مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)/ دورهٔ ۴، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۶/ ص ۲۴۶-۲۳۱

انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیرهٔ تأمین سبز پروژه‌های صنعت نفت و گاز با ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی

سیامک حاجی یخچالی (yakhchali@ut.ac.ir)
استادیار، دانشکدهٔ صنایع، دانشگاه تهران
مجید پرچمی جلال (parchamijalal@ut.ac.ir)
استادیار، دانشکدهٔ معماری، دانشگاه تهران
محمدکاظم اسدی*
دانشجوی دکتری مدیریت پروژه و ساخت دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۶/۲۶ – تاریخ پذیرش ۱۳۹۶/۱۰/۱۷)

چکیده

با توجه به افزایش روزافزون مخاطرات محیطی ناشی از فعالیت‌های صنعتی، توجه بیش از پیش به جوانب این موضوع و تلاش برای فعالیت‌های پایدار سبب افزایش اهمیت مسائل زیست‌محیطی شده است. هدف این تحقیق یافتن معیارهای مؤثر در انتخاب تأمین‌کنندگان کالاهای پروژه‌های نفت و گاز با مدنظر قرار دادن اهمیتی است که این تأمین‌کنندگان برای خطرهای محیطی حاصل از عملکرد محصولاتشان قائل‌اند. با مطالعهٔ عملکردهای گذشته و بازنگری آموخته‌های پروژه‌های اجراشده و نظرخواهی از خبرگان و صاحبان تجارب اجرایی، نکات اساسی در زنجیرهٔ تأمین کالا که با عملکردهای محیطی ارتباط مستقیم داشتند، شناسایی شده و معیارها مشخص شد و با ترکیب دو روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و روش ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل (TOPSIS) فازی و انجام مقایسه‌های زوجی برای تعیین اوزان هر کدام از معیارها و مقایسهٔ هر کدام از تأمین‌کنندگان با توجه به معیارهای شناسایی‌شده، در نهایت معیارهای اصلی و اثرگذار برای لحاظ در انتخاب یک تأمین‌کننده سبز شناسایی شد. نتایج این تحقیق قابل کاربرد در مدل‌های مورد استفادهٔ کمیته‌های تصمیم‌گیرنده در انتخاب پیمانکاران و تأمین‌کنندگان کالاهای نفت و گاز است که تأثیر بسیار مهمی در سبز کردن زنجیرهٔ تأمین کالا می‌توانند داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی، زنجیرهٔ تأمین‌کنندگان سبز، محیط زیست، مخاطرات محیطی، نفت و گاز و پتروشیمی.

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۶۷۹۷۹۸۹ Email: mkasadi@ut.ac.ir

مقدمه

در کنار همهٔ مزیت‌های اقتصادی استخراج نفت و گاز، با توجه به مقولهٔ توسعهٔ پایدار، آلودگی‌های زیست‌محیطی دغدغهٔ انکارناپذیر شرکت‌های توسعه‌دهندهٔ میدان‌های نفت و گاز شده است. با توجه به قوانین بین‌المللی و افزایش آگاهی مردم دربارهٔ حفاظت از محیط زیست، شرکت‌هایی که می‌خواهند مزیت رقابتی خود را در اخذ پروژه‌های بزرگ حفظ کنند، نمی‌توانند مسائل زیست‌محیطی را نادیده بگیرند. رشد نگرانی‌های زیست‌محیطی به معنای ضرورت توجه به مسائل مربوط به آلودگی محیط زیست در فعالیت‌های مدیریت زنجیرهٔ تأمین همراه با توسعهٔ صنعتی است که به ظهور مفهوم مدیریت زنجیرهٔ تأمین سبز[1] منجر شده است [۱۱]. رویکرد مدیریت زنجیرهٔ تأمین سبز، یک دیدگاه جامع مدیریت محیطی است که همهٔ جریان‌ها از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان و در نهایت به مصرف‌کنندگان را در بر می‌گیرد [۱۰].

سبز کردن زنجیرهٔ تأمین هم در مقیاس فردی و هم ملی برای شرکت‌ها مزایایی دارد. در سطح فردی برنامه‌های زنجیرهٔ تأمین سبز سبب مزایای رقابتی معینی نظیر هزینه‌های کمتر، محصولات سبزتر و ادغام بهتر یا همکاری نزدیک‌تر با تأمین‌کنندگان می‌شود. در سطح ملی، زنجیرهٔ تأمین سبز می‌تواند بازارهایی را برای محصولات سبز ایجاد کند و همچنین سبب تطبیق بهتر تأمین‌کنندگان با مسائل زیست‌محیطی شود. در پی آن، تأمین‌کنندگانی که این شیوه را اتخاذ می‌کنند می‌توانند کل زنجیرهٔ تأمین را به بهبود عملکرد زیست‌محیطی تشویق کنند [۱].

یک راه مهم برای اجرای مدیریت زنجیرهٔ تأمین سبز، تجدید نظر در روش‌های نوآورانه، خرید و چرخهٔ تأمین است؛ قدم اول اطمینان از این موضوع است که عرضه‌کنندهٔ کالا، معیارهای سبز را داراست؛ بنابراین، فرایند انتخاب عرضه‌کننده، یک حوزهٔ پژوهشی جدید به نام انتخاب تأمین‌کنندهٔ سبز ایجاد می‌کند [۱۲].

مسئلهٔ انتخاب تأمین‌کننده، نیازمند در نظر گرفتن معیارهای چندگانهٔ کمی و کیفی متضاد است؛ بنابراین، موضوع انتخاب تأمین‌کننده در تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره[2] نهفته است. ابزارهای متعدد پشتیبانی از تصمیم‌گیری چندشاخصه برای ساختاربندی و حمایت از چنین تصمیماتی توسعه داده شده‌اند.

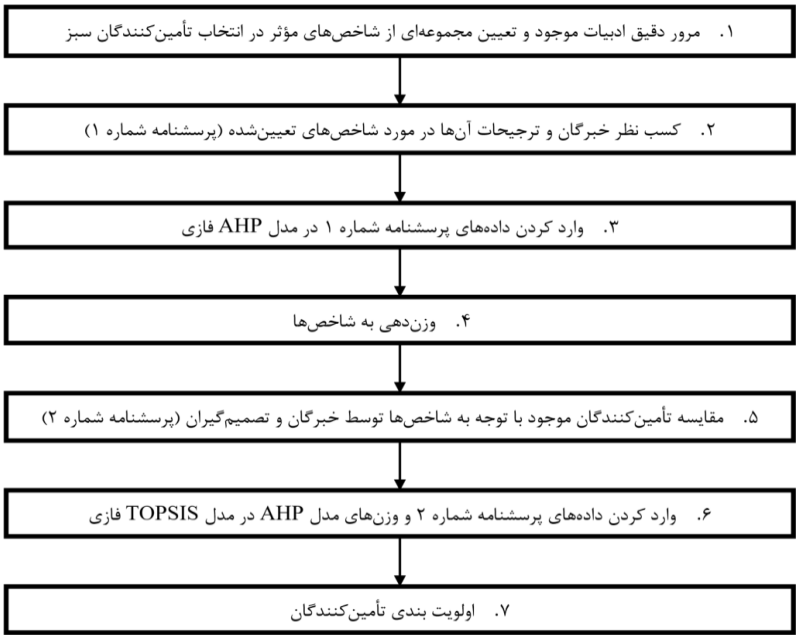
تحقیق حاضر در صدد بررسی این موضوع است که آیا می‌توان با ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری مدلی ارائه کرد که بتوان براساس آن تأمین‌کنندگان کالاهای سبز را در زنجیرهٔ تأمین کالای شرکت نفت و گاز پارس با نیت کاهش خطرهای محیطی از جمله کاهش

1. Green Supply Chain Management (GSCM)
2. Multi Criteria Decision Making (MCDM)

آلودگی‌های محیطی انتخاب کرد و بدین ترتیب، با ترکیب روش‌های AHP و TOPSIS فـازی و به‌کارگیری معیارهای سبز بودن، چارچوبی برای رتبه‌بندی تـأمین‌کننـدگان در زنجیـرهٔ تـأمین ارائه و مناسب‌ترین تأمین‌کننده را برای همکاری در زنجیرهٔ تأمین انتخاب کرد؟

روش تحقیق و تحلیل

در این تحقیق ابتدا شاخص‌ها و معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز از طریق مطالعات کتابخانـه‌ای گردآوری شد. به‌طور مشخص از شش شاخص عمده در این پژوهش اسـتفاده شـد. سـپس از طریـق طراحی پرسشنامهٔ مقایسه‌های زوجی (پرسشنامهٔ ۱) این شاخص‌ها بـه‌صـورت دو بـه دو بـا یکـدیگر مقایسه شدند. داده‌های حاصل از این پرسشنامه وارد مدل AHP فازی شـد تـا تبـدیل بـه وزن‌هـای عددی برای شاخص‌ها شوند. در مرحلهٔ بعد پرسشنامهٔ دیگری (پرسشنامهٔ ۲) طراحی شده اسـت کـه در آن تصمیم‌گیران یا پاسخ‌دهندگان به مقایسهٔ تأمین‌کنندگان معرفی‌شده بـا توجـه بـه شـاخص‌هـا می‌پردازند. داده‌های این پرسشنامه و وزن‌هایی که از مدل AHP فـازی بـه‌دسـت آمدنـد، وارد مـدل TOPSIS فازی می‌شوند تا در نهایت تأمین‌کنندگان با توجه به معیارهای سـبز بـودن اولویـت‌بنـدی شوند. مراحل این پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. مدل مفهومی

برای بررسی مدل، این تحقیق در یک مثال واقعی در شرکت نفت و گاز پارس کـه فهرسـت مادر تأمین‌کنندگان مورد تأیید در منطقهٔ پارس جنوبی در آن تهیه می‌شود در نظر گرفته شده است. از هر پرسشنامه ۱۰ سری میان کارشناسان و خبرگان ایـن شـرکت کـه دارای کمیتـه‌ای تخصصی به نام کمیتهٔ ارزیابی و بررسی صلاحیت تأمین‌کنندگان کالا و خدمات صـنعت نفـت و گاز است توزیع و جمع‌آوری شد. بنابراین جامعهٔ آماری تحقیق،۱۰ نفر از کارشناسان و خبرگان با تخصص‌های مختلف و سابقهٔ کار مرتبط هستند که عضو این کمیته‌اند. به‌دلیل کوچک بـودن جامعه، نیازی به نمونه‌گیری نبود و از کل جامعه به‌عنوان نمونه استفاده شد.

مسـئلهٔ انتخـاب تـأمین‌کننـدهٔ سـبز بـه‌دلیـل چندشاخصـه بـودن از طریـق روش‌هـای تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره قابل حل است که در این پژوهش برای رسیدن به پاسخ از ترکیب دو روش AHP و TOPSIS استفاده شد و ازآنجا که داده‌های گردآوری‌شده غیردقیـق، مبهم و گاه کیفی هستند، استفاده از روش‌های قطعی می‌تواند نتایج نادرستی بـه‌همـراه داشـته باشد؛ از این‌رو برای کسب نتایج دقیق و روشن، روش‌های مذکور با منطق فـازی بـه‌شـرح ذیـل ترکیب شده‌اند.

الف) منطق فازی

منطق فازی نوعی منطق چندارزشی است که در آن به‌جای درست یا نادرست، سیاه یـا سـفید، سایه‌های محدودی از خاکستری بین سیاه و سفید وجود دارد. مفهوم منطق فازی نخستین بـار در سال ۱۹۶۵ توسط دکتر لطفی‌زاده، استاد دانشگاه کالیفرنیا ارائه شد. وی مقالـه‌ای بـا عنـوان مجموعه‌های فازی منتشر کرد تا مفهوم فازی را از منطق دودویی که در زمان او مطرح بود، دور کند. تا کنون در زمینهٔ مجموعه‌های فازی، فازی‌سازهای زیادی معرفی شده‌اند که مـی‌تـوان بـه فازی‌سازهای منفرد[1]، مثلثی[2]، ذوزنقه‌ای[3]، گوسین[4] و غیره اشاره کرد [۶].

اعداد فازی مثلثی به‌دلیل سادگی، کاربرد بیشتری دارند می‌گیرند که در این پژوهش نیـز از این اعداد استفاده شد.

عدد فازی مثلثی $\tilde{A}$ با تابع عضویت خطی چند تکه‌ای $\mu_A(x)$ به‌صورت رابطهٔ ۱ قابل تعریف است:

1. Singleton
2. Triangular
3. Trapzoidal
4. Gaussian

$$\mu_A(x)=\begin{cases}0 & for\ x<l,\\ \dfrac{x-l}{m-l} & for\le x\le m,\\ \dfrac{u-x}{u-m} & for\ m\le x\le u,\\ 0 & for\ x>u.\end{cases} \quad (۱)$$

که در قالب عدد سه‌گانه *(l,m,u)* بیان می‌شود که *l* و *u* بیانگر حد پایین و بالا و *m* بیشترین مقدار مجموعه $A\tilde{A}$ است.

چنانچه $\tilde{A}=(l_1, m_1, u_1)$ و $\tilde{B}=(l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی و *k* یک عدد حقیقی باشد، اصلی‌ترین عملیات جبری شامل جمع و تفریق و تقسیم و ضرب و ... به‌صورت روابط ۲ تا ۶ بیان می‌شوند [۲۰].

$$\tilde{A}+\tilde{B}=(l_1+l_2, m_1+m_2, u_1+u_2)\quad l_1\ge 0, l_2\ge 0 \quad (۲)$$

$$\tilde{A}-\tilde{B}=(l_1-l_2, m_1-m_2, u_1-u_2)\quad l_1\ge 0, l_2\ge . \quad (۳)$$

$$\tilde{A}\times\tilde{B}=(l_1\times l_2, m_1\times m_2, u_1\times u_2)\quad l_1\ge 0, l_2\ge 0 \quad (۴)$$

$$\tilde{A}\div\tilde{B}=(l_1\div l_2, m_1\div m_2, u_1\div u_2)\quad l_1\ge 0, l_2\ge 0 \quad (۵)$$

$$\tilde{A}^{-1}=\left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1}\right)\ge 0 \quad (۶)$$

ب) روش AHP فازی

یک روش مناسب برای در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در ادراکات تصمیم‌گیرندگان و انعکاس نظر آنها به‌صورت یک عدد قطعی، بیان ارزش‌های مقایسه‌ای با استفاده از مجموعه‌ها یا اعداد فازی است. از همین رو، مدل‌های بسیاری از AHP فازی توسط محققان مختلف ارائه شده است. در سال ۱۹۹۶، یک محقق چینی به نام یونگ چانگ روش تحلیل توسعه‌ای را ارائه کرد که در آن از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود [۳]. در این پژوهش نیز از این روش برای محاسبهٔ وزن معیارها استفاده شد.

این روش از متغیرهای زبانی برای بیان قضاوت‌های مقایسه‌ای ارائه‌شده توسط تصمیم‌گیران استفاده می‌کند. اگر $X=\{x_1, x_i, \ldots, x_n\}$ نشان‌دهندهٔ مجموعهٔ اهداف و $G=\{g_1, g_i, \ldots, g_n\}$ نشان‌دهندهٔ مجموعهٔ آرمان‌ها باشد، براساس روش آنالیز توسعه‌ای چانگ، با در نظر گرفتن هر هدف، آنالیز توسعه را می‌توان برای هر یک از آرمان‌ها انجام داد. بنابراین می‌توان به‌صورت زیر برای هر هدف، m مقدار آنالیز توسعه داشت [۹]:

$M_{gi}^{1}, M_{gi}^{i}, \ldots, M_{gi}^{m}. \qquad i = 1.2, \ldots, n$

گام‌های این روش به‌شرح زیر است:

گام اول: محاسبهٔ بسط مرکب فازی برای i هدف

در روش تحلیل توسعه‌ای، برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه‌های زوجی، مقدار S_i، که خود یک عدد فازی مثلثی است، به‌صورت رابطهٔ ۷ محاسبه می‌شود:

$$S_i = \Sigma_{j=1}^{m} M_{gi}^{i} \times \left[\Sigma_{i=1}^{n}\Sigma_{j=1}^{m} M_{gi}^{i}\right]^{-1} \quad (۷)$$

$$\Sigma_{j=1}^{m} M_{gi}^{i} = \left(\Sigma_{i=1}^{m} l_j, \Sigma_{j=1}^{m} m_j, \Sigma_{j=1}^{m} u_j\right) \quad (۸)$$

$$\left[\Sigma_{i=1}^{n}\Sigma_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\Sigma_{i=1}^{n}\Sigma_{j=1}^{m} u_i}, \frac{1}{\Sigma_{i=1}^{n}\Sigma_{j=1}^{m} m_i}, \frac{1}{\Sigma_{i=1}^{n}\Sigma_{j=1}^{m} l_i}\right) \quad (۹)$$

گام دوم: محاسبهٔ درجهٔ امکان‌پذیری یا ارجحیت S_2 بر S_1

چنانچه $S_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq S_1 = (l_1, m_1, u_1)$ باشد، درجهٔ ارجحیت بین دو عدد فازی با روابط زیر نشان داده می‌شود.

$$V(S_2 \geq S_1) = sup_{y \geq x}\left[\min\left(\mu S_2(y), \mu S_1(x)\right)\right] \quad (۱۰)$$

$$V(S_2 \geq S_1) = hgt\left(S_1 \cap S_2\right) = \mu s_2(d) \quad (۱۱)$$

$$\mu s_2(d) = \begin{cases} 1, & \text{اگر } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{اگر } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (۱۲)$$

گام سوم: محاسبهٔ درجهٔ ارجحیت (امکان‌پذیری) یک عدد فازی محدب S که بزرگ‌تر از k عدد فازی محدب S_i (i=1, …,k) باشد، به‌صورت رابطهٔ ۱۳ تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} V(S \geq S_1, S_2, \cdots, S_k) &= V\left((S \geq S_1), (S \geq S_2), \cdots, (S \geq S_k)\right) \\ &= min\left\{V(S \geq S_1), V(S \geq S_2), \cdots, V(S \geq S_k)\right\} \\ &= min\left\{V(S \geq S_1)\right\} \qquad i = 1, 2, \cdots, k \end{aligned} \quad (۱۳)$$

گام چهارم: محاسبهٔ بردار وزن‌ها $\acute{W}$ چنانچه فرض کنیم:

$$\acute{d}(A_i) = minV\left(S_i \geq S_j\right), \; for \; i = 1, 2, \cdots, k \;\; j = 1, 2, \cdots, k \quad i \neq j \quad (۱۴)$$

آن‌گاه بردار وزن به‌صورت رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\acute{W} = \left(\acute{d}(A_1), \acute{d}(A_2), \cdots, \acute{d}(A_k)\right)^T \quad (۱۵)$$

وقتی که W یک عدد غیرفازی محاسبه‌شده برای هر ماتریس مقایسه‌ای باشد بردار نرمال‌شده به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$W = \left(d(A_1), d(A_2), \cdots d(A_k)\right)^T \quad (۱۶)$$

ج) روش TOPSIS فازی

پس از تعیین وزن معیارها از طریق روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی(FAHP)، برای اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان از روش TOPSIS استفاده می‌کنیم. در این روش ارزیابی گزینه‌ها با توجه به معیارها، که با نظر تصمیم‌گیرندگان مشخص می‌شوند به‌صورت اعداد قطعی ارائه می‌شود، درحالی که در واقعیت ممکن است نظر تصمیم گیرندگان با ابهام و خطا همراه باشد. از همین رو برای رفع این مشکل از اعداد فازی در این روش نیز استفاده می‌شود.

در این پژوهش از روش FTOPSIS ارائه‌شده توسط چن (۲۰۰۰)، برای ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده شده است که گام‌های این روش به‌شرح زیر است [۳]:

گام اول: تعیین وزن یا ضریب اهمیت معیارها

وزن معیارها را می‌توان به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با استفاده از مقایسه‌های زوجی به‌دست آورد. ارزیابی اهمیت معیارها توسط متغیرهای کلامی صورت می گیرد. یک گروه تصمیم‌گیری با K تصمیم‌گیرنده موجود است؛ بنابراین، وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از رابطه‌های ۱۷ و ۱۸ محاسبه می‌شود:

$$\tilde{W} = \frac{1}{k}\left[\tilde{W}_j^1 + \tilde{W}_j^2 + \cdots + \tilde{W}_j^k\right] \quad (۱۷)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{k}\left[\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \cdots + \tilde{x}_{ij}^k\right] \quad (۱۸)$$

گام دوم: تشکیل ماتریس تصمیم فازی

$$\tilde{D} = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \cdots \\ A_i \\ \cdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_i & \cdots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1j} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2j} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \cdots & \tilde{x}_{ij} & \cdots & \tilde{x}_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mj} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \quad (۱۹)$$

$$\tilde{W} = \left[\tilde{W}_1, \tilde{W}_2, \cdots, \tilde{W}_n\right] \quad (۲۰)$$

C_i معیار i ام، X_{ij} متغیر زبانی است و نتیجهٔ ارزیابی گزینهٔ A_i به‌طوری که، A_i گزینه iام، با توجه به معیار است که به‌صورت عدد فازی بیان شده است. $\tilde{W}_i$ متغیر زبانی مرتبط با وزن معیار i ام است که این نیز به‌صورت عدد فازی بیان شده است.

گام سوم: تشکیل ماتریس تصمیم فازی نرمالیزه‌شده

$$\tilde{R} = \left[\tilde{r}_{ij}\right]_{m\times n} \quad (۲۱)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_i^+}, \frac{m_{ij}}{u_i^+}, \frac{u_{ij}}{u_i^+}\right) \quad u \quad {}^{+}_{j}xamu_{ij} \quad \text{(معیارهای منفعت)} \quad (۲۲)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}}\right) \quad l \quad {}^{-}_{j}xaml_{ij} \quad \text{(معیارهای هزینه)} \quad (۲۳)$$

گام چهارم: محاسبهٔ ماتریس نرمالیزه‌شدهٔ وزین

$$\tilde{V} = \left[\tilde{v}_{ij}\right]_{m\times n} \quad (۲۴)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{W}_j \quad (۲۵)$$

گام پنجم: تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و منفی

$$A^+ = \left\{\tilde{V}_1^+ . \tilde{V}_j^+ . \cdots . \tilde{V}_n^+\right\} \quad (۲۶)$$

$$A^- = \left\{\tilde{V}_1^- . \tilde{V}_j^- . \cdots . \tilde{V}_n^-\right\} \quad (۲۷)$$

به‌طوری که $\tilde{V}_j^+ = (۱,۱,۱)$ و $\tilde{V}_j^- = (۰,۰,۰)$

گام ششم: محاسبهٔ فاصلهٔ هر گزینه از راه حل ایده‌آل مثبت و منفی

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^{n} d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{V}_j^+) \quad (۲۸)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^{n} d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{V}_j^-) \quad (۲۹)$$

وقتی $d(.,.)$ مشخص‌کنندهٔ فاصلهٔ دو عدد فازی براساس روش ورتکس است، بـرای اعـداد فازی مثلثی رابطهٔ ۳۰ صادق است:

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) = \sqrt{\frac{۱}{۳}\left(l_x - l_z\right)^۲ + \left(m_x - m_z\right)^۲ + \left(u_x - u_z\right)^۲} \quad (۳۰)$$

گام هفتم: محاسبهٔ شاخص نزدیکی نسبی

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (۳۱)$$

گام هشتم: رتبه‌بندی گزینه‌ها با توجه به ضریب نزدیکی

گزینه بهینه، گزینه‌ای است که کمترین فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت و در عین‌حال دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی را دارد.

د) شناسایی شاخص‌ها و ارائهٔ مدل

در ابتدا با مرور مطالعات پیشین و نظرخواهی از خبرگان، معیارهای مؤثر بر انتخاب تأمین‌کنندگان سبز تعیین و از میان معیارهای متعددی که در تحقیقات و نظرهای مختلف به‌کار رفته بود، شش معیار زیر انتخاب شد که به‌تفصیل بیان می‌شوند:

۱. مدیریت کیفیت جامع زیست‌محیطی[1] (TQEM): TQEM بر حداقل‌سازی ضایعات و کارایی فرایند و محصول تأکید دارد. این معیار شامل مواردی چون دارا بودن آیین‌نامه‌های زیست‌محیطی مانند ایزو 14000، بهره‌وری زیست‌محیطی یا تولید مواد زیست‌محیطی کارامد و سیاست‌ها یا برنامه‌های حفظ محیط زیست [۱۶].

۲. مدیریت مواد خطرناک[2] (ROHS): امروزه شرکت‌ها در پی راه‌هایی هستند تا استفاده از مواد سمی و خطرناک را در محصولات خود کاهش دهند. مواد خطرناک موادی‌اند که خطرهای کوتاه‌مدت چون سمیت حاد یا خطرهای بلندمدت زیست‌محیطی شامل سمیت مزمن در اثر تماس مکرر و سرطان‌زایی، پایداری زیاد در مقابل فرایندهای حذف سمیت مانند تجزیهٔ زیستی و ایجاد آلودگی در آب‌های سطحی و زیرزمینی داشته باشند [۱۷].

۳. تصویر سبز[3]این عامل شامل مواردی چون نسبت مشتریان سبز به کل مشتریان، سهم بازار مشتریان سبز یا حفظ مشتریانی که عادات خرید سبز دارند و ارتباط با تأمین‌کنندگان در فعالیت‌های زیست‌محیطی است [۱۲].

۴. نوآوری سبز[4]: نوآوری سبز عبارت است از قابلیت‌های فناورانهٔ سبز یا میزان اجرای فناوری پاک، طراحی سبز، برنامه‌ریزی فرایند سبز، طراحی محصول قابل بازیافت، طراحی محصول تجدیدپذیر یا محصولی که با کمترین استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر تولید می‌شود، پروژهٔ R&D سبز و قابلیت طراحی مجدد محصول برای استانداردهای زیست محیطی [۱۲].

۵. محصول سبز[5]: محصول سبز دارای ویژگی‌های زیر است: قابلیت بازیافت محصول استفاده‌شده و لوازم جانبی آن، بسته‌بندی سبز، هزینهٔ دفع قطعات در پایان عمر مفید محصول،

1. Total Quality Environmental Management
2. Restriction Of Hazardous Substance
3. Green Image
4. Green Innovation
5. Green Product

داشتن گواهینامه‌های سبز بودن، تولید سبز، قابلیت استفادهٔ مجدد محصولات استفاده‌شده و لوازم جانبی آنها، تولید مجدد یعنی جدا کردن لوازم جانبی خاص از مواد زاید برای استفاده در آینده و قابلیت سوزاندن یا دفع مواد زاید [۱۲].

۶. کنترل آلودگی[1]: کنترل آلودگی یعنی بازیافت پسماندها و ضایعات در داخل یا خارج از شرکت و کنترل آلایندگی آب، خاک و هوا توسط محصول نهایی و ضایعات [۱].

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، گروهی متشکل از n تصمیم‌گیرنده ($D_1, D_2, \ldots, D_n$)، مسئول ارزیابی m گزینه ($A_1, A_2, \ldots, A_m$)، براساس k معیار ($C_1, C_2, \ldots, C_k$)، هستند که در این مقاله n=10 تعداد تصمیم‌گیرندگان، m=3 تعداد تأمین‌کنندگان و همچنین n= 6 تعداد عوامل مؤثر بر انتخاب تأمین‌کنندهٔ سبز بهینه است. همچنین، ازآنجا که مسئله دارای شش معیار است، 15 مقایسهٔ زوجی بین معیارها صورت گرفت. برای این کار از داده‌های پرسشنامهٔ طراحی‌شده استفاده شد.

معیارها در طول مدل به‌صورت زیر اندیس‌گذاری می‌شوند:

C1: نوآوری سبز

C2: مدیریت کیفیت جامع زیست محیطی (TQEM)

C3: مدیریت مواد خطرناک (ROHs)

C4:تصویر سبز

C5:محصول سبز

C6:کنترل آلودگی

به‌منظور وزن‌دهی به معیارها، پرسشنامهٔ ۱ (پرسشنامهٔ مقایسه‌های زوجی)، در میان 10 نفر از کارشناسان و خبرگان، توزیع و سپس جمع‌آوری شد. این پرسشنامه شامل یک جدول است که در آن تصمیم‌گیرندگان با استفاده از متغیرهای کلامی در یک طیف پنج‌تایی (جدول ۱) معیارها را دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه می‌کنند.

جدول ۱. عبارات کلامی برای تعیین اوزان معیارها [۲۰]

عبارات کلامی	مقادیر فازی
اهمیت برابر	(۱،۱،۳)
برتری کم	(۱،۳،۵)
برتری متوسط	(۳،۵،۷)
برتری زیاد	(۵،۷،۹)
برتری خیلی زیاد	(۹،۹،۷)

1. Pollution Control

داده‌های حاصل از این پرسشنامه در روش AHP فازی به‌صورت زیر به‌کار گرفته شد تا وزن معیارها به‌دست آید.

ازآنجا که 10 تصمیم‌گیرنده در تصمیم‌گیری دخالت دارند (تصمیم‌گیری گروهی)، میانگین نظر کارشناسان مختلف در مورد معیارها به‌صورت ماتریس‌های مقایسه زوجی تجمیعی در نظر گرفته شد. این ماتریس در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. ماتریس مقایسهٔ زوجی فازی تجمیعی معیارها

	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶
C۱	(۱,۱,۱)	(۱,۲۶۶,۷)	(۳,۶۶۶,۹)	(۱,۴۶۶,۹)	(۱,۲۶۶,۷)	(۱,۳۶۶,۹)
C۲	(۰.۱۴,۰.۵۳,۱)	(۱,۱,۱)	(۱,۴۶۶,۹)	(۱,۳۶۶,۷)	(۱,۱۶۶,۵)	(۱,۴۶۶,۹)
C۳	(۰.۱۱,۰.۲,۱)	(۰.۱۱,۰.۲۳,۱)	(۱,۱,۱)	(۰.۱۴,۰.۴۷,۱)	(۰.۱۱,۰.۳۶,۱)	(۰.۱۱,۰.۴۴,۱)
C۴	(۰.۱۴,۰.۵۳,۱)	(۰.۱۱,۰.۳۱,۱)	(.۰۱۱,۰.۲۳,۱)	(۱,۱,۱)	(۰.۱۱,۰.۴۷,۱)	(۱,۲۶۶,۷)
C۵	(۰.۱۴,۰.۲۸,۱)	(۰.۲,۰.۷۷,۱)	(۱,۳,۷)	(۱,۲۵,۷)	(۱,۱,۱)	(۱,۴۶۶,۹)
C۶	(۱,۴,۹)	(۱,۳۶۶,۹)	(۱,۳۶۶,۹)	(۰.۱۴,۰.۵۳,۱)	(۰.۱۱,۰.۲۳,۱)	(۱,۱,۱)

جدول ۳. وزن نهایی معیارها با استفاده از روشFAHP

معیار	وزن
نوآوری سبز	۰/۲۱۲
مدیریت کیفیت جامع زیست محیطی(TQEM)	۰/۲
مدیریت مواد خطرناک(ROHS)	۰/۰۸۵
تصویر سبز	۰/۱۳۶
محصول سبز	۰/۱۷۲
کنترل آلودگی	۰/۱۹۲

بعد از تعیین وزن معیارها، از روش TOPSIS فازی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده کردیم. برای به‌دست آوردن نظر کارشناسان در مورد هر یک از تأمین‌کنندگان و تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری از طیف هفت‌تایی اعداد فازی استفاده شد که در جدول ۴ آورده شده است.

پس از جمع‌آوری نظر کارشناسان، ماتریس ارزیابی تأمین‌کنندگان ابتدا برای هر کارشناس به‌صورت جداگانه تشکیل شد و سپس به‌صورت ماتریس تصمیم‌گیری فازی تجمیع‌شده ارائه شد که در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۴. عبارات کلامی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها [۵]

مقادیر فازی	عبارت کلامی
(۲،۰،۰)	خیلی ضعیف
(۳،۲،۱)	ضعیف
(۲،۳/۵،۵)	متوسط ضعیف
(۶،۵،۴)	متوسط
(۵،۶/۵،۸)	متوسط خوب
(۹،۸،۷)	خوب
(۱۰،۱۰،۸)	خیلی خوب

جدول ۵. ماتریس تصمیم‌گیری فازی تجمیعی

	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶
تأمین کننده ۱	(۰,۲.۱۶,۵)	(۲,۵.۲۵,۸)	(۴,۵,۶)	(۴,۶.۲۵,۸)	(۱,۴,۶)	(۱,۲.۹۱,۶)
تأمین کننده ۲	(۴,۸.۱,۱۰)	(۵,۷.۲۵,۹)	(۲,۴.۲۵,۶)	(۵,۷.۲۵,۹)	(۴.۶.۲۵,۹)	(۲,۳.۱۶,۶)
تأمین کننده ۳	(۴,۷.۵,۹)	(۴,۷.۳۳,۱۰)	(۴,۷.۵,۹)	(۵,۷.۹۱,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۴,۵.۵,۹)

برای اینکه اعداد ماتریس تصمیم‌گیری در بازهٔ [۰،۱] قرار گیرند و به‌عبارتی بی‌مقیاس شوند، با توجه به اینکه همهٔ معیارها جنبهٔ مثبت دارند؛ ماتریس تصمیم، نرمالیزه می‌شود که در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶. ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمالیزه‌شده

	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶
تأمین کننده ۱	(۰.۰,۰.۲۱,۰.۵)	(۰.۲,۰.۵۲,۰.۸)	(۰.۴,۰.۵,۰.۶)	(۰.۴,۰.۶۲,۰.۸)	(۰.۱,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱,۰.۲۹,۰.۶)
تأمین کننده ۲	(۰.۴,۰.۸۱,۱.۰)	(۰.۵,۰.۷۲,۰.۹)	(۰.۲,۰.۴۲,۰.۶)	۰.۵,۰.۷۲,۰.۹)	(۰.۴,۰.۶۲,۰.۹)	(۰.۲,۰.۳۱,۰.۶)
تأمین کننده ۳	(۰.۴,۰.۷۵,۰.۹)	(۰.۴,۰.۷۳,۱)	(۰.۴,۰.۷۵,۰.۹)	(۵,۰.۷۹,۱.۰)	(۰.۷,۰.۹,۱.۰)	(۰.۴,۰.۵۵,۰.۹)

سپس با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده از روش FAHP، ماتریس تصمیم نرمالیزه‌شده وزن داده می‌شود.

جدول ۷. ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمالیزه‌شدهٔ وزین

	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶
(W)	۰.۲۱۲	۰.۲	۰.۰۸۵	۰.۱۳۶	۰.۱۷۲	۰.۱۹۲
تأمین کننده ۱	(۰.۰۰۰۰,.۰۴۴,۰.۱۰۶)	(۰.۰۴,۰.۱۰۴,۰.۱۶۰)	(۰.۰۳۴,۰.۰۴۲,۰.۰۲۱)	(۰.۰۵۴,۰.۰۸۴,۰.۱۰۸)	(۰.۰۱۷,۰.۰۶۸,۰.۱۰۳)	(۰.۰۱۹,۰.۰۵۵,۰.۱۱۵)
تأمین کننده ۲	(۰.۰۸۴,۰.۱۷۱,۰.۲۱۲)	(۰.۱۱,۰.۱۴۴,۰.۱۸۰)	(۰.۰۱۷,۰.۰۳۴,.۰۵۱)	(۰.۰۶۸,۰.۰۹۷,۰.۱۲۲)	(۰۶۸,۰.۱۰۶,۰.۱۵۴)	(۰.۰۳۸,۰.۰۵۹,۰.۱۱۵)
تأمین کننده ۳	(۰.۰۸۴,۰.۱۵۹,۰.۰.۱۹۰)	(۰.۰۸,۰.۱۴۶,.۲۰۰)	(۰.۴۳۰,۰.۳۶۰,۰.۷۶۵)	(۰.۸۶۰,۱.۰۷۵,۱.۳۶۰)	(۱.۲۰۴,۱.۵۸۴,۱.۷۲)	(۰.۷۶۸,۱.۰۵۶,۱.۷۲۸)

سپس فاصلهٔ هر یک از سه گزینه یک بار از راه حل ایده‌آل مثبت و یک بار از راه حل ایده‌آل منفی حساب شد که در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸. فاصلهٔ هر گزینه از راه حل ایده‌آل مثبت و منفی

تأمین‌کننده ۱	d_1^+ =0.1906	d_1^- =0.00020
تأمین‌کننده ۲	d_2^+ =0.00704	d_2^- =0.06161
تأمین‌کننده ۳	d_3^+ =0.00036	d_3^- =0.055058

در نهایت با محاسبهٔ شاخص نزدیکی، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

جدول ۹. ضریب نزدیکی گزینه‌ها(CC_i)

تأمین‌کنندهٔ ۱	۰/۰۰۴۰۱
تأمین‌کنندهٔ ۲	۰/۸۹۷۴۰
تأمین‌کنندهٔ ۳	۰/۹۹۹۳۴

گزینهٔ بهینه، گزینه‌ای است که کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و در عین حال دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی را دارد؛ در نتیجه گزینه‌ای است که بیشترین ضریب نزدیکی را داراست؛ بنابراین تأمین‌کنندهٔ ۳ به‌عنوان بهترین تأمین‌کننده معرفی می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق از دو روش AHP و TOPSIS فازی، که از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی هستند، برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان سبز که اهمیت اساسی در کاهش مخاطرات و آسیب‌های محیطی و توسعه پایدار دارند در زنجیرهٔ تأمین استفاده شد. در ابتدا با مطالعهٔ متون،

شش شاخص انتخاب تأمین‌کنندهٔ سبز شناسایی شد و مبنای تهیهٔ پرسشنامه قرار گرفت که عبارت‌اند از: مدیریت کیفیت جامع زیست‌محیطی، مدیریت مواد خطرناک، نوآوری سبز، تصویر سبز، محصول سبز و کنترل آلودگی. پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از نظر خبرگان، روش AHP فازی برای تعیین میزان اهمیت یا وزن‌دهی معیارها استفاده شد و شاخص نوآوری سبز به‌عنوان مهم‌ترین شاخص شناخته شد. سپس با به‌کارگیری روش TOPSIS فازی، تأمین کنندگان شرکت رتبه‌بندی شدند. این تحقیق با رویکرد مؤلفه‌شناسی می‌تواند گام نخستین در اجرای زنجیرهٔ تأمین سبز در سازمان‌های خدماتی و سایر نهادها باشد.

در ضمن، ازآنجا که توجه به مسائل زیست‌محیطی اهمیت روزافزون می‌یابند، پیشنهادهای زیر برای تحقیقات آینده ارائه می‌شود:

۱. روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (MCDM) بسیار متنوع و گسترده‌اند که در این تحقیق تنها از دو روش استفاده شده است. محققان می‌توانند از سایر روش‌های MCDM نیز برای اجرای این‌گونه تحقیقات استفاده کنند؛

۲. اجرای روش‌های انتخاب تأمین‌کنندگان سبز و برقراری زنجیرهٔ تأمین سبز و در کل آشنایی سازمان‌های مختلف با مفهوم سبز بودن، گام مؤثری در فرایند حفظ محیط زیست است. بنابراین اجرای این‌گونه تحقیقات در سایر سازمان‌ها به‌ویژه سازمان‌هایی که تأثیر زیادی بر محیط زیست خود دارند می‌تواند در این مسیر یاری‌رسان باشد؛

۳. انتخاب تأمین‌کنندهٔ سبز تنها بخش کوچکی از مدیریت زنجیرهٔ تأمین سبز است. سایر بخش‌های این زنجیره نیز می‌تواند موضوع مناسبی برای تحقیقات آتی باشد.

منابع

[۱]. احمدی، علی‌اکبر؛ افشاری، محمدعلی؛ و شکاری، حمیده (۱۳۹۰). «ارائهٔ مدلی برای سنجش موفقیت سازمان‌ها در مدیریت زنجیرهٔ تأمین سبز با رویکرد انتخاب تأمین‌کنندهٔ سبز (مورد: شرکت فولاد آلیاژی ایران)». *فصلنامهٔ پژوهشنامهٔ بازرگانی*. ش ۶۶ . ص. ۱۲۷-۹۵.

[۲]. رمضانیان، محمدرحیم؛ و حیدرنیای کهن، پدرام (۱۳۸۹). «عوامل مؤثر بر مدیریت زنجیرهٔ تأمین سبز در صنعت گردشگری (مورد مطالعه: آژانس‌های مسافرتی شهر تهران)». *فصلنامهٔ مطالعات گردشگری*. ش ۱۴. ص. ۱۵۱-۱۲۵.

[۳]. صابری، مریم (۱۳۹۳). «ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان مواد اولیه در زنجیرهٔ تأمین با استفاده از روش‌های MCDM (مورد مطالعه: مجتمع صنایع لاستیک سیرجان)». رسالهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[۴]. صفایی قادیکلایی، عبدالحمید؛ طبیبی، محمدرضا؛ و حاجی‌آبادی، فاطمه (۱۳۹۲). «ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شرکت ایزل سنگین ایران (دسا) در مدیریت زنجیرهٔ تأمین سبز با استفاده از تکنیک‌های MCDM فازی». *ویژه‌نامهٔ بررسی‌های بازرگانی*. ش ۵۸. ص. ۱۳-۱.

[۵]. فتحی، محمدرضا (۱۳۹۱). «مکانیابی ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز شرکت گاز استان تهران با استفاده از ترکیب روش اولویت‌بندی فازی و GTMA فازی». پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه تهران.

[۶]. قنبری، علی؛ و مخزن موسوی، هادی (۱۳۸۷). «رویکرد منطق فازی برای مدلسازی اقتصاد زیرزمینی در ایران». *پژوهشنامهٔ اقتصادی*. ش ۱۱. ص.. ۹۱-۱۱۳

[7]. Awasthi, A.; Chauhan, S.; & Goyal S.K. (2010). "A Fuzzy Multi-criteria Approach for evaluating environmental performance of suppliers". *Production Economics*. 126. pp. 370-378.

[8]. Bai, C.; & Sarkis, J. (2010). "Integrating into supplier selection with Grey System and Rough Set Methodologies". I*nternational Journal of production Economic*. 124(1). pp. 252-264.

[9]. Chang, D.Y. (1996). "Applications of the extent analysis method on Fuzzy AHP". *European Journal of Operational Research*. 95. pp. 649-655.

[10]. Chiou, C.Y.; Hsu, C.W.; & Hwang, W.Y. (2008). "Comparative investigation on Green Supplier Selection of the American, Japanese and Taiwanese electronics industry in China". *International conference on IE&EM*. IEEE 811 Dec. pp. 1909-1914.

[11]. Diabat, A.; & Kannan, G. (2011). "An analysis of the drivers affecting the implementation of Green Supply Chain Management". *Resources, conservation and recycling*. 55(6). pp. 659-667.

[12]. Govindan, K.; Kannan D.; & Rajendran S. (2013). "Fuzzy Axiomatic Design approach based green supplier selection: a case study from Singapore". *Journal of cleaner production*. pp. 1-15.

[13]. Handfield, R.; Sroufe R.; & Walton S. (2005). "Integrating Environmental Management and Supply Chain strategies". *Business strategy and the environment*. 14(1). pp. 1-19.

[14]. Hsu, C.W.; Kuo, T.C.; Chen, C.H.; & Hu A.H. (2011). "Using DEMATEL to develop a Carbon Management Model of supplier selection in Green Supply Chain Management". *Journal of cleaner production*. pp. 1-9.

[15]. Igarashi, M.; Boer L.; & Magerholmfet, A. (2012). "What is required for greener supplier selection? A literature review and conceptual model development". *Journal of purchasing & supply management*. 19. pp. 247-263.

[16]. Kannan, D.; Jabbour, A.; & Jabbour, C. (2013). "Selecting green suppliers based on GSCM practices: using Fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company". *European Journal of operational research.* 233. pp. 432- 447.

[17]. Kannan, D.; Khodaverdi, R.; Olfat, L.; Jafarian, A.; & Diabat, A. (2012). "Integrated Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods and Multi-Objective Programming approach for supplier selection and order allocation in a Green Supply Chain". *Journal of cleaner production*. 47. pp. 355-367.

[18]. Lee, A.H.; Kang, H.Y.; Hsu, C.F.; & Hung, H.C. (2009). "A Green Supplier Selection model for High-Tech Industry". *Expert systems with applications.* 36. pp. 7917-7927.

[19]. Rajendran, S.; Govindan, K.; Sarkis, J.; & Murugesan P. (2013). "Multi-Criteria Decision Making approaches for green supplier evaluation and selection: A literature review". *Journal of cleaner production*. pp. 1-18.

[20]. Rodrigues, F.; Juniora, L.; Osirob, L.; Cesar, L.; & Carpinettia R. (2014). "A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection". *Applied soft computing*. 21. pp. 194-209.

[21]. Sarkis, J. (1998). "Evaluating environmentally conscious business practices". *European Journal of Operational research*. 107(1). pp. 159-174.

[22]. Yeh, W.C.; Chuang, M.C. (2011). "Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in Green Supply Chain problems". *Expert systems with applications*. 38. pp. 4244-4253.