

# انتخاب تأمین‌کنندگان در محیط‌های تخفیف حجمی در حضور

هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی:

## رویکرد جدیدی بر مبنای DEA با مرز دوگانه

حسین عزیزی<sup>۱\*</sup>، رسول جاهد<sup>۲</sup>

۱. مربی گروه ریاضی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پارس‌آباد مغان، پارس‌آباد مغان، ایران

۲. دانشجوی دکتری ریاضی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرمی، گرمی، ایران

پذیرش: ۹۴/۰۸/۰۹

دریافت: ۹۲/۱۲/۰۴

### چکیده

با استفاده گسترده از فلسفه‌های تولید مانند تولید به‌موقع، امروزه بیش از گذشته بر در نظر گرفتن همزمان داده‌های اصلی و ترتیبی در فرایند انتخاب تأمین‌کننده تأکید می‌شود. به‌طور سنتی، بسیاری از مدل‌های بهینه‌سازی انتخاب تأمین‌کننده فرض را بر این می‌گذارند که قیمت متوسط مخارج مربوط به آن ثابت است. ولی در واقع، وضعیت اصلاً به این صورت نیست. در حقیقت، تأمین‌کنندگان معمولاً تخفیف‌های حجمی می‌دهند تا خریداران را به سفارش بیشتر ترغیب کنند. برای انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان در محیط‌های تخفیف حجمی در حضور هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی، این مقاله رویکرد نوآورانه‌ای را پیشنهاد می‌کند. در این مقاله نخست از دو دیدگاه خوشبینانه و بدبینانه، کارایی‌های تأمین‌کنندگان تحت ارزیابی به دست می‌آورده می‌شود. دیدگاه خوشبینانه، هر تأمین‌کننده را با مجموعه‌ای از مطلوب‌ترین وزن‌ها ارزیابی می‌کند و کارایی‌های اندازه‌گیری شده از دیدگاه خوشبینانه، کارایی‌های خوشبینانه نامیده می‌شوند. دیدگاه بدبینانه، هر تأمین‌کننده را با مجموعه‌ای از نامطلوب‌ترین وزن‌ها ارزیابی می‌کند و کارایی‌های اندازه‌گیری شده از دیدگاه بدبینانه، کارایی‌های بدبینانه نامیده می‌شوند. سپس، نشان داده می‌شود که این دو نتیجه ارزیابی با یکدیگر تعارض دارند و بدون تردید یک‌سویه، غیرواقع‌گرایانه و غیرمتقاعد کننده هستند. برای غلبه بر این مشکل، یک اندازه عملکرد کلی جدیدی را پیشنهاد می‌کنیم که برای ادغام اندازه‌های به دست آمده از دیدگاه‌های خوشبینانه و بدبینانه استفاده می‌شود و آن را برای



شناسایی تأمین‌کننده دارای بهترین عملکرد به کار خواهیم برد. یک مثال عددی کاربرد روش پیشنهادی را نشان خواهد داد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل پوششی داده‌ها، انتخاب تأمین‌کننده، تخفیف حجمی، کارآیی‌های خوشبینانه و بدبینانه، عملکرد کلی.

## ۱- مقدمه

مدیریت کار خرید در زنجیره تأمین در دهه گذشته برای بسیاری از شرکت‌های بزرگ چالش مهمی محسوب شده است. نیاز به کسب مزیت رقابتی جهانی در زمینه تأمین به‌شدت افزایش پیدا کرده است. به‌خصوص برای شرکت‌هایی که بخش بزرگی از درآمد فروش خود را صرف خرید قطعات و مواد اولیه می‌کنند و هزینه مواد آنها درصد بیشتری از هزینه کل را تشکیل می‌دهد، میزان صرفه‌جویی حاصل از تأمین اهمیت خاصی دارد. به‌علاوه تأکید بر کیفیت و تحویل به‌موقع در بازار رقابتی جهانی امروز، سطح جدیدی از پیچیدگی را به برون‌سپاری و تصمیم‌های انتخاب تأمین‌کننده می‌افزاید. همه اینها به طور قوی نشان‌دهنده لزوم یک رویکرد سیستماتیک‌تر و شفاف‌تر برای انتخاب تأمین‌کننده هستند. انتخاب سیستماتیک تأمین‌کنندگان، هزینه خرید را کاهش می‌دهد و قدرت رقابتی شرکت را بهبود می‌بخشد، از این رو بسیاری از کارشناسان بر این باورند که انتخاب تأمین‌کننده مهم‌ترین فعالیت بخش خرید است [۱، صص ۸۴-۹۵]. انتخاب تأمین‌کننده فرایندی است که از طریق آن تأمین‌کنندگان بررسی، ارزیابی و انتخاب می‌شوند تا بخشی از زنجیره تأمین شرکت باشند.

شین<sup>۱</sup> و همکاران بیان می‌کنند که عوامل مهم متعددی موجب جابه‌جایی کنونی به سمت تأمین منابع واحد یا کاهش تعداد تأمین‌کنندگان شده‌اند [۲، صص ۳۱۷-۳۳۳]. نخست تأمین منابع متعدد مانع از آن می‌شود که تأمین‌کنندگان براساس حجم زیاد سفارش‌ها به اقتصاد مقیاس دست پیدا کنند و یا از تأثیر منحنی یادگیری بهره‌مند شوند. دوم، سیستم تأمین‌کنندگان متعدد می‌توانند پرهزینه‌تر از سیستم دارای تأمین‌کنندگان کمتر باشد، به طور مثال مدیریت تعداد زیاد تأمین‌کنندگان برای یک کالای خاص، هزینه‌ها، ازجمله هزینه‌های نیروی کار و

پردازش سفارش‌ها را برای مدیریت موجودی منابع متعدد به‌طور مستقیم افزایش می‌دهد. در ضمن تأمین منابع متعدد سطح کلی کیفیت را پایین می‌آورد، به خاطر اینکه میزان تغییرات کیفیت در اجناس رسیده از تأمین‌کنندگان متعدد افزایش پیدا می‌کند و سوم کاهش تعداد تأمین‌کنندگان به حذف اطمینان نداشتن بین خریداران و تأمین‌کنندگان بر اثر فقدان ارتباط کمک می‌کند. چهارم، رقابت جهانی بنگاه‌ها را وادار می‌کند که بهترین تأمین‌کنندگان را در دنیا پیدا کنند.

به‌طور سنتی، مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده مبتنی بر داده‌های اصلی با تأکید کمتر بر داده‌های ترتیبی بوده‌اند<sup>۱</sup>. اما با گسترش استفاده از فلسفه‌های تولید، مانند تولید به‌موقع، تأکید بیشتری بر در نظر گرفتن همزمان داده‌های اصلی و ترتیبی در فرایند انتخاب تأمین‌کننده وجود دارد. تأمین‌کنندگان معمولاً تخفیف‌های حجمی می‌دهند تا خریداران را به خرید بیشتر تشویق کنند. هدف این مقاله پیشنهاد یک الگوریتم نوآورانه برای انتخاب تأمین‌کنندگان در محیط‌های تخفیف حجمی در حضور هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی است.

مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: قسمت ۲، مرور مقالات را در زمینه انتخاب تأمین‌کنندگان نشان می‌دهد. قسمت ۳، DEA با مرز دوگانه را معرفی می‌کند و مدل‌های آن را برای اندازه‌گیری کارایی‌های خوشبینانه و بدبینانه تأمین‌کنندگان بیان می‌کند، سپس تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای را مورد بحث قرار می‌دهد، در نهایت اندازه‌های عملکرد کلی را پیشنهاد می‌کند. قسمت ۴، کاربردی را برای نشان دادن سادگی و اثربخشی استفاده از DEA با مرز دوگانه برای انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه می‌کند. قسمت ۵، نتیجه‌گیری مقاله را بیان می‌کند.

## ۱-۲- بررسی مقالات

در گذشته از رویکردهای مختلفی برای انتخاب تأمین‌کننده استفاده شده است. قهرمان<sup>۲</sup> و همکاران از فرایند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۴</sup> (AHP) برای انتخاب بهترین تأمین‌کننده - که معیارهای تعیین شده را به بهترین وجه تأمین می‌کند - می‌کند، استفاده کردند [۳، صص ۳۸۲-۳۹۴]. وانگ<sup>۵</sup> و همکاران برای در نظر گرفتن هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی در انتخاب تأمین‌کننده، یک روش تلفیقی مبتنی بر AHP و برنامه‌ریزی آرمانی پیشگیرانه ایجاد کردند [۴،



صص ۱-۱۵]. اما AHP یک نقطه ضعف اصلی دارد. AHP نمی‌تواند روابط بین معیارهای مدل را در نظر بگیرد.<sup>۱</sup>

برای حل مسئله انتخاب فروشنده با اهداف چندگانه، کومار<sup>۲</sup> و همکاران از یک رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی استفاده کردند [صص ۶۹-۸۵]. برای الحاق سطوح انتظار نادقیق اهداف، آنها مسئله انتخاب فروشنده را به صورت یک برنامه‌ریزی آرمانی صحیح مختلط فازی فرمول‌بندی کردند که شامل سه هدف اصلی است: کمینه‌سازی هزینه خالص، کمینه‌سازی رده‌های خالص و کمینه‌سازی ارسال‌های تأخیری خالص به شرط قیود واقع‌گرایانه در مورد تقاضاهای خریدار، ظرفیت‌های فروشنده، سهمیه فروشنده، انعطاف‌پذیری، ارزش خرید کالاها، تخصیص بودجه به هر فروشنده و غیره. با این حال یکی از مشکلات برنامه‌ریزی آرمانی ناشی از یک نیاز فنی خاص است. بعد از آنکه مدیران خرید اهداف هر معیار انتخابی را تعیین کردند (به طور مثال مقدار قیمت، سطح کیفیت و غیره)، باید در مورد یک ترتیب اولویت پیشگیرانه این اهداف تصمیم بگیرند؛ یعنی اینکه این اهداف با چه ترتیبی محقق خواهند شد. اغلب یک چنین ورودی پیشینی ممکن است جواب قابل قبولی ایجاد نکند و ساختار اولویت را می‌توان تغییر داد تا مسئله یک بار دیگر حل شود. شاید بتوان به این روش به صورت تکراری یک جواب ایجاد کرد که بالاخره تصمیم‌گیرنده را راضی کند. متأسفانه، تعداد تغییرات بالقوه ترتیب اولویت‌ها ممکن است خیلی زیاد باشد. یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده با پنج عامل بالغ بر ۱۲۰ ترتیب اولویت دارد. انجام چنین فرایند پرزحمتی، پرهزینه و ناکارآمد خواهد بود.

و بر<sup>۳</sup> نشان داد که از تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۴</sup> (DEA) می‌توان برای ارزیابی فروشندگان از نظر معیارهای متعدد استفاده کرد و مقادیر محکی را شناسایی کرد که بعد می‌توان از آن برای این منظور بهره گرفت [صص ۲۸-۳۹]. برالیا<sup>۵</sup> و پترونی<sup>۶</sup> یک نظریه سودمندی چند شاخصی را براساس DEA ایجاد کردند که هدف آن کمک به مدیران خرید در ایجاد یک راهبرد تأمین منابع قابل استفاده در بازار متغیر کنونی است [صص ۹۶-۱۱۱]. و بر و همکاران رویکردی را برای ارزیابی تعداد فروشندگان جهت استفاده در یک محیط تدارکات با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفی و DEA ارائه کردند [صص ۹۰-۹۸]. این رویکرد طرفدار ایجاد راه‌حل‌های کمیت سفارش فروشنده (یا به اصطلاح سوپرفروشنده) با استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفی و سپس ارزیابی کارایی این سوپرفروشنندگان از نظر معیارهای متعدد با

استفاده از DEA است. برای ارزیابی عملکرد تجمیعی تأمین‌کنندگان، لیو<sup>۱۲</sup> و همکاران استفاده از DEA را پیشنهاد کردند [۹، صص ۱۴۳-۱۵۰]. این روش پژوهش وبر را در استفاده از DEA برای ارزیابی تأمین‌کنندگان جهت یک محصول منفرد بسط می‌دهد [۶، صص ۲۸-۳۹]. فورکر<sup>۱۳</sup> و مندز<sup>۱۴</sup> یک روش تحلیلی را برای محک‌زنی با استفاده از DEA پیشنهاد کردند که می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند کارآترین تأمین‌کنندگان، تأمین‌کنندگانی که در میان کارآترین تأمین‌کنندگان پرکاربردترین برنامه مدیریت کامل کیفیت را دارند و تأمین‌کنندگانی را که روی مرز کارا نیستند ولی می‌توانند با تقلید روش‌های «بهترین هم‌تایان» تأمین‌کننده خود به سمت آن حرکت کنند، شناسایی کنند [۱۰، صص ۱۹۵-۲۰۹]. تالوری<sup>۱۵</sup> و همکاران برای انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب، یک رویکرد DEA مقید به شانس را در حضور معیارهای عملکردی متعدد که نامعین هستند، پیشنهاد کردند [۱۱، صص ۲۱۲-۲۲۲]. تالوری و سارکیس<sup>۱۶</sup> روی ارزیابی عملکرد تأمین‌کننده و فرایند پایش تمرکز کردند که به حفظ پیوندهای مؤثر مشتری-تأمین‌کننده کمک می‌کند [۱۲، صص ۴۲۵۷-۴۲۶۹]. آنها تلاش کردند تا قدرت افتراقی مدل BCC را که به‌وسیله بنکر<sup>۱۷</sup> و همکاران پیشنهاد شده است، بهبود بخشند [۱۳، صص ۱۰۷۸-۱۰۹۲] ولی روش پیشنهادی آنها از نظر محاسباتی پرزحمت است.

با این وجود تمام منابع فوق مسئله انتخاب تأمین‌کننده در محیط‌های تخفیف حجمی در حضور هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی را در نظر نگرفته‌اند، به عبارت دیگر فرض آنها بر این است که قیمت متوسط مخارج مربوطه ثابت است؛ یعنی قیمت‌های متوسط صرف‌نظر از مقیاس کمیت، روی مقدار خاصی تثبیت شده است. این با واقعیت واقعی بسیار تفاوت دارد.

گرچه پژوهش‌های وسیعی در مورد کمیت سفارش اقتصادی با تخفیف حجمی انجام شده است ولی معدودی از روش‌ها به این مسئله از دیدگاه انتخاب تأمین‌کننده پرداخته‌اند. داهل<sup>۱۸</sup> یک رویکرد برنامه‌ریزی صحیح مختلط چند هدفی را برای تعیین همزمان تعداد تأمین‌کنندگان و میزان سفارش تخصیص یافته به هر کدام در یک محیط تأمین منابع چند محصولی با چند تأمین‌کننده ارائه داد [۱۴، صص ۳۳۵-۳۴۲]. آرونکومار<sup>۱۹</sup> و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی را برای انتخاب تأمین‌کننده با تخفیف‌های کمیت بالا ارائه کردند [۱۵، صص ۱۲۵۴-۱۲۶۰]. آنها این مسئله خطی قطع‌های را به یک مسئله خطی آسان‌تر تبدیل کردند و به این ترتیب پیچیدگی مسئله را کاهش دادند. زیا<sup>۲۰</sup> و وو<sup>۲۱</sup> یک رویکرد تلفیقی AHP بهبود یافته با نظریه



مجموعه‌های ناهموار و برنامه‌ریزی صحیح مختلط چندهدفی برای تعیین همزمان تعداد تأمین‌کنندگان و میزان تخصیص سفارش به هر یک از آنها در حالت تأمین منابع متعدد، محصولات متعدد با معیارهای متعدد و با قیود ظرفیت تأمین‌کنندگان پیشنهاد کردند [۱۶، صص ۴۹۴-۵۰۴].

به‌تازگی فرضی‌پور صائیان برای انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان در حضور هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی، روشی را بر مبنای DEA نادقیق پیشنهاد کرد [۱۷، صص ۶۹-۸۰]. او یک مطالعه موردی ارائه داد که حاوی مشخصات ۱۲ تأمین‌کننده است. این مثال شامل هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی است. همچنین او محیط‌های تخفیف حجمی را در نظر گرفته است. با این وجود وی دیدگاه بدبینانه را در نظر نگرفته است.

تا جایی که مؤلفان اطلاع دارند، هیچ‌گونه مقاله‌ای منتشر نشده است که مسئله انتخاب تأمین‌کننده را در محیط‌های تخفیف حجمی در حضور هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی از هر دو دیدگاه خوشبینانه و بدبینانه بررسی کرده باشد. رویکرد ارائه شده در این مقاله، خصوصیات متمایزی دارد.

• مدل‌های پیشنهادی، داده‌های اصلی و ترتیبی را برای انتخاب تأمین‌کننده در نظر می‌گیرند؛

- انتخاب تأمین‌کننده فرایند راحتی است که به وسیله رویکرد پیشنهادی انجام می‌شود؛
- داده‌های نادقیق ورودی تخفیفی حجمی به‌طور همزمان در نظر گرفته می‌شود؛
- مدل‌های پیشنهادی با داده‌های نادقیق به‌طور مستقیم کار می‌کنند؛
- هر دو دیدگاه خوشبینانه و بدبینانه همزمان در نظر گرفته می‌شوند.

### ۲-۳- مدل‌های DEA بازه‌ای برای اندازه‌گیری کارایی‌های خوشبینانه و بدبینانه

DEA که توسط چارنر<sup>۲۲</sup> و همکاران [۱۸، صص ۴۲۹-۴۴۴] پیشنهاد شده است (مدل CCR) و به وسیله بنکر و همکاران [۱۳، صص ۱۰۷۸-۱۰۹۲] (مدل BCC) توسعه داده شده است، رویکردی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری<sup>۲۳</sup> (DMUها) است. اغلب در ارزیابی DEA فرض می‌شود که عوامل خروجی و ورودی از نوع اصلی (کمی) هستند. اما در بسیاری از کاربردهای دنیای واقعی (به خصوص در مسائل انتخاب تأمین‌کننده)، در نظر گرفتن عوامل

ترتیبی (کیفی) نیز در زمان تصمیم‌گیری در مورد عملکرد یک DMU حایز اهمیت است. خیلی از اوقات برای عاملی مانند شهرت تأمین‌کننده در بهترین حالت فقط می‌توان رتبه‌بندی DMUها را از بهتر به بدتر براساس این صفت انجام داد. به‌طور معمول امکان آن وجود ندارد که یک اندازه کمی دقیق‌تر برای عامل مورد نظر ارائه شود. در برخی از موقعیت‌ها، این‌گونه عوامل را می‌توان به طرز مشروعی اندازه‌گیری کرد ولی خیلی از اوقات، این اندازه‌گیری‌ها تنها به صورت سطحی بنا به ضرورت مدلسازی انجام می‌شود. در موقعیت‌هایی - مانند آنچه شرح داده شد - داده‌های برخی از عوامل تأثیرگذار (ورودی‌ها و خروجی‌ها) ممکن است به صورت ترتیب رتبه بهتر از مقادیر عددی قابل بیان باشد، به طور مثال باز هم شهرت تأمین‌کننده را در نظر بگیرید. در برخی شرایط اطلاعات موجود ممکن است به فرد اجازه بدهد که رتبه‌بندی کاملی از DMUها براساس عامل مورد نظر ارائه کند. از این رو داده‌ها ممکن است نادقیق باشند. برای کار با داده‌های نادقیق در DEA، مدل‌هایی ایجاد شده‌اند.

### ۳-۱- مدل‌های DEA بازه‌ای برای اندازه‌گیری کارایی‌های خوشبینانه DMUها

فرض کنید  $n$  DMU باید ارزیابی شوند. هر DMU  $m$  ورودی را مصرف و  $s$  خروجی را تولید می‌کند. به‌طور خاص،  $DMU_j$  مقادیر  $X_j = \{X_{ij}\}$  از ورودی‌ها ( $i = 1, \dots, m$ ) را مصرف و مقادیر  $Y_j = \{Y_{rj}\}$  از خروجی‌ها ( $r = 1, \dots, s$ ) را تولید می‌کند. بدون از دست رفتن کلیت، فرض می‌شود که همه داده‌های ورودی و خروجی  $X_{ij}$  و  $Y_{rj}$  ( $i = 1, \dots, m$ )؛  $r = 1, \dots, s$ ؛  $j = 1, \dots, n$ ) را به علت وجود عدم اطمینان نمی‌توان به صورت دقیق به دست آورد. همین قدر می‌دانیم که آنها در محدوده 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 زیر ایجاد شده‌اند تا کران‌های بالا و پایین بازه کارایی خوشبینانه هر DMU را اندازه‌گیری کنند [۱۹، صص ۳۴۷-۳۷۰]:



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

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta_o^L = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}^L \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^U - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L \leq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{io}^U = 1, \\ & u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (2)$$

که در اینجا  $DMU_o$  نشان‌دهنده  $DMU$ ی مورد ارزیابی است و  $v_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ) و  $u_r$  ( $r = 1, \dots, s$ ) متغیرهای تصمیم‌گیری و  $\varepsilon$  بینهایت کوچک غیرارشمیدسی است.  $\theta_o^U$  و  $\theta_o^L$  به ترتیب کارایی‌های خوشبینانه تحت مطلوب‌ترین موقعیت و نامطلوب‌ترین موقعیت برای  $DMU_o$  می‌باشند. آنها بازه کارایی خوشبینانه  $[\theta_o^L, \theta_o^U]$  را تشکیل می‌دهند. اگر مجموعه‌ای از وزن‌های مثبت وجود داشته باشد که باعث شود  $\theta_o^{U*} = 1$ ، آن‌گاه  $DMU_o$  کارای DEA یا کارای خوشبینانه نامیده می‌شود؛ در غیر این صورت به آن غیر کارای DEA یا غیر کارای خوشبینانه می‌گویند.

### ۳-۲- مدل‌های DEA بازه‌ای برای اندازه‌گیری کارایی‌های بدبینانه $DMU$ ها

چارچوب با ماهیت ورودی - که مثبتی بر مجموعه نیازمندی ورودی و مرز ناکارایی آن است - در صدد آن است که ضمن حفظ خروجی، حداکثر در حد فعلی مقادیر ورودی را تحد امکان افزایش دهد. این موضوع بر این واقعیت تأکید می‌کند که سطح خروجی بدون تغییر می‌ماند و مقادیر ورودی به صورت متناسب افزایش داده می‌شوند تا مرز تولید ناکارا حاصل شود. برآورد کننده DEA برای مجموعه امکان تولید ناکارا، به اصطلاح کارایی بدبینانه و یا بدترین کارایی نسبی نامیده می‌شود. برای یک  $DMU$  خاص، به طور مثال  $DMU_o$ ، کارایی‌های بدبینانه را می‌توان از مدل‌های DEA زیر محاسبه کرد [۲۰، صص ۴۱۴۹-۴۱۵۶]:



$$\begin{aligned} \min \quad & \varphi_o^L = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}^L \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^L - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U \geq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{io}^U = 1, \\ & u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \min \quad & \varphi_o^U = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}^U \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^L - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U \geq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{io}^L = 1, \\ & u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (4)$$

در مدل‌های (۳) و (۴)،  $\varphi_o^L$  کارایی بدبینانه تحت نامطلوب‌ترین موقعیت و  $\varphi_o^U$  کارایی بدبینانه تحت مطلوب‌ترین موقعیت برای  $DMU_o$  می‌باشند. آنها برای  $DMU_o$  بازه کارایی بدبینانه  $[\varphi_o^L, \varphi_o^U]$  را ارائه می‌کنند. زمانی که مجموعه‌ای از وزن‌های مثبت وجود داشته باشند تا  $\varphi_o^{L*} = 1$  را تأمین کند، می‌گوییم که  $DMU_o$  ناکارای DEA یا ناکارای بدبینانه است. در غیر این صورت می‌گوییم که  $DMU_o$  غیرناکارای DEA یا غیر ناکارای بدبینانه است.

### ۳-۳- تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای

در اینجا درباره روش تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای بحث می‌کنیم، به طوری که مدل‌های DEA بازه‌ای در این موقعیت‌ها نیز به درستی کار کنند [۱۹، صص ۳۴۷-۳۷۰].

فرض کنید داده‌های ورودی و خروجی برای  $DMU$ ها 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  $x_{ij} \geq \xi_i x_{ik}$  بیان کرد و  $\chi_r > 1$  و  $\xi_i > 1$  پارامترهای درجه شدت ترجیح هستند که توسط تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شوند؛

۲- اطلاعات ترجیح ترتیبی ضعیف از قبیل  $y_{rp} \geq y_{rq}$  یا  $x_{ip} \geq x_{iq}$ ؛ و (۳) رابطه



بی‌تفاوتی، مانند  $y_{r1} = y_{r1}$  یا  $x_{ij} = x_{ij}$ . از آن جایی که مدل DEA خاصیت تغییرناپذیری نسبت به واحد دارد، از این رو استفاده از تبدیل مقیاس برای اطلاعات ترجیح ترتیبی، رابطه ترتیبی اولیه را به هم نمی‌زند و تأثیری بر کارایی‌های DEA نخواهد داشت.

بنابراین می‌توان برای هر شاخص ورودی و خروجی ترتیبی یک تبدیل مقیاس انجام داد، به طوری که بهترین داده ترتیبی آن کمتر یا مساوی واحد باشد و بعد می‌توان یک برآورد بازه‌ای برای هر داده ترتیبی ارائه کرد.

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

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

$$1 \geq \hat{y}_{r1} \geq \hat{y}_{r2} \geq \dots \geq \hat{y}_{rn} \geq \sigma_r \quad (5)$$

که در اینجا  $\sigma_r$  عدد مثبت کوچکی است و منعکس‌کننده نسبت کمینه ممکن  $\{y_{rj} \mid j=1, \dots, n\}$  به بیشینه ممکن آن است. مقدار آن به صورت تقریبی به وسیله تصمیم‌گیرنده برآورد می‌شود. بازه مجاز حاصل شده برای هر  $\hat{y}_{rj}$ ، به صورت زیر داده می‌شود:

$$\hat{y}_{rj} \in [\sigma_r, 1] \quad j=1, \dots, n \quad (6)$$

برای اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی  $y_{r1} > y_{r2} > \dots > y_{rn}$ ، رابطه ترتیبی زیر پس از تبدیل مقیاس وجود دارد:

$$1 \geq \hat{y}_{r1}, \quad \hat{y}_{rj} \geq \chi_r \hat{y}_{r,j+1} \quad (j=1, \dots, n-1), \quad \hat{y}_{rn} \geq \sigma_r \quad (7)$$

که در اینجا  $\chi_r$  یک پارامتر شدت ترجیح است و در رابطه  $\chi_r > 1$  که به وسیله تصمیم‌گیرنده ارائه شده است، صدق می‌کند و  $\sigma_r$  پارامتر نسبت است که آن هم توسط تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شود. بازه مجاز حاصل شده برای هر  $\hat{y}_{rj}$  به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\hat{y}_{rj} \in [\sigma_r \chi_r^{n-j}, \chi_r^{1-j}], \quad j=1, \dots, n; \quad \sigma_r \leq \chi_r^{1-n} \quad (8)$$

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

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

### ۳-۴- اندازه‌های عملکرد کلی

کارایی‌های خوشبینانه و بدبینانه از دیدگاه‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شوند که به دو نمره‌دهی متفاوت برای تأمین‌کنندگان منجر می‌شود. از این رو یک اندازه عملکرد کلی مورد نیاز است تا نمره کلی تأمین‌کنندگان به دست آید. در اینجا از اندازه عملکرد کلی که توسط وانگ و چین<sup>۲۴</sup> برای نمره‌دهی DMUها در حضور داده‌های قطعی که به صورت زیر پیشنهاد شده است، استفاده می‌شود [۲۱، صص ۶۶۶۳-۶۶۷۹]:

$$\eta_j = \frac{\theta_j^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^{*\gamma}}} + \frac{\varphi_j^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \varphi_i^{*\gamma}}}, \quad j=1, \dots, n \quad (9)$$

که در اینجا  $\theta_j^*$  و  $\varphi_j^*$  به ترتیب مقدار کارایی‌های خوشبینانه و بدبینانه DMU<sub>j</sub> هستند. روشن است که اندازه عملکرد کلی تعریف شده در (۹)، نه فقط بزرگی دو کارایی را در نظر می‌گیرد بلکه به راستای آنها نیز توجه دارد.

فرض کنید  $\theta_j^* = [\theta_j^{L*}, \theta_j^{U*}]$  و  $\varphi_j^* = [\varphi_j^{L*}, \varphi_j^{U*}]$  به ترتیب بازه کارایی‌های خوشبینانه و بدبینانه DMU<sub>j</sub> باشند. براساس قواعد عملیاتی روی داده‌های بازه‌ای، داریم [۲۲]:



$$\begin{aligned}
 \eta_j &= \frac{[\theta_j^{L^*}, \theta_j^{U^*}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [\theta_i^{L^*}, \theta_i^{U^*}]^2}} + \frac{[\varphi_j^{L^*}, \varphi_j^{U^*}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [\varphi_i^{L^*}, \varphi_i^{U^*}]^2}} \\
 &= \frac{[\theta_j^{L^*}, \theta_j^{U^*}]}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n \theta_i^{L^*}, \sum_{i=1}^n \theta_i^{U^*}]}} + \frac{[\varphi_j^{L^*}, \varphi_j^{U^*}]}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n \varphi_i^{L^*}, \sum_{i=1}^n \varphi_i^{U^*}]}} \\
 &= \left[ \frac{\theta_j^{L^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^{L^*}}, \frac{\theta_j^{U^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^{U^*}}} \right] + \left[ \frac{\varphi_j^{L^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \varphi_i^{L^*}}, \frac{\varphi_j^{U^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \varphi_i^{U^*}}} \right] \\
 &= \left[ \frac{\theta_j^{L^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^{L^*}}} + \frac{\varphi_j^{L^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \varphi_i^{L^*}}}, \frac{\theta_j^{U^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^{U^*}}} + \frac{\varphi_j^{U^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \varphi_i^{U^*}}} \right], \quad j = 1, \dots, n.
 \end{aligned} \tag{10}$$

بدیهی است  $\eta_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) نیز باید یک عدد بازه‌ای باشد که آن را با  $[\eta_j^L, \eta_j^U]$  نشان داده می‌شود. در این صورت داریم:

$$\begin{aligned}
 \eta_j^L &= \frac{\theta_j^{L^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^{L^*}}} + \frac{\varphi_j^{L^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \varphi_i^{L^*}}}, \quad j = 1, \dots, n, \\
 \eta_j^U &= \frac{\theta_j^{U^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^{U^*}}} + \frac{\varphi_j^{U^*}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \varphi_i^{U^*}}}, \quad j = 1, \dots, n.
 \end{aligned} \tag{11}$$

برای راحتی رویکردی را که عملکرد کلی هر تأمین‌کننده را نسبت به هر دو کارایی خوشبینانه و بدبینانه تعیین می‌کند، رویکرد DEA با مرز دوگانه می‌نامیم. مرز تولید کارا مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان کارای خوشبینانه را مشخص می‌کند که عملکرد به نسبت خوبی دارند، در حالی که مرز تولید ناکارا مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان ناکارای بدبینانه را مشخص می‌کند که به نسبت، عملکرد ضعیف‌تری دارند. بهترین تأمین‌کننده را معمولاً می‌توان از میان تأمین‌کنندگان کارای خوشبینانه انتخاب کرد. این موضوع را در قسمت ۴ با مثال عددی نشان داده شده است.

از آن جایی که نمره کارایی نهایی هر تأمین‌کننده با یک بازه مشخص می‌شود، لذا یک

رویکرد رتبه‌بندی ساده ولی عملی برای مقایسه و رتبه‌بندی کارایی‌های تأمین‌کنندگان مورد نیاز است. برای رتبه‌بندی اعداد بازه‌ای پیش از این چند رویکرد توسعه داده شده‌اند ولی همگی آنها معایبی دارند، به‌خصوص وقتی که اعداد بازه‌ای مرکز یکسان ولی عرض‌های متفاوت دارند، همگی آنها از افتراق دادن این اعداد عاجز هستند. در ضمیمه A، «رویکرد مبتنی بر پیشیمانی کمینه - بیشینه» که توسط وانگ و همکاران توسعه یافته است، مطرح و از آن برای مقایسه و رتبه‌بندی بازه کارایی تأمین‌کنندگان استفاده شده است [۱۹، صص ۳۴۷-۳۷۰].

حال یک موقعیت تدارکاتی را در نظر بگیرید که تأمین‌کننده سطوح مختلف قیمت ( $C_{jk}^s$ )، کیفیت محصول، عملکرد ارسال و غیره را ارائه می‌کنند. همچنین بسته به مقدار خرید خریداران، تأمین‌کننده  $j$  یک تخفیف حجمی ارائه می‌کند که بازه‌های تخفیف ( $d_j$ ) براساس حجم تجارت هستند.

فرض: فرض این تحقیق آن است که تقاضای خریدار به وسیله یک تأمین‌کننده واحد قابل تأمین باشد.

### ۳-۵- الگوریتم

در این قسمت الگوریتم انتخاب تأمین‌کننده در محیط‌های تخفیف حجمی در حضور هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی ارائه می‌شود. مراحل به صورت زیر است:

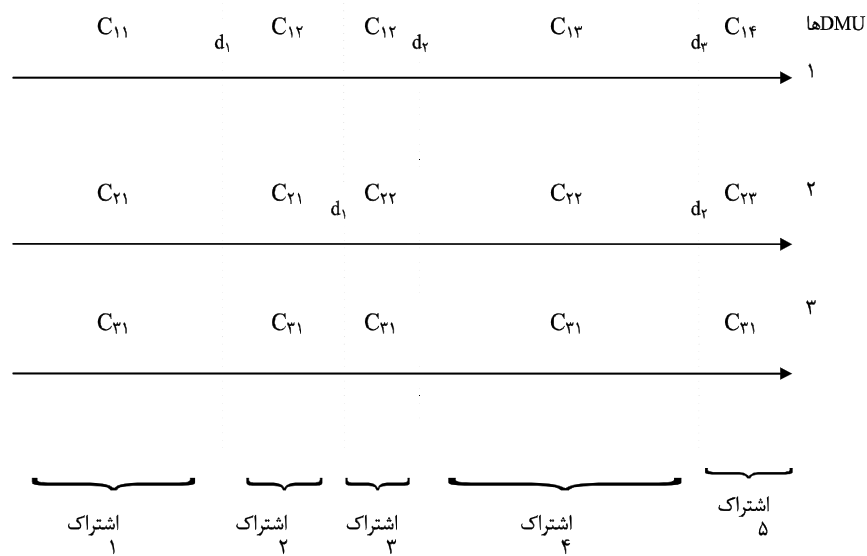
مرحله ۱: مقدار تقاضا را مشخص کنید. در این مرحله خریدار مقدار مواد مورد نیاز خود را مشخص می‌کند<sup>۲۶</sup>؛

مرحله ۲: بردار قیمت کمیت مورد نظر را مشخص کنید. در این مرحله برای هر تأمین‌کننده، تابع خطی قطعه‌ای قیمت مواد تسهیم می‌شود، به طوری که قیمت مواد هر تأمین‌کننده در بازه مربوطه یک پارامتر ثابت می‌شود؛ یعنی اشتراک سهم قیمت همه تأمین‌کنندگان محاسبه می‌شود. فرض کنید سه تأمین‌کننده وجود دارد. شکل ۱ این مرحله را به‌طور تصویری نشان می‌دهد.

مرحله ۳: مدل‌های (۱) - (۴) را با استفاده از بردار قیمت و داده‌ها برای معیارهای دیگر اجرا کنید. در این مرحله نسبت به بردار قیمت برای کمیت مورد نظر و داده‌های معیارهای دیگر مانند کیفیت، عملکرد تحویل و غیره، مدل‌های (۱) - (۴) اجرا می‌شوند؛



- مرحله ۴: اندازه‌های عملکرد کلی را پیدا کنید. در این مرحله با استفاده از فرمول‌های (۱۱) اندازه‌های عملکرد کلی به دست می‌آیند؛
- مرحله ۵: بازه عملکرد کلی را رتبه‌بندی کنید. در این مرحله، بازه‌های اندازه‌های عملکرد کلی مقایسه و رتبه‌بندی می‌شوند؛
- مرحله ۶: نتایج را تفسیر کنید. در این مرحله، نتایج تفسیر می‌شوند؛ در قسمت بعد یک مثال عددی ارائه می‌شود.



شکل ۱ اشتراک بخش‌های قیمت سه تأمین‌کننده

### ۳-۴- یک مثال عددی

برای روشن شدن مطلب، یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده ارائه می‌شود. این مثال که مجموعه داده‌های آن از فرضی‌پور صائین گرفته شده است، حاوی مشخصات ۱۲ تأمین‌کننده است [۱۷، صص ۶۹-۸۰]. از دیدگاه کارایی، با توجه به اینکه مصرف ورودی بیشتر برای هر واحد

خروجی به معنای کارایی بدتر است، قیمت  $(x_{1j})$  و شهرت تأمین‌کننده  $(x_{2j})$  به عنوان ورودی در نظر گرفته شد. تعداد صورت‌حساب‌های دریافت شده از تأمین‌کننده بدون خطا<sup>۲۸</sup> ( $y_{1j}$ ) نیز به عنوان خروجی در نظر گرفته شدند. ورودی کاردینال در نظر گرفته شده قیمت است. شهرت تأمین‌کننده به عنوان یک ورودی کیفی در نظر گرفته می‌شود و تعداد صورت‌حساب‌های دریافت شده از تأمین‌کننده بدون خطا به عنوان یک خروجی با داده‌های کراندار تلقی می‌شود. شهرت تأمین‌کننده یک عامل نامشهود است که به طور معمول به صراحت در مدل ارزیابی تأمین‌کننده گنجانده نمی‌شود. این متغیر کیفی روی یک مقیاس ترتیبی اندازه‌گیری می‌شود. بخش‌های قیمت برای کمیت سفارش در جدول ۱ براساس محدوده تخفیف برای هر تأمین‌کننده نشان داده شده است. جدول ۲ سایر صفات تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد. در این مثال، مقدار بینهایت کوچک غیر ارشمیدسی  $\epsilon = 10^{-4}$  منظور شده است.

جدول ۱ بخش‌های قیمت

شماره تأمین‌کننده (DMU)	دامنه‌ها (تن)	قیمت (دلار)
۱	[۰, ۱۰]	۱۰
	(۱۰, ۱۵]	۹
	(۱۵, ∞)	۷
۲	[۰, ۵]	۸
	(۵, ∞)	۵
	[۰, ۶]	۲۰
۳	(۶, ۱۰]	۱۸
	(۱۰, ۱۵]	۱۵
	(۱۵, ∞)	۱۳
	[۰, ∞)	۱۲
۴	[۰, ۸]	۱۰
	(۸, ∞)	۹
۵	[۰, ۱۱]	۱۵
	(۱۱, ∞)	۱۲
	[۰, ∞)	۱۳



ادامه جدول ۱

شماره تأمین‌کننده (DMU)	دامنه‌ها (تن)	قیمت (دلار)
۸	[۰, ۴]	۱۱
	(۴, ۷]	۱۰
	(۷, ∞)	۸
۹	[۰, ۱۲]	۸
	(۱۲, ∞)	۷
۱۰	[۰, ۱۵]	۱۴
	(۱۵, ۲۰]	۱۲
	(۲۰, ∞)	۹
۱۱	[۰, ∞)	۱۱
۱۲	[۰, ∞)	۱۴

جدول ۲ صفات دیگر برای ۱۲ تأمین‌کننده

شماره تأمین‌کننده (DMU)	ورودی	خروجی
	$X_{2j}^*$	$Y_{1j}$
۱	۵	[۵۰, ۶۵]
۲	۱۰	[۶۰, ۷۰]
۳	۱۲	[۴۰, ۵۰]
۴	۶	[۱۰۰, ۱۶۰]
۵	۴	[۴۵, ۵۵]
۶	۲	[۸۵, ۱۱۵]
۷	۸	[۷۰, ۹۵]
۸	۱	[۱۰۰, ۱۸۰]
۹	۹	[۹۰, ۱۲۰]
۱۰	۷	[۵۰, ۸۰]
۱۱	۱۱	[۲۵۰, ۳۰۰]
۱۲	۳	[۱۰۰, ۱۵۰]

\* رتبه‌بندی به صورتی که ۱۲ بالاترین رتبه: ۱؛ ...؛ ۱۰؛ ...؛ ۱۱؛ ...؛ ۱۲ پایین‌ترین رتبه ( $x_{r,3} > x_{r,11} > \dots > x_{r,8}$ ).



نخست فرض شود که تقاضای خریدار ۹ تن است. بعد اشتراک بخش‌های قیمت برای همه تأمین‌کنندگان تعیین کنید. جدول ۳ بردار قیمت مربوط را برای ۹ تن نشان می‌دهد.

جدول ۳ بردار قیمت مربوط برای ۹ تن و اطلاعات ترجیح ترتیبی تبدیل شده به داده‌های بازه‌ای

شماره تأمین‌کننده (DMU)	قیمت $(x_{1j})$	داده‌های ترتیبی تبدیل شده $(x_{pj})$
۱	۱۰	[۰,۰۹۸۸, ۰,۵۴۷۰]
۲	۵	[۰,۱۵۲۰, ۰,۸۴۱۷]
۳	۱۸	[۰,۱۸۰۶, ۱,۰۰۰۰]
۴	۱۲	[۰,۱۰۷۷, ۰,۵۹۶۳]
۵	۹	[۰,۰۹۰۷, ۰,۵۰۱۹]
۶	۱۵	[۰,۰۷۶۳, ۰,۴۲۲۴]
۷	۱۳	[۰,۱۲۸۰, ۰,۷۰۸۴]
۸	۸	[۰,۰۷۰۰, ۰,۳۸۷۵]
۹	۸	[۰,۱۳۹۵, ۰,۷۷۲۲]
۱۰	۱۴	[۰,۱۱۷۴, ۰,۶۴۹۹]
۱۱	۱۱	[۰,۱۶۵۷, ۰,۹۱۷۴]
۱۲	۱۴	[۰,۰۸۳۲, ۰,۴۶۰۴]

فرض کنید پارامتر شدت ترجیح و پارامتر نسبت درباره اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی به‌ترتیب به صورت  $\xi_p = 1.09$  و  $\sigma_p = 0.07$  برآورد شده‌اند. برای نشان دادن تکنیک تبدیل شرح داده شده در قسمت ۳-۳، برآورد بازه‌ای برای تأمین‌کننده شماره ۱ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{x}_{p1} \in [\sigma_p \xi_p^{n-j}, \xi_p^{1-j}] = [0.07(1.09)^{12-8}, 1.09^{1-8}] = [0.0988, 0.5470]$$

برآورد بازه‌ای برای شهرت هر تأمین‌کننده در ستون دوم جدول ۳ نشان داده شده است. بنابراین همه داده‌های ورودی و خروجی اکنون تبدیل به اعداد بازه‌ای شده‌اند که می‌توان آنها را با مدل‌های DEA بازه‌ای پیشنهادی ارزیابی کرد.

با اعمال مدل‌های DEA بازه‌ای (۱) و (۲)، نمرات کارایی خوشبینانه تأمین‌کنندگان به دست آورده می‌شود که در ستون دوم جدول ۴ نشان داده شده‌اند. با توجه به جدول ۴ می‌توان دریافت



که دو تأمین‌کننده، یعنی تأمین‌کنندگان شماره ۸ و ۱۱ برحسب مدل DEA (۱)، کارای DEA یا کارای خوشبینانه می‌باشند. اگر آنها قادر باشند از ورودی کمینه برای تولید خروجی بیشینه استفاده کنند، کارای خوشبینانه خواهند بود (کارا از نظر مقیاس)؛ در غیر این صورت، غیر کارای خوشبینانه خواهند بود. ده تأمین‌کننده باقیمانده با نمرات کارایی نسبی کمتر از یک غیر کارای خوشبینانه تصور می‌شوند. همچنین با اعمال مدل‌های DEA بازه‌ای (۳) و (۴)، نمرات کارایی بدبینانه تأمین‌کنندگان به دست آورده می‌شود که در ستون سوم جدول ۴ نشان داده شده‌اند. از دیدگاه کارایی بدبینانه، یک تأمین‌کننده یعنی تأمین‌کننده شماره ۳ برحسب مدل DEA (۳)، ناکارای DEA یا ناکارای بدبینانه می‌باشد. اگر از ورودی بیشینه برای تولید خروجی کمینه استفاده کند، ناکارای بدبینانه خواهد بود (ناکارا از نظر مقیاس)؛ در غیر این صورت، غیر ناکارای بدبینانه خواهد بود. یازده تأمین‌کننده باقیمانده با نمرات کارایی نسبی بیشتر از یک غیر ناکارای بدبینانه فرض می‌شوند. به‌علاوه نتایج به همراه بازه کارایی عملکرد کلی ۱۲ تأمین‌کننده - که با معادله‌های (۱۱) تعیین می‌شوند - در ستون چهارم جدول ۴ نشان داده شده‌اند. در نهایت برای مقایسه و رتبه‌بندی بازه کارایی عملکرد کلی ۱۲ تأمین‌کننده، از رویکرد مبتنی بر پیشیمانی کمینه - بیشینه که توسط وانگ و همکاران توسعه یافته است، استفاده شد (۱۹، صص ۳۴۷-۳۷۰). ستون آخر جدول ۵، رتبه‌بندی ۱۲ تأمین‌کننده را براساس بازه کارایی عملکرد کلی نشان می‌دهد. روشن است که تأمین‌کننده شماره ۱۱ بهترین عملکرد کلی را دارد که باید انتخاب شود.

جدول ۴ ارزیابی ۱۲ تأمین‌کننده با استفاده از DEA با مرز دوگانه

شماره تأمین‌کننده بازه کارایی خوشبینانه (بازه کارایی بدبینانه) (بازه کارایی عملکرد کلی)	$([\theta_j^L, \theta_j^U])$	$([\varphi_j^L, \varphi_j^U])$	$([\eta_j^L, \eta_j^U])$	(DMU)
۱	[۰,۱۸۳۳, ۰,۲۷۸۳]	[۲,۲۵۰۰, ۲,۹۲۵۱]	[۰,۱۹۷۵, ۰,۴۶۶۸]	
۲	[۰,۴۴۰۰, ۰,۵۱۳۳]	[۱,۷۸۳۹, ۶,۳۰۰۱]	[۰,۳۰۲۶, ۰,۹۳۷۴]	
۳	[۰,۰۸۱۵, ۰,۱۱۸۴]	[۱,۰۰۰۰, ۱,۲۵۰۱]	[۰,۰۸۷۸, ۰,۱۹۹۱]	
۴	[۰,۳۰۵۵, ۰,۵۸۸۱]	[۳,۷۵۰۰, ۶,۰۰۰۳]	[۰,۳۲۹۲, ۰,۹۷۱۲]	
۵	[۰,۱۸۳۳, ۰,۲۶۰۰]	[۲,۲۴۱۵, ۲,۷۵۰۱]	[۰,۱۹۷۱, ۰,۴۳۷۵]	
۶	[۰,۲۰۷۸, ۰,۵۸۵۸]	[۲,۵۵۰۱, ۳,۴۵۰۳]	[۰,۲۲۳۹, ۰,۷۵۴۰]	
۷	[۰,۱۹۷۴, ۰,۳۱۳۳]	[۲,۴۳۳۱, ۳,۲۸۸۷]	[۰,۲۱۲۷, ۰,۵۲۵۱]	

ادامه جدول ۴

شماره تأمین‌کننده بازه کارایی خوشبینانه (بازه کارایی بدبینانه (بازه کارایی عملکرد کلی)	$[\theta_j^L, \theta_j^U]$	$[\phi_j^L, \phi_j^U]$	$[\eta_j^L, \eta_j^U]$	(DMU)
۸	[۰,۴۵۸۳, ۱,۰۰۰۰]	[۵,۶۲۵۰, ۱۰,۱۲۵۴]	[۰,۴۹۳۸, ۱,۶۴۴۹]	
۹	[۰,۴۱۲۵, ۰,۵۵۰۰]	[۲,۹۱۵۵, ۶,۷۵۰۲]	[۰,۳۴۲۷, ۱,۰۰۴۴]	
۱۰	[۰,۱۳۰۹, ۰,۲۶۵۰]	[۱,۶۰۷۲, ۲,۵۷۱۶]	[۰,۱۴۱۱, ۰,۴۲۶۵]	
۱۱	[۰,۸۳۳۳, ۱,۰۰۰۰]	[۶,۸۱۶۵, ۱۲,۲۷۳۳]	[۰,۷۳۶۱, ۱,۸۲۶۲]	
۱۲	[۰,۳۶۱۹, ۰,۷۰۰۸]	[۳,۲۱۴۴, ۴,۸۲۱۸]	[۰,۲۸۲۲, ۰,۹۶۰۷]	

در نهایت آنچه در اینجا تلاش است تا بر آن تأکید شود، این موضوع است که هر نتیجه‌گیری ارزیابی (که فقط یکی از این دو دیدگاه را در نظر بگیرد) بدون تردید یک‌طرفه، غیر واقع‌گرایانه و غیر متقاعدکننده خواهد بود [۲۳، صص ۱۵۳-۱۷۳؛ ۲۴، صص ۱۲۹-۱۵۰؛ ۲۵، صص ۹۹-۱۱۷؛ ۲۶، صص ۱-۱۶؛ ۲۷، صص ۱۲۹-۱۴۴]. به عنوان مثال تأمین‌کنندگان شماره‌های ۲، ۱۲ و ۴ زمانی که از دیدگاه خوشبینانه ارزیابی می‌شوند، به ترتیب در رتبه سوم، پنجم و ششم قرار می‌گیرند (جدول ۵). همچنین زمانی که تأمین‌کنندگان شماره ۲، ۱۲ و ۴ از دیدگاه بدبینانه ارزیابی می‌شوند، عملکرد آنها به ترتیب به صورت پنجم، ششم و سوم رتبه‌بندی می‌شود (جدول ۵). این دو نتیجه ارزیابی به طور مسلم با یکدیگر تعارض دارند. یک مجموعه نمره‌دهی عملکرد باید مشتمل بر هر دوی آنها باشد.

جدول ۵ نتایج رتبه‌بندی

شماره تأمین‌کننده (DMU)	رتبه برحسب بازه کارایی خوشبینانه	رتبه برحسب بازه کارایی بدبینانه	رتبه برحسب بازه کارایی عملکرد کلی
۱	۹	۹	۹
۲	۳	۵	۶
۳	۱۲	۱۲	۱۲
۴	۶	۳	۴
۵	۱۰	۱۰	۱۰



ادامه جدول ۵

شماره تأمین‌کننده (DMU)	رتبه برحسب بازه کارایی خوشبینانه	رتبه برحسب بازه کارایی بدبینانه	رتبه برحسب بازه کارایی عملکرد کلی
۶	۷	۷	۷
۷	۸	۸	۸
۸	۲	۲	۲
۹	۴	۴	۳
۱۰	۱۱	۱۱	۱۱
۱۱	۱	۱	۱
۱۲	۵	۶	۵

#### ۴-۱- نتایج برای مدیریت

تصمیم‌های راهبردی مدیریت بر تمام حیطه‌های یک بنگاه تأثیر می‌گذارد. وقتی که این‌گونه تصمیم‌ها اتخاذ شدند، معیارهای اتخاذ تصمیم‌عملیاتی بعدی باید دوباره بررسی شود. جهت‌گیری‌های راهبردی جدید ممکن است مستلزم معیارهای جدید و تأکید مجدد بر معیارهای موجود باشد که در اتخاذ تصمیم‌های عملیاتی لازم برای اجرای آنها به کار می‌رود. یکی از جنبه‌های مهم بخش خرید، انتخاب تأمین‌کنندگان است. در محیط عملیاتی رقابتی امروز بدون داشتن تأمین‌کنندگان رضایت‌بخش نمی‌توان به محصولات کم‌هزینه و با کیفیت بالا دست دست پیدا کرد بنابراین یکی از مهم‌ترین تصمیم‌های خرید، انتخاب و حفظ گروه شایسته‌ای از تأمین‌کنندگان است.

خرید مواد اولیه از دیرباز به عنوان یک مسئله چند شاخصی شناخته شده است. در نظر گرفتن همزمان معیارهای متعدد تصمیم انتخاب را حتی برای مدیران خرید با تجربه دشوار می‌کند، زیرا هر کدام از تأمین‌کنندگان سطح موفقیت متفاوتی براساس معیارهای مختلف دارند، به طور مثال تأمین‌کننده‌ای که در یک صنعت پایین‌ترین قیمت را دارد، ممکن است از نظر تحویل یا کیفیت محصول عملکرد خوبی نداشته باشد. گرچه مسئله مربوط به ماهیت چند معیاری انتخاب تأمین‌کننده حل شده است، اما ظهور برنامه‌های قیمت‌گذاری با تخفیف، مانع بزرگی برای مدیران تدارکات در پیدا کردن بهترین راهبرد خرید ایجاد می‌کند. بسیاری از

مدل‌های بهینه‌سازی مدیریت زنجیره تأمین فرض می‌کنند که قیمت متوسط مخارج مربوطه ثابت است؛ یعنی قیمت‌های متوسط صرف‌نظر از مقیاس کمیت، روی مقدار خاصی تثبیت شده است. این مسئله با موقعیت واقعی بسیار تفاوت دارد. در واقع، تأمین‌کنندگان معمولاً تخفیف‌های حجمی ارائه می‌کنند تا خریداران را تشویق به سفارش بیشتر کنند. رویکرد DEA با مرز دوگانه برای انتخاب تأمین‌کننده که در این مقاله ارائه شد، چند ویژگی جالب دارد که عبارتند از:

- این مقاله رویکردی را ارائه کرده است که می‌تواند با توابع تخفیف کمیت مختلف کار کند؛
- رویکرد پیشنهادی، معیارهای متعدد را در محیط تخفیف حجمی در نظر می‌گیرد. این مسئله به مدیران کمک می‌کند تا تأمین‌کنندگان را با رویکرد جامعی انتخاب کنند که فراتر از صرف هزینه‌های خرید است.
- رویکرد پیشنهادی از نظر محاسباتی کارآمد است و می‌توان با یک کامپیوتر شخصی آن را ظرف چند ثانیه حل کرد.

## ۵- نتیجه‌گیری

بسیاری از صاحب‌نظران و پژوهشگران مزیت‌های مدیریت زنجیره تأمین را بیان کرده‌اند. به منظور افزایش مزیت رقابتی، بسیاری از شرکت‌ها یک سیستم زنجیره تأمین با طراحی و پیاده‌سازی خوب را یک ابزار مهم می‌دانند. در این شرایط، سرمایه‌گذاری برای نزدیکی و روابط درازمدت خریداران و تأمین‌کنندگان عامل مهمی برای موفقیت جهت تأسیس سیستم زنجیره تأمین است. بنابراین مسئله انتخاب تأمین‌کننده تبدیل به مهم‌ترین مسئله برای پیاده‌سازی یک سیستم زنجیره تأمین موفق می‌شود. در این مقاله برای انتخاب کاراترین تأمین‌کننده در حضور هر دو نوع داده‌های اصلی و ترتیبی، یک رویکرد DEA با مرز دوگانه ارائه شد. انتظار می‌رود که رویکرد DEA با مرز دوگانه بتواند نقش مهمی در مطالعات و کاربردهای انتخاب و توجیه تأمین‌کنندگان ایفا کند.

فرض این پژوهش آن بود که تقاضای خریدار به طور کامل به وسیله یک تأمین‌کننده برآورده می‌شود. اما ممکن است سهم واقعی تقاضای تأمین شده توسط هر تأمین‌کننده کمتر از کل تقاضا باشد. از این رو ایجاد مدلی برای کار با این فرض جدید می‌تواند موضوعی برای یک پژوهش دیگر باشد.



#### ۴-۵-۱-سیاسگزاری

مؤلفان مایلند از یک بررسی‌کننده ناشناس به خاطر نظرات خود که در بهبود مقاله بسیار ذیقیمت بود، تشکر کنند.

#### ۵-۲-ضمیمه A. رویکرد مبتنی بر پشیمانی کمینه - بیشینه برای رتبه‌بندی اعداد بازه‌ای

رویکرد مبتنی بر پشیمانی کمینه - بیشینه توسط وانگ و همکاران ایجاد شده است [۱۹، صص ۳۴۷-۳۷۰]. این رویکرد ویژگی‌های جذابی دارد که می‌توان از آن برای مقایسه و رتبه‌بندی بازه‌های کارایی تأمین‌کنندگان حتی در صورتی که مرکز مساوی ولی عرض متفاوت بدانند، استفاده کرد. این رویکرد در زیر خلاصه می‌شود.

فرض کنید  $A_i = [a_i^L, a_i^U] = \langle m(A_i), w(A_i) \rangle$  ( $i = 1, \dots, n$ ) بازه‌های کارایی  $n$  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  $A_i = [a_i^L, a_i^U]$  به عنوان بهترین بازه کارایی انتخاب شده است. فرض کنید  $b = \max_{j \neq i} \{a_j^U\}$ . روشن است که اگر  $a_i^L < b$ ، تصمیم‌گیرنده ممکن است، دچار کاهش کارایی شود و احساس پشیمانی کند. بیشینه اتلاف کارایی 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  $a_i^L \geq b$ ، تصمیم‌گیرنده به طور قطع دچار هیچ‌گونه اتلاف کارایی 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:

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

بنابراین معیار پشیمانی کمینه - بیشینه، بازه کارایی را که در شرط زیر صدق کند، به عنوان بهترین بازه کارایی انتخاب خواهد کرد:



#### ۴-۵-۱-سیاسگزاری

مؤلفان مایلند از یک بررسی‌کننده ناشناس به خاطر نظرات خود که در بهبود مقاله بسیار ذیقیمت بود، تشکر کنند.

#### ۵-۲-ضمیمه A. رویکرد مبتنی بر پشیمانی کمینه - بیشینه برای رتبه‌بندی اعداد بازه‌ای

رویکرد مبتنی بر پشیمانی کمینه - بیشینه توسط وانگ و همکاران ایجاد شده است [۱۹، صص ۳۴۷-۳۷۰]. این رویکرد ویژگی‌های جذابی دارد که می‌توان از آن برای مقایسه و رتبه‌بندی بازه‌های کارایی تأمین‌کنندگان حتی در صورتی که مرکز مساوی ولی عرض متفاوت بدارند، استفاده کرد. این رویکرد در زیر خلاصه می‌شود.

فرض کنید  $A_i = [a_i^L, a_i^U] = \langle m(A_i), w(A_i) \rangle$  ( $i = 1, \dots, n$ ) بازه‌های کارایی  $n$  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  $A_i = [a_i^L, a_i^U]$  به عنوان بهترین بازه کارایی انتخاب شده است. فرض کنید  $b = \max_{j \neq i} \{a_j^U\}$ . روشن است که اگر  $a_i^L < b$ ، تصمیم‌گیرنده ممکن است، دچار کاهش کارایی شود و احساس پشیمانی کند. بیشینه اتلاف کارایی 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  $a_i^L \geq b$ ، تصمیم‌گیرنده به طور قطع دچار هیچ‌گونه اتلاف کارایی 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:

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

بنابراین معیار پشیمانی کمینه - بیشینه، بازه کارایی را که در شرط زیر صدق کند، به عنوان بهترین بازه کارایی انتخاب خواهد کرد:

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

براساس تحلیل فوق، وانگ و همکاران تعریف زیر را برای مقایسه و رتبه‌بندی کارایی‌های بازه‌ای ارائه داده‌اند [۱۹، صص ۳۴۷-۳۷۰].

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

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

بازه کارایی با کوچک‌ترین بیشینه اتلاف کارایی، مطلوب‌ترین بازه کارایی خواهد بود. وانگ و همکاران برای رتبه‌بندی مجموعه بازه‌های کارایی با استفاده از مقادیر اتلاف بیشینه کارایی، مراحل حذف کردن زیر را پیشنهاد کردند [۱۹، صص ۳۴۷-۳۷۰]:

**مرحله ۱:** اتلاف بیشینه کارایی هر بازه کارایی را حساب کنید و مطلوب‌ترین بازه کارایی را که کوچک‌ترین اتلاف بیشینه کارایی را داشته باشد، انتخاب کنید. فرض کنید  $A_{i_1}$  انتخاب شده است که در اینجا  $1 \leq i_1 \leq n$ .

**مرحله ۲:**  $A_{i_1}$  را حذف کنید و دوباره اتلاف بیشینه کارایی هر بازه کارایی را حساب کنید و مطلوب‌ترین بازه کارایی را برای  $(n-1)$  بازه کارایی باقیمانده تعیین کنید. فرض کنید  $A_{i_2}$  انتخاب شده است که در اینجا  $1 \leq i_2 \leq n$  ولی  $i_2 \neq i_1$ .

**مرحله ۳:**  $A_{i_2}$  را حذف کنید و دوباره اتلاف بیشینه کارایی هر بازه کارایی را حساب کنید و مطلوب‌ترین بازه کارایی، یعنی  $A_{i_3}$  را برای  $(n-2)$  بازه کارایی باقیمانده تعیین کنید.

**مرحله ۴:** فرایند حذف فوق را تکرار کنید تا آنکه فقط یک بازه کارایی  $A_{i_n}$  باقی بماند. رتبه‌بندی نهایی  $A_{i_1} > A_{i_2} > \dots > A_{i_n}$  است که در اینجا نماد " $>$ " یعنی «برتر است از».

## ۶- پی‌نوشت‌ها

۱. داده‌های ترتیبی اعداد تخصیص داده شده به اشیا براساس ترتیب رتبه آنها (اول، دوم، سوم و غیره) است. داده‌های اصلی نوعی عام اعداد است که اندازه یک مجموعه، یعنی تعداد عناصر (cardinality) آن را نشان می‌دهد. برای مجموعه‌های متناهی، کاردینالیته به صورت یک عدد طبیعی داده می‌شود که همان تعداد عناصر موجود در مجموعه است.





2. Analytic Hierarchy Process (AHP)

۳. در AHP، یک فرض اساسی وجود دارد که معیارهای مختلف مسئله باید مستقل باشند. اما در مسائل دنیای واقعی، بین معیارها وابستگی وجود دارد. فرض اساسی استقلال معیارها به معنای ساده کردن بیش از حد است که منجر به خطا می‌شود.

4. Data Envelopment Analysis (DEA)

5. Decision-Making Units (DMUs)

۶. واحد قیمت ذکر شده به وسیله تأمین‌کننده  $j$  در بازه تخفیف  $K$

۷. این تقاضا را با یکی از روش‌های تعیین تقاضا مانند برنامه‌ریزی نیاز به مواد می‌توان تعیین کرد.

8. Supplier reputation

9. Number of bills received from the supplier without errors

### ۷- منابع

- [1] Farzipoor Saen, R., (2007), "A new mathematical approach for suppliers selection: Accounting for Non-homogeneity is important", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 185, pp. 84-95.
- [2] Shin, H., Collier, D. A., Wilson, D. D., (2000), "Supply management orientation and supplier/buyer performance", *Journal of Operations Management*, Vol. 18, pp. 317-333.
- [3] Kahraman, C., Cebeci, U., Ulukan, Z., (2003), "Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP", *Logistics Information Management*, Vol. 16, pp. 382-394.
- [4] 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*, Vol. 91, pp. 1-15.
- [5] Kumar, M., Vrat, P., Shankar, R., (2004), "A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 46, pp. 69-85.
- [6] Weber, C. A., (1996), "A data envelopment analysis approach to measuring vendor performance", *Supply Chain Management*, Vol. 1, pp. 28-39.
- [7] Braglia, M., Petroni, A., (2000), "A quality assurance- oriented methodology for handling trade- offs in supplier selection"; *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 30, pp. 96-111.

- [8] 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*, Vol. 5, pp. 90-98.
- [9] Liu, J., Ding, F. Y., Lall, V., (2000), "Using data envelopment analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 5, pp. 143-150.
- [10] Forker, L. B., Mendez, D., (2001), "An analytical method for benchmarking best peer suppliers", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21, pp. 195-209.
- [11] Talluri, S., Narasimhan, R., Nair, A., (2006), "Vendor performance with supply risk: A chance- constrained DEA approach", *International Journal of Production Economics*, 46(100), pp. 212-222.
- [12] Talluri, S., Sarkis, J., (2002), A model for performance monitoring of sSuppliers, *International Journal of Production Research*, Vol. 40, pp. 4257-4269.
- [13] Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W., (1984), "Some methods for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", *Management Science*, Vol. 30, pp. 1078-1092.
- [14] Dahel, N. E., (2003), "Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 8, pp. 335-342.
- [15] Arunkumar, N., Karunamoorthy, L., Anand, S., Ramesh Babu, T., (2006), "Linear approach for solving a piecewise linear vendor selection problem of quantity discounts using lexicographic method", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 28, pp. 1254-1260.
- [16] Xia, W., Wu, Z., (2007), "Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments", *Omega*, Vol. 35, pp. 494-504.
- [17] Farzipoor Saen, R., (2009), "Suppliers selection in volume discount environments in the presence of both cardinal and ordinal data", *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, Vol. 2, pp. 69-80.
- [18] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., (1978), "Measuring the efficiency of



- decision making units", *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429-444.
- [19] Wang, Y.M., Greatbanks, R., Yang, J. B., (2005), "Interval efficiency assessment using data envelopment analysis", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 153, pp. 347-370.
- [20] 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*, Vol. 35, pp. 4149-4156.
- [21] Wang, Y.M., Chin, K.S., (2009), "A new approach for the selection of advanced manufacturing technologies: DEA with double frontiers", *International Journal of Production Research*, Vol. 47, pp. 6663-6679.
- [22] Moore, R.E., (1979), *Method and application of interval analysis*, SIAM, Philadelphia.
- [23] Azizi, H., (2012), "Efficiency assessment in data envelopment analysis using efficient and inefficient frontiers", *Management Research in Iran*, 16(3), pp. 153-173 (In Persian).
- [24] Azizi, H., (2012), "A new approach for supplier selection in the presence of imprecise data: DEA with double frontiers", *Management Research in Iran*, 16 (2), pp. 129-150 (In Persian).
- [25] Azizi, H., Bahari, A., Jahed, R., (2014), A new approach for the selection of advanced manufacturing technologies: A new approach based on double frontiers data envelopment analysis, *Journal of Applied Mathematics*, Vol. 10, pp. 99-117 (In Persian).
- [26] Azizi, H., Jafari Shaerlar, A., (2013), Evaluation and selection of a supplier by interval DEA models with assurance region: A DEA approach with efficient and inefficient frontiers", *Journal of Industrial Management*, 8 (25), pp. 1-16 (In Persian).
- [27] Azizi, H., Jafari Shaerlar, A. Farzipoor Saen, R., (2016), "A new approach for considering a dual-role factor in supplier selection problem: DEA with efficient and inefficient frontiers", *Journal of Production & Operations Management*, 6 (2), pp. 129-144 (In Persian).