره
ریحانی و همکاران (۲۰۱۵)	روش تصمیم‌گیری چند معیاره خاکستری
کتابی، حق شناس، حدادیان (۱۴۸۷)	انتخاب چند معیاره تأمین‌کنندگان با استفاده از AHP فازی
تقوی‌فرد و ملک (۱۳۹۰)	استفاده از روش تصمیم‌گیری خاکستری به منظور رتبه‌بندی شاخص‌های کلید عملکرد
حمیدی و والاfer (۱۳۹۳)	استفاده از روش درجه امکان خاکستری به منظور رتبه‌بندی پروژه‌های استراتژیک سازمان

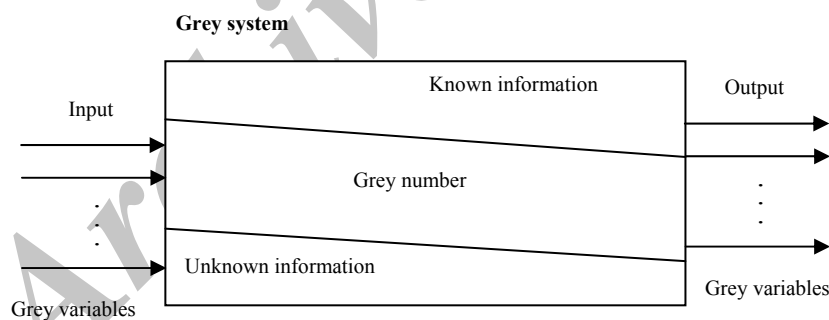
در سال‌های اخیر برخی از پژوهش‌ها با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری، مدلی جدید در تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه کرده‌اند. محمدپناه، یوسفی، حسن‌پور (۱۳۹۵) در بررسی بهره‌وری عملیاتی کارکنان در فرایند گردش کار بانکی دریافت تسهیلات مسکن، از الگوریتم ژنتیک برای مدل‌سازی این مسئله تصمیم‌گیری استفاده کردند. همچنین روحی، ابراهیمی، کتابیان (۱۳۹۴) نیز به کمک 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 والاfer (۱۳۹۳) نیز از روش درجه امکان خاکستری برای رتبه‌بندی پروژه‌های استراتژیک در سازمان مپنا استفاده کردند. علاوه بر این طبق بررسی‌های صورت گرفته، از روش بولزای برای اعداد سه پارامتره 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 مرحله تصمیم‌گیری متوقف شده است. در آخرین تحقیقات، کامفیروزی و بنیادی (۱۳۹۳)

از روش بولزای برای کمی‌نمودن قضاوت‌های ذهنی و زبانی و تبدیل آنها به معیارهای قابل اندازه‌گیری در وزن‌دهی شاخص‌ها برای انتخاب تأمین‌کنندگان، استفاده کردند و با تلفیق روش‌های دیگر به رتبه‌بندی گزینه‌ها پرداختند. این پژوهش در نظر دارد از روش بولزای - بولزای برای وزن‌دهی به معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها در محیط خاکستری و در ادبیات انتخاب و خرید تأمین‌کنندگان تجهیزات برای بنگاه‌های اقتصادی (مطالعه موردی: خرید تجهیزات بیمارستانی) استفاده کند.

روش‌شناسی پژوهش عدد خاکستری

تئوری سیستم‌های خاکستری را نخستین بار دنگ در سال ۱۹۸۲ مطرح کرد و بعدها توسط پژوهشگران دیگر بسط داده شد (لین و سیفنگ، ۱۹۹۹). اساساً این منطق این‌گونه ساخت‌دهی می‌شود که اگر سیاه‌گویای اطلاعات کاملاً ناشناخته و سفید نشان‌دهنده اطلاعات کاملاً روشن و واضح باشد، خاکستری اطلاعاتی است که تا حدی نامعلوم است. سیستمی که حاوی اطلاعات خاکستری باشد را سیستم خاکستری می‌گویند. در شکل ۱ نمایی از مفهوم سیستم خاکستری مشاهده می‌شود (احمدی و کامفیروزی، ۱۳۹۳).



شکل ۱. سیستم خاکستری

در نظریه سیستم خاکستری، عدد خاکستری یک عدد واقعی است که ارزش آن برای تصمیم‌گیرنده نامعلوم است (لی، ۲۰۰۹). این روش از مدل‌های آماری برای کنترل مقادیر خاکستری استفاده نمی‌کند، بلکه به‌طور مستقیم داده‌های اصلی را مورد استفاده قرار داده و نظم درونی و ذاتی داده‌ها را بررسی می‌کند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). مزیت نظریه خاکستری در

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

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

با استناد به مقاله وانگ (۲۰۱۲) می‌توان این‌گونه بیان کرد؛ در صورتی که $a \otimes$ یک عدد خاکستری سه پارامتره باشد، به صورت $a \otimes \in [\underline{a}, \tilde{a}, \bar{a}]$ نمایش داده می‌شود که در آن، \underline{a} کران پایین، \tilde{a} مرکز ثقل یعنی عددی که بیشترین امکان را دارد و \bar{a} را کران بالا می‌نامند. در صورتی که مرکز ثقل یک عدد خاکستری سه پارامتره مشخص نباشد، عدد خاکستری سه پارامتره به عدد خاکستری معمولی یعنی دو پارامتره تبدیل خواهد شد.

وانگ (۲۰۱۲) و کامفیروزی و همکاران (۱۳۹۳) روابط میان اعداد خاکستری را این‌گونه تعریف کردند که اگر $a(\otimes)$ و $b(\otimes)$ را دو عدد خاکستری سه پارامتره در نظر بگیریم. در این صورت خواهیم داشت:

$$a(\otimes) + b(\otimes) \in [\underline{a} + \underline{b}, \tilde{a} + \tilde{b}, \bar{a} + \bar{b}] \quad \text{رابطه ۱}$$

$$a(\otimes) / b(\otimes) \in [\min\{\underline{a} / \underline{b}, \underline{a} / \bar{b}, \bar{a} / \underline{b}, \bar{a} / \bar{b}\}, \tilde{a} / \tilde{b}, \max\{\underline{a} / \underline{b}, \underline{a} / \bar{b}, \bar{a} / \underline{b}, \bar{a} / \bar{b}\}] \quad \text{رابطه ۲}$$

فاصله دو عدد خاکستری سه پارامتره

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

$$d(a(\otimes), b(\otimes)) \geq 0 \quad \text{رابطه ۳}$$

$$d(a(\otimes), b(\otimes)) = d(a(\otimes), a(\otimes))$$

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

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

نرمال سازی ماتریس اعداد خاکستری سه پارامتره
اگر ماتریس تصمیم‌گیری را به صورت زیر تعریف کنیم:

$$S = \{\mu_{ij} \mid \mu_{ij} \in (\underline{\mu}_{ij}, \tilde{\mu}_{ij}, \bar{\mu}_{ij}), 0 \leq \underline{\mu}_{ij} \leq \tilde{\mu}_{ij} \leq \bar{\mu}_{ij}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m\} \quad \text{رابطه ۴}$$

برای بی‌مقیاس‌سازی ماتریس از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود:

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

$$\begin{aligned} \underline{x}_{ij} &= \frac{\underline{\mu}_{ij} - \underline{\mu}_j^\nabla}{\bar{\mu}_j^* - \underline{\mu}_j^\nabla} \\ \tilde{x}_{ij} &= \frac{\tilde{\mu}_{ij} - \underline{\mu}_j^\nabla}{\bar{\mu}_j^* - \underline{\mu}_j^\nabla} \\ \bar{x}_{ij} &= \frac{\bar{\mu}_{ij} - \underline{\mu}_j^\nabla}{\bar{\mu}_j^* - \underline{\mu}_j^\nabla} \end{aligned} \quad \text{رابطه ۵}$$

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

$$\begin{aligned} \underline{x}_{ij} &= \frac{\bar{\mu}_j^* - \bar{\mu}_{ij}}{\bar{\mu}_j^* - \underline{\mu}_j^\nabla} \\ \tilde{x}_{ij} &= \frac{\bar{\mu}_j^* - \tilde{\mu}_{ij}}{\bar{\mu}_j^* - \underline{\mu}_j^\nabla} \\ \bar{x}_{ij} &= \frac{\bar{\mu}_j^* - \underline{\mu}_{ij}}{\bar{\mu}_j^* - \underline{\mu}_j^\nabla} \end{aligned} \quad \text{رابطه ۶}$$

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

$$R = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad \text{رابطه ۷}$$

که $x_{ij} \in (\underline{x}_{ij}, \tilde{x}_{ij}, \bar{x}_{ij})$ یک عدد خاکستری سه پارامتره در بازه $[0, 1]$ است.

روش بولزای – بولزای

این روش را دو تن از پژوهشگران به نامهای دانگ و وانگ (۲۰۱۲) برای وزن دهی و رتبه بندی در ماتریس تصمیم خاکستری سه پارامتره به کار بردند. کامفیروزی نیز در پژوهش های سال های اخیر خود از روش بولزای برای وزن دهی استفاده کرد که به برخی از تحقیقات ایشان در جدول ۱ اشاره شده است.

روش وزن دهی بولزای

الگوریتم این روش را به صورت گام های زیر خلاصه می کنیم:

گام اول: بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم گیری اولیه با استفاده از رابطه های ۵ و ۶

گام دوم: تعیین بولزای مثبت: منظور از تعیین بولزای مثبت مجموعه $z^+ = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_n^+)$ است که برای تعیین آن به صورت زیر عمل خواهیم کرد.

$$z_j^+ \in (\underline{x}_j^+, \tilde{x}_j^+, \bar{x}_j^+) \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\tilde{x}_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} \{\tilde{x}_{ij}\}, \quad \text{به طوری که}$$

$$\bar{x}_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} \{\bar{x}_{ij}\},$$

$$\underline{x}_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} \{\underline{x}_{ij}\}$$

گام سوم: در آخرین گام، وزن تعدیل شده شاخص ها را با استفاده از رابطه های زیر محاسبه می کنیم:

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

در رابطه فوق b_j برابر است با:

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

مقادیر α و β در رابطه ۱۰ اهمیت وزن‌های بیرونی و درونی را مشخص می‌کنند و حاصل جمع این دو برابر یک و هر دو غیر منفی هستند. این مقادیر معمولاً توسط تصمیم‌گیرنده یا با بر اساس نظر خبرگان تعیین می‌شود. در رابطه ۱۰، w_j^0 وزن‌های بیرونی هستند که خبرگان تعیین کرده‌اند و می‌توان آنها را به صورت زیر نشان داد:

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

روش رتبه‌بندی بولزای - بولزای

روش رتبه‌بندی بولزای - بولزای را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد که هر یک به‌طور مستقل برای رتبه‌بندی گزینه‌ها به کار می‌رود. در این پژوهش از هر سه روش برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. در ادامه به معرفی و تشریح هر سه روش پرداخته می‌شود.

بولزای مثبت - بولزای مثبت

روش بولزای مثبت - بولزای مثبت برای رتبه‌بندی گزینه‌ها در ماتریس‌های تصمیم با اعداد 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 رتبه گزینه‌ها با استفاده از رابطه ۱۱.

$$\mathcal{E}_i^+ = 3^{-\frac{1}{2}} \left\{ \sum_{j=1}^m w_j [(x_{ij}^- - x_{ij}^+)^2 + (\tilde{x}_{ij}^- - \tilde{x}_{ij}^+)^2 + (\bar{x}_{ij}^- - \bar{x}_{ij}^+)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

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

بولزای مثبت - بولزای نسبی در اعداد سه پارامتره خاکستری

دومین روشی که معرفی می‌شود، روش بولزای نسبی برای اعداد خاکستری سه پارامتره در ماتریس‌های تصمیم است. برای رتبه‌بندی گزینه‌ها در این روش، گام‌های زیر به ترتیب پیشنهاد شده است:

گام اول: نرمال سازی ماتریس تصمیم؛

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

گام سوم: محاسبه فاصله بولزای منفی - مثبت^۱

ابتدا مجموعه $\{ [x_{i1}^-, \tilde{x}_{i1}^-, \bar{x}_{i1}^-], \dots, [x_{im}^-, \tilde{x}_{im}^-, \bar{x}_{im}^-] \}$ را شکل $z^- = \{z_1^-, z_2^-, \dots, z_m^-\}$ داده و با استفاده از رابطه ۱۲ شاخص فاصله بولزای مثبت - منفی را محاسبه می کنیم:

$$\mathcal{E}_i^0 = 3^{-\frac{1}{2}} \left\{ \sum_{j=1}^m w_j [(x_{ij}^+ - \underline{x}_{ij}^-)^2 + (\tilde{x}_{ij}^+ - \tilde{x}_{ij}^-)^2 + (\bar{x}_{ij}^+ - \bar{x}_{ij}^-)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

گام چهارم: محاسبه فاصله بولزای نسبی^۲

با استفاده از رابطه های ۱۱ و ۱۲ فاصله بولزای نسبی را محاسبه می کنیم:

$$\mathcal{E}_i = \frac{\mathcal{E}_i^0}{\mathcal{E}_i^+ + \mathcal{E}_i^0} \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

رابطه ۱۳ مقدار فاصله بولزای نسبی گزینه ها را با در نظر گرفتن وزن هر معیار مشخص می کند و هرچه این کمیت برای گزینه ها بیشتر باشد، آن گزینه انتخاب بهتری خواهد بود.

بولزای مثبت - بولزای جامع در اعداد سه پارامتره خاکستری

سومین روشی که معرفی می شود، روش بولزای جامع^۳ برای اعداد خاکستری سه پارامتره در ماتریس های تصمیم است. برای رتبه بندی گزینه ها، گام های زیر پیشنهاد شده است:

گام اول: نرمال سازی ماتریس تصمیم؛

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

گام سوم: محاسبه فاصله بولزای منفی^۴.

با استفاده از رابطه ۱۴ کمیت فوق را محاسبه می کنیم:

$$\mathcal{E}_i^- = 3^{-\frac{1}{2}} \left\{ \sum_{j=1}^m w_j [(x_{ij} - \underline{x}_{ij}^-)^2 + (\tilde{x}_{ij} - \tilde{x}_{ij}^-)^2 + (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{ij}^-)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

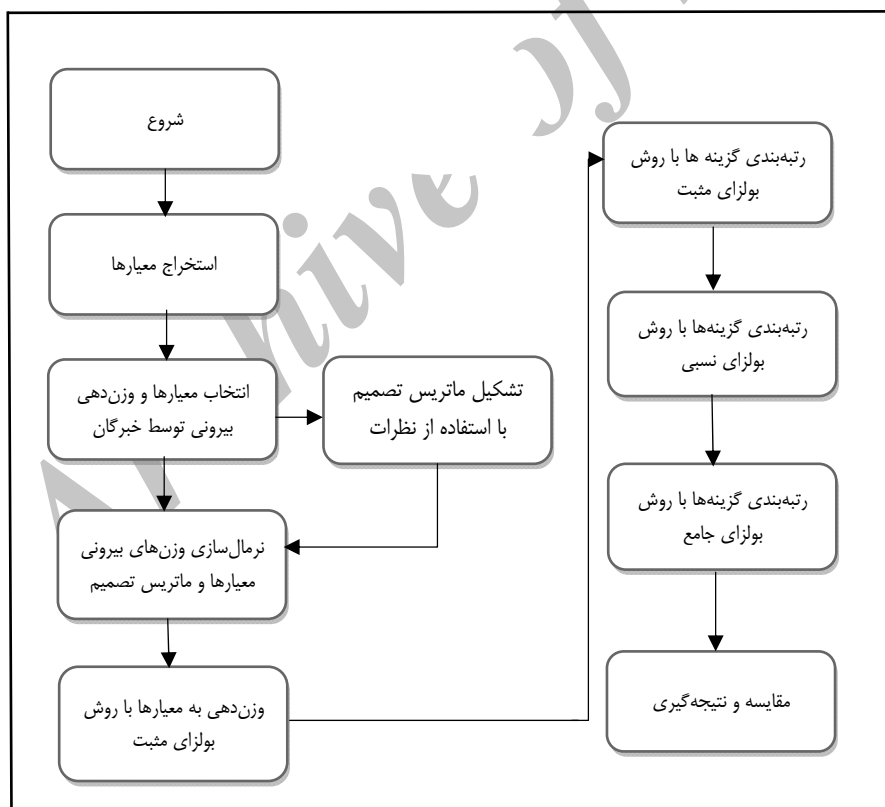
در این رابطه \mathcal{E}_i^- ، فاصله بولزای منفی نامیده می شود.

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 بردار \mathcal{E}_i^+ ، \mathcal{E}_i^- و \mathcal{E}_i^0 در فضا یک مثلث را تشکیل می‌دهند. اگر θ زاویه بین بولزای مثبت و بولزای منفی در نظر بگیریم، طبق قانون کسینوس‌ها داریم: $(\mathcal{E}_i^-)^2 = (\mathcal{E}_i^+)^2 + (\mathcal{E}_i^0)^2 - 2\mathcal{E}_i^+\mathcal{E}_i^0 \cos\theta$ که این رابطه را می‌توان به صورت $\cos\theta = \frac{(\mathcal{E}_i^+)^2 + (\mathcal{E}_i^0)^2 - (\mathcal{E}_i^-)^2}{2\mathcal{E}_i^+\mathcal{E}_i^0}$ نیز نوشت. در نهایت برای به‌دست آوردن فاصله بولزای جامع (\mathcal{E}_i) از رابطه ۱۵ استفاده می‌شود.

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_i^+ \cos\theta = \frac{(\mathcal{E}_i^+)^2 + (\mathcal{E}_i^0)^2 - (\mathcal{E}_i^-)^2}{2\mathcal{E}_i^0} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

در فاصله بولزای جامع هر چه \mathcal{E}_i کمتر باشد، فاصله گزینه انتخاب شده از مقدار ایده‌آل بهتر است و گزینه با \mathcal{E}_i کمتر انتخاب می‌شود. در شکل ۲ فلوجارت روش پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل ۲. روش پیشنهادی

مثال عددی

در این بخش، از داده‌های مقاله 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 مطالعه تحقیقات قبلی انجام شده در ارتباط با موضوع این تحقیق، معیارهای لازم برای خرید تجهیزات بیمارستانی استخراج شده است؛ سپس به منظور 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 مرحله سوم، تمام معیارهای شناسایی شده طی مراحل قبل، به صورت 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 نظریه سیستم‌های خاکستری مشخص شد. در مرحله چهارم، گزینه‌ها و برندهای تجاری مختلف تجهیزات بیهوشی، طی پرسشنامه‌ای در اختیار پاسخ‌دهندگان قرار داده شد تا نظرشان را درباره 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 تأمین‌کننده تجهیزات بیمارستانی به شرح جدول ۲ انتخاب شده است (برای اطلاع از نحوه 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 به عنوان مقدار میانه اعداد خاکستری استفاده شده است. در گام بعدی با استفاده از روش بولزای مثبت، وزن معیارها با لحاظ کردن ضریب اهمیت $(\alpha = 0/5)$ برای وزن‌های بیرونی محاسبه می‌شود. با استناد به مقاله 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، به صورت اعداد خاکستری مطابق جدول ۳ محاسبه شده است.

توسعه روش بولزای - بولزای برای تصمیم‌گیری چندمعیاره با... ۶۱۵

گفتنی است، در این پژوهش ماتریس تصمیم به‌منظور استفاده از روش بولزای - بولزای سه پارامتره، به اعداد خاکستری سه پارامتره تبدیل شده است.

جدول ۲. معیارهای انتخاب شده برای خرید تجهیزات 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 (کالیبره کردن) 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 ارائه محصول مناسب	۰/۶۰	۰/۷۵
۱۴	آموزش روش‌های استفاده از محصول توسط شرکت تولیدکننده به خریدار	۰/۵۳	۰/۷۰
۱۵	جهانی بودن برند (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 رتبه‌بندی انتخاب و خرید تجهیزات 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

E	D	C	B	A	بوند	معیارها	
						C1	C16
۴/۴۲-۴/۹۲-۵/۱۵۰	۴/۴۲-۴/۹۲-۵/۱۵۰	۴/۱۷۵-۵/۵-۶/۲۵	۷/۱۰-۷/۸۴-۸/۶۷	۴/۴۲-۵-۵/۵۸	C1		
۴/۱۰-۴/۸۳-۵/۱۰۸	۴/۵۸-۵-۵/۹۲	۴/۱۰۸-۵/۹۶-۵/۱۰۸	۶/۸۴-۶/۶۷-۸/۸۴	۴/۵۰-۵/۹-۵/۶۷	C2		
۴/۲۵-۴/۷۵-۵/۲۵	۴/۴۲-۵-۵/۵۷	۴/۹۲-۵/۵۹-۶/۲۵	۶/۶۷-۷/۸۴-۹	۴/۹۰-۵/۹-۶/۸	C3		
۴/۱۰-۴/۸۳-۵/۱۰۸	۴/۴۲-۵/۹-۵/۷۵	۴/۱۷-۴/۶۷-۵/۱۷	۶/۴۲-۷/۶۷-۸/۹۲	۴/۹۲-۵/۴۲-۵/۹۲	C4		
۴/۲۵-۴/۷۵-۵/۲۵	۴/۵۸-۵/۱۷-۵/۷۵	۵/۴۲-۶/۱۷-۶/۹۲	۷/۳۴-۸/۱۷-۹/۱۰	۴/۷۵-۵/۳۴-۵/۹۲	C5		
۴/۲۵-۴/۷۵-۵/۴۲	۴/۵۸-۵/۱۷-۵/۷۵	۵/۴۲-۶/۱۷-۶/۹۲	۶/۷۵-۷/۶۷-۸/۵۸	۵/۱۰-۴/۶۷-۴/۲۵	C6		
۴/۱۷-۴/۶۷-۵/۱۷	۵/۱۰-۵/۸۴-۶/۶۷	۵/۱۸-۵/۹۶-۶/۷۳	۷/۲۵-۸/۹-۸/۹۲	۴/۵۰-۵/۱-۵/۷۰	C7		
۳/۹۲-۴/۵۵-۵/۱۷	۴/۵۰-۵/۲۵-۶/۱۰	۳/۶۷-۴/۴۲-۵/۱۷	۶/۹۱-۷/۵۹-۸/۲۷	۴/۵۰-۵/۱۷-۵/۸۴	C8		
۳/۹۲-۴/۴۶-۵/۱۰	۴/۷۵-۵/۴۲-۶/۱۰۸	۴/۷۵-۵/۵-۶/۲۵	۷/۴۲-۸/۹-۸/۵۸	۴/۳۴-۵/۳۴-۵/۷۵	C9		
۴/۲۵-۴/۷۵-۵/۲۵	۴/۳۴-۵/۱۰-۵/۶۷	۵/۳۴-۵/۸۴-۶/۳۴	۷/۹۲-۸/۶۷-۹/۴۲	۵/۱۰-۵/۶۷-۶/۲۵	C10		
۴/۵۰-۵/۱۷-۵/۸۴	۴/۸۲-۵/۶-۶/۳۷	۵/۵۰-۶/۴۲-۷/۳۴	۶/۹۲-۷/۶۷-۸/۴۲	۴/۵۸-۵/۳۴-۶/۱۰۸	C11		
۴/۳۴-۴/۹۲-۵/۵	۴/۵-۵/۱۷-۵/۸۴	۵/۵۸-۶/۲۵-۶/۹۲	۵/۹۲-۶/۸۴-۷/۷۵	۴/۵۰-۵/۱۷-۵/۸۴	C12		
۴/۲۸-۴/۷۸-۵/۲۸	۴/۶۴-۵/۳۳-۶/۱۰	۴/۷۵-۵/۴۲-۶/۱۰۸	۶/۲۵-۷/۱۰-۷/۹۲	۴/۱۰-۴/۵۹-۵/۱۷	C13		
۳/۶۷-۴/۴۶-۵/۲۵	۴/۸۲-۵/۵۱-۶/۱۹	۴/۳۴-۴/۹۲-۵/۵	۶/۱۷-۷/۱۷-۸/۱۷	۴/۱۰-۴/۷۵-۵/۴۲	C14		
۳/۶۷-۴/۳۴-۵/۱۰	۴/۶۷-۵/۲۶-۵/۸۴	۴/۱۰-۴/۵-۵/۱۰	۵/۳۴-۶/۵۱-۷/۶۷	۵/۱۷-۵/۸۴-۶/۵۰	C15		
۳/۶۷-۴/۴۲-۵/۱۷	۴/۷۵-۵/۳۴-۵/۹۲	۴/۴۲-۴/۹۲-۵/۴۲	۶/۱۰-۷/۱۷-۸/۳۴	۵/۱۷-۵/۸۴-۶/۵۰	C16		

توسعه روش بولزای - بولزای برای تصمیم‌گیری چندمعیاره با... ۶۱۷

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

جدول ۴. وزن بیرونی نرمال شده معیارهای انتخاب شده

C _۸	C _۷	C _۶	C _۵	C _۴	C _۳	C _۲	C _۱
۰/۰۵۳	۰/۰۷۱	۰/۰۶۹	۰/۰۶۸	۰/۰۵۶	۰/۰۶	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳
C _{۱۶}	C _{۱۵}	C _{۱۴}	C _{۱۳}	C _{۱۲}	C _{۱۱}	C _{۱۰}	C _۹
۰/۰۶۵	۰/۰۶۸	۰/۰۵۵	۰/۰۶	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹

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 مسئله اصلی فرض شده که تمام تجهیزات، برای بیمارستان سودآور است؛ به همین دلیل برای بی‌مقیاس‌سازی ماتریس از رابطه‌های ۵ که برای مقادیر سودآور به کار می‌روند، استفاده شده است.

جدول ۵. وزن نهایی معیارها با استفاده از روش بولزای مثبت

C _۸	C _۷	C _۶	C _۵	C _۴	C _۳	C _۲	C _۱
۰/۰۶۱	۰/۰۶۳	۰/۰۵۴	۰/۰۵۸	۰/۰۴۹	۰/۰۵۶	۰/۰۶۸	۰/۰۴۵
C _{۱۶}	C _{۱۵}	C _{۱۴}	C _{۱۳}	C _{۱۲}	C _{۱۱}	C _{۱۰}	C _۹
۰/۰۷۷	۰/۰۷۳	۰/۰۷	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷	۰/۰۴۹	۰/۰۶۲

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

توسعه روش بولزای - بولزای برای تصمیم‌گیری چندمعیاره با... ۶۱۹

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

جدول ۷. رتبه‌بندی بولزای مثبت گزینه‌ها

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

جدول ۸. رتبه‌بندی بولزای نسبی گزینه‌ها

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

جدول ۹. رتبه‌بندی بولزای جامع گزینه‌ها

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

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، نتایج محاسبات به روش بولزای مثبت نشان می‌دهد برند B کمترین مقدار بولزای مثبت را به دست 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 گزینه انتخابی دارد و با منطق این روش، گزینه‌های A, E, D, C به ترتیب 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، گزینه مدنظر رتبه 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 A, E, D, C, B به ترتیب اولویت در این روش رتبه‌بندی شدند (جدول ۸).

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

جدول ۱۰. رتبه‌بندی امکان خاکستری گزینه‌ها

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

مقایسه نتایج این روش با روش استفاده شده در مقاله ریحانی و همکاران (۱۳۹۳) که به صورت خلاصه در جدول ۱۰ آمده است، نشان می‌دهد در روش پیشنهادی، رتبه گزینه‌های B, C, D و E به صورت تقریبی با روش ارائه شده در تحقیق آنها برابر است. در خصوص سایر اختلاف‌ها، باید گفت که ریشه 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 حوزه تصمیم‌گیری چند معیاره نشان

می‌دهد. همان‌گونه که در بخش‌های قبلی نیز ذکر شد، بر اساس بررسی‌های انجام شده، در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله مسئله 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 تأمین‌کننده 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 حوزه انتخاب تأمین‌کننده که خود از جمله مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره به شمار می‌رود، به ارائه 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 تأمین‌کننده مناسب برای شرکت‌ها و مؤسسه‌ها کمک شایان توجهی کند.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد به‌کارگیری روش بولزای - بولزای برای وزن‌دهی معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها، به دلیل یکپارچگی و ارائه 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 ارائه 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 - بولزای، این مقاله استفاده از روش بولزای - 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. & Batiha, 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 Zenoos, 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.