



Using Rough Data Envelopment Analysis for Suppliers Evaluation, Case Study: Iran Transfo Corporation

Ali Karimi, Ramin Sadeghian*, Kamran Yeganegi

Ali Karimi: Faculty Member at Industrial Engineering Group, Islamic Azad University, Zanjan Branch

Ramin Sadeghian: Corresponding Author, Assistant professor of Industrial Engineering Department, Islamic Azad University, South Tehran Branch

Kamran Yeganegi: Faculty Member at Industrial Engineering Group, Islamic Azad University, Zanjan Branch

Keywords

*Data Envelopment Analysis,
Rough Sets Theory,
Suppliers Evaluation,
Supply Chain Management*

ABSTRACT

In this paper, the performance of suppliers is evaluated based on their efficiencies. Evaluation environment is not always precise and we may face imprecise for evaluation indexes values. In this situation, traditional and certain models cannot be employed. For overcoming uncertainty problem, there are different models such as stochastic, statistical, Rough, Fuzzy, etc for solving uncertainty evaluation problems. In this research, DEA and Rough Set Theory (RST) have been integrated and a new hybrid model has been created to evaluate the suppliers under uncertainty situations. Rough Sets Theory is a new approach which uses the concept of approximation. At first, evaluation indexes have been modeled as Rough variables, and then Rough Data Envelopment Analysis model has been created. Then by using the Rough Expected Value, the Rough variables have been converted into a interval under a trust level and Rough Data Envelopment Analysis (RDEA) has been transformed into Interval Data Envelopment Analysis (IDEA). After solving the interval model, every supplier's efficiency has been demonstrated as an interval and finally by using Herwich approach and under a trust level, Interval Efficiency has been ranked. Proposed technique has been implemented in a Transformer production named Iran Transfo Company.

© 2015 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 25, No. 4, All Rights Reserved



استفاده از تحلیل پوششی داده‌های ناهموار برای ارزیابی تأمین‌کنندگان، مطالعه موردی: گروه صنعتی ایران ترانسفو

علی کریمی^۱، رامین صادقیان^{۲*}، کامران یگانگی^۳

چکیده:

کلمات کلیدی

در این مقاله ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان بر مبنای محاسبه کارایی‌های‌شان انجام می‌شود. محیط ارزیابی همیشه قطعی نبوده و امکان عدم قطعیت در مقادیر شاخص‌های ارزیابی وجود دارد که در این صورت روش‌های قطعی قابل استفاده و مناسب نخواهد بود. مدل‌های مختلفی از جمله احتمالی، آماری و فازی برای برخورد با عدم قطعیت وجود دارند. در این تحقیق با استفاده از ترکیب مدل تحلیل پوششی داده‌ها و تئوری مجموعه‌های ناهموار روش جدیدی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان در وضعیت غیرقطعی ارائه می‌شود. در تئوری مجموعه‌های ناهموار از مفهوم تقریب برای عدم قطعیت استفاده می‌شود و برخلاف تئوری فازی در آن نیازی به تخصیص درجه عضویت نیست. برای مدل‌سازی شاخص‌های ارزیابی به صورت متغیرهای ناهموار، مدل تحلیل پوششی ناهموار استفاده می‌گردد. سپس با استفاده از مفهوم برش ناهموار، متغیرها به بازه تبدیل می‌شود و مدل تحلیل پوششی داده‌های ناهموار به مدل تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای تبدیل می‌گردد. سپس با حل مدل بازه‌ای مقادیر کارایی هر یک از تأمین‌کنندگان به صورت یک بازه مشخص می‌شود و در مرحله آخر با استفاده از روش هروچ و در یک سطح اطمینان دلخواه، بازه‌های کارایی رتبه‌بندی می‌گردد. روش پیشنهادی در گروه صنعتی ایران ترانسفو پیاده‌سازی می‌شود.

تحلیل پوششی داده‌ها،
تئوری مجموعه‌های ناهموار،
ارزیابی تأمین‌کنندگان،
مدیریت زنجیره تأمین

تحلیل پوششی داده‌ها نیز یکی از روش‌های کارا در ارزیابی زنجیره تأمین به حساب می‌آید و به اندازه گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیری همگن می‌پردازد [۱]. یکی از مزیت‌های این روش به سایر روش‌ها این است که تحلیل پوششی داده‌ها وزن واحدی را به تمام شاخص‌های سنجش اختصاص نمی‌دهد بلکه با اختصاص بهترین وزن‌ها، کارایی حداکثر هر واحد را محاسبه می‌کند [۲]. تلفیق روش تحلیل پوششی داده‌ها با مدل‌های غیرقطعی در تحقیقات گذشته صورت گرفته است که می‌توان به مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های فازی، خاکستری و احتمالی و ... اشاره کرد ولی ترکیب تحلیل پوششی داده‌های با متغیرهای ناهموار تاکنون ارائه نشده است. دیگر نوآوری این مسئله، ارزیابی تأمین‌کنندگان با استفاده از این روش ترکیبی است. در این تحقیق با استفاده از تئوری مجموعه‌های ناهموار و متغیرهای ناهموار، روش کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها به یک رویکرد توانمند برای برخورد با شرایط عدم قطعیت تبدیل می‌شود. ارزیابی تأمین‌کنندگان فرآیندی است که طی آن از میان تأمین‌کنندگان موجود بهترین ترکیب جهت رفع نیازهای شرکت انتخاب

۱. مقدمه

از دو دیدگاه می‌توان به مسئله ارزیابی تأمین‌کنندگان نگاه کرد، اول از نظر روش‌های ارزیابی و دوم از نظر محیط قطعی یا غیرقطعی مسئله. برای مدل‌سازی شرایط عدم قطعیت مفاهیمی چون مجموعه‌های فازی و یا مدل‌های احتمالی ارائه شده‌اند ولی محیط واقعی را می‌توان به کمک یک محیط ناهموار نیز مورد بررسی قرار داد. اصطلاح ناهموار از مفاهیم تئوری مجموعه‌های ناهموار^۱ و متغیرهای ناهموار منبعت می‌شود.

تاریخ وصول: ۹۰/۰۷/۲۴

تاریخ تصویب: ۹۱/۱۰/۱۲

علی کریمی، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، گروه مهندسی صنایع کامران یگانگی، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، گروه مهندسی صنایع

*نویسنده مسئول مقاله: رامین صادقیان، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، دانشکده مهندسی صنایع، r_sadeghian@azad.ac.ir

¹ Rough Set Theory (RST)

تأمین‌کنندگان معرفی کردند. مدل ارائه شده با داده‌های غیرقطعی (برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان کارا) بکار برده شد و توانایی جداسازی را افزایش داد (یعنی جدا کردن تأمین‌کنندگان کارا از ناکارا). همچنین یک سیستم مبتنی بر وب را برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان توسعه دادند [۹].

می^۹ و همکاران از روش تحلیل پوششی داده‌ها و مجموعه‌های ناهموار برای آنالیز کارایی وسیله نقلیه^{۱۰} استفاده نمودند. با استفاده از تئوری مجموعه‌های ناهموار شاخص‌های زاید حذف شده و سپس با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها کارایی بدست آمد [۱۰]. یوان و لیو^{۱۱} یک مدل ارزیابی برای اهداف تخریبی جنگی^{۱۲} ارائه دادند. آن‌ها ابتدا مدل CCR را تشکیل دادند، سپس توزیع ناپویسته داده‌های ورودی و خروجی را ترتیب دادند و کاهش شاخص ناهموار را بر روی جدول تصمیم‌گیری اعمال نمودند [۱۱]. آزاده^{۱۳} و همکاران یک مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها، شبکه عصبی مصنوعی^{۱۴} (ANN) و تئوری مجموعه‌های ناهموار برای ارزیابی کارایی کارمندان ارائه کردند. در این مدل تحلیل پوششی داده‌ها دو نقش داشت. DEA داده‌های مورد نیاز ANN را فراهم ساخته و در پایان بهترین کاهش را از میان نتایج ANN انتخاب کرد. کاهش به عنوان یک زیر مجموعه از مجموعه کل شاخص‌ها شناخته می‌شود. این کاهش با استفاده از تئوری مجموعه‌های ناهموار صورت پذیرفت [۱۲].

سو^{۱۵} و همکاران از تحلیل پوششی داده‌های ناهموار برای ارزیابی کارایی زنجیره تأمین استفاده نمودند. آن‌ها مدل DEA ناهموار را یا ترکیب مدل DEA کلاسیک و تئوری مجموعه‌های ناهموار ساختند [۱۳]. یه^{۱۶} و همکاران یک روش ترکیبی از تحلیل پوششی داده‌ها، تئوری مجموعه‌های ناهموار و ماشین بردار پشتیبان و مجموعه‌های ناهموار برای پیش‌بینی شکست تجاری استفاده نمودند. در این روش نیز با استفاده از تئوری مجموعه‌های ناهموار تعداد شاخص‌ها ارزیابی کاهش یافت [۱۴].

بخش اول با تشریح کامل تئوری مجموعه‌های ناهموار آغاز می‌شود. بعد از بیان ویژگی‌های مجموعه‌های ناهموار به معرفی متغیر ناهموار پرداخته می‌شود. سپس عملگرهای خوش‌بینانه و بدبینانه و امید ریاضی ناهموار معرفی می‌شود و کاربرد آن در تبدیل متغیرهای ناهموار به عدد قطعی در یک سطح اطمینان دلخواه بیان خواهد شد. در بخش دوم در مورد تشکیل مدل تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از متغیرهای ناهموار و تغییرات مدل کلاسیک DEA در محیط ناهموار توضیح داده خواهد شد. سپس

می‌گردد. در این تحقیق منظور از ارزیابی تأمین‌کنندگان محاسبه کارایی هر تأمین‌کننده و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان است.

راس^۲ و همکاران از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان با توجه به شاخص‌های عملکردی دو طرف یعنی هم خریدار و هم فروشنده (تأمین‌کننده) استفاده کردند. در این رویکرد سه آنالیز حساسیت انجام گرفت. در اولین آنالیز، کارایی تأمین‌کنندگان بدون در نظر گرفتن وزن و محدوده‌های تیم ارزیابی محاسبه می‌گردد. دومین آنالیز، ارزیابی تیم ارزیابی را به تأمین‌کنندگان ترجیح داده در حالی که در سومین آنالیز، خریداران را به تأمین‌کنندگان ترجیح می‌دهد [۳]. صادقیان و همکاران از تحلیل پوششی داده‌ها و استراتژی کاهش برای ارزیابی تأمین‌کنندگان یک شرکت تولیدی استفاده کردند [۴]. تولری و ناراسیمهان^۳ روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) را برای انتخاب تأمین‌کنندگان کارا بکار بردند که همانند روش ناراسیمهان و همکاران [۵] می‌باشد با این تفاوت که از کارایی ساده در تجزیه و تحلیل استفاده کردند در حالی که تولری و ناراسیمهان [۶] از روش‌های آماری و کارایی‌های متقابل استفاده نمودند. سائ^۴ یک مدل DEA برای ارزیابی تأمین‌کنندگان با سه شاخص که یکی از آن‌ها کیفی است و نیز یک مقیاس پنج نقطه‌ای برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان از لحاظ کیفی را گسترش داد [۷].

در تمام این تحقیقات پارامترهای خروجی و ورودی قطعی فرض می‌شوند. درحالی‌که محیط واقعی اغلب یک محیط غیرقطعی است. برای حل این مشکل در ادامه تحقیقات، مدل‌های مختلفی ایجاد شدند که موفقیت آمیز بودند. تولری و همکاران از مدل معروف تحلیل پوششی داده‌ها با قیود احتمالی^۵ در کنار مقیاس‌های کارایی احتمالی جهت ارزیابی کارایی تأمین‌کنندگان ارائه دادند که قیمت به عنوان پارامتر ورودی و کیفیت و تحویل به موقع به عنوان پارامتر خروجی در نظر گرفته شد. همچنین برای نشان دادن قابلیت مدل، مدل ارائه شده با مدل DEA قطعی مقایسه شد [۶]. سائ^۴ یک مدل DEA غیرقطعی برای ارزیابی کارایی تأمین‌کنندگان، زمانی که داده‌ها کیفی و کمی هستند، ارائه داد. نویسنده تاکید کرد که شاخص اعتبار تأمین‌کنندگان (SR)^۶ که در مدل به عنوان خروجی در نظر گرفته شده، نمی‌تواند یک شاخص کمی باشد. مدل پیشنهادی به تصمیم‌گیرندگان این اجازه را می‌دهد که یک رتبه‌بندی کامل را نسبت به اعتبار تأمین‌کنندگان فراهم آورند. همچنین می‌توان مدل را در محیط‌های فازی بکار برد [۸]. وو^۸ و همکاران یک روش DEA غیرقطعی برای انتخاب

⁹ Mei

¹⁰ Vehicle Effectiveness Analysis

¹¹ Yuan and Liu

¹² Battlefield Target Destruction

¹³ Azadeh

¹⁴ Artificial Neural Network

¹⁵ Xu

¹⁶ Yeh

² Ross

³ Talluri and Narasimhan

⁴ Saen

⁵ Stochastic Constraints

⁶ Saen

⁷ Supplier Reputation

⁸ Wu

متغیرهای ناهموار مدل با استفاده از سطح α ، به بازه تبدیل گردیده و یک مدل تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای تشکیل می‌شود. با ارائه روش حل مناسب برای مدل بازه‌ای، کارایی‌های واحد تصمیم‌گیری که به صورت بازه هستند به دست آمده در پایان روش رتبه‌بندی هرویچ برای رتبه‌بندی و مقایسه این بازه‌های کارایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بخش چهارم، روش پیشنهادی در یک شرکت تولیدکننده ترانسفورماتور پیاده‌سازی می‌شود. شاخص‌های مورد نظر توسط پرسش‌نامه و بر پایه لیست وبر استخراج می‌شود و مقادیر هر یک از شاخص‌ها در بازه‌های چهار ماهه برای ۱۶ تأمین‌کننده محاسبه می‌گردد. بعد از محاسبه کارایی واحدها بر اساس روش ارائه شده در بخش سوم، آنالیز حساسیت مدل در سطوح مختلف انجام می‌گیرد و مقدار کارایی هر یک از واحدها در سطوح مختلف اطمینان به دست می‌آید. برای رتبه‌بندی واحدها در هر سطح اطمینان از روش معیار هرویچ استفاده می‌شود و رتبه هر واحد در سطوح مختلف به صورت یک نمودار بیان می‌گردد. مقادیر زیر نمودار هر واحد در سطوح مختلف اطمینان محاسبه می‌شود و بر اساس آن رتبه نهایی هر واحد تصمیم‌گیری مشخص می‌گردد.

۲. تئوری مجموعه‌های ناهموار

تئوری مجموعه‌های ناهموار^{۱۷} روش جدیدی برای برخورد با ابهام^{۱۸} است. در تئوری مجموعه‌های ناهموار عدم شفافیت^{۱۹} برخلاف تئوری فازی که با استفاده از درجه عضویت نشان داده می‌شود با استفاده از ناحیه مرزی نشان داده می‌شود. برتری استفاده از تئوری مجموعه‌های ناهموار بر تئوری‌های دیگر مانند فازی عبارت‌اند از [۱۵]:

نبود مشکل تخصیص درجه عضویت در این تئوری

کاهش دخالت تصمیم‌گیر در تعیین نوع متغیر غیرقطعی (مانند مشکل مثلثی یا دوزنقه‌ای بودن در فازی)

رفتار این تئوری ماهیت احتمالی دارد و به همین علت مدل‌سازی غیرقطعی بهتری ارائه می‌کند.

این تئوری علاوه بر داشتن ویژگی‌های تئوری مجموعه‌های فازی، در بعضی مواقع تعمیم آن است.

برای توضیح بیشتر فرض کنید U مجموعه‌ای از اشیا باشد که مجموعه مرجع (یا کل \mathcal{U}) نامیده می‌شود و R یک رابطه هم‌ارزی روی U است، $(R \subseteq U \times U)$. رابطه R در اصل، شناخت در مورد اعضای U را نشان می‌دهد. اگر X یک زیرمجموعه U باشد، قصد

داریم X را با توجه به رابطه R مشخص کنیم. برای درک مفهوم تئوری مجموعه‌های ناهموار می‌توان تعاریف ابتدائی زیر را ارائه داد: تعریف ۱. تقریب بالا^{۲۱} X ، اعضای هستند که احتمالاً متعلق به X هستند و با $R^*(X)$ نشان داده می‌شود [۱۵].

تعریف ۲. تقریب پایین^{۲۲} X ، اعضای هستند که حتماً متعلق به X هستند و با $R_*(X)$ نشان داده می‌شود [۱۵].

تعریف ۳. مرز^{۲۳} X ، اعضای هستند که نه دقیقاً متعلق به X هستند و نه دقیقاً متعلق به متمم X . یعنی اختلاف دو مجموعه تقریب پایین و تقریب بالا و به صورت $RN_R(X)$ نشان داده می‌شود [۱۵].

در شکل (۱) $U_1 \times U_2$ مجموعه کل بوده و $(U_1/R) \times (U_2/R)$ مجموعه خارج قسمت تعریف شده بر روی آن، $U_1 \times U_2$ را به مربع‌های کوچک نشان داده شده در شکل تقسیم می‌کند. از U_1/R و U_2/R واضح است که کدام ضلع از هر مربع در کلاس هم‌ارزی متناظر قرار دارد و کدام نه. شکل نشان می‌دهد که تقریب زیر ناحیه نشان داده شده منطبق بر کلاس‌های هم‌ارزی نیست.

با این تعاریف، تعریف مجموعه ناهموار^{۲۴} عبارت است:

تعریف ۴. مجموعه X هموار است اگر مرز آن تهی باشد و مجموعه X ناهموار است اگر مرز آن غیر تهی باشد [۱۵].

بنابراین یک مجموعه، ناهموار (غیر دقیق) است اگر مرز غیر تهی داشته باشد؛ در غیر این صورت مجموعه، هموار (دقیق) است.

تعریف ۵. یک متغیر ناهموار ξ یک تابع مقیاس‌پذیر^{۲۵} از فضای ناهموار $(\Omega, \Delta, \mathbf{A}, \pi)$ به مجموعه اعداد حقیقی است. به عبارت دیگر، برای هر مجموعه بورل B از \mathcal{R} ، داریم [۱۶]:

$$\{\lambda \in \Omega \mid \xi(\lambda) \in B\} \in \mathbf{A} \quad (1)$$

هم‌چنین یک متغیر ناهموار به شکل $([a, b], [c, d])$ که $c \leq a \leq b \leq d$ است، نشان‌دهنده تابع مشخصه $\xi(\lambda) = \lambda$ از فضای ناهموار $(\Omega, \Delta, \mathbf{A}, \pi)$ به مجموعه اعداد حقیقی است که $\Omega = \{\lambda \mid c \leq \lambda \leq d\}$ ، $\Delta = \{\lambda \mid a \leq \lambda \leq b\}$ ، \mathbf{A} جبر بورل روی Ω ، و π سنج لبه است.

تعریف ۶. فرض کنید ξ یک متغیر ناهموار باشد، و $\alpha \in [0, 1]$. داریم [۱۶]:

$$\xi_{sup}(\alpha) = \sup\{r \mid Tr\{\xi \geq r\} \geq \alpha\} \quad (2)$$

که مقدار α - خوش‌بین متغیر ξ نامیده می‌شود. و

²¹ Upper Approximation

²² Lower Approximation

²³ Boundary Region

²⁴ Rough Set

²⁵ Measurable Function

¹⁷ Rough Set Theory

¹⁸ Vagueness

¹⁹ Imprecision

²⁰ Universe

قضیه ۱. فرض کنید $\xi_{\inf}(\alpha)$ و $\xi_{\sup}(\alpha)$ مقادیر به ترتیب α - خوش‌بین و α -بدبین متغیر ناهموار ξ باشند. ویژگی‌های زیر را داریم [۱۶]:

۱. $Tr\{\xi \geq \xi_{\sup}(\alpha)\} \geq \alpha$ و $Tr\{\xi \leq \xi_{\inf}(\alpha)\} \geq \alpha$ ؛

۲. $\xi_{\inf}(\alpha)$ یک تابع صعودی و از چپ پیوسته α است.

۳. $\xi_{\sup}(\alpha)$ یک تابع نزولی و از راست پیوسته α است.

۴. اگر $0 \leq \alpha \leq 1$ باشد، داریم: $\xi_{\inf}(\alpha) = \xi_{\sup}(1-\alpha)$ و $\xi_{\sup}(\alpha) = \xi_{\inf}(1-\alpha)$.

۵. اگر $0 \leq \alpha \leq 0.5$ داریم: $\xi_{\inf}(\alpha) \leq \xi_{\sup}(\alpha)$.

۶. اگر $0.5 \leq \alpha \leq 1$ داریم: $\xi_{\inf}(\alpha) \geq \xi_{\sup}(\alpha)$.

$$\xi_{\inf}(\alpha) = \inf\{r \mid Tr\{\xi \leq r\} \geq \alpha\} \quad (۳)$$

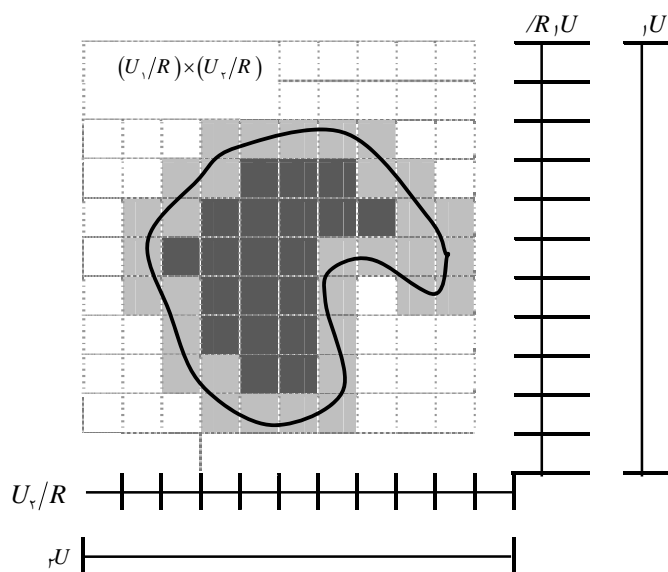
که مقدار α - بدبین متغیر ξ نامیده می‌شود.

مثلاً اگر $\xi = ([a, b], [c, d])$ و $c \leq a \leq b \leq d$ مقدار α - خوش‌بینانه ξ برابر است:

$$\xi_{\sup}(\alpha) = \begin{cases} (1-\alpha)c + \alpha d & \text{if } \alpha \leq \frac{(d-b)/[2(d-c)]}{2(1-\alpha)d + (\alpha-1)c} \\ 2(1-\alpha)d + (\alpha-1)c & \text{if } \alpha \geq \frac{(2d-a-c)/[2(d-c)]}{d(b-a) + b(d-c) - \alpha(b-a)(d-c)} \\ \frac{d(b-a) + b(d-c) - \alpha(b-a)(d-c)}{(b-a) + (d-c)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۴)$$

و مقدار α - بدبین ξ برابر است:

$$\xi_{\inf}(\alpha) = \begin{cases} (1-\alpha)c + \alpha d & \text{if } \alpha \leq \frac{a-c}{2(d-c)} \\ 2(1-\alpha)c + (\alpha-1)d & \text{if } \alpha \geq \frac{b+d-2c}{2(d-c)} \\ \frac{c(b-a) + a(d-c) + \alpha(b-a)(d-c)}{(b-a) + (d-c)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۵)$$



شکل ۱. یک مجموعه دوبعدی و تقریب‌های آن

بردارهای ناهموار هستند که به صورت رابطه زیر نشان داده می‌شوند که \hat{x}_{ij} ، نشان دهنده مقدار i -مین ورودی و \hat{y}_{ij} ، نشان دهنده مقدار r -مین خروجی j -مین DMU است.

$$\hat{X}_j = (\hat{x}_{1j}, \hat{x}_{2j}, \dots, \hat{x}_{mj})^T > 0, \hat{Y}_j = (\hat{y}_{1j}, \hat{y}_{2j}, \dots, \hat{y}_{rj})^T > 0 \quad (۶)$$

$j = 1, 2, \dots, n$:

۳. ارائه روش پیشنهادی

بنا بر تعاریف مدل DEA، هر تأمین‌کننده به عنوان یک DMU یا واحد تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود. فرض کنید n واحد تصمیم‌گیری وجود دارد و هر واحد تصمیم‌گیری m ورودی و s خروجی داشته باشد. چون هر عدد قطعی یک متغیر ناهموار است، می‌توان گفت همه متغیرهای ورودی و خروجی مدل، متغیرهای ناهموار هستند. پس بردارهای ورودی \hat{X}_j و خروجی \hat{Y}_j مربوط به واحد تصمیم‌گیری j ام (DMU_j)، بنا بر تعاریف انجام شده،

$$\begin{aligned} \max_{U,V} U^T [Y_o^{\sup(\alpha)}, Y_o^{\inf(\alpha)}] \\ V^T [X_o^{\sup(\alpha)}, X_o^{\inf(\alpha)}] = 1 \\ U^T [Y_o^{\sup(\alpha)}, Y_o^{\inf(\alpha)}] - V^T [X_o^{\sup(\alpha)}, X_o^{\inf(\alpha)}] \leq 0 \\ U^T [Y_j^{\sup(\alpha)}, Y_j^{\inf(\alpha)}] - V^T [X_j^{\sup(\alpha)}, X_j^{\inf(\alpha)}] \leq 0 \\ j = 1, 2, \dots, n; j \neq o \\ U, V \geq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

که بازه‌های $[X_j^{\sup(\alpha)}, X_j^{\inf(\alpha)}]$ و $[Y_j^{\sup(\alpha)}, Y_j^{\inf(\alpha)}]$ به ترتیب شکل تغییر یافته متغیرهای $\hat{X}_j = (\hat{x}_{1j}, \hat{x}_{2j}, \dots, \hat{x}_{mj})^T > 0$ و $\hat{Y}_j = (\hat{y}_{1j}, \hat{y}_{2j}, \dots, \hat{y}_{sj})^T > 0$ در سطح اطمینان $\frac{1}{p} \leq \alpha \leq 1$ هستند. حال مدل از حالت ناهموار به مدل بازه‌های تبدیل شد و مدل تحلیل پوششی داده‌ای بازه‌ای وجود دارد. برای توضیح بیشتر، در مدل تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای، ورودی‌ها و خروجی‌های آن‌ها به علت وجود عدم قطعیت و یا ناتوانی در اندازه‌گیری، قطعی نبوده و به صورت بازه می‌باشند. یعنی برای DMU_j ورودی‌ها به صورت $[x_{ij}^L, x_{ij}^U]$ ، $i = 1, 2, \dots, m$ و خروجی‌ها، $[y_{rj}^L, y_{rj}^U]$ ، $r = 1, 2, \dots, s$ که $x_{ij}^L, y_{rj}^L > 0$ خواهند بود.

کارایی‌های حاصل از حل مدل تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای ممکن است قطعی و یا به صورت کارایی بازه‌ای باشد (یعنی یک کارایی پایین و یک کارایی بالا داشته باشیم). دسپوتیس و اسمیرلیس برای حل این DEA بازه‌ای دو مدل ارائه کردند که یک مدل کارایی پایین و دیگری کارایی بالا را محاسبه می‌کند [۱۷]. با مشاهده دقیق مدل‌های دسپوتیس و اسمیرلیس، دانسته می‌شود که مجموعه‌ی محدودیت‌های دو مدل متفاوت هستند. هم‌چنان که محدودیت‌ها از یک DMU به DMU دیگر متفاوت هستند، حتی برای یک DMU نیز محدودیت‌های مدل کران بالا و کران پایین نیز مختلف هستند. واضح است که این دو مجموعه با هم متفاوت هستند. مشکل اصلی ناشی از مجموعه محدودیت‌های متفاوت، ایجاد مرز تولیدهای متفاوت و به سبب آن از بین رفتن مقایسه پذیری کارایی‌هاست. چون کارایی به صورت نسبت خروجی واقعی بر بزرگ‌ترین خروجی روی مرز تولید محاسبه می‌شود، اگر مرز تولید ثابت و منحصر به فرد نباشد، مقایسه بین کارایی‌ها بی‌معنی می‌باشد. برای دوری از این مشکل وانگ و همکاران دو جفت مدل جدید ارائه دادند که دارای مجموعه محدودیت‌های یکسان بوده و یک مرز تولید منحصر به فرد و ثابت ایجاد می‌کردند [۱۸]. مدل پیشنهادی به شرح زیر است: اگر در مدل CCR-DEA به جای مقادیر دقیق و قطعی ورودی‌ها و خروجی‌ها، مقادیر بازه‌های و غیر دقیق آن‌ها جایگزین گردد، نتیجه حاصل را می‌توان در رابطه (۱۰) مشاهده نمود.

با در نظر گرفتن متغیرهای ناهموار و اینکه $V = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T$ بردار وزن‌های ورودی و $U = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T$ بردار وزن‌های خروجی باشند. مدل کلاسیک CCR-DEA به صورت زیر در می‌آید:

$$\begin{aligned} \max_{U,V} U^T \hat{Y}_o \\ V^T \hat{X}_o = 1 \\ U^T \hat{Y}_o - V^T \hat{X}_o \leq 0 \\ U^T \hat{Y}_j - V^T \hat{X}_j \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n; j \neq o \\ U, V \geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

برای برخورد با این عدم قطعیت، در ادامه با استفاده از سطح α ، متغیرهای ناهموار مدل به بازه تبدیل می‌شود و مدل موجود به یک مدل بازه‌ای تبدیل می‌گردد. در این مرحله، مدل DEA ناهموار به یک مدل بازه‌ای تبدیل می‌گردد. به این صورت که؛ متغیرهای ناهموار مدل DEA ناهموار با استفاده از روش برش α ناهموار به بازه‌هایی تبدیل می‌شوند.

اگر ξ_j^α یک متغیر ناهموار باشد، و $\frac{1}{p} \leq \alpha \leq 1$. بر پایه تعریف (۶) و قضیه (۱)، مقادیر α -خوش‌بین و α -بدبین متغیر ξ_j^α ، $\xi_{\sup}^\alpha(\alpha)$ و $\xi_{\inf}^\alpha(\alpha)$ هستند و مشخص است که $\xi_{\inf}^\alpha(\alpha) \geq \xi_{\sup}^\alpha(\alpha)$. بنابراین، $\xi_{\sup}^\alpha(\alpha)$ و $\xi_{\inf}^\alpha(\alpha)$ یک بازه تشکیل می‌دهند که کران بالای آن $\xi_{\inf}^\alpha(\alpha)$ و کران پایین آن $\xi_{\sup}^\alpha(\alpha)$ است و به صورت $[\xi_{\sup}^\alpha(\alpha), \xi_{\inf}^\alpha(\alpha)]$ نشان داده می‌شود. حال بنا بر مباحث بالا، می‌توان متغیرهای ناهموار مدل رابطه (۷) را در سطح اطمینان α به بازه‌هایی تبدیل نمود. مطابق قضیه (۱) و با توجه به $\xi_{\inf}^\alpha(\alpha) \geq \xi_{\sup}^\alpha(\alpha)$ و اینکه $\frac{1}{p} \leq \alpha \leq 1$ می‌توان متغیرهای ناهموار \hat{X}_j و \hat{Y}_j مطابق با جدول (۱) تبدیل کرد.

جدول ۱. تبدیل متغیرهای ناهموار

بردار ناهموار	بردار بازه‌ای
$\hat{X}_j = \begin{bmatrix} \hat{x}_{1j} \\ \hat{x}_{2j} \\ \vdots \\ \hat{x}_{mj} \end{bmatrix}$	$\Rightarrow [X_j^{\sup(\alpha)}, X_j^{\inf(\alpha)}] = \begin{bmatrix} [x_{1j}^{\sup(\alpha)}, x_{1j}^{\inf(\alpha)}] \\ [x_{2j}^{\sup(\alpha)}, x_{2j}^{\inf(\alpha)}] \\ \vdots \\ [x_{mj}^{\sup(\alpha)}, x_{mj}^{\inf(\alpha)}] \end{bmatrix}$
$\hat{Y}_j = \begin{bmatrix} \hat{y}_{1j} \\ \hat{y}_{2j} \\ \vdots \\ \hat{y}_{sj} \end{bmatrix}$	$\Rightarrow [Y_j^{\sup(\alpha)}, Y_j^{\inf(\alpha)}] = \begin{bmatrix} [y_{1j}^{\sup(\alpha)}, y_{1j}^{\inf(\alpha)}] \\ [y_{2j}^{\sup(\alpha)}, y_{2j}^{\inf(\alpha)}] \\ \vdots \\ [y_{sj}^{\sup(\alpha)}, y_{sj}^{\inf(\alpha)}] \end{bmatrix}$

با این تبدیل مدل (۷) که در آن پارامترهای ناهموار وجود داشت به یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها در شکل بازه‌ای به صورت رابطه (۸) تغییر شکل می‌دهد:

θ_j ، $j = 1, 2, \dots, n$ به صورت بازه‌های تبدیل می‌گردد که در این حالت θ_j^L معرف حد پایین کارائی فنی واحد تصمیم‌گیری j ام و باید همواره عددی بزرگ‌تر از صفر باشد و θ_j^U معرف حد بالای واحد تصمیم‌گیری و مقدار آن باید کوچک‌تر یا مساوی واحد گردد. شکل جبری این موضوع در رابطه (۱۱) نشان داده می‌شود.

$$\theta_j = [\theta_j^L, \theta_j^U] = \left[\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^L}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L}, \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^U}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U} \right] \subseteq (0, 1), i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

از آنجا که θ_j همواره باید در بازه $[0, 1]$ واقع شود،

$$\max \theta_j^U = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^U$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^U - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

$$\max \theta_j^L = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^L$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^U - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

آن‌ها شامل نواقصی می‌شوند. در این تحقیق از روش معیار تصمیم‌گیری هرویج^{۲۶} (HCA) برای رتبه‌بندی و مقایسه کارائی‌های بازه‌ای استفاده می‌شود [۱۹]. مهم‌ترین دلیل استفاده از این روش این است که مقایسه و رتبه‌بندی تنها بر اساس بهترین و بدترین بازه صورت نمی‌گیرد بلکه در این روش تصمیم‌گیر آزادانه می‌تواند سطح اطمینان مختلفی را برای آنالیز بهترین، بدترین و یا یک ارزیابی کلی انتخاب کند. جزئیات این روش در ادامه توضیح داده می‌شود.

فرض کنید $(i = 1, 2, \dots, n)$ $A_i = [a_i^L, a_i^U] = (M(A_i), L(A_i))$ کارائی بازه‌ای واحد تصمیم‌گیری n ام باشد به طوری که $M(A_i) = \frac{1}{2}(a_i^U + a_i^L)$ و $L(A_i) = \frac{1}{2}(a_i^U - a_i^L)$ مرکز و طول شعاع بازه A_i هستند. اگر $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ سطح اطمینان مورد نظر تصمیم‌گیر باشد، از نظر روش تصمیم‌گیری هرویج، بازه‌ای که

$$\theta_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$\theta_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r [y_{rj}^L, y_{rj}^U]}{\sum_{i=1}^m v_i [x_{ij}^L, x_{ij}^U]} = \frac{\left[\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^L, \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^U \right]}{\left[\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L, \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U \right]} \quad (10)$$

$$\left[\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^L}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L}, \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^U}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U} \right], \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L = 1 \quad (12)$$

با حل دو مدل برنامه‌ریزی خطی فوق برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیری، یک بازه برای کارائی فنی هر یک حاصل می‌گردد که می‌توان آن‌ها را همانند جدول (۲) نمایش داد:

جدول ۲. کارائی بازه‌ای

DMU	DMU ₁	DMU _r	...	DMU _n
بازه‌های کارائی	$[\theta_1^L, \theta_1^U]$	$[\theta_r^L, \theta_r^U]$...	$[\theta_n^L, \theta_n^U]$

۳-۱. روش رتبه‌بندی معیار هرویج

پس از نمایش کارائی واحدهای تصمیم‌گیری به صورت بازه، نیاز به روشی برای رتبه‌بندی این بازه‌ها است. روش‌های محدودی برای مقایسه و رتبه‌بندی اعداد بازه‌ای به وجود آمده است ولی هر یک از

²⁶ Hurwicz Criterion Approach

گرفته می‌شوند. شرکت برای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های هر دسته از کالاها، ابتدا لیست تمام قطعاتی که توسط یک تأمین‌کننده ارائه می‌شوند را برای محاسبه شاخص تنوع تأمین تهیه می‌کند [۲۱].

۴-۱. انتخاب شاخص‌ها

شاخص‌های مورد نیاز برای ارزیابی تأمین‌کنندگان شرکت از میان شاخص‌های تحقیق و بر انتخاب شد، چون این شاخص‌های جدید و جامع بوده، شامل تحقیقات دیگری مثل مقاله دیکسون نیز می‌شود. وبر و همکاران وی، ۷۴ مقاله ارائه شده در زمینه مسئله انتخاب تأمین‌کننده را مورد بررسی قرار دادند [۲۲]. برای انتخاب شاخص‌های مورد نظر شرکت، لیست وبر به صورت پاسخنامه‌ای در اختیار کارشناس خرید شرکت قرار گرفت و خواسته شد که شاخص‌های مهم، و بدون اهمیت را تعیین نمایند. بعد از حذف شاخص‌های بدون اهمیت، شاخص‌های مهم تعیین شدند. از میان شاخص‌های مهم چهار شاخص قیمت، تحویل به موقع، کیفیت، موقعیت جغرافیایی انتخاب شد. بنا به ملاحظات شرکت شاخص تنوع تأمین‌کنندگی نیز به کل شاخص‌ها افزوده شد.

۴-۲. شاخص‌های ورودی

قیمت (P_j): قیمت در همه تحقیقات به عنوان مهم‌ترین شاخص بیان می‌شود. در این جا منظور از قیمت، نسبت کم‌ترین قیمت به قیمت پیشنهادی هر شرکت بیان می‌شود. چون شاخص قیمت به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود پس کاهش شاخص تعریف شده بر روی کارایی تأثیر مثبت خواهد داشت. این شاخص به صورت زیر رابطه (۱۶) بیان می‌شود:

$$P_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m k_{ij} \left(2 - \frac{lp_i}{p_{ij}} \right) \quad (16)$$

که $j = 1, 2, \dots, n$: اندیس شرکت، $i = 1, 2, \dots, m$: اندیس خرید، $k_{ij} = 1$ اگر شرکت j ام در خرید i ام شرکت داشته باشد و $k_{ij} = 0$ اگر شرکت j ام در خرید i ام شرکت نداشته باشد، p_{ij} : قیمت پیشنهادی شرکت j ام در خرید i ام، lp_i : کم‌ترین قیمت پیشنهادی در خرید i ام است.

تحویل به موقع (T_j): تأخیر در تحویل به موقع قطعات اثرات منفی بر انبار و تولید دارد. تأخیر هزینه‌های انباشت و کمبود موجودی انبار را افزایش داده و باعث توقف خط تولید می‌گردد. در این جا منظور از شاخص زمان تحویل، تعداد کل روزهای به تأخیر افتاده در تحویل بسته‌ها است. مقدار تأخیرها به صورت رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود:

بیشترین مقدار میانگین وزنی را داراست به عنوان مطلوب‌ترین گزینه انتخاب می‌شود.

$$\max \{ \alpha \max(A_i) + (1 - \alpha) \min(A_i) \} = \max \{ \alpha a_i^U + (1 - \alpha) a_i^L \} \quad (14)$$

با توجه به مطالب بالا می‌توان تعاریف زیر را برای رتبه‌بندی بازه‌های کارایی ارائه داد:

تعریف ۸. اگر $A_i = [a_i^L, a_i^U] = \langle M(A_i), L(A_i) \rangle$ یک بازه کارایی باشد و α سطح اطمینان ($0 \leq \alpha \leq 1$) باشد. مقدار شاخص هرویج برای A_i به صورت زیر است [۱۹]:

$$H(A_i) = M(A_i) + (\alpha - 1)L(A_i). \quad (15)$$

پارامتر α نشان‌گر مقدار ریسک در نظر گرفته شده توسط تصمیم‌گیر در برخورد با مسئله است. $\alpha > \frac{1}{2}$ نشان دهنده این است که تصمیم‌گیر خوش‌بین است و به دنبال ریسک زیاد. برای ریسک متعادل $\alpha = \frac{1}{2}$ است. اگر $\alpha < \frac{1}{2}$ باشد، تصمیم‌گیر بدبین و مقدار ریسک او کم است.

واضح است که هر چه اندازه شاخص هرویج هر بازه بیشتر باشد آن بازه به‌تر است. اگر $H(A) > H(B)$ از A به‌تر است. بازه‌ای که بیشترین مقدار شاخص هرویج را دارد، مطلوب‌ترین انتخاب تصمیم‌گیر بوده و باید در جایگاه اول رتبه‌بندی قرار گیرد. با کمک مقادیر شاخص هرویج می‌توان یک رتبه‌بندی کامل از بازه‌ها بدست آورد. این روش رتبه‌بندی، روش معیار هرویج نامیده می‌شود [۲۰].

بنا بر تعاریف بالا، واضح است که روش HCR یک راه انعطاف‌پذیر برای رتبه‌بندی و مقایسه کارایی‌های بازه‌ای فراهم می‌آورد. در این روش اجازه دخالت به تصمیم‌گیر با انتخاب سطح اطمینان مختلف داده می‌شود و او می‌تواند تحلیل حساسیت روی مسئله انجام دهد. تصمیم‌گیر می‌تواند از نتایجی که از تحلیل حساسیت به دست می‌آید پی به پایداری رتبه‌بندی بازه‌ها، همراه با تغییر مقدار سطح اطمینان خود ببرد.

Valuation

۴. مطالعه موردی

شرکت مورد مطالعه، گروه صنعتی ایران ترانسفو، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده ترانسفورماتور در کشور می‌باشد. این شرکت تولیدی شمار زیادی از قطعات مورد استفاده در خط تولید را از سازندگان داخلی و خارجی خریداری می‌شود. هم‌اکنون شرکت ۱۰۰ شرکت تأمین‌کننده دارد که بیش از ۸۰۰ قطعه را فراهم می‌کنند. شرکت، کل قطعات خریداری شده را به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌کند. در اینجا، ارزیابی در گروه قطعات پیاده‌سازی خواهد شد. معمولاً تأمین‌کنندگان در هر گروه کالا می‌توانند هم نوع و مشابه در نظر

۴-۴. نتایج ارزیابی

مقدار هر یک از شاخص‌ها برای ۱۶ تأمین‌کننده در ۴ بازه شش ماهه، یعنی در شش ماه دوم سال ۱۳۸۷ (۸۷۲)، شش ماه اول سال ۱۳۸۸ (۸۸۱)، شش ماه دوم ۱۳۸۸ (۸۸۲) و شش ماه اول ۱۳۸۹ (۸۹۱) محاسبه گردیده است. قابل ذکر است واحد زمان تحویل بر حسب روز، فاصله جغرافیایی بر حسب کیلومتر، تنوع تأمین‌کنندگان بر حسب قطعه و سایر شاخص‌های به نحوه محاسبه بدون واحد هستند.

به خاطر وجود عدم قطعیت و اهمیت، شاخص‌های قیمت، تحویل و کیفیت به عنوان متغیرهای ناهموار و سایر شاخص‌ها به عنوان متغیرهای قطعی در نظر گرفته شد. هر متغیر ناهموار به صورت $\xi = ([a, b], [c, d])$ است که شامل چهار پارامتر است. برای تخصیص پارامترهای متغیرهای ناهموار مسئله از داده‌های شش ماهه موجود استفاده کرد، بدین صورت که کم‌ترین مقدار در بین شش ماهه‌ها به پارامتر c ، بیشترین مقدار به d و سایر مقدار بر حسب بزرگی به a و b اختصاص پیدا می‌شود. به طور مثال برای ساختن متغیر قیمت برای تأمین‌کننده پنجم، c برابر با قیمت ۸۸۱ (کم‌ترین مقدار)، d برابر قیمت ۸۹۱ و b, a به ترتیب برابر قیمت ۸۸۲ و ۸۷۲ هستند. داریم:

$$P_R^I = ([1.100, 1.183], [1.030, 1.244])$$

متغیرهای ناهموار نیاز به تبدیل دارد تا بتوان از مدل‌های موجود DEA استفاده کرد. یکی از روش‌های تبدیل متغیرهای ناهموار روش برش آلفا است. مفهوم برش آلفا در بخش مختلف مهندسی و تئوری ریاضی بسیار استفاده می‌شود ولی ساختار این روش در تئوری مجموعه‌های ناهموار بسیار متفاوت است. در این روش متغیر ناهموار در سطح α برش داده می‌شود. α مقدار اطمینان و عددی بین صفر و یک باشد. قابل ذکر است α نشان‌گر مقدار ریسک در نظر گرفته شده توسط تصمیم‌گیر در برخورد با مسئله است. $\alpha > \frac{1}{2}$ می‌گوید که تصمیم‌گیر خوش‌بین است و به دنبال ریسک زیاد. اگر خواهان ریسک متعادلی باشیم داریم $\alpha = \frac{1}{2}$. اگر $\alpha < \frac{1}{2}$ باشد، تصمیم‌گیر بدبین و مقدار ریسک او کم است.

اگر $\frac{1}{2} \leq \alpha \leq 1$ داریم: $\xi_{\sup}(\alpha) \geq \xi_{\inf}(\alpha)$. بنابراین، $\xi_{\inf}(\alpha)$ و $\xi_{\sup}(\alpha)$ یک بازه تشکیل می‌دهند که کران بالای آن $\xi_{\inf}(\alpha)$ و کران پایینی آن $\xi_{\sup}(\alpha)$ است و به صورت $[\xi_{\sup}(\alpha), \xi_{\inf}(\alpha)]$ نشان داده می‌شود. در سطح اطمینان $\alpha = 0.7$ ، مقادیر $-\alpha$ خوش‌بین و $-\alpha$ بدبین نیز می‌توانند برای هر یک از متغیرهای مسئله به دست آیند. این مقادیر با استفاده از کد نویسی به زبان VBA در محیط MS Excell 2007 بدست آمده است.

(میانگین روزهای تأخیر شرکت j ام)

$$T_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m k'_{ij} \left(\frac{1}{r_i} \sum_{s=1}^r |t'_{si} - t'_{sij}| \right) \quad (17)$$

که در آن $j = 1, 2, \dots, n$: اندیس شرکت، $i = 1, 2, \dots, m$: اندیس خرید، اگر $k'_{ij} = 1$ اگر شرکت j ام برنده خرید i ام باشد و در غیر این صورت $k'_{ij} = 0$: تعداد بسته‌های در خرید i ام، $r_i = 1, 2, \dots, r_i$: اندیس بسته، t'_{si} : زمان تدارک قرارداد شده برای تحویل بسته s ام در خرید i ام توسط شرکت j ام، t'_{sij} : زمان تدارک واقعی برای تحویل بسته s ام در خرید i ام توسط شرکت j ام است. فاصله جغرافیایی (D_j): فاصله جغرافیایی به صورت مسافت میان محل شرکت تولیدکننده ترانسفورماتور و محل کارخانه یا مرکز بخش یا تولید شرکت تأمین‌کننده به کیلومتر بیان می‌شود. شاخص دوری به طور مستقیم بر هزینه‌های حمل و نقل و بعد از آن بر هزینه تهیه کالا موثر است. همچنین به علت زمستانی بودن محل شرکت تولیدکننده ترانسفورماتور برای جلوگیری از تأخیر در زمستان و رسیدن به موقع قطعات نزدیکی تأمین‌کننده بسیار مهم است.

۴-۳. شاخص‌های خروجی

کیفیت (Q_j): کیفیت به صورت میانگین نسبت قطعات سالم در هر خرید و به صورت رابطه (۱۸) بیان می‌شود.

$$Q_j = \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m k'_{ij} \left(\frac{q_{ij}}{tq_{ij}} \right) \right] \quad (18)$$

که q_{ij} : مقدار سالم شرکت j ام در خرید i ام، tq_{ij} : مقدار کل تحویلی شرکت j ام در خرید i ام، $k'_{ij} = 1$ اگر شرکت j ام برنده خرید i ام باشد و در غیر این صورت $k'_{ij} = 0$ ، r_i : تعداد بسته‌های در خرید i ام است.

تنوع تأمین‌کنندگی (SV_j): تنوع تأمین هر تأمین‌کننده مجموع تعداد کل قطعات است که تاکنون توسط آن ارائه می‌شود. این مقدار از روی ماتریس تأمین قابل محاسبه است. ماتریس تأمین، ماتریسی است که سطر آن لیست تمام شرکت‌های طرف قرارداد شرکت و ستون آن لیست تمام قطعات خریداری شده می‌باشد. هر چه مقدار تنوع تولید و تأمین شرکتی بیشتر باشد، نشان دهنده توانایی گسترده این شرکت تأمین‌کننده است.

برای محاسبه مقادیر شاخص‌های بالا یک بانک اطلاعاتی برای تأمین‌کنندگان شرکت تهیه و در اختیار کارشناس شرکت قرار گرفت. با تکمیل این بانک اطلاعاتی برای تمام خریدها و استعلام‌های در مراحل بعدی به ارزیابی پرداخته خواهد شد.

$$\max_{u,v} \theta_{j_0}^U = u_1 y_{1j_0}^U + u_r y_{rj_0}^U$$

s.t.

$$v_1 x_{1j_0}^L + v_r x_{rj_0}^L + v_\tau x_{\tau j_0}^L = 1$$

$$(u_1 y_{11}^U + u_r y_{r1}^U) - (v_1 x_{11}^L + v_r x_{r1}^L + v_\tau x_{\tau 1}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{12}^U + u_r y_{r2}^U) - (v_1 x_{12}^L + v_r x_{r2}^L + v_\tau x_{\tau 2}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{13}^U + u_r y_{r3}^U) - (v_1 x_{13}^L + v_r x_{r3}^L + v_\tau x_{\tau 3}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{14}^U + u_r y_{r4}^U) - (v_1 x_{14}^L + v_r x_{r4}^L + v_\tau x_{\tau 4}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{15}^U + u_r y_{r5}^U) - (v_1 x_{15}^L + v_r x_{r5}^L + v_\tau x_{\tau 5}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{16}^U + u_r y_{r6}^U) - (v_1 x_{16}^L + v_r x_{r6}^L + v_\tau x_{\tau 6}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{17}^U + u_r y_{r7}^U) - (v_1 x_{17}^L + v_r x_{r7}^L + v_\tau x_{\tau 7}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{18}^U + u_r y_{r8}^U) - (v_1 x_{18}^L + v_r x_{r8}^L + v_\tau x_{\tau 8}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{19}^U + u_r y_{r9}^U) - (v_1 x_{19}^L + v_r x_{r9}^L + v_\tau x_{\tau 9}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,10}^U + u_r y_{r,10}^U) - (v_1 x_{1,10}^L + v_r x_{r,10}^L + v_\tau x_{\tau,10}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,11}^U + u_r y_{r,11}^U) - (v_1 x_{1,11}^L + v_r x_{r,11}^L + v_\tau x_{\tau,11}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,12}^U + u_r y_{r,12}^U) - (v_1 x_{1,12}^L + v_r x_{r,12}^L + v_\tau x_{\tau,12}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,13}^U + u_r y_{r,13}^U) - (v_1 x_{1,13}^L + v_r x_{r,13}^L + v_\tau x_{\tau,13}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,14}^U + u_r y_{r,14}^U) - (v_1 x_{1,14}^L + v_r x_{r,14}^L + v_\tau x_{\tau,14}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,15}^U + u_r y_{r,15}^U) - (v_1 x_{1,15}^L + v_r x_{r,15}^L + v_\tau x_{\tau,15}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,16}^U + u_r y_{r,16}^U) - (v_1 x_{1,16}^L + v_r x_{r,16}^L + v_\tau x_{\tau,16}^L) \leq 0$$

$$u_1, u_r, v_1, v_r, v_\tau \geq 0$$

$$\max_{u,v} \theta_{j_0}^L = u_1 y_{1j_0}^L + u_r y_{rj_0}^L$$

s.t.

$$v_1 x_{1j_0}^U + v_r x_{rj_0}^U + v_\tau x_{\tau j_0}^U = 1$$

$$(u_1 y_{11}^U + u_r y_{r1}^U) - (v_1 x_{11}^L + v_r x_{r1}^L + v_\tau x_{\tau 1}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{12}^U + u_r y_{r2}^U) - (v_1 x_{12}^L + v_r x_{r2}^L + v_\tau x_{\tau 2}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{13}^U + u_r y_{r3}^U) - (v_1 x_{13}^L + v_r x_{r3}^L + v_\tau x_{\tau 3}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{14}^U + u_r y_{r4}^U) - (v_1 x_{14}^L + v_r x_{r4}^L + v_\tau x_{\tau 4}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{15}^U + u_r y_{r5}^U) - (v_1 x_{15}^L + v_r x_{r5}^L + v_\tau x_{\tau 5}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{16}^U + u_r y_{r6}^U) - (v_1 x_{16}^L + v_r x_{r6}^L + v_\tau x_{\tau 6}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{17}^U + u_r y_{r7}^U) - (v_1 x_{17}^L + v_r x_{r7}^L + v_\tau x_{\tau 7}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{18}^U + u_r y_{r8}^U) - (v_1 x_{18}^L + v_r x_{r8}^L + v_\tau x_{\tau 8}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{19}^U + u_r y_{r9}^U) - (v_1 x_{19}^L + v_r x_{r9}^L + v_\tau x_{\tau 9}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,10}^U + u_r y_{r,10}^U) - (v_1 x_{1,10}^L + v_r x_{r,10}^L + v_\tau x_{\tau,10}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,11}^U + u_r y_{r,11}^U) - (v_1 x_{1,11}^L + v_r x_{r,11}^L + v_\tau x_{\tau,11}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,12}^U + u_r y_{r,12}^U) - (v_1 x_{1,12}^L + v_r x_{r,12}^L + v_\tau x_{\tau,12}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,13}^U + u_r y_{r,13}^U) - (v_1 x_{1,13}^L + v_r x_{r,13}^L + v_\tau x_{\tau,13}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,14}^U + u_r y_{r,14}^U) - (v_1 x_{1,14}^L + v_r x_{r,14}^L + v_\tau x_{\tau,14}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,15}^U + u_r y_{r,15}^U) - (v_1 x_{1,15}^L + v_r x_{r,15}^L + v_\tau x_{\tau,15}^L) \leq 0$$

$$(u_1 y_{1,16}^U + u_r y_{r,16}^U) - (v_1 x_{1,16}^L + v_r x_{r,16}^L + v_\tau x_{\tau,16}^L) \leq 0$$

$$u_1, u_r, v_1, v_r, v_\tau \geq 0$$

(۱۹)

(۲۰)

جدول ۳. مقادیر کارایی بازه‌ای هر یک از تأمین‌کنندگان

واحد تصمیم‌گیری	کارایی بازه‌ای
DMU1	[۰.۹۵۲۸ , ۰.۹۴۲۸]
DMU2	[۰.۳۷۲۱ , ۰.۳۵۴۶]
DMU3	[۰.۹۶۱۳ , ۰.۹۰۰۹]
DMU4	[۰.۵۴۶۳ , ۰.۵۲۳۳]
DMU5	[۰.۹۵۵۰ , ۰.۹۵۰۸]
DMU6	[۱.۰۰۰۰ , ۰.۹۸۶۵]
DMU7	[۰.۷۵۵۳ , ۰.۷۱۹۹]
DMU8	[۱.۰۰۰۰ , ۰.۹۱۹۷]
DMU9	[۰.۹۳۷۰ , ۰.۸۶۴۵]
DMU10	[۱.۰۰۰۰ , ۰.۹۹۸۸]
DMU11	[۰.۶۷۹۲ , ۰.۶۲۸۴]
DMU12	[۱.۰۰۰۰ , ۰.۹۹۵۷]
DMU13	[۱.۰۰۰۰ , ۰.۹۵۶۲]
DMU14	[۰.۴۳۲۰ , ۰.۴۰۳۵]
DMU15	[۱.۰۰۰۰ , ۰.۹۸۲۱]
DMU16	[۰.۶۴۱۶ , ۰.۶۰۳۰]

بازه‌های حاصل تقریبی از متغیرهای ناهموار هستند. در حال حاضر متغیرهای ناهموار تبدیل به بازه‌هایی شده‌اند و می‌توان از مدل تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای استفاده نمود. با توجه به ایرادات بیان شده در بخش ۳ به مدل‌های بازه‌ای موجود، مدل تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای ارائه شده توسط وانگ و همکاران استفاده قرار می‌گیرد [۱۸]. نتایج کارایی حاصل از حل مدل‌های بازه‌ای به صورت بازه $[\theta^L, \theta^U]$ می‌باشد که θ^U کارایی بالا و θ^L کارایی پایین است. در مدل وانگ دو مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه شده که یک مدل برای محاسبه θ^U و دیگری برای θ^L مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دو مدل برنامه‌ریزی خطی برای تأمین‌کننده j_o ($j_o = 1, 2, \dots, 16$) به صورت رابطه‌های (۴-۴) و (۴-۵) هستند. این زوج مدل برنامه‌ریزی خطی در محیط برنامه‌نویسی GAMS نسخه ۲۳.۶.۲ برای هر ۱۶ تأمین‌کننده محاسبه گردید. مقادیر بهینه حاصل در جدول (۴-۱) نمایش داده می‌شود. جدول نشان‌دهنده مقادیر کارایی بازه‌ای هر یک از تأمین‌کنندگان در سطح اطمینان ۰.۷ است. واحدهای خاکستری بنا بر تعریف ۱-۳ واحدهای کارا هستند. پس از نمایش کارایی واحدهای تصمیم‌گیری به صورت بازه، نیاز به روشی برای رتبه‌بندی این بازه‌ها است. همان‌طور که در بخش بیان شد از روش معیار تصمیم‌گیری هرویچ استفاده می‌شود. معیار هرویچ در سطح اطمینان ۰.۷ و رتبه‌بندی کل محاسبه شد و در جدول (۴) نشان داده می‌شود.

جدول ۴. معیار هرویچ در سطح اطمینان ۷ درصد

DMU	معیار هرویچ (H)	رتبه
DMU1	۰.۹۴۹۸	۸
DMU2	۰.۳۶۶۸	۱۶
DMU3	۰.۹۴۳۲	۹
DMU4	۰.۵۳۹۴	۱۴
DMU5	۰.۹۵۳۷	۷
DMU6	۰.۹۹۵۹	۳
DMU7	۰.۷۴۴۶	۱۱
DMU8	۰.۹۷۵۹	۶
DMU9	۰.۹۱۵۳	۱۰
DMU10	۰.۹۹۹۶	۱
DMU11	۰.۶۶۳۹	۱۲
DMU12	۰.۹۹۸۷	۲
DMU13	۰.۹۸۶۸	۵
DMU14	۰.۴۳۳۵	۱۵
DMU15	۰.۹۹۴۶	۴
DMU16	۰.۶۳	۱۳

۴-۵. آنالیز حساسیت

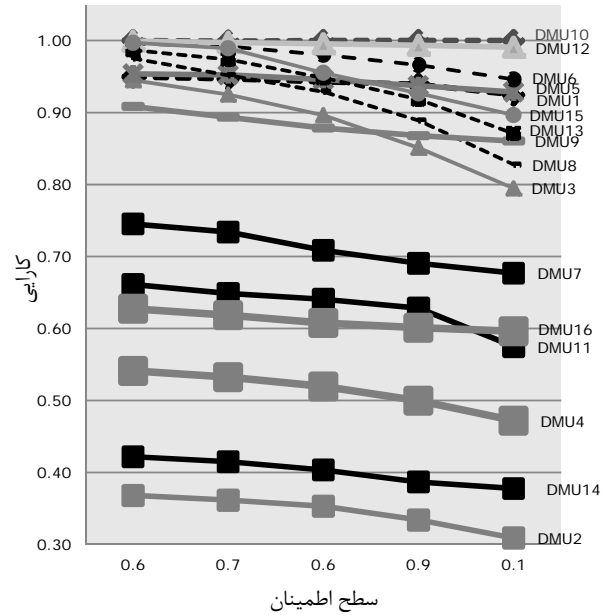
آنالیز حساسیت یکی از بخش‌های مهم برنامه‌ریزی خطی است. در این مسئله، سطح اطمینان α به عنوان پارامتر حساسیت در نظر گرفته می‌شود. بنا به تعریف α -خوش‌بین و α -بدبین یک متغیر ناهموار، هنگامی که مقدار α از ۰.۶ تا ۱ تغییر می‌کند، مقادیر α -خوش‌بین و α -بدبین تغییر پیدا می‌کنند. می‌توان نتایج ارزیابی را در سطوح اطمینان محاسبه نمود. برای بهتر نشان دادن رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری در سطوح اطمینان مختلف، از نمودار شکل (۲) استفاده شد.

با توجه به شکل (۲) مشخص است که رتبه واحدهای تصمیم‌گیری ۱۰، ۱۲، ۶، ۷، ۴، ۱۴ و ۲ در تمام سطوح و همیشه به ترتیب اول،

دوم، سوم، یازدهم، چهاردهم، پانزدهم، شانزدهم می‌باشد. ولی برای سایر واحدها نمی‌توان رتبه دقیقی بیان کرد چون دارای رتبه‌های مختلف در سطوح اطمینان متفاوت هستند، به طور مثال واحد ۱۳ در سطوح ۰.۶ و ۰.۷ رتبه پنجم در سطح اطمینان ۰.۸ رتبه ششم و در سطوح اطمینان ۰.۹ و ۱ مقام هفتم را دارد و تعیین جایگاه این واحد مشکل است. برای حل این مشکل از مقادیر زیر نمودار هر واحد در سطوح مختلف اطمینان استفاده شد. مقادیر این مساحت‌ها برای هر یک DMU در جدول (۵) نشان داده می‌شود. پس رتبه نهایی هر واحد تصمیم‌گیری مشخص می‌گردد که در ستون سوم جدول (۵) بیان می‌شود.

ترکیب این دو، امکان ارزیابی عملکرد بهتر در یک محیط غیرقطعی از داده‌ها بود. در طول تحقیق، انتخاب شاخص‌های ارزیابی تصمیم‌گیری مشکل بود که باید هم سلاقی شرکت تصمیم‌گیر و هم معیارهای علمی در نظر گرفته می‌شد. انتخاب شاخص در سه مرحله صورت گرفت در مرحله اول لیست معروف و بر در اختیار شرکت قرار گرفت و شاخص‌های بی اهمیت حذف گردید. در مرحله دوم از بین شاخص‌های باقیمانده و بر چهار شاخص مهم قیمت، کیفیت، تحویل به موقع، فاصله انتخاب شده و در مرحله سوم یک شاخص تنوع تأمین‌کنندگی به عنوان شاخص مورد نظر شرکت اضافه شد.

برای بررسی دقت نتایج، مدل ناهموار با مدل قطعی مقایسه شده است. میانگین ۴ مقدار شش ماهه به عنوان مقدار قطعی شاخص در نظر گرفته می‌شود، مثلاً شاخص قیمت شرکت سوم برای ۴ شش ماهه، ۱۰۰۸۸، ۱۰۱۰۱، ۱۰۰۰۱، ۱۰۰۳۸ می‌باشد که میانگین آن‌ها ۱۰۳۴ محاسبه می‌شود. با محاسبه مقادیر میانگین شاخص‌ها، مدل تحلیل پوششی داده‌های قطعی برای مسئله ارزیابی حل شده است. نتایج رتبه‌بندی حاصل از مدل قطعی و ناهموار در جدول ۶ نشان داده شده است.



شکل ۲: رتبه واحدها در سطوح مختلف

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک روش ترکیبی از تحلیل پوششی داده‌ها و تئوری مجموعه‌های ناهموار برای ارزیابی تأمین‌کنندگان ارائه شد. هدف از

جدول ۵. مقدار زیر نمودار هر DMU

DMU	مقدار مساحت زیر نمودار	رتبه کل
DMU10	۱۵۹.۹۷	۱
DMU12	۱۵۹.۲۶	۲
DMU6	۱۵۶.۳۷	۳
DMU15	۱۵۲.۷۱	۴
DMU5	۱۵۱.۰۷	۵
DMU13	۱۵۰.۷۶	۶
DMU1	۱۵۰.۶۴	۷
DMU8	۱۴۶.۸۴	۸
DMU3	۱۴۱.۶۹	۹
DMU9	۱۴۰.۹۷	۱۰
DMU7	۱۱۳.۷۷	۱۱
DMU11	۱۰۱.۴۳	۱۲
DMU16	۹۷.۵۵	۱۳
DMU4	۸۲.۳۳	۱۴
DMU14	۶۴.۲	۱۵
DMU2	۵۵.۴۹	۱۶

جدول ۶. رتبه واحدها در مدل قطعی و ناهموار

رتبه	مدل ناهموار	مدل قطعی
1	DMU10	DMU10
2	DMU12	DMU12
3	DMU6	DMU6
4	DMU15	DMU15
5	DMU5	DMU13
6	DMU13	DMU8
7	DMU1	DMU3
8	DMU8	DMU1
9	DMU3	DMU5
10	DMU9	DMU9
11	DMU7	DMU7
12	DMU11	DMU11
13	DMU16	DMU16
14	DMU4	DMU4
15	DMU14	DMU14
16	DMU2	DMU2

[۴] صادقیان، رامین؛ کریمی، علی؛ سیاح مرکبی، محسن، ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و استراتژی کاهش، پنجمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت استراتژیک و عملکرد، ایران، ۱۳۸۹.

[5] Narasimhan R, Talluri S, Mendez D. Supplier evaluation and rationalization via data envelopment analysis: an empirical examination, *Journal of supply chain Management*, 2001, Vol. 37, pp. 28-37.

[6] Talluri S, Narasimhan R, Nair A. Vendor performance with supply risk: a chance-constrained DEA approach, *International Journal of Production Economics*, 2006, Vol. 100, pp. 212-222,

[7] Saen R. A decision model for selecting technology suppliers in the presence of nondiscretionary factors, *Applied Mathematics and Computation*, 2006, Vol. 181, pp. 1609-1615.

[8] Saen, R., "Suppliers selection in the presence of both cardinal and ordinal data," *European Journal of Operational Research*, vol. 183, pp. 741-747, 2007.

[9] Wu T, Shunk D, Blackhurst J, Appalla R. AIDEA: A methodology for supplier evaluation and selection in a supplier-based manufacturing environment, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 2007, Vol. 11 pp. 174-192.

[10] Mei G, Zhang X, Xu Z. Vehicle effectiveness analysis with rough set and DEA, *Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2009.

[11] Yuan H, Liu JY. Assessment model of battlefield target destruction based on DEA method and rough set, *2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*, 2009.

[12] Azadeh A, Saberi M, Moghaddam RT, Javanmardi L. An integrated Data envelopment analysis-artificial neural network-rough set algorithm for assessment of personnel efficiency, *Expert Systems with Applications*, 2011, Vol. 38, pp. 1364-1373.

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌گردد به ترتیب تأمین‌کنندگان ۱۰، ۱۲، ۶، ۱۵، ۹، ۷، ۱۱، ۱۶، ۴، ۱۴، ۲ رتبه یکسان ۱، ۲، ۳، ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ را در دو رتبه‌بندی قطعی و ناهموار داشته‌اند. ولی رتبه تأمین‌کنندگان ۱، ۵، ۳، ۸، ۱۳ تغییر کرده است.

می‌توان نتیجه گرفت که در این نوع ارزیابی همیشه با دو مشکل مواجه هستیم که یکی عبارت است از وجود رتبه‌بندی‌های مختلف در سطوح اطمینان متفاوت، که در این تحقیق این مشکل با محاسبه مقدار زیر نمودار حل شد. مشکل دوم رتبه‌بندی‌های متفاوت حاصل از مدل‌های قطعی و غیرقطعی است که این مشکل با استفاده از مقایسه دو به دو واحدها و یافتن برتری نسبی آن‌ها قابل رفع می‌باشد. در طول تحقیق سؤالات، کمبودها و پیشنهادهای ایجاد شد که در تحقیقات آتی می‌توانند مورد توجه قرار گیرند که عبارتند از:

در این تحقیق از مدل CCR ورودی گرا استفاده گردید. مدل DEA دارای مدل‌های مختلفی از جمله BCC و یا خروجی گرا است. مفید است که از مدل‌های دیگر نیز استفاده شود.

مدل ترکیبی پیشنهادی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان ارائه شد. بسیار جذاب است که از این مدل برای ارزیابی موارد دیگری از جمله ارزیابی بیمارستان‌ها استفاده نمود.

می‌توان در این تحقیق بجای روش هرویچ از روش‌های دیگری مانند روش کمینه حداکثر زیان (MRA) برای رتبه‌بندی بازه‌های کارایی استفاده نمود.

با جابه‌جایی مدل DEA با مدل‌های دیگر مانند AHP می‌توان مدل ناهموار جدیدی ارائه نمود.

می‌توان برای انتخاب شاخص‌های ورودی و خروجی از لیست‌های مشهور خرید مانند دیکسون استفاده نمود.

مراجع

[۱] میر حسینی، سید علی، تحلیل پوششی داده‌ها مدل‌ها و کاربردها، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، صفحه ۱۲۸-۱۱۲، ۱۳۸۷.

[۲] غضنفری، مهدی؛ فتح الله، مهدی، نگرشی جامع بر مدیریت زنجیره تأمین، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، صفحه ۱۳۶-۱۳۰، ۱۳۸۵.

[3] Ross A, Buffa F, Droge C, Carrington D. Supplier Evaluation in a Dyadic Relationship: an action research approach, *Journal of Business Logistics*, Vol. 27, p. 75, 2006.

- [22] Weber C, Current J, Benton W, Vendor selection criteria and methods, *European Journal of Operational Research*, 1991, Vol. 50, pp. 2-18.
- [13] Xu J, Li B, Wu D. Rough data envelopment analysis and its application to supply chain performance evaluation, *International Journal of Production Economics*, 2009, Vol. 122, pp. 628-638.
- [14] Yeh CC, Chi DJ, Hsu MF. A hybrid approach of DEA, rough set and support vector machines for business failure prediction, *Expert Systems with Applications*, 2010, Vol. 37, pp. 1535-1541.
- [15] Pawlak Z. Rough sets, *International Journal of Parallel Programming*, 1982, Vol. 11, pp. 341-356.
- [16] Liu BD. *Uncertain Theory: An Introduction to its Axiomatic Foundation*, Berlin, Springer, 2004.
- [17] Despotis, DK., Smirlis, YG., Data envelopment analysis with imprecise data, *European Journal of Operational Research*, 2002, Vol. 140, pp. 24-36.
- [18] Wang YM, Greatbanks R, Yang JB. Interval efficiency assessment using data envelopment analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 2005, Vol. 153, pp. 347-370.
- [19] Wang YM, Yang JB. Measuring the performances of decision-making units using interval efficiencies, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2007, Vol. 198, pp. 253-267.

[۲۰] کریمی، علی؛ ذوالفقاری، حسن؛ صیحانی، عباس، روش ترکیبی تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای و روش هرویچ برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان کارا در شرایط عدم قطعیت، چهارمین کنفرانس بین‌المللی تحقیق در عملیات، ایران، ۱۳۹۰.

[۲۱] کریمی، علی؛ همتی، حسین؛ صادقیان، رامین؛ حجازی، سید رضا، ترکیب روش کمینه حداکثر زیان و تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای برای رتبه‌بندی کارایی تأمین‌کنندگان (مطالعه موردی شرکت ایران ترانسفو)، سومین کنفرانس ملی تحلیل پوششی داده‌ها، ایران، ۱۳۹۰.