


Evaluation and Selection of Sustainable Suppliers by Providing a Decision Support System Based on a New Data Envelopment Analysis Model and Cumulative Star Utility

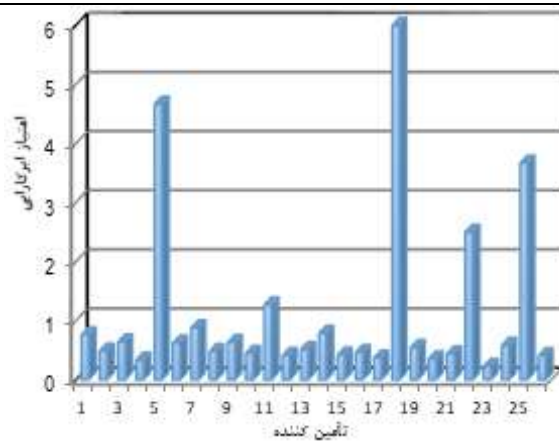
Seyyed Akbar Gholamian 

Lecturer, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

HIGHLIGHTS

- The issue of choosing a supplier is considered a decision due to the consideration of multiple criteria.
- The current research studies decision-making techniques.
- According to the results obtained from the present research, it is possible to evaluate and measure the desirability of Sapco's suppliers.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: May 11, 2023

Received in revised form: February 12, 2024

Accepted: April 13, 2024

Available online: May 21, 2024

*Correspondence:

gholamian@pnu.ac.ir

How to cite this article:

Gholamian, S.M. (2024). Evaluation and Selection of Sustainable Suppliers by Providing a Decision Support System Based on a New Data Envelopment Analysis Model and Cumulative Star Utility. *System Engineering and Productivity*, 4(1) 1-13.

Keywords:

Data envelopment analysis

Cumulative Star Utility

Sustainable supplier selection

Decision support system

ABSTRACT

Decision-making around sustainable supplier selection is a key issue in supply chain management that has become an important goal for Sapco in recent years. The supplier selection problem is considered a decision-making problem due to the consideration of multiple criteria. As a result, some of the most widely used decision-making approaches known in this field can be used to solve these problems. In this regard, considering the importance of the problem, the present study attempts to present a decision support system based on data envelopment analysis and cumulative star utility by studying some decision-making techniques and examining study gaps. The new decision support system uses three steps to evaluate and select suppliers of the problem. In the first step, decision-making indicators and options were extracted by reviewing the research background, interviewing experts, and reviewing documents available in the organization. In the second step, the decision-making options were ranked and efficient units were identified by implementing the data envelopment analysis model. Finally, in the third step, by implementing the cumulative utility star method (UTASTAR), the utility of Sapco's efficient units was determined to select the most desirable supplier. According to the results obtained from the present study, Sapco's suppliers can be evaluated and their utility can be measured, and with a decision support system, the results can be presented with greater confidence for decision-making.

ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده پایدار با ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر مدل جدید تحلیل پوششی داده‌ها و مطلوبیت تجمعی ستاره

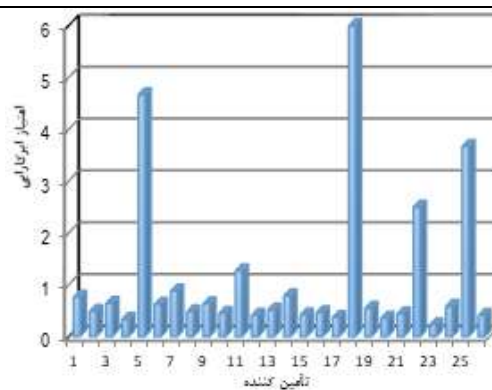
سید اکبر غلامیان

مریی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

برجسته‌ها

- مسئله انتخاب تأمین‌کننده به دلیل در نظر گرفتن معیارهای متعدد یک تصمیم‌گیری محسوب می‌گردد.
- تحقیق حاضر تکنیک‌های تصمیم‌گیری را مطالعه می‌کند.
- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌توان تأمین‌کنندگان شرکت ساپکو را ارزیابی و مطلوبیت‌سنجی نمود.

چکیده گرافیکی



مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۱

بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

ارائه برخط: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱

*نویسنده مسئول:

gholamian@pnu.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

تحلیل پوششی داده‌ها
مطلوبیت تجمعی ستاره
انتخاب تأمین‌کننده پایدار
سیستم پشتیبان تصمیم
شرکت ساپکو

چکیده

تصمیم‌گیری پیرامون انتخاب تأمین‌کننده پایدار یک موضوع کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین است که در سال‌های اخیر به یک هدف مهم برای شرکت ساپکو تبدیل شده است. مسئله انتخاب تأمین‌کننده به دلیل در نظر گرفتن معیارهای متعدد یک تصمیم‌گیری محسوب می‌گردد. در نتیجه می‌توان از برخی از پرکاربردترین رویکردهای تصمیم‌گیری شناخته‌شده در این حوزه برای حل این مسائل بکار گرفت. در این راستا با توجه به اهمیت مسئله، تحقیق حاضر سعی دارد با مطالعه برخی تکنیک‌های تصمیم‌گیری و بررسی شکاف‌های مطالعاتی، به ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها و مطلوبیت تجمعی ستاره بپردازد. سیستم پشتیبان تصمیم جدید از سه گام به‌منظور ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان مسئله بهره می‌گیرد. در گام نخست شاخص‌ها و گزینه‌های تصمیم‌گیری، از طریق بررسی پیشینه پژوهش، مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد موجود در سازمان استخراج گردیدند. در گام دوم، با پیاده‌سازی مدل تحلیل پوششی داده‌ها به رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم‌گیری و مشخص نمودن واحدهای کارا پرداخته شد. در نهایت در گام سوم با پیاده‌سازی روش مطلوبیت تجمعی ستاره (UTASTAR)، میزان مطلوبیت واحدهای کارا شرکت ساپکو جهت انتخاب مطلوب‌ترین تأمین‌کننده مشخص گردیدند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌توان تأمین‌کنندگان شرکت ساپکو را ارزیابی و مطلوبیت‌سنجی نمود و با یک سیستم پشتیبان، تصمیم نتایج را با اطمینان بیشتری جهت تصمیم‌گیری ارائه نمود.

۱- مقدمه

را دارد از یک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر مدل جدید تحلیل پوشش داده‌ها و روش مطلوبیت تجمعی ستاره استفاده شده است. علت استفاده از روش مطلوبیت تجمعی ستاره در میان مدل‌های تصمیم‌گیری متعدد، ارزیابی و تحلیل تابع مطلوبیت آن است. به عبارت دیگر با به دست آوردن تابع مطلوبیت، مدل موردنظر میزان مطلوبیت هر تأمین‌کننده را برآورد می‌کند (Ehsanifar et al., 2021). ورودی روش موردنظر، رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان است که با استفاده از مدل پیشنهادی به دست آمده است. مدل پیشنهادی توسعه یافته مدل کلاسیک تحلیل پوشش داده‌ها است. مدل کلاسیک تحلیل پوشش داده‌ها در سال ۱۹۸۷ توسط چارنز و همکاران (Charnes et al., 1978) ارائه شده از آن زمان تاکنون جهت انتخاب و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان مورد استفاده قرار گرفته است (Azadi et al., 2015). در مدل‌های متعارف تحلیل پوششی داده‌ها فرض بر این است که داده‌ها مطلوب، قابل کنترل و مثبت و همه ورودی‌ها و خروجی‌ها هم ارزش و هم اهمیت هستند (Ruggiero et al., 1996; Syrjänen et al., 2004). در حالی که در مسائل واقعی شرایطی رخ می‌دهد که ممکن است ویژگی‌های فوق را نداشته باشند؛ بنابراین مورد مطالعاتی این پژوهش دارای داده‌هایی هست که ما را مجاب کرد تا مدلی ارائه دهیم تا قابلیت به کارگیری هم‌زمان شرایط را داشته باشد. لذا مدل تحلیل پوششی داده‌های جدیدی ارائه می‌شود که قادر به به کارگیری هم‌زمان داده‌های نامطلوب، غیرقابل کنترل و غیرمثبت می‌باشد. از سوی دیگر در مطالعه موردی در تأمین‌کننده‌های ساپکو بین ارزش ورودی‌ها و خروجی‌ها تفاوت وجود دارد و ما این تفاوت‌ها را به صورت محدودیت‌های وزنی به مدل اضافه کرده‌ایم. در این پژوهش، شرکت مورد مطالعه ساپکو تمایل دارد بهترین تأمین‌کننده پایدار صفحه فشار کلاچ را تعیین کند؛ بنابراین در راستای دستیابی به هدف شرکت ساپکو، ابتدا با کمک مدل جدید تحلیل پوشش داده‌ها تأمین‌کنندگان شرکت را رتبه‌بندی و با یک سیستم پشتیبان تصمیم، تأمین‌کننده پایدار صفحه فشار کلاچ تعیین می‌شود.

در فضای رقابت جهانی، مدیریت زنجیره تأمین به عنوان عاملی مؤثر در بهبود روابط سازمان‌ها پدیدار شده است. یکی از مسائل مهم و کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین، مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده می‌باشد. ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده فرآیند مقایسه و یافتن تأمین‌کننده‌ای مناسب است که قادر به تأمین نیازهای مشتریان با بهترین کیفیت مورد انتظار، در حجم و زمان مناسب باشد. با توجه به اهمیت مسئله، در طی سال‌های اخیر ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در زنجیره تأمین چالشی برای مدیران سازمان‌ها بوده است، چراکه انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار کار ساده‌ای نیست (Ballew & Schnorbus, 1994; Handfield & Nichols, 1999). برای رفع پیچیدگی‌های مسئله تاکنون پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته و فاکتورها و مدل‌های تصمیم‌گیری متفاوتی ارائه شده است. در اکثر پژوهش‌هایی که در سال‌های اخیر صورت گرفته فاکتورها و معیارهای بسیاری مطرح هستند که انتخاب بر اساس آن‌ها صورت می‌گیرد؛ اما در میان فاکتورهای متعدد باید به این نکته توجه داشت که در نظر گرفتن برخی از فاکتورهای مهم اجتماعی و اقتصادی و زیست‌محیطی نقش کلیدی در دستیابی به زنجیره تأمین پایدار و بلندمدت بازی می‌کنند (Bai & Sarkis, 2010; Seuring & Müller, 2008). همچنین تکنیک‌ها و مدل‌های متفاوتی در رابطه با انتخاب تأمین‌کننده توسعه یافته‌اند که از جمله تکنیک‌های توسعه یافته می‌توان به فرآیند تحلیل سلسله‌مراتب^۱، فرآیند تحلیل شبکه‌ای^۲، برنامه‌ریزی خطی^۳، برنامه‌ریزی ریاضی^۴، برنامه‌ریزی چندهدفه^۵، شبکه‌های عصبی^۶ و تحلیلی پوشش داده‌ها^۷ اشاره کرد (Chai et al., 2013). بیشتر تکنیک‌های اشاره شده به مقایسه و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌پردازد، در حالی که تکنیکی که تأمین‌کنندگان را ارزیابی و به انتخاب مطمئن و نظام‌مند پردازد اشاره نشده است؛ بنابراین احساس می‌شود که سیستم پشتیبان تصمیم، مطلوبیت تجمعی ستاره پاسخی به این نیاز است. در پژوهش حاضر، برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان شرکت ساپکو که مسئول تأمین قطعات یدکی ایران خودرو

⁵ Multi Objective Programming (MOP)

⁶ Neural Networks (NN)

⁷Data Envelopment Analysis (DEA)

¹ Analytic Hierarchy Process (AHP)

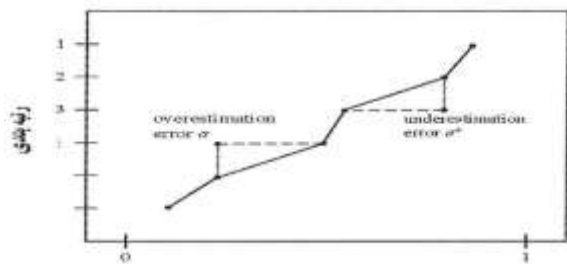
² Analytic Network Process (ANP)

³ Linear Programming (LP)

⁴ Mathematical Programming (MP)

۲-۲- روش مطلوبیت تجمعی ستاره

این روش توسط سیکوس و یاناکوپولس (Yannacopoulos & Siskos, 1985) در سال ۱۹۸۵ ارائه شده است. این روش نتیجه اصلاح شده روش اولیه مطلوبیت تجمعی است. در روش مطلوبیت اولیه، برای هر فعالیت $a \in A_R$ خطایی مستقل تحت عنوان $\sigma(a)$ تعریف شده که باید حداقل شود، اما در مدل مطلوبیت تجمعی ستاره یک خطای مثبت دوپل مطابق با نمودار ۱ تعریف می‌کند. الگوریتم مطلوبیت تجمعی ستاره به ترتیب مطابق ۵ گام عنوان شده زیر است (Ehsanifar et al., 2021):



شکل (۱): منحنی رگرسیون توصیفی بر اساس مطلوبیت کلی.

گام اول: ایجاد مجموعه مرجع $A_R = \{a_1, \dots, a_n\}$ اعضای این مجموعه به نحوی مرتب شده‌اند که a_1 بهترین و در رأس رتبه‌بندی و a_m بدترین و انتهای رتبه‌بندی است. با توجه به اینکه رتبه‌بندی R به صورت نزولی بوده، لذا برای هر زوج متوالی (a_k, a_{k+1}) ممکن است بر هم ارجحیت داشته باشند $(a_k > a_{k+1})$ و یا $(a_k < a_{k+1})$.

گام دوم: ابتدا مقادیر مطلوبیت حاشیه‌ای $u_i(g_i)$ را به دست آورده و سپس بر اساس متغیرهای w_{ij} و مطلوبیت تجمعی هر گزینه را مطابق رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$u_i(g_i(a)) = \sum_{k=1}^{q-1} w_{ik} + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} w_{iq} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

گام سوم: برای هر زوج گزینه پشت سر هم در رتبه‌بندی انجام شده روی گزینه‌های کلیدی توابع، خطای دوگانه مطابق رابطه (۴) بیان کرده:

$$\begin{aligned} \Delta(a_k, a_{k+1}) &= u[g(a_k)] - \sigma^+(a_k) \dots \\ \sigma^-(a_k) - u[g(a_{k+1})] + \sigma^+(a_{k+1}) & - \sigma^-(a_{k+1}) \end{aligned} \quad (4)$$

پژوهش حاضر از شش بخش اصلی تشکیل شده است. ابتدا در بخش دوم چارچوب نظری و مفهومی پژوهش ارائه شده است. در بخش سوم مدل تحلیل پوشش داده‌های پیشنهادی برای ارزیابی و رتبه‌بندی ارائه و توضیح داده شده؛ در بخش چهارم الگوریتم پیشنهادی و مراحل آن بیان شده و در ادامه فرآیند پژوهش در بخش پنجم مطالعه موردی ارائه می‌شود و نهایتاً در بخش ششم نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل پیشنهادی در فرآیند ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده در شرکت سایکو مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲- چارچوب نظری و مفهومی پژوهش

۲-۱- تحلیل پوشش داده‌ها و مدل RDM

فرض کنیم n واحد تصمیم‌گیرنده DMU_j ($j=1, \dots, n$) ورودی X_{ij} ($i=1, \dots, m$) را مصرف کرده تا s خروجی Y_{rs} ($r=1, \dots, s$) تولید کنند. حال به منظور ارزیابی عملکرد این واحدهای تصمیم‌گیرنده مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها ارائه شده‌اند. در مدل‌های متعارف تحلیل پوشش داده‌ها همه ورودی‌ها و خروجی‌ها مثبت و معلوم هستند، ولی امکان دارد شرایطی رخ دهد که برخی داده‌های ورودی و خروجی منفی باشند. بر این اساس مدل (RDM) که توسط پورتلا و همکاران (Portela et al., 2004) ارائه شده، بسیاری از کاستی‌های مدل‌های قبل را رفع می‌کند. این مدل جهت ارزیابی عملکرد داده‌ها در حضور داده‌های منفی به صورت زیر معرفی شده است (Portela et al., 2004):

$$\begin{aligned} \max \quad & \beta \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + t_i^- = x_{io} - \beta L_{io}^-, \quad i = 1, \dots, m, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - t_r^+ = y_{ro} + \beta L_{ro}^+, \quad r = 1, \dots, s, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\ & t^- \geq 0, \quad t^+ \geq 0, \quad \lambda \geq 0. \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن L_{ro}^+ و L_{io}^- به صورت رابطه (۲) تعریف شده‌اند.

$$\begin{aligned} L_{io}^- &= x_{io} - \min_j \{x_{ij}\}, \quad (i = 1, \dots, m), \\ \text{And} \quad & \\ L_{ro}^+ &= \max_j \{y_{rj}\} - y_{ro}, \quad (r = 1, \dots, s) \end{aligned} \quad (2)$$

مدل (۱) میزان ناکارایی DMU_o را محاسبه می‌کند. بر این اساس امتیاز کارایی بر اساس رابطه $1 - \beta^*$ تعریف می‌شود.

¹ Marginal Utility Value

در این بخش شرایطی را ایجاد می‌کنیم که داده‌های نامطلوب و داده‌های غیرقابل کنترل را در مدل‌های تحلیل پوشش داده‌ها وارد کنیم. بدین منظور فرض می‌کنیم $\{D_1I\}, \{NI\}, \{D_1O\}, \{NO\}$ نشان‌دهنده اندیس متغیرهایی باشند که x_{ij} و y_{ij} با شرط $i \in \{D_1I\}$ و $r \in \{D_1O\}$ ورودی‌ها و خروجی‌های قابل کنترل و x_{ij} و $y_{rj} \in \{NI\}$ و $r \in \{NO\}$ ورودی‌ها و خروجی‌های غیرقابل کنترل باشند. همچنین فرض کنیم $\{D_2I\}, \{UI\}, \{D_2O\}, \{UO\}$ نشان‌دهنده اندیس متغیرهایی باشند که x_{ij} و y_{ij} با شرط $i \in \{DI\}$ و $r \in \{D_2O\}$ ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب و x_{ij} و $y_{rj} \in \{UI\}$ و $r \in \{UO\}$ ورودی‌ها و خروجی‌های نامطلوب باشند. بر این اساس مجموعه امکان تولید اصلاح‌شده (MPPS) در شرایط بازده به مقیاس متغیر را به این شکل معرفی می‌کنیم (Izadikhah & Farzipour, 2015):

که در آن $\{IA\} = \{D_1I\} \cap \{D_2I\}$ و $\{ID\} = \{NI\} \cap \{UI\}$ اندیس‌های جدید ورودی‌ها و $\{OB\} = \{D_2O\} \cap \{NO\}$ و $\{OA\} = \{D_1O\} \cap \{D_2O\}$ و $\{OD\} = \{NO\} \cap \{UO\}$ و $\{OC\} = \{D_1O\} \cap \{UO\}$ اندیس جدید خروجی‌هاست. بر این اساس مدل جدیدی با اصلاح و توسعه مدل RDM ارائه می‌دهیم که داده‌های نامطلوب و داده‌های غیرقابل کنترل را هم در نظر می‌گیرد. با توجه به خصوصیات مدل RDM، مدل پیشنهادی قادر به استفاده از داده‌های نامنفی می‌باشد. مدل پیشنهادی ما به صورت مدل ۹ بیان می‌شود:

$$MPPS = \left((x, y) \left\{ \begin{array}{l} x_i \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}, i \in \{IA\}; \quad x_i \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}, i \in \{IB\}; \\ x_i \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}, i \in \{IC\}; \quad x_i \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}, i \in \{ID\}; \\ y_r \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}, r \in \{OA\}; \quad y_r \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}, i \in \{OB\}; \\ y_r \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}, r \in \{OC\}; \quad y_r \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}, i \in \{OD\}; \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n. \end{array} \right. \right. \quad (8)$$

$$\beta^* = \max \beta \quad (9)$$

گام چهارم: مدل برنامه‌ریزی خطی زیر را حل می‌نمائیم:

$$[min] z = \sum_{i=1}^m (\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k))$$

subject to

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) \geq \theta \quad \text{if } a_k > a_{k+1}$$

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = 0 \quad \text{if } a_k \sim a_{k+1} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{a_i-1} w_{ij} = 1$$

$$w_{ij} \geq 0, \sigma^+(a_k) \geq 0, \sigma^-(a_k) \geq 0,$$

$$\forall i, j, k$$

گام پنجم: در این مرحله وجود جواب‌های بهینه یا جواب‌های نزدیک به آن تست می‌شود. اگر بیش از یک جواب بهینه یافت شود، میانگین تابع مطلوبیت بهینه انتخاب می‌شود. در واقع آنالیز پایداری شامل حداکثر سازی جواب‌های بهینه است.

$$u_i[g_i^*] = \sum_{k=1}^{a_i-1} w_{ik} \quad (6)$$

$$\forall i = 1, 2, \dots, N$$

با محدودیت زیر:

$$\sum_{i=1}^m [\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)] \leq z^* + \varepsilon \quad (7)$$

و z^* یک مقدار بهینه برنامه‌ریزی خطی است و ε یک عدد بسیار کوچک مثبت است.

۲-۳- مدل تحلیل پوششی داده‌ای پیشنهادی برای ارزیابی و رتبه‌بندی

subject to

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq x_{io} - \beta L_{io}^-, \quad i \in \{IA\}; & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq x_{io}, \quad i \in \{IB\} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\geq x_{io} + \beta B_{io}^-, \quad i \in \{IC\}; & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\geq x_{io}, \quad i \in \{ID\} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq y_{ro} + \beta L_{ro}^+, \quad r \in \{OA\}; & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq y_{ro}, \quad r \in \{OB\} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\leq y_{ro} - \beta B_{ro}^+, \quad r \in \{OC\}; & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\leq y_{ro}, \quad r \in \{OD\} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned}$$

برای رتبه‌بندی داریم. لذا مدل رتبه‌بندی ۱۱ پیشنهاد شده است. مدل ۱۱ میزان ابر کارایی DMU_o که برای رتبه‌بندی بکار می‌رود را به صورت ρ_p^* محاسبه می‌کند. در این مدل مجموعه واحدهای کارا با E نشان داده شده و E/p نشان‌دهنده همه واحدهای کارا به جز DMU_p می‌باشد. هر چه مقدار ρ_p^* بیشتر باشد، نشان‌دهنده تأثیر بیشتر DMU_p و رتبه بالاتر آن خواهد داشت.

در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها همه ورودی‌ها و خروجی‌ها هم ارزش و هم اهمیت هستند، ولی در مطالعه موردی در تأمین‌کننده‌های ساپکو بین ارزش ورودی‌ها و خروجی‌ها تفاوت وجود دارد و این تفاوت‌ها به صورت محدودیت‌های وزنی به مدل اضافه شده‌اند.

حد پایین تغییر ورودی‌ها و حد بالای تغییر خروجی‌ها به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} L_{io}^- &= x_{io} - \min_j \{x_{ij}\}, \quad i \in \{IA\} \\ L_{ro}^+ &= \max_j \{y_{rj}\} - y_{ro}, \quad r \in \{OA\} \\ B_{io}^- &= \max_j \{x_{ij}\} - x_{io}, \quad i \in \{IC\} \\ B_{ro}^+ &= y_{ro} - \min_j \{y_{rj}\}, \quad r \in \{OC\} \end{aligned} \quad (10)$$

مدل ۹ کارایی DMU_o را محاسبه می‌کند. بر این اساس امتیاز کارایی بر اساس رابطه $1 - \beta^*$ تعریف می‌شود. از آنجایی که معمولاً بیش از یک واحد کارا در ارزیابی‌ها به دست می‌آیند، لذا به منظور مقایسه و رتبه‌بندی آن‌ها و مشخص کردن واحدی با بهترین عملکرد نیاز به ارائه مدلی

$$\rho_p^* = \text{Max} - \sum_{i \in \{IA\} \cup \{IB\}} v_i x_{io} + \sum_{i \in \{IC\} \cup \{ID\}} v_i x_{io} + \sum_{r \in \{OA\} \cup \{OB\}} u_r y_{ro} - \sum_{r \in \{OC\} \cup \{OD\}} u_r y_{ro} + u_o$$

subject to

$$\begin{aligned} - \sum_{i \in \{IA\} \cup \{IB\}} v_i x_{ij} + \sum_{i \in \{IC\} \cup \{ID\}} v_i x_{ij} + \sum_{r \in \{OA\} \cup \{OB\}} u_r y_{rj} - \sum_{r \in \{OC\} \cup \{OD\}} u_r y_{rj} + u_o &\leq 0 \quad j \in E \setminus p \\ \sum_{i \in \{IA\}} v_i L_{io}^- + \sum_{i \in \{IC\}} v_i B_{io}^- + \sum_{r \in \{OA\}} u_r L_{ro}^+ + \sum_{r \in \{OC\}} u_r B_{ro}^+ &= 1 \\ a_r \left(\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} \right) - u_r y_{rj} &\leq 0, \quad u_r y_{rj} - b_r \left(\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} \right) &\leq 0 \quad r = 1, \dots, s, \quad j \in E \setminus p \\ c_i \left(\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \right) - v_i x_{ij} &\leq 0, \quad v_i x_{ij} - d_i \left(\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \right) &\leq 0 \quad i = 1, \dots, m, \quad j \in E \setminus p \\ v_i, u_r &\geq 0, \quad \forall i, r, f \end{aligned} \quad (11)$$

مرحله ۱: شناسایی معیارهای ورودی و خروجی مؤثر
مرحله ۲: محاسبه اطلاعات و داده‌های شرکت‌های تأمین‌کننده

۲-۴- الگوریتم پیشنهادی

بر اساس مطالب بیان‌شده، الگوریتم پیشنهادی جهت رتبه‌بندی شرکت‌های تأمین‌کننده به صورت زیر خواهد بود:

محصولات مانند محصول، موجودی، لجستیک و غیره می‌باشد (Chaharsooghi & Ashrafi, 2014).

- هزینه حمل‌ونقل: این مورد شامل هزینه حمل هر واحد مواد خام از تأمین‌کنندگان به مقصد است (Azadi et al., 2015).
- تعداد گواهی‌نامه‌های استاندارد: این مورد نشان‌دهنده سطح کنترل و نظارت بر کیفیت محصولات است (Bai & Sarkis, 2010).

خروجی‌ها:

- تعداد راه‌های فروش: بر اساس سیستم ساپکو پنج روش فروش شامل اینترنت، روش بلندمدت، روش نقدی، روش پرداخت ارتباطی و در حضور بازاریاب وجود دارد (Portela et al., 2004).
- سود واحد: این معیار نشان‌دهنده سود خالص در هر واحد است و معیار مهمی در سیستم ساپکو است.
- نرخ افزایش موفقیت در حمل‌ونقل: این مورد نشان‌دهنده درصد افزایش توانایی برای انجام سفارشات حمل‌ونقل در دوره وعده داده شده است (Portela et al., 2004).
- نرخ خسارت: نرخ خسارت یکی از معیارهای مهم در ارزیابی تأمین‌کننده است که نشان‌دهنده توانایی تأمین‌کننده در جبران خسارت‌های احتمالی است. این معیار معمولاً به صورت درصدی از ارزش کل قرارداد یا مبلغ خسارت محاسبه می‌شود. نرخ خسارت باید به گونه‌ای تعیین شود که تأمین‌کننده بتواند خسارت‌های احتمالی را تحمل کند و درعین حال انگیزه‌ای برای پیشگیری و کاهش خسارت‌ها ایجاد کند. این معیار می‌تواند در قراردادهای تجاری و قراردادهای بلندمدت بین شرکت‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Bai & Sarkis, 2010).

باید توجه داشت که معیار «فاصله» به عنوان یک ورودی غیرقابل کنترل و معیار «نرخ خسارت» به عنوان یک خروجی نامطلوب ارائه شده است. شاخص "نرخ افزایش موفقیت در انتقال" معیاری هست که هم می‌تواند مثبت و هم منفی

مرحله ۳: رتبه‌بندی اولیه داده‌ها با استفاده از مدل پیشنهادی تحلیل پوششی داده‌ها
مرحله ۴: تحلیل نهایی با مدل مطلوبیت تجمعی ستاره

۳- مطالعه موردی، ارزیابی تأمین‌کننده‌های ساپکو

ایران خودرو به عنوان بزرگ‌ترین شرکت تولید خودرو در خاورمیانه سهم عمده‌ای از بازار تولید خودرو در کشور را دارا است. بر این اساس تأمین قطعات یدکی برای این شرکت از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. شرکت ساپکو به عنوان تنها تأمین‌کننده قطعات یدکی ایران خودرو نقش بسزایی در زمینه تأمین قطعات اتومبیل را دارد. در این ارتباط، ساپکو به طور مستمر اقدام به شناسایی و ارزیابی منابع مختلف ساخت قطعات مواد اولیه و... می‌نماید تا در افزایش کیفیت محصول و بالا بردن رضایت مشتریان گام مهمی بردارد. با توجه به اهمیت مسئله در این پژوهش شرکت ساپکو تمایل دارد بهترین تأمین‌کننده صفحه فشار کلاچ را تعیین کند. در حال حاضر ۲۶ شرکت تأمین قطعات وظیفه تأمین صفحه فشار کلاچ را برای ساپکو بر عهده دارند که در جدول ۲ در پیوست ۱ معرفی شده‌اند. به خاطر حفظ مسائل امنیتی شرکت ساپکو، نام تأمین‌کننده‌ها به صورت کدگذاری شده ارائه شده‌اند. در این راستا نتایج پیاده‌سازی مراحل مختلف الگوریتم پیشنهادی این پژوهش بر شرکت ساپکو به صورت زیر بیان شده است:

مرحله ۱: شناسایی معیارهای ورودی و خروجی مؤثر در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده

اولین مرحله شناسایی معیارهای مؤثر بر انتخاب تأمین‌کننده می‌باشد که از اهمیت فوق‌العاده برخوردار است؛ بنابراین با بررسی پیشینه پژوهش، مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد موجود در شرکت ساپکو برای ارزیابی پایداری شرکت‌های تأمین‌کننده و انتخاب بهترین آن‌ها، معیارهای زیر تحت عنوان ورودی و خروجی بکار رفته‌اند:

ورودی‌ها:

- فاصله (کیلومتر): این معیار بر زمان تحویل تأثیر دارد (Jakhar, 2015).
- قیمت خرید: این مورد شامل هزینه خرید

نتیجه اجرای مدل تحلیل پوششی داده‌های پیشنهادشده در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که فقط ۵ شرکت تأمین‌کننده به‌عنوان واحدهای کارا شناخته شده‌اند. واحدهای کارا عبارت‌اند از تأمین‌کننده‌های ۵، ۱۱، ۱۸، ۲۲ و ۲۵. کارایی این شرکت‌ها برابر ۱ و مابقی کمتر از یک است و به‌عنوان ناکارا شناخته شده‌اند.

شرکت تأمین‌کننده ۲۳ دارای کمترین سطح کارایی در بین همه شرکت‌هاست. توجه شود که بعضی از واحدها مانند واحد ۲۵ دارای خروجی با مقدار منفی می‌باشند ولی باین حال کارا هستند.

دلیل این امر این است که این واحد دارای مقدار پایینی در ورودی‌های اول و سوم است و در ورودی سوم دارای کمترین سطح است. از سویی دیگر، تأمین‌کننده ۲۶ را در نظر بگیرید که دارای خروجی منفی است ولی چون مقادیر بالایی در ورودی اول و سوم دارد به‌عنوان واحد ناکارا شناخته شده است. ستون دوم جدول ۴ امتیاز ابرکارایی معرفی شده را نشان می‌دهد و ستون چهارم رتبه‌بندی نهایی به کمک مدل تحلیل پوششی داده‌ها را نشان می‌دهد. طبق نتایج، شرکت تأمین‌کننده ۱۸ که دارای بیشترین امتیاز ابرکارایی است، رتبه اول تأمین‌کننده‌های پایدار را از آن خود کرده است.

باشد. جدول ۱ ویژگی انتخاب‌شده را به نمایش گذاشته است:

مرحله ۲: محاسبه اطلاعات و داده‌های شرکت تأمین‌کننده اطلاعات مربوط به ورودی و خروجی‌های ۲۶ شرکت تأمین‌کننده قطعات در سال ۱۳۹۴ را می‌توان در جدول ۲ مشاهده نمود. توصیف آماری ورودی‌ها و خروجی‌ها مطابق جدول ۳ می‌باشد.

طبق اطلاعات به‌دست‌آمده، مشخص است که هیچ تأمین‌کننده‌ای یافت نشد که میزان ورودی‌های آن از مقدار میانگین کمتر باشد. در صورت وجود چنین تأمین‌کننده‌ای به‌طور خودکار واحدی کارا قلمداد می‌شد. از سوی دیگر هیچ تأمین‌کننده‌ای وجود ندارد که خروجی‌های آن بالاتر از میانگین خروجی‌ها باشد که بازهم در صورت وجود چنین تأمین‌کننده‌ای به‌طور خودکار واحدی کارا قلمداد می‌شد. این دو حالت نشان می‌دهد که هیچ تأمین‌کننده کارایی بدیهی وجود ندارد. بعلاوه، همه ورودی‌های تأمین‌کننده ۴ بیشتر از میانگین و همه خروجی‌های آن کمتر از میانگین است و بر این اساس این تأمین‌کننده امتیاز کارایی پایینی خواهد داشت. همچنین بر اساس نظرات کارشناسی محدودیت وزنی مناسب برای ورودی سوم بر اساس رابطه بیان می‌شود.

مرحله ۳: رتبه‌بندی اولیه داده‌ها با استفاده از مدل پیشنهادی تحلیل پوششی داده‌ها

جدول (۱): شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان از دیدگاه پایداری

شاخص‌ها	نماد	تعریف	نوع شاخص	طبقه‌بندی	منابع
ورودی‌ها	x_{1j}	فاصله	غیرقابل کنترل	فاکتور اقتصادی	Jakhar, 2015
	x_{2j}	قیمت خرید	مطلوب	فاکتور اقتصادی	مصاحبه با خبرگان
	x_{3j}	هزینه حمل و نقل	نامنفی	فاکتور اقتصادی	Azadi et al., 2015 و بررسی اسناد موجود
	x_{4j}	تعداد گواهی‌نامه‌های استاندارد	قابل کنترل	فاکتور محیط‌زیست	Bai & Sarkis, 2010 و بررسی اسناد موجود
خروجی‌ها	y_{1j}	تعداد راه‌های فروش	مطلوب	فاکتور اجتماعی	Portela at al., 2004 و بررسی اسناد موجود
	y_{2j}	سود واحد	نامنفی	فاکتور اقتصادی	مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد شرکت
	y_{3j}	نرخ افزایش موفقیت در حمل و نقل	قابل کنترل	فاکتور اقتصادی	Portela at al., 2004 و مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد شرکت
	y_{4j}	نرخ خسارت	مطلوب	فاکتور اقتصادی	Bai & Sarkis, 2010 و مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد شرکت

جدول (۲): داده‌های ۲۶ شرکت تأمین‌کننده

شماره	تأمین کننده ها	ورودی		خروجی					
		فاصله	قیمت خرید	هزینه حمل و نقل	تعداد گواهینامه های استاندارد	تعداد راه های فروش	سود واحد	قیمت خرید	فاصله
۱	FFIG	۴۷	۸۰۰۰	۵۰	۲	۳	۱۹۴۰	۲	۰/۸
۲	HKC	۲۱	۸۴۰۰	۱۶۵	۱	۱	۱۷۵۰	-۴/۵	۳/۸
۳	PG	۶۲۴	۷۸۰۰	۱۹۰	۳	۴	۲۶۲۵۰	۳	۱/۲
۴	AICC	۳۷۰	۸۵۰۰	۱۸۰	۲	۱	۱۷۴۰	-۳/۵	۲/۵
۵	HC	۱۷	۷۴۰۰	۲۵	۴	۵	۲۶۲۰	۵	۱/۳
۶	TTFC	۶۲۰	۷۵۰۰	۱۹۰	۴	۴	۲۳۲۰	۱/۸	۱/۱
۷	AAMGC	۳۵	۸۰۰۰	۳۵	۲	۲	۲۱۰۰	۲/۴	۱/۶
۸	SMC	۳۲	۸۰۰۰	۳۵	۵	۴	۱۹۴۰	-۱/۲	۱/۴
۹	AIMC	۴۰	۷۳۰۰	۳۵	۴	۲	۲۶۴۰	-۳/۵	۱/۸
۱۰	AC	۲۰	۸۳۵۰	۱۷۵	۱	۱	۱۷۰۰	-۹	۵/۸
۱۱	PICI	۱۴۱	۷۵۰۰	۷۰	۲	۵	۲۴۶۵	۱۲	۲
۱۲	TKFIC	۸۸۳	۷۳۰۰	۲۱۰	۴	۲	۲۴۹۰	۳/۴	۲
۱۳	LICP	۱۲۱	۸۰۰۰	۶۵	۳	۲	۲۵۰۰	۳	۱/۶
۱۴	MAMC	۳۷	۷۹۰۰	۳۵	۲	۱	۲۰۰۰	۱/۳	۳/۳
۱۵	APCI	۱۳۵	۸۰۰۰	۷۰	۳	۵	۱۹۷۰	-۲/۴	۲/۵
۱۶	PAFI	۱۸۷	۷۸۵۰	۷۵	۳	۳	۲۵۸۰	۲/۱	۱/۷
۱۷	MSTG	۶۱۵	۷۵۰۰	۱۹۰	۳	۳	۲۳۲۰	۶/۴	۳
۱۸	NSG	۴۵۸	۷۳۰۰	۱۴۵	۱	۴	۲۶۰۰	۱۲/۶	۴
۱۹	TC	۱۵	۸۴۰۰	۱۷۵	۱	۱	۱۷۵۰	-۲/۵	۶/۵
۲۰	TSIC	۲۴	۸۵۵۰	۱۸۵	۲	۱	۱۶۸۰	-۳/۸	۸/۲
۲۱	SAFIC	۶۳۵	۸۰۰۰	۱۹۰	۱	۲	۱۸۲۰	-۲/۷	۴
۲۲	SIG	۳۰	۷۵۰۰	۳۰	۱	۴	۲۶۵۰	۶/۸	۰/۸
۲۳	ICI	۱۳۸	۸۴۰۰	۱۸۰	۴	۱	۱۷۶۰	-۷	۹
۲۴	SCC	۲۲۰	۸۰۰۰	۸۵	۱	۱	۱۹۳۰	-۸	۱۰
۲۵	YMC	۲۲	۸۰۵۰	۲۵	۱	۲	۱۷۵۰	-۴/۶	۷
۲۶	ACC	۴۴۵	۷۳۰۰	۱۴۵	۲	۱	۲۶۰۰	-۳/۲	۵

جدول (۳): توصیف آماری ورودی ها و خروجی های ۲۶ تأمین کننده

متغیر (ورودی/خروجی)	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
فاصله	۲۲۸/۱۵۳۸	۲۶۰/۱۶۱۳	۱۵	۸۸۳
قیمت خرید	۷۸۷۶/۹۲۳	۴۰۷/۷۳۲۹	۷۳۰۰	۸۵۵۰
هزینه حمل و نقل	۱۱۳/۶۵۳۸	۶۸/۸۸۴۸	۲۵	۲۱۰
تعداد گواهینامه های استاندارد	۲/۵	۱/۲۴۰۹۶۷	۱	۵
تعداد راه های فروش	۲/۵	۱/۴۴۹۳۸	۱	۵
سود واحد	۲۱۶۳/۰۷۷	۳۷۱/۱۴۴۴	۱۶۸۰	۲۶۵۰
نرخ افزایش موفقیت در حمل و نقل	۰/۲۲۶۹۲۳	۵/۵۴۱۱۵۹	-۹	۱۲/۶
نرخ خسارت	۳/۵۳۴۶۱۵	۲/۶۷۵۵۱	۰/۸	۱۰

جدول (۴): نتیجه کارایی و رتبه بندی

شماره	امتیاز کارایی	ρ^*	رتبه
۱	۰/۷۶۰۰۰۰۰	-	۸
۲	۰/۴۸۹۳۰۸۱	-	۱۵
۳	۰/۶۴۰۴۵۱۶	-	۹
۴	۰/۳۳۶۵۲۱۶	-	۲۵
۵	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۴/۶۷	۲
۶	۰/۶۲۵۰۰۰۰	-	۱۱
۷	۰/۸۸۰۳۲۴۵	-	۶
۸	۰/۴۸۱۴۷۳۹	-	۱۶
۹	۰/۶۳۴۲۸۵۷	-	۱۰
۱۰	۰/۴۵۱۶۳۸۰	-	۱۸
۱۱	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۱/۲۷	۵
۱۲	۰/۴۱۵۹۱۶۳	-	۲۱
۱۳	۰/۵۱۳۷۷۸۳	-	۱۴
۱۴	۰/۷۸۸۴۷۴۱	-	۷
۱۵	۰/۴۱۹۱۴۵۰	-	۲۰
۱۶	۰/۴۶۳۶۱۲۸	-	۱۷
۱۷	۰/۳۷۲۵۹۴۰	-	۲۳
۱۸	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۶/۰۰	۱
۱۹	۰/۵۴۶۴۵۱۱	-	۱۳
۲۰	۰/۳۵۷۸۳۰۴	-	۲۴
۲۱	۰/۴۴۳۶۰۱۹	-	۱۹
۲۲	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۲/۵۰	۴
۲۳	۰/۲۲۶۷۷۵۷	-	۲۶
۲۴	۰/۵۸۴۸۶۲۴	-	۱۲
۲۵	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۳/۶۷	۳
۲۶	۰/۴۱۲۸۴۲۵	-	۲۲
میانگین	۰/۶۰۹۴۱۸۷۶۵		

ستاره در مورد آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. این فرآیند دارای مراحل زیر است:

مرحله اول: ساختن ماتریس تصمیم‌گیری

برای حل مدل مطلوبیت تجمعی ستاره نیاز به ماتریس تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی گزینه‌های مرجع داریم که این رتبه‌بندی در جدول ۳ و سطرهای مرتبط با این رتبه‌بندی‌ها از جدول ۲ فراوان است.

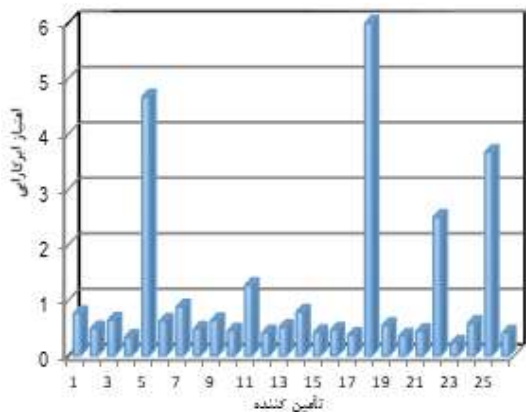
مرحله دوم: محاسبه مقدار مطلوبیت حاشیه‌ای

تابع مطلوبیت تجمعی مطابق رابطه ۳ به صورت زیر درمی‌آید:

این شرکت دارای کمترین سطح ورودی دوم و چهارم بوده و دارای بیشترین سطح خروجی سوم است. میانگین امتیازات کارایی برابر ۰/۶۱ است که حاکی از عملکرد نسبتاً مناسب همه شرکت‌هاست. شکل ۲ عملکرد این ۲۶ شرکت تأمین‌کننده را به تصویر کشیده است.

مرحله ۴: تحلیل نهایی با مدل مطلوبیت تجمعی ستاره حال به منظور تحلیل بیشتر یک سیستم پشتیبان تصمیم با استفاده از روش مطلوبیت تجمعی ستاره در نظر گرفته می‌شود. برای این منظور با توجه به هدف پژوهش که انتخاب یک تأمین‌کننده مطمئن برای سازمان می‌باشد، ۴ تأمین‌کننده با بهترین رتبه حاصل از مدل تحلیل پوشش داده‌ها در نظر گرفته می‌شوند و روش مطلوبیت تجمعی

با جایگذاری اوزان فوق در تابع ارزش کلی (رابطه ۳)، مطلوبیت هر یک از گزینه‌ها مطابق با جدول ۵ حاصل می‌شود.



شکل (۲): وضعیت عملکرد ۲۶ شرکت تأمین کننده ساپکو.

جدول (۵): مطلوبیت کلی تأمین کنندگان منتخب

تأمین کنندگان منتخب	مطلوبیت کلی
NSG	۰/۶۰۶۲۰۷۵۰۵۹
HC	۰/۵۰۲۷۴۲۹۸۵۱
YMC	۰/۳۷۹۸۲۶۳۱۹۶
SIG	۰/۳۷۰۷۷۵۸۸۹۵

نتایج نشان می‌دهد که تأمین کننده حائز رتبه اول یعنی NSG دارای مطلوبیت ۶۰/۶ درصدی به عنوان پایدارترین تأمین کننده شرکت ساپکو می‌باشد. نکته حائز اهمیت این است که هیچ یک از تأمین کننده‌ها دارای ۱۰۰ درصد مطلوبیت به عنوان پایدارترین تأمین کننده شرکت ساپکو نشده‌اند.

۴- نتیجه گیری

پژوهش حاضر به ارزیابی و انتخاب تأمین کننده پایدار با ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر مدل جدید تحلیل پوششی داده‌ها و مطلوبیت تجمعی ستاره پرداخته است. سیستم پشتیبان تصمیم جدید، ضمن گرفتن کمترین اطلاعات از تصمیم گیرنده قادر است مطلوب ترین گزینه را برای تصمیم گیرنده ارائه دهد. با به دست آوردن تابع مطلوبیت می‌توان میزان مطلوبیت هر تأمین کننده را محاسبه نمود و اینکه حل مدل در ابعاد وسیع نیازمند به محاسبات پیچیده دارد. می‌توان با نرم‌افزاری محاسبات پیچیده را تسهیل نمود. باید توجه داشت که رتبه بندی

$$U[g(A_1)] = w_{21} + w_{22} + w_{41} + w_{51} + 0/33w_{52} + w_{61} + 0/89w_{62} + w_{71} + w_{72} + w_{73} + w_{81} + 0/23w_{82}$$

$$U[g(A_2)] = w_{11} + w_{12} + w_{21} + 0/27w_{22} + w_{31} + w_{32} + w_{51} + w_{52} + w_{61} + 0/93w_{62} + w_{71} + 0/67w_{72} + 0/22w_{81}$$

$$U[g(A_3)] = w_{11} + 0/0w_{12} + w_{31} + w_{32} + w_{41} + w_{51} + w_{52}$$

$$U[g(A_4)] = w_{11} + 0/94w_{12} + w_{21} + 0/47w_{22} + w_{31} + 0/92w_{32} + w_{51} + 0/33w_{52} + w_{61} + w_{62} + w_{71} + 0/99w_{72}$$

مرحله سوم: تدوین ساختار برنامه ریزی خطی

بر اساس مدل ۵ برنامه ریزی خطی موردنظر به شکل زیر تبدیل می‌شود:

$$[min] z = \sum_{i=1}^m [\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)]$$

subject to

$$-w_{11} - w_{12} + 0/73w_{22} - w_{31} - w_{32} + w_{41} - 0/67w_{52} - 0/04w_{62} + 0/33w_{72} + w_{73} + 0/78w_{81} + 0/23w_{81} - \sigma^+(A_1) + \sigma^-(A_1) + \sigma^+(A_2) - \sigma^-(A_2) \geq 0/05$$

$$0/98w_{12} + w_{21} + 0/27w_{22} - w_{41} + w_{51} + w_{52} + w_{61} + 0/93w_{62} + w_{71} + 0/67w_{72} - 0/78w_{81} - w_{82} - \sigma^+(A_2) + \sigma^-(A_2) + \sigma^+(A_3) - \sigma^-(A_3) \geq 0/05$$

$$-0/92w_{12} - w_{21} - 0/47w_{22} + 0/08w_{32} + w_{41} - w_{51} - 0/33w_{52} - w_{61} - w_{62} - w_{71} - 0/99w_{72} + w_{81} + w_{82} - \sigma^+(A_3) + \sigma^-(A_3) + \sigma^+(A_4) - \sigma^-(A_4) \geq 0/05$$

$$w_{11} + w_{12} + w_{21} + w_{22} + w_{31} + w_{32} + w_{41} + w_{51} + w_{52} + w_{61} + w_{62} + w_{71} + w_{72} + w_{73} + w_{81} + w_{82} = 1$$

$$w_{ij} \geq 0, \sigma^+(a_k) \geq 0, \sigma^-(a_k) \geq 0$$

مرحله چهارم: حل برنامه ریزی خطی و مقایسه نتایج

پس از حل مدل برنامه ریزی خطی با استفاده از نرم افزار لینگو نتایج زیر حاصل گردید:

$$z^* = .$$

$$w_{12} = 0/0547680375$$

$$w_{21} = 0/0538617875$$

$$w_{22} = 0/0075096625$$

$$w_{32} = 0/0497114875$$

$$w_{41} = 0/07413015$$

$$w_{51} = 0/020870625$$

$$w_{52} = 0/1035213988$$

$$w_{61} = 0/031696425$$

$$w_{62} = 0/027678575$$

$$w_{71} = 0/1052548$$

$$w_{73} = 0/171066625$$

$$w_{81} = 0/2548893213$$

مدنظر دارد و می‌خواهد بداند با توجه به شاخص‌های تأمین‌کننده پایدار که برای وی دارای اهمیت است، کدامیک از این تأمین‌کننده‌ها می‌توانند به‌عنوان بهترین تأمین‌کننده پایدار برای شرکت باشند. در این مرحله کاربر اطلاعات موردنیاز در مورد تأمین‌کنندگان را وارد نموده و مدل بهترین و مناسب‌ترین تأمین‌کننده را به وی معرفی خواهد نمود. بر این اساس با توجه به تحلیل‌های مندرج در جدول ۵ مشخص گردید که گزینه NSG با داشتن مطلوبیت ۰/۶۱ به‌عنوان مطلوبیتی‌ترین و مناسب‌ترین گزینه می‌باشد.

(۲) نتیجه‌گیری در مورد یک تأمین‌کننده خاص: چنانچه فرد تصمیم‌گیرنده به دنبال اتخاذ این تصمیم باشد که یک تأمین‌کننده تا چه حد می‌تواند تأمین‌کننده مناسبی برای شرکت باشد، این مدل آن را مشخص می‌نماید. به‌عبارت‌دیگر مدل یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری ارائه می‌نماید که به کمک آن می‌توان مطلوبیت هر تأمین‌کننده را برآورد نمود. درواقع در اینجا، با انجام محاسبات گسترده و پیچیده، تصمیم‌گیرنده می‌تواند در مورد یک تأمین‌کننده خاص تصمیم قطعی بگیرد. همان‌طور که نتایج مشخص است گزینه NSG به‌عنوان مطلوب‌ترین گزینه تصمیم‌گیری می‌باشد ولی در صورت نبودن شرایط می‌توان از گزینه‌های دیگر استفاده کرد. سایر گزینه‌ها به دلیل مطلوبیت پائین مناسب تصمیم‌گیری و انتخاب برای شرکت ساپکو نیستند.

گزینه‌های مرجع باید به‌دقت انجام گیرد تا تابع مطلوبیت به‌دست‌آمده کارایی لازم را داشته باشد. در ادامه اجرای سیستم پشتیبان تصمیم پیشنهادی منجر به نتایج مهم ذیل گردید که در ادامه به ترتیب آورده شده است:

(۱) شناسایی ۸ شاخص تصمیم‌گیری پیرامون انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در شرکت ساپکو که در جدول ۲ ارائه‌شده است.

(۲) اجرای روش تحلیل پوشش داده‌ای بهبودیافته به‌منظور مشخص کردن واحد کارا و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها: در ادامه از تحلیل پوشش داده‌ای بهبودیافته به‌منظور ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری بکار گرفته شد. نتایج روش تحلیل پوشش داده‌ای بهبودیافته منجر به تمرکز بر ارزیابی و انتخاب از بین یک مجموعه واحد کارا در مسئله‌ای با داشتن معیارهای متعدد ورودی و خروجی هدف‌گذاری شد. نتایج روش تحلیل پوشش داده‌ای بهبودیافته منجر به یک لیست رتبه‌بندی از واحدهای کارا گردید. بر این اساس همان‌طور در جدول ۷ مشخص است گزینه‌های NSG، HC، YMC و SIG به‌عنوان واحدهای کارا معرفی گردیدند و به‌عنوان بهترین رتبه‌بندی‌شده در انتخاب تأمین‌کننده در شرکت مورد مطالعه بوده‌اند. درنهایت، با به‌کارگیری رویکرد مطلوبیت تجمعی ستاره (UTASTAR) به تخمین مطلوبیت رتبه‌بندی‌شده تأمین‌کنندگان منتخب در صنعت مورد مطالعه پرداخته شد که نتایج منجر به دستیابی به دستیابی به دو هدف عمده گردید:

(۱) انتخاب مناسب‌ترین گزینه: زمانی که فرد تصمیم‌گیرنده دو یا چند تأمین‌کننده پایدار را

جدول (۶): ارزش کلی هر یک از معیارها و مقایسه با رتبه‌بندی اولیه و مدل کلاسیک

تأمین‌کنندگان منتخب	مطلوبیت کلی	رتبه نسبت به ارزش متناظر مطلوبیت تجمعی ستاره	رتبه‌بندی روش تحلیل پوشش داده‌ای
NSG	۰/۶۰۶۲۰۷۵۰۵۹	۱	۱
HC	۰/۶۰۶۲۰۷۵۰۵۹	۲	۲
YMC	۰/۵۰۲۷۴۲۹۸۵۱	۳	۳
SIG	۰/۳۷۹۸۲۶۳۱۹۶	۴	۴

operational research society, 55(10), 1111-1121. DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601768>

Ruggiero, J. (1996). On the measurement of technical efficiency in the public sector. *European journal of operational research*, 90(3), 553-565. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00346-7](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00346-7)

Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of cleaner production*, 16(15), 1699-1710. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>

Syrjänen, M. J. (2004). Non-discretionary and discretionary factors and scale in data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 158(1), 20-33. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00362-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00362-X)

for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context. *Computers & operations research*, 54, 274-285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.03.002>

Bai, C., & Sarkis, J. (2010). Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies. *International journal of production economics*, 124(1), 252-264. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.023>

Ballew, P. D., & Schnorbus, R. H. (1994). The impact of the auto industry on the economy. *Chicago Fed Letter*, 79, 1-4.

Chaharsooghi, S. K., & Ashrafi, M. (2014). Sustainable supplier performance evaluation and selection with neofuzzy TOPSIS method. *International scholarly research notices*, 2014(1), 434168. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/434168>

Chai, J., Liu, J. N., & Ngai, E. W. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert systems with applications*, 40(10), 3872-3885. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.040>

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

Ehsanifar, M., Wood, D. A., & Babaie, A. (2021). UTASTAR method and its application in multi-criteria warehouse location selection. *Operations Management Research*, 14, 202-215. DOI: <https://doi.org/10.1080/713682767>

Handfield, R. B., & Nichols Jr, E. L. (1999). Introduction to. *Supply Chain Management*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1-29.

Izadikhah, M., & Farzipoor Saen, R. (2015). A new data envelopment analysis method for ranking decision making units: an application in industrial parks. *Expert Systems*, 32(5), 596-608. DOI: <https://doi.org/10.1111/exsy.12112>

Jakhar, S. K. (2015). Performance evaluation and a flow allocation decision model for a sustainable supply chain of an apparel industry. *Journal of cleaner production*, 87, 391-413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.089>

Portela, M. C., & Thanassoulis, E. (2010). Malmquist-type indices in the presence of negative data: An application to bank branches. *Journal of banking & Finance*, 34(7), 1472-1483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2010.01.004>

Portela, M. S., Thanassoulis, E., & Simpson, G. (2004). Negative data in DEA: A directional distance approach applied to bank branches. *Journal of the*