

## Integrated hybrid model of sustainable supply chain in cement industry

kiamars fathi hafshejani <sup>1</sup>  
Majid Bagheri Sorkhi <sup>2</sup>  
Mahmoud Modiri <sup>3</sup>

### Abstract

*In this research, by studying the research background and using the latest version of SCOR model and experts' opinion, while identifying the factors affecting supply chain stability and determining the weight of each factor by IVHF-DANP method, the priority of SSCM rings has been determined using EHFL-VIKOR method in cement industry with the aim of improving supply chain performance. Consequently, in addition to six criteria of SCOR model and three dimensions of sustainability approach, ten other factors have been determined by experts and in total, the weight of nineteen factors has been determined and the customer's interest ring has the most preference. Then, the relevant mathematical model was presented and solved in GAMS software using NSGA-II method in MATLAB software. The combined integrated model of sustainable supply chain has been dealt with in this research since the whole supply chain -from the primary supplier to the final customer- is considered in forming and solving the model and each of the objective functions has been realized by assigning the characteristics of the SCOR model to the three dimensions of the sustainability approach formed accordingly.*

**Key words:** SCOR Model, Supply Chain, Sustainability.

<sup>1</sup> Assistant Prof. Industrial management, South Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.  
fathikiamars@yahoo.com

<sup>2</sup> Ph.D. Student, Industrial management, South Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding Author).  
bagheri22@gmail.com

<sup>3</sup> Assistant Prof. Industrial management, South Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.  
m\_modiri@azad.ac.ir



## مدل ترکیبی یکپارچه زنجیره تامین پایدار در صنعت سیمان

کیامرث فتحی هفشجانی<sup>۱</sup>

مجید باقری سرخی<sup>۲</sup>

محمود مدیری<sup>۳</sup>

### چکیده

در این تحقیق، با مطالعه پیشینه تحقیق و استفاده از جدیدترین نسخه مدل اسکور و نظر خبرگان، عوامل موثر بر پایداری زنجیره تامین شناسایی شد و وزن هر عامل به روش IVHF-DANP تعیین گردید. سپس نسبت به تعیین ارجحیت حلقه‌های SSCM با استفاده از روش EHFL-VIKOR در صنعت سیمان با هدف بهبود عملکرد زنجیره تامین، اقدام شده است. در نتیجه علاوه بر شش معیار مدل اسکور و سه بعد رویکرد پایداری، ده عامل دیگر نیز توسط خبرگان و در مجموع وزن نوزده عامل تعیین و حلقه منافع مشتری دارای بیشترین ارجحیت شده است. در ادامه، مدل ریاضی مربوطه ارائه شد و در نرم‌افزار گمز و به روش NSGA-II در نرم‌افزار متلب حل گردید. از آنجا که سراسر زنجیره تامین، از تامین کننده اولیه تا مشتری نهایی در تشکیل و حل مدل، در نظر گرفته شده و با توجه به آنکه هر یک از توابع هدف با اختصاص دادن مشخصه‌های مدل اسکور به ابعاد سه گانه رویکرد پایداری، تشکیل شده لذا بر این اساس مدل ترکیبی یکپارچه زنجیره تامین پایدار در این پژوهش محقق شده است.

**واژه‌های کلیدی:** پایداری، زنجیره تامین، مدل اسکور

<sup>۱</sup> استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. fathikiamars@yahoo.com

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. bagheri22@gmail.com

<sup>۳</sup> استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) m\_modiri@azad.ac.ir

## مقدمه

زنجیره تامین به عنوان یک مجموعه، محصولات و خدمات مناسب را در زمان و مکان مناسب با مشخصه‌های مورد نیاز برای مشتریان سازمان‌ها فراهم می‌کند. پایداری در عملیات سازمان‌ها به یک مسئله معاصر و یک مقوله مهم تحقیقات تبدیل شده است. روندها در مدیریت زنجیره تامین (SCM)<sup>۱</sup>، مانند جهانی شدن اقتصاد بازار، چرخه عمر کوتاه تر محصول، دیجیتال سازی و انتظارات چندوجهی مشتری، همراه با تحولاتی مانند کمبود منابع، الزامات نظارتی سخت گیرانه تر و تمرکز طولانی مدت، به تکامل زنجیره تامین بسیار پیچیده منجر شده است (محمد و ولف گنگ، ۲۰۱۹). یکپارچگی زنجیره تامین در تکامل رفتار مصرف کننده به عنوان یک شریک قدرتمند و ضروری در زنجیره عرضه است (ردی، اولیور، آگرون و لودوین، ۲۰۲۰). پایداری بر آوردن نیازهای حاضر بدون به خطر انداختن توانایی نسل های آینده برای رفع نیازهای خود تمرکز دارد. مفهوم پایداری متشکل از سه رکن اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی است. پایداری به عنوان جزئی از اخلاق سازمانی، در پاسخ به نارضایتی عمومی درک شده بر آسیب درازمدت ناشی از تمرکز بر منافع کوتاه مدت پدید آمد (گران، ۲۰۱۹). تحقیق پیرامون یکپارچگی زنجیره تامین به منظور کمک به ارزیابی و بهبود عملکرد فرایندها ضروری است، چرا که ارزیابی توانان و یکپارچه فرایندها نتایج واقع بینانه و صحیح تری به دست می دهد. هدف کلی تحقیق حاضر، ساخت مدل ترکیبی یکپارچه زنجیره تامین پایدار است و اهداف اختصاصی همچون، ارائه یک مدل به منظور کمک به مدیران صنعت سیمان جهت بهبود عملکرد زنجیره تامین و قابلیت ارزیابی یکپارچه عملکرد فرایندها و مدیریت هزینه‌ها، سرمایه و زمان، بهره مندی از مزایای رویکرد پایداری در ساخت مدل یکپارچه زنجیره تامین و در نهایت، توسعه دانش مدیریت تولید و عملیات است. صنعت سیمان ایران در سایه تحریم های اقتصادی تحمیل شده بر کشور و تاثیر آن بر آشفته گی بازار سیمان از یک سو و رقابت شدید و گاهی ناسالم میان تولید کنندگان این صنعت از سوی دیگر قرار دارد و انجام این پژوهش با تکیه

<sup>۱</sup>. Supply Chain Management.

بر دانش در حال توسعه مستتر در رویکرد پایداری در پی پاسخ به این سوالات است که: چه عواملی در پایداری زنجیره تامین صنعت سیمان موثر هستند؟ کدام یک از حلقه‌های مدیریت زنجیره تامین پایدار از ارجحیت بالاتری برخوردار است؟ کدام مدل ریاضی برای پایداری زنجیره تامین این صنعت مناسب است؟ پژوهش حاضر از نظر هدف در زمره پژوهش‌های کاربردی بوده و با توجه به استفاده از روش‌های مطالعه کتابخانه‌ای و میدانی نظیر پرسشنامه، بر اساس ماهیت و روش گردآوری داده‌ها یک پژوهش توصیفی پیمایشی است. نوآوری تحقیق حاضر در توسعه بکارگیری تکنیک‌ها و ابزارهای نوین همچون  $JVHF-DANP^1$ ،  $EHFL-VIKOR^2$  و مدل  $SCOR$  نسخه ۱۲ در تعیین عوامل موثر بر پایداری زنجیره تامین و ارجحیت حلقه‌های  $SSCM^3$  و پیشنهاد مدل ترکیبی یکپارچه زنجیره تامین پایدار در صنعت سیمان است.

## پیشینه پژوهش

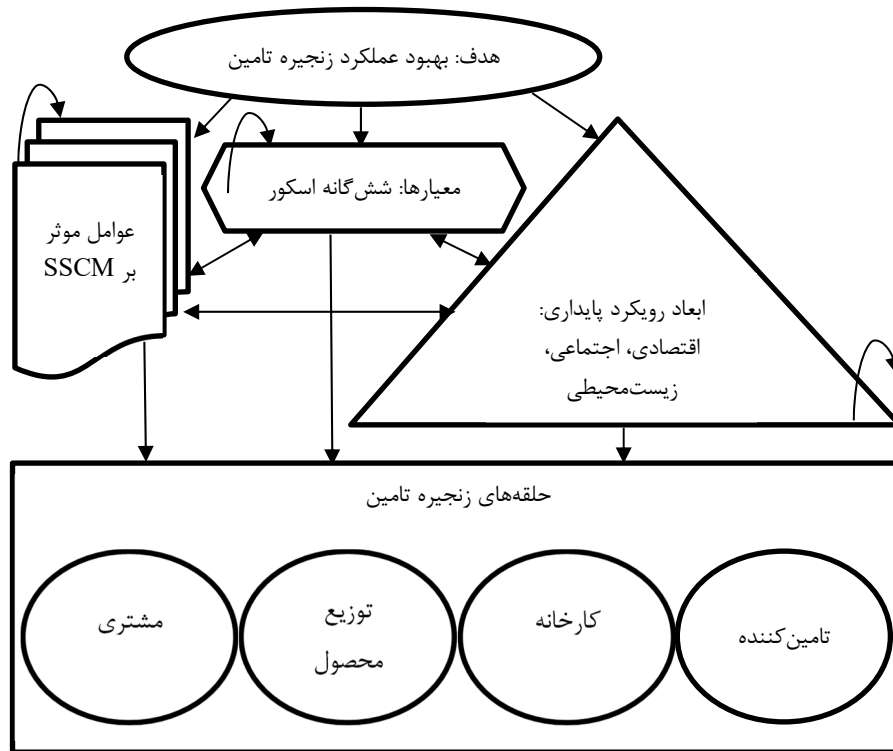
تحقیقی که به بررسی سیستماتیک مدیریت زنجیره تامین پایدار در زنجیره تامین جهانی پرداخته، هدف از ارائه آن را یک سنتز از عناصر کلیدی مدیریت زنجیره تامین پایدار در زنجیره تامین جهانی می‌داند (کوبرگ و لانگونی، ۲۰۱۹). فرآیند زنجیره تامین یکپارچه یکی از پنج عامل مطالعه‌شده در بحث عوامل همکاری زنجیره تامین است (هوی لاما، وانگ، فلیکس و چان، ۲۰۲۰). دو پژوهشگر با استفاده از ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره اقدام به مدل‌سازی ریاضی انتخاب تامین‌کننده برای مدیریت زنجیره تامین پایدار نموده و سپس آن را مورد آزمون قرار دادند (ماریولی و ابو عبدالله، ۲۰۱۹). در مقاله‌ای به منظور ارائه راهکارهای  $SSCM$  با شاخص‌های مدیریت زنجیره تامین پایدار، طی بررسی نظام‌مند مقالات از تکنیک دیماتل استفاده شده است (زامتیواتان، کنان و هاک، ۲۰۱۷). بر اساس پژوهش دیگری با عنوان مدل‌های کمی برای مدیریت زنجیره تامین پایدار (برند نیرگ، گویندان، سارکیس و سیورینگ، ۲۰۱۴)، به تحلیل محتوای ۱۳۴ مقاله مرتبط با این

1. Interval valued hesitant fuzzy- DEMATEL ANP

2. Extended hesitant fuzzy linguistic-VIKOR

3. Sustainable Supply Chain Management

موضوع پرداخته که نتایج آن در کتاب زنجیره تامین پایدار (سارکیس، ۲۰۱۹) نیز تصدیق شده است. استفاده از روش‌های تحقیق در عملیات و مدل‌های مرتبط، برای SCM حلقه بسته و لجستیک معکوس به طور موثری در تحقیقات پیشین مورد بررسی قرار گرفته است اما در مقایسه با درک و بررسی مدل‌های ریاضی که بر عوامل محیطی و اجتماعی در زنجیره تامین رو به جلو تمرکز کنند، کمتر تحقیقی دیده می‌شود. پس از بررسی گسترده ادبیات تحقیق، این نکته برداشت می‌شود که پژوهش‌های محدودی به استخراج شاخص‌های ارزیابی پایداری زنجیره تامین پرداخته‌اند و در اغلب تحقیقات پیشین بر مدل‌های بلوغ نیافته و متناسب با صنعتی خاص تمرکز داشتند. از این رو در پژوهش حاضر به تحقیق پیرامون ارائه مدل ترکیبی یکپارچه زنجیره تامین پایدار در صنعت سیمان پرداخته شده تا علاوه بر اهداف ذکر شده، بخشی از شکاف پژوهشی موجود را پوشش دهد. مدل مفهومی پژوهش حاضر، بر اساس برخی مدل‌های مطرح شده در پیشینه تحقیق توسعه یافته می‌باشد. مدل‌های مذکور اغلب شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها، پارادایم، گزینه‌ها و ذینفعان بوده است. معیارهای مدل شامل هزینه، سطح خدمات، زمان و کیفیت است. این معیارها بیانگر اولویت‌های رقابتی پایه و کلاسیک هستند (نقش‌بندی و ادريس، ۲۰۱۲؛ حسین، اجمال، خان، صابر، ۲۰۱۵). اما رقابت‌پذیری شرکت‌ها نه تنها به اولویت‌های رقابتی کلاسیک، بلکه به توانایی ایستادگی در مقابل اختلالات پیش‌بینی نشده نیز بستگی دارد. همچنین برخی محققان الزامات زیست محیطی را هم به عنوان اولویت رقابتی در نظر گرفته‌اند (تورجای، ناجی، بای، ۲۰۱۵). از این رو معیارهای مورد استفاده در مدل‌های پیشین به عنوان اولویت‌های رقابتی کلاسیک توانایی کافی جهت ارزیابی زنجیره تامین پایدار در محیط‌های کسب و کار پویا و پرنوسان امروزی را ندارد. به این سبب معیارهای مدل اسکور برای تشکیل مدل مفهومی تحقیق حاضر به کار گرفته شده است. به منظور اولویت‌بندی مدل‌های پیشین از روش ANP استفاده شده است. با توجه به محدودیت روش ANP در استفاده از تعداد محدود عناصر مدل، تنها از سه اقدام زنجیره تامین در مدل‌سازی استفاده شده است. پژوهش حاضر برای رفع این معضل از روش DANP استفاده نموده و با رفع محدودیت روش ANP از تعداد بیشتری عامل زنجیره تامین پایدار بر اساس نظر خبرگان استفاده می‌نماید. مدل مفهومی پژوهش حاضر در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱: مدل مفهومی پیشنهادی تحقیق حاضر

## روش‌شناسی پژوهش

**مدل اسکور** یا همان مدل مرجع عملیات زنجیره تامین، ابزار ارزیابی و شناسایی فرصت‌های بهبود زنجیره تامین است که شامل پنج دسته معیار می‌باشد. معیار قابلیت اطمینان با سنجه تکمیل کامل سفارشات، معیار پاسخگویی با سنجه زمان چرخه تکمیل سفارش، معیار چابکی با سنجه‌های سازگاری زنجیره تامین رو به بالا، سازگاری زنجیره تامین رو به پایین و ارزش کلی در معرض ریسک، معیار هزینه با سنجه‌های هزینه کل مدیریت زنجیره تامین و هزینه کالای فروخته‌شده و معیار کارایی مدیریت سرمایه با سنجه‌های زمان چرخه تبدیل وجه نقد، بازده سرمایه ثابت زنجیره تامین، بازده سرمایه در گردش. نسخه ۱۲ به عنوان جدیدترین نسخه این مدل در سال ۲۰۱۷ توسط سازمان آپیکس آمریکا منتشر شده است (آپیکس، ۲۰۱۷).

**روش IVHF-DANP**، از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است که برای تعیین روابط ساختاری و اندازه‌گیری وزن عناصر یک مدل به کار می‌رود و ترکیبی از دو روش DEMATEL و ANP است. استفاده از این روش سبب می‌شود حجم محاسبات نسبت به روش ANP به مراتب کمتر شود و در مقایسه با روش دیمتل از این مزیت برخوردار است که امکان تعیین وزن عناصر و معیارها را نیز فراهم می‌کند. برای حل مسئله به روش IVHF-DANP ابتدا ماتریس تاثیر مستقیم

$$\tilde{g}^{ij} = (\tilde{\gamma}_1^{ij}, \dots, \tilde{\gamma}_t^{ij}, \dots, \tilde{\gamma}_s^{ij}), \tilde{\gamma}_t^{ij} = [\tilde{\gamma}_t^{ijL}, \tilde{\gamma}_t^{ijR}] \quad \text{رابطه (۱)}$$

را با توجه به نظرات خبرگان و با استفاده از اعداد فازی تردیدی، بازه مقدار تشکیل می‌دهیم. برای شناسایی بهتر اعداد فازی تردیدی از عملگر  $s(\tilde{h}) - \sigma(\tilde{h})$  که همزمان میزان تابع امتیاز و درجه انحراف را شامل می‌شود، استفاده می‌کنیم. میزان بیشتر این عملگر بیانگر عدد فازی تردیدی بزرگتر است. برای تشکیل ماتریس تاثیر کلی، با استفاده از اعداد فازی تردیدی، بازه مقدار و استفاده از عملگر معرفی شده، ماتریس تاثیر مستقیم را به ماتریسی با اعداد قطعی تبدیل می‌کنیم.

$$\varphi_{ij} = s(\tilde{g}^{ij}) - \sigma(\tilde{g}^{ij}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

سپس ماتریس تاثیر اولیه نرمال شده را با استفاده از

$$D = \frac{\Phi}{S} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$S = \max \left( \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n \varphi_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n \varphi_{ij} \right) \quad \text{و رابطه (۴)}$$

به دست آورده و پس از مشخص نمودن ماتریس تاثیر اولیه نرمال شده، ماتریس تاثیر کلی را با استفاده از

$$\tilde{T} = \tilde{G} + \tilde{G}^2 + \tilde{G}^3 + \dots + \tilde{G}^m = \tilde{G}(\tilde{I} - \tilde{G})^{-1} \quad \text{رابطه (۵)}$$

به دست می‌آوریم. مراحل بعدی به روش معمول DANP ادامه پیدا می‌کند. ارزیابی روابط بین معیارها با محاسبه جمع ستونی و جمع سطری عناصر ماتریس T صورت می‌گیرد.

$$c_i = \left[ \sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$r_i = \left[ \sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} \quad \text{و رابطه (۷)}$$

که  $r_i$  نشان‌دهنده تاثیر کلی است که معیار  $i$  بر سایر معیارها می‌گذارد و  $c_j$  نشان‌دهنده تاثیری است که معیار  $j$  از دیگر معیارها می‌پذیرد. بنابراین  $(r_i + c_i)$  و  $(r_i - c_i)$



$c_i$ ) به ترتیب نشان‌دهنده درجه اهمیت و درجه علیت معیار  $\bar{I}$  هستند. برای تشکیل سوپرماتریس ناموزون با ترکیب روش دیماتل و ANP ابتدا ماتریس  $T$  نرمال می‌شود. برای نرمال‌سازی، هر درایه از این ماتریس را بر مجموع سطری درایه‌ها در بلوک مربوط به آن درایه تقسیم می‌کنیم. برای نرمال‌سازی عنصر مربوط به سطر اول و ستون اول از

$$d_i^{11} = \sum_{j=1}^{m_1} t_{cij}^{11}, i = 1, 2, \dots, m_1 \quad (\text{رابطه ۸})$$

استفاده می‌کنیم تا در نهایت ماتریس کلی نرمال شده تشکیل شود. با محاسبه ترانهاده ماتریس تاثیر کلی نرمال شده، سوپرماتریس ناموزون به دست می‌آید. ماتریس تاثیر کلی ابعاد را نیز با استفاده از ماتریس تاثیر کلی عناصر محاسبه می‌نماییم. هر کدام از درایه‌های این ماتریس برابر است با میانگین همه عناصر زیر ماتریس مربوط به آن درایه در ماتریس تاثیر کلی معیارها. درایه سطر  $\bar{I}$  و  $\bar{J}$  ماتریس تاثیر کلی ابعاد با

$$T_D^{ij} = \frac{\sum_{h=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{m_j} z_{hk}^{ij}}{m_i m_j} \quad (\text{رابطه ۹})$$

محاسبه می‌شود. سپس هر کدام از درایه‌های ماتریس تاثیر کلی ابعاد را بر مجموع سطری درایه‌ها تقسیم می‌کنیم تا ماتریس تاثیر کلی نرمال شده ابعاد به دست آید. با ضرب عناصر هر بعد ماتریس تاثیر کلی در عدد متناظر آن در ماتریس تاثیر نرمال شده ابعاد، سوپرماتریس موزون مسئله را به دست آورده و آن را به توان می‌رسانیم تا جایی که همه عناصر با توجه به  $\lim_{h \rightarrow \infty} (W^h)$  همگرا شوند و وزن مربوط به هر عنصر را محاسبه می‌کنیم. پس از تعیین وزن ابعاد و عناصر مسئله باید در محیط فازی تردیدی توسعه یافته، ترتیب گزینه‌های تصمیم را معین نماییم. به این منظور از مفهوم فاصله در عبارات فازی تردیدی توسعه یافته استفاده شده است (صفائی، مدهوشی و دیوسالار،

۲۰۱۸). روش مقایسه برای دو EHFLTS<sup>۱</sup> داده شده  $\bar{H}_S^1$  و  $\bar{H}_S^2$  به این صورت است که اگر  $CV(\bar{H}_S^1) > CV(\bar{H}_S^2)$  باشد آنگاه  $(\bar{H}_S^1 > \bar{H}_S^2)$  و اگر  $CV(\bar{H}_S^1) = CV(\bar{H}_S^2)$  باشد آنگاه  $\bar{H}_S^1 \cong \bar{H}_S^2$  و  $\bar{H}_S^2 > \bar{H}_S^1$  باشد آنگاه  $(\bar{H}_S^2 > \bar{H}_S^1)$ . برای محاسبه اندازه فاصله بین دو EHFLTS باید ابتدا یک سری مفروضات را بیان نماییم. در اکثر موارد EHFLT های تشکیل دهنده دو EHFLTS داده شده  $\bar{H}_S^1 = \{h_S^{11}, h_S^{12}, \dots, h_S^{1m}\}$  و  $\bar{H}_S^2 = \{h_S^{21}, h_S^{22}, \dots, h_S^{2n}\}$  دارای عبارات زبانی مساوی نیستند. به منظور تسهیل در عملیات باید اندازه هر کدام از EHFLT ها را با تکرار بزرگترین عبارات زبانی برابر با اندازه بزرگترین EHFLT در نظر بگیریم. همچنین همه عبارات

<sup>۱</sup>. Extended hesitant fuzzy linguistic term set

زبانی در EHFLTها و همه EHFLT در EHFLTSها باید به صورت صعودی مرتب شوند. اگر دو EHFLTS داده شده دارای تعداد برابر EHFLT نباشند، باید به صورت خوش بینانه EHFLTS کوچکتر را با تکرار بزرگترین EHFLT توسعه دهیم تا اندازه هر دو برابر شود. اگر  $S = \tilde{H}_S^1 = \{h_S^{11}, h_S^{12}, \dots, h_S^{1m}\}$  یک مجموعه عبارات زبانی و  $\tilde{H}_S^2 = \{h_S^{21}, h_S^{22}, \dots, h_S^{2n}\}$  و دو EHFLTS داده شده باشند به گونه‌ای که  $m > n$  آنگاه اندازه فاصله عمومی بین دو EHFLTS با استفاده از روابط فاصله مانند

$$d_{hd}(\tilde{H}_S^1, \tilde{H}_S^2) = \frac{1}{m \cdot L} \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^L \frac{|\alpha_l^i - \beta_l^i|}{2\tau + 1} \quad \text{رابطه ۱۰) فاصله همینگ}$$

محاسبه می‌شود (شن و تزنگ، ۲۰۱۵؛ شن، هو و تزنگ، ۲۰۱۶؛ العبول، محمود و بین، ۲۰۱۶؛ دیوسالار، صفایی و مدهوشی، ۲۰۱۷).

**روش EHFL-VIKOR**، برای حل مسائل تصمیم‌گیری گروهی با معیارهای کیفی

کاربرد دارد. اگر مجموعه گزینه‌ها  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ ، مجموعه معیارها  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ ،  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  مجموعه اوزان معیارها و  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_p\}$  مجموعه گروه‌های خبرگان باشد. مجموعه عبارات زبانی داده شده  $S = \{s_t | t = -\tau, \dots, \tau\}$  به گونه‌ای که  $\tilde{H}_S^{ij} = \{h_S^{ij1}, h_S^{ij2}, \dots, h_S^{ijp}\}$  نشان‌دهنده یک EHFLT است که توسط خبرگان گروه  $k$  ام برای گزینه  $i$  با توجه به معیار  $j$  ام ارائه شده است. برای حل مسئله باید مراحل زیر را دنبال کنیم (ژوو، هو، گو و پنگ، ۲۰۱۵؛ کیم، پارک، اوم، لی، ۲۰۱۵؛ گول، سلیم، آیدین، تاسکین و گونری، ۲۰۱۶؛ صفایی، مدهوشی و دیوسالار، ۲۰۱۸).

۱. ابتدا پاسخ‌های ایده‌آل مثبت و منفی عبارات زبانی فازی تردیدی توسعه یافته را

مشخص نموده و به ترتیب با  $A^+$  و  $A^-$  نشان می‌دهیم.

$$A^+ = \{\tilde{H}_S^{1+}, \tilde{H}_S^{2+}, \dots, \tilde{H}_S^{n+}\} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$A^- = \{\tilde{H}_S^{1-}, \tilde{H}_S^{2-}, \dots, \tilde{H}_S^{n-}\} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

به گونه‌ای که

$$\tilde{H}^{j+} = \begin{cases} \max_{i=1,2,\dots,m} \tilde{H}_s^{ij} & \text{for benefit criteria} \\ \min_{i=1,2,\dots,m} \tilde{H}_s^{ij} & \text{for cost criteria} \end{cases}$$

$$\tilde{H}^{j-} = \begin{cases} \min_{i=1,2,\dots,m} \tilde{H}_s^{ij} & \text{for benefit criteria} \\ \max_{i=1,2,\dots,m} \tilde{H}_s^{ij} & \text{for cost criteria} \end{cases}$$

۲. مطلوبیت گروهی و تاسف فردی بر اساس اندازه فاصله‌ها محاسبه می‌شود که می‌توان

از هر کدام از انواع اندازه‌های فاصله استفاده نمود. در اینجا از فاصله همینگ استفاده شد.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{d_{hd}(\tilde{H}_s^{ij}, \tilde{H}_s^{j+})}{d_{hd}(\tilde{H}_s^{j+}, \tilde{H}_s^{j-})} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$\tilde{R}_i = \max \left( w_j \frac{d_{hd}(\tilde{H}_s^{ij}, \tilde{H}_s^{j+})}{d_{hd}(\tilde{H}_s^{j+}, \tilde{H}_s^{j-})} \right) \quad \text{و رابطه ۱۴}$$

که  $w_j$  وزن معیارها و بیانگر اهمیت نسبی آنهاست. با محاسبه  $S$  و  $R$ ، سایر مراحل

حل مسئله همانند روش ویکور معمولی است.

۳. مقدار  $Q_k$  با توجه به

$$\tilde{Q}_i = \frac{v(S_i - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-v)(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

به دست می‌آید که  $S^*$  حداقل مقدار  $S_k$ ،  $S^-$  حداکثر مقدار  $S_k$ ،  $R^*$  حداقل مقدار

$R_j$ ،  $R^-$  حداکثر مقدار  $R_j$  است.  $v$  وزن استراتژی اهمیت معیارها و در اینجا  $v=0/5$  است.

۴. گزینه‌ها با مرتب کردن مقادیر  $S$  و  $R$  و به صورت افزایشی رتبه‌بندی می‌شود.

نتیجه دارای سه فهرست رتبه‌بندی خواهد بود.

۵. گزینه  $a'$  با داشتن کمترین مقدار  $Q$  بهترین راه حل سازشی خواهد بود اگر دو

شرط زیر برقرار باشد:

الف- مزیت قابل قبول:

$$Q(a'') - Q(a') \geq \frac{1}{(m-1)} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

که  $a''$  دومین گزینه رتبه‌بندی شده برحسب مقدار  $Q$  است و  $m$  تعداد گزینه‌هاست.

ب- پایداری قابل قبول در تصمیم‌گیری: گزینه  $a'$  باید بر اساس  $S$  یا  $R$  هم بهترین گزینه باشد.

اگر یکی از شرایط مذکور صادق نباشد، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های سازشی پیشنهاد می‌شود:

✓ شرط اول برقرار باشد و شرط دوم برقرار نباشد گزینه‌های  $a'$  و  $a''$  انتخاب

می‌شوند.

✓ شرط اول برقرار نباشد و شرط دوم برقرار باشد، از بین گزینه‌های  $a', a'', \dots, a^{(n)}$  گزینه‌هایی انتخاب می‌شوند که رابطه ۱۷ صادق باشند:

$$Q(a^{(n)}) - Q(a') < \frac{1}{(m-1)} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

بهترین گزینه انتخابی باید دارای کمترین مقدار  $Q$  باشد. نتیجه اصلی فهرست رتبه‌بندی سازشی گزینه‌ها و راه‌حل سازشی با استفاده از رتبه، مزیت است.

### یافته‌های پژوهش

در این تحقیق از سه پرسشنامه استفاده شده است. پرسشنامه اول جهت تعدیل عوامل (شاخص‌های) جمع‌آوری شده از ادبیات تحقیق در اختیار ۱۰ خیره دانشگاهی و حرفه‌ای در زمینه مدیریت زنجیره تامین که با رویکرد مذکور آشنایی داشته و به روش گلوله برفی انتخاب شده‌اند قرار گرفته است. عوامل تعدیل شده بر اساس نظرات خبرگان و با استفاده از روش دلفی فازی انتخاب شده‌اند. به این منظور از متغیرهای زبانی فازی در مقیاس شش نقطه‌ای، کاملاً مهم (۷،۹،۹)، خیلی مهم (۵،۷،۹)، مهم (۳،۵،۷)، اهمیت متوسط (۱،۳،۵)، اهمیت کم (۰،۱،۳) و اهمیت خیلی کم (۰،۰،۱) استفاده می‌شود. پرسشنامه دوم برای تعیین اوزان هر کدام از ابعاد مدل و عناصر هر بُعد در اختیار خبرگان قرار گرفته است. در روش IVHF-DANP، مقایسه زوجی به صورت بازه‌ای در فاصله بسته صفر تا یک صورت می‌گیرد. از خبرگان مورد نظر خواسته شده نظرات خود را در قالب اعداد فازی تردیدی بازه مقدار بیان نمایند. مقیاس آن اعداد در این تحقیق شامل پوچ، خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد با درجات عضویت عدد فازی به ترتیب ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ است. پرسشنامه سوم برای رتبه‌بندی حلقه‌های زنجیره تامین در اختیار خبرگان قرار گرفته است. در روش EHFL-VIKOR برای تعیین توالی گزینه‌ها، مجموعه عبارات زبانی زیر برای بیان ارزش هر یک از گزینه‌ها در مقابل معیارها به کار گرفته شده است:

$$S = \{S_0 = \text{تاثیر متوسط}, S_1 = \text{تاثیر نسبتاً کم}, S_2 = \text{تاثیر کم}, S_3 = \text{تاثیر خیلی کم}, S_4 = \text{بی‌تاثیر}\}$$

برای محاسبات مربوط به تصمیم‌گیری‌های چندشاخصه از نرم‌افزار اکسل استفاده شده است.

### تعیین عوامل موثر بر پایداری زنجیره تامین در صنعت سیمان

با مطالعه تحقیقات پیشین در این راستا ۶۵ عامل اقتصادی، ۵۳ عامل اجتماعی و ۸۷ عامل زیست محیطی شناسایی و استخراج گردید. جهت تعیین عواملی که بیشترین تاثیر را در پایداری زنجیره تامین در صنعت سیمان دارند، با استفاده از روش دلفی فازی طی دو مرحله توزیع پرسشنامه میان خبرگان، از آنجا که اختلاف مقادیر میانگین برای عوامل مورد بررسی در سه نوبت نظرسنجی کمتر از 0/2 شده است، بنابراین فرآیند دلفی فازی متوقف شده و می توان گفت خبرگان به اجماع قابل قبولی رسیده اند. با توجه به مقیاس مطرح شده، عواملی که در نظرسنجی اخیر در محدوده خیلی مهم و کاملاً مهم قرار گرفته اند به عنوان مناسب ترین عوامل (ستون میانی جدول ۱) انتخاب شده اند. از آنجا که ابعاد پایداری (۳ عنصر)، عوامل (۱۰ عنصر) و معیارهای اسکور (۶ عنصر) بر گزینه های تصمیم تاثیر می گذارند، در مجموع شامل ۱۹ عنصر هستند که در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. ابعاد، عوامل و معیارها

ابعاد پایداری (D <sub>3</sub> )	عوامل (D <sub>2</sub> )	معیارهای اسکور (D <sub>1</sub> )
اقتصادی (E <sub>31</sub> )	بهبود و توسعه سیستم های یکپارچه و منسجم مالی (ارزیابی، گزارش دهی و ... (E <sub>21</sub> ) مدیریت هزینه (E <sub>22</sub> ) مدیریت موجودی (E <sub>23</sub> ) ارتباط بلندمدت با تامین کنندگان (E <sub>24</sub> ) کنترل و تضمین کیفیت (E <sub>25</sub> )	قابلیت اطمینان (E <sub>11</sub> ) پاسخگویی (E <sub>12</sub> ) چابکی (E <sub>13</sub> ) هزینه (E <sub>14</sub> ) مدیریت سرمایه (E <sub>15</sub> ) اسکور پایدار (E <sub>16</sub> )
اجتماعی (E <sub>32</sub> )	تعهد و حمایت مدیریت ارشد (E <sub>26</sub> ) حفظ تعامل بلندمدت با مشتری (E <sub>27</sub> )	
زیست محیطی (E <sub>33</sub> )	بسته بندی سازگار با محیط زیست (E <sub>28</sub> ) مدیریت لجستیک (E <sub>29</sub> ) بکارگیری سیستم مدیریت زیست محیطی یکپارچه (EMS) و ایزو ۱۴۰۰۱ (E <sub>210</sub> )	

## اندازه‌گیری وزن ابعاد و عناصر به روش IVHF-DANP

برای این منظور از خبرگان خواسته شد تا تاثیر عناصر بر یکدیگر را با مقایسه زوجی بر اساس مقیاس معرفی‌شده در بخش قبل معین کنند. سپس بر اساس روش از پیش مطرح‌شده، ماتریس تاثیر کلی عناصر مطابق جدول (۲) محاسبه شد.

جدول ۲. ماتریس تاثیر کلی عناصر

	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E210	E31	E32	E33
E11	0.137	0.177	0.175	0.173	0.159	0.125	0.141	0.183	0.160	0.165	0.162	0.209	0.192	0.103	0.132	0.135	0.149	0.158	0.142
E12	0.187	0.131	0.172	0.174	0.161	0.129	0.147	0.185	0.162	0.167	0.164	0.213	0.192	0.106	0.133	0.136	0.155	0.160	0.144
E13	0.194	0.184	0.127	0.177	0.163	0.133	0.151	0.187	0.170	0.167	0.166	0.220	0.190	0.110	0.135	0.138	0.153	0.160	0.146
E14	0.181	0.167	0.165	0.128	0.159	0.127	0.145	0.180	0.166	0.163	0.162	0.208	0.189	0.117	0.132	0.135	0.179	0.128	0.142
E15	0.179	0.169	0.163	0.174	0.121	0.127	0.147	0.185	0.167	0.163	0.160	0.209	0.185	0.107	0.129	0.134	0.176	0.130	0.142
E16	0.198	0.196	0.187	0.195	0.184	0.110	0.162	0.211	0.180	0.182	0.186	0.235	0.209	0.128	0.155	0.158	0.178	0.153	0.186
E21	0.199	0.189	0.181	0.185	0.177	0.140	0.119	0.207	0.181	0.181	0.176	0.231	0.205	0.120	0.149	0.155	0.202	0.152	0.161
E22	0.151	0.144	0.141	0.138	0.138	0.110	0.124	0.116	0.142	0.139	0.138	0.179	0.161	0.087	0.107	0.112	0.149	0.110	0.121
E23	0.194	0.182	0.169	0.177	0.166	0.131	0.147	0.189	0.127	0.167	0.166	0.213	0.195	0.112	0.138	0.140	0.180	0.137	0.146
E24	0.189	0.176	0.163	0.168	0.164	0.127	0.140	0.185	0.163	0.122	0.162	0.205	0.188	0.107	0.132	0.132	0.176	0.130	0.142
E25	0.186	0.172	0.168	0.173	0.164	0.139	0.150	0.186	0.166	0.166	0.124	0.214	0.186	0.114	0.134	0.139	0.182	0.133	0.145
E26	0.153	0.146	0.136	0.142	0.139	0.105	0.121	0.153	0.137	0.134	0.133	0.128	0.151	0.085	0.103	0.109	0.146	0.105	0.114
E27	0.166	0.157	0.144	0.153	0.143	0.114	0.124	0.165	0.147	0.142	0.141	0.188	0.124	0.096	0.116	0.119	0.157	0.116	0.123
E28	0.222	0.214	0.207	0.216	0.204	0.167	0.173	0.233	0.205	0.206	0.208	0.244	0.241	0.103	0.170	0.177	0.231	0.171	0.184
E29	0.196	0.191	0.178	0.185	0.176	0.140	0.149	0.196	0.178	0.175	0.177	0.221	0.202	0.116	0.107	0.148	0.191	0.146	0.151
E210	0.183	0.172	0.168	0.176	0.169	0.136	0.147	0.191	0.171	0.170	0.169	0.217	0.194	0.120	0.143	0.106	0.188	0.141	0.147
E31	0.168	0.156	0.148	0.156	0.153	0.117	0.131	0.163	0.155	0.154	0.151	0.190	0.175	0.098	0.121	0.123	0.118	0.112	0.124
E32	0.196	0.183	0.176	0.188	0.179	0.142	0.156	0.202	0.180	0.180	0.179	0.229	0.205	0.123	0.144	0.154	0.204	0.112	0.160
E33	0.194	0.180	0.174	0.186	0.176	0.140	0.152	0.199	0.176	0.182	0.185	0.228	0.202	0.119	0.147	0.146	0.198	0.144	0.116

در ادامه پس از محاسبه ماتریس تاثیر کلی ابعاد و عناصر و میزان تاثیر و تاثر آنها با روش DANP، ترانهاده ماتریس تاثیر کلی نرمال شده، سوپرماتریس ناموزون و سپس ماتریس تاثیر کلی نرمال شده ابعاد به دست آمد و با ضرب عناصر هر بُعد ماتریس تاثیر کلی در عدد متناظر آن در ماتریس تاثیر نرمال شده ابعاد، سوپرماتریس موزون مسئله محاسبه شد. سپس با به توان رساندن سوپرماتریس و رسیدن به همگرایی در توان ۴ مقدار وزن هر عنصر مطابق جدول (۳) استخراج گردید.

جدول ۳. وزن محلی (Local) و وزن نهایی (Global) ابعاد و عناصر مدل

رتبه	وزن نهایی	رتبه	وزن محلی	ابعاد/عناصر
-	-	۱	۰.۳۴۶	معیارها (D1)
۴	۰.۰۲۴۶	۱	۰.۲۴۲	قابلیت اطمینان (E11)
۵	۰.۰۱۹۶	۲	۰.۱۹۳	پاسخگویی (E12)
۷	۰.۰۱۶۴	۴	۰.۱۶۲	چابکی (E13)
۶	۰.۰۱۹۱	۳	۰.۱۸۸	هزینه (E14)
۸	۰.۰۱۵۵	۵	۰.۱۵۳	مدیریت سرمایه (E15)
۹	۰.۰۰۶۱	۶	۰.۰۶۱	اسکور پایدار (E16)
-	-	۲	۰.۳۳۹	عوامل اثرگذار (D2)
۱۶	۰.۰۰۱۳	۷	۰.۰۵۵	بهبود و توسعه سیستم‌های یکپارچه و منسجم مالی (ارزیابی، گزارش‌دهی) (E21)
۱۲	۰.۰۰۳۵	۳	۰.۱۴۸	مدیریت هزینه (E22)
۱۳	۰.۰۰۲۳	۴	۰.۰۹۵	مدیریت موجودی (E23)
۱۴	۰.۰۰۲۲۸	۵	۰.۰۹۴	ارتباط بلندمدت با تامین‌کنندگان (E24)
۱۵	۰.۰۰۲۲۴	۶	۰.۰۹۳	کنترل و تضمین کیفیت (E25)
۱۰	۰.۰۰۵۹	۱	۰.۲۴۶	تعهد و حمایت مدیریت ارشد (E26)
۱۱	۰.۰۰۳۹	۲	۰.۱۶۳	حفظ تعامل بلندمدت با مشتری (E27)
۱۹	۰.۰۰۰۴	۱۰	۰.۰۱۸	بسته‌بندی سازگار با محیط زیست (E28)
۱۸	۰.۰۰۰۹	۹	۰.۰۴۰	مدیریت لجستیک (E29)
۱۷	۰.۰۰۱۰	۸	۰.۰۴۵	بکارگیری سیستم مدیریت زیست محیطی یکپارچه (EMS) و ایزو ۱۴۰۰۱ (E210)
-	-	۳	۰.۳۱۵	ابعاد رویکرد پایداری (D3)
۱	۰.۴۶۶۸	۱	۰.۵۳۴	اقتصادی (E31)
۳	۰.۱۸۶۰	۳	۰.۲۱۲	اجتماعی (E32)
۲	۰.۲۲۱۱	۲	۰.۲۵۳	زیست محیطی (E33)

### ارزیابی گزینه‌ها با استفاده از روش EHFL-VIKOR

با توجه به نتایج روش JVHF-DANP، گزینه‌های تصمیم مورد ارزیابی قرار

گرفته است و به این وسیله ارجحیت منافع حلقه‌های زنجیره تامین (A1 تامین کننده، A2 کارخانه، A3 توزیع کننده و A4 مشتری) مشخص شده است. به این منظور خبرگان مورد نظر در دو گروه سه نفره دسته‌بندی شدند که گروه اول شامل خبرگان دانشگاهی که سابقه فعالیت در شرکت مورد نظر را داشتند و گروه دوم شامل مدیران بخش‌های مختلف شرکت مورد بررسی است. پس از نظرسنجی از خبرگان و جمع‌آوری اطلاعات به شکل عبارات زبانی و سپس تبدیل آنها به مجموعه‌های EHFLT، ماتریس تصمیم مربوطه تشکیل و در ادامه مراحل حل مسئله مطابق الگوریتم معرفی شده، ارائه شده است. در مرحله اول، بهترین مقدار  $A^+$  و بدترین مقدار  $A^-$  مسئله به دست آمد. در مرحله دوم مقادیر  $\bar{S}_i$ ،  $\bar{R}_i$  و  $\bar{Q}_i$  برای هر کدام از گزینه‌های تصمیم محاسبه و در جدول ۴ نشان داده شده است ( $v=0.5$ ).

جدول ۴. مقادیر محاسبه شده  $\bar{S}_i$ ،  $\bar{R}_i$  و  $\bar{Q}_i$  و رتبه‌بندی گزینه‌ها

	S	رتبه	R	رتبه	Q	رتبه
A1	۰/۶۰۹	۳	۰/۱۸۶	۲	۱/۹۴۱	۴
A2	۰/۵۰۷	۲	۰/۲۸۰	۳	۱/۱۹۸	۲
A3	۰/۹۸۶	۴	۰/۴۶۷	۴	۱/۵۵۶	۳
A4	۰/۰۳۱	۱	۰/۰۱۵	۱	۱/۰۴۳	۱

در مرحله سوم دو شرط مزیت قابل قبول و پایداری قابل قبول ارزیابی شد. از آنجا که یکی از دو شرط مورد بررسی برقرار نشده است، بر اساس راه‌حل سازشی بهترین گزینه انتخابی باید دارای کمترین مقدار Q باشد. بنابراین در جدول (۴) گزینه چهارم، رتبه اول و گزینه دوم، رتبه دوم را نشان می‌دهد. با رتبه‌بندی انجام شده، جهت تشکیل مدل ترکیبی یکپارچه زنجیره تامین پایدار، حلقه منافع مشتری نسبت به سایر ذینفعان ارجحیت بیشتری دارد و حلقه منافع داخلی (کارخانه) در اولویت بعدی قرار دارد.

### تشکیل مدل ریاضی زنجیره تامین پایدار

با توجه به بلوک حاصل از تقاطع معیارهای اسکور و ابعاد سه‌گانه رویکرد پایداری (در ماتریس تاثیر کلی (IVHF-DANP) مسئله که در جدول (۲) ارائه شده است)، رابطه بین این معیارها و ابعاد رویکرد پایداری به شرح جدول (۵) است.



جدول ۵. بلوک حاصل از تقاطع معیارها و ابعاد سه گانه در ماتریس تاثیر کلی (IVHF-DANP)

معیار	بُعد	اقتصادی	اجتماعی	زیست محیطی
قابلیت اطمینان	۰/۱۴۹۴	۰/۱۵۸۳	۰/۱۴۲۴	
پاسخگویی	۰/۱۵۴۵	۰/۱۵۹۵	۰/۱۴۳۹	
مخاطره پذیری	۰/۱۵۳۴	۰/۱۵۹۷	۰/۱۴۶۰	
هزینه	۰/۱۷۸۵	۰/۱۲۷۶	۰/۱۴۲۱	
مدیریت سرمایه	۰/۱۷۶۰	۰/۱۲۹۹	۰/۱۴۱۸	
اسکور پایدار	۰/۱۷۷۵	۰/۱۵۳۴	۰/۱۸۶۱	

با توجه به مقادیر جدول (۵) هر کدام از معیارها را بر اساس میزان تاثیر به هر یک از ابعاد تخصیص می دهیم. بنابراین تابع هدف بعد اقتصادی ( $Z_{EC}$ ) شامل هزینه ( $Z_1$ ) و مدیریت سرمایه ( $Z_2$ )، تابع هدف بُعد اجتماعی ( $Z_{SO}$ ) شامل قابلیت اطمینان ( $Z_3$ )، پاسخگویی ( $Z_4$ ) و مخاطره پذیری ( $Z_5$ )، تابع هدف بُعد زیست محیطی ( $Z_{EN}$ ) شامل اسکور پایدار ( $Z_6$ ) است.

$$Z_{EN} = Z_6 \quad \text{و} \quad Z_{SO} = (Z_3, Z_4, Z_5) \quad \text{و} \quad Z_{EC} = (Z_1, Z_2)$$

### نشانه گذاری

- **اندیس ها:**  $P$ : محصول،  $m$ : ماده اولیه،  $f$ : کارخانه / خط تولید،  $s$ : تامین کننده،  
 $d$ : مرکز توزیع،  $c$ : مشتری،  $t$ : دوره زمانی،  $Se$ : اندیس سناریو
- **پارامترها:**  $d_{pct}$ : میزان تقاضا،  $\pi_p$ : قیمت فروش محصول،  $h_f$ : ظرفیت کارخانه،  
 $\gamma_p$ : ظرفیت مورد نیاز محصول،  $\delta_{pm}$ : میزان ماده اولیه برای هر واحد محصول،  $\rho_{ms}$ :  
اگر  $\rho_{ms} = 1$  تامین کننده ماده اولیه  $m$  را عرضه نموده، در غیر این صورت  
 $\rho_{ms} = 0$ ،  $\omega_{ms}$ : قیمت ماده اولیه،  $\lambda_{pf}$ : هزینه تولید یک واحد محصول،  $\beta_{pd}$ :  
هزینه ذخیره موجودی در مرکز توزیع بیش از افق برنامه ریزی شده،  $r_{pd}$ : هزینه  
رسیدگی در مرکز توزیع به ازای یک واحد محصول،  $c_{1msf}$ : هزینه انتقال  
ماده اولیه از تامین کننده به کارخانه،  $c_{2pdf}$ : هزینه انتقال محصول از کارخانه به  
مرکز توزیع،  $c_{3pdc}$ : هزینه انتقال محصول از مرکز توزیع به مشتری،  $f_{1f}$ : هزینه

ثابت کارخانه،  $f_{2d}$ : هزینه ثابت مرکز توزیع،  $e_p$ : انرژی مصرفی و اثرات مخرب زیست محیطی حمل و نقل یک واحد محصول در واحد زمان،  $e_{pf}$ : انرژی مصرفی و اثرات مخرب زیست محیطی تولید یک واحد محصول در واحد زمان،  $e_m$ : انرژی مصرفی و اثرات مخرب زیست محیطی تامین یک واحد ماده اولیه در واحد زمان،  $t_{1msf}$ : زمان حمل و نقل یک واحد ماده اولیه از تامین کننده به کارخانه،  $t_{2pf}$ : زمان لازم برای تولید یک واحد محصول،  $t_{3pfd}$ : زمان حمل و نقل یک واحد محصول از کارخانه به مرکز توزیع،  $t_{4pdc}$ : زمان حمل و نقل یک واحد محصول از مرکز توزیع به مشتری،  $C$ : عدد ثابت،  $\alpha$ : سطح اطمینان،  $\Omega$ : بردار تصادفی،  $P_{se}$ : احتمال وقوع هر سناریو،  $\theta_{pfdt}$ : پارامتر توزیع نمایی نشان دهنده اجرای کامل سفارش محصول  $p$  مشتری  $c$  توسط مرکز توزیع  $d$  در دوره  $t$

– **متغیرهای تصمیم:**  $X_{pdct}$ : مقدار محصول فروخته شده از مرکز توزیع به مشتری،  $Q_{pft}$ : مقدار محصول تولید شده،  $Y_{pfdt}$ : مقدار محصول ارسال شده از کارخانه به مرکز توزیع،  $B_{pdt}$ : موجودی مرکز توزیع،  $V_{msft}$ : مقدار ماده اولیه خریداری شده و ارسال شده به کارخانه،  $W_f$ : شاخص باز بودن کارخانه (اگر مساوی ۱ باشد کارخانه باز است).  $U_d$ : شاخص باز بودن مرکز توزیع، اگر مساوی ۱ باشد مرکز توزیع باز است.  $\bar{P}$ : متوسط حساب دریافتی سالانه.  $\bar{R}$ : متوسط حساب پرداختی سالانه.  $u$ : ارزش در معرض ریسک.

### توابع هدف و محدودیت های مدل پیشنهادی

تابع هدف هزینه، اولین تابع با هدف حداقل سازی میزان هزینه، شامل همه هزینه های زنجیره تامین است. دومین تابع هدف، کارایی مدیریت سرمایه، در این تحقیق بر اساس چرخه تبدیل وجه نقد تشکیل می شود. چرخه تبدیل وجه نقد بیانگر مدت زمانی است که بین پرداخت هزینه مواد اولیه تا بازگشت سرمایه به عنوان سود می گذرد. هدف تحقیق حداقل سازی چرخه تبدیل وجه نقد است. سومین تابع هدف، قابلیت اطمینان با سنج

سفارشاتمی که کامل تحویل داده شده‌اند، نمایش داده می‌شوند و هدف تحقیق حداکثرسازی قابلیت اطمینان است. تابع هدف چهارم، پاسخگویی، نشان‌دهنده سرعتی است که در آن وظایف انجام می‌شوند و به دنبال کاهش چرخه تکمیل سفارش و از نوع حداقل‌سازی است. تابع هدف پنجم، چابکی (مخاطره‌پذیری)، بر اساس شاخص ارزش در معرض ریسک ( $Var$ )<sup>۱</sup> بیان می‌شود. ارزش در معرض ریسک بیشترین مقدار زیان مورد انتظار در یک افق زمانی مشخص در سطح اطمینانی معین را اندازه‌گیری می‌نماید و با زیان بالقوه و احتمال رخداد زیان در یک بازه زمانی مشخص اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین این معیار نشان‌دهنده ریسک حاصل از بازار به صورت نقدی است. برای حل این مسئله باید از توابع هدف خطی استفاده نمود. با توجه به آنکه تابع هدف چابکی از نوع غیرخطی شده است با استفاده از متغیرهای کمکی، تابع هدف را خطی نموده و مسئله را حل می‌کنیم. تابع هدف ارزش در معرض خطر شرطی از نوع حداقل‌سازی است. ششمین تابع هدف اسکور پایدار، بر اساس آن بخش از استانداردهای تعریف شده در نسخه ۱۲ مدل اسکور که در شرکت مورد مطالعه موثر است، تشکیل شده و از نوع حداقل‌سازی است.

محدودیت اول، وجود تعادل میان محصولات فروخته شده و تقاضا است. محدودیت دوم و سوم، تعادل میان جریان‌های ورودی و خروجی در توزیع‌کننده‌ها و محدودیت چهارم، برقراری تعادل میان محصولات تولید شده و محصولات ارسالی به مراکز توزیع است. محدودیت ظرفیت تولید در رابطه پنجم نشان داده شده است. محدودیت ششم، دسترسی به مواد اولیه برای تولید محصول است. محدودیت هفتم، جریان محصولات فقط از طریق مراکز توزیعی که باز باشند برقرار می‌شود. محدودیت هشتم و نهم، متوسط حساب دریافتنی و پرداختنی سالانه است. مقدار موجودی اولیه مطابق محدودیت دهم، برابر صفر است. محدودیت یازدهم، متغیرهای مربوط به شاخص باز بودن کارخانه و مرکز توزیع را نشان می‌دهد. به منظور نشان دادن عدم قطعیت، ابتدا فرض می‌کنیم هزینه حمل محصول از مرکز توزیع به مشتری و همین‌طور قیمت فروش با توجه به سناریوهای مختلف، متفاوت

<sup>۱</sup>. Value at Risk

است. سناریوهای احتمالی بر اساس وضعیت بازار و مقدار تقاضای مشتری، شامل وضعیت رونق، تعادل و رکود است. در این تحقیق، احتمال وقوع هر یک از این سناریوها به ترتیب ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۳ در نظر گرفته شده است. بر این اساس بردار تصادفی به صورت  $\Omega = (c_{3pdc}, \pi_p)$  نوشته شده است. توابع هدف و محدودیت‌های مدل ریاضی به شرح زیر است:

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T (\omega_{ms} + c_{1msf}) V_{msft} + \\
 &\sum_{p=1}^P \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \lambda_{pf} Q_{pft} + \sum_{f=1}^F f_{1f} W_f + \\
 &\sum_{p=1}^P \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T c_{2pdf} Y_{pfdt} + \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T \beta_{pd} B_{pdt} + \\
 &\sum_{d=1}^D f_{2d} U_d + \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T (r_{pd} + c_{3pdc}) X_{pdct} \\
 Z_2 &= \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \rho_{ms} V_{msft} - \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \delta_{pm} Q_{pft}}{\sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \omega_{ms} \delta_{pm} Q_{pft} + \sum_{p=1}^P \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \lambda_{pf} Q_{pft}} + \\
 &\frac{\sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T \pi_p X_{pdct}}{\sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T \pi_p X_{pdct}} \\
 Z_3 &= \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T e^{-\theta_{pfdt}} X_{pdct} \\
 Z_4 &= \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T t_{1msf} V_{msft} + \sum_{p=1}^P \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T t_{2pf} Q_{pft} + \\
 &\sum_{p=1}^P \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T t_{3pdf} Y_{pfdt} + \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T t_{4pdc} X_{pdct} \\
 Z_5 &= CVaR_{\alpha} = u + \frac{1}{(1-\alpha)} \sum_{se=1}^3 P_{se} \left[ \sqrt{(u - f(X, \Omega))^2 + \mu^2} + \right. \\
 &\left. f(X, \Omega) - u \right] \\
 Z_6 &= \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T e_m t_{1msf} V_{msft} + \\
 &\sum_{p=1}^P \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T e_{pf} t_{2pf} Q_{pft} + \sum_{p=1}^P \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T e_p t_{3pdf} Y_{pfdt} + \\
 &\sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T e_p t_{4pdc} X_{pdct} \\
 &\sum_{d=1}^D X_{pdct} \leq d_{pct}, \forall p, c, t \\
 &\sum_{d=1}^D X_{pdct} \leq \sum_{d=1}^D (B_{pdt} + \sum_{f=1}^F Y_{pfdt}), \forall p, d, t \\
 &B_{pdt} = B_{pdt-1} + \sum_{f=1}^F Y_{pfdt} - \sum_{c=1}^C X_{pdct}, \forall p, d, t \\
 &\sum_{d=1}^D Y_{pfdt} \leq Q_{pft}, \forall p, f, t \\
 &\sum_{p=1}^P \gamma_p Q_{pft} \leq h_f W_f, \forall f, t \\
 &\sum_{p=1}^P \delta_{pm} Q_{pft} \leq \sum_{s=1}^S \rho_{ms} V_{msft}, \forall m, f, t \\
 &\sum_{p=1}^P \sum_{c=1}^C X_{pdct} \leq CU_d, \forall d, t \\
 \bar{P} &\leq \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T \pi_p X_{pdct} \\
 \bar{R} &\leq \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \omega_{ms} V_{msft} \\
 B_{pd0} &= \\
 0, \forall p, d
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_f, U_d &\in \\ \{0,1\} \\ f(x, y_f) - u &= z_f \\ Z_f &\geq 0 \end{aligned}$$

دو محدودیت آخر (در صورت خطی سازی تابع هدف پنجم) به صورت زیر اضافه شده است:

$$CVaR_\alpha = \min \left\{ u + \frac{1}{1-\alpha} \sum_{se=1}^3 P_{se} \cdot Z_f \right\}$$

### حل مسئله

پس از دریافت داده‌های مورد نیاز از شرکت مورد مطالعه، مسئله با استفاده از نرم‌افزار گمز کدنویسی و در اندازه‌های کوچک و متوسط حل شده است اما از آنجا که گمز قابلیت حل مسائل در اندازه بزرگ را ندارد این بار در سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ در نرم‌افزار متلب با الگوریتم ژنتیک به روش NSGA-II اقدام به کدگذاری شده است.

#### نحوه کدگذاری جواب اولیه در الگوریتم NSGA-II (بردار جواب یا کروموزوم)

در این قسمت به تعریف بردار جواب مورد استفاده پرداخته شده است. نحوه تعریف بردار جواب تأثیر بسیار زیادی بر کیفیت جواب‌های به دست آمده دارد و مهمترین قسمت از پیاده‌سازی الگوریتم NSGA-II است. باید توجه داشت که در یک بردار جواب خوب، به راحتی می‌توان عملیات تقاطع و جهش را پیاده‌سازی کرده و فضای جواب را بهتر جستجو کرد. بنابراین در این قسمت نخست به تعریف بردار جواب پرداخته و در گام بعدی نحوه محاسبه تابع هدف‌ها با استفاده از بردارهای جواب تعریف شده، تشریح شده است. با توجه به ساختار مدل، در این پژوهش از یک بردار جواب دو بخشی استفاده شده است. دلیل تعریف بردار دو بخشی به ماهیت پیچیده مدل و متغیرهای تصمیم فراوان آن باز می‌گردد. قسمت اول بردار جواب، شامل یک بردار با یک سطر و چندین ستون است. تعداد ستون‌ها در این قسمت از بردار جواب برای کارخانه و مراکز توزیع است. خانه‌های این بردار جواب، با مقادیر صفر و یک پر شده و نشان‌دهنده باز بودن یا نبودن کارخانه و یا باز شدن مرکز توزیع است.

### عملگرهای تقاطع و جهش

عملگرهای تقاطع و جهش جزء اصلی‌ترین عملگرهای جستجو در الگوریتم NSGA-II به حساب می‌آیند بطوریکه از عملگرهای تقاطع به منظور تولید نسل جدید و جستجوی فضای جواب و از عملگر جهش به منظور برون‌رفت از جواب‌های بهینه محلی استفاده می‌شود. در عملگر تقاطع با استفاده از دو مفهوم کیفیت و نظم به هر یک از پاسخ‌ها شانس به منظور برگزیده شدن تخصیص داده می‌شود و سپس با استفاده از چرخه رولت والدین انتخاب گشته و با اشتراک‌گذاری بخشی از ژن‌های خود، فرزندان جدیدی را ایجاد می‌کنند. شایان ذکر است که در این پژوهش از تقاطع دونقطه‌ای به منظور ایجاد تقاطع استفاده شده است. برخلاف عملگر تقاطع در عملگر جهش، والدین با شانس برابر به منظور ایجاد جهش در ژن‌هایشان انتخاب می‌شوند. در این پژوهش از تغییر مقدار خانه‌ها، به تصادف به منظور ایجاد جهش استفاده شده است. به این صورت که یکی از خانه‌های بردار پاسخ به تصادف انتخاب شده و مقدار جدیدی در بازه مجاز، جایگزین آن می‌گردد.

### روش محاسبات و نحوه تولید مدل تصادفی برای مسئله

برای بررسی و ارزیابی الگوریتم‌های حل مسئله، مثال‌های عددی در اندازه‌های مختلف تهیه شده است. در ابتدای این بخش اندازه‌های مختلف مسئله در سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ به همراه توزیع پارامترهای مسئله تعریف شده است. در ادامه پارامترهای الگوریتم‌ها جهت بالا بردن کارایی آن در حل مسئله، به وسیله روش طراحی آزمایش تاگوچی تنظیم شده‌اند. همچنین تنظیم پارامتر الگوریتم ترکیبی در هر سه اندازه مختلف مسئله انجام شده است. برای ارزیابی قدرت حل الگوریتم‌های مختلف و مقایسه میان آنها معیارهای متناسبی تعریف شده است. اجرای الگوریتم‌ها توسط نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶ و در سیستمی با ۶ گیگابایت رم و ۵ گیگاهرتز سی پی یو صورت گرفته است. در نهایت برای بررسی کارایی الگوریتم، مسئله در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ حل شده است. برای محاسبات عددی و مقایسات، مدل تصادفی تولید می‌گردد که به این

منظور پارامترهای مدل محاسبه می‌شود. در این بخش پارامترهای الگوریتم‌های حل مسئله را تنظیم می‌کنیم. روشی که برای تنظیم پارامترها استفاده شده است، روش تاگوچی است. در ابتدا پارامترهای الگوریتم شناسایی و مقادیر (سطح) منتخب به هر پارامتر مشخص می‌شود. سپس با توجه به تعداد پارامترهای الگوریتم و تعداد سطوح هر پارامتر، جدول طرح آزمایش تاگوچی جهت تعیین تعداد آزمایش مورد نیاز تهیه می‌شود. پس از آن معیارهایی جهت خوب یا بد بودن مقادیر پارامترها تعیین و در نهایت از روش طراحی آزمایش تاگوچی جهت تنظیم پارامترهای الگوریتم حل در هر یک از اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ مسئله استفاده می‌شود.

به‌طور کلی قدم‌های تنظیم پارامترهای الگوریتم حل مسئله شامل موارد زیر است:

- ۱) تعریف پارامترهای الگوریتم
- ۲) تعیین تعداد سطح و مقادیر هر پارامتر
- ۳) تشکیل جدول طرح تاگوچی جهت تعیین تعداد آزمایش مورد نیاز
- ۴) تعیین معیارهای مناسب جهت تنظیم پارامتر مسئله چندهدفه
- ۵) اجرای آزمایش در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ
- ۶) یافتن مقدار مناسب پارامترهای الگوریتم در هر اندازه

تعداد پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۸ عدد است. همچنین تعداد سطح به این معنا است که هر پارامتر چه تعداد مقادیر مختلف می‌تواند بگیرد که در پژوهش حاضر ۳ سطح برای هر پارامتر در نظر گرفته شده است. در نهایت، برای سنجش اعتبار مدل و بررسی کارایی الگوریتم، مقدار جواب بهینه توابع (خروجی) هر دو نرم‌افزار گمز و متلب مطابق جدول (۶) تنظیم شده است.

جدول ۶. مقایسه مقدار توابع هدف خروجی و زمان حل در GAMS و MATLAB

تابع هدف	اندازه کوچک		اندازه متوسط		اندازه بزرگ	
	GAMS	Matlab	GAMS	Matlab	GAMS	Matlab
Z1	۶۰۱۱۳*۱۰ <sup>۹</sup>	۶۷۶۷۸۳*۱۰ <sup>۹</sup>	۷۳۸۳*۱۰ <sup>۱۰</sup>	۷/۴۷۳*۱۰ <sup>۱۰</sup>	-	۱۹/۴۸۵*۱۰ <sup>۱۱</sup>

	اندازه کوچک		اندازه متوسط		اندازه بزرگ	
Z2	$^{-10}$ $4/2064 \times 10^4$	$^{-10}$ $4/674 \times 10^4$	$^{-10}$ $5/804 \times 10^3$	$^{-10}$ $5/97 \times 10^3$	-	$^{-10}$ $15/2554 \times 10^3$
Z3	$10/795$	$10/532$	$12/951$	$12/775$	-	$16/535$
Z4	$20470/964$	$20840/354$	$41470/614$	$4450/646$	-	$67470/456$
Z5	$1 \times 10^0$	$1/05 \times 10^0$	$2/4 \times 10^0$	$3/4 \times 10^0$	-	$9/7 \times 10^6$
Z6	$3/8560 \times 10^7$	$3/980 \times 10^7$	$4/4760 \times 10^7$	$4/6900 \times 10^7$	-	$11/5654 \times 10^8$
CPU Time	$50/094$	$50/12$	$50/32$	$50/301$	-	$51/46$

با مقایسه مقادیر می‌توان نتیجه گرفت مطابق جدول (۶) در ابعاد کوچک و متوسط مقادیر خروجی تفاوت بسیار ناچیزی میان دو روش گمز و متلب مشاهده می‌شود و می‌توان گفت: مدل ارائه شده معتبر بوده و شدنی است و الگوریتم پیشنهادی به سمت جواب بهینه همگراست. همچنین از نظر زمان حل، نرم‌افزار گمز در ابعاد کوچک زمان کمتری نسبت به متلب، ولی در ابعاد متوسط متلب زمان کمتری نسبت به گمز صرف می‌کند.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدیریت زنجیره تامین در صنعت سیمان با هدف بهبود مستمر عملکرد حلقه‌های تشکیل‌دهنده آن زنجیره، در پی تحقق اهداف آن صنعت است. موانع و مشکلات متعدد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی موجود در کشور بر این صنعت اثر گذاشته و موجب ناپایداری در مدیریت بهینه زنجیره تامین آن شده‌است. در این تحقیق تلاش شده تا ضمن شناسایی عوامل موثر بر پایداری زنجیره تامین، با استفاده از جدیدترین نسخه مدل اسکور، پیشینه تحقیق و نظر خبرگان و تعیین وزن هر عامل به روش IVHF-DANP، نسبت به تعیین ارجحیت حلقه‌های مدیریت زنجیره تامین پایدار با استفاده از روش EHFL-VIKOR در صنعت سیمان و با هدف بهبود عملکرد زنجیره تامین، اقدام گردد. در نتیجه پس از محاسبه وزن ۱۹ عامل تعیین شده، حلقه منافع مشتری و پس از آن حلقه کارخانه دارای بیشترین ارجحیت شده‌اند. در انتها مدل ترکیبی یکپارچه زنجیره تامین پایدار در صنعت سیمان



پیشنهاد شد و مسئله با داده‌های شرکت مورد مطالعه در سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ با نرم‌افزارهای گمز و متلب (روش NSGA-II) حل گردید. در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد، با استفاده از نتایج این تحقیق نسبت به توسعه مدل‌های یکپارچه زنجیره تامین پایدار اقدام و همچنین از مجموعه‌های فازی یا شکل‌های توسعه‌یافته دیگر مانند مجموعه‌های فازی شهودی، فازی نوع دو و چند مجموعه‌ای فازی استفاده نمود.

## منابع

- Alabool, H. M., & Mahmood, A. K. Bin. (2016). A novel evaluation framework for improving trust level infrastructure as a service. *Cluster Computing*, 19 (1): 389-410.
- APICS. (2017). Supply Chain Operations Reference Model, APICS, Version 12.0. [www.apics.org/scor](http://www.apics.org/scor). Supply Chain Council, [www.supply-chain.org](http://www.supply-chain.org) SCOR® is a registered trademark of Supply Chain Council, Inc, ISBN 0-615-20259-4.
- Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J. & Seuring, S. (2014). Quantitative models for sustainable supply chain management: developments and directions, *European Journal of Operational Research*, DOI: 10.1016/j.ejor.2013.09.032, 22-28.
- Divsalar, Mehdi, Safaei Qadikolaei, Abdolhamid. & Madhoshi, Mehrdad. (2017). development of DANP decision making method based on fuzzy sets of question quantity interval, new research in decision making, No. (3).
- Grant, Mitchell.(2019). Sustainability, <https://www.investopedia.com/terms/s/sustainability.asp>
- Gul. M., Celik, E., Aydin, N., Taskin Gumus, A., & Guneri, A. F. (2016). A state of the art literature review of VIKOR and its fuzzy extensions on applications. *Applied Soft Computing*, 46, 60-89.
- Hoi-Lam Ma, Wang, Z.X., Felix, T.S. Chan. (2020). How important are supply chain collaborative factors in supply chain finance? , *International Journal of Production Economics* 219, 341–346.
- Hussain, M., Ajmal, M.M., Khan, M., & Saber, H. (2015). Competitive priorities and Knowledge management. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26(6): 791-806.
- Kim. Y., Park, D., Um, M.-J., & Lee, H. (2015). Prioritizing alternatives in strategic environmental assessment (SEA) using VIKOR method with random sampling for data gaps. *Expert Systems with Applications*, 42(22): 8550-8556.
- Koberg, Esteban, Longoni, Annachiara .(2019). A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains, *Journal of Cleaner Production* 207 - 1084e1098
- Mariouli, Oussama El, Abouabdellah, Abdellah .(2019). A New Model of Supplier's Selection for Sustainable Supply Chain Management, *ASTESJ* ISSN: 2415-6698, Vol. 4, No. 2, 251-259, [www.astesj.com](http://www.astesj.com), DOI: 10.25046/aj040233.
- Muhammad Amad Saeed, Wolfgang Kersten .(2019). Drivers of Sustainable Supply Chain Management: Identification and Classification, *Sustainability*, 11, 1137; doi: 10.3390/su11041137.
- Naghshbandi, M. M., & Idris, F. (2012). Competitive priorities in Malaysian service industry. *Business Strategy Series*, 13(6): 263-273.
- Reaidy, Paul J , Olivier Lavastre, Ageron Blandine, Ludivine Chaze-Magnan. (2020). Consumer integration in supply chain management: a taxonomy, *Supply Chain Forum*, DOI: 10.1080/16258312.2020.1718546.
- Safaei Ghadikolaei, Abdolhamid, Madhoshi, Mehrdad, Divsalar, Mehdi .(2018). Extension of the VIKOR method group decision making with extended hesitant fuzzy linguistic information, *Neural Comput & Applic*, DoI: 10.1007/s00521-017-2944-5 .
- Sarkis, J. (2019). *Handbook on the sustainable supply chain*, Edward Elgar Pub USA, 44-147. DOI 10.4337/9781786434272.

- Shen, K.-Y., & Tzeng, G.-H. (2015). A decision rule-based soft computing model for supporting financial performance improvement of the banking industry, *Soft Computing*, 19(4): 859-874.
- Shen, K.-Y., Hu, S.-K., & Tzeng, G.-H. (2016). Financial modeling and improvement planning for the life insurance industry by using a rough knowledge based hybrid MCDM model. *Information Sciences*.
- Torjai, L., Nagy, J., & Bai, A. (2015). Decision hierarchy, Competitive priorities and indicators in large-scale "herbaceous biomass to energy" supply chains. *Biomass and Bioenergy*, 80, 321-329.
- Zhu, G.-N., Hu, J., Qi, J., Gu, C.-C., & peng, Y.-H. (2015). An integrated AHP and VIKOR for design concept evaluation based on rough number. *Advanced Engineering Informatics*, 29(3): 408-418.
- Zmathivathanan, D., Kannan, D., & Haq, A. N. (2017). Sustainable supply chain management practices in Indian automotive industry: A multi-stakeholder view. *Resources Conservation and Recycling*.

**استناد به این مقاله:**

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22091/JEMSC.2021.6422.1144

باقری سرخی، مجید؛ مدیری، محمود؛ فتحی هفشجایی، کیامرث. (۱۴۰۰). «مدل ترکیبی یکپارچه زنجیره تامین پایدار در صنعت سیمان». *مدیریت مهندسی و رایانش نرم*، ۸(۱)، ۳۵-۹.