ارائه مدلی جهت حل مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از روش تصمیم‌گیری خاکستری و تحلیل عاملی (مورد مطالعه: شرکت سازه‌گستر سایپا)

مقصود امیری[۱]، نرگس صابری[۲*]، حسن حاله[۳]

[۱] دانشکده مدیریت و حسابداری- دانشگاه علامه طباطبایی - تهران - ایران

[۲] دانشکده صنایع و مکانیک- دانشگاه آزاد اسلامی- قزوین- ایران (عهده‌دار مکاتبات)

[۳] دانشکده صنایع و مکانیک- دانشگاه آزاد اسلامی- قزوین- ایران

چکیده

انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره است. روش تصمیم‌گیری خاکستری یک روش مناسب جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در صورت وجود معیارهای کیفی و در یک محیط غیر قطعی است. در این روش با استفاده از مفهوم تئوری خاکستری، متغیرهای زبانی به اعداد خاکستری بازه‌ای تبدیل شده و در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره وارد می‌شوند. اما مسئله مهم در بسیاری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، شرط استقلال شاخص‌هاست که در صورت نقض آن نتایج نادرستی حاصل می‌شود. روش پیشنهادی در این تحقیق استفاده از تکنیک تحلیل عاملی جهت تعیین عوامل مستقل و به کارگیری آن‌ها به جای معیارهای وابسته در روش تصمیم‌گیری خاکستری است.

در روش پشنهادشده، پس از تعیین وزن معیارها و تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری اولیه، عوامل مستقل با استفاده از تکنیک تحیل عاملی مشخص می‌گردند. وزن هر عامل از میانگین وزن معیارهای مربوط به آن عامل محاسبه می‌شود. درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری پس از تحلیل عاملی نیز از میانگین درایه‌های معیارهای مربوط به هر عامل در ماتریس تصمیم‌گیری اولیه بدست می‌آید. در نهایت تأمین‌کنندگان با استفاده از مفهوم درجه امکان خاکستری رتبه‌بندی می‌شوند. مدل پیشنهادی جهت رتبه‌بندی ۵ تأمین‌کننده سیستم صوتی خودرو در شرکت سازه‌گستر سایپا مورد استفاده قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، تئوری خاکستری، تصمیم‌گیری خاکستری، تکنیک تحلیل عامل

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توسعه بازارهای اقتصادی و گسترش تکنولوژی اطلاعات، بسیاری از شرکت‌ها دریافته‌اند که طراحی و اجرای مناسب سیستم مدیریت زنجیره تأمین[۱] یکی از مهم‌ترین ابزارها جهت افزایش سود رقابتی است[۲]. مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده یکی از مهم‌ترین مسائلی است که در مدیریت زنجیره تأمین مطرح است[۳و۴]. چرا که هزینه و کیفیت کالا و خدمات فروخته شده به طور مستقیم در ارتباط با هزینه و کیفیت کالای خریداری شده است. تاکنون روش‌های زیادی برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده ارائه شده است. که از اصلی‌ترین آن‌ها روش وزن‌دهی خطی (LW)[۲] [۵و۶]، روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) [۷و۸] و تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی(MP)[۳] [۹و۱۰] می‌باشند. روش وزن‌دهی خطی (LW) یک روش ساده و آسان جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان است، اما این روش به شدت به قضاوت‌های ذهنی وابسته است[۱۱]. به علاوه مدل فوق معیارها را به صورت مساوی وزن می‌دهد که این مورد به ندرت در عمل اتفاق می‌افتد. اگر چه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش اثربخش برای ارائه وزن‌دهی ساختارمند معیارها با استفاده از مقایسات زوجی است. اما بستگی زیادی به ذهنیت تصمیم‌گیرندگان در هنگام وزن دهی دارد[۱۲]. تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی نیز در بررسی معیارها و فاکتورهای کیفی دچار مشکل می‌شوند.

در اصل مسئله انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره[۴] است[۱۳]. در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره تعدادی گزینه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و در مورد آن‌ها یک نوع اولویت‌بندی انجام می‌شود. در این گونه مسائل علاوه بر گزینه‌ها چندین شاخص وجود دارد که تصمیم‌گیرنده باید آن‌ها را در ارتباط با هریک از گزینه‌ها مورد بررسی قرار دهد. در مسائل MADM اطلاعات مربوط به گزینه‌ها و معیارها و ترجیحات روی آن‌ها به قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان بستگی دارد. از

* nasaberi@yahoo.com

1 - Supply Chain Management

2 - Linear Weight

3 - Mathematical Programming

4 - Multiple Attribute Decision Making

آن‌جا که قضاوت‌های انسانی بعضاً مبهم بوده، بنابراین اطلاعات مربوط به معیارها و گزینه‌ها واضح و شفاف نیستند و نمی‌توان آن‌ها را با مقادیر عددی بیان کرد. لذا در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره همواره نوعی از نقصان اطلاعات وجود دارد و باید ترجیحات تصمیم‌گیرندگان را که گاهی به صورت متغیرهای زبانی بیان می‌شوند در مدل‌های تصمیم‌گیری وارد نمود. برای حل این گونه مسائل در شرایط عدم اطمینان، دو رویکرد فازی و خاکستری مطرح شده است[۱۳].

تئوری خاکستری[5][۱۴] یکی از روش‌های پیشرو در تحلیل ریاضی سیستم‌های با اطلاعات غیرقطعی است. در تئوری خاکستری با توجه به درجه قطعیت اطلاعات، اگر اطلاعات سیستم کاملا شناخته شده باشد، سیستم سفید، اگر کاملاً ناشناخته باشد، سیستم سیاه و اگر اندکی شناخته شده باشد، سیستم خاکستری نامیده می‌شود. رویکرد فازی نیز یکی از روش‌های ارائه شده برای حل مسائل انتخاب تأمین‌کننده در شرایط عدم قطعیت است. اما مزیت تئوری خاکستری بر تئوری فازی این است که تئوری خاکستری شرایط فازی بودن را نیز بررسی می‌کند[۱۵و۱۶]. در واقع تئوری خاکستری با شرایط فازی نیز منعطف است[۱۴].

اما نکته بسیار مهم دیگر در حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده این است که؛ با توجه به فرض عدم وابستگی ابتدایی بین معیارها در بسیاری از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، نمی‌توان تأثیرات همبستگی را نادیده گرفت. لذا در صورت نقض این فرض اساسی، نتایج نادرستی در تصمیم‌گیری حاصل می‌شود. این در حالی است که در روش تصمیم‌گیری خاکستری این فرض به صورت پیش‌فرض در نظر گرفته شده است. مطمئناً در دنیای واقعی بین بسیاری از معیارهای تعیین شده، وابستگی غیر قابل انکاری وجود دارد.

رویکرد پیشنهاد شده در این مقاله استفاده از تکنیک تحلیل عاملی[6] جهت تعیین عوامل مستقل و به کارگیری آن‌ها به جای معیارهای وابسته به عنوان ورودی در روش تصمیم‌گیری خاکستری است. تحلیل عاملی یک روش آماری مناسب به منظور بررسی همبستگی درونی متغیرها و دسته‌بندی آن‌ها به صورت عوامل مستقل است. این تکنیک برای اهداف زیادی از جمله کاهش تعداد زیادی متغیر به تعداد کمتری عامل و تولید مجموعه‌ای از عوامل به متغیرهای ناهمبسته استفاده می‌گردد.

هدف اصلی این مقاله ارائه یک روش جدید جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در یک محیط غیر قطعی و در شرایط وجود معیارهای کیفی و وابسته، با استفاده از ترکیب تکنیک تحلیل عاملی و روش تصمیم‌گیری خاکستری است.

در ادامه، این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده‌است:

بخش ۲ و ۳ به ترتیب شامل توضیح مفاهیم اصلی در تئوری خاکستری و تحلیل عاملی است. در بخش ۴ الگوریتم مدل پیشنهادی توضیح داده می‌شود. در بخش ۵ نیز، مدل فوق جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان سیستم صوتی خودرو در شرکت سازه‌گستر سایپا مورد استفاده قرار می‌گیرد. و سرانجام در بخش ۶ نتایج حاصل از تحقیق بیان می‌شود.

۲- تئوری خاکستری

تئوری خاکستری در سال ۱۹۸۲ توسط "جولانگ دنگ[7]" بر اساس مفهوم "مجموعه‌های خاکستری" معرفی شده است. در تئوری سیستم‌های خاکستری، تمام سیستم‌ها به سه دسته سفید، سیاه و خاکستری تقسیم‌بندی می‌شوند که قسمت‌های سفید شامل پیام‌های واضح، قسمت‌های سیاه شامل پیام‌های کاملاً ناشناخته و رنگ خاکستری بیانگر ناکامل بودن اطلاعات و یا عدم‌اطیمنان برای سیستم است[۱۴]. سیستم خاکستری یک روش اثرگذار در حل مسائل در شرایط ناکامل بودن اطلاعات و عدم قطعیت است. در ادامه بعضی از تعاریف اصلی در تئوری خاکستری بیان شده است:

تعریف۱: سیستم خاکستری یک سیتم شامل اطلاعات غیر قطعی است که به وسیله اعداد خاکستری و متغیرهای خاکستری بیان می‌شود. مفهوم این سیستم در شکل (۱) نشان داده شده است.

تعریف ۲: فرض کنید X یک مجموعه مرجع جهانی باشد؛ در آن صورت یک مجموعه خاکستری G از X بر حسب دو ضابطه $\underline{\mu}_G(x)$,$\overline{\mu}_G(x)$ تعریف می‌شود.

$$\underline{\mu}_G(x): x \to [0,1]$$
$$\overline{\mu}_G(x): x \to [0,1]$$

$\underline{\mu}_G$ و $\overline{\mu}_G$ به ترتیب توابع عضویت بالایی و پایینی G می‌باشند. اگر $\overline{\mu}_G = \underline{\mu}_G$ باشد، مجموعه خاکستری به یک مجموعه فازی تبدیل می‌شود. این امر نشان می‌دهد که تئوری خاکستری شرایط فازی بودن را هم در نظر می‌گیرد و می‌تواند با شرایط فازی بودن به‌صورت منعطفی رفتار نماید[۱۳].

تعریف ۳: عدد خاکستری به عددی اطلاق می‌شود که مقدار آن نامشخص است، اما بازه‌ای که مقدار آن را در بر می‌گیرد شناخته شده است. این بازه‌های عددی شامل اطلاعات نامطمئن خواهند بود[۱۳]. یک عدد خاکستری معمولا به صورت $\otimes G = \mathrm{G}|_{\underline{\mu}}^{\overline{\mu}}$ نشان داده می‌شود.

تعریف ۴: یک عدد خاکستری که هم دارای کران پائین $\underline{G}$ و هم دارای کران بالای $\overline{G}$ باشد را عدد خاکستری بازه‌ای نامیده و به شکل $\otimes G \in [\underline{G}, \overline{G}]$ نمایش می‌دهند.

تعریف ۵: مهم‌ترین عملیات ریاضی بر روی دو عددخاکستری بازه‌ای $\otimes G_1 \in [\underline{G_1}, \overline{G_1}]$ و $\otimes G_2 \in [\underline{G_2}, \overline{G_2}]$ و عدد ثابت a به صورت زیر تعریف می‌شود[۱۳]:

$$\otimes G_1 + \otimes G_2 = [\underline{G_1} + \underline{G_2}, \overline{G_1} + \overline{G_2}] \quad (۱)$$

$$\otimes G_1 - \otimes G_2 = [\underline{G_1} - \underline{G_2}, \overline{G_1} - \overline{G_2}] \quad (۲)$$

$$a \times \otimes G_1 = [a \times \underline{G_1}, a \times \overline{G_1}] \quad (۳)$$

$$\otimes G_1 \times \otimes G_2 = [min(\underline{G_1}\underline{G_2}, \underline{G_1}\overline{G_2}, \overline{G_1}\underline{G_2}, \overline{G_1}\overline{G_2})$$

5 - Grey Theory
6 - Factor Analysis Technique
7- J. L. Deng

$$, max\left(\underline{G_1}\underline{G_2}, \underline{G_1}\overline{G_2}, \overline{G_1}\underline{G_2}, \overline{G_1}\overline{G_2}\right)]$$
(۴)

$$\otimes \mathrm{G}_1 \div \otimes \mathrm{G}_2 = \left[\underline{\mathrm{G}_1}, \overline{\mathrm{G}_1}\right] \times \left[\frac{1}{\underline{\mathrm{G}_2}}, \frac{1}{\overline{\mathrm{G}_2}}\right] \quad (۵)$$

طول یک عدد خاکستری $\left[\underline{\mathrm{G}} \quad \overline{\mathrm{G}}\right]$ به صورت زیر محاسبه می‌شود[۱۳]:

$$L(\otimes \mathrm{G}) = \overline{\mathrm{G}} - \underline{\mathrm{G}} \quad (۶)$$

تعریف۶: برای دو عدد خاکستری $\otimes G_1 \in \left[\underline{G_1}, \overline{G_1}\right]$ و $\otimes G_2 \in \left[\underline{\mathrm{G}_2}, \overline{\mathrm{G}_2}\right]$، $P\{\otimes \mathrm{G}_1 \leq \otimes \mathrm{G}_2\}$ را درجه امکان خاکستری می‌گویند که در آن:

$$P(\otimes G_1 \leq \otimes G_2) = \frac{max\left(0, L^* - max\left(0, \overline{G}_1 - \underline{G}_2\right)\right)}{L^*}$$

$$L^* = L_2 + L_1 \quad (۷)$$

چهار رابطه بین موقعیت‌های دو عدد خاکستری $\otimes G_1$ و $\otimes G_2$ متصور است[۱۳]:

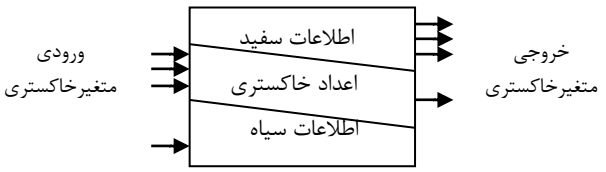
۱. اگر $\overline{\mathrm{G}_1} = \overline{\mathrm{G}_2}$ و $\underline{\mathrm{G}_1} = \underline{\mathrm{G}_2}$ دو عدد خاکستری مساوی هستند. دراین صورت $\otimes G_1 = \otimes G_2$ و $P\{\otimes G_1 \leq \otimes G_2\} = O.5$

۲. اگر $\underline{G_2} > \overline{G_1}$ عدد خاکستری $\otimes G_2$ از عدد خاکستری $\otimes G_1$ بزرگتر است. یعنی $\otimes \mathrm{G}_2 > \otimes \mathrm{G}_1$ و $P\{\otimes \mathrm{G}_1 \leq \otimes G_2\} = 1$

۳. اگر $\overline{G_2} < \underline{G_1}$ عدد خاکستری $\otimes G_2$ از عدد خاکستری $\otimes G_1$ کوچکتر است، یعنی $\otimes G_2 < \otimes G_1$ و $P\{\otimes G_1 \leq \otimes G_2\} = 0$

۴. اگر یک قسمت مشترک در دو عدد خاکستری وجود داشته باشد، در این صورت :

اگر $P\{\otimes \mathrm{G}_1 \leq \otimes \mathrm{G}_2\} < O.5$ باشد $\otimes G_2$ از $\otimes G_1$ کوچکتر است و اگر $P\{\otimes \mathrm{G}_1 \leq \otimes \mathrm{G}_2\} > 0.5$ باشد، $\otimes G_2$ از $\otimes G_1$ بزرگتر است.



شکل شماره (۱): نمایش مفهومی یک سیستم خاکستری

۳ - تحلیل عاملی

تحلیل عاملی اصطلاحی است کلی برای تعدادی از تکنیک‌های ریاضی و آماری مختلف اما مرتبط با هم به منظور تحقیق درباره ماهیت روابط بین متغیرهای یک مجموعه معین. مسئله اساسی تعیین این مطلب است که آیا یک مجموعه متغیر را می‌توان برحسب تعدادی از «ابعاد» یا «عامل‌های» کوچکتری نسبت به تعداد متغیرها توصیف نمود و هر یک از ابعاد (عامل‌ها) معرف چه صفت یا ویژگی است. از تحلیل عاملی برای دست‌یابی به مجموعه‌ای از متغیرهای ناهم‌بسته استفاده می‌گردد. تحلیل عاملی سعی در شناسایی متغیرهای اساسی یا عامل‌ها (Factors) به منظور تبیین الگوی همبستگی بین متغیرهای مشاهده شده دارد. تحلیل عاملی نقش بسیار مهمی در شناسایی متغیرهای مکنون(Latent) یا همان عامل‌ها از طریق متغیرهای مشاهده شده دارد.

عامل، بعد یا سازه‌ای است که روابط بین مجموعه‌ای از متغیرها را به صورت خلاصه مطرح می‌کند. عامل، سازه‌ای است که عملاً از روی (یا به وسیله) بارهای عاملی‌اش تعریف می‌شود. همبستگی یک متغیر با یک عامل را بار عاملی گویند[۱].

برای نشان دادن اهمیت عامل‌ها در ارتباط با متغیرها از مقادیر ویژه[8] استفاده می‌شود. پائین بودن این مقدار برای عامل‌ها به این معنی است که عامل‌های مذکور نقش اندکی در تبیین واریانس‌ها داشته[۱] و از این رو قابل چشم پوشی است. بر این اساس معمولاً مقادیر ویژه که دارای بار عاملی بزرگتر از ۱اند به عنوان عوامل مورد نظر، در نظر گرفته می‌شوند.

به منظور تبیین نهایی رابطه متغیرها و عوامل از ماتریس چرخش یافته[9] استفاده می‌شود[۱]. این ماتریس در برگیرنده سهم واریانس تبیین شده متغیرها به وسیله عوامل است که مبنای گروه بندی متغیرها قرار می‌گیرد و بر این اساس به هر عامل تعدادی متغیر که از بار عاملی بالاتری برخوردارند (بزرگتر از ۰/۶) الصاق می‌گردد.

۴- مدل پیشنهادی جهت رتبه بندی تأمین‌کنندگان

همان طور که بیان شد انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره است . هدف در مسائل MADM پیدا کردن بهترین گزینه(S^*) است، به طوری که ارجح‌ترین ارزش از هر مشخصه موجود با توجه به وزن‌های متفاوتی که برای هر شاخص در نظر گرفته می‌شود را تأمین کند. لذا مسئله انتخاب تأمین‌کننده به وسیله مجموعه‌های زیر شرح داده می‌شود:

مجموعه‌ی$S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$شامل m تأمین‌کننده مورد نظر، مجموعه$Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$ شامل n معیار تعیین شده و مجموعه $D = \{D_1, D_2, \dots, D_k\}$ شامل k نفر تصمیم‌گیرنده است.

مراحل اجرای مدل پیشنهادی در گام های زیر خلاصه شده است:

گام ۱:

ابتدا تصمیم‌گیرندگان (D_k) نظر خود را در مورد وزن هر معیار (Q_i)با استفاده از متغیرهای زبانی بیان می‌کنند. هر متغیر زبانی با توجه به جدول (۱) با یک عدد خاکستری بازه‌ای $\otimes w_i^j = \left[\underline{G_i^j}, \overline{G_i^j}\right]$ نمایش داده می‌شود. سپس وزن هر معیار با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$\otimes w_i = \frac{1}{k}\left[\otimes w_i^1 + \otimes w_i^2 \dots + \otimes w_i^k\right] \quad (۸)$$

گام ۲:

تصمیم‌گیرندگان نظر خود را در مورد وضعیت هر تأمین‌کننده در هر معیار با استفاده از متغیرهای زبانی جدول (۲) بیان می‌کنند. ارزیابی هر

8 - Eigen value
9 - Rotated Matrix

یک از تأمین‌کنندگان در هر معیار نیز با استفاده از رابطه (۹) به صورت یک عدد خاکستری بازه‌ای، محاسبه می‌شود.

$$\otimes G_{ij} = \frac{1}{k}\left[\otimes G_{ij}^{1} + \otimes G_{ij}^{2} \dots + \otimes G_{ij}^{k}\right] \quad (۹)$$

که در آن $\otimes G_{ij}^{k} = \left[\underline{G}_{ij}^{k}, \overline{G}_{ij}^{k}\right]$ رتبه‌ی تأمین‌کننده jام در معیار iام از نظر تصمیم‌گیرنده kام است.

نتیجه این مرحله تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری به صورت زیر است.

$$D = \begin{bmatrix} \otimes G_{11} & \otimes G_{12} & \dots & \otimes G_{1m} \\ \otimes G_{21} & \otimes G_{22} & \dots & \otimes G_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \otimes G_{n1} & \otimes G_{n2} & \dots & \otimes G_{nm} \end{bmatrix}$$

جدول شماره (۱): متغیرهای زبانی برای تعیین وزن معیارها

مقیاس	$\otimes \boldsymbol{w}$
خیلی کم	[0.0, 0.1]
کم	[0.1, 0.2]
متوسط	[0.2, 0.3]
زیاد	[0.3, 0.4]
خیلی زیاد	[0.4, 0.5]

جدول شماره (۲): متغیرهای زبانی برای رتبه بندی تأمین کنندگان

مقیاس	$\otimes \boldsymbol{G}$
خیلی ضعیف	[0, 1]
ضعیف	[1, 2]
متوسط	[2, 3]
خوب	[3, 4]
خیلی خوب	[4, 5]

گام ۳:

با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی n معیار مورد نظر (Q_i) در l دسته از عوامل مستقل (F_i) دسته بندی می‌شوند.

$\boldsymbol{F_1}$	$\boldsymbol{F_2}$	...	$\boldsymbol{F_l}$
$Q_{F_{11}}$	$Q_{F_{21}}$	...	$\boldsymbol{Q_{F_{l1}}}$
$Q_{F_{12}}$	$Q_{F_{21}}$	⋮	$\boldsymbol{Q_{F_{l2}}}$
⋮	⋮		⋮
$Q_{F_{1i_1}}$	$Q_{F_{2i_2}}$	...	$\boldsymbol{Q_{F_{li_l}}}$

که در آن $\sum_{j=1}^{l} i_j = n$

گام ۴:

وزن هر عامل $(\otimes w_{F_i})$ از میانگین وزن معیارهایی $(\otimes w_{Q_i})$ که در دسته آن عامل قرار گرفته‌اند، به دست می‌آید.

$$\otimes w_{\mathrm{F}_i} = \frac{Q_{F_{i1}} + Q_{F_{i2}} + \cdots + Q_{F_{ij}}}{\mathrm{j}}, i = 1, \dots, l \quad (۱۰)$$

گام ۵:

ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری پس از تحلیل عاملی $E = \left[\otimes C_{ij}\right]_{l\times m}$، از میانگین $\otimes G_{\mathrm{ij}}$های مربوط به معیارهای هر عامل در ماتریس $D = \left[\otimes G_{ij}\right]_{n\times m}$ محاسبه می‌گردد.

$$\otimes C_{ik} = \frac{\otimes G_{f_{i1}k} + \otimes G_{f_{i2}k} + \cdots + \otimes G_{f_{ij}k}}{j} \quad (۱۱)$$
$$i = 1, .., l, \qquad k = 1, \dots, m$$

گام ۶:

ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری نرمالایز شده $E^* = \left[\otimes C^*{}_{ij}\right]_{l\times m}$، با استفاده از (۱۲) و (۱۳) محاسبه می‌گردد.

برای عوامل مثبت:

$$\otimes C_{ij}^{*} = \left[\frac{\underline{C}_{ij}^{k}}{C_i^{max}}, \quad \frac{\overline{C}_{ij}^{k}}{C_i^{max}}\right], C_i^{max} = max_{1\le j\le m}\{\overline{C}_{ij}\} \quad (۱۲)$$

برای عوامل منفی:

$$\otimes C_{ij}^{*} = \left[\frac{C_i^{min}}{\overline{C}_{ij}^{k}}, \quad \frac{C_i^{min}}{\underline{C}_{ij}^{k}}\right], \quad C_i^{min} = min_{1\le j\le m}\{\underline{C}_{ij}\} \quad (۱۳)$$

گام ۷:

ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری نرمالایز شده موزون $E^* = \left[\otimes U_{ij}\right]_{l\times m}$؛ از ضرب ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری نرمالایز شده $E^* = \left[\otimes C^*{}_{ij}\right]_{l\times m}$ در وزن عامل‌ها با توجه به (۱۳) بدست می‌آید.

$$\otimes U_{ij} = \otimes w_{F_i} \times \otimes E_{ij}^{*}, i = 1,2, \dots, l, j = 1,2, \dots, m \quad (۱۴)$$

گام ۸:

جهت مقایسه و رتبه‌بندی گزینه‌ها (تأمین‌کنندگان)، گزینه ایده‌آل (S^{max}) با توجه به (۱۵) و (۱۶) محاسبه می‌شود.

$$S^{max} = \{U_1^{max}, U_2^{max}, \dots U_l^{max}\} \quad (۱۵)$$

$$U_i^{max} = \left[max_{1\le j\le m}\underline{u}_{ij}, max_{1\le j\le m}\overline{u}_{ij}\right] \quad (۱۶)$$

گام ۹:

احتمال نزدیکی هر گزینه (S_j) از گزینه ایده‌آل (S^{max}) با استفاده از (۱۷) تعیین می‌گردد.

$$P\{S_j < S^{max}\} = \frac{1}{l}\sum_{i=1}^{l} P\left(\otimes u_{ij} < \otimes u_i^{max}\right) \quad (۱۷)$$
$$i = 1, \dots, l, j = 1, \dots, m$$

گام ۱۰:

تأمین‌کنندگان با توجه به احتمالات به دست آمده در گام ۹ رتبه‌بندی می‌شوند. بدین صورت که هر گزینه‌ای که در فاصله کمتری از گزینه ایده‌آل باشد (احتمال کوچکتر بودن آن از گزینه ایده‌آل کمتر باشد) در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد.

۵- مطالعه موردی

یکی از صنایع مهم و پر اهمیت، از گذشته تا به حال، صنعت خودرو بوده است. محصول اصلی این صنعت از لحاظ نقش‌های متعددی که در جامعه ایفا می‌کند بیش از پیش مورد توجه مردم و دولت‌ها قرار گرفته‌است، تا حدی که در مواردی درصد برخورداری از خودرو، در سطح جهانی به عنوان یکی از ملاک‌های سنجش و ارزیابی درجه توسعه‌یافتگی ملت‌ها محسوب می‌شود. در کشور ما نیز سالیان درازی است که صنعت خودرو پایه گذاری شده‌است ولی علیرغم این دوره طولانی، این صنعت هنوز نتوانسته است از جایگاه مناسبی برخوردار شود. از طرفی در چند سال اخیر، صنعت خودرو نیز همانند بسیاری از صنایع دیگر با رویکردهای نوینی در قلمرو مدیریت مواجه شده‌است که استفاده از آن‌ها نیل به اهداف سازمانی را تسهیل می‌کند. بر این اساس مدیران شرکت خودروسازی سازه گستر سایپا، در تلاش‌اند تا با انتخاب مناسب تأمین‌کنندگان خود در جهت کاهش هزینه‌ها، افزایش کیفیت محصول و نیز بالا بردن رضایت مشتریان گام‌های مهمی بردارند.

در این راستا تأمین‌کنندگان "سیستم صوتی خودرو" در شرکت سازه گستر سایپا با استفاده از مدل پیشنهادی رتبه بندی شده‌اند. در زنجیره تأمین این محصول ۵ شرکت فعالیت می کنند؛ که عبارتند از:

۱. اورامان(S_1)، ۲. راه ابریشم(S_2) ۳. جاده ابریشم(S_3) ۴. آریا افزار(S_4) ۵. موج افزار(S_5)

با کمک مرور ادبیات و مشورت با خبرگان و کارشناسان ارشد شرکت سازه گستر، ۱۹ معیار زیر جهت ارزیابی تأمین کنندگان "سیستم صوتی" شناسایی و معرفی گردید:

۱. ظرفیت تأمین‌کننده (Q_1)
۲. قابلیت‌های ماشین‌آلات و تجهیزات(Q_2)
۳. توسعه فعالیت‌های مربوط به نگهداری پیشگیرانه(Q_3)
۴. کارایی لی‌اوت کارخانه تأمین‌کننده از نظر جابجایی مواد(Q_4)
۵. اثربخشی حمل و نقل و انبارداری تأمین کننده(Q_5)
۶. قیمت نهایی کالای تأمین کننده(Q_6)
۷. برنامه کاهش قیمت(Q_7)
۸. وجهه/اعتبار تأمین کننده(Q_8)
۹. نزدیک بودن کارخانه تأمین کننده به شرکت(Q_9)
۱۰. عمل کردن به قول در خصوص تاریخ تحویل(Q_{10})
۱۱. قابلیت تأمین کردن مقدار دقیق سفارشات شرکت(Q_{11})
۱۲. کوتاه کردن زمان انتظار(زمان بین دریافت و تحویل سفارش)(Q_{12})
۱۳. قابلیت انجام و تکمیل تقاضاهای غیر منتظره شرکت توسط تأمین‌کننده(Q_{13})
۱۴. قابلیت پاسخ گویی به موقع به تقاضاهای ضروری و خاص(Q_{14})
۱۵. کنترل کردن نمونه‌های اولیه در کارخانه تأمین‌کننده(Q_{15})
۱۶. هزینه‌های کیفیت(Q_{16})
۱۷. پایگاه داده‌های کیفیت(Q_{17})
۱۸. کنترل کیفیت در کارخانه تأمین‌کننده(Q_{18})
۱۹. قابلیت اطمینان(Q_{19})

ضرایب همبستگی ۱۹معیار محاسبه گردید. جدول (۳) این ضرایب را نشان می‌دهد. همانطور که از جدول مشخص است ضرایب همبستگی اعداد غیرصفر می‌باشد و این نشان دهنده وجود وابستگی میان معیارهاست.

گروه تصمیم‌گیرندگان شامل ۴ نفر از کارشناسان و صاحبنظران بخش بازرگانی و لجستیک و کنترل کیفیت شرکت سازه گستر می‌باشند.

۵-۱ استفاده از تکنیک تحلیل عاملی جهت تعیین عوامل مستقل

به منظور تعیین شاخص‌های مستقل برای انتخاب تأمین‌کنندگان سیستم صوتی خودرو در شرکت سازه‌گستر، پرسشنامه‌ای طراحی شد و در اختیار ۶۵ نفر از کارشناسان و مدیران بخش‌های معاونت برنامه‌ریزی (واحد لجستیک سازندگان)، معاونت کیفیت (واحد تأمین‌کنندگان) و معاونت بازرگانی (واحد خرید داخلی) قرار گرفت. در این پرسشنامه از پاسخ‌دهندگان خواسته شد تا میزان اهمیت هریک از ۱۹ معیار تعیین شده را در فاصله‌ی خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی‌کم مشخص سازند. نظرات پاسخ دهندگان در این مرحله، داده‌های مورد نیاز برای نرم افزار SPSS جهت استخراج عوامل می‌باشند که در پیوست الف نمایش داده شده است.

برای انجام تحلیل عاملی دو شرط مد نظر قرار می‌گیرد:

الف: حجم نمونه

اعتبار عوامل بدست آمده از تجزیه و تحلیل‌عاملی به اندازه نمونه وابسته است. با وجود این که توافقی برروی اندازه نمونه وجود ندارد؛ اما توافق در این موضوع وجود دارد که نسبت تعداد نمونه (پاسخ‌دهندگان) به تعداد معیارها حداقل می‌بایست ۲ به ۱ باشد. در این تحقیق تعداد پاسخ دهندگان برابر ۶۵ است که با توجه به تعداد معیارها مناسب به نظر می‌رسد.

ب: برازش داده‌ها وتناسب آن‌ها برای انجام تحلیل عاملی

آزمون تناسب داده ها برای تحلیل‌عاملی(KMO & Bartlett)

به منظور بررسی این موضوع که داده‌ها برای انجام تحلیل‌عاملی از تناسب مناسبی برخوردارند از آزمون (KMO & Bartlett) استفاده می‌شود. مقدار بدست آمده در این آزمون در بازه‌ی ۰ و ۱ در نوسان می‌باشد، به میزانی که به یک نزدیک‌تر باشد تناسب داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب‌تر خواهد بود و بر مبنای سطح معنی‌داری آزمون خی‌دو انجام می‌شود که در سطح کمتر از ۰.۰۰۱ معنادار می‌باشد.

همانطور که جدول (۴) نشان می‌دهد؛ سطح معناداری(۰/۰۰) کمتر از (۰/۰۰۱) و میزان تقریبی آزمون (۷۸۶ /۰) نزدیک به یک می‌باشد، لذا داده‌ها از برازش خوبی برای آزمون تحلیل‌عاملی برخوردارند.

با توجه به مقادیر ویژه مشخص شده در جدول (۵)، معیارها یا شاخصه‌های مورد نظر در ۵ دسته مجزا از عوامل مد نظر قرار می‌گیرند.

جدول شماره (۳): ضرایب همبستگی بین معیارها

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}
X_1	1	.535	.113	-.049	-.004	.142	-.060	-.107	-.228	.259	.077	.179	-.061	.171	.423	-.028	.124	.555	.248
X_2	.535	1	.324	.156	.428	-.002	-.019	-.036	-.063	.244	.142	.118	.198	.320	.297	.331	.406	.464	.468
X_3	.113	.324	1	.052	.380	.049	.226	.191	-.187	.236	.035	.011	.056	.379	.367	.278	.166	.265	.607
X_4	-.049	.156	.052	1	.478	-.279	-.168	.093	.006	-.079	-.221	.075	-.045	-.078	-.240	.264	.452	-.022	.129
X_5	-.004	.428	.380	.478	1	-.143	.206	.113	.092	.153	.049	-.178	.204	.184	.052	.512	.455	.260	.466
X_6	-.142	-.002	.049	-.279	-.143	1	.637	.378	.367	.426	.572	.550	.362	.310	.498	-.338	-.199	.220	-.100
X_7	-.060	-.019	.226	-.168	.206	.637	1	.563	.392	.508	.631	.234	.343	.408	.349	.027	-.039	.429	.094
X_8	-.107	-.036	.191	.093	.013	.388	.563	1	.474	.436	.532	.502	.279	.250	.036	.122	-.015	.225	.100
X_9	.228	-.063	-.187	.006	.092	.367	.392	.474	1	-.023	.426	.390	.463	.065	-.110	-.114	-.047	-.160	-.024
X_{10}	.259	.244	.236	-.079	.153	.426	.508	.436	.023	1	.396	.120	-.084	.015	.310	.121	.006	.371	.054
X_{11}	.077	.142	.035	-.221	.049	.572	.631	.532	.426	.396	1	.469	.573	.479	.330	.071	.096	.319	.183
X_{12}	.179	.118	.011	-.075	-.178	.550	.234	.502	.390	.120	.469	1	.474	.336	.131	-.382	-.081	.136	-.232
X_{13}	-.061	.198	.045	-.045	.204	.362	.343	.279	.463	-.184	.573	.474	1	.436	.247	.049	.313	.275	.223
X_{14}	.171	.320	.379	-.078	.184	.310	.408	.250	.065	.015	.479	.336	.436	1	.499	.249	.173	.367	.358
X_{15}	.423	.297	.367	-.240	.052	.498	.349	.336	-.110	.310	.330	.138	.247	.499	1	.066	.125	.376	.503
X_{16}	-.028	.331	.278	.264	.512	-.338	.027	.122	-.114	.121	.071	-.382	.049	.249	.066	1	.473	.180	.543
X_{17}	.124	.406	.266	.452	.455	-.199	-.039	-.115	-.047	.006	.096	-.081	.313	.173	.125	.473	1	.176	.487
X_{18}	.558	.464	.265	-.022	.260	.220	.429	.225	-.160	.371	.319	.136	.275	.367	.376	.180	.176	1	.282
X_{19}	.248	.468	.607	.129	.466	-.100	.054	.100	-.024	.054	.183	-.232	.223	.358	.358	.543	.487	.282	1

ساختار سلسله مراتبی مسئله تصمیم در شکل (۲) نشان داده شده است. با توجه به این شکل می‌توان گفت که هدف، رتبه‌بندی ۵ تأمین‌کننده، با در نظر گرفتن ۵ عامل است.

۵-۲ رتبه‌بندی ۵ تأمین کنندهٔ سیستم صوتی خودرو در شرکت سازه گستر

گام ۱:

تصمیم‌گیرنده نظر خود را در مورد وزن ۱۹ معیار با استفاده از متغیرهای زبانی جدول (۱) بیان می‌کنند. سپس وزن هر معیار با استفاده از رابطه (۸) بصورت یک عدد خاکستری بازه‌ای محاسبه می‌شود. جدول (۸) وزن ۱۹معیار را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۴) : آزمون KMO and Bartlett`s

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.786
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	1.397E3
	df	171
	Sig.	0.000

جدول(۶) ماتریس چرخش یافته عامل‌ها را نشان می‌دهد و در نهایت جدول (۷) نیز عامل‌ها و متغیرهای مربوط به هر عامل را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۵): مقادیر ویژه

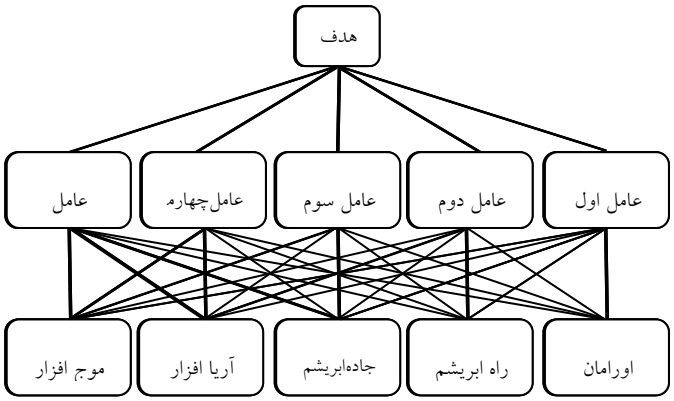
مؤلفه‌ها	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	مجموع	درصد واریانس	درصدفراوانی تجمعی	مجموع	درصد واریانس	درصدفراوانی تجمعی	مجموع	درصد واریانس	درصدفراوانی تجمعی
1	4.469	23.519	23.519						
2	3.022	15.908	39.427						
3	1.981	10.424	49.851						
4	1.531	8.057	57.908						
5	1.158	6.093	64.001						
6	0.967	5.087	69.089						
7	0.837	4.405	73.493						
8	0.734	3.861	77.355	4.469	23.519	23.519	3.176	16.715	16.715
9	0.649	3.415	80.769	3.022	15.908	39.427	3.121	16.428	33.143
10	0.625	3.290	84.059	1.981	10.424	49.851	2.414	12.706	45.848
11	0.547	2.877	86.936	1.531	8.057	57.908	1.858	9.777	55.625
12	0.518	2.727	89.664	1.158	6.093	64.001	1.591	8.378	64.001
13	0.487	2.561	92.225						
14	0.388	2.044	94.269						
15	0.312	1.644	95.913						
16	0.241	1.270	97.183						
17	0.207	1.092	98.275						
18	0.177	0.931	99.206						
19	0.151	0.794	100.00						

جدول شماره (۶): ماتریس چرخش یافته عامل‌ها

ردیف	متغیرها	عامل‌ها				
		۵	۴	۳	۲	۱
۱	ظرفیت تأمین‌کننده	.340	.223	.039	.050	**.813**
۲	قابلیت ماشین‌آلات و تجهیزات	.502	.396	.176	-.156	**.632**
۳	توسعه فعالیت‌های مربوط به نگهداری پیشگرانه	**.651**	-.070	-.129	.391	.318
۴	کارایی لی‌اوت و جابه جایی مواد	.045	**.705**	-.148	-.074	.073
۵	اثربخشی حمل و نقل وانبار داری	.109	**-.825**	-.012	.217	.562
۶	قیمت واحد	.135	.095	**.597**	.478	.191
۷	برنامه کاهش قیمت	-.103	-.250	**.601**	.389	.173
۸	وجهه/ اعتبار تامین کننده	-.376	-.490	.401	.087	**.636**
۹	نزدیکی جغرافیایی	.334	**-.784**	.261	.106	-.132
۱۰	تحویل به موقع	.073	.127	.167	-.117	**.805**
۱۱	قابلیت تأمین دقیق میزان سفارشات	.005	-.099	.477	.216	**.625**
۱۲	زمان میان دریافت وتحویل سفارش	.067	-.061	-.122	-.011	**-.734**
۱۳	انعطاف پذیری	-.148	-.021	.473	.314	**.595**
۱۴	قابلیت پاسخگویی سریع به تقاضاهای خاص	.068	.034	.010	.449	**.744**
۱۵	کنترل الگوهای اولیه	.124	.370	.357	**.609**	.039
۱۶	هزینه‌های کیفیت	.013	-.154	**-.698**	-.108	.125
۱۷	پایگاه داده‌های کیفیت	.242	.250	-.274	**.713**	-.206
۱۸	کنترل کیفیت	-.168	.407	.252	**.630**	.134
۱۹	قابلیت اطمینان	-.162	-.026	.152	**.827**	.362

جدول شماره (۷): عامل‌ها و متغیرهای مربوط به آن‌ها

عامل اول	ظرفیت تأمین‌کننده	قابلیت ماشین آلات و تجهیزات	وجهه و اعتبار تأمین کننده	تحویل به موقع	قابلیت تامین دقیق میزان سفارشات	زمان میان دریافت و تحویل سفارش	انعطاف پذیری	قابلیت پاسخگویی به تقاضاهای خاص
عامل دوم	کنترل الگوهای اولیه	پایگاه داده‌های کیفیت	کنترل کیفیت	قابلیت اطمینان				
عامل‌سوم	قیمت واحد	برنامه کاهش قیمت	هزینه‌های کیفیت					
عامل‌چهارم	کارایی لی اوت و جابه جایی مواد	اثر بخشی حمل و نقل و انبارداری	نزدیکی جغرافیایی					
عامل پنجم	فعالیت‌های مربوط به نگهداری پیشگیرانه							



شکل شماره (۲): ساختار سلسله مراتبی مسئله تصمیم

گام ۲:

تصمیم‌گیرندگان ارزیابی خود را از ۵ تأمین کننده با توجه به ۱۹ معیار با متغیرهای زبانی جدول (۲) بیان می‌کنند. ارزیابی نهایی تأمین‌کنندگان با توجه به (۹) بصورت یک عدد خاکستری بازه‌ای محاسبه می‌شود. نتیجه این گام که ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری است در جدول (۹) نمایش داده شده است.

گام ۳:

در بخش ۵-۱، ۱۹ معیار با کمک تکنیک تحلیل عاملی در ۵ دسته از عوامل مستقل دسته بندی شدند.

گام ۴:

وزن هر عامل $(\otimes w_{F_i})$؛ از میانگین وزن معیارهایی $(\otimes w_{Q_i})$ که در آن عامل قرار گرفتند، با توجه به رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود. وزن عامل‌ها در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

گام ۵:

درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری پس از تحلیل عاملی $E = [\otimes C_{ij}]_{5\times5}$، از میانگین $\otimes G_{\mathrm{ij}}$های مربوط به معیارهایی که در یک عامل قرار دارند در ماتریس $D = [\otimes G_{ij}]_{19\times5}$ با استفاده از (۱۹) به دست می‌آیند.

جدول (۱۱) ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری با استفاده از عوامل مستقل $E = [\otimes C_{ij}]_{5\times5}$ است.

گام ۶:

۱۹ معیارها تعیین شده همگی معیارهای مثبت می‌باشند، بنابراین عامل‌های بدست آمده نیز همگی مثبت‌اند. لذا تنها از (۱۲) برای محاسبه‌ی ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری نرمالایز شده $E^* = [\otimes C^*{}_{ij}]_{5\times5}$ استفاده می‌شود. نتیجه این مرحله در جدول (۱۲) نمایش داده شده است.

جدول شماره (۸): وزن معیارها

Q_i	$\otimes w_{Q_i}$
Q_1	[0.275, 0.375]
Q_2	[0.325, 0.425]
Q_3	[0.275, 0.375]
Q_4	[0.225, 0.325]
Q_5	[0.250, 0.350]
Q_6	[0.325, 0.425]
Q_7	[0.275, 0.375]
Q_8	[0.225, 0.325]
Q_9	[0.225, 0.325]
Q_{10}	[0.175, 0.275]
Q_{11}	[0.225, 0.325]
Q_{12}	[0.250, 0.350]
Q_{13}	[0.225, 0.325]
Q_{14}	[0.225, 0.325]
Q_{15}	[0.225, 0.325]
Q_{16}	[0.200, 0.300]
Q_{17}	[0.225, 0.325]
Q_{18}	[0.300, 0.400]
Q_{19}	[0.325, 0.425]

گام ۷:

ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری نرمالایز شده موزون $E^* = [\otimes U_{ij}]_{5\times5}$ با توجه به (۱۴) محاسبه می‌گردد. جدول (۱۳) این ماتریس را نشان می‌دهد.

گام ۸:

با توجه به (۱۵) و (۱۶) گزینه ایده‌آل S^{max} به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$S^{max} = \begin{Bmatrix} [0.17,0.341]\ ,\ [0.200, 0.369],\ [0.189,0.367], \\ [0.165, 0.333]\ [0.202, 0.375] \end{Bmatrix}$$

جدول شماره (۱۰): وزن عامل‌ها

$\otimes F_i$	w_{F_i}
F_1	[**0.241**, **0.341**]
F_2	[**0.241**, **0.341**]
F_3	[**0.267**, **0.367**]
F_4	[**0.267**, **0.367**]
F_5	[**0.275**, **0.375**]

گام ۹:

درجه امکان خاکستری گزینه ایده‌آل و ۵ تأمین‌کننده دیگر طبق (۱۷) محاسبه می‌شود. نتایج این مرحله به صورت زیر می‌باشد:

$$P(S_1 < S^{max}) = 0.567$$
$$P(S_2 < S^{max}) = 0.621$$
$$P(S_3 < S^{max}) = 0.526$$

$$P(S_4 < S^{max}) = 0.599$$
$$P(S_5 < S^{max}) = 0.609$$

گام ۱۰:

با توجه به احتمالات به دست آمده در گام ۹ تأمین‌کنندگان به صورت زیر رتبه بندی می‌شوند:

$$S_4 > S_5 > S_2\ S_1 > S_3 >$$

بنابراین شرکت راه ابریشم به عنوان بهترین تأمین‌کننده و شرکت‌های موج افزار و آریا افزار به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند. دو شرکت اورامان و جاده ابریشم نیز به ترتیب در رتبه‌های چهارم و پنجم قرار می‌گیرند.

جدول شماره (۹): ارزیابی تأمین‌کنندگان از نظر تصمیم‌گیرندگان (ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری)

Q_i	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
Q_1	[1.75, 2.75]	[1.75, 2.75]	[3.25, 4.25]	[2.75, 3.75]	[**1.75**, **2.75**]
Q_2	[2.25, 3.25]	[2.75, 3.75]	[1.50, 2.50]	[3.00, 4.00]	[**3.00**, **4.00**]
Q_3	[2.75, 3.75]	[1.50, 2.50]	[2.75, 3.75]	[1.50, 2.50]	[**2.75**, **3.75**]
Q_4	[1.00, 2.00]	[2.25, 3.25]	[2.25, 3.25]	[3.25, 4.25]	[**2.25**, **3.25**]
Q_5	[1.75, 2.75]	[2.75, 3.75]	[3.50, 4.50]	[1.25, 2.25]	[**2.25**, **3.25**]
Q_6	[2.25, 3.25]	[3.00, 4.00]	[2.25, 3.25]	[3.25, 4.25]	[**2.50**, **3.50**]
Q_7	[2.00, 3.00]	[1.50, 2.50]	[2.00, 3.00]	[2.50, 3.50]	[**2.50**, **3.50**]
Q_8	[3.00, 4.00]	[3.25, 4.25]	[2.25, 3.25]	[3.00, 4.00]	[**2.50**, **3.50**]
Q_9	[1.75, 2.75]	[1.75, 2.75]	[1.50, 2.50]	[1.50, 2.50]	[**1.00**, **2.00**]
Q_{10}	[3.75, 4.75]	[1.75, 2.75]	[2.75, 3.75]	[3.00, 4.00]	[**2.75**, **3.75**]
Q_{11}	[2.50, 3.50]	[2.00, 3.00]	[3.50, 4.50]	[1.75, 2.75]	[**1.50**, **2.50**]
Q_{12}	[1.75, 2.75]	[1.50, 2.50]	[2.25, 3.25]	[2.50, 3.50]	[**2.75**, **3.75**]
Q_{13}	[3.00, 4.00]	[3.00, 4.00]	[2.00, 3.00]	[2.50, 3.50]	[**2.00**, **3.00**]
Q_{14}	[2.50 , 3.50]	[3.00 , 4.00]	[3.50 , 4.50]	[1.75 , 2.75]	[**1.25** , **2.25**]
Q_{15}	[2.00 , 3.00]	[2.75 , 3.75]	[2.75 , 3.75]	[3.00 , 4.00]	[**3.00** , **4.00**]
Q_{16}	[2.50 , 3.50]	[1.75 , 2.75]	[2.25 , 3.25]	[1.50 , 2.50]	[**1.00** , **2.00**]
Q_{17}	[2.25 , 3.25]	[2.00 , 3.00]	[3.00 , 4.00]	[3.00 , 4.00]	[**2.75**, **3.75**]
Q_{18}	[3.00 , 4.00]	[2.25 , 3.25]	[2.00 , 3.00]	[2.25 , 3.25]	[**3.50** , **4.50**]
Q_{19}	[3.75 , 4.75]	[3.50 , 4.50]	[2.75 , 3.75]	[3.00 , 4.00]	[**2.25** , **3.25**]

جدول شماره (۱۱): ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری با استفاده از عوامل مستقل

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
F_1	[2.562, 3.562]	[2.375, 3.375]	[2.625, 3.625]	[2.531, 3.531]	[2.188, 3.188]
F_2	[2.750, 3.750]	[2.625, 3.625]	[2.625, 3.625]	[2.813, 3.813]	[2.875, 3.875]
F_3	[2.250, 3.250]	[2.083, 3.083]	[2.167, 3.167]	[2.417, 3.417]	[2,000, 3.000]
F_4	[1.500, 2.500]	[2.250, 3.250]	[2.417, 3.417]	[2.000, 3,000]	[1.833, 2.833]
F_5	[2.750, 3.750]	[1.500, 2.500]	[2.750, 3.750]	[1.500, 2.500]	[2.750, 3.750]

جدول شماره (۱۲): ماتریس تصمیم‌گیری نرمالایز شده

F_i	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
F_1	[0.707, 0.983]	[0.655, 0.931]	[0.724, 1.000]	[0.698, 0.974]	[0.604, 0.879]
F_2	[0.710, 0.968]	[0.677, 0.935]	[0.677, 0.935]	[0.726, 0.984]	[0.742, 1.000]
F_3	[0.658, 0.951]	[0.610, 0.902]	[0.634, 0.927]	[0.707, 1.000]	[0.585, 0.878]
F_4	[0.439, 0.732]	[0.658, 0.951]	[0.707, 1.000]	[0.585, 0.878]	[0.536, 0.829]
F_5	[0.733, 1.000]	[0.400, 0.667]	[0.733, 1.000]	[0.400 0.667]	[0.733, 1.000]

جدول شماره (۱۳): ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری نرمالایز شده موزون

F_i	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
F_1	[0.170, 0.335]	[0.158, 0.317]	[0.174, 0.341]	[0.168, 0.332]	[0.146, 0.230]
F_2	[0.191, 0.357]	[0.182, 0.345]	[0.182, 0.345]	[0.195, 0.363]	[0.200, 0.369]
F_3	[0.176, 0.349]	[0.163, 0.331]	[0.169, 0.340]	[0.189, 0.367]	[0.156, 0.322]
F_4	[0.102, 0.244]	[0.153, 0.317]	[0.165, 0.333]	[0.136, 0.292]	[0.125, 0.276]
F_5	[0.202, 0.375]	[0.110, 0.250]	[0.202, 0.375]	[0.110, 0.250]	[0.202, 0.375]

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، یک روش مناسب و کاربردی جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در یک محیط غیرقطعی و در شرایط وجود معیارهای وابسته ارائه شد. روش تصمیم‌گیری خاکستری یک روش مناسب جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در صورت وجود معیارهای کیفی است. در این روش با استفاده از مفهوم خاکستری، متغیرهای زبانی به اعداد خاکستری بازه‌ای تبدیل می‌شوند. اما از آن‌جا که در این روش نیز مانند بسیاری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره شرط اساسی استقلال شاخص‌ها نادیده گرفته می‌شود، نتایج حاصل از آن با شک و تردید همراه است. این در حالی است که در دنیای واقعی همبستگی بین متغیرها غیر قابل انکار است. لذا استفاده از عوامل مستقل به جای معیارهای وابسته یک راه حل مناسب جهت حل این مشکل است. در این مقاله تکنیک تحلیل عاملی جهت تعیین عوامل مستقل پیشنهاد گردید.

در روش ارائه شده در این مقاله جهت رتبه بندی تأمین کنندگان، پس از تعیین وزن معیارها و تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری اولیه، معیارهای وابسته با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی به صورت عوامل مستقل دسته‌بندی می‌شوند. در ادامه این عوامل مستقل هستند که به جای معیارهای وابسته در روش تصمیم‌گیری خاکستری وارد می‌شوند. وزن عامل‌های مستقل از میانگین وزن معیارهای مربوط به هر عامل تعیین می‌گردد. درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری نیز از میانگین درایه‌های معیارهای مربوط به هر عامل در ماتریس تصمیم‌گیری اولیه بدست می‌آید. در پس از تعیین گزینه‌ی ایده‌آل و نهایت با محاسبه درجه امکان خاکستری، تأمین‌کنندگان رتبه‌بندی می‌شوند.

در این مقاله پس از طراحی، مدل پیشنهادی در زنجیره تأمین شرکت سازه گستر سایپا جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان ۵ تأمین‌کننده سیستم صوتی خودرو مورد استفاده قرار گرفت. پس از محاسبه ضرایب همبستگی، مشخص گردید ۱۹ معیار تعیین شده، همگی وابسته‌اند. با توجه به روش ارائه شده ۱۹ معیار با کمک تحلیل عاملی در قالب ۵ دسته از عوامل مستقل دسته‌بندی و در نهایت ۵ تأمین‌کننده رتبه‌بندی شدند.

نتایج حاصل از اجرای این مدل نشان می‌دهد که ترکیب تحلیل عاملی و روش تصمیم‌گیری خاکستری یک روش ساده و کاربردی جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان است که در دنیای واقعی نیز قابل اجراست. لذا مدیران و دست‌اندرکاران صنایع می‌توانند از مدل فوق جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان خود بهره‌بگیرند.

۷- منابع و مأخذ

[۱] کلاین، پل، **راهنمای آسان تحلیل عاملی**، صدرالسادات، سید جلال، مینایی، اصغر، انتشارات سمت.

[2] Choi, J., Bai, S.X. Geunes, J. Romeijn, H.E. (2007). Manufacturing delivery performance for supply chain management. Mathematical and Computer Modelling 45 11–20.

[3] Hong, W.D.,& Lyes, B., Xie, X.L.(2005). A simulation optimization methodology for supplier selection problem, International Journal of Computer Integrated Manufacturing 18 (2–3) 210–224.

[4] Lasch, R., & Janker, C.G. (2005). Supplier selection and controlling using multivariate analysis, International Journal of Physical Distribution andLogistics Management 35 (6) (2005) 409–425.

[5] Thompson, K.M. (1990). Vendor profile analysis. Journal of Purchasing and Materials Management 26 (1) 11–18.

[6] Timmerman, E. (1986). An approach to vendor performance evaluation, Journal of Purchasing and Supply Management 1 27–32.

[7] Barbarosoglu,G &Yazgac, T. (1997). An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem, Production and InventoryManagement Journal 1st quarter 14–21.

[8] Narasimhan, R. (1983). An analytic approach to supplier selection. Journal of Purchasing and Supply Management 1 27–32.

[9] Buffa, F.P.,& Jackson, W.M. (1983). A goal programming model for purchase planning. Journal of Purchasing and Materials Management 19 (3). 27–34.

[10] Chaudhry, S.S., Forst, F.G., & Zydiak, J.L. (1993). Vendor selection with price breaks. European Journal of Operational Research 70 52–66.

[11] Dyer, J.S., Fishburn, P.C., Steuer, R.E., Wallenius, J., &. Zionts, S. (1992). Multiple criteria decision making, multi attribute utility theory: The next tenyears, Management Science 38 (5) 645–654.

[12] Khorramshahgol, R., Azani, H., & Gousty, Y. (1988). An integrated approach to project evaluation and selection. IEEE Transactions on EngineeringManagement 35 265–270.

[13] Dong, G., Yamaguchi, D., Nagai, M., (2006). A grey-based decision – making approach to the supplier selection problem, Mathematical and Computer Modeling 46, PP. 573-581

[14] Deng, J.L. (1989). The introduction of grey system. The Journal of Grey System 1 (1) 1–24.

[15] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets, Information and Control 8 338–353.

[16] Bellman, R.E., & Zadeh, L.A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. Management Science 17 (4) 141–164.