انتخاب تأمین‌کننده بر اساس دیدگاه‌های خوشبینانه و بدبینانه

حسین عزیزی[۱،*]، علیرضا امیرتیموری[۲]، رضا فرضی‌پور صائن[۳]

[۱] استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پارس آباد مغان، گروه ریاضی، پارس آباد مغان، ایران (عهده‌دار مکاتبات)

[۲] استاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، گروه ریاضی، رشت، ایران

[۳] استاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، گروه مدیریت، کرج، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۶، اصلاحیه: شهریور ۱۳۹۶، پذیرش: آذر ۱۳۹۶

چکیده

در مدل‌های قابل کنترل برای ارزیابی کارآیی تأمین‌کنندگان، فرض بر این است که همه‌ی معیارها قابل کنترل هستند؛ یعنی در کنترل مدیریت هر تأمین‌کننده هستند و به صلاحدید مدیر تغییر می‌کنند. این مدل‌ها انتخاب تأمین‌کنندگان را در شرایطی که برخی از عوامل غیرقابل کنترل هستند، در نظر نمی‌گیرند. در این مقاله، یک رویکرد مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برای انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان در حضور عوامل غیرقابل کنترل و داده‌های نادقیق ارائه می‌کنیم که همزمان دو دیدگاه خوشبینانه و بدبینانه را در نظر می‌گیرد. دیدگاه خوشبینانه تأمین‌کنندگان را با استفاده از کارآیی خوشبینانه ارزیابی می‌کند و می‌توان از آن برای شناسایی تأمین‌کنندگان کارآی خوشبینانه استفاده کرد، در حالی که دیدگاه بدبینانه تأمین‌کنندگان را بر اساس کارآیی بدبینانه ارزیابی می‌کند و می‌توان از آن برای شناسایی تأمین‌کنندگان ناکارآیی بدبینانه استفاده کرد. این کارآیی‌های متمایز در قالب کارآیی‌های متوسط هندسی با هم ادغام می‌شوند که سنجشی از عملکرد کلی هر تأمین‌کننده در معیارهای متعدد نسبت به سایر تأمین‌کنندگان رقیب موجود در همان بازار را نشان می‌دهند، و لذا می‌توان از این اندازه‌ها به‌عنوان مبنایی برای مقایسه‌ی تأمین‌کنندگان استفاده کرد. مشاهده می‌شود که کارآیی‌های متوسط هندسی قدرت افتراق بیشتری نسبت به هر کدام از کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه دارند. یک مثال عددی مزایا، قابلیت، و کاربردهای رویکرد DEAی پیشنهادی را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: *تحلیل پوششی داده‌ها؛ انتخاب تأمین‌کننده؛ بازه‌ی کارآیی خوشبینانه؛ بازه‌ی کارآیی بدبینانه؛ بازه‌ی کارآیی عملکرد کلی؛ رتبه‌بندی.*

۱- مقدمه

مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده مبتنی بر داده‌های اصلی با تأکید کمتر بر داده‌های ترتیبی هستند. لیکن با استفاده‌ی گسترده از فلسفه‌های تولید، مانند روش بهنگام، تأکید بیشتر به در نظر گرفتن همزمان داده‌های اصلی و ترتیبی در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده منتقل شده است. از سوی دیگر، مدل‌های قابل کنترل برای ارزیابی کارآیی تأمین‌کنندگان فرض می‌کنند که همه‌ی معیارها قابل کنترل هستند، یعنی در کنترل مدیریت هر تأمین‌کننده هستند و به صلاحدید مدیر تغییر می‌کنند. لذا ناتوانی یکی از تأمین‌کنندگان در تولید سطوح بیشینه‌ی خروجی با مصرف کمینه‌ی ورودی منجر به کاهش نمره‌ی کارآیی می‌شود. اما در موقعیت‌های واقعی، ممکن است معیارهای ثابت خارجی یا غیرقابل کنترل وجود داشته باشند که خارج از کنترل مدیریت هستند. بانکر[۱] و موری[۲] [۱]، در تحلیل شبکه‌ای از رستوران‌های فَست‌فود، تأثیر ورودی‌های تعیین شده‌ی خارجی را که قابل کنترل نیستند، نشان داده‌اند. در مطالعه‌ی آنها هرکدام از ۶۰ رستوران در زنجیره‌ی فست‌فود شش ورودی را مصرف و سه خروجی را تولید می‌کند. سه خروجی (که همگی قابل کنترل هستند) شامل فروش صبحانه، ناهار، و شام هستند. از ورودی‌ها فقط دو تا یعنی میزان هزینه برای تأمین‌کنندگان و میزان مخارج برای نیروی کار، قابل کنترل هستند. چهار ورودی دیگر (عمر فروشگاه، میزان تبلیغات، موقعیت روستایی/شهری، وجود/عدم وجود امکان تحویل غذا به داخل ماشین) خارج از کنترل مدیریت هر رستوران هستند. تحلیل آنها به روشنی ارزش در نظر گرفتن صریح ماهیت غیرقابل کنترل این ورودی‌ها در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های (DEA) مورد استفاده‌ی آنها را نشان می‌دهد؛ در نتیجه‌ی این کار، فرصت بسیار تقویت شده‌ای برای صرفه‌جویی در ورودی‌های قابل کنترل و افزایش هدفمند در خروجی‌ها به دست می‌آید. در مورد انتخاب تأمین‌کننده، فاصله و نوع تأمین‌کننده غالباً معیارهای غیرقابل کنترل محسوب می‌شوند.

وبر[۴] [۲] DEA را در ارزیابی تأمین‌کننده برای یک محصول مورد استفاده قرار

* hazizi@iaupmogan.ac.ir

1 . Banker
2 . Morey
4. Weber

داد و مزایای اعمال DEA بر چنین سیستمی را نشان داد. در مطالعه‌ی وبر[۲]، شش فروشنده که یک ماده‌ی اولیه را برای یک تولید کننده‌ی غذای کودک تأمین می‌کردند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. در صورتی که فروشندگان غیرکارآی DEA بتوانند کارآی DEA شوند، می‌توان به کاهش قابل توجه در هزینه، تأخیر ارسال و مواد اولیه‌ی غیرقابل قبول دست پیدا کرد.

هنگامی که تأمین‌کنندگان از نظر عملکرد کلی با هم مقایسه می‌شوند، باید یک ارزیابی تجمیعی از دیدگاه بنگاه خریدار انجام داد. این ارزیابی کلی عملکرد تأمین‌کنندگان باید مبتنی بر اندازه‌های عملکرد برای تمام انواع قطعات تأمین شده به شرکت خریدار باشد. یک استفاده‌ی بالقوه از ارزیابی عملکرد کلی تأمین‌کنندگان ارائه‌ی داده‌های محک‌زنی برای کاهش دادن تعداد تأمین‌کنندگان است که این به نوبه‌ی خود منجر به منافعی مانند کاهش هزینه‌ی قطعات و پردازش سفارش‌ها و شراکت بهتر با تأمین‌کنندگان می‌شود. این مقاله، فرآیند انتخاب تأمین‌کنندگان از طریق مدل‌های DEAی بازه‌ای به همراه عوامل غیرقابل کنترل را نشان می‌دهد. هدف این مقاله پیشنهاد اندازه‌های جدیدی از کارآیی برای انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان در حضور عوامل غیرقابل کنترل و داده‌های نادقیق است.

بقیه‌ی مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است:

قسمت ۲، مرور مقالات را در زمینه‌ی انتخاب و توجیه تأمین‌کنندگان نشان می‌دهد. قسمت ۳، DEA با مرزهای دوگانه را معرفی می‌کند، و مدل‌های آن را برای اندازه‌گیری کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه‌ی تأمین‌کنندگان بیان می‌کند، سپس تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای را مورد بحث قرار می‌دهد و نهایتاً، اندازه‌های کارآیی‌های متوسط هندسی را پیشنهاد می‌کند. قسمت ۴، کاربردی را برای نشان دادن سادگی و اثربخشی استفاده از DEA با مرزهای دوگانه برای انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه می‌کند. قسمت ۵، ملاحظات پایانی مقاله را بیان می‌کند.

۲- مرور مقالات

در گذشته از برخی از رویکردهای برنامه‌ریزی ریاضی برای انتخاب تأمین‌کنندگان استفاده شده است. زنگ[1] و همکاران[۳] یک مسئله‌ی ساده شده‌ی انتخاب شریک را در نظر گرفتند که فقط هزینه‌ی مناقصه، زمان تکمیل مناقصه‌ی زیرپروژه‌ها، و تاریخ تحویل پروژه را در نظر می‌گیرد. آنها مسئله را به صورت یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی صحیح غیرخطی مدل‌سازی کردند و اثبات کردند که مسئله‌ی تصمیم مسئله‌ی انتخاب شریک NP کامل است. سپس برخی از خصلت‌های مسئله‌ی انتخاب شریک را تحلیل کردند و یک آلگوریتم انشعاب و کران تشکیل دادند.

هاجیدیمیتریو[2] و جورجیو[3] [۴] یک مدل کمّی بر اساس تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی ارائه دادند که از معیارهای مناسب برای ارزیابی نامزدهای بالقوه استفاده می‌کند و به انتخاب شریک (تأمین‌کننده) بهینه منجر می‌شود. چبی[4] و بایراکتار[5][۵] یک مدل همبسته را برای انتخاب تأمین‌کننده پیشنهاد کردند. در مدل آنها، مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده به صورت یک مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و مسئله‌ی آرمانی لغوی (lexicographic) همبسته مدل‌سازی شده است که شامل عوامل متناقض کمی و کیفی است. کارپاک[6] و همکاران[۶] یکی از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم چندمعیاری «کاربرپسند»- برنامه‌ریزی آرمانی بصری تعاملی - را ارائه کرند. برنامه‌ریزی آرمانی بصری تعاملی، وارد کردن یک ناقل پشتیبان تصمیم را تسهیل می‌کند که به بهبود تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده کمک می‌کند. وانگ[7] و همکاران[۷]، برای برای در نظر گرفتن داده‌های اصلی و ترتیبی در انتخاب تأمین‌کننده، یک روش همبسته‌ی AHP و برنامه‌ریزی آرمانی ایجابی ابداع کردند.

با این حال، یکی از مشکلات برنامه‌ریزی آرمانی ناشی از یک شرط فنی خاص است. پس از آنکه مدیران خریدار، آرمان‌های مربوط به هر معیار انتخاب را مشخص کردند (مثلاً مقدار قیمت، سطح کیفیت، و غیره)، باید در مورد یک ترتیب ایجابی اولویت برای این آرمان‌ها تصمیم بگیرند؛ یعنی معین کنند که آرمان‌ها به چه ترتیبی باید محقق شوند. غالباً یک چنین ورودی قبلی ممکن است راه‌حل قابل قبولی نباشد، و ممکن است ساختار اولویت‌ها تغییر داده شود تا مسئله یک بار دیگر حل شود. به این طریق، می‌توان به صورت تکراری یک جواب ایجاد کرد تا بالاخره تصمیم گیرنده راضی شود. متأسفانه، تعداد تغییرات بالقوه‌ی ترتیب اولویت‌ها ممکن است بسیار زیاد باشد. یک مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده با پنج عامل حداکثر ۱۲۰ تغییر ترتیب اولویت دارد. انجام چنین فرآیند پرزحمتی بسیار پرهزینه و ناکارآ است.

شا[8] و چه[9][۸] یک رویکرد ریاضی چندمرحله‌ای به نام آلگوریتم ژنتیکی چندمرحله‌ای دورگه برای طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین ارائه کردند. از دیدگاه طراحی شبکه، مسائل مهم پیدا کردن شرکت‌های مناسب و باکیفیت و تصمیم‌گیری در مورد یک راهبرد مناسب تولید/توزیع است. این روش مبتنی بر روش‌های مختلفی است که از آلگوریتم‌های ژنتیکی، AHP، و نظریه‌ی بهره‌برداری چندشاخصی استفاده می‌کنند، تا به‌طور همزمان ترجیحات تأمین‌کنندگان و مشتریان را در هر سطح شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین بر آورده سازند. بایازیت[10][۹] بینش خوبی از فرآیند تحلیل شبکه ارائه کرد که یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصی است که برای ارزیابی مسایل انتخاب تأمین‌کننده به کار می‌رود. دالمین[11] و

1. Zeng
2. Hajidimitriou
3. Georgiou

4. Çebi
5. Bayraktar
6. Karpak
7. Wang
8. Sha
9. Che
10. Bayazit
11. Dulmin

مینینو[1][۱۰] پیشنهادی برای اعمال یک مدل تصمیم در فاز نهایی نمره‌دهی فروشنده در یک فرآیند انتخاب تأمین‌کننده ارائه کردند. مدل آنها از یک تکنیک کمک تصمیم چندشاخصی (PROMETHEE ۱ و ۲) استفاده می‌کند که دارای رویکرد تحلیل حساسیت با ابعاد بالا است. آنها سعی کردند توضیح دهند که یک روش رتبه‌بندی خارجی و تکنیک‌های PROMETHEE/GAIA ابزارهای قدرتمندی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها هستند و روابط بین معیارها یا تصمیم‌گیرندگان را تحلیل کردند. بهوتا[2] و حوق[3][۱۱] رویکردهای هزینه‌ی کل مالکیت و AHP را بررسی و مقایسه کردند. آنها نتیجه‌گیری کردند که هزینه‌ی کل مالکیت برای موقعیت‌هایی که هزینه اولویت بالایی دارد و داده‌های مفصل هزینه برای مقایسه در دسترس هستند، روش مناسب‌تری است. در مورد AHP، در مواردی که چندین آرمان وجود دارند و هزینه با آنکه ممکن است عامل مهمی باشد، ولی مهم‌ترین عامل محسوب نمی‌شود، برای حل و تصمیم‌گیری بین تأمین‌کنندگان روش مناسب‌تری محسوب می‌شود. با این حال، AHP دو نقطه‌ی ضعف اصلی دارد. اولاً ذهنی بودن AHP یک نقطه‌ی ضعف است. ثانیاً، AHP نمی‌تواند روابط بین معیارها را در مدل در بر بگیرد.

چن[4] و همکاران[۱۲] یک رویکرد تصمیم‌گیری فازی برای کار با مسئله‌ی مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده در سیستم زنجیره‌ی تأمین ارائه کردند. آنها از مقادیر زبان‌شناختی برای سنجش نمره‌ها و وزن معیارها استفاده کردند. نمرات زبان‌شناختی را می‌توان با اعداد فازی ذوزنقه‌ای یا مثلثی نشان داد. بعد یک مدل تصمیم‌گیری چندشاخصی سلسله‌مراتبی مبتنی بر نظریه‌ی مجموعه‌های فازی برای کار با مسایل انتخاب تأمین‌کننده در سیستم زنجیره‌ی تأمین پیشنهاد می‌شود. بر اساس مفهوم تکنیک ترجیح ترتیب بر مبنای شباهت به جواب ایده‌آل، یک ضریب نزدیکی تعریف می‌شود تا ترتیب رتبه‌ی همه‌ی تأمین‌کنندگان با محاسبه‌ی فاصله‌ی آنها تا جواب ایده‌آل مثبت فازی و جواب ایده‌آل منفی فازی به‌طور همان تعیین شود.

چوی[5] و همکاران[۱۳] یک ابزار مدیریت تأمین‌کننده‌ی هوشمند ارائه کردند که از استدلال مبتنی بر مورد (CBR) و تکنیک‌های شبکه‌ی عصبی برای انتخاب و محک‌زنی تأمین‌کنندگان استفاده می‌کند. چوی و لی[6][۱۴] یک ابزار عمومی هوشمند را با استفاده از تکنیک CBR برای برون‌سپاری به تأمین‌کنندگان و خودکارسازی فرآیند تصمیم‌گیری در هنگام انتخاب ارائه کردند. چوی و همکاران[۱۵] یک ابزار هوشمند مدیریت روابط تأمین‌کنندگان ارائه کردند که با تلفیق کردن سیستم مدیریت روابط مشتریان، سیستم نمره‌دهی تأمین‌کنندگان، و سیستم کدگذاری محصولات شرکت به کمک روش CBR، تأمین‌کنندگان مرجّح را در حین فرآیند توسعه‌ی محصول جدید انتخاب می‌کند. لاو[7] و همکاران[۱۶]، به‌منظور ایجاد یک چارچوب انعطاف‌پذیر دسترسی داده‌ها و انجام فعالیت انتخاب شریک، ترکیبی از پردازش تحلیلی آنلاین و CBR ارائه کردند.

لی و همکاران[۱۷] یک مدل انتخاب تأمین‌کننده‌ی باکیفیت را پیشنهاد کردند که برای حل مسایل انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره‌ی تأمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، برای انتخاب تأمین‌کننده، ابتدا عوامل مدیریت کیفیت در نظر گرفته می‌شوند، و سپس قیمت، ارسال، و غیره در نظر گرفته می‌شوند. لینن[8] و همکاران[۱۸] رویکرد جدیدی را برای انتخاب تأمین‌کننده با استفاده از نمودار شاخص قابلیت و مقایسه‌ی قیمت ارائه کردند. نمودار CPC شاخص قابلیت و اطلاعات قیمت چندین تأمین‌کننده را با هم تلفیق می‌کند و آنها را در یک نمودار واحد ارائه می‌کند تا مدیریت بتواند تصمیمات مربوط به انتخاب تأمین‌کننده را اتخاذ کند.

تمام مقالات فوق‌الذکر متکی بر انواع مختلف روش‌ها برای اختصاص وزن به اندازه‌های مختلف عملکرد هستند. مسئله‌ی اصلی مربوط به وزن‌های دلخواه، ذهنی بودن آنها است، و غالباً برای تصمیم‌گیرنده کار مشکلی است که به ترجیحات خود، اعداد دقیقی اختصاص بدهد. با افزایش تعداد معیارهای ترجیح، اختصاص اطلاعات وزن به آنها برای تصمیم‌گیرنده بسیار مشکل‌تر می‌شود. بنابراین، یک تکنیک ریاضی قوی‌تر که تقاضای زیاد و نیاز به اطلاعات بسیار دقیق از تصمیم گیرنده نداشته باشد، یعنی به جای وزن‌های عدد اصلی، از ترجیحات ترتیبی استفاده کند، می‌تواند فرآیند ارزیابی تأمین‌کننده را تقویت کند. برای این منظور، وبر[۲] نشان داد که از DEA چگونه می‌توان برای ارزیابی فروشندگان در مورد معیارهای متعدد استفاده کرد و مقادیر محک را مشخص کرد؛ که می‌توان از آنها برای این منظور استفاده کرد. وبر و همکاران[۱۹] رویکردی را با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفی و DEA برای ارزیابی تعداد فروشندگان جهت امور تدارکات ارائه کردند. در این رویکرد با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفی جواب‌های کمیت ترتیب فروشنده تعیین می‌شود (که به آنها سوپرفروشنده می‌گویند) و بعد کارآیی این سوپرفروشنده‌ها با معیارهای متعدد به کمک DEA تعیین می‌شود. اخیراً، برای انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان در حضور داده‌های اصلی و ترتیبی، فرضی‌پور صائن[۲۰، ۲۱] رویکرد جدیدی را ارائه کرد که مبتنی بر DEA است. با این حال، وی دیدگاه بدبینانه را در نظر نگرفته است.

۳- مدل‌های DEAی بازه‌ای برای اندازه‌گیری کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه

فرمول‌بندی‌های DEA که توسط چارنز[9] و همکاران[۲۲] پیشنهاد شده است و توسط بانکر و همکاران[۲۳] توسعه داده شده است، رویکردی

1. Mininno
2. Bhutta
3. Huq
4. Chen
5. Choy
6. Lee
7. Lau
8. Linn
9. Charnes

برای ارزیابی کارآیی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUها) است. عموماً فرض بر این است که این ارزیابی مبتنی بر مجموعه‌ای از عوامل ورودی و خروجی به صورت عدد اصلی (کمّی) است. اما در بسیاری از کاربردهای دنیای واقعی (خصوصاً مسایل انتخاب تأمین‌کننده)، باید وجود عوامل ترتیبی (کیفی) را نیز هنگام تصمیم‌گیری در مورد عملکرد یک DMU در نظر گرفت. خیلی از اوقات، وضعیت به این صورت است که برای عاملی مانند شهرت تأمین‌کننده در بهترین حالت تنها می‌توان یک رتبه‌بندی از DMUها از بهتر به بدتر بر اساس این صفت ارائه داد. ارائه‌ی یک اندازه‌ی کمی و دقیق‌تر از یک چنین عاملی عموماً در حال واقعی امکان‌پذیر نیست. در برخی از شرایط، اینگونه عوامل را می‌توان به صورت قانونی تبدیل به کمیّت کرد، ولی خیلی از اوقات کمّی‌سازی به صورت سطحی و بر اساس اجبار مدل صورت می‌گیرد. در موقعیت‌هایی مانند موقعیت شرح داده شده، داده‌های برخی عوامل مؤثر (ورودی‌ها و خروجی‌ها) به جای عددی با موقعیت‌های رتبه به صورت ترتیبی بهتر توضیح داده می‌شود. باز در این مورد می‌توان به مثال شهرت تأمین‌کننده اشاره کرد. در برخی از شرایط، اطلاعات موجود ممکن است امکان رتبه‌بندی کامل DMUها در مورد آن عامل را بدهد. بنابراین، داده‌ها ممکن است نادقیق باشد.

۳-۱- مدل‌های DEAی بازه‌ای برای اندازه‌گیری کارآیی‌های خوشبینانه‌ی DMUها

فرض کنید n DMU باید ارزیابی شوند. هر DMU m ورودی را برای تولید s خروجی مصرف می‌کند. به‌طور خاص، DMU_j مقادیر $X_j=\{x_{ij}\}$ از ورودی ($i=1,\ldots,m$) را مصرف می‌کند و مقادیر $Y_j=\{y_{rj}\}$ از خروجی ($r=1,\ldots,s$) را تولید می‌کند. بدون از دست رفتن کلیت موضوع، فرض می‌شود که همه‌ی داده‌های x_{ij} و y_{rj} ($i=1,\ldots,m$ ،$r=1,\ldots,s$، و $j=1,\ldots,n$) به علت وجود عدم اطمینان به‌طور دقیق قابل تعیین نیستند. فقط می‌دانیم که در درون کران‌های بالا و پایین تعیین شده به صورت $[x_{ij}^L,x_{ij}^U]$ و $[y_{rj}^L,y_{rj}^U]$ قرار دارند، که در اینجا $x_{ij}^L>0$ و $y_{rj}^L>0$.

برای کار کردن با چنین موقعیت نامطمئنی، وانگ و همکاران[۲۴] مدل‌های برنامه‌ریزی خطی زیر را برای به دست آوردن کران‌های بالا و پایین بازه‌ی کارآیی هر DMU ارائه کردند که کارآیی‌های خوشبینانه‌ی DMUها را اندازه‌گیری می‌کنند:

$$\begin{aligned}\max\ & \theta_o^U=\sum_{r=1}^{s}u_r y_{ro}^U\\ \text{s.t.}\ & \sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}^U-\sum_{i=1}^{m}v_i x_{ij}^L\le 0,\quad j=1,\ldots,n,\\ & \sum_{i=1}^{m}v_i x_{io}^L=1,\\ & u_r,v_i\ge\varepsilon,\quad r=1,\ldots,s;\quad i=1,\ldots,m.\end{aligned}\qquad(۱)$$

$$\begin{aligned}\max\ & \theta_o^L=\sum_{r=1}^{s}u_r y_{ro}^L\\ \text{s.t.}\ & \sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}^U-\sum_{i=1}^{m}v_i x_{ij}^L\le 0,\quad j=1,\ldots,n,\\ & \sum_{i=1}^{m}v_i x_{io}^U=1,\\ & u_r,v_i\ge\varepsilon,\quad r=1,\ldots,s;\quad i=1,\ldots,m.\end{aligned}\qquad(۲)$$

که در اینجا DMU_o نشان دهنده‌ی DMUی مورد ارزیابی است و v_i ($i=1,\ldots,m$) و u_r ($r=1,\ldots,s$) متغیرهای تصمیم‌گیری و ε بی‌نهایت کوچک غیرارشمیدسی است. θ_o^U و θ_o^L به ترتیب کارآیی‌های خوشبینانه تحت مطلوب‌ترین موقعیت و نامطلوب‌ترین موقعیت برای DMU_o می‌باشند. آنها بازه‌ی کارآیی خوشبینانه‌ی $[\theta_o^L,\theta_o^U]$ را تشکیل می‌دهند. اگر مجموعه‌ای از وزن‌های مثبت وجود داشته باشند که باعث شود $\theta_o^{U*}=1$، آنگاه DMU_o کارآی DEA یا کارآی خوشبینانه نامیده می‌شود؛ در غیر این صورت، به آن غیرکارآی DEA یا غیرکارآی خوشبینانه می‌گویند.

۳-۲- مدل‌های DEAی بازه‌ای برای اندازه‌گیری کارآیی‌های بدبینانه‌ی DMUها

چارچوب با ماهیت ورودی که مبتنی بر مجموعه‌ی نیازمندی ورودی و مرز ناکارآیی آن است، در صدد آن است که ضمن حفظ خروجی، حداکثر در حد فعلی، مقادیر ورودی را حتی‌الامکان افزایش دهد که بر این واقعیت تأکید می‌کند که سطح خروجی بدون تغییر می‌ماند و مقادیر ورودی به صورت متناسب افزایش داده می‌شوند، تا مرز تولید ناکارآ حاصل شود. برآورد کننده‌ی DEA برای مجموعه‌ی امکان تولید ناکارآ، اصطلاحاً کارآیی بدبینانه و یا بدترین کارآیی نسبی نامیده می‌شود. برای یک DMUی خاص، مثلاً DMU_o، کارآیی‌های بدبینانه را می‌توان از مدل‌های DEAی زیر محاسبه کرد[۲۵]:

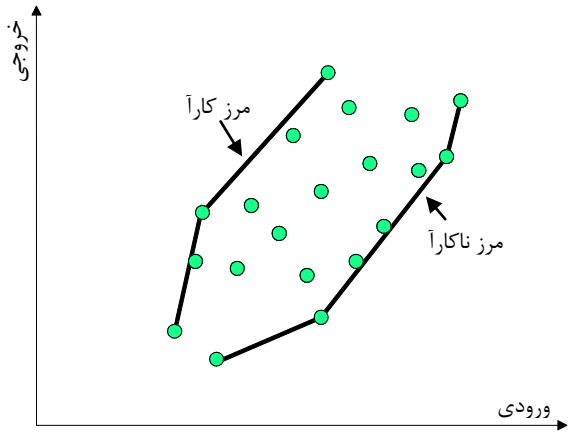
$$\begin{aligned}\min\ & \varphi_o^L=\sum_{r=1}^{s}u_r y_{ro}^L\\ \text{s.t.}\ & \sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}^L-\sum_{i=1}^{m}v_i x_{ij}^U\ge 0,\quad j=1,\ldots,n,\\ & \sum_{i=1}^{m}v_i x_{io}^U=1,\\ & u_r,v_i\ge\varepsilon,\quad r=1,\ldots,s;\quad i=1,\ldots,m.\end{aligned}\qquad(۳)$$

$$\begin{aligned}\min\ & \varphi_o^U=\sum_{r=1}^{s}u_r y_{ro}^U\\ \text{s.t.}\ & \sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}^L-\sum_{i=1}^{m}v_i x_{ij}^U\ge 0,\quad j=1,\ldots,n,\\ & \sum_{i=1}^{m}v_i x_{io}^L=1,\\ & u_r,v_i\ge\varepsilon,\quad r=1,\ldots,s;\quad i=1,\ldots,m.\end{aligned}\qquad(۴)$$

در مدل‌های (۳) و (۴)، φ_o^L کارآیی بدبینانه تحت نامطلوب‌ترین موقعیت و φ_o^U کارآیی بدبینانه تحت مطلوب‌ترین موقعیت برای DMU_o می‌باشند. آنها برای DMU_o بازه‌ی کارآیی بدبینانه‌ی $[\varphi_o^L,\varphi_o^U]$ را

ارائه می‌کنند. زمانی که مجموعه‌ای از وزن‌های مثبت وجود داشته باشند تا $\varphi_o^{L^*}=1$ را تأمین کند، می‌گوییم که DMU_o ناکارآی DEA یا ناکارآی بدبینانه است. در غیر این صورت، می‌گوییم که DMU_o غیرناکارآی DEA یا غیرناکارآی بدبینانه است.

دقت کنید که رویکرد DEAی متعارف اکیداً بین DMUهای غیرکارآی DEA و ناکارآی DEA افتراق نمی‌دهد و آنها را به یک معنا به کار می‌برد. اما در مدل‌های (۱)-(۴)، واحدهای غیرکارآی DEA، ناکارآی DEA، و غیرناکارآی DEA هر کدام مؤکداً افتراق داده می‌شوند، زیرا هر یک معنای خاصی دارند. واحدهای غیرکارآی DEA لزوماً نشان دهنده‌ی آن نیست که آنها ناکارآی DEA هستند. به همین ترتیب، واحدهای غیرناکارآی DEA نیز لزوماً کارآی DEA نیستند. مرزهای ناکارآ و کارآ با یک ورودی و یک خروجی، در شکل ۱ نشان داده شده است که از داده‌های مشاهده شده ساخته می‌شوند.



شکل(۱): مرزهای کارآ و ناکارآ برای یک ورودی و یک خروجی.

۳-۳- مدل‌های DEAی بازه‌ای برای متغیرهای غیرقابل کنترل

در بسیاری از کاربردهای DEA، برخی از متغیرهای ورودی ممکن است تحت کنترل مستقیم مدیریت قرار نداشته باشند. مثلاً در تحلیل DEA در مورد کارآیی شعبه‌های بانک، یک متغیر ورودی از قبیل هزینه‌های ثابت (اجاره، مواد مصرفی، و غیره) را بر خلاف هزینه‌هایی از قبیل کارکنان نمی‌توان به صورت متناسب کاهش داد. لذا ضروری است که متغیرهای *قابل کنترل* (کارکنان) از متغیرهای *غیرقابل* کنترل (هزینه‌های ثابت) افتراق داده شوند.

بانکر و موری[۱] اولین مدل DEAای را ارائه کردند که امکان ورودی‌های غیرقابل کنترل داشت، به این صورت که قیود ورودی را به صورتی تغییر دادند که امکان کاهش ورودی در مورد عامل ثابت نداشته باشد. فرض کنید I_D نشان دهنده‌ی زیرمجموعه‌ی ورودی‌ها $I=\{1,\ldots,m\}$ باشد که قابل کنترل هستند، و I_{ND} نشان دهنده‌ی ورودی‌های غیرقابل کنترل باشد. لذا داریم:

$$I=\{1,\ldots,m\}=I_D\cup I_{ND},\quad I_D\cap I_{ND}=\varnothing$$

که در اینجا $\varnothing$، مجموعه‌ی تهی است.

مدل DEAی بانکر و موری[۱] به صورت زیر است:

$$\begin{aligned}
&\max\ \theta_o=\textstyle\sum_{r=1}^{s}u_r y_{ro}-\sum_{i\in I_{ND}}v_i x_{io}\\
&\text{s.t.}\ \ \textstyle\sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}-\sum_{i\in I_{ND}}v_i x_{ij}-\sum_{i\in I_D}v_i x_{ij}\le 0,\quad j=1,\ldots,n, \qquad (۵)\\
&\qquad \textstyle\sum_{i\in I_D}v_i x_{io}=1,\\
&\qquad v_i\ge\varepsilon, i\in I_D;\quad v_i\ge 0, i\in I_{ND};\quad u_r\ge\varepsilon, r=1,\ldots,s.
\end{aligned}$$

مشاهده می‌شود که برای متغیرهای غیرقابل کنترل $i\in I_{ND}$، داریم $v_i\ge 0$ و نه $v_i\ge\varepsilon$. و بالاخره مدل‌های DEAی بازه‌ای خوشبینانه و بدبینانه که در آن هم داده‌های نادقیق و هم عوامل غیرقابل کنترل وجود دارند، به صورت زیر داده می‌شوند[۲۵]:

$$\begin{aligned}
&\max\ \theta_o^U=\sum_{r=1}^{s}u_r y_{ro}^U-\sum_{i\in I_{ND}}v_i x_{io}^L\\
&\text{s.t.}\ \ \sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}^U-\sum_{i\in I_{ND}}v_i x_{ij}^L-\sum_{i\in I_D}v_i x_{ij}^L\le 0,\quad j=1,\ldots,n, \qquad (۶)\\
&\qquad \sum_{i\in I_D}v_i x_{io}^L=1,\\
&\qquad v_i\ge\varepsilon, i\in I_D;\quad v_i\ge 0, i\in I_{ND};\quad u_r\ge\varepsilon, r=1,\ldots,s.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\max\ \theta_o^L=\sum_{r=1}^{s}u_r y_{ro}^L-\sum_{i\in I_{ND}}v_i x_{io}^U\\
&\text{s.t.}\ \ \sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}^U-\sum_{i\in I_{ND}}v_i x_{ij}^L-\sum_{i\in I_D}v_i x_{ij}^L\le 0,\quad j=1,\ldots,n, \qquad (۷)\\
&\qquad \sum_{i\in I_D}v_i x_{io}^U=1,\\
&\qquad v_i\ge\varepsilon, i\in I_D;\quad v_i\ge 0, i\in I_{ND};\quad u_r\ge\varepsilon, r=1,\ldots,s.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\min\ \varphi_o^L=\sum_{r=1}^{s}u_r y_{ro}^L-\sum_{i\in I_{ND}}v_i x_{io}^U\\
&\text{s.t.}\ \ \sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}^L-\sum_{i\in I_{ND}}v_i x_{ij}^U-\sum_{i\in I_D}v_i x_{ij}^U\ge 0,\quad j=1,\ldots,n, \qquad (۸)\\
&\qquad \sum_{i\in I_D}v_i x_{io}^U=1,\\
&\qquad v_i\ge\varepsilon, i\in I_D;\quad v_i\ge 0, i\in I_{ND};\quad u_r\ge\varepsilon, r=1,\ldots,s.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\min\ \varphi_o^U=\sum_{r=1}^{s}u_r y_{ro}^U-\sum_{i\in I_{ND}}v_i x_{io}^L\\
&\text{s.t.}\ \ \sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}^L-\sum_{i\in I_{ND}}v_i x_{ij}^U-\sum_{i\in I_D}v_i x_{ij}^U\ge 0,\quad j=1,\ldots,n, \qquad (۹)\\
&\qquad \sum_{i\in I_D}v_i x_{io}^L=1,\\
&\qquad v_i\ge\varepsilon, i\in I_D;\quad v_i\ge 0, i\in I_{ND};\quad u_r\ge\varepsilon, r=1,\ldots,s.
\end{aligned}$$

بنابراین، یک رویکرد یکنواخت برای رسیدگی به همه‌ی جنبه‌های داده‌های نادقیق و عوامل غیرقابل کنترل به صورت مستقیم ارائه می‌شود.

۳-۴- تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای

اکنون روش تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای را مورد بحث قرار می‌دهیم، تا بر این اساس، مدل‌های DEAی بازه‌ای خوشبینانه و بدبینانه را که در آن هم داده‌های نادقیق و هم عوامل غیرقابل کنترل وجود دارند، بتوان حتی در این موقعیت‌ها نیز مورد استفاده قرار داد[۲۴]. فرض کنید برخی داده‌های ورودی و/یا خروجی برای DMUها به صورت اطلاعات ترجیح ترتیبی داده شده‌اند. معمولاً ممکن است سه نوع اطلاعات ترجیح ترتیبی وجود داشته باشند: (۱) اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی، از قبیل $y_{rj} > y_{rk}$ و $x_{ij} > x_{ik}$، که می‌توان آنها را به صورت $y_{rj} \geq \chi_r y_{rk}$ و $x_{ij} \geq \eta_i x_{ik}$ بیان کرد، که در اینجا $\chi_r > 1$ و $\eta_i > 1$ پارامترهایی در مورد درجه‌ی شدت ترجیح هستند که توسط تصمیم گیرنده ارائه می‌شوند؛ (۲) اطلاعات ترجیح ترتیبی ضعیف، از قبیل $y_{rp} \geq y_{rq}$ یا $x_{ip} \geq x_{iq}$؛ (۳) رابطه‌ی بی‌تفاوتی از قبیل $y_{rl} = y_{rt}$ یا $x_{il} = x_{it}$. از آنجا که یک مدل DEA دارای خاصیت عدم تغییر نسبت به واحد است، استفاده از تبدیل مقیاس برای اطلاعات ترجیح ترتیبی تأثیری بر کارآیی DMUها ندارد. بنابراین، می‌توان یک تبدیل مقیاس را روی هر شاخص ورودی و خروجی انجام داد، به‌طوری که بهترین داده‌ی ترتیبی کمتر یا مساوی با واحد باشد، و بعد یک برآورد بازه‌ای برای هر داده‌ی ترتیبی ارائه داد.

حال تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی مثلاً درباره‌ی خروجی y_{rj} ($j = 1,\ldots,n$) را در نظر بگیرید. اطلاعات ترجیح ترتیبی درباره‌ی داده‌های ورودی و خروجی را می‌توان به همان ترتیب تبدیل کرد.

برای اطلاعات ترجیح ترتیبی ضعیف $y_{r1} \geq y_{r2} \geq \ldots \geq y_{rn}$، روابط ترتیبی زیر را پس از تبدیل مقیاس داریم:

$$1 \geq \hat{y}_{r1} \geq \hat{y}_{r2} \geq \ldots \geq \hat{y}_{rn} \geq \sigma_r$$

که در اینجا σ_r عدد مثبت کوچکی است که نشان دهنده‌ی نسبت مقدار کمینه‌ی ممکن $\{y_{rj} \mid j = 1,\ldots,n\}$ به مقدار بیشینه‌ی ممکن آن است. همچنین، تقریب آن را می‌تواند تصمیم گیرنده ارائه دهد. برای راحتی به این عدد پارامتر نسبت می‌گوییم. بازه‌ی مجاز به دست آمده برای هر $\hat{y}_{rj}$ به صورت زیر داده می‌شود:

$$\hat{y}_{rj} \in [\sigma_r, 1] \quad j = 1,\ldots,n$$

برای اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی $y_{r1} > y_{r2} > \ldots > y_{rn}$، روابط ترتیبی زیر برای تبدیل مقیاس وجود دارد:

$$1 \geq \hat{y}_{r1}; \quad \hat{y}_{rj} \geq \chi_r \hat{y}_{r,j+1}, \quad j = 1,\ldots,n-1; \quad \hat{y}_{rn} \geq \sigma_r$$

که در اینجا χ_r یک پارامتر شدت ترجیح است که در رابطه‌ی $\chi_r > 1$ ارائه شده توسط تصمیم‌گیرنده صدق می‌کند، و σ_r پارامتر نسبت است، که آن هم توسط تصمیم‌گیرنده ارائه شده است. بازه‌ی مجاز به دست آمده برای هر $\hat{y}_{rj}$ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\hat{y}_{rj} \in [\sigma_r \chi_r^{n-j}, \chi_r^{1-j}] \quad j = 1,\ldots,n \;:\; \sigma_r \leq \chi_r^{1-n}$$ با

و بالاخره برای رابطه‌ی بی‌تفاوتی، بازه‌های مجاز همان‌هایی هستند که برای اطلاعات ترجیح ترتیبی ضعیف به دست آمدند.

با استفاده از تبدیل مقیاس فوق و برآورد بازه‌های مجاز، تمام اطلاعات ترجیح ترتیبی تبدیل به داده‌های بازه‌ای می‌شود و لذا می‌توان آن را در مدل‌های DEAی بازه‌ای تلفیق کرد.

۳-۵- اندازه‌های عملکرد کلی

کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه از دیدگاه‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شوند که منجر به دو نمره‌دهی متفاوت برای تأمین‌کنندگان می‌شوند. لذا یک اندازه‌ی عملکرد کلی مورد نیاز است تا نمره‌ی کلی تأمین‌کنندگان به دست آید. در اینجا ما از اندازه‌ی میانگین هندسی که توسط وانگ و همکاران[۲۶] برای نمره‌دهی DMUها با داده‌های قطعی به صورت زیر پیشنهاد شده است، استفاده می‌کنیم:

$$\phi_j^* = \sqrt{\varphi_j^* \cdot \theta_j^*}, \quad j = 1,\ldots,n \qquad (۱۰)$$

که در اینجا θ_j^* و φ_j^* به ترتیب کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه‌ی DMU_j هستند. روشن است که اندازه‌ی میانگین هندسی تعریف شده در (۱۰)، بزرگی دو کارآیی را همزمان در نظر می‌گیرد.

فرض کنید $\theta_j^* = [\theta_j^{L^*}, \theta_j^{U^*}]$ و $\varphi_j^* = [\varphi_j^{L^*}, \varphi_j^{U^*}]$ به ترتیب بازه‌ی کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه‌ی DMU_j باشند. بر اساس قواعد عملیاتی روی داده‌های بازه‌ای، داریم[۲۷]:

$$\phi_j^* = \sqrt{[\theta_j^{L^*}, \theta_j^{U^*}] \times [\varphi_j^{L^*}, \varphi_j^{U^*}]} = \sqrt{[\theta_j^{L^*} \cdot \varphi_j^{L^*}, \theta_j^{U^*} \cdot \varphi_j^{U^*}]}$$
$$= \left[\sqrt{\theta_j^{L^*} \cdot \varphi_j^{L^*}}, \sqrt{\theta_j^{U^*} \cdot \varphi_j^{U^*}}\right], \quad j = 1,\ldots,n.$$

بدیهی است که ϕ_j^* ($j = 1,\ldots,n$) نیز باید یک عدد بازه‌ای باشد که آن را با $[\phi_j^{L^*}, \phi_j^{U^*}]$ ($j = 1,\ldots,n$) نشان می‌دهیم. در این صورت داریم:

$$\phi_j^{L^*} = \sqrt{\theta_j^{L^*} \cdot \varphi_j^{L^*}}, \quad j = 1,\ldots,n,$$
$$\phi_j^{U^*} = \sqrt{\theta_j^{U^*} \cdot \varphi_j^{U^*}}, \quad j = 1,\ldots,n. \qquad (۱۱)$$

برای راحتی، روشی را که عملکرد کلی هر تأمین‌کننده را نسبت به هر دو کارآیی خوشبینانه و بدبینانه تعیین می‌کند، روش DEA با مرزهای کارآ و ناکارآ می‌نامیم. مرز کارآیی مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان کارآی خوشبینانه را مشخص می‌کند که عملکرد نسبتاً خوبی دارند، در حالی که مرز ناکارآیی مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان ناکارآی بدبینانه را مشخص می‌کند که به نسبت، عملکرد ضعیف‌تری دارند. بهترین تأمین‌کننده را معمولاً می‌توان از میان تأمین‌کنندگان کارآی خوشبینانه انتخاب کرد. این را در قسمت بعد با مثال عددی نشان می‌دهیم.

از آنجا که نمره‌ی کارآیی نهایی هر تأمین‌کننده با یک بازه مشخص می‌شود، لذا یک رویکرد رتبه‌بندی ساده ولی عملی برای مقایسه و رتبه‌بندی کارآیی‌های تأمین‌کنندگان مورد نیاز است. برای رتبه‌بندی اعداد بازه‌ای قبلاً چند رویکرد توسعه داده شده‌اند، ولی همگی آنها معایبی دارند. خصوصاً وقتی که اعداد بازه‌ای مرکز یکسان ولی عرض‌های متفاوت دارند، همگی آنها از افتراق دادن این اعداد عاجز هستند. در ضمیمه‌ی A، ما رویکرد پشیمانی کمینه-بیشینه که توسط وانگ و همکاران[۲۴] توسعه یافته است را آورده‌ایم، و از آن برای مقایسه و رتبه‌بندی بازه‌ی کارآیی تأمین‌کنندگان استفاده می‌کنیم.

٤- یک مثال عددی

مجموعه‌ی داده‌ها برای این مثال از فرضی‌پور صائن[۲۱] گرفته شده است، و حاوی تعریف‌هایی در مورد ۱۸ تأمین‌کننده است. به‌طور خاص، این مثال نشان می‌دهد که داده‌های ترتیبی و کراندار، و نیز عوامل غیرقابل کنترل چگونه در مدل‌های DEAی بازه‌ای به صورت یک رویکرد متحد با هم تلفیق می‌شوند. در اینجا، ورودی ۱، *جمع هزینه‌ی ارسال‌ها* (x_{1j}) است؛ ورودی ۲، *مسافت* (x_{2j}) می‌باشد. مسافت عموماً یک متغیر ورودی غیرقابل کنترل محسوب می‌شود؛ ورودی ۳، *شهرت تأمین‌کننده* (x_{3j}) است که به‌عنوان یک ورودی کیفی گنجانده شده است؛ *تعداد صورتحساب‌های بدون خطای تأمین‌کننده* (y_{1j}) به‌عنوان یک خروجی داده‌ای کراندار در نظر گرفته شده است. شهرت تأمین‌کننده یک عامل نامحسوس است، یعنی معمولاً به‌طور صریح در مدل ارزیابی برای تأمین‌کننده گنجانده نمی‌شود. این متغیر کیفی با یک مقیاس ترتیبی اندازه‌گیری می‌شود، به‌طوری که برای نمونه، شهرت تأمین‌کننده‌ی ۱۸ بالاترین رتبه را دریافت کرده است، و تأمین‌کننده‌ی ۱۷ پایین‌ترین رتبه را دارا است. ستون دوم و سوم جدول ۱ ورودی‌ها و خروجی تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهند. در این مثال مقدار بی‌نهایت کوچک غیر ارشمیدسی $\varepsilon = 10^{-10}$ منظور شده است.

جدول(۱) : ورودی‌ها، خروجی و داده‌های ترتیبی تبدیل شده برای ۱۸ تأمین‌کننده

DMU	ورودی‌ها			خروجی	داده‌های ترتیبی تبدیل شده (برای x_{3j})
	x_{1j}	x_{2j}	x_{3j} [۱]	(y_{1j})	
۱	۲۵۳	۲۴۹	۵	[۵۰, ۶۵]	[۰٫۰۶۰۸, ۰٫۵۳۳۰]
۲	۲۶۸	۶۴۳	۱۰	[۶۰, ۷۰]	[۰٫۰۷۷۶, ۰٫۶۷۶۸]
۳	۲۵۹	۷۱۴	۳	[۴۰, ۵۰]	[۰٫۰۵۵۱, ۰٫۴۸۱۰]
۴	۱۸۰	۱۸۰۹	۶	[۱۰۰, ۱۶۰]	[۰٫۰۶۳۸, ۰٫۵۵۶۸]
۵	۲۵۷	۲۳۸	۴	[۴۵, ۵۵]	[۰٫۰۵۷۹, ۰٫۵۰۵۱]
۶	۲۴۸	۲۴۱	۲	[۸۵, ۱۱۵]	[۰٫۰۵۲۵, ۰٫۴۵۸۱]
۷	۲۷۲	۱۴۰۴	۸	[۷۰, ۹۵]	[۰٫۰۷۰۴, ۰٫۶۱۳۹]
۸	۳۳۰	۹۸۴	۱۱	[۱۰۰, ۱۸۰]	[۰٫۰۸۱۴, ۰٫۷۱۰۷]
۹	۳۲۷	۶۴۱	۹	[۹۰, ۱۲۰]	[۰٫۰۷۳۹, ۰٫۶۴۴۶]
۱۰	۳۳۰	۵۸۸	۷	[۵۰, ۸۰]	[۰٫۰۶۷۰, ۰٫۵۸۴۷]
۱۱	۳۲۱	۲۴۱	۱۶	[۲۵۰, ۳۰۰]	[۰٫۱۰۳۹, ۰٫۹۰۷۰]
۱۲	۳۲۹	۵۶۷	۱۴	[۱۰۰, ۱۵۰]	[۰٫۰۹۴۳, ۰٫۸۲۲۷]
۱۳	۲۸۱	۵۶۷	۱۵	[۸۰, ۱۲۰]	[۰٫۰۹۹۰, ۰٫۸۶۳۸]
۱۴	۳۰۹	۹۶۷	۱۳	[۲۰۰, ۳۵۰]	[۰٫۰۸۹۸, ۰٫۷۸۳۵]
۱۵	۲۹۱	۶۳۵	۱۲	[۴۰, ۵۵]	[۰٫۰۸۵۵, ۰٫۷۴۶۲]
۱۶	۳۳۴	۷۹۵	۱۷	[۷۵, ۸۵]	[۰٫۱۰۹۱, ۰٫۹۵۲۴]
۱۷	۲۴۹	۶۸۹	۱	[۹۰, ۱۸۰]	[۰٫۰۵۰۰, ۰٫۴۳۶۲]
۱۸	۲۱۶	۹۱۳	۱۸	[۹۰, ۱۵۰]	[۰٫۱۱۴۶, ۱٫۰۰۰۰]

[۱] رتبه‌بندی، به صورتی که ۱۸ ≡ بالاترین رتبه، ... ، ۱ ≡ پایین‌ترین رتبه ($x_{3,18} > x_{3,16} > \ldots > x_{3,17}$).

فرض کنید پارامتر شدت ترجیح و پارامتر نسبت درباره‌ی اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی به ترتیب به صورت $\eta_3 = 1.05$ و $\sigma_3 = 0.05$ داده (برآورد) شده‌اند. برای نشان دادن تکنیک تبدیل شرح داده شده در قسمت ۳.۴، برآورد بازه‌ای برای تأمین‌کننده‌ی شماره‌ی ۵ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{x}_{35} \in [\sigma_3 \eta_3^{n-j}, \eta_3^{1-j}] = [0.05(1.05)^{18-15}, 1.05^{1-15}]$$
$$= [0.0579, 0.5051]$$

برآورد بازه‌ای برای شهرت هر تأمین‌کننده در ستون چهارم جدول ۱ نشان داده شده است. بنابراین، همه‌ی داده‌های ورودی و خروجی اکنون تبدیل به اعداد بازه‌ای شده‌اند و می‌توان آنها را با مدل‌های DEAی بازه‌ای پیشنهادی ارزیابی کرد.

با اعمال مدل‌های DEAی بازه‌ای (۶) و (۷)، نمرات کارآیی خوشبینانه‌ی تأمین‌کنندگان را به‌دست می‌آوریم که در ستون دوم جدول ۲ نشان داده شده‌اند. با توجه به جدول ۲ می‌توان دریافت که دو تأمین‌کننده، یعنی تأمین‌کنندگان شماره‌ی ۱۱ و ۱۴ بر حسب مدل DEAی (۶)، کارآی DEA یا کارآی خوشبینانه می‌باشند. اگر آنها قادر باشند از ورودی کمینه برای تولید خروجی بیشینه استفاده کنند، کارآی خوشبینانه خواهند بود (کارآ از نظر مقیاس)؛ در غیر این صورت، غیرکارآی خوشبینانه خواهند

بود. شانزده تأمین‌کننده‌ی باقیمانده با نمرات کارآیی نسبی کمتر از یک غیرکارآی خوشبینانه دانسته می‌شوند. همچنین، با اعمال مدل‌های DEAی بازه‌ای (۸) و (۹)، نمرات کارآیی بدبینانه‌ی تأمین‌کنندگان را به دست می‌آوریم که در ستون سوم جدول ۲ نشان داده شده‌اند. از دیدگاه کارآیی بدبینانه، سه تأمین‌کننده یعنی تأمین‌کنندگان شماره‌ی ۳، ۷ و ۱۵ بر حسب مدل DEAی (۸)، ناکارآی DEA یا ناکارآی بدبینانه می‌باشند. اگر آنها از ورودی بیشینه برای تولید خروجی کمینه استفاده کنند، ناکارآی بدبینانه خواهند بود (ناکارآ از نظر مقیاس)؛ در غیر این صورت، غیرناکارآی بدبینانه خواهند بود. پانزده تأمین‌کننده‌ی باقیمانده با نمرات کارآیی نسبی بیشتر از یک غیرناکارآی بدبینانه دانسته می‌شوند. بعلاوه، نتایج به همراه بازه‌ی کارآیی عملکرد کلی ۱۸ تأمین‌کننده که با معادله‌های (۱۱) تعیین می‌شوند، در ستون چهارم جدول ۲ نشان داده شده‌اند. نهایتاً، برای مقایسه و رتبه‌بندی بازه‌ی کارآیی عملکرد کلی ۱۸ تأمین‌کننده، ما از رویکرد پشیمانی کمینه-بیشینه که توسط وانگ و همکاران[۲۴] توسعه یافته است، استفاده کردیم. ستون آخر جدول ۲، رتبه‌بندی ۱۸ تأمین‌کننده را بر اساس بازه‌ی کارآیی عملکرد کلی نشان می‌دهد. بنابراین، ارزیاب یا تصمیم گیرنده می‌تواند یک یا چند تا از تأمین‌کنندگانی که چند رتبه‌ی اول را دارا هستند انتخاب کند.

جدول(۲): ارزیابی ۱۸ تأمین‌کننده با استفاده از رویکرد DEA با مرزهای کارآ و ناکارآ

DMU	بازه‌ی کارآیی خوشبینانه ($[\theta_j^{L^*}, \theta_j^{U^*}]$)	بازه‌ی کارآیی بدبینانه ($[\varphi_j^{L^*}, \varphi_j^{U^*}]$)	بازه‌ی کارآیی عملکرد کلی ($[\phi_j^{L^*}, \phi_j^{U^*}]$)	رتبه
۱	[۰٫۱۷۴۵, ۰٫۲۷۴۳]	[۱٫۴۳۷۷, ۱٫۸۶۹۱]	[۰٫۵۰۰۹, ۰٫۷۱۶۰]	۱۴
۲	[۰٫۱۹۷۷, ۰٫۲۳۱۴]	[۱٫۶۲۸۷, ۱٫۹۰۰۲]	[۰٫۵۶۷۵, ۰٫۶۶۳۱]	۱۲
۳	[۰٫۱۳۶۳, ۰٫۲۳۲۸]	[۱٫۰۰۰۰, ۱٫۴۰۴۴]	[۰٫۳۶۹۲, ۰٫۵۷۱۸]	۱۷
۴	[۰٫۴۹۰۵, ۰٫۷۸۴۸]	[۲٫۴۱۰۱, ۶٫۴۶۶۷]	[۱٫۰۸۷۳, ۲٫۲۵۲۸]	۳
۵	[۰٫۱۵۴۶, ۰٫۲۴۳۷]	[۱٫۲۷۳۸, ۱٫۵۵۶۹]	[۰٫۴۴۳۷, ۰٫۶۱۶۰]	۱۶
۶	[۰٫۳۰۲۶, ۰٫۶۲۹۰]	[۲٫۴۹۳۴, ۳٫۳۷۳۵]	[۰٫۸۶۸۶, ۱٫۴۵۶۷]	۷
۷	[۰٫۲۲۷۲, ۰٫۳۴۶۲]	[۱٫۰۰۰۰, ۲٫۵۴۰۹]	[۰٫۴۷۶۷, ۰٫۹۳۷۹]	۱۱
۸	[۰٫۳۸۳۹, ۰٫۶۹۰۹]	[۲٫۶۲۴۹, ۵٫۶۹۳۵]	[۱٫۰۰۳۸, ۱٫۹۸۳۳]	۵
۹	[۰٫۲۴۳۰, ۰٫۴۱۶۶]	[۲٫۰۰۲۳, ۲٫۶۶۹۷]	[۰٫۶۹۷۶, ۱٫۰۵۴۶]	۹
۱۰	[۰٫۱۳۳۸, ۰٫۳۰۶۴]	[۱٫۱۰۲۳, ۱٫۷۶۳۶]	[۰٫۳۸۴۱, ۰٫۷۳۵۱]	۱۵
۱۱	[۰٫۸۲۱۴, ۱٫۰۰۰۰]	[۵٫۱۴۲۰, ۶٫۷۹۹۱]	[۲٫۰۵۵۱, ۲٫۶۰۷۵]	۱
۱۲	[۰٫۲۶۸۳, ۰٫۴۰۸۱]	[۲٫۲۱۱۲, ۳٫۳۱۶۹]	[۰٫۷۷۰۳, ۱٫۱۶۳۴]	۸
۱۳	[۰٫۲۵۱۳, ۰٫۳۷۷۰]	[۱٫۷۲۷۷, ۳٫۱۰۶۸]	[۰٫۶۵۸۹, ۱٫۰۸۲۳]	۱۰
۱۴	[۰٫۵۷۱۴, ۱٫۰۰۰۰]	[۴٫۷۰۸۷, ۸٫۲۴۰۳]	[۱٫۶۴۰۳, ۲٫۸۷۱۰]	۲
۱۵	[۰٫۱۲۱۴, ۰٫۱۶۶۹]	[۱٫۰۰۰۰, ۱٫۳۷۵۰]	[۰٫۳۴۸۴, ۰٫۴۷۹۱]	۱۸
۱۶	[۰٫۱۹۸۲, ۰٫۲۲۴۷]	[۱٫۴۶۹۱, ۱٫۸۵۱۴]	[۰٫۵۳۹۶, ۰٫۶۴۵۰]	۱۳
۱۷	[۰٫۳۱۹۱, ۰٫۹۲۳۷]	[۲٫۶۲۹۵, ۵٫۲۵۹۰]	[۰٫۹۱۶۰, ۲٫۲۰۴۰]	۴
۱۸	[۰٫۳۶۷۹, ۰٫۶۱۳۱]	[۱٫۶۷۹۰, ۵٫۰۵۲۱]	[۰٫۷۸۵۹, ۱٫۷۵۹۹]	۶

و بالاخره، آنچه در اینجا می‌خواهیم بر آن تأکید کنیم این است که هر نتیجه‌گیری ارزیابی که فقط یکی از این دو دیدگاه را در نظر بگیرد، بدون تردید یک‌طرفه، غیر واقع‌گرایانه و غیر متقاعد کننده خواهد بود. به‌عنوان مثال، تأمین‌کنندگان شماره‌ی ۱۴، ۱۱، ۱۷، ۴ و ۸ زمانی که در حالت بهترین فعالیت تولیدی هستند و از دیدگاه خوشبینانه ارزیابی می‌شوند (با مدل DEAی (۶))، از همه‌ی تأمین‌کنندگان دیگر عملکرد بهتری دارند، و به ترتیب در رتبه‌ی اول، اول، سوم، چهارم و پنجم قرار می‌گیرند. همچنین، زمانی که تأمین‌کنندگان شماره‌ی ۱۴، ۱۱، ۱۷، ۴ و ۸ در حالت بهترین فعالیت تولیدی هستند و از دیدگاه بدبینانه ارزیابی می‌شوند (با مدل DEAی (۹))، عملکرد آنها به ترتیب به صورت اول، دوم، پنجم، سوم و چهارم رتبه‌بندی می‌شود. این دو نتیجه‌ی ارزیابی مسلماً با یکدیگر تعارض دارند. یک مجموعه‌ی نمره‌دهی عملکرد باید مشتمل بر هر دوی آنها باشد. ارزیابی نتیجه‌گیری‌های حاصل از فقط یکی از آنها یک‌طرفه خواهد بود.

۵- ملاحظات پایانی

تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان از مجموعه‌ی گسترده‌ای از تأمین‌کنندگان یک مسئله‌ی بی‌ساختار، پیچیده و وقت‌گیر است. مرور مقالات به روشنی نشان می‌دهد که مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان یک فرآیند تصمیم‌گیری چندشاخصی است.

در مقاله‌ی حاضر، ما یک رویکرد DEA با مرزهای کارآ و ناکارآ را در شرایطی که هم عوامل غیرقابل کنترل و هم داده‌های نادقیق وجود دارند، برای انتخاب تأمین‌کنندگان معرفی کردیم. این روش می‌تواند بهترین تأمین‌کنندگان را به آسانی و به درستی بدون نیاز به تحمیل هیچگونه محدودیت وزنی‌ذهنی، شناسایی کند. همچنین، ما اندازه‌های کارآیی‌های متوسط هندسی را برای ارزیابی عملکرد کلی هر تأمین‌کننده پیشنهاد کردیم. کارآیی‌های متوسط هندسی اندازه‌های کارآیی‌های خوشبینانه و کارآیی‌های بدبینانه‌ی هر تأمین‌کننده را با هم ادغام می‌کنند، بنابراین، نسبت به هر کدام از این اندازه‌ها جامع‌تر هستند. نشان داده شد که اندازه‌های کارآیی‌های متوسط هندسی قدرت افتراق بیشتری نسبت به هر کدام از اندازه‌های کارآیی‌های خوشبینانه و کارآیی‌های بدبینانه دارند، و اینکه تأمین‌کنندگان کارآی خوشبینانه و ناکارآی بدبینانه و نیز مرزهای کارآیی و ناکارآیی را می‌توان به دقت با استفاده از اندازه‌های کارآیی‌های خوشبینانه و کارآیی‌های بدبینانه که دو بخش لاینفک اندازه‌های کارآیی‌های متوسط هندسی هستند، شناسایی کرد. انتظار می‌رود که رویکرد DEAی پیشنهادی می‌تواند نقش مهمی در انتخاب و توجیه تأمین‌کنندگان داشته باشد، و کاربردهای بیشتری در آینده داشته باشد.

و بالاخره، خاطرنشان می‌کنیم که کارآیی‌های خوشبینانه، بدبینانه و متوسط هندسی که در این مقاله ارائه کردیم، همگی مبتنی بر بازده به مقیاس ثابت هستند، ولی آنها را به بازده به مقیاس متغیر نیز می‌توان بسط داد. خوانندگان علاقه‌مند می‌توانند خودشان این مسئله را بررسی کنند.

ضمیمه‌ی A. رویکرد پشیمانی کمینه-بیشینه برای رتبه‌بندی اعداد بازه‌ای

رویکرد پشیمانی کمینه-بیشینه توسط وانگ و همکاران[۲۴] ایجاد شده است. این رویکرد ویژگی‌های جذابی دارد و می‌توان از آن برای مقایسه و رتبه‌بندی بازه‌های کارآیی تأمین‌کنندگان حتی در صورتی که دارای مرکز مساوی ولی عرض متفاوت باشند، استفاده کرد. این رویکرد را در زیر خلاصه می‌کنیم.

فرض کنید $A_i = [a_i^L, a_i^U] = \langle m(A_i), w(A_i) \rangle$ $(i = 1, \ldots, n)$ بازه‌های کارآیی n تأمین‌کننده باشند، که در اینجا $m(A_i) = \frac{1}{2}(a_i^U + a_i^L)$ و $w(A_i) = \frac{1}{2}(a_i^U - a_i^L)$ نقاط وسط و عرض‌های آنها هستند. بدون از دست رفتن عمومیت موضوع، فرض می‌کنیم که $A_i = [a_i^L, a_i^U]$ به‌عنوان بهترین بازه‌ی کارآیی انتخاب شده است. فرض کنید $b = \max_{j \neq i}\{a_j^U\}$. روشن است که اگر $a_i^L < b$، تصمیم گیرنده ممکن است دچار کاهش کارآیی شود و احساس پشیمانی کند. بیشینه‌ی اتلاف کارآیی که او ممکن است به آن دچار شود، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\max(r_i) = b - a_i^L = \max_{j \neq i}\{a_j^U\} - a_i^L$$

اگر $a_i^L \geq b$، تصمیم گیرنده قطعاً دچار هیچگونه اتلاف کارآیی نخواهد شد، و احساس پشیمانی نخواهد کرد. در این وضعیت، پشیمانی او صفر تعیین می‌شود، یعنی $r_i = 0$. با ترکیب دو موقعیت فوق، داریم:

$$\max(r_i) = \max\{\max_{j \neq i}(a_j^U) - a_i^L, 0\}$$

بنابراین، معیار پشیمانی کمینه-بیشینه، بازه‌ی کارآیی را که در شرط زیر صدق کند، به‌عنوان بهترین بازه‌ی کارآیی انتخاب خواهد کرد:

$$\min_i\{\max(r_i)\} = \min_i\{\max\{\max_{j \neq i}(a_j^U) - a_i^L, 0\}\}$$

بر اساس تحلیل فوق، وانگ و همکاران[۲۴] تعریف زیر را برای مقایسه و رتبه‌بندی کارآیی‌های بازه‌ای ارائه داده‌اند.

تعریف ۱: فرض کنید $A_i = [a_i^L, a_i^U] = \langle m(A_i), w(A_i) \rangle$ $(i = 1, \ldots, n)$ مجموعه‌ای از بازه‌های کارآیی باشد. بیشینه‌ی پشیمانی هر بازه‌ی کارآیی A_i به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R(A_i) = \max\{\max_{j \neq i}(a_j^U) - a_i^L, 0\}, \quad i = 1, \ldots, n$$

بازه‌ی کارآیی با کوچک‌ترین بیشینه‌ی اتلاف کارآیی، مطلوب‌ترین بازه‌ی کارآیی خواهد بود. برای رتبه‌بندی مجموعه‌ی بازه‌های کارآیی با استفاده از مقادیر اتلاف بیشینه‌ی کارآیی، وانگ و همکاران[۲۴] مراحل حذف کردن زیر را پیشنهاد کردند:

مرحله‌ی ۱: اتلاف بیشینه‌ی کارآیی هر بازه‌ی کارآیی را حساب کنید و مطلوب‌ترین بازه‌ی کارآیی را که کوچک‌ترین اتلاف بیشینه‌ی کارآیی را داشته باشد، انتخاب کنید. فرض کنید A_{i_1} انتخاب شده است که در اینجا $1 \leq i_1 \leq n$.

مرحله‌ی ۲: A_{i_1} را حذف کنید و دوباره اتلاف بیشینه‌ی کارآیی هر بازه‌ی کارآیی را حساب کنید و مطلوب‌ترین بازه‌ی کارآیی را برای $(n-1)$ بازه‌ی کارآیی باقیمانده تعیین کنید. فرض کنید A_{i_2} انتخاب شده است، که در اینجا $1 \leq i_2 \leq n$ ولی $i_2 \neq i_1$.

مرحله‌ی ۳: A_{i_2} را حذف کنید و دوباره اتلاف بیشینه‌ی کارآیی هر بازه‌ی کارآیی را حساب کنید و مطلوب‌ترین بازه‌ی کارآیی یعنی A_{i_3} را برای $(n-2)$ بازه‌ی کارآیی باقیمانده تعیین کنید.

مرحله‌ی ۴: فرآیند حذف فوق را تکرار کنید تا آنکه فقط یک بازه‌ی کارآیی A_{i_n} باقی بماند. رتبه‌بندی نهایی A_{i_1} f A_{i_2} f L f A_{i_n} است که در اینجا نماد" f "یعنی «برتر است از».

منابع و مأخذ

[1] Banker, R.D., Morey, R.C., (1986), **Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs, Operations Research**, 34(4), 513–521.

[2] Weber, C.A., (1996), **A data envelopment analysis approach to measuring vendor performance**, Supply Chain Management: An International Journal, 1(1), 28–39.

[3] Zeng, Z.B., Li, W., Zhu, W., (2006), **Partner selection with a due date constraint in virtual enterprises**, Applied Mathematics and Computation, 175(2), 1353–1365.

[4] Hajidimitriou, Y.A., Georgiou, A.C., (2002), **A goal programming model for partner selection decisions in international joint ventures**, European Journal of Operational Research, 138(3) (2002), 649–662.

[5] Çebi, F., Bayraktar, D., (2003), **An integrated approach for supplier selection**, Logistics Information Management, 16(6), 395–400.

[6] Karpak, B., Kumcu, E., Kasuganti, R.R., (2001), **Purchasing materials in the supply chain: Managing a multi-objective task**, European Journal of Purchasing & Supply Management, 7(3), 209–216.

[7] Wang, G., Huang, S.H., Dismukes, J.P., (2004), **Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision making methodology**, International Journal of Production Economics, 91(1), 1–15.

[8] Sha, D., Che, Z., (2006), **Supply chain network design: Partner selection and production/distribution planning using a systematic model**, Journal of the Operational Research Society, 57(1), 52–62.

[9] Bayazit, O., (2006), **Use of analytic network process in vendor selection decisions**, Benchmarking: An International Journal, 13(5), 566–579.

[10] Dulmin, R., Mininno, V., (2003), **Supplier Selection Using a Multi- Criteria Decision Aid Method**, Journal of Purchasing and Supply Management, 9(4), 177–187.

[11] Bhutta, K.S., Huq, F., (2002), **Supplier selection problem: A comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches**, Supply Chain Management: An International Journal, 7(3), 126–135.

[12] Chen, C.T., Lin, C.T., (2006), Huang, S.F., **A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management**, International Journal of Production Economics, 102(2), 289–301.

[13] Choy, K.L., Lee, W.B., Lo, V., (2002), **An intelligent supplier management tool for benchmarking suppliers in outsource manufacturing**, Expert Systems with Applications, 22(3), 213–224.

[14] Choy, K.L., Lee, W.B., (2003), **A generic supplier management tool for outsourcing manufacturing**, Supply Chain Management: An International Journal, 8(2), 140–154.

[15] Choy, K.L., Lee, W.B., Lo, V., (2004), **Development of a case**

based intelligent supplier relationship management system – linking supplier rating system and product coding system, Supply Chain Management: An International Journal, 9(1), 86–101.

[16] Lau, H.C.W., Lau, P.K.H., Fung, R.Y.K., Chan, F.T.S., Ip, R.W.L., (2005), **A virtual case benchmarking scheme for vendors' performance assessment**, Benchmarking: An International Journal, 12(1), 61–80.

[17] Lee, M,S,, Lee, Y.H., Jeong, C.S., (2003), **A high-quality-supplier selection model for supply chain management and ISO 9001 system**, Production Planning and Control, 14(3), 225–232.

[18] Linn, R.J., Tsung, F. Ellis, L.W.C., (2006), **Supplier selection based on process capability and price analysis**, Quality Engineering, 18(2), 122–130.

[19] Weber, C.A., Current, J., Desai, A., (2000), **An optimization approach to determining the number of vendors to employ**, Supply Chain Management: An International Journal, 5(2), 90–98.

[20] Farzipoor Saen, R., (2007),**Suppliers selection in the presence of both cardinal and ordinal data**, European Journal of Operational Research, 183(2), 741–747.

[21] Farzipoor Saen, R., (2009), **Supplier selection by the pair of nondiscretionary factors-imprecise data envelopment analysis models**, Journal of the Operational Research Society, 60(11), 1575–1582.

[22] Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978), **Measuring the efficiency of decision making units**, European Journal of Operational Research, 2(6), 429–444.

[23] Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., (1984), **Some methods for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis**, Management Science, 30(9), 1078–1092.

[24] Wang, Y.M., Greatbanks, R., Yang, J.B., (2005), **Interval efficiency assessment using data envelopment analysis**, Fuzzy Sets and Systems, 153(3), 347–370.

[25] Azizi, H., Ganjeh Ajirlu, H., (2011), **Measurement of the worst practice of decision-making units in the presence of non-discretionary factors and imprecise data**, Applied Mathematical Modelling, 35(9), 4149–4156.

[26] Wang, Y.M., Chin, K.S., Yang, J.B., (2007), **Measuring the performances of decision-making units using geometric average efficiency**, Journal of the Operational Research Society, 58(7), 929–937.

[27] Moore, R.E., (1979), **Method and Application of Interval Analysis**, SIAM, Philadelphia.