فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال هشتم / شماره ۲۵ / پاییز ۱۳۹۲

ارزیابی و انتخاب تأمین کننده به وسیله‌ی مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان: یک رویکرد DEA با مرزهای کارآ و ناکارآ

حسین عزیزی
کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد پارس‌آباد مغان
Email:hazizi@iaupmogan.ac.ir
اکبر جعفری شاعرلر
دانش آموخته دکتری تخصصی دانشگاه آزاد اسلامی واحد پارس‌آباد مغان

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۱ * تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۲

چکیده

به طور سنتی، مدل‌های ارزیابی و انتخاب تأمین کننده مبتنی بر داده‌های اصلی با تأکید کمتر بر روی داده‌های ترتیبی بوده‌اند. اما با استفاده‌ی گسترده از فلسفه‌های تولید، مانند تولید بهنگام، تأکید بیشتری بر لحاظ کردن همزمان داده‌های اصلی و ترتیبی در فرآیند انتخاب تأمین کننده می‌شود. کاربرد تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برای مسایل ارزیابی و انتخاب تأمین کننده مبتنی بر انعطاف‌پذیری کامل وزن‌ها است. با این حال، مشکل مجاز دانستن انعطاف‌پذیری کامل وزن‌ها آن است که مقادیر وزن به دست آمده با حل برنامه‌ی DEAی نامقید غالباً با نظرات قبلی یا اطلاعات موجود اضافی در تعارض است. هدف این مقاله پیشنهاد مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان برای ارزیابی و انتخاب بهترین تأمین کننده در حضور محدودیت‌های وزنی و داده‌های نادقیق است. این مقاله رویکرد جدیدی مبتنی بر «DEA با مرزهای کارآ و ناکارآ» را برای ارزیابی و انتخاب بهترین تأمین کننده در حضور محدودیت‌های وزنی و داده‌های نادقیق پیشنهاد می‌کند. در این رویکرد، همزمان کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه‌ی هر تأمین کننده در نظر گرفته می‌شوند. وقتی که قیود ناحیه‌ی اطمینان به مدل‌های خوشبینانه‌ی DEA بازه‌ای اضافه می‌شوند، نمرات بازه‌ی کارآیی محاسبه شده بدتر می‌شوند، و یک تأمین کننده که قبلاً به عنوان کارآی خوشبینانه تعیین شده بود، ممکن است غیرکارآی خوشبینانه شناخته شود. وقتی که قیود ناحیه‌ی اطمینان به مدل‌های بدبینانه‌ی DEAی بازه‌ای اضافه می‌شوند، نمرات بازه‌ی کارآیی محاسبه شده بهبود می‌یابند، و یک تأمین کننده که قبلاً به عنوان ناکارآی بدبینانه شناسایی می‌شد، ممکن است غیرناکارآی بدبینانه شناخته شود. در مقایسه با DEAی سنتی، رویکرد DEA با مرزهای کارآ و ناکارآ می‌تواند بهترین تأمین کننده را به درستی و به آسانی شناسایی کند. یک مثال عددی کاربرد رویکرد پیشنهادی را نشان می‌دهد..

کلمات کلیدی تحلیل پوششی داده‌ها؛ انتخاب تأمین کننده؛ ناحیه‌ی اطمینان؛ کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه؛ عملکرد کلی.

۱- مقدمه

انتخاب تأمین کننده فرآیندی است که بر اساس آن، تأمین کنندگان مرور، ارزیابی، و انتخاب می‌شوند تا تبدیل به بخشی از زنجیره‌ی تأمین شرکت شوند. شین و همکاران اظهار می‌دارند که چندین عامل مهم باعث جابجایی کنونی به منابع انفرادی یا کاهش تعداد تأمین کنندگان شده است (Shin, Collier, & Wilson, 2000). اولاً، منابع متعدد مانع از آن می‌شود که تأمین کنندگان از صرفه‌جویی مقیاس و بر اساس حجم سفارش و اثر منحنی یادگیری بهره‌مند شوند. ثانیاً، سیستم دارای تأمین کنندگان متعدد ممکن است نسبت به سیستم با تعداد تأمین کنندگان کمتر پرهزینه‌تر باشد. مثلاً مدیریت تعداد زیاد تأمین کنندگان برای یک مورد خاص، به طور مستقیم هزینه‌ها، از جمله نیروی کار و هزینه‌ی پردازش سفارش را برای مدیریت فهرست‌های موجودی با منابع متعدد، افزایش می‌دهد. در همین حال، منابع متعدد سطح کیفیت کلی را کاهش می‌دهد، زیرا تنوع بیشتری در کیفیت محصولات ورودی از تأمین کنندگان مختلف وجود دارد. ثالثاً، کاهش تعداد تأمین کنندگان به حذف عدم اطمینان در بین خریداران و تأمین کنندگان به علت فقدان ارتباط کمک می‌کند. رابعاً، رقابت جهانی بنگاه‌ها را وادار می‌کند که بهترین تأمین کنندگان را در دنیا شناسایی کنند.

یکی از مصارف تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)[1] در انتخاب تأمین کنندگان است. در فرمول‌بندی اصلی DEA، واحدهای تصمیم‌گیری (DMUهای)[2] مورد ارزیابی می‌تواند آزادانه وزن‌ها یا مقادیر اختصاص داده شده به ورودی‌ها و خروجی‌ها را به طریقی که کارآیی آنها را بیشینه‌سازی کند، مشروط بر آنکه این سیستم وزن‌ها برای همه‌ی DMUهای دیگر شدنی باشد، انتخاب کنند. این آزادی انتخاب DMU را در بهترین وضعیت ممکن نشان می‌دهد، و معادل این است که فرض کنیم که هیچ ورودی یا خروجی از ورودی‌ها یا خروجی‌های دیگر مهم‌تر نیست.

اختصاص آزادانه‌ی مقادیر ورودی–خروجی را خصوصاً در شناسایی ناکارآیی می‌توان یک مزیت دانست. اگر یک DMU (تأمین کننده) بتواند سیستم مقادیر خود را آزادانه انتخاب کند، و یک تأمین کننده‌ی دیگر با همین سیستم مقادیر نشان دهد که تأمین کننده‌ی اول کارآ نیست، آنگاه اظهار نظر قوی‌تری می‌توان کرد. مزایای انعطاف‌پذیری کامل در شناسایی ناکارآیی، در شناسایی کارآیی به عنوان عیب تلقی می‌شود. یک تأمین کننده‌ی کارآ ممکن است با اختصاص وزن صفر به ورودی‌ها و/یا خروجی‌هایی که در آنها عملکرد بدتری دارد، خود را کارآ کند. این امر ممکن است برای تصمیم گیرنده و نیز برای تحلیلگر قابل قبول نباشد، چرا که پس از صرف وقت زیاد برای انتخاب دقیق ورودی‌ها و خروجی‌ها، مشاهده می‌کند که برخی از آنها به طور کامل از سوی تأمین کنندگان مورد غفلت قرار می‌گیرند. تصمیم گیرندگان ممکن است در مسایل انتخاب تأمین کننده قضاوت‌های ارزش داشته باشند که می‌توان آنها را از قبل فرمول‌بندی کرد، و لذا باید در انتخاب تأمین کننده در نظر گرفته شود. این قضاوت‌های ارزش ممکن است منعکس کننده‌ی اطلاعات معلوم درباره‌ی چگونگی رفتار عوامل مورد استفاده‌ی تأمین کنندگان، و/یا باورهای «پذیرفته شده» یا ترجیحات درباره‌ی ارزش نسبی، ورودی‌ها، خروجی‌ها و حتی تأمین کنندگان باشد. مثلاً در مسایل عمومی انتخاب تأمین کننده، یک ورودی (قیمت مواد) معمولاً نسبت به ورودی‌های دیگر غالب است، و غفلت از این مسئله ممکن است سبب نتایج نادرست کارآیی شود. همچنین، ممکن است تأمین کنندگان خروجی‌هایی را تأمین کنند که نیازمند منابع بسیار بیشتری نسبت به خروجی‌های دیگر باشد، و این نرخ حاشیه‌ای جانشینی بین خروجی‌ها را باید هنگام انتخاب تأمین کننده در نظر داشت. برای اجتناب از مسئله‌ی تخصصی‌سازی آزاد (و غالباً نامطلوب)، وزن‌های ورودی و خروجی را باید در DEA مقید ساخت. از سوی دیگر، مدل‌های انتخاب تأمین کننده مبتنی بر داده‌های اصلی با تأکید کمتر بر روی داده‌های ترتیبی هستند. با این حال، با استفاده‌ی گسترده از فلسفه‌های تولید مانند تولید بهنگام[3]، تأکید به در نظر گرفتن همزمان داده‌های اصلی و ترتیبی در فرآیند انتخاب تأمین کننده منتقل شده است.

این مقاله مسئله‌ی انتخاب تأمین کننده را از طریق مدل‌های DEAی بازه‌ای بررسی می‌کند، که امکان الحاق ترجیحات تصمیم گیرنده را نیز فراهم می‌کند. هدف مقاله، پیشنهاد اندازه‌های جدیدی از کارآیی برای انتخاب تأمین کنندگان در حضور هم

[1] Data envelopment analysis (DEA)
[2] Decision-making units (DMUs)
[3] Just-in-time

محدودیت‌های وزنی و هم داده‌های نادقیق است.

در این قسمت مرور مقالات در زمینه‌ی انتخاب تأمین کنندگان صورت گرفته است. برای انتخاب تأمین کننده در گذشته از رویکردهای مختلفی استفاده شده است. پی و لو روشی را برای ارزیابی و انتخاب تأمین کننده بر اساس کیفیت، تحویل بموقع، قیمت، و خدمات ایجاد کردند (Pi & Low, 2006). این مدل، چهار معیار مذکور را از نظر کاهش کیفیت *Taguchi* ارزیابی می‌کند، و سپس از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[۴] برای ترکیب آنها در یک متغیر سراسری برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کند. بر اساس مدل پیشنهادی، می‌توان تأمین کنندگان را بر اساس اتلاف از کمتر به بیشتر رتبه‌بندی کرد، و سپس تأمین کننده‌ی دارای اتلاف کمتر را انتخاب کرد. نورالحق و کعنان تصمیم‌گیری کیفی تلفیقی مدل انتخاب تأمین کننده را با استفاده از AHP فازی با مدل ریاضی کمی برای زنجیره‌ی تأمین موجودی توزیعی با استفاده از آلگوریتم ژنتیکی برای محیط ساخت تا سفارش توسعه دادند (Noorul Haq & Kannan, 2006). مزیت پژوهش آنها آن است که از این مدل هم برای شاخص‌های کیفی و هم برای شاخص‌های کمی می‌توان استفاده کرد، یعنی مرحله‌ی اول مدل با انتخاب بهترین تأمین کننده سر و کار دارد، که در آن از شاخص کیفی استفاده می‌شود، و در مرحله‌ی دوم، از شاخص کمی برای حل مدل ریاضی استفاده می‌شود. قهرمان و همکاران از AHP فازی برای انتخاب بهترین تأمین کننده که بیشترین رضایت را برای معیار تعیین شده ایجاد می‌کند، استفاده کردند (Kahraman, Cebeci, & Ulukan, 2003). مدیران خرید یک تولید کننده مورد مصاحبه قرار گرفتند و مهم‌ترین معیارهای مورد نظر آنها در انتخاب تأمین کننده با استفاده از یک پرسشنامه مشخص شد. از AHP فازی برای مقایسه‌ی بنگاه‌های تأمین کننده استفاده شد.

به خاطر پیچیدگی فرآیند تصمیم‌گیری در امر انتخاب تأمین کننده، برخی از منابع متکی بر روال‌های خاصی برای اختصاص وزن به معیارهای مختلف عملکردی هستند (Noorul Haq & Kannan, 2006; Pi & Low, Kahraman et al., 2003 ; 2006). مشکل در اختصاص دلبخواه وزن‌ها این است که این اختصاص ماهیت ذهنی دارد، و غالباً برای تصمیم گیرنده بسیار دشوار است که اعداد را به درستی به ترجیحات اختصاص دهد. وقتی که تعداد معیارها زیادتر باشد، برای تصمیم گیرنده کار بسیار سختی است که اطلاعات وزنی را ارزیابی کند. لذا یک تکنیک قوی‌تر ریاضی که نیازی به اطلاعات زیاد و دقیق از طرف تصمیم گیرنده نداشته باشد، مثلاً به جای وزن‌های اصلی از ترجیحات ترتیبی استفاده کند، می‌تواند فرآیند ارزیابی تأمین کننده را بهبود بخشد. برای این منظور، وبر نشان داد که از DEA می‌توان برای ارزیابی فروشندگان در معیارهای متعدد استفاده کرد و مقادیر محک را به دست آورد، و سپس می‌توان از آن برای این کار استفاده کرد (Weber, 1996). آن مطالعه چگونگی پیاده‌سازی DEA برای این مقصود را جهت یک تولید کننده‌ی غذای بچه در یک محیط تولید بهنگام تشریح کرده است. وی نشان داد که کاربرد تکنیک DEA می‌تواند موجب صرفه‌جویی پولی و صرفه‌جویی‌های دیگر شود. وبر و همکاران نشان دادند که از دو تکنیک مدل‌سازی بهینه‌سازی، یعنی برنامه‌ریزی چندهدفی و DEA، می‌توان به همراه هم به عنوان ابزارهایی برای ارزیابی تأثیر تعداد تأمین کنندگان استفاده کرد (Weber, Current, & Desai, 2000). تکنیک مذکور توصیه می‌کند که جواب‌های کمیت سفارش فروشنده‌ها (که سوپرفروشنده نامیده می‌شوند) با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفی به دست آید، و بعد کارآیی این سوپرفروشنده‌ها در معیارهای متعدد با استفاده از DEA ارزیابی شود.

برالیا و پترونی روشی را بر اساس استفاده از کارآیی متقابل در DEA برای مسئله‌ی انتخاب تأمین کننده به منظور در نظر گرفتن هر دو نوع عوامل مشهود و نامشهود ایجاد کردند (Braglia & Petroni, 2000). این روش تأمین کنندگان را بر اساس عملکرد کلی آنها رتبه‌بندی می‌کند. کاربردی از این روش با استفاده از داده‌های مربوط به یک تولید کننده‌ی دستگاه‌های بطری‌پرکنی و بسته‌بندی معرفی شده است. این روش قادر بود یک تأمین کننده‌ی برتر را از میان ده تأمین کننده‌ی واجد شرایط انتخاب کند. کاربردهای دیگر این روش، امکان محک‌زنی تأمین کنندگان مختلف و شناسایی شکست‌های احتمالی آنها است. یکی از مزایای عمده‌ی استفاده از این روش آن است که این روش کاملاً عینی است، لذا نیاز به تعیین قبلی وزن‌ها ندارد.

برای ارزیابی عملکرد تجمیعی تأمین کنندگان، لیو و همکاران استفاده از DEA را پیشنهاد کردند (Liu, Ding, & Lall,

[4] Analytic hierarchy process (AHP)

2000). روش آنها بسط روش وبر است، و DEA را برای ارزیابی تأمین کننده جهت یک محصول منفرد مورد استفاده قرار می‌دهد (Weber, 1996). آنها یک مدل DEAی ساده شده را برای ارزیابی عملکرد کلی تأمین کنندگان با هدف کلی امکان کاهش تعداد تأمین کنندگان ارائه کردند. برای نشان دادن مفید بودن رویکرد پیشنهادی، یک مطالعه‌ی موردی نیز درباره‌ی استفاده از DEA برای کاهش تعداد تأمین کنندگان و بهبود عملکرد تأمین کنندگان نیز ارائه شد.

فورکر و مندز یک روش تحلیلی را برای محک‌زنی با استفاده از DEA ارائه کردند که می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند کارآترین تأمین کنندگان («بهترین عملکرد»)، تأمین کنندگانی در میان تأمین کنندگان کارآ که برنامه‌ی مدیریت کامل کیفیت آنها بیشترین کاربردپذیری را دارد (تأمین کنندگان «بهترین همتا[5]»)، و تأمین کنندگانی که روی مرز کارآیی نیستند، ولی می‌توانند با تقلید از تأمین کنندگان «بهترین همتا» به طرف آن حرکت کنند، را شناسایی کنند (Forker & Mendez, 2001). این تأمین کنندگان «بهترین همتا» آنهایی هستند که همتایان می‌توانند با کمترین زحمت از آنها تقلید کنند. این روش نتایج فوری برای مدیران دارد، چرا که یک مدیر خرید را قادر می‌سازد که تأمین کنندگانی را که بیشترین استفاده را از تلاش‌های توسعه‌ی تأمین کنندگان می‌برند، شناسایی کنند.

تالوری و سارکیس روی فرآیند ارزیابی عملکرد و نظارت بر تأمین کنندگان تمرکز کردند که به حفظ ارتباط مؤثر مشتری–تأمین کننده کمک می‌کند (Talluri & Sarkis, 2002). آنها سعی کردند توان افتراقی مدل BCC را که توسط بنکر و همکاران پیشنهاد شده است، بهبود بخشند (Banker, Charnes, & Cooper, 1984). مزایای مدل پیشنهادی نسبت به مدل استاندارد BCC در زمینه‌ی ارزیابی تأمین کننده نشان داده شده است. مطالعه‌ی آنها سه نتیجه در بر دارد. اولاً آنها یک مدل ارزیابی چندشاخصی جدید را برای ارزیابی عملکرد تأمین کننده با در نظر گرفتن معیارهای عملکردی مختلف اعمال کردند. ثانیاً، یک کاربرد پیشنهادی مدل بسط یافته‌ی آنها به عنوان ساز و کاری برای نظارت و کنترل عملکرد تأمین کنندگان معرفی شد، و به این ترتیب، امکان بهبود مداوم فرآیند را برای نیل به روابط کارآی مشتری–تأمین کننده فراهم ساخت. ثالثاً، آنها این تکنیک را به عنوان یک بسط روش‌شناختی جدید پژوهش‌های DEA از طریق بهبود قدرت افتراقی مدل موجود بازده به مقیاس متغیر معرفی کردند.

تالوری و همکاران برای انتخاب تأمین کنندگان مناسب، یک رویکرد DEAی مقید به شانس را در حضور معیارهای عملکردی نامطمئن متعدد پیشنهاد کردند (Talluri, Narasimhan, & Nair, 2006). آنها خطر تأمین را به عنوان خطر مرتبط با تغییرپذیری عملکرد تأمین کنندگان در نظر گرفتند، که تأثیرات مهمی بر تصمیمات انتخاب تأمین کننده دارد. همچنین، آنها نتایج DEAی مقید به شانس را با نتایج معین DEA مقایسه کردند و مفید بودن DEAی مقید به شانس را در فرآیند تصمیم‌گیری نشان دادند.

اخیراً فرضی‌پور صائن برای انتخاب بهترین تأمین کنندگان در حضور هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی، روشی را بر مبنای DEAی بازه‌ای پیشنهاد کرد (Farzipoor Saen, 2008). او یک مطالعه‌ی موردی ارائه کرد که حاوی مشخصات ۱۸ تأمین کننده است. این مثال شامل هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی است. همچنین، او محدودیت‌های وزنی را در نظر گرفته است. معذالک وی دیدگاه بدبینانه را در نظر نگرفته است.

تا جایی که مؤلفان اطلاع دارند، هیچگونه مقاله‌ای منتشر نشده است که انتخاب تأمین کننده را در شرایطی که هم محدودیت وزنی و هم داده‌های نادقیق حضور دارند، از هر دو دیدگاه خوشبینانه و بدبینانه بررسی کرده باشد.

۲- مواد و روش‌ها

در این قسمت مدل‌های DEAی بازه‌ای برای اندازه‌گیری کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه‌ی DMUها معرفی شده است. DEA که توسط چارنز و همکاران پیشنهاد شد (مدل CCR) و توسط بنکر و همکاران توسعه داده شد (مدل BCC)، رویکردی برای ارزیابی کارآیی DMUها است (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978Banker et al., 1984 ;). عموماً فرض می‌شود که این ارزیابی مبتنی بر مجموعه‌ای از عوامل ورودی و خروجی اصلی (کمی) است. اما در بسیاری از مسایل دنیای

[5] Peer

واقعی (خصوصاً در مسایل انتخاب تأمین کننده)، وجود عوامل ترتیبی (کیفی) را نیز باید در هنگام تصمیم‌گیری در مورد عملکرد یک DMU در نظر گرفت. خیلی از اوقات، عواملی مانند شهرت تأمین کننده وجود دارند که در مورد آن، حداکثر می‌توان DMUها را از بهتر به بدتر مرتب‌سازی کرد. قابلیت ارائه‌ی یک اندازه‌ی کمّی دقیق‌تر که معرف این عامل باشد، عموماً فراتر از محدوده‌ی امکانات واقعی است. در برخی مواقع، اینگونه عوامل را می‌توان به درستی اندازه‌گیری کرد، ولی خیلی از اوقات این اندازه‌گیری به صورت اجباری و سطحی بنا به ضرورت مدل‌سازی صورت می‌گیرد. در چنین موقعیت‌هایی، داده‌های برخی عوامل تأثیرگذار (ورودی‌ها و خروجی‌ها) ممکن است به صورت جایگاه‌های رتبه‌ای و ترتیبی بهتر از مقادیر عددی قابل نمایش باشد. باز به مسئله‌ی شهرت تأمین کننده توجه کنید: در برخی شرایط ممکن است بتوان تمام DMU ها را از این نظر به طور کامل رتبه‌بندی کرد. بنابراین، داده‌ها ممکن است نادقیق باشد.

از سوی دیگر، یک عیب جدی کاربردهای DEA در انتخاب تأمین کننده فقدان قضاوت مصرف کننده است، که امکان آزادی کامل را در هنگام تخصیص وزن به داده‌های ورودی و خروجی تأمین کنندگان مورد ارزیابی فراهم می‌کند. لذا ممکن است بر اثر وزن‌های ورودی و خروجی نامناسب، نمره‌ی کارآیی بیش از حد بالایی به یک تأمین کننده اختصاص داده شود. شاید بتوان گفت که متداول‌ترین روش در نظر گرفتن قضاوت‌های در مدل‌های DEA، منظور کردن محدودیت‌های وزنی است. محدودیت‌های وزنی امکان لحاظ کردن ترجیحات مدیریت را از طریق تعیین سطح اهمیت نسبی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مختلف فراهم می‌کند.

ایده‌ی تغییر دادن محاسبات DEA برای اجازه دادن حضور اطلاعات اضافی نخستین بار در سیاق کران‌های وزن عوامل در مسئله‌ی سمت مضربی DEA مطرح شد. این منجر به پیدایش مدل‌های نسبت مخروطی[۶] و ناحیه‌ی اطمینان[۷] شد (Charnes, Thompson, Langemeier, Lee, Lee, & Thrall, 1990Cooper, Wei, & Huang, 1989 ;). این دو مدل دامنه‌ی جواب‌های شدنی را در فضای مضارب مجازی مقید می‌کنند. محدودیت‌های وزنی را می‌توان مستقیماً بر وزن‌های DEA اعمال کرد، و یا بر حاصلضرب آن وزن‌ها در سطح ورودی یا خروجی متناظر اعمال کرد، که *ورودی مجازی* یا *خروجی مجازی* نامیده می‌شود. محدودیت‌های وزن‌های مجازی نخستین بار توسط ونگ و بیزلی پیشنهاد شد (Wong & Beasley, 1990). ساریکو و دایسون، هماهنگ با تامسون و همکاران، استفاده از نواحی اطمینان مجازی را پیشنهاد می‌کنند و اظهار می‌دارند که می‌توانند بر مشکلات نشدنی بودن و نیز تفسیر نمرات کارآیی و هدف فایق شوند، ضمن اینکه محاسن نمایش طبیعی ساختارهای مرجع را نیز حفظ می‌کنند (Sarrico & Dyson, 2004; Thompson et al., 1990).

تا جایی که مؤلفان اطلاع دارند، تنها مقاله‌هایی که درباره‌ی DEAی نادقیق با ناحیه‌ی اطمینان بحث کرده‌اند، کارهای کوپر و همکاران هستند (Cooper, Park, & Yu, 1999, 2001a, 2001b). در این مقاله‌ها، مدل DEAی نادقیق با ناحیه‌ی اطمینان توسعه داده شده است تا هم با داده‌های نادقیق و داده‌های اصلی و هم با محدودیت‌های وزنی کار کند. اخیراً، وانگ و همکاران زوج جدیدی از مدل‌های DEA را برای کار با داده‌های نادقیق از قبیل داده‌های بازه‌ای، اطلاعات ترجیح ترتیبی، داده‌های فازی، و مخلوط آنها ابداع کردند (Wang, Greatbanks, & Yang, 2005). در مقایسه با مدل DEAی نادقیق ابداع شده توسط کوپر و همکاران، مدل‌های DEAی بازه‌ای آنها قابل فهم‌تر و راحت‌تر هستند (Cooper et al., 1999, 2001a, 2001b). همچنین، در مقایسه با مدل‌های DEAی بازه‌ای ابداع شده توسط دسپوتیس و اسمیرلیس، مدل‌های DEAی بازه‌ای آنها از یک مرز تولید ثابت و یکپارچه به عنوان محک برای اندازه‌گیری کارآیی همه‌ی DMUها استفاده می‌کنند، که سبب می‌شود که مدل‌های آنها عقلانی‌تر و قابل اعتمادتر باشند (Despotis & Smirlis, 2002). به علاوه، کار کردن آنها با اطلاعات ترجیح ترتیبی نیز معقول‌تر از روش ژو است (Zhu, 2003). با این حال، وانگ و همکاران محدودیت‌های وزنی را در نظر نگرفته‌اند (Wang et al., 2005).

در ادامه، مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان پیشنهاد می‌شود که می‌تواند بر نقایص فوق‌الذکر غلبه کند، تا

[6] Cone-ratio
[7] Assurance region

انعطاف‌پذیری تأمین کنندگان (DMUها) در انتخاب وزن‌ها را در شرایطی که داده‌های ترتیبی و اصلی وجود دارند، محدود کند. فرض کنید n DMU باید ارزیابی شوند. هر DMU m ورودی را مصرف و s خروجی را تولید می‌کند. به طور خاص، DMU $_j$ مقادیر $X_j=\{x_{ij}\}$ از ورودی‌ها $(i=1,\ldots,m)$ را مصرف و مقادیر $Y_j=\{y_{rj}\}$ از خروجی‌ها $(r=1,\ldots,s)$ را تولید می‌کند. بدون از دست رفتن کلیت، فرض می‌شود که همه‌ی داده‌های ورودی و خروجی x_{ij} و y_{rj} $(i=1,\ldots,m$؛ $r=1,\ldots,s$؛ $j=1,\ldots,n)$ را به علت وجود عدم اطمینان نمی‌توان به صورت دقیق به دست آورد. همین قدر می‌دانیم که آنها در محدوده‌ی کران‌های بالا و پایین مشخص شده با بازه‌های $[x_{ij}^L,x_{ij}^U]$ و $[y_{rj}^L,y_{rj}^U]$ قرار دارند، که در اینجا $x_{ij}^L>0$ و $y_{rj}^L>0$.

برای کار با چنین وضعیت نامطمئنی، زوج مدل‌های برنامه‌ریزی خطی (LP)[8] زیر ایجاد شده‌اند تا کران‌های بالا و پایین بازه‌ی کارآیی خوشبینانه‌ی هر DMU را تولید کنند (Wang et al., 2005):

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

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

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 کوچکِ 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.

حال، برای نشان دادن اینکه از اطلاعات به دست آمده از سنجش‌های مدیریتی در مدل چگونه استفاده می‌شود، زوج جدید مدل DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان را ارائه می‌کنیم. مشخصات ناحیه‌ی اطمینان به صورت پیش‌بینی شده تحت تأثیر داده‌های قیمت/هزینه، عقیده‌ی کارشناسان، و ملاحظات دیگر قرار می‌گیرد. نکته‌ای که باید در نظر گرفته شود، آن است که در مدل‌های (۱) و (۲)، $u_r,v_i\ge\varepsilon$ $(\forall r,i)$ را می‌توان به عنوان نمونه‌هایی از ناحیه‌ی اطمینان تلقی کرد. اما اگر بتوان اینها را به دست آورد، کران‌های ناحیه‌ی اطمینان به صورت واقع‌گرایانه‌تری شناسایی می‌شود. مقادیر مذکور به صورت زیر نشان داده می‌شوند:

$$\left.\begin{aligned}\mathbf{u}=(u_r)\in\mathscr{U}\\ \mathbf{v}=(v_i)\in\mathscr{V}\end{aligned}\right\}\qquad(۳)$$

بردارهای $\boldsymbol{u}$ و $\boldsymbol{v}$ حاوی متغیرهای جزء u_r و v_i هستند، که باید مقادیری به آنها اختصاص داده شود که مقید در درون کران‌های ناحیه‌ی اطمینان هستند که به ترتیب به وسیله‌ی مجموعه‌های $\mathscr{U}$ و $\mathscr{V}$ مشخص می‌شوند.

برای اینکه این نکته ملموس‌تر شود، مجموعه‌ی $\mathscr{U}$ به طور صریح در زیر نشان داده می‌شود:

[8] linear programming

$$\alpha_r^L \le \frac{u_r}{u_{r+1}} \le \alpha_r^U \qquad (۴)$$

که در اینجا α_r^L و α_r^U نشان دهنده‌ی کران‌های پایین و بالای نسبت مقادیر u_r و u_{r+1} مرتبط با خروجی‌های r و $r+1$ برای DMU_j هستند. همچنین، شایان توجه است که رابطه‌ی (۳) را می‌توان در مدل‌های (۱) و (۲) به جای $u_r, v_i \ge \varepsilon, \forall r, i$ وارد کرد. به این صورت بسطی به دست می‌آید که زوج مدل DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان نامیده می‌شود. مسئله‌ی LP برای مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان در نهایت، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned}
&\max \ \theta_o^U = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^U \\
&\text{s.t.} \ \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^U - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^L \le 0, \quad j = 1,\dots,n, \\
&\quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^L = 1, \\
&\quad (u_r) \in \mathscr{U}, \\
&\quad (v_i) \in \mathscr{V}, \\
&\quad u_r, v_i \ge \varepsilon, \quad r = 1,\dots,s; \quad i = 1,\dots,m. \\
&\max \ \theta_o^L = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^L \\
&\text{s.t.} \ \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^U - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^L \le 0, \quad j = 1,\dots,n, \\
&\quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^U = 1, \\
&\quad (u_r) \in \mathscr{U}, \\
&\quad (v_i) \in \mathscr{V}, \\
&\quad u_r, v_i \ge \varepsilon, \quad r = 1,\dots,s; \quad i = 1,\dots,m.
\end{aligned} \qquad (۵) \qquad (۶)$$

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 (Azizi & Ganjeh Ajirlu, 2011):

$$\begin{aligned}
&\min \ \varphi_o^L = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^L \\
&\text{s.t.} \ \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^L - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^U \ge 0, \quad j = 1,\dots,n, \\
&\quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^U = 1, \\
&\quad u_r, v_i \ge \varepsilon, \quad r = 1,\dots,s; \quad i = 1,\dots,m. \\
&\min \ \varphi_o^U = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^U \\
&\text{s.t.} \ \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^L - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^U \ge 0, \quad j = 1,\dots,n, \\
&\quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^L = 1, \\
&\quad u_r, v_i \ge \varepsilon, \quad r = 1,\dots,s; \quad i = 1,\dots,m.
\end{aligned} \qquad (۷) \qquad (۸)$$

در مدل‌های (۷) و (۸)، 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.

و بالاخره، برای اندازه‌گیری کارآیی‌های بدبینانه‌ی DMUها، مسئله‌ی LP برای مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان، به صورت زیر به دست می‌آید:

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

$$
\begin{aligned}
\min \quad & \varphi_o^U = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^U \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^L - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^U \geq 0, \quad j = 1,\ldots,n, \\
& \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^L = 1, \\
& (u_r) \in \mathscr{U}, \\
& (v_i) \in \mathscr{V}, \\
& u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1,\ldots,s; \quad i = 1,\ldots,m.
\end{aligned}
\qquad (۱۰)
$$

حال درباره‌ی روش تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای بحث می‌کنیم، به طوری که مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان در این موقعیت‌ها نیز به درستی کار کنند (Wang et al., 2005).

فرض کنید داده‌های ورودی و خروجی برای DMUها به صورت اطلاعات ترجیح ترتیبی داده شده است. معمولاً سه نوع اطلاعات ترجیح ترتیبی وجود دارد: (۱) اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی، از قبیل $y_{rj} > y_{rk}$ یا $x_{ij} > x_{ik}$، که می‌توان آن را به صورت $y_{rj} \geq \chi_r y_{rk}$ یا $x_{ij} \geq \eta_i x_{ik}$ بیان کرد، که $\chi_r > 1$ و $\eta_i > 1$ پارامترهای درجه‌ی شدت ترجیح هستند که توسط تصمیم گیرنده ارائه می‌شوند؛ (۲) اطلاعات ترجیح ترتیبی ضعیف، از قبیل $y_{rp} \geq y_{rq}$ یا $x_{ip} \geq x_{iq}$؛ و (۳) رابطه‌ی بی‌تفاوتی، مانند $y_{rl} = y_{rt}$ یا $x_{il} = x_{it}$. از آنجا که مدل DEA دارای خاصیت تغییرناپذیری نسبت به واحد است، لذا استفاده از تبدیل مقیاس برای اطلاعات ترجیح ترتیبی، رابطه‌ی ترتیبی اولیه را به هم نمی‌زند، و تأثیری بر کارآیی‌های DEA نخواهد داشت. بنابراین، می‌توان برای هر شاخص ورودی و خروجی ترتیبی یک تبدیل مقیاس انجام داد، به طوری که بهترین داده‌ی ترتیبی آن کمتر یا مساوی واحد باشد، و بعد می‌توان یک برآورد بازه‌ای برای هر داده‌ی ترتیبی ارائه کرد.

اکنون تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی درباره‌ی خروجی y_{rj} $(j = 1,\ldots,n)$ را به عنوان یک مثال در نظر بگیرید. اطلاعات ترجیح ترتیبی درباره‌ی ورودی و دیگر داده‌های خروجی را نیز به همین ترتیب می‌توان تبدیل کرد.

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

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

که در اینجا σ_r عدد مثبت کوچکی است که منعکس کننده‌ی نسبت کمینه‌ی ممکن $\{y_{rj} \mid j = 1,\ldots,n\}$ به بیشینه‌ی ممکن آن است. مقدار آن به صورت تقریبی توسط تصمیم گیرنده برآورد می‌شود. بازه‌ی مجاز حاصله برای هر $\hat{y}_{rj}$، به صورت زیر داده می‌شود:

$$\hat{y}_{rj} \in [\sigma_r, 1] \quad j = 1, \ldots, n \qquad (۱۱)$$

برای اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی، $y_{r1} > y_{r2} > \cdots > y_m$، رابطه‌ی ترتیبی زیر پس از تبدیل مقیاس وجود دارد:

$$1 \geq \hat{y}_{r1} \quad \hat{y}_{rj} \geq \chi_r \hat{y}_{r,j+1} (j = 1, \ldots, n-1) \quad \hat{y}_m \geq \sigma_r \qquad (۱۲)$$

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

$$\hat{y}_{rj} \in [\sigma_r \chi_r^{n-j}, \chi_r^{1-j}] \quad j = 1, \ldots, n \quad \sigma_r \leq \chi_r^{1-n} \text{ با} \qquad (۱۳)$$

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

از طریق تبدیل مقیاس فوق و برآورد بازه‌های مجاز، تمام اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای تبدیل می‌شود و لذا می‌توان آن را در مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان (۵)، (۶)، (۹) و (۱۰) الحاق کرد.

در این قسمت اندازه‌های عملکرد کلی معرفی شده است. کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه از دیدگاه‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شوند، که منجر به دو نمره‌دهی متفاوت برای تأمین کنندگان می‌شوند. لذا یک اندازه‌ی عملکرد کلی مورد نیاز است تا نمره‌ی کلی تأمین کنندگان به دست آید. در اینجا، ما از اندازه‌ی میانگین هندسی که توسط وانگ و همکاران برای نمره‌دهی DMUها با داده‌های قطعی به صورت زیر پیشنهاد شده است، استفاده می‌کنیم (Wang, Chin, & Yang, 2007):

$$\phi_j = \sqrt{\varphi_j^* \cdot \theta_j^*}, \quad j = 1, \ldots, n \qquad (۱۴)$$

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 (۱۴)، بزرگی دو کارآیی را همزمان در نظر می‌گیرد.

فرض کنید $[\theta_j^{L^*}, \theta_j^{U^*}] = \theta_j^*$ و $[\varphi_j^{L^*}, \varphi_j^{U^*}] = \varphi_j^*$ به ترتیب بازه‌ی کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه‌ی DMU_j باشند. بر اساس قواعد عملیاتی روی داده‌های بازه‌ای، داریم (Moore & Bierbaum, 1979):

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

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:

$$\begin{aligned} \phi_j^L &= \sqrt{\theta_j^{L^*} \cdot \varphi_j^{L^*}}, \quad j = 1, \ldots, n, \\ \phi_j^U &= \sqrt{\theta_j^{U^*} \cdot \varphi_j^{U^*}}, \quad j = 1, \ldots, n. \end{aligned} \qquad (۱۵)$$

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

از آنجا که نمره‌ی کارآیی نهایی هر تأمین کننده با یک بازه مشخص می‌شود، لذا یک رویکرد رتبه‌بندی ساده ولی عملی برای مقایسه و رتبه‌بندی کارآیی‌های تأمین کنندگان مورد نیاز است. برای رتبه‌بندی اعداد بازه‌ای قبلاً چند رویکرد توسعه داده شده‌اند، ولی همگی آنها معایبی دارند (Sengupta & Pal, 2000). خصوصاً وقتی که اعداد بازه‌ای مرکز یکسان ولی عرض‌های متفاوت دارند، همگی آنها از افتراق دادن این اعداد عاجز هستند. در ادامه، ما «رویکرد مبتنی بر پشیمانی کمینه-بیشینه»

(MRA) که توسط وانگ و همکاران توسعه یافته است را آورده‌ایم، و از آن برای مقایسه و رتبه‌بندی بازه‌های کارآیی تأمین کنندگان استفاده می‌کنیم (Wang et al., 2005).

در این قسمت رویکرد مبتنی بر پشیمانی کمینه–بیشینه برای رتبه‌بندی اعداد بازه‌ای معرفی شده است. رویکرد پشیمانی کمینه–بیشینه توسط وانگ و همکاران ایجاد شده است (Wang et al., 2005). این رویکرد ویژگی‌های جذابی دارد، و می‌توان از آن برای مقایسه و رتبه‌بندی بازه‌های کارآیی تأمین کنندگان 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 تأمین کننده 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 $A_i = [a_i^L, a_i^U]$ به عنوان 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، به عنوان 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 تعریف زیر را برای مقایسه و رتبه‌بندی کارآیی‌های بازه‌ای ارائه داده‌اند (Wang et al., 2005).

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 مراحل حذف کردن زیر را پیشنهاد کردند (Wang et al., 2005):

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 $A_{i_1} \succ A_{i_2} \succ \cdots \succ A_{i_n}$ است، که در اینجا نماد "$\succ$" یعنی «برتر است از».

مثال ۱: مجموعه‌ی داده‌ها برای این مثال از تالوری و بیکر گرفته شده است، و حاوی مشخصات ۱۸ تأمین کننده (DMU) است (Talluri & Baker, 2002). به طور خاص، این مثال نشان می‌دهد که داده‌های ترتیبی و کراندار، و همچنین، محدودیت‌های وزنی، را می‌توان در یک رویکرد یکپارچه بر مبنای مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان با یکدیگر ترکیب کرد. ورودی‌های عددی کاردینال عبارت‌اند از *هزینه‌ی کل ارسال*[۹] (x_1)، *قیمت*[۱۰] (x_2)، *تعداد ارسال در ماه*[۱۱] (x_4)، و *فاصله*[۱۲] (x_5). خروجی‌های استفاده شده در این مطالعه، *تعداد صورتحساب‌های دریافت شده از تأمین کننده بدون خطا*[۱۳] (y_1)، *تعداد ارسال‌های رسیده به موقع*[۱۴] (y_2)، و *تعداد قطعات*[۱۵] (y_3) تأمین شده توسط یک تأمین کننده (تنوع تأمین) هستند. *شهرت تأمین کننده*[۱۶] (x_3) به عنوان یک ورودی کیفی در مطالعه گنجانده شده است. قیمت و تعداد صورتحساب‌های دریافت شده از تأمین کننده بدون خطا به ترتیب به عنوان ورودی و خروجی کراندار منظور می‌شود. شهرت تأمین کننده یک عامل نامشهود است که معمولاً به صراحت در مدل ارزیابی برای تأمین کننده گنجانده نمی‌شود. این متغیر کیفی روی یک مقیاس ترتیبی سنجیده می‌شود، به طوری که مثلاً شهرت تأمین کننده‌ی ۱۸ بالاترین رتبه را دریافت می‌کند، و تأمین کننده‌ی ۱۷ پایین‌ترین رتبه را. جدول (۱) شاخص‌های تأمین کنندگان را نشان می‌دهد. در این مثال مقدار بی‌نهایت کوچکِ غیرارشمیدسی $\varepsilon = 10^{-4}$ منظور شده است.

جدول شماره (۱): شاخص‌های مرتبط برای ۱۸ تأمین کننده

شماره‌ی تأمین کننده (DMU_j)	ورودی‌ها					خروجی‌ها		
	x_{1j} (۱۰۰۰$)	x_{2j}	x_{3j}[a]	x_{4j}	x_{5j}	y_{1j}	y_{2j}	y_{3j}
1	253	[950, 2000]	5	197	249	[50, 65]	187	2
2	268	[800, 1800]	10	198	643	[60, 70]	194	13
3	259	[1000, 2100]	3	229	714	[40, 50]	220	3
4	180	[820, 2150]	6	169	1809	[100, 160]	160	3
5	257	[735, 1900]	4	212	238	[45, 55]	204	24
6	248	[650, 2500]	2	197	241	[85, 115]	192	28
7	272	[450, 2200]	8	209	1404	[70, 95]	194	1
8	330	[400, 1900]	11	203	984	[100, 180]	195	24
9	327	[607, 2040]	9	208	641	[90, 120]	200	11
10	330	[455, 1890]	7	203	588	[50, 80]	171	53
11	321	[830, 2000]	16	207	241	[250, 300]	174	10
12	329	[650, 1950]	14	234	567	[100, 150]	209	7
13	281	[960, 2350]	15	173	567	[80, 120]	165	19
14	309	[1200, 2300]	13	203	967	[200, 350]	199	12
15	291	[880, 2000]	12	193	635	[40, 55]	188	33
16	334	[655, 2010]	17	177	795	[75, 85]	168	2
17	249	[800, 1990]	1	185	689	[90, 180]	177	34
18	216	[645, 2153]	18	176	913	[90, 150]	167	9

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

[9] Total cost of shipments
[10] Price
[11] Number of shipments per month
[12] Distance
[13] Number of bills received from the supplier without errors
[14] Number of shipments to arrive on time
[15] Number of parts
[16] Supplier reputation

بر اساس تصمیمِ تصمیم گیرنده، اهمیت هزینه‌ی کل ارسال که بر اساس وزن v_1 بیان می‌شود، باید بزرگ‌تر از قیمت باشد، که با وزن v_2 بیان می‌شود. فرض کنید هزینه‌ی کل ارسال حداقل دو و حداکثر سه برابر مهم‌تر از قیمت باشد. بنابراین، کران‌های نامساوی زیر، با استفاده از فرمول‌بندی (۵)، به دست می‌آیند:

$$\mathscr{V} = \{2 \le \frac{v_1}{v_2} \le 3\}$$

که در اینجا $\mathscr{V}$ نشان دهنده‌ی مجموعه‌ی قیود تعریف شده در معادله‌ی (۳) برای کران‌های نسبت مضرب ورودی است. فرض کنید پارامتر شدت ترجیح و پارامتر نسبت درباره‌ی اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی به ترتیب به صورت $\eta_3 = 1.05$ و $\sigma_3 = 0.05$ برآورد شده‌اند. برای نشان دادن تکنیک تبدیل شرح داده شده در قسمت ۳–۳، برآورد بازه‌ای برای تأمین کننده‌ی شماره‌ی ۱ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{x}_{31} \in [\sigma_3 \eta_3^{n-j}, \eta_3^{1-j}] = [0.05(1.05)^{18-14}, 1.05^{1-14}] = [0.0608, 0.5330]$$

برآورد بازه‌ای برای شهرت هر تأمین کننده در ستون دوم جدول (۲) نشان داده شده است. بنابراین، همه‌ی داده‌های ورودی و خروجی اکنون به اعداد بازه‌ای تبدیل می‌شوند و می‌توان آنها را با استفاده از مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان ارزیابی کرد. جدول (۲) نتایج سنجش‌های کارآیی برای ۱۸ تأمین کننده را که با استفاده از مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان (۵)، (۶)، (۹) و (۱۰) به دست آمده است، گزارش می‌کند.

جدول شماره (۲): برآورد بازه‌ای برای شهرت ۱۸ تأمین کننده و ارزیابی آنها با استفاده از کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه.

شماره‌ی تأمین کننده (DMU_j)	شهرت تأمین کننده	بازه‌ی کارآیی خوشبینانه ($[\theta_j^{L^*}, \theta_j^{U^*}]$)	بازه‌ی کارآیی بدبینانه ($[\varphi_j^{L^*}, \varphi_j^{U^*}]$)
۱	[0.0608, 0.5330]	[0.8319, 0.9358]	[1.0395, 1.2388]
۲	[0.0776, 0.6768]	[0.8388, 0.9404]	[1.1076, 1.2718]
۳	[0.0551, 0.4810]	[0.8070, 0.9936]	[1.0000, 1.1523]
۴	[0.0638, 0.5568]	[0.6710, 0.8422]	[1.0000, 1.1390]
۵	[0.0579, 0.5051]	[0.8825, 1.0000]	[1.1041, 1.2704]
۶	[0.0525, 0.4581]	[0.8120, 1.0000]	[1.1197, 1.3996]
۷	[0.0704, 0.6139]	[0.6901, 1.0000]	[1.0000, 1.1776]
۸	[0.0814, 0.7107]	[0.7750, 1.0000]	[1.1342, 1.3300]
۹	[0.0739, 0.6446]	[0.7972, 0.9417]	[1.1491, 1.3475]
۱۰	[0.0670, 0.5847]	[0.8534, 1.0000]	[1.0000, 1.1705]
۱۱	[0.1039, 0.9070]	[0.8525, 1.0000]	[1.0606, 1.2164]
۱۲	[0.0943, 0.8227]	[0.7715, 0.9268]	[1.1392, 1.3255]
۱۳	[0.0990, 0.8638]	[0.7549, 0.9049]	[1.0000, 1.2359]
۱۴	[0.0898, 0.7835]	[0.8036, 1.0000]	[1.1413, 1.2981]
۱۵	[0.0855, 0.7462]	[0.8354, 0.9521]	[1.0000, 1.2211]
۱۶	[0.1091, 0.9524]	[0.7521, 0.8851]	[1.0000, 1.1919]
۱۷	[0.0500, 0.4362]	[0.8405, 1.0000]	[1.1436, 1.2924]
۱۸	[0.1146, 1.0000]	[0.7516, 0.9497]	[1.0000, 1.2559]

با اجرای مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان (۵) و (۶)، نمرات کارآیی خوشبینانه‌ی تأمین کنندگان را به دست می‌آوریم، که در ستون سوم جدول (۲) نشان داده شده‌اند. با توجه به جدول (۲) می‌توان دریافت که هشت تأمین کننده، یعنی تأمین کنندگان ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۴ و ۱۷ بر حسب مدل DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان (۵)، کارآی DEA یا کارآی خوشبینانه می‌باشند. اگر آنها قادر باشند تا از ورودی‌های کمینه برای تولید خروجی‌های بیشینه استفاده کنند، آنها کارآی DEA

یا کارآی خوشبینانه هستند (کارآ در مقیاس)؛ در غیر این صورت، کارآی خوشبینانه نیستند. گرچه تأمین کنندگان ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۴، و ۱۷ امکان کارآی خوشبینانه بودن را دارند، اما به علت تفاوت در کارآیی‌های کران پایین، عملکرد آنها در حقیقت، متفاوت است. ده تأمین کننده‌ی باقیمانده با نمرات کارآیی نسبی کمتر از ۱ غیرکارآی DEA یا غیرکارآی خوشبینانه دانسته می‌شوند. همچنین، با اعمال مدل‌های DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان (۸) و (۹)، نمرات کارآیی بدبینانه‌ی تأمین کنندگان را به دست می‌آوریم، که در ستون آخر جدول (۲) نشان داده شده‌اند. از دیدگاه کارآیی بدبینانه، هشت تأمین کننده یعنی تأمین کنندگان ۳، ۴، ۷، ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ بر حسب مدل DEAی بازه‌ای با ناحیه‌ی اطمینان (۸)، ناکارآی DEA یا ناکارآی بدبینانه می‌باشند. اگر آنها از ورودی بیشینه برای تولید خروجی کمینه استفاده کنند، ناکارآی DEA یا ناکارآی بدبینانه خواهند بود (ناکارآ از نظر مقیاس)؛ در غیر این صورت، غیرناکارآی DEA یا غیرناکارآی بدبینانه خواهند بود. ده تأمین کننده‌ی باقیمانده با نمرات کارآیی نسبی بیشتر از ۱ غیرناکارآی DEA یا غیرناکارآی بدبینانه دانسته می‌شوند. بعلاوه، بازه‌ی کارآیی عملکرد کلی ۱۸ تأمین کننده که با معادله‌های (۱۵) تعیین می‌شوند، در ستون دوم جدول (۳) نشان داده شده‌اند. نهایتاً، به منظور مقایسه و رتبه‌بندی بازه‌های کارآیی عملکرد کلی ۱۸ تأمین کننده، از MRA که توسط وانگ و همکاران توسعه یافته است، استفاده می‌شود (Wang et al., 2005). ستون آخر جدول (۳)، رتبه‌بندی ۱۸ تأمین کننده را بر اساس بازه‌های کارآیی عملکرد کلی نشان می‌دهد. بنابراین، ارزیاب یا تصمیم گیرنده می‌تواند تأمین کننده‌ی شماره‌ی ۵ را به عنوان بهترین تأمین کننده انتخاب کند.

جدول شماره (۳): رتبه‌بندی و ارزیابی ۱۸ تأمین کننده با استفاده از DEA با مرزهای کارآ و ناکارآ.

شماره‌ی تأمین کننده (DMU_j)	بازه‌ی کارآیی عملکرد کلی ($[\phi_j^L, \phi_j^U]$)	رتبه بر حسب بازه‌ی کارآیی خوشبینانه	رتبه بر حسب بازه‌ی کارآیی بدبینانه	رتبه بر حسب بازه‌ی کارآیی عملکرد کلی
۱	[0.9299, 1.0767]	۷	۱۰	۱۰
۲	[0.9639, 1.0936]	۵	۷	۴
۳	[0.8983, 1.0700]	۹	۱۷	۱۳
۴	[0.8191, 0.9794]	۱۸	۱۸	۱۸
۵	[0.9871, 1.1271]	۱	۸	۱
۶	[0.9535, 1.1830]	۸	۱	۲
۷	[0.8307, 1.0852]	۱۷	۱۵	۱۷
۸	[0.9375, 1.1533]	۱۲	۶	۶
۹	[0.9571, 1.1265]	۱۱	۲	۷
۱۰	[0.9238, 1.0819]	۲	۱۶	۱۱
۱۱	[0.9509, 1.1029]	۳	۹	۸
۱۲	[0.9375, 1.1084]	۱۳	۵	۹
۱۳	[0.8688, 1.0575]	۱۴	۱۲	۱۶
۱۴	[0.9577, 1.1393]	۱۰	۴	۵
۱۵	[0.9140, 1.0782]	۶	۱۳	۱۲
۱۶	[0.8844, 1.0271]	۱۵	۱۴	۱۴
۱۷	[0.9804, 1.1368]	۴	۳	۳
۱۸	[0.8669, 1.0921]	۱۶	۱۱	۱۵

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 (Wang & Azizi & Jahed, 2011 ; Chin, 2009; Wang & Yang, 2007). به عنوان مثال، تأمین کنندگان شماره‌ی ۵، ۱۰، ۱۱، ۱۷، ۲ و ۱۵ زمانی که بر حسب بازه‌ی کارآیی خوشبینانه ارزیابی می‌شوند، از همه‌ی تأمین کنندگان دیگر عملکرد بهتری دارند، و به ترتیب در رتبه‌ی اول، دوم، سوم، چهارم، پنجم و ششم قرار می‌گیرند (رک. ستون سوم جدول (۳)). همچنین، زمانی که تأمین کنندگان شماره‌ی ۵، ۱۰،

۱۱، ۱۷، ۲ و ۱۵ بر حسب بازه‌ی کارآیی بدبینانه ارزیابی می‌شوند، عملکرد آنها به ترتیب به صورت هشتم، شانزدهم، نهم، سوم، هفتم و سیزدهم رتبه‌بندی می‌شود (رک. ستون چهارم جدول (۳)). 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 (Azizi & Fathi Ajirlu, 2010; Azizi & Wang, 2013; Azizi, 2011 ;).

۳- نتایج و بحث

فشارهای رقابتی قوی بسیاری از سازمان‌ها را مجبور می‌کند که محصولات و خدمات خود را سریع‌تر، ارزان‌تر و بهتر از رقبا به مشتریان خود ارائه کنند. مدیران متوجه شده‌اند که آنها نمی‌توانند کارها را بدون وجود تأمین کنندگان خوب، به تنهایی به انجام برسانند. بنابراین، مهم‌تر شدن تصمیمات انتخاب تأمین کننده، سازمان‌ها را بر آن داشته است که در راهبردهای خرید و ارزیابی خود بازاندیشی کنند و لذا انتخاب تأمین کنندگان در مقالات خرید مورد توجه زیادی قرار گرفته است.

این مقاله رویکرد مبتنی بر DEA با مرزهای کارآ و ناکارآ را معرفی کرده و آن را برای انتخاب تأمین کننده به کار گرفته است. رویکرد ارائه شده در این مقاله دارای فواید متمایزی است.

- مدل‌های پیشنهادی نیازی به وزن‌های دقیق از تصمیم گیرنده ندارند.
- انتخاب تأمین کننده فرآیند روشنی است که به وسیله‌ی مدل‌های پیشنهادی انجام می‌شود.
- مدل‌های پیشنهادی به صورت مستقیم با داده‌های نادقیق سر و کار دارند.
- محدودیت‌های وزنی و داده‌های نادقیق همزمان در نظر گرفته می‌شوند.
- هر دو دیدگاه خوشبینانه و بدبینانه همزمان در نظر گرفته می‌شوند.

انتظار می‌رود که رویکرد DEAی پیشنهادی بتواند نقش مهمی در انتخاب تأمین کنندگان ایفا کند، و کاربردهای بیشتری در آینده داشته باشد.

مسئله‌ی مورد نظر در این مطالعه هنوز در مراحل ابتدایی تحقیق است و پژوهش اضافی زیادی را می‌توان بر مبنای نتایج این مقاله انجام داد، از جمله:

- پژوهش مشابهی را می‌توان برای انتخاب تأمین کننده در حضور داده‌های نادقیق و داده‌های فازی انجام داد.
- پژوهش مشابهی را می‌توان برای انتخاب تأمین کننده در حضور داده‌های نادقیق و داده‌های اتفاقی انجام داد.

٤- منابع

1- Azizi, Hossein. (2011). The interval efficiency based on the optimistic and pessimistic points of view. Applied Mathematical Modeling, 35(5), 2384-2393.
2- Azizi, Hossein, & Fathi Ajirlu, Shahruz. (2010). Measurement of overall performances of decision-making units using ideal and anti-ideal decision-making units. Computers & Industrial Engineering, 59(3), 411-418.
3- Azizi, Hossein, & Ganjeh Ajirlu, Hassan. (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.
4- Azizi, Hossein, & Jahed, Rasul. (2011). Improved data envelopment analysis models for evaluating interval efficiencies of decision-making units. Computers & Industrial Engineering, 61(3), 897-901.
5- Azizi, Hossein, & Wang, Ying-Ming. (2013). Improved DEA models for measuring interval efficiencies of decision-making units. Measurement, 46, 1325-1332.
6- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30(9), 1078-1092.
7- Braglia, Marcello, & Petroni, Alberto. (2000). A quality assurance-oriented methodology for handling trade-offs in supplier selection. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 30(2), 96-112.

8- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429-444.
9- Charnes, A., Cooper, W. W., Wei, Q. L., & Huang, Z. M. (1989). Cone ratio data envelopment analysis and multi-objective programming. International Journal of Systems Science, 20(7), 1099-1118.
10- Cooper, W. W., Park, K. S., & Yu, G. (1999). IDEA and AR-IDEA: Models for Dealing with Imprecise Data in DEA. Management Science, 45(4), 597-607.
11- Cooper, W. W., Park, K. S., & Yu, G. (2001a). IDEA (Imprecise Data Envelopment Analysis) with CMDs (Column Maximum Decision Making Units). Journal of the Operational Research Society, 52(2), 176-181.
12- Cooper, W. W., Park, K. S., & Yu, G. (2001b). An Illustrative Application of Idea (Imprecise Data Envelopment Analysis) to a Korean Mobile Telecommunication Company. Operations Research, 49(6), 807-820.
13- Despotis, Dimitris K., & Smirlis, Yiannis G. (2002). Data envelopment analysis with imprecise data. European Journal of Operational Research, 140(1), 24-36.
14- Farzipoor Saen, Reza. (2008). Supplier selection by the new AR-IDEA model. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 39(11-12), 1061-1070.
15- Forker, Laura B., & Mendez, David. (2001). An analytical method for benchmarking best peer suppliers. International Journal of Operations & Production Management, 21(1/2), 195-209.
16- Kahraman, Cengiz, Cebeci, Ufuk, & Ulukan, Ziya. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. Logistics Information Management, 16(6), 382-394.
17- Liu, Jian, Ding, Fong-Yuen, & Lall, Vinod. (2000). Using data envelopment analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement. Supply Chain Management: An International Journal, 5(3), 143-150.
18- Moore, R.E., & Bierbaum, F. (1979). Methods and applications of interval analysis: Siam.
19- Noorul Haq, A., & Kannan, G. (2006). Design of an integrated supplier selection and multi-echelon distribution inventory model in a built-to-order supply chain environment. International Journal of Production Research, 44(10), 1963-1985.
20- Pi, Wei-Ning, & Low, Chinyao. (2006). Supplier evaluation and selection via Taguchi loss functions and an AHP. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27(5-6), 625-630.
21- Sarrico, C. S., & Dyson, R. G. (2004). Restricting virtual weights in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 159(1), 17-34.
22- Sengupta, Atanu, & Pal, Tapan Kumar. (2000). On comparing interval numbers. European Journal of Operational Research, 127(1), 28-43.
23- Shin, Hojung, Collier, David A., & Wilson, Darryl D. (2000). Supply management orientation and supplier/buyer performance. Journal of Operations Management, 18(3), 317-333.
24- Talluri, Srinivas, & Baker, R. C. (2002). A multi-phase mathematical programming approach for effective supply chain design. European Journal of Operational Research, 141(3), 544-558.
25- Talluri, Srinivas, Narasimhan, Ram, & Nair, Anand. (2006). Vendor performance with supply risk: A chance-constrained DEA approach. International Journal of Production Economics, 100(2), 212-222.
26- Talluri, Srinivas, & Sarkis, Joseph. (2002). A model for performance monitoring of suppliers. International Journal of Production Research, 40(16), 4257-4269.
27- Thompson, Russell G., Langemeier, Larry N., Lee, Chih-Tah, Lee, Euntaik, & Thrall, Robert M. (1990). The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming. Journal of Econometrics, 46(1–2), 93-108.
28- Wang, Ying-Ming, & Chin, Kwai-Sang. (2009). A new approach for the selection of advanced manufacturing technologies: DEA with double frontiers. International Journal of Production Research, 47(23), 6663-6679.
29- Wang, Ying-Ming, Chin, Kwai-Sang, & Yang, Jian-Bo. (2007). Measuring the performances of decision-making units using geometric average efficiency. Journal of the Operational Research Society, 58(7), 929-937.
30- Wang, Ying-Ming, Greatbanks, Richard, & Yang, Jian-Bo. (2005). Interval efficiency

assessment using data envelopment analysis. Fuzzy Sets and Systems, 153(3), 347-370. Wang, Ying-Ming, & Yang, Jian-Bo. (2007). Measuring the performances of decision-making units using interval efficiencies. Journal of Computational and Applied Mathematics, 198(1), 253-267.

31- Weber, Charles A. (1996). A data envelopment analysis approach to measuring vendor performance. Supply Chain Management: An International Journal, 1(1), 28-39.

32- Weber, Charles A., Current, John, & Desai, Anand. (2000). An optimization approach to determining the number of vendors to employ. Supply Chain Management: An International Journal, 5(2), 90-98.

33- Wong, Y. H. B., & Beasley, J. E. (1990). Restricting Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis. Journal of the Operational Research Society, 41(9), 829-835.

34- Zhu, Joe. (2003). imprecise data envelopment analysis (IDEA): A review and improvement with an application. European Journal of Operational Research, 144(3), 513-529.