فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هفدهم/ شماره ۵۹ / بهار ۱۴۰۱

ارزیابی کارایی تأمین‌کننده‌ها با تحلیل پوششی داده‌های خاکستری به همراه اعمال ترجیحات تصمیم‌گیرنده

شهاب رفیع زاده
کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران
داریوش محمدی زنجیرانی (نویسنده مسؤول)
دانشیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
Email: d.mohamadi@ase.ui.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

چکیده

اغلب شرکت‌های تجاری به منظور افزایش توان رقابت پذیری در فضای رقابتی، در عین حال که سطح برون‌سپاری فعالیت-های خود را افزایش می دهند؛ به وابستگی بیشتر خود به تأمین‌کنندگان نیز تن می دهند. به همین خاطر شرکت ها همواره برای ارائه محصولی با کیفیت بالا و در قیمتی نسبتاً پایین ناچارند نسبت به کنترل کارایی تأمین‌کنندگان خود، توجه داشته باشند. با این حال، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان کارا، یک مزیت رقابتی را نیز برای شرکت‌ها ایجاد می‌نماید. در چارچوب نظری، از روش‌های و فنون بسیاری جهت ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده نام برده شده است. تحلیل پوششی داده‌ها به دلیل پایه برنامه‌ریزی ریاضی و نیز جبر خطی آن، یکی از روش‌های توانمند و مقبول در این حوزه است که با چندین ورودی و خروجی به سنجش کارایی واحدهای همگن می‌پردازد. از طرفی در کاربردهای واقعی و در فضای تصمیم نادقیق یا خاکستری با توجه به عدم قطعیت موجود در داده‌ها، این مسئله به یک تصمیم‌گیری پیچیده تبدیل شده است. در مطالعه حاضر، یک مدل ریاضی توسعه یافته برای تحلیل پوششی داده‌های خاکستری و نیز روش رتبه‌بندی جدیدی برای زمانی که کارایی حاصل از مدل مورد اشاره به صورت بازه‌ای حاصل می شود، پیشنهاد و به اجرا گذاشته شده است. الگوهای مورد اشاره به منظور ارزیابی سطح کارایی تأمین‌کنندگان شیشه اتومبیل طرف قرارداد با شرکت ایران‌خودرو آزمون شده و علاوه بر مقبول بودن نتایج، پایداری بیشتری نیز در نتایج ارزیابی و واحدهای مرجع، مشاهده شده است.

کلمات کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، داده‌های خاکستری، زنجیره تأمین، کارایی نسبی، کارایی بازه‌ای.

۱-مقدمه

تقاضای فزاینده و متنوع مشتریان، پیشرفت‌های مربوط به تکنولوژی‌های ارتباطی و سیستم‌های اطلاعات، تشدید رقابت در عرصه بین‌الملل و افزایش آگاهی‌های محیطی، عواملی هستند که شرکت‌ها را ناچار ساخته تا روی مدیریت زنجیره تامین، سرمایه گذاری و تمرکز کنند (Narasimhan, Talluri & Mendez, 2001). مسئله ارزیابی کارایی زنجیره تامین، گستره وسیعی از ارزیابی کارایی سازمان‌های مستقل را در امتداد زنجیره تامین، تحت پوشش قرار می‌دهد و یکی از مهمترین مسائل تصمیم‌گیری استراتژیک است که مستلزم توجه به عملیاتی موثر و بلندمدت در کل زنجیره تامین می‌باشد (Liao & Rittscher, 2007). به طور معمول، واحدهای وظیفه ای بازاریابی، توزیع، طرح‌ریزی، تولید و خرید در یک زنجیره تامین مستقل از یکدیگر هستند. بنابراین ارزیابی کارایی زنجیره تامین به معنای ارزیابی کارایی بخش‌های بازاریابی، توزیع، طرح ریزی، تولید و خرید می‌باشد. با افزایش اهمیت مسئله خرید، بر اهمیت تصمیمات مرتبط با آن نیز افزوده می‌شود (Rashidi & Cullinane, 2019).

در اغلب صنایع، هزینه مواد خام و قطعات مورد استفاده، بخش عمده‌ای از هزینه‌های محصول را تشکیل داده و از آنجایی که امروزه سازمان‌ها وابستگی بیشتری به تامین‌کنندگان دارند، لذا تصمیمات مرتبط با استراتژی‌ها و عملیات خرید، نقش تعیین-کننده‌ای در سودآوری شرکت ایفا می‌کند و مسئله انتخاب تامین‌کننده کارا، یکی از مهمترین مسائل موجود در حوزه مدیریت خرید می‌باشد؛ از همین رو، در پاسخ به افزایش رقابت، کوتاه شدن چرخه عمر محصولات و تغییر سریع سلایق مشتریان، بیشتر شرکت‌ها توسعه قابلیت‌های بلندمدت تأمین‌کنندگان را مورد توجه قرار داده و در چنین شرایطی بخش خرید می‌تواند نقشی کلیدی در تثبیت کارایی و اثربخشی سازمان ایفا کرده و تاثیر مستقیمی روی کاهش هزینه‌ها، افزایش سودآوری و انعطاف‌پذیری یک شرکت داشته باشد؛ لذا انتخاب تامین‌کننده در یک زنجیره تامین، تصمیمی استراتژیک است که توجه بسیاری را در عرصه تحقیق و عمل، به خود جلب کرده است (Memon, Lee & IrshadMari, 2015).

با توسعه روش‌های علمی تامین در طول دهه گذشته، فرایند انتخاب و ارزیابی تأمین‌کنندگان نیز با تحولاتی همراه بوده است. توسعه سیستم‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان، انتخاب بر اساس معیارهای علمی، کاهش تعداد تأمین‌کننده و توسعه روابط با تأمین‌کنندگان، نمونه‌ای از این تحولات است. از طرفی در اغلب کاربردهای مورد شاره نیز در داده‌های موجود، قطعیت وجود نداشته و در پژوهش‌های پیشین نیز به این مسئله در قالب تئوری اعداد خاکستری، کمتر توجه شده است، لذا در این پژوهش به سنجش کارایی تأمین‌کنندگان هدف، تحت شرایط عدم قطعیت و بخصوص با امکان اعمال ترجیحات تصمیم‌گیرندگان در مدل ریاضی پیشنهادی و نیز با استفاده از داده‌های خاکستری پرداخته شده است. در انتها نیز مقایسه بین عملکرد مدل پیشنهادی با سایر روش‌های موجود انجام گرفته است. ساختار مقاله بدین ترتیب است که پس از مرور مبانی نظری، پیشینه مطالعات مرتبط ارایه شده، سپس روش تحقیق و مدل پیشنهادی در آن، تشریح می گردد.

در بخش چهارم، بررسی موردی پژوهش و چگونگی تحلیل داده های جمع آوری شده از نظر خواهد گذشت و بالاخره نتیجه-گیری و پیشنهادهای پژوهشی، ارائه شده است. مدل پیشنهادی جهت سنجش کارایی تأمین‌کنندگان با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و توأم با اعمال ترجیحات تصمیم‌گیرندگان و نیز با داده‌های خاکستری، مدلی جدید بوده و علاوه بر آن در این مقاله، از روش جدیدی برای رتبه بندی واحدهای تصمیم گیرنده در شرایط کارایی بازه‌ای استفاده شده و مزیت این روش نسبت به روش-های پیشین، مقایسه و تشریح شده است.

دا و لیا (۲۰۱۲) در یک محیط خاکستری و با بهره‌گیری از ایده تصمیم گیری خاکستری، یک مدل سه گانه زا برای تصمیم گیری چند معیاره خاکستری ارایه دادند که بر کاربرد تکنیک های تجزیه و تحلیل وقایع خاکستری و TOPSIS مبتنی بود. این نویسندگان در مرحله اول، از تجزیه و تحلیل وقایع خاکستری و TOPSIS برای پایه ریزی کاربرد احتمالات شرطی در تکنیک تصمیم سه گانه استفاده کردند، بدین ترتیب الگوی پیشنهادی آنان نه تنها تفاوت فاصله را در بین گزینه‌ها در نظر می‌گرفت، بلکه تفاوت در شکل منحنی توالی ارزیابی را نیز لحاظ می‌کرد. در مرحله بعد با تمرکز بر یک سیستم اطلاعاتی چند معیاره و ماتریس تابع زیان چندمعیاره، روش جدیدی را برای محاسبه وزن معیارها ایجاد کردند و سه عملگر وزنی تجمعی را برای تابع زیان با اعداد

بازه‌ای خاکستری طراحی کردند. همچنین در این مطالعه از دو مثال عددی و ترسیمی در مورد نحوه انتخاب تامین‌کننده تجهیزات پیچیده صنعت رسانه برای اعتبارسنجی کاربرد و تفسیرپذیری مدل پیشنهادی استفاده شد.

ژلجکو و همکاران (۲۰۱۹) نیز در مقاله‌ای با عنوان « انتخاب پایدار تأمین کننده در صنایع بهداشت و درمان با استفاده از روش جدید تصمیم‌گیری چند معیاره: سنجش گزینه‌های جایگزین و رتبه‌بندی با توجه به جواب» یک اندازه‌گیری جدید و رتبه‌بندی با توجه به روش (MARCOS) برای انتخاب تأمین کننده پایدار در صنعت مراقبت‌های بهداشتی (در یک پلی کلینیک) در بوسنی و هرزگوین ارائه نموده‌اند. مزایای روش توسعه یافته عبارتند از: در نظر گرفتن راه‌حل‌های ایده‌آل و ضد ایده‌آل در همان ابتدای شکل‌گیری ماتریس اولیه، تعیین دقیق‌تر درجه ابزار در رابطه با هر دو جواب، پیشنهاد یک روش جدید برای تعیین ابزار توابع و تجمیع آن‌ها، امکان در نظر گرفتن مجموعه بزرگی از معیارها و گزینه‌های مختلف ضمن حفظ ثبات روش. همچنین مطالعه موردی آن‌ها از انتخاب تأمین‌کننده پایدار برای صنعت مراقبت‌های بهداشتی (یک پلی کلینیک) شامل رتبه‌بندی هشت گزینه جایگزین با توجه به ۲۱ معیار برای همه جنبه‌های پایداری بود.

رشیدی و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای با عنوان "مقایسه DEA فازی و TOPSIS فازی در انتخاب منبع پایدار: پیامدهای استراتژی منابع" به تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای از نتایج بدست آمده از دو روش DEA فازی و TOPSIS فازی در مجموعه داده مشترک برای ارائه دهندگان خدمات تدارکات در سوئد پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که TOPSIS از لحاظ پیچیدگی محاسبه و حساسیت نسبت به تغییرات در تعداد عرضه‌کنندگان از DEA بهتر عمل می‌کند. لوترا و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با عنوان "یک چارچوب یکپارچه برای انتخاب و ارزیابی پایدار تأمین کننده در زنجیره‌های تأمین" بیان می‌کنند که با توجه به افزایش دانش مشتری و فشارهای زیست محیطی از بازارها و ذینفعان مختلف، سازمان‌های تجاری از طریق انتخاب تأمین‌کننده بر اهمیت سبز و پایداری در زنجیره تأمین خود تأکید کرده‌اند. بنابراین، یک سیستم ارزیابی منظم و پایدار متمرکز برای انتخاب تأمین‌کننده از منظر زنجیره تأمین سازمانی مورد نیاز است. در این مطالعه یک چارچوب برای ارزیابی انتخاب پایدار با استفاده از یک فرآیند یکپارچه سلسله مراتبی تحلیلی AHP و VIKOR و نیز یک بهینه‌سازی چند معیاره پیشنهاد می‌شود.

در ابتدا، ۲۲ معیار انتخاب تامین‌کننده پایدار و سه بعد از معیارها (اقتصادی ، زیست محیطی و اجتماعی) از طریق ادبیات و نظرات کارشناسان مشخص شده‌اند. برای نشان دادن کاربرد چارچوب پیشنهادی، نمونه واقعی از یک شرکت خودروسازی در هند مورد بحث قرار گرفته است. براساس یافته ها، «هزینه های زیست محیطی»، «کیفیت محصول»، «قیمت محصول»، «سیستم های ایمنی و بهداشت حرفه ای» و «شایستگی های زیست محیطی» به عنوان پنج معیار انتخاب پایدار تامین‌کننده، انتخاب شده‌اند.

حسینی و همکاران (۱۳۹۸) به توسعه مدلی مبتنی بر معیارهای عملکردی مدل اسکور برای ارزیابی تامین‌کنندگان تجهیزات آزمایشگاهی در ابعاد عملکرد تحویل، هزینه و کیفیت پرداختند. در این مطالعه به منظور شبیه‌سازی سازوکارهای فازی تفکر انسانی، یک مدل تصمیم‌گیری گروهی با اعداد فازی شهودی ارائه شده و نظرات خبرگان این حوزه با استفاده از مدل پرامیتی ۲ و با تکیه بر عملگر هندسی انتگرال چوکت انیشتین فازی به صورت اعداد فازی شهودی مثلثی، تجمیع و تحلیل شده است.

ارزیابی نتایج رویکرد پیشنهادی، مطابق نظرات خبرگان و مقایسه آن با مدل پرامیتی ۲ ساده، صحت و دقت بالای روش پیشنهادی را تایید کرده است. معزز و همکاران (۱۳۹۸) نیز چارچوبی را برای ارزیابی تأمین‌کنندگان تاب‌آور ارائه کردند که در آن از دو تکنیک فرآیند تحلیل شبکه‌ای جهت تعیین وزن معیارها و سیستم نسبی فازی جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شد؛ معیارها و عوامل تاثیرگذار در انتخاب تامین‌کننده تاب‌آور نیز شامل فاکتورهای اصلی عملکرد، حداقل‌سازی ریسک، پاسخ گویی، پشتوانه فنی و قدرت بود. فلاح و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی کارایی تامین‌کننده در زنجیره تامین شرکت چوب پلاست توسکا با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، پرداختند. در این مطالعه، شاخص‌های پایداری با استفاده از نظر خبرگان صورت گرفت و ورودی مدل را داده‌های کیفی جمع‌آوری شده، تشکیل می داد. امیری و همکاران (۱۳۹۶) نیز تلاش کردند با ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و بهبود در فرآیند اجرای آن‌ها، الگوریتمی علمی و جدید برای ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان ارائه دهند. برای این منظور هشت شاخص مهم و تاثیرگذار در انتخاب تامین کنندگان استخراج گردید که عبارت‌اند از : قیمت، کیفیت، تحویل

به موقع، ظرفیت تولید، موقعیت جغرافیـایی، شـرایط پرداخت، قابلیت تکنولوژی دستگاه‌ها و خدمات پس از فروش. در نهایت از تکنیک پرامیتی اصلاح شده برای ارزیابی تامین‌کنندگان مورد بررسی استفاده گردید.

توجه بالای پژوهشگران در پژوهش‌های گذشته به مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان، که خلاصه ای از موارد برجسته آن در جدول ۱ قابل مشاهده است، بر اهمیت این مسئله دلالت دارد. از آنجایی که در اغلب پژوهش‌های انجام شده در زمینه ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان، توجه کمتری به شرایط عدم قطعیت معطوف شده و تاکنون مطالعات اندکی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان با استفاده از تئوری اعداد خاکستری صورت گرفته است، بنابراین به نظر می‌رسد که بکارگیری تحلیل پوششی داده‌ها و تئوری اعداد خاکستری برای ارزیابی تأمین‌کنندگان کارا در شرایط عدم قطعیت و همچنین اعمال ترجیحات تصمیم‌گیرندگان در مدل ضروری باشد.

جدول شماره (۱): خلاصه پیشینه پژوهش

نویسنده و سال	دستاورد پژوهش	ابزار	محل اجرا
Du, Liu & Liu, (2021)	پایه ریزی کاربرد احتمالات شرطی در تکنیک تصمیم سه گانه	TOPSIS فازی و تحلیل وقوع خاکستری	تامین قطعات پیچیده رسانه
Luthra et al. (2017)	ایجاد چارچوب یکپارچه ارزیابی تأمین‌کنندگان	AHP و VIKOR	یک شرکت خودروسازی در هند
Yazdani et al. (2017)	چارچوب یکپارچه برای انتخاب تامین-کننده سبز	QFD-MCDM	صنایع شیمیایی
Rashidi & Cullinane (2019)	انتخاب منبع پایدار	DEA فازی و TOPSIS فازی	---
Stević, Pamučar, Puška & Chatterjee (2020)	انتخاب پایدار تأمین کننده	MARCOS	صنایع بهداشت و درمان در در بوسنی و هرزگوین
Ghasemi, Farokhpour & Rezayazdi (2015)	ارزیابی تامین کنندگان بر اساس شاخص های دخیل در بهره وری	تصمیم گیری چندمعیاره پرامتی فازی	شرکت های تامین کننده گروه خودروسازی توس
Amiri & Hadinejad (2017)	ارزیابی و اولویت‌بندی تامین کنندگان	رویکرد ترکیبی آنتروپی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و پرامیتی اصلاح شده	شرکت یوتاب
Fallah & Kazemi (2017)	ارزیابی کارایی تامین کنندگان در زنجیره تامین پایدار	رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها	شرکت چوب پلاست توسکا
Esmaeilian, Hemmatgir & Ghaenian, (2018)	طراحی و اجرای فرآیند ارزیابی تأمین-کنندگان در سامانه مدیریت روابط تأمین-کنندگان	روش دلفی	شرکت فولاد مبارکه
Moaazez, Fathi & Ramezani (2019)	ارزیابی تأمین‌کنندگان تاب‌آور	سیستم نسبی فازی و فرآیند تحلیل شبکه ای	---
Kolagar Daronkola, & Hosseini (2019)	توسعه مدلی برای ارزیابی تامین کنندگان	رویکرد تلفیقی انتگرال چوکت انیشتین و پرامیتی ۲	تامین کنندگان تجهیزات آزمایشگاهی

۲-روش شناسی

الف) ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده

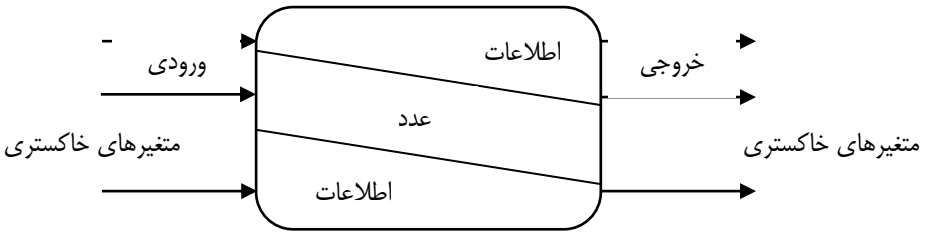
یکی از وظایف اساسی واحدهای خرید هر شرکت، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب و توانا جهت تهیه و فراهم نمودن احتیاجات سازمان است و فرایندی است که طی آن از میان تأمین‌کنندگان بالقوه موجود، بهترین مجموعه جهت رفع نیازهای شرکت انتخاب می‌گردد. ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان کارا همچنین یکی از مسائل مهم در مدیریت زنجیره تامین است و بیشتر از آنکه به شاخص هزینه وابسته باشد به دامنه گسترده‌ای از شاخص‌های کمی و کیفی بستگی دارد. در انتخاب تأمین‌کنندگان مواردی همچون سابقه، تسهیلات و خدمات، توان تکنولوژیکی، توانایی مالی و سازمانی، می‌تواند مدنظر باشد. (Chou & Chang, 2008) روش‌های مختلفی برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان وجود دارد که تعدادی از آن‌ها عبارتند از: طبقه بندی بر اساس میانگین مجموع امتیازها، تجزیه به مولفه‌های اصلی[1]، طبقه‌بندی بر اساس روش آنالیز تاکسونومی عددی[2]، طبقه‌بندی با استفاده از تحلیل عاملی، نسبت‌های مالی، روش‌های تصمیم‌گیری تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس، روش مرزی تصادفی[3]، کارت امتیازی متوازن، تئوری مجموعه فازی، هوش مصنوعی و تحلیل پوششی داده‌ها.

ب) تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

تحلیل پوششی داده‌ها، شامل تکنیک‌ها و روش‌هایی برای سنجش عملکرد یا ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده است. DEA در واقع تعمیم کار فارل در ابداع اولین روش غیر پارامتری است. فارل با استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیرنده و اصول حاکم بر آن‌ها، مجموعه‌ای با عنوان مجموعه امکان تولید، ارائه و قسمتی از مرز آن را به عنوان تابع تولید معرفی نمود، این مرز را مرز کارا می‌نامند و واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای که روی این مرز قرار می‌گیرند، کارا ارزیابی می‌شوند. از آنجائیکه DEA ، تکنیک ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده است، حداقل یکی از واحدها روی مرز و بقیه واحدها در زیر آن قرار دارند. نام تحلیل پوششی داده‌ها از ویژگی پوششی بودن مرز مجموعه امکان تولید منشأ گرفته است (Jiuping, & Desheng, 2009).

ج) تئوری اعداد خاکستری

تئوری اعداد خاکستری یک مدل ریاضی اثربخش برای حل مسائل نامشخص و مبهم است. این تئوری در زمینه‌های بسیاری بکار رفته و در زمینه حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره تحت عنوان تحلیل رابطه‌ای خاکستری بکار می‌رود. یک سیستم خاکستری به عنوان یک سیستمی حاوی اطلاعات نامشخصی تعریف شده و این اطلاعات توسط اعداد خاکستری و متغیرهای خاکستری بیان می‌گردد. مفهوم یک سیستم خاکستری در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل شماره (۱): مفهوم سیستم خاکستری

تعریف: فرض کنید X مجموعه مرجع باشد، آنگاه مجموعه خاکستری G از مجموعه مرجع به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{cases}\overline{\mu}_G(x): x \to [0,1] \\ \underline{\mu}_G(x): x \to [0,1]\end{cases}$$ رابطه (۱)

1. Principal Component Analysis(PCA)
2. Numerical Taxonomy Analysis
3. Stochastic Frontier Analysis (SFA)

$X = \mathbb{R}$ و $\overline{\mu}_G(x)$ و $\underline{\mu}_G(x)$ به ترتیب توابع عضویت بالا و پایین G هستند. اگر $x \in X$، $\overline{\mu}_G(x) \geq \underline{\mu}_G(x)$ آنگاه مجموعه خاکستری G، مجموعه فازی خواهد بود. این نکته نشان می‌دهد که تئوری خاکستری شرایط فازی را نیز در نظر می‌گیرد (Lia, Yamaguchi & Nagai, 2008).

تعریف: عدد خاکستری می‌تواند به عنوان عددی با اطلاعات ناقص در نظر گرفته شود. برای مثال در رتبه‌بندی شاخص‌ها از متغیرهای زبانی استفاده می‌شود که این متغیرها را می‌توان با اعداد بازه‌ای نشان داد. این عدد بازه‌ای شامل اطلاعات نامشخص و ناقص نیز خواهد بود (Wu & Olson, 2010).

به طور کلی یک عدد خاکستری به صورت $\otimes G$ نشان داده می‌شود و $\otimes G = G \Big|_{\underline{\mu}}^{\overline{\mu}}$.

تعریف: عدد خاکستری با حد پایین و بدون حد بالا به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\otimes G = [\underline{G}, \infty) \quad \text{رابطه (۲)}$$

تعریف: عدد خاکستری با حد بالا و بدون حد پایین به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\otimes G = (-\infty, \overline{G}] \quad \text{رابطه (۳)}$$

تعریف: عدد خاکستری که دارای حد پایین و بالا باشد را عدد خاکستری بازه‌ای نامیده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\otimes G = [\underline{G}, \overline{G}] \quad \text{رابطه (۴)}$$

عدد خاکستری $\otimes G = [\underline{G}, \overline{G}]$ را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$[\underline{G}, \overline{G}] = \underline{G} + (\overline{G} - \underline{G}) * \alpha \ , \ 0 \leq \alpha \leq 1 \quad \text{رابطه (۵)}$$

تعریف: فرض کنید که $\otimes G_1 = [\underline{G_1}, \overline{G_1}]$ و $\otimes G_2 = [\underline{G_2}, \overline{G_2}]$ دو عدد خاکستری باشند، در این صورت چهار عمل اصلی برای اعداد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\otimes G_1 + \otimes G_2 = [\underline{G_1} + \underline{G_2}, \overline{G_1} + \overline{G_2}] \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\otimes G_1 - \otimes G_2 = [\underline{G_1} - \underline{G_2}, \overline{G_1} - \overline{G_2}]$$

$$\otimes G_1 \times \otimes G_2 = [min(\underline{G_1}\underline{G_2}, \underline{G_1}\overline{G_2}, \overline{G_1}\underline{G_2}, \overline{G_1}\overline{G_2}), max(\underline{G_1}\underline{G_2}, \underline{G_1}\overline{G_2}, \overline{G_1}\underline{G_2}, \overline{G_1}\overline{G_2})]$$

$$\otimes G_1 \div \otimes G_2 = [\underline{G_1}, \overline{G_1}] \times [\frac{1}{\overline{G_2}}, \frac{1}{\underline{G_2}}]$$

تعریف: طول عدد خاکستری $\otimes G$ به صورت است:

$$L(\otimes G) = [\overline{G} - \underline{G}] \quad \text{رابطه (۷)}$$

تعریف: فرض کنید که $\otimes G_1 = [\underline{G_1}, \overline{G_1}]$ و $\otimes G_2 = [\underline{G_2}, \overline{G_2}]$ دو عدد خاکستری باشند، در این صورت:

$$P\{\otimes G_1 \leq \otimes G_2\} = \frac{max(0, L^* - max(0, \overline{G_1} - \overline{G_2}))}{L^*} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن

$$L^* = L(\otimes G_1) + L(\otimes G_2).$$

برای رابطه بالا چهار حالت وجود دارد:

۱) اگر $\underline{G_2} = \underline{G_1}$ و $\overline{G_1} = \overline{G_2}$ در این صورت $\otimes G_1 = \otimes G_2$ و $P\{\otimes G_1 \leq \otimes G_2\} = 0/5$ خواهد بود.

۲) اگر $\underline{G_2} > \overline{G_1}$ در این صورت $\otimes G_2 > \otimes G_1$ و $P\{\otimes G_1 \leq \otimes G_2\} = 1$ خواهد بود.

۳) اگر $\overline{G_2} < \underline{G_1}$ در این صورت $\otimes G_2 < \otimes G_1$ و $P\{\otimes G_1 \leq \otimes G_2\} = 0$ خواهد بود.

۴) اگر دو عدد دارای اشتراک باشند، هنگامی که $P\{\otimes G_1 \leq \otimes G_2\} > 0/5$ در این صورت $\otimes G_2 > \otimes G_1$ بوده و هنگامی که $P\{\otimes G_1 \leq \otimes G_2\} < 0/5$ در این صورت $\otimes G_2 < \otimes G_1$ خواهد بود.

د) مدل برنامه‌ریزی خطی با پارامترهای خاکستری:

تعریف: اگر

$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ و $C = [c_1(\otimes), c_2(\otimes), \dots, c_n(\otimes)]^T$ و همچنین، با $b = [b_1(\otimes), b_2(\otimes), \dots, b_m(\otimes)]^T$ فرض $i = 1,2, \dots, m\ ; j = 1,2, \dots, n$، که در آن $b_1(\otimes) = \begin{bmatrix} a_{11}(\otimes) & a_{12}(\otimes) & \cdots & a_{1n}(\otimes) \\ a_{21}(\otimes) & a_{22}(\otimes) & \cdots & a_{2n}(\otimes) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1}(\otimes) & a_{m2}(\otimes) & \cdots & a_{mn}(\otimes) \end{bmatrix}$، $a_{ij} \in [\underline{a}_{ij}, \overline{a}_{ij}]\ , \underline{a}_{ij} \geq 0$ و $c_i \in [\underline{c}_i, \overline{c}_i]\ , \underline{c}_i \geq 0$ و $b_i \in [\underline{b}_i, \overline{b}_i]\ , \underline{b}_i \geq 0$،
آنگاه مسئله ۹ ، یک برنامه‌ریزی خطی با پارامترهای خاکستری نامیده شده که در آن X بردار بازه‌ای می‌باشد (Lin, Chang & Chen, 2006).

$$\begin{aligned} max \quad & S = C(\otimes)X \\ s.t. \quad & A(\otimes)X = b(\otimes) \\ & X \geq 0 \end{aligned}$$ رابطه (۹)

د) تحلیل پوششی داده‌های خاکستری
فرض شود که n واحد تصمیم‌گیرنده (DMU) وجود داشته باشد که هر کدام دارای m ورودی و s خروجی باشند. در این صورت کارایی نسبی $\mathbf{DMU_0}$ از طریق حل مدل زیر بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} & max\ \theta_0 = \sum_{r=1}^{s} u_r [\underline{y_{r0}}, \overline{y_{r0}}] \\ s.t. \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i [\underline{x_{ij}}, \overline{x_{ij}}] - \sum_{r=1}^{s} u_r \left[\underline{y_{rj}}, \overline{y_{rj}}\right] \geq 0\ , j = 1,2, \dots, n\ , j \neq 0 \\ & \sum_{i=1}^{m} v_i [\underline{x_{i0}}, \overline{x_{i0}}] = 1 \\ & v_i, u_r \geq 0\ , \forall i, r \end{aligned}$$ رابطه (۱۰)

که $x_{ij} = \left[\underline{x_{ij}}, \overline{x_{ij}}\right]$ و $y_{rj} = \left[\underline{y_{rj}}, \overline{y_{rj}}\right]$ به ترتیب ورودی‌ها و خروجی‌ها را نشان می‌دهد که در آن $r = 1,2, \dots, s$ ، $i = 1,2, \dots, m$ ، $j = 1,2, \dots, n$ و y_{rj} مقدار خروجی تولید شده توسط DMU_j، x_{ij} مقدار ورودی استفاده شده توسط DMU_j، u_r وزن خروجی rام و v_i وزن ورودی iام است.
حداکثر کارایی برای DMU_0 زمانی رخ می‌دهد که بیشترین خروجی را با استفاده از کمترین ورودی تولید کند، در حالی که بقیه DMU ها با استفاده از بیشترین ورودی، کمترین خروجی را تولید کنند. مدل ریاضی برای حداکثر کارایی DMU_0 به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} & max\ \overline{\theta_0} = \sum_{r=1}^{s} u_r \overline{y_{r0}} \\ s.t. \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i \overline{x_{ij}} - \sum_{r=1}^{s} u_r \underline{y_{rj}} \geq 0\ , j = 1,2, \dots, n\ , j \neq 0 \\ & \sum_{i=1}^{m} v_i \underline{x_{i0}} = 1 \\ & v_i, u_r \geq 0\ , \forall i, r \end{aligned}$$ رابطه (۱۱)

به علاوه حداقل کارایی برای DMU_0 زمانی رخ می‌دهد که کمترین خروجی را با استفاده از بیشترین ورودی تولید کند، در حالی که بقیه DMU ها با استفاده از کمترین ورودی، بیشترین خروجی را تولید کنند. مدل ریاضی برای حداقل کارایی DMU_0 به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} & max\ \underline{\theta_0} = \sum_{r=1}^{s} u_r \underline{y_{r0}} \\ s.t. \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r \overline{y_{rj}} \geq 0\ , j = 1,2, \dots, n\ , j \neq 0 \\ & \sum_{i=1}^{m} v_i \overline{x_{i0}} = 1 \\ & v_i, u_r \geq 0\ , \forall i, r \end{aligned}$$ رابطه (۱۲)

بنابراین کارایی DMU_0 به صورت $\theta_0 = [\underline{\theta_0}, \overline{\theta_0}]$ نشان داده می‌شود. مطابق با مدل‌های اشاره شده سه دسته‌بندی برای کارایی DMUها وجود دارد:
۱) $E^* = \left\{DMU_j \middle| \underline{\theta_j} \geq 1,\ j = 1, \dots, n\right\}$ که در این حالت DMU کاراست.
۲) $E = \left\{DMU_j \middle| \underline{\theta_j} \leq 1, \overline{\theta_j} \geq 1,\ j = 1, \dots, n\right\}$ که در این حالت DMU تا حدی کاراست.

۳) $F = \{DMU_j | \overline{\theta_j} \leq 1,\ j = 1, \dots, n\}$ که در این حالت DMU ناکاراست.

ن) رویکرد MRAو رتبه‌بندی DMU بر اساس کارایی بازه‌ای

فرض شود $A_j = \left[\underline{\theta_j}, \overline{\theta_j}\right] = \langle m(A_j), w(A_j)\rangle\ ,\ j = 1,2, \dots, n$ کارایی مربوط به n واحد تصمیم‌گیرنده باشد، به طوری که $m(A_j) = \frac{1}{2}(\overline{\theta_j} + \underline{\theta_j})$ و $w(A_j) = \frac{1}{2}(\overline{\theta_j} - \underline{\theta_j})$ نقاط میانی و عرض بازه‌ها باشند. بدون از دست دادن کلیت مسئله فرض شود $A_j = \left[\underline{\theta_j}, \overline{\theta_j}\right]$ به عنوان بهترین کارایی بازه‌ای انتخاب شود و $b = \max_{j\neq i}\{\overline{\theta_i}\}$، واضح است که اگر $\underline{\theta_j} < b$ آنگاه تصمیم‌گیرنده به دلیل از دست دادن کارایی احساس تاسف و پشیمانی خواهد داشت. حداکثر کارایی که تصمیم‌گیرنده می‌تواند از دست بدهد به صورت $\max(r_j) = b - \underline{\theta_j} = \max_{j\neq i}\{\overline{\theta_i}\} - \underline{\theta_j}$ است. اگر $\underline{\theta_j} \geq b$ آنگاه تصمیم‌گیرنده به دلیل از دست ندادن کارایی هیچ گونه تاسف و پشتیمانی نخواهد داشت. در این حالت میزان تاسف تصمیم‌گیرنده صفر است، یعنی $r_j = 0$. با ترکیب دو حالت اشاره شده در بالا، نتیجه می‌شود:

$$max(r_j) = max[max_{j\neq i}\{\overline{\theta_i}\} - \underline{\theta_j}, 0] \qquad \text{رابطه (۱۳)}$$

بنابراین معیار MRA بهترین کارایی بازه‌ای به عنوان کارایی رضایت‌بخش را به صورت زیر انتخاب خواهد کرد:

$$min\{max(r_j)\} = min\left\{max[max_{j\neq i}\{\overline{\theta_i}\} - \underline{\theta_j}, 0]\right\} \qquad \text{رابطه (۱۴)}$$

بر اساس تجزیه و تحلیل اشاره شده در بالا، تعریف زیر برای مقایسه و رتبه‌بندی کارایی بازه‌ای ارائه می‌شود:

تعریف: فرض شود $A_j = \left[\underline{\theta_j}, \overline{\theta_j}\right] = \langle m(A_j), w(A_j)\rangle\ ,\ j = 1,2, \dots, n$ یک مجموعه کارایی بازه‌ای باشد. بیشترین مقدار کارایی از دست رفته (بیشترین تاسف و پشیمانی) برای هر یک از A_jها به صورت زیر خواهد بود:

رابطه (۱۵)

$$R(A_j) = max\left[\max_{j\neq i}\{\overline{\theta_i}\} - \underline{\theta_j}, 0\right] = max\left[\max_{j\neq i}\{m(A_j) + w(A_j)\} - \left(m(A_j) - w(A_j)\right), 0\right],$$
$$j = 1,2, \dots, n$$

واضح است که بهترین حالت زمانی است که کمترین میزان کارایی، از دست رفته باشد (Jahanshahloo, Hosseinzadeh Lotfi, Sanei & Fallah Jelodar, 2008).

به منظور رتبه‌بندی کارایی بازه‌ای با استفاده از بیشترین کارایی از دست رفته، گام‌های حذفی زیر پیشنهاد می‌گردد:

گام ۱) بیشترین کارایی از دست رفته را برای هر یک از بازه‌ها محاسبه نموده و هر کدام که کمترین کارایی را از دست داده باشد (کمترین تاسف) به عنوان بازه کارایی مطلوب انتخاب می‌شود. فرض شود که A_{j_1} به عنوان بازه کارایی که $1 \leq j_1 \leq n$ مطلوب، انتخاب شده باشد.

گام ۲) A_{j_1} از مجموعه حذف شده و دوباره بیشترین کارایی از دست رفته برای $n-1$ کارایی باقیمانده محاسبه می‌شود. فرض شود که در این گام A_{j_2} انتخاب شده باشد به طوری که $1 \leq j_2 \leq n$ و $j_2 \neq j_1$.

گام ۳) A_{j_2} از مجموعه حذف شده و بیشترین کارایی از دست رفته برای $n-2$ کارایی باقیمانده محاسبه شده و فرض شود که A_{j_3} در این گام انتخاب شده باشد.

گام ۴) فرایند حذفی فوق‌الذکر تا زمانی که تنها یک کارایی بازه‌ای A_{j_n} باقی بماند تکرار می‌شود. رتبه‌بندی نهایی به صورت $A_{j_1} \succ A_{j_2} \succ \cdots \succ A_{j_n}$ خواهد بود که در آن نماد «$\succ$» به معنای «برتری» است.

در این مطالعه، از یک مدل توسعه یافته تحلیل پوششی داده‌های خاکستری با در نظر گرفتن ارجحیت‌های تصمیم‌گیرندگان استفاده شده است که در آن با اعمال قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان، محدودیت‌های ورودی‌ها و خروجی‌ها با روابط $\mathbf{V} = (\mathbf{v_i}) \in R^i$ و $U = (u_r) \in R^r$ و $u_r, v_i \geq 0$ به مسئله اضافه خواهد شد. لذا مسئله برنامه‌ریزی خطی پیشنهادی به صورت رابطه ۱۶ خواهد بود:

$$\max \theta_0 = \sum_{r=1}^{s} u_r \left[\underline{y_{r0}}, \overline{y_{r0}}\right] \qquad \text{رابطه (۱۶)}$$
$$s.t. \qquad \sum_{i=1}^{m} v_i \left[\underline{x_{ij}}, \overline{x_{ij}}\right] - \sum_{r=1}^{s} u_r \left[\underline{y_{rj}}, \overline{y_{rj}}\right] \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n, j \neq 0$$

$\sum_{i=1}^{m} v_i \left[\underline{x_{i0}}, \overline{x_{i0}}\right] = 1$
$U = (u_r) \in R^r$
$V = (v_i) \in R^i$
$v_i, u_r \geq 0 \,, \forall i, r$

که در آن $V = (v_i) \in R^i$ و $U = (u_r) \in R^r$ به ترتیب محدودیت‌های مربوط به خروجی‌ها و ورودی‌ها هستند. حداکثر و حداقل کارایی برای DMU_0 با در نظر گرفتن ارجحیت برای ورودی‌ها و خروجی‌ها به صورت مسائل برنامه‌ریزی خطی ۱۷ و ۱۸ است:

رابطه (۱۷)

$$\max \overline{\theta_0} = \sum_{r=1}^{s} u_r \overline{y_{r0}}$$
$$s.t. \quad \sum_{i=1}^{m} v_i \overline{x_{ij}} - \sum_{r=1}^{s} u_r \underline{y_{rj}} \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \,, j \neq 0$$
$$\sum_{i=1}^{m} v_i \underline{x_{i0}} = 1$$
$$U = (u_r) \in R^r$$
$$V = (v_i) \in R^i$$
$$v_i, u_r \geq 0 \,, \forall i, r$$

رابطه (۱۸)

$$\max \underline{\theta_0} = \sum_{r=1}^{s} u_r \underline{y_{r0}}$$
$$s.t. \quad \sum_{i=1}^{m} v_i \underline{x_{ij}} - \sum_{r=1}^{s} u_r \overline{y_{rj}} \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \,, j \neq 0$$
$$\sum_{i=1}^{m} v_i \overline{x_{i0}} = 1$$
$$U = (u_r) \in R^r$$
$$V = (v_i) \in R^i$$
$$v_i, u_r \geq 0 \,, \forall i, r$$

بنابراین کارایی نهایی برای هر DMU به صورت $\theta_0 = [\underline{\theta_0}, \overline{\theta_0}]$ خواهد بود.

همچنین در مطالعه حاضر روش پیشنهادی جدیدی برای رتبه‌بندی DMU ها تحت شرایط کارایی بازه‌ای ارائه شده است که به شرح زیر است:

تعریف: فرض شود $\otimes x = [\underline{x}, \overline{x}]$ و $\otimes y = [\underline{y}, \overline{y}]$ دو عدد خاکستری باشند، در این صورت فاصله اقلیدسی میان دو عدد $\otimes x$ و $\otimes y$ با استفاده از رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود:

رابطه (۱۹)

$$L_2(\otimes x, \otimes y) = 2^{-\frac{1}{2}}[|\overline{x} - \overline{y}|^2 + \left|\underline{x} - \underline{y}\right|^2]^{\frac{1}{2}}$$

تعریف: فرض کنید که $\otimes x = [\otimes x_1, \otimes x_2, \dots, \otimes x_m]$ و $\otimes y = [\otimes y_1, \otimes y_2, \dots, \otimes y_m]$ دو عدد خاکستری m بعدی باشند، در این فاصله مینکوفسکی میان دو عدد $\otimes x$ و $\otimes y$ از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$L_p(\otimes x, \otimes y) = 2^{-\frac{1}{p}}[|\overline{x_1} - \overline{y_1}|^p + \left|\underline{x_1} - \underline{y_1}\right|^p + \cdots + |\overline{x_m} - \overline{y_m}|^p + \left|\underline{x_m} - \underline{y_m}\right|^p]^{\frac{1}{p}}$$

فرض شود که $A_j = [\underline{\theta_j}, \overline{\theta_j}]$ کارایی مربوط به DMU_j باشد. گام‌های روش پیشنهادی برای رتبه‌بندی کارایی بازه‌ای به صورت زیر است:

گام۱) مشخص کردن I^{max} و I^{min} با استفاده از رابطه ۱۶:

رابطه (۲۰)

$$I^{max} = [max\ \underline{\theta_j}, max\ \overline{\theta_j}]$$
$$I^{min} = [min\ \underline{\theta_j}, min\ \overline{\theta_j}]$$

که I^{max} و I^{min} به عنوان معیاری برای محاسبه فاصله بازه‌ها خواهد بود.

گام۲) محاسبه فاصله هر بازه از I^{max} و I^{min} با استفاده از رابطه ۱۷ :

$$L_2{}^{max}(\mathrm{A}_j, I^{max}) = 2^{-\frac{1}{2}}[|max\overline{\theta_j} - \overline{\theta_j}|^2 + |max\underline{\theta_j} - \underline{\theta_j}|^2]^{\frac{1}{2}}$$ رابطه (۲۱)

$$L_2{}^{min}(\mathrm{A}_j, I^{min}) = 2^{-\frac{1}{2}}[|\overline{\theta_j} - min\overline{\theta_j}|^2 + |\underline{\theta_j} - min\underline{\theta_j}|^2]^{\frac{1}{2}}$$

گام۳) محاسبه نسبت ε_j با استفاده از رابطه ۲۲ :

$$\varepsilon_j = \frac{L_2{}^{min}}{L_2{}^{min} + L_2{}^{max}}$$ رابطه (۲۲)

که هر چه این نسبت به عدد یک نزدیک باشد، بازه کارایی مورد نظر در اولویت خواهد بود.

روش رتبه‌بندی فوق الاشاره وقتی که کارایی واحدهای تصمیم‌گیری به صورت اعداد خاکستری است، مفید است و طی آن، قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان درباره ارجحیت ورودی‌ها و خروجی‌ها به طور مستقل به مدل تحلیل پوششی داده‌های خاکستری اضافه می شود. در نتیجه سازمان‌ها با اعمال قضاوت‌های خود در مورد ارجحیت ورودی‌ها و خروجی‌ها به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان کارا خواهند پرداخت.

۳- نتایج و بحث

این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش جزء پژوهش‌های توصیفی- تحلیلی محسوب می‌شود. قلمرو مکانی پژوهش حاضر شامل ۱۸ شرکت مسئول تامین شیشه اتومبیل برای شرکت ایران خودرو است. گردآوری اطلاعات در این پژوهش با دو روش مطالعه کتابخانه‌ای و اسنادکاوی (رجوع به سامانه ارزیابی تامین کننده) صورت گرفته است. در بررسی موردی تحقیق حاضر یک مدل ریاضی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها و تئوری اعداد خاکستری و نیز یک روش رتبه‌بندی برای زمانی که کارایی بدست آمده توسط واحدها به صورت بازه‌ای است، ارائه و آزمون شده است. در حقیقت مدل مورد اشاره، یک مدل ریاضی توسعه یافته برای تحلیل پوششی داده‌های خاکستری است. مراحل اجرای مدل با تعیین متغیرهای ورودی و خروجی و جمع‌آوری مقادیر آنها بأزای واحدهای تصمیم گیرنده شروع شده و پس از تشکیل قیود مربوط به ترجیحات تصمیم‌گیرندگان در مدل، نوبت به تبدیل سطوح مختلف ریسک‌پذیری مقادیر اولیه خاکستری به مقادیر قطعی رسیده و در ادامه به محاسبه کارایی هر یک از واحدها و رتبه‌بندی آنها پزداخته شده و در انتها با تحلیل حساسیت نتایج حاصل خاتمه می باید.

در همین رابطه، با نظر خبرگان و با توجه به محدودیت دسترسی به شاخص ها و نیز داده های موجود در سامانه ارزیابی تامین کنندگان شرکت ایران خودرو (به اقتضای مساعدت جامعه آماری پژوهش)، از دو شاخص ورودی (هزینه‌های حمل و نقل، تعداد صورت‌حساب‌های دریافتی بدون خطا از تأمین‌کنندگان) و دو شاخص خروجی (تعداد نقص‌ها، شهرت و اعتبار تامین‌کننده) استفاده شد. مقادیر مربوط به هر یک از این شاخص‌ها در جدول شماره ۲ ملاحظه می‌شود.

جدول شماره (۲): مقادیر شاخص‌های ورودی و خروجی تأمین‌کنندگان

تامین‌کننده	ورودی‌ها		خروجی‌ها	
	X_1	X_2	Y_1	Y_2
۱	۲۵۳	5	[۵۶ ،۵۰]	۱
۲	۲۶۸	۱۰	[۶۰ ،۷۰]	۵/۳
۳	۲۵۹	۳	[۴۰ ،۵۰]	۴/۶
۴	۱۸۰	۶	[۱۰۰ ،۱۶۰]	۳۰
۵	۲۵۷	۴	[۴۵ ،۵۵]	۳۰
۶	۲۴۸	۲	[۸۵ ،۱۱۵]	۳۰
۷	۲۷۲	۸	[۷۰ ،۹۵]	۳۰
۸	۳۳۰	۱۱	[۱۰۰ ،۱۸۰]	۱۳/۸
۹	۳۲۷	۹	[۹۰ ،۱۲۰]	۴
۱۰	۳۳۰	۷	[۸۰ ،۵۰]	۳۰
۱۱	۳۲۱	۱۶	[۲۵۰ ،۳۰۰]	۲۶/۴

۱۲	۳۲۹	۱۴	[۱۰۰ ،۱۵۰]	۲۵/۸
۱۳	۲۸۱	۱۵	[۸۰ ،۱۲۰]	۲۵/۸
۱۴	۳۰۹	۱۳	[۲۰۰ ،۳۵۰]	۲۱/۹
۱۵	۲۹۱	۱۲	[۵۵ ،۴۰]	۹
۱۶	۳۳۴	۱۷	[۸۵، ۷۵]	۷
۱۷	۲۴۹	۱	[۱۸۰ ،۹۰]	۶/۳
۱۸	۲۱۶	۱۸	[۹۰و ۱۵۰]	۲۸/۸

درجه رجحان ورودی‌ها و خروجی‌هابر اساس اجماع نظرات گروه تصمیم، به صورت $v_1 \geq 3v_2$ و $u_1 \geq 2u_2$ در نظر گرفته شد. مدل‌های ریاضی حداقل و حداکثر کارایی مربوط به تامین‌کننده اول در پیوست مقاله آمده است. بئیهی است مدل‌های مربوط به سایر تأمین‌کنندگان نیز به صورت مشابه فرموله شده اند. با حل مدل‌های مورد اشاره، کارایی بازه‌ای برای تامین‌کننده اول برابر با $A_1 = \left[\underline{\theta_1}, \overline{\theta_1}\right] = [0/176,0/333]$ حاصل خواهد شد. نتایج حاصل از محاسبه کارایی برای سایر تأمین‌کنندگان و نیز رتبه‌بندی ـمامی DMU ها با استفاده از روش پیشنهادی در جدول ۲ قابل مشاهده است. جدول شماره ۳ نیز مشتمل بر سنجش رتبه تامین کننده‌ها بر مبنای دو روش مقایسه ای دیگر تحت عنوان میانگین و MRA است.

جدول شماره (۳): کارایی و رتبه تأمین‌کنندگان

تامین‌کننده	$A_1 = \left[\underline{\theta_j}, \overline{\theta_j}\right]$	رتبه بندی تامین کننده‌ها		
		روش پیشنهادی	میانگین	MRA
.۱	[۰/۱۷۶ ،۰/۳۳۳]	۱۶	۱۶	۱۵
.۲	[۰/۳۳۷ ،۰/۲۰۰]	۱۴	۱۳	۱۴
.۳	[۰/۲۵۱ ،۰/۱۴۱]	۱۷	۱۷	۱۷
.۴	[۰/۱۹۲ ،۰/۵۴۹]	۳	۳	۳
.۵	[۰/۳۳۶ ،۰/۲۰۲]	۱۲	۱۲	۱۲
.۶	[۰/۳۳۳ ،۰/۱۷۶]	۷	۶	۵
.۷	[۰/۴۹۷ ،۰/۲۶۹]	۱۰	۱۰	۹
.۸	[۰/۷۰۴ ،۰/۲۷۸]	۶	۷	۸
.۹	[۰/۴۷۵ ،۰/۲۴۴]	۱۱	۱۱	۱۰
.۱۰	[۰/۳۵۴ ،۰/۱۷۰]	۱۳	۱۵	۱۶
.۱۱	[۱/۴۴۴ ،۰/۷۰۲]	۲	۲	۲
.۱۲	[۰/۶۰۵ ،۰/۲۰۴]	۹	۹	۱۱
.۱۳	[۰/۵۷۷ ،۰/۲۸۳]	۸	۸	۷
.۱۴	[۱/۴۵۸ ،۰/۷۰۱]	۱	۱	۱
.۱۵	[۰/۲۵۰ ،۰/۱۳۱]	۱۸	۱۸	۱۸
.۱۶	[۰/۳۲۷ ،۰/۲۰۱]	۱۵	۱۴	۱۳
.۱۷	[۰/۹۴۳ ،۰/۳۲۴]	۵	۵	۶
.۱۸	[۰/۹۲۸ ،۰/۴۱۴]	۴	۴	۴

با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که در هر سه روش رتبه‌بندی، به ترتیب تأمین‌کنندگان ۱۴، ۱۱ و ۴ به عنوان تأمین‌کنندگان کارا انتخاب می‌شوند. در ادامه بحث، جهت سنجش پایداری نتایج حاصل از کاربرد مدل های پیشنهادی به تحلیل حساسیت جواب بهینه پرداخته می شود.

برای این منظور پس از محاسبه کارایی و نیز رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان، با استفاده از رابطه $\left[\underline{\theta_j}, \overline{\theta_j}\right] = \underline{\theta_j} + \left(\overline{\theta_j} - \underline{\theta_j}\right) * \alpha$ که در آن $0 \leq \alpha \leq 1$، تحلیل حساسیت جواب‌های بهینه انجام می‌گیرد. در هر سطح α، تامین‌کننده‌ای که بیشترین مقدار

کارایی را تحصیل کند، بهترین رتبه را نیز کسب خواهد کرد. تحلیل حساسیت بر اساس مقادیر مختلف α یعنی $\alpha = 0, 0/25, 0/5, 0/65, 0/75, 1$ در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. همانگونه که در این جدول مشاهده می‌شود تأمین‌کنندگان ۱۴، ۱۱ و ۴ به عنوان تأمین‌کنندگان کارا انتخاب می‌شوند.

جدول شماره (۴): ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان کارا با ملاحظه مقادیر مختلف $\boldsymbol{\alpha}$

تامین کننده	$\alpha = 0$		$\alpha = 0/25$		$\alpha = 0/5$		$\alpha = 0/65$		$\alpha = 0/75.$		$\alpha = 1$	
	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه
۱	۰/۱۷۶	۱۵	۰/۲۱۵	۱۶	۰/۲۵۴	۱۶	۰/۲۷۸	۱۶	۰/۲۹۳	۱۶	۰/۳۳۳	۱۵
۲	۰/۲	۱۴	۰/۲۳۴	۱۳	۰/۲۶۸	۱۳	۰/۲۸۹	۱۴	۰/۳۰۲	۱۳	۰/۳۳۷	۱۳
۳	۰/۱۴۱	۱۷	۰/۱۶۸	۱۷	۰/۱۹۶	۱۷	۰/۲۱۲	۱۷	۰/۲۲۳	۱۷	۰/۲۵۱	۱۷
۴	۰/۵۴۹	۳	۰/۷۰۹	۳	۰/۸۷۰	۳	۰/۹۶۶	۳	۱/۰۳۱	۳	۱/۱۹۲	۳
۶	۰/۲۰۲	۱۲	۰/۲۳۵	۱۲	۰/۲۶۹	۱۲	۰/۲۸۹	۱۳	۰/۳۰۲	۱۴	۰/۳۳۶	۱۴
۶	۰/۳۴۹	۵	۰/۴۲۳	۶	۰/۴۹۸	۶	۰/۵۴۳	۷	۰/۵۷۳	۷	۰/۶۴۸	۷
۷	۰/۲۶۹	۹	۰/۳۲۶	۹	۰/۳۸۳	۱۰	۰/۴۱۷	۱۰	۰/۴۴	۱۰	۰/۴۹۷	۱۰
۸	۰/۲۷۸	۸	۰/۳۸۴	۷	۰/۴۹۱	۷	۰/۵۵۴	۶	۰/۵۹۷	۶	۰/۷۰۴	۶
۹	۰/۲۴۴	۱۰	۰/۳۰۱	۱۱	۰/۳۵۹	۱۱	۰/۳۹۴	۱۱	۰/۴۱۷	۱۱	۰/۴۷۵	۱۱
۱۰	۰/۱۷	۱۶	۰/۲۱۶	۱۵	۰/۲۶۲	۱۵	۰/۲۸۹	۱۲	۰/۳۰۸	۱۲	۰/۳۵۴	۱۲
۱۱	۰/۷۰۲	۱	۰/۸۸۷	۲	۱/۰۷۳	۲	۱/۱۸۴	۲	۱/۲۵۸	۲	۱/۴۴۴	۲
۱۲	۰/۲۰۴	۱۱	۰/۳۰۴	۱۰	۰/۴۰۴	۹	۰/۴۶۴	۹	۰/۵۰۴	۸	۰/۶۰۵	۸
۱۳	۰/۲۸۳	۷	۰/۳۵۶	۸	۰/۴۳	۸	۰/۴۷۴	۸	۰/۵۰۳	۹	۰/۵۷۷	۹
۱۴	۰/۷۰۱	۲	۰/۸۹۰	۱	۱/۰۷۹	۱	۰/۱۹۳	۱	۱/۲۶۸	۱	۱/۴۵۸	۱
۱۵	۰/۱۳۱	۱۸	۰/۱۶۰	۱۸	۰/۱۹۰	۱۸	۰/۲۰۸	۱۸	۰/۲۲۰	۱۸	۰/۲۵	۱۸
۱۶	۰/۲۰۱	۱۳	۰/۲۳۲	۱۴	۰/۲۶۴	۱۴	۰/۲۸۲	۱۵	۰/۲۹۵	۱۵	۰/۳۲۷	۱۶
۱۷	۰/۳۲۴	۶	۰/۴۷۸	۵	۰/۶۳۳	۵	۰/۷۲۶	۵	۰/۷۸۸	۵	۰/۹۴۳	۴
۱۸	۰/۴۱۴	۴	۰/۵۴۲	۴	۰/۶۷۱	۴	۰/۷۴۸	۴	۰/۷۹۹	۴	۰/۹۲۸	۵

یکی دیگر از نتایج بدست آمده از تحلیل حساسیت، میزان ریسک روش‌های رتبه‌بندی است. برای بررسی این موضوع می توان نتایج حاصل از روش پیشنهادی برای رتبه بندی کارایی تامین کنندگان را با نتایج حاصل از روشهای رتبه بندی دیگری نظیر میانگین و MRA مقایسه و تحلیل کرد. می‌توان چنین اذعان کرد که در مساله حاضر، روش رتبه‌بندی MRA برای افراد ریسک‌گریز، روش رتبه‌بندی میانگین برای افراد بی تفاوت نسبت به ریسک و روش رتبه‌بندی پیشنهادی برای افراد ریسک‌پذیر مناسب است؛ لذا تصمیم‌گیرندگان می‌توانند با در نظرگرفتن میزان ریسک‌پذیری خود، تأمین‌کنندگان مناسب را انتخاب نمایند.

امروزه تصمیم‌گیری در مورد انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب اهمیت زیادی دارد. هر چه وابستگی سازمان‌ها به تأمین‌کنندگان آنها بیشتر شود، نتایج مستقیم و غیرمستقیم تصمیم‌گیری نادرست در انتخاب تأمین‌کنندگان نیز زیانبارتر خواهد شد بعبارت دیگر کسب رضایت مشتری، تامین نیازها و اولویت‌های مشتری مستلزم انتخاب و ارزیابی سریع و مناسب تأمین‌کنندگان است. (Sunil, Kannan, Devika, Sachin & Mangla, 2017). یکی از روش‌های کاربردی و موثر در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان، تحلیل پوششی داده‌هاست که با در نظر گرفتن ورودی‌ها و خروجی‌ها به ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم-گیری می‌پردازد.

سازمان‌ها در مسائل مربوط به تصمیم‌گیری با دو شرایط قطعی و غیرقطعی روبرو هستند. به عقیده بسیاری از صاحبنظران، در دنیای واقع، این در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت است که می‌تواند سازمان‌ها را در امر تصمیم‌گیری به نتایج مقبولی برساند. تئوری اعداد خاکستری در چنین شرایطی کاربرد دارد. به همین ترتیب می‌توان در شرایط عدم قطعیت، جهت اندازه‌گیری کارایی با ترکیب تحلیل پوششی داده‌ها و تئوری اعداد خاکستری به تصمیمات درست و مناسبی نائل آمد. در بخش دوم مقاله، مطالب

مربوط به تحلیل پوششی داده‌ها، تئوری اعداد خاکستری، تحلیل رابطه‌ای خاکستری و تحلیل پوششی داده‌های خاکستری ذکر شد. پس از آن در بخش سوم، دو مدل پیشنهادی جهت ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان کارا در شرایط عدم‌قطعیت و یک روش رتبه‌بندی وقتی که کارایی واحدهای تصمیم‌گیری به صورت اعداد خاکستری است، ارائه شد.

در مدل اول پیشنهادی، قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان درباره ارجحیت ورودی‌ها و خروجی‌ها به طور مستقل به مدل تحلیل پوششی داده‌های خاکستری اضافه شده است. در نتیجه سازمان‌ها می توانند با اعمال قضاوت‌های خود در مورد ارجحیت ورودی-ها و خروجی‌ها به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان کارا بپردازند. مدل دوم پیشنهادی، ترکیبی از تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل رابطه‌ای خاکستری با توجه به مقادیر اولیه خاکستری است. در این مدل ابتدا اعداد خاکستری به اعداد قطعی تبدیل شده و سپس با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل رابطه‌ای خاکستری تأمین‌کنندگان کارا انتخاب می‌شوند. پس از حل مسئله با استفاده از مدل پیشنهادی و مدل تحلیل پوششی داده‌های خاکستری مشاهده می‌شود که نتایج حاصل برای تأمین‌کنندگان کارا از هر دو مدل یکسان است. از طرفی حجم محاسبات مدل پیشنهادی نسبت به مدل تحلیل پوششی داده‌های خاکستری کمتر است. لذا زمان کمتری برای حل مسئله صرف خواهد شد. بنابراین مدل دوم را می‌توان به جای مدل تحلیل پوششی داده‌های خاکستری بکار برد. ارائه یک روش رتبه‌بندی برای اعداد خاکستری یکی دیگر از محورهای نواوری در این تحقیق است که هم در مدل اول و هم در مدل دوم پیشنهادی استفاده شده است.

روش تحلیل پوششی داده‌های کلاسیک ارزیابی تأمین‌کنندگان را بر اساس داده‌های قطعی انجام می‌دهد که حساسیت زیادی به داده‌های ورودی و خروجی دارد. بدین معنی که با تغییر جزئی در مقادیر ورودی و خروجی که ممکن است ناشی از ناکامل بودن اطلاعات، تغییر آن‌ها در کوتاه مدت و یا در دست داشتن ابزار ناکارامد در اندازه‌گیری شاخص‌ها باشد و نتایج می‌تواند تغییر کند. (Farzipoor, 2010). از همین رو شناسایی واحدهای مرجع نیز کاملا وابسته به ارزیابی واحدهاست. در روش پیشنهادی این مطالعه، زمانی که مسئله با عدم قطعیت مواجه باشد، پایداری بیشتری در نتایج ارزیابی و واحدهای مرجع ایجاد می‌نماید.

به پژوهشگران آتی پیشنهاد می شود از رابطه $[a,b] = a + \alpha * (b-a), 0 \le \alpha \le 1$ در مدل تحلیل پوششی داده‌های خاکستری، استفاده کرده به طوری که پس از اعمال رابطه مذکور در تابع هدف، مسئله به حالت غیرخطی تبدیل شده و با تغییر متغیر لازم مسئله را حل کنند. همچنین استفاده از برنامه‌ریزی با قیود تصادفی به همراه تحلیل پوششی داده‌های خاکستری، می تواند جالب توجه باشد. همچنین پیشنهاد می شود برای محدود کردن اعداد خاکستری در دستیابی به نتایج بهتر، مجموعه خام (ناهموار) با مجموعه خاکستری ترکیب شوند و از مدل پیشنهادی و یا مدل تحلیل پوششی داده‌های خاکستری، استفاده شود. همچنین با استفاده از تکنیک هایی مانندAHP یا ANP و QFD وزن شاخص‌های ارزیابی را محاسبه کرد. و بالاخره تدوین این پژوهش مبتنی بر اطلاعاتی است که در دسترس بوده است و به عنوان محدودیتی دیگر ، عدم قطعیت در پژوهش‌های انجام شده به اشکال متفاوتی از قبیل اعداد بازه‌ای، فازی، تصادفی، سناریویی، روباست و ... نمایش داده شده است. اعداد خاکستری در این پژوهش تنها شکل خاصی از عدم قطعیت است که سعی شده (همانطور که توضیح داده شد) تعدادی از اشکال را شامل شود ولی این بدان معنی نیست که در تمامی کاربردها بهتر از سایر اشکال است.

٤-منابع

1. Amiri, M., & Hadinejad, F. (2017). Evaluation and prioritization of suppliers adopting a combined approach of entropy, analytic hierarchy process, and revised Promethee (Case study: Youtab Company). *Journal of Operational Research In Its Applications (Applied Mathematics)-Lahijan Azad University*, *14*(4), 1-20.

2. Du, J., Liu, S., & Liu, Y. (2021). A novel grey multi-criteria three-way decisions model and its application. *Computers & Industrial Engineering*, *158*, 107405.

3. Esmaeilian, M., Hemmatgir, H., & Ghaenian, R. (2018). Designing and implementing suppliers evaluating process in supplier relationship management system (case study: Mobarake Steel Co.). *Industrial Management Perspective, 8 (31)*, 37-61.

4. Fallah, H., & Kazemi, F. (2017). Evaluating the efficiency of suppliers in the sustainable supply chain using data envelopment analysis approach, Case Study: Wood Plast Tosca

Company. *International Conference on Industrial Management*, Mazandaran University, 2:1-18. (In Persian).
5. Ghasemi, A., Farokhpour, GH & Rezayazdi, P. (2015). Evaluation of suppliers based on indicators involved in supply chain productivity (survey o f supply companies for Toos Automotive Group). *Journal of Organizational Culture Management*, 13(2):515-535. (in persian).
6. Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh Lotfi, F., Sanei, M., & Fallah Jelodar, M. (2008). Reviw of Rankg Models in Data Envelopment Analysis. *Applied Mathematical Sciences,* 2:1431-1448.
7. Jiuping, X., Bin, L., & Desheng, W. (2009). Rough data envelopment analysis and its application to supply chain performance evaluation. *Int. J. Production Economics,* 122:628–638.
Kolagar Daronkola, M., & Hosseini, S. (2019). Evaluating The Suppliers Based On A Hybrid Approach Of Einstein Choquet Integral And Promethee Ii With Respect To Scor Metrics (Case Study: Medical Laboratory. *Industrial Engineering & Management Sharif* (*Sharif*: *Engineering*), 35-1(1/1), 105-117. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=698600
8. Lia, GD., Yamaguchi, D., & Nagai, M. (2007). A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem. *Mathematical and Computer Modelling*, 46:573–581.
9. Liao, Z., & Rittscher, J. (2007). A multi-objective supplier selection model under stochastic demand conditions. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 150-159.
10. Lin, C. T., Chang, C. W., & Chen, C. B. (2006). The worst ill-conditioned silicon wafer slicing machine detected by using grey relational analysis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31(3-4), 388-395.
Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., & Garg, C. P. (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1686-1698.
11. Memon, M.S., Lee, Y.H & IrshadMari, S. (2015). Group multi-criteria supplier selection using combined grey systems theory and uncertainty theory. *Expert Systems with Applications*, 42(21): 7951-7959.
12. Moaazez, H., Fathi, R., & Ramezani, D. (2019). Evaluation of Resilence suppliers using fuzzy relative system and network analysis process. *Journal of Environmental Science and Technology*, 10: 57-86.
13. Rashidi, K., & Cullinane, K. (2019). A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy. *Expert Systems with Applications*, 121(1):266-281.
14. Saen, R. F. (2010). Developing a new data envelopment analysis methodology for supplier selection in the presence of both undesirable outputs and imprecise data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51(9), 1243-1250.
Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231.
15. Sunil, L., Kannan, G., Devika, K., Sachin, K & Mangla, Ch. (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 140(3):1686-1698.
16. Talluri, S., & Narasimhan, R. (2004). A methodology for strategic sourcing. *European Journal of Operational Research*, 154:236-250.

17. Wu, D. D., & Olson, D. L. (2010). Fuzzy multiattribute grey related analysis using DEA. *Computers & Mathematics with Applications*, *60*(1), 166-174.
18. Yazdani, M., Prasenjit, C., Kazimieras Zavadskas, E., & Hashemkhani Zolfanid, S. (2017). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 142(4):3728-3740.

Evaluating Suppliers Using Gray Data Envelopment Analysis with Applying Decision Maker Preferences

Shahab Rafizadeh
Department of Industrial Enginiering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
Dariush Mohamadi Zanjirani (Corresponding Author)
Department of Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, Isfahan, Iran
Email: d.mohamadi@ase.ui.ac.ir

Abstract
Organizations and companies in order to increase their capabilities in the business environment must increase the level of outsourcing of their activities, and this increases the dependence on suppliers. Therefore, they must pay attention to the performance of their suppliers, and also the evaluation and selection of efficient suppliers creates a competitive advantage for companies. Recent studies have suggested many methods for evaluating and selecting suppliers. Data envelopment analysis due to the basis of mathematical programming and linear algebra is one of the powerful methods in this regard that measures the efficiency of homogeneous units with multiple inputs and outputs. On the other hand, due to the uncertainty of the data in real applications, this issue has become a complex decision-making. Gray number theory is a method used to deal with uncertainty conditions that has been used in this research. In the present study, two models for evaluating and selecting efficient suppliers and a method for ranking efficient units based on data envelopment analysis and gray data are presented. The first model is proposed in order to achieve real results by applying the priority of inputs and outputs by decision makers and the second model is proposed by reducing the volume of calculations and solving them in the issue of evaluation and selection of efficient suppliers. The two mentioned models have been used to evaluate the car glass suppliers of IranKhodro Company and the implementation of the model shows acceptable results from the implementation of the proposed models.

Keywords: Data Envelopment Analysis, interval efficiencies, Gray Data, Supply Chain.