

---

---

## ***An Improved Grey Approach for Defense Green Resilient Supply Network Assessment***

**Amirmahdi Malek<sup>1</sup>, Sadoullah Ebrahimnejad<sup>2✉</sup>, Reza Tavakkoli-Moghaddam<sup>3</sup>**

1- PhD candidate of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Faculty of Engineering, Islamic Azad University Karaj Branch, Karaj, Iran.

3- Professor, Faculty of Industrial Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

### **Abstract:**

In the growing and turbulent market of the current world, both in national and in international relations, the need for reviewing and assessment of the resiliency of suppliers as one of the new concepts in supply chain management has increased. In addition, globalization, increasing the regulations of governmental and nongovernmental organizations, customers' request and pressure regarding environmental issues have led organizations to evaluate the measures necessary to implement green supply chain management, to improve their environmental and economic performance. The subject of selecting and evaluating suppliers on green supply chain with resilience capability first requires the identification of the supplier evaluation criteria so that it considers the resiliency of the supply chain concurrent with the concepts of green supply chain. Secondly, right tools should be used for the decision. Considering all the criteria and indicators in conditions of uncertainty encourages the development and application of methods, such as fuzzy theory and grey systems theory. In this research, a comprehensive model for evaluating green resilience supply chain network is provided. In order to apply both quantitative and qualitative criteria, the possibility of making the target based criteria dimensionless along the cost or benefit criteria, the use of experts' opinions in allocation of weights to the criteria and indicators using grey numbers, grey relational analysis are developed and improved. In the end, the implementation of the proposed model is explained step by step in a case study and the future conclusions and recommendations are suggested.

**Keywords:** Green Resilient Supplier Selection, Grey Relational Analysis, Defense Supply Network Assessment.

---

1. [ammalek@srbiau.ac.ir](mailto:ammalek@srbiau.ac.ir)  
2. ✉Corresponding author: [ibrahimnejad@kiaou.ac.ir](mailto:ibrahimnejad@kiaou.ac.ir)  
3. [tavakoli@ut.ac.ir](mailto:tavakoli@ut.ac.ir)

نشریه علمی - پژوهشی بهبود مدیریت  
سال دوازدهم، شماره ۲، پیاپی ۴۰، تابستان ۱۳۹۷  
صفحات ۱۳۹ - ۱۰۵

## ارائه روش بهبود یافته خاکستری جهت ارزیابی قابلیت ارتجاعی شبکه تأمین سبز دفاعی

( تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۱ )

امیرمهدی ملک<sup>۱</sup>، سعداله ابراهیم‌نژاد<sup>۲\*</sup>، رضا توکلی مقدم<sup>۳</sup>

### چکیده

لزوم ارزیابی و توجه به شبکه همکاران دفاعی به‌عنوان یکی از اهداف راهبردی دکترین دفاعی کشور به‌ویژه در ابعاد فنی، کمی، کیفی و رشد و توسعه فناوری‌های دفاعی در سال‌های اخیر به‌واسطه سیاست‌های انقباضی دولت به‌منظور مدیریت بهینه منابع و هزینه‌ها و کاهش بهای تمام‌شده محصولات از اهمیت بالایی برخوردار شده است. استفاده از مفهوم قابلیت ارتجاعی به‌عنوان یکی از مفاهیم جدید در مدیریت زنجیره تأمین و ارزیابی قابلیت‌ها و عملکرد تأمین‌کنندگان و از سویی فشار و درخواست مشتریان، جامعه و مبادی بالادستی در خصوص رعایت مسائل زیست‌محیطی باعث شده است سازمان‌ها به بررسی اقدامات لازم جهت به‌کارگیری مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز، به‌منظور بهبود عملکرد زیست‌محیطی و اقتصادی بپردازند. موضوع انتخاب و ارزیابی تأمین‌کنندگان در شبکه تأمین دفاعی، اولاً مستلزم شناسایی معیارها و شاخص‌ها و نیز طراحی مدل مناسبی است که قابلیت ارتجاعی شبکه تأمین سبز را همزمان با معیارها و قابلیت‌های فنی و مدیریتی تأمین‌کنندگان در نظر بگیرد و ثانیاً نیازمند به‌کارگیری ابزار مناسبی برای این تصمیم‌گیری است. پیش‌ازاین، روش‌هایی مانند نظریه فازی و نظریه سیستم‌های خاکستری برای مواجهه با عدم قطعیت معیارها، ایجاد شده و مورد استفاده قرار گرفته است. مدل ارزیابی پیشنهادشده در این پژوهش، جهت ارزیابی شبکه تأمین یکی از صنایع دفاعی کشور ارائه و پیاده‌سازی شده است که هدف از آن، به‌کارگیری توأمان معیارهای کمی و کیفی، امکان‌ی‌بعدسازی معیارهای مبتنی بر هدف در کنار معیارهایی از نوع سود و هزینه، استفاده از نظرات خبرگان در تخصیص اوزان به معیارها و شاخص‌ها با استفاده از اعداد خاکستری، توسعه و بهبود روش تحلیل رابطه‌ای خاکستری و معماری مجدد شبکه تأمین است.

### واژگان کلیدی:

ارزیابی شبکه همکاران دفاعی؛ زنجیره تأمین سبز؛ قابلیت ارتجاعی تأمین‌کنندگان؛ شاخص‌های کمی و کیفی؛ تحلیل رابطه‌ای خاکستری.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران Ammalek@srbiau.ac.ir

۲- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج (نویسنده مسئول) ibrahimnejad@kiauo.ac.ir

۳- استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران

## ۱- مقدمه

وجود سیاست‌های انبساطی دولت در ادوار گذشته مبنی بر رشد و توسعه کمی و کیفی تأمین‌کنندگان و شبکه همکاران دفاعی و راه‌اندازی مرکز راهبری ساماندهی، مدیریت و توانمندسازی شبکه همکاران (سمتا) و پیاده‌سازی آن در صنایع تابعه، باعث شد تا ظرف چند سال به یکباره حجم برون‌سپاری‌ها به شدت افزایش یافته و صنایع با تأمین‌کنندگان کوچک و بزرگ قرارداد بسته و شبکه همکاران خود را گسترده نمایند. هرچند در آن زمان هم، تهدیدها و فرصت‌های اتخاذ این راهبرد به مراجع بالادستی اعلام شده بود، اما به مرور زمان و به واسطه عدم اجرای مناسب این راهبرد، معایب و تهدیدهای آن شفاف گردید؛ به نحوی که میزان بدهی‌های مالی به تأمین‌کنندگان افزایش یافته و تعدد آن‌ها نیز باعث کاهش بهره‌وری و چابکی شبکه تأمین شده است. از سویی بواسطه محدودیت زمان در پیاده‌سازی طرح، فرصت مناسبی برای تحلیل‌های کارشناسی وجود نداشت؛ لذا معماری شبکه و ساختار لایه‌ای تأمین‌کنندگان به درستی ترسیم نشد. از سوی دیگر، لزوم بازنگری و بهبود شاخص‌ها و معیارها با توجه به معیارهای زیست‌محیطی، ارتجاعی و چابکی سازمانی احساس می‌شود.

مشتری همواره بهترین محصول، ارزان‌ترین و سریع‌ترین آن را می‌خواهد. این نگرش می‌تواند باعث آلودگی محیط‌زیست و تولید محصولات و فرآیندهایی شود که مغایر با الزامات زیست‌محیطی و ایمنی باشد. در همین راستا، سازمان‌ها بقای خود را در مسئولیت‌پذیری در سه حوزه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی یافته‌اند. نگرش سبز در سازمان و ایجاد ساختارهای سازمانی با عنوان تضمین سبز، جایگزین واحدهای سازمانی از قبیل تضمین کیفیت شده‌اند. سبز کردن زنجیره تأمین، فرآیند در نظر گرفتن معیارها یا ملاحظات زیست‌محیطی در سرتاسر زنجیره تأمین است.

عوامل مخاطره‌آمیزی همچون گرم شدن زمین، انواع آلودگی‌ها، افزایش مقدار گازهای گلخانه‌ای و... باعث شده است تا حفظ محیط‌زیست و استراتژی‌های مربوط به آن، خیلی زود در اولویت برنامه‌ها به‌عنوان یک نوآوری مهم سازمانی قرار گیرد. سازمان از یک‌طرف باید به سوددهی و مزیت رقابتی و از طرف دیگر به از بین بردن یا به حداقل رساندن ضایعات (انرژی، تولید گازهای گلخانه‌ای، شیمیایی/خطرناک، مواد زائد جامد) توجه نماید.

فشار مقررات دولتی برای اخذ استانداردهای زیست‌محیطی از یک‌طرف و رشد فزاینده تقاضای جامعه و مشتریان برای عرضه محصولات سبز (بدون اثر مخرب بر محیط‌زیست)، توجه به مفهوم زنجیره تأمین سبز و مدیریت آن را ایجاب می‌کند. امروزه مدیران زنجیره تأمین سبز در شرکت‌های پیشرو، از طریق ایجاد مطلوبیت و رضایتمندی از منظر زیست‌محیطی در سراسر زنجیره تأمین، می‌کوشند تا از آمادگی سبز و بهبود عملکرد محیطی خود در کل زنجیره تأمین به‌عنوان یک سلاح استراتژیک جهت کسب مزیت رقابتی پایدار سود ببرند [۱]. زنجیره تأمین سبز به‌عنوان یک رویکرد نوین برای دستیابی شرکت‌ها به

سود و سهم بازار هدف به وسیله کاهش ریسک و اثرات وارد بر محیط، به وجود آمده است. عواملی نظیر مسائل سیاسی، نوسانات تقاضا، تغییرات فناوریانه، ناپایداری های مالی و حوادث طبیعی موجب افزایش عدم قطعیت و بروز ریسک هایی در زنجیره تأمین شده است. قابلیت ارتجاعی با مدیریت چنین ریسک هایی می تواند آسیب پذیری شبکه تأمین را کاهش دهد.

طراحی الگوی مفهومی ارزیابی تأمین کنندگان در شبکه تأمین که به عنوان موضوع اصلی این پژوهش نیز در نظر گرفته شده است، اولاً مستلزم شناسایی معیارهای ارزیابی شبکه تأمین کنندگان است، به گونه ای که معیارهای قابلیت ارتجاعی را همزمان با معیارهای زیست محیطی، سبز، محصولی و قابلیت های فنی و مدیریتی تأمین کنندگان در نظر بگیرد؛ ثانیاً می بایست ابزار مناسبی برای این تصمیم گیری به کار گرفته شود. مروری بر مبانی نظری موضوع نشان می دهد که از ابزارهای تصمیم گیری چندشاخصه برای ارزیابی و انتخاب تأمین کننده در زنجیره تأمین سبز قابل ارتجاع استفاده نشده است؛ این در حالی است که همواره در خصوص آسیب پذیری زنجیره تأمین و در نتیجه، قابلیت ارتجاعی تأمین کنندگان و رعایت معیارها و الزامات سبز بودن زنجیره تأمین، عدم قطعیت وجود دارد [۲].

به همین منظور، این پژوهش در نظر دارد تا مدلی جهت ارزیابی، رتبه بندی و انتخاب تأمین کنندگان با قابلیت ارتجاعی و سبز و در نتیجه، معماری مطلوب شبکه همکاران طراحی نماید. در این راستا، شاخص ها و معیارهای کمی و کیفی بکار گرفته شده در مبانی نظری تحقیق و سیاست ها و راهبردهای کلان تیم مدیریت ایجاب می کند تا مدل تصمیم گیری چندشاخصه در شرایط عدم قطعیت بکار گفته شود. لذا برای آنکه بتوان شاخص های کمی و کیفی موجود در مدل را به صورت تلفیقی در نظر گرفت، از نظریه سیستم های خاکستری (به عنوان یکی از روش های نوین در مواجهه با عدم قطعیت)، و فنون تصمیم گیری چندشاخصه در شرایط عدم قطعیت استفاده و روابط ریاضیاتی آن گام به گام تشریح شده است. در بخش دوم این مقاله، مبانی نظری و پیشینه پژوهش شامل مدل های انتخاب تأمین کننده، معیارها و مدل های ارزیابی تأمین کنندگان سبز و ارتجاعی مرور شده است. ضمن آنکه نظریه سیستم های خاکستری، روش تحلیل رابطه ای خاکستری، روش ها و کاربردهای آن در مدیریت و تصمیم گیری بیان شده و شکاف پژوهش تبیین گردیده است. در بخش سوم، روش شناسی، مدل پژوهش و تشریح روابط و اجزای مدل ارائه شده است. بخش چهارم دربرگیرنده مطالعه موردی صورت گرفته و چگونگی به کارگیری و پیاده سازی مدل پژوهش در این صنعت بوده و مراحل آن به صورت گام به گام آورده شده است. در بخش پنجم، نتایج پژوهش و در بخش ششم، بحث و نتیجه گیری و پیشنهاد های آتی ارائه شده است.

## ۲- مرور مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در پژوهش‌های اخیر، روش‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری در خصوص ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده بکار گرفته شده است. لی و همکاران [۳] از تحلیل رابطه‌ای خاکستری و پژوهش [۴] از ترکیب نظریه خاکستری با روش‌های تصمیم‌گیری استفاده نموده‌اند. همچنین راجش و راوی [۵] از نظریه سیستم‌های خاکستری برای انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین با قابلیت ارتجاعی استفاده کردند.

### ۲-۱- ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان

تأمین‌کننده‌ای که مواد با کیفیت را با قیمتی مناسب و با انعطاف‌پذیری لازم در تقاضاهای مختلف تأمین می‌کند، از ارجحیت بالاتری در انتخاب برخوردار است. انعطاف‌پذیری عبارت است از توانمندی تأمین‌کننده در مدیریت تهدید قطع ارتباط و پاسخ‌دهی به تغییرات تقاضا که با افزونگی بالا، سازگارپذیری و استاندارد کردن فرآیندها تقویت می‌شود [۶، ۷].

علاوه بر این موارد، پک [۸] و کریستوفر [۶] معتقدند که تأمین‌کننده باید آن قدر توانا باشد که بتواند با تغییرات تقاضا کنار بیاید. با جستجو در مفاهیم زنجیره تأمین انعطاف‌پذیر، مشخص می‌شود که تأمین‌کننده باید با آگاهی کامل از ریسک‌های احتمالی، کمترین آسیب‌پذیری را در برابر تهدیدات داشته باشد و از روش‌های اجرایی و دستورالعمل‌های مطلوب برای مدیریت یکپارچه زنجیره تأمین برخوردار باشد. همچنین بهتر است تا تأمین‌کنندگان یک واحد تحقیق و توسعه (R&D) یا دفتر فنی قوی داشته باشند تا بتوانند ضمن اطمینان از سطح خوب پشتیبانی فنی، دستورالعمل‌ها و روش‌های اجرایی مناسب در حوزه‌های ساخت، ایمنی و نگهداری و تعمیرات را تهیه نموده و تأمین‌کننده را در بازار رقابتی حفظ نمایند [۹]. تأمین‌کننده مطلوب باید در دسترس باشد و بتواند علی‌رغم تغییرات، در دریافت و برآوردن تقاضا نیز سریع عمل نماید [۶].

شفافیت عبارت است از اینکه تأمین‌کننده دارای شفافیت و شواهد کافی در سرمایه‌های بالادستی و پائین‌دستی و شرایط عرضه و تقاضا و برنامه‌های تولید و فروش خود باشد. قابلیت ارتجاعی با شفافیت تأمین‌کننده رابطه مستقیم دارد. انتقال اطلاعات، شفافیت تأمین‌کننده را در هر دو سوی سطوح بالادست و پائین‌دست افزایش می‌دهد [۸].

تأمین‌کننده باید فعالیت‌های سبز را در اولویت‌های خود قرار دهد و ایمنی و محیط‌زیست را در تمامی مراحل در نظر داشته باشد تا بتواند در بازار رقابتی پایدار بماند. توجه به محیط‌زیست به معنی لزوم داشتن گواهینامه‌های سیستمی محیط‌زیست مانند گواهینامه ISO ۱۴۰۰۱، ثبت و انجام فعالیت‌های پیشگیرانه و اصلاحی در حوزه ایمنی مانند استفاده از PPE<sup>۱</sup> و ارزیابی و شناخت خطرات است [۱۰].

<sup>۱</sup> Personal Protective Equipment

جدول ۱- برخی از جدیدترین تحقیقات صورت گرفته در خصوص ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان

پژوهش	نوع مدل	شرح مدل
[۱۱]	AHP & D Numbers	با در نظر گرفتن ۵ معیار اصلی و ۱۹ زیر معیار از اعداد D و روش AHP برای انتخاب تأمین کننده در یک مثال عددی استفاده شده است.
[۱۲]	Fuzzy Multi-Criteria group Decision Making, QFD & ۲-tuple linguistic representation	ارزیابی تأمین کنندگان با در نظر گرفتن ۹ معیار حجم تولید، تحویل دهی، روش های پرداخت، تنوع تأمین، قابلیت اطمینان، داشتن مهارت، سابقه رابطه تجاری، مدیریت و مکان جغرافیایی و با استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره گروهی فازی و QFD و اعداد زبانی فازی دوتایی در یک بیمارستان خصوصی در ترکیه انجام شده است.
[۱۳]	Grey Relational Analysis, Principal component analysis & Entropy	۴ معیار هزینه، تحویل دهی، ظرفیت تولید و گارانتی و استفاده از روش تحلیل رابطه ای خاکستری در ترکیب با روش آنالیز و تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی جهت ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان در نظر گرفته شده است.
[۱۴]	AHP, Fuzzy & Neural Networks	از میان ۶۳ معیار عمومی ارزیابی تأمین کنندگان، ۷ معیار منتخب در یک شرکت چندملیتی ساخت استیل در هند انتخاب شده است و با استفاده از روش FAHP و شبکه عصبی فازی تأمین کنندگان ارزیابی شده اند.
[۱۵]	Fuzzy Multi-Objective	با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای مشتری، ظرفیت تأمین کننده و درصد بازگشتی محصولات، مدل ریاضی چندهدفه فازی طراحی شده و با استفاده از برنامه ریزی گروهی فازی (FGP) و شبیه سازی مونت کارلو حل شده است.
[۱۶]	Multi objective performance analysis (MOPA)	بهترین تأمین کننده بالقوه با استفاده از ۹ معیار با استفاده از روش تحلیل عملکرد چندهدفه انتخاب شده و مقایسه روش پیشنهادی با مدل های VIKOR, TOPSIS و ELECTRE صورت گرفته است.
[۱۷]	Fuzzy TOPSIS & SCOR model	برگرفته از مدل SCOR، ۱۱ معیار برای ارزیابی تأمین کنندگان در یک صنعت خودرو با استفاده از تاپسیس فازی ارائه شده است.

## ۲-۲- قابلیت ارتجاعی زنجیره تأمین

از سال ۲۰۰۵ که واژه قابلیت ارتجاعی در زنجیره تأمین توسط شفلی<sup>۱</sup> مطرح شد، تحقیقات مختلفی در این خصوص صورت پذیرفته است. مدلی برای قابلیت ارتجاعی زنجیره تأمین برای رقابت پذیری در شرکت های خودروسازی ایران در مقاله [۱۸] و تأثیر محیط زیست و توسعه پایدار بر قابلیت ارتجاعی زنجیره تأمین در پژوهش [۱۹] ارائه شده است.

<sup>۱</sup> Sheffi, Y.

## جدول ۲- تحقیقات اخیر در حوزه قابلیت ارتجاعی زنجیره تأمین

پژوهش	شرح مدل
[۲۰]	در این تحقیق، ۱۴ معیار توانمندساز برای قابلیت ارتجاعی زنجیره تأمین، تعریف و با استفاده از نظریه گراف و پرسشنامه‌ای که میان ۱۰۳ شرکت کننده توزیع شده، اهمیت هر یک از معیارها و مقدار ارتجاعی بودن زنجیره تأمین به دست آمده است.
[۲۱]	در این مقاله، معیارهای همکاری در زنجیره تأمین با قابلیت ارتجاعی شامل اشتراک اطلاعات، تجانس اهداف، انطباق تصمیمات، جهت‌گیری مشوق‌ها، اشتراک منابع، ارتباطات همکارانه و ایجاد حلقه‌های دانشی را تعریف و تأثیر آن بر قابلیت ارتجاعی زنجیره تأمین را بیان نموده است.
[۲۲]	یک مدل احتمالی دو هدفه خطی عددصحیح مبتنی بر سناریو طراحی شده تا تأمین‌کننده قابل ارتجاع را بر مبنای زنجیره تأمین جهانی ایجاد کند و بتواند به عدم قطعیت و وقفه‌هایی که به سبب ریسک‌های عملیاتی و اختلال رخ می‌دهند، پاسخ دهد.

## ۲-۳- زنجیره تأمین سبز

مدیریت زنجیره تأمین سبز از منظر چرخه عمر محصول شامل تمامی مراحل از مواد اولیه، طراحی و ساخت محصول، فروش محصول و حمل‌ونقل، استفاده از محصول و بازیافت محصولات است. با استفاده از مدیریت زنجیره تأمین و فناوری سبز، شرکت می‌تواند تأثیرات منفی زیست‌محیطی را کاهش داده و به استفاده مطلوب از منابع و انرژی دست یابد.

تسنگ و چیو [۲۳] تعداد ۱۸ معیار که مهمترین آن‌ها عبارت‌اند از معیارهای زیست‌محیطی، سیستم مدیریت محیط‌زیست، سوددهی تأمین‌کننده و نزدیکی روابط با تأمین‌کننده را برای مطالعه خود انتخاب و سپس با نظریه فازی جهت تبدیل معیارهای زبانی به اعداد قطعی اقدام نمودند. آنان دو دسته معیارهای زیست‌محیطی و غیر زیست‌محیطی در شرکت مورد مطالعه، گسترش و وزن معیارها را بر اساس دو عامل کمی و کیفی تعیین و در نهایت جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان، از روش تجزیه و تحلیل خاکستری بهره بردند.

نیلسن و همکاران [۲۴] خلاصه‌ای از معیارهای رایج در انتخاب تأمین‌کنندگان را در دو حوزه معیارهای عمومی و زیست‌محیطی بیان نمودند. آنان ضمن بررسی ۵۷ مقاله معتبر در حوزه زنجیره تأمین سبز از سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۴، فراوانی بکار رفته در معیارهای زیست‌محیطی انتخاب تأمین‌کنندگان را با پژوهش [۲۵] مقایسه و به شرح جدول ۳ بیان نمودند.

کوو و همکاران [۲۶] یک مدل ترکیبی MCDM را برای ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز در صنایع الکترونیک ارائه داده‌اند. آن‌ها براساس ویرایش ۴ طبقه‌بندی<sup>۱</sup> EICC، ۱۷ معیار را در دو حوزه زیست‌محیطی و سیستم‌های مدیریتی شناسایی و تعریف نمودند.

<sup>۱</sup> EICC: Electronic Industry Citizenship Coalition

جدول ۳- فراوانی مهمترین معیارهای زیست‌محیطی در روش‌های مرسوم انتخاب تأمین‌کنندگان

[۲۴]	[۲۵]	
۱۹۹۶ - ۲۰۱۴	۱۹۹۶ - ۲۰۱۱	طول دوره
۵۷	۳۳	تعداد مقالات مرورشده
۲۰	۱۱	سیستم مدیریت زیست‌محیطی
۸	۴	تصویر سبز
۶	۳	مزیت زیست‌محیطی
۵	۳	طراحی برای محیط‌زیست
۵	۲	هزینه‌های بهبود محیط‌زیست
۵	۳	عملکرد زیست‌محیطی

#### ۲-۴- نظریه سیستم‌های خاکستری

پروفسور دنگ مفهوم نظریه خاکستری را از مجموعه خاکستری در ترکیب با نظریه سیستم، نظریه فضا و نظریه کنترل معرفی نمود. نظریه سیستم‌های خاکستری<sup>۱</sup> به‌خوبی می‌تواند ابهام موجود در تصمیمات انسانی را به زبان ریاضی تبدیل کند و به‌صورت موفقیت‌آمیزی با سایر روش‌های تصمیم‌گیری ترکیب کرده و کیفیت قضاوت خبرگان را ارتقا بخشد.

یکی از مزایای مهم نظریه سیستم‌های خاکستری این است که می‌تواند نتایج رضایت بخشی را از مقادیر کم داده‌ها یا فاکتورهای زیادی از متغیرها ایجاد نماید. نظریه خاکستری به‌صورت گسترده در تصمیم‌گیری‌های صنعتی و مهندسی به‌کار گرفته شده است.

جدول ۴- جدیدترین کاربردهای نظریه سیستم‌های خاکستری

کاربرد	روش	پژوهش
ارزیابی پایداری تأمین‌کننده	Grey Theory	[۲۷]
انتخاب تأمین‌کننده	GRA + Fuzzy Set	[۴]
انتخاب تأمین‌کننده سبز	GRA + IFS <sup>۲</sup>	[۲۸]
زنجیره تأمین سبز	GRA + Fuzzy Set	[۲۳]
توسعه مدل تصمیم‌گیری Dempster-Shafer	GRA + Fuzzy Set	[۲۹]
انتخاب تأمین‌کننده با قابلیت ارتجاعی	GPD	[۵]
انتخاب تأمین‌کننده سبز	GRA + ANP	[۳۰]
اندازه‌گیری و بهینه‌سازی سختی سطح و فرسایش ابزار	GRA + TOPSIS	[۳۱]
مدل ترکیبی MCDM بر اساس طرح آزمایش	GRA + SAW + TOPSIS	[۳۲]

<sup>۱</sup> Grey systems theory

<sup>۲</sup> Intuitionistic fuzzy set



۲-۴-۱- روش تحلیل رابطه‌ای خاکستری و مقایسه آن با مدل پیشنهادی

یکی از مهمترین مزایای تحلیل رابطه خاکستری در مقایسه با سایر روش‌های محاسبه، این است که در تحلیل رابطه خاکستری هیچ محدودیت خاصی در مورد حجم نمونه و نرمال بودن توزیع داده‌ها وجود ندارد و علاوه بر آن شیوه محاسباتی آن نیز آسان است [۳۳]. در اکثر تحقیقاتی که تاکنون در حوزه تحلیل رابطه‌ای خاکستری صورت گرفته، وزن معیارها قطعی فرض شده و معیار مبتنی بر هدف نیز یا در مسئله وجود نداشته یا در صورت وجود، یک مقدار قطعی برای آن در نظر گرفته شده است [۳۴]. در جدول زیر، شکاف تحقیق و نوآوری بکار رفته در این پژوهش در مقایسه با مطالعات پیشین ارائه شده است.

جدول ۵- بررسی مبانی نظری پژوهش در مقایسه با مدل پیشنهادی

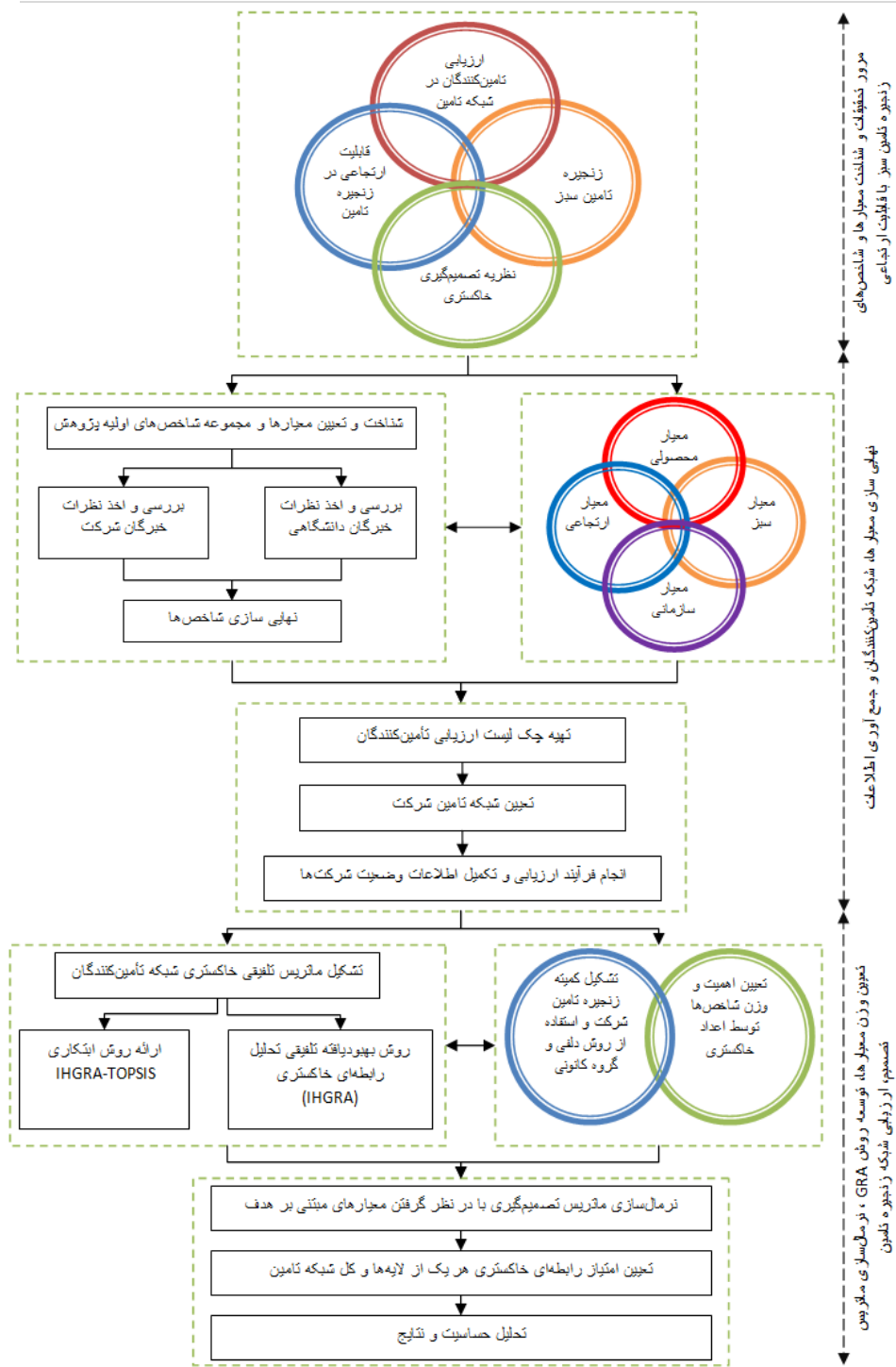
کاربرد	وزن شاخص‌ها		درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری			ماهیت شاخص مبتنی بر هدف		شاخص مبتنی بر هدف	پژوهش
	غیرقطعی	قطعی	نوع عدم قطعیت	کیفی	کمی	کیفی	کمی		
انتخاب تأمین‌کننده	✓		خاکستری	✓					[۳]
ارزیابی عملکرد مالی خطوط هوایی تایوان			فازی	✓					[۳۵]
ارزیابی تأمین‌کننده		✓	خاکستری	✓					[۳۶]
طرح جانمایی و قواعد صف در کار کارگاهی		✓			✓		✓	✓	[۳۴]
انتخاب تأمین‌کننده	✓		فازی	✓					[۳۷]
مدیریت دانش زیست‌محیطی			فازی	✓					[۳۳]
ماشین‌کاری الکتروشیمیایی					✓				[۳۸]
بهینه‌سازی طراحی مبدا حرارتی مسطح					✓				[۳۹]
بهینه‌سازی طراحی					✓				[۴۰]
انتخاب تأمین‌کننده با قابلیت ارتجاعی	✓		خاکستری	✓					[۵]
انتخاب تأمین‌کننده	✓		اعداد D <sup>۱</sup>	✓					[۱۱]
ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز	✓		فازی نوع دوم	✓					[۴۱]
ارزیابی قابلیت ارتجاعی شبکه تأمین‌کنندگان سبز	✓	✓	خاکستری	✓	✓	✓	✓	✓	این پژوهش

<sup>۱</sup> D Numbers

### ۳- روش پژوهش

همان‌طور که در بخش دوم به تفصیل اشاره شد، مجموعه متعددی از معیارها و شاخص‌های مختلف جهت ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در تحقیقات این حوزه استفاده شده است. آنچه این پژوهش را متمایز می‌نماید، توجه به ارزیابی شبکه تأمین و لزوم توجه به لایه‌های دوم و سوم تأمین‌کنندگان از بعد زیست‌محیطی و ارتجاعی است. ضمن آنکه این پژوهش به دنبال انتخاب تأمین‌کننده از میان مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان بالقوه بر اساس یک نوع محصول نیست؛ بلکه همان‌طور که در دنیای واقعی و روابط شرکت‌ها با تأمین‌کنندگان وجود دارد، همه شرکت‌ها به دنبال حفظ و تقویت تأمین‌کنندگان کلیدی و ارزش‌آفرین خود هستند و ایجاد شبکه همکاران به صورت داشتن کل یا بخشی از مالکیت سهام مدنظر مدیران ارشد است. بر این اساس، لازم است تا شبکه فعلی تأمین‌کنندگان مورد ارزیابی قرار گرفته تا ضمن شناخت نقاط قوت و ضعف تأمین‌کنندگان، نسبت به تقویت فنی و مدیریتی آن‌ها اقدامات لازم صورت گیرد. مسلماً هدف از ارزیابی، بررسی دقیق همه جنبه‌های فنی و مدیریتی یک تأمین‌کننده در یک شبکه تأمین است. صرف توجه و به‌کارگیری معیارها و شاخص‌های سنتی ارزیابی تأمین‌کنندگان، دیگر نمی‌تواند شاخصی مؤثر و مطلوب در تصمیم‌گیری مدیران ارشد باشد.

ابلاغیه‌های مبادی بالادستی و سیاست‌های الزامی دولت‌ها و استانداردهای بین‌المللی، ایجاب می‌کند تا مباحث زنجیره تأمین سبز چه در بُعد ایمنی و چه در حوزه محیط‌زیست مورد توجه اکید شرکت‌ها باشد؛ اما اضافه کردن معیارهای سبز نیز دیگر به‌تنهایی نمی‌تواند یک ارزیابی مناسب را منتج نماید؛ چراکه تغییرات و تحولات سریع بازارهای داخلی و بین‌المللی برگرفته از سیاست‌های انقباضی و انبساطی دولت‌ها و جهت‌گیری‌های سیاسی و اعمال محدودیت‌های مالی و تحریمی نیز شبکه تأمین‌کنندگان را تهدید می‌کند. پیش‌بینی این تهدیدات و برنامه‌ریزی برای کنترل و حفظ شرایط فعلی شرکت و حتی جهش از روی آن و رسیدن به سطحی بالاتر از قابلیت‌های فنی از الزامات زنجیره تأمین ارتجاعی است. بدین منظور، بیش از یک‌صد شاخص و معیار در ارزیابی تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین سبز با قابلیت ارتجاعی در مبانی نظری پژوهش تعریف و بکار گرفته شده است. متأسفانه برخی از شاخص‌های جهانی زنجیره تأمین سبز با قابلیت ارتجاعی هنوز در کشور و بالأخص صنایع تولیدی مورد پایش و کنترل مستمر قرار نمی‌گیرد و لازم است تا از تصمیمات کیفی مبتنی بر نظر خبرگان در ارزیابی استفاده نمود؛ لذا با تلفیقی از شاخص‌های کمی و کیفی مواجه خواهیم بود که لازم است تا روش مناسب با آن نیز جهت تصمیم‌گیری طراحی و بکار گرفته شود. جهت مواجهه با این شرایط عدم قطعیت، نظریه‌هایی نظیر نظریه سیستم‌های فازی و خاکستری در مبانی نظری تحقیق بیشتر مورد تأیید و استفاده بوده است. در این پژوهش، از تئوری سیستم‌های خاکستری و روش تحلیل رابطه‌ای خاکستری به‌عنوان روش پایه استفاده شده و جهت تحلیل و تصمیم‌گیری مؤثر شاخص‌های تلفیقی، مدل پیشنهادی توسعه یافته است.



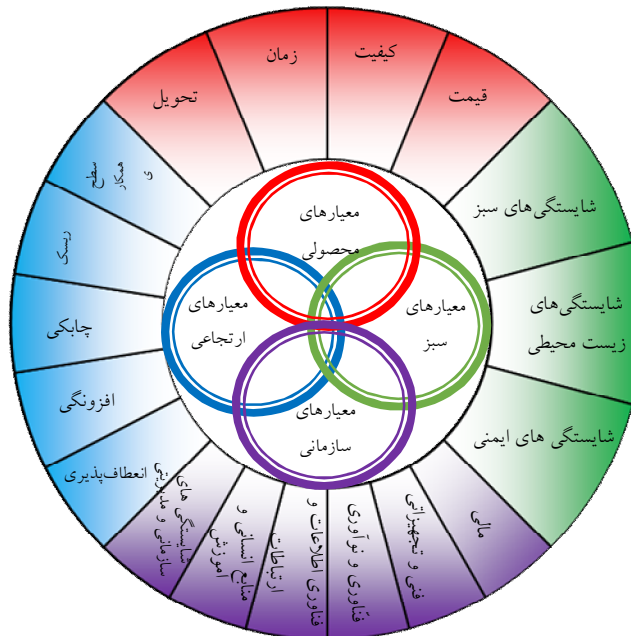
شکل ۱- فرایند اجرایی پژوهش

### ۳-۱- مدل ارزیابی قابلیت ارتجاعی شبکه تأمین سبز

بر این اساس از میان معیارها و شاخص‌های بررسی‌شده در این پژوهش، مجموعه‌ای از شاخص‌های ارزیابی قابلیت ارتجاعی شبکه تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین سبز جمع‌آوری شد و در مرحله بعد پس از اخذ نظرات تعدادی از متخصصین و خبرگان دانشگاهی و صنعتی، حدود ۱۰۰ شاخص و معیار به‌عنوان متغیرهای مستقل اولیه به شرکت پیشنهاد شد.

پس از ارائه این شاخص‌ها به شرکت و اخذ نظرات خبرگان دانشگاهی و صنعتی و با برگزاری جلسات متعدد کارشناسی و مدیریتی در شرکت، با در نظر گرفتن ویژگی‌هایی نظیر اهمیت و کارآمدی شاخص، وجود اطلاعات و مقادیر شاخص در شبکه تأمین و سهولت در به دست آوردن مقادیر کمی یا کیفی شاخص، تعداد شاخص‌ها کاهش داده شد و شاخص‌های نهایی مشخص گردید. در نحوه دسته‌بندی و تعیین معیارها نیز برخی تغییرات جزئی اعمال و مدل پژوهش به‌روزرسانی و اصلاح شد.

از آن جمله می‌توان به اضافه شدن زیرمعیار شایستگی‌های سبز و تفکیک زیرمعیارهای سبز، زیست‌محیطی و ایمنی اشاره کرد. در حوزه شاخص‌ها نیز با حذف شاخص‌هایی با تأثیر کم، در نهایت ۵۴ شاخص در قالب ۴ محور اصلی معیارهای محصولی، معیارهای سبز، معیارهای ارتجاعی و معیارهای سازمانی طبقه‌بندی شده و مطابق شکل ۲، مدل ارزیابی زنجیره تأمین سبز با قابلیت ارتجاعی ارائه می‌شود.



شکل ۲- مدل ارزیابی قابلیت ارتجاعی شبکه تأمین سبز

### ۳-۲- روش بهبود یافته تحلیل رابطه‌ای خاکستری

فرض کنید  $A = (A_1, A_2, K, A_m)$  مجموعه گزینه‌ها و  $Q = (Q_1, Q_2, K, Q_n)$  مجموعه  $n$  تایی از شاخص‌های مستقل باشد. در حالت جامع می‌تواند در بین این  $n$  شاخص،  $k$  شاخص کمی و  $(n-k)$  یا  $p$  شاخص کیفی وجود داشته باشد  $(k+p=n)$ . برای سهولت در تعریف روابط ریاضیاتی، شاخص‌های کیفی را که با استفاده از اعداد خاکستری تعریف شده‌اند، به صورت  $\otimes G_j$  و شاخص‌های کمی را به صورت  $Q_j$  نمایش می‌دهند. مراحل روش تحلیل رابطه‌ای خاکستری عبارت است از:

الف) تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و نرمال کردن داده‌ها

$$A = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & K & Q_{1k} & \otimes G_{1k+1} & \otimes G_{1k+2} & K & \otimes G_{1p} \\ Q_{21} & Q_{22} & & & \otimes G_{2k+1} & \otimes G_{2k+2} & & \\ M & & O & M & & & O & \\ Q_{m1} & & Q_{mk} & \otimes G_{mk+1} & & & & \otimes G_{mp} \end{bmatrix} \quad (1)$$

برای آنکه بتوان مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری را با توجه به جهت و ماهیت شاخص‌ها، بی‌بعد و نرمال‌سازی نمود لازم است تا روشی جامع به شرح زیر تعریف شود:

$$Q_{ij}^* = \frac{Q_{ij}}{\max Q_j} \quad 1 \leq j \leq k \quad \text{مثبت قطعی} \quad (2)$$

$$Q_{ij}^* = \frac{\min Q_j}{Q_{ij}} \quad 1 \leq j \leq k \quad \text{منفی قطعی} \quad (3)$$

برای نرمال‌سازی شاخص‌های بهینه قطعی نیز برای سهولت در محاسبات می‌توان ابتدا اختلاف شاخص را از مقدار مطلوب محاسبه و سپس از رابطه زیر آن را نرمال نمود:

$$Q'_j = |Q_o - Q_j|$$

$$Q_{ij}^* = \frac{\min Q'_j}{Q'_{ij}} \quad 1 \leq j \leq k \quad \text{مبتنی بر هدف قطعی} \quad (4)$$

روابط مربوط به نرمال‌سازی شاخص‌های مثبت و منفی اعداد خاکستری، در ادبیات پژوهش، بدون تلفیق با شاخص‌های غیرقطعی به‌مراتب استفاده شده است. لیکن با توجه به نوآوری بکار گرفته‌شده در این پژوهش و تهیه ماتریس تصمیم‌گیری تلفیقی از شاخص‌های کمی و کیفی، روابط آن به شرح زیر بیان می‌شود:

$$\otimes G_{ij}^* = \left[ \frac{\underline{G}_{ij}}{\max \underline{G}_j}, \frac{\bar{G}_{ij}}{\max \bar{G}_j} \right] \quad k+1 \leq j \leq p \quad \text{مثبت غیرقطعی} \quad (5)$$

$$\otimes G_{ij}^* = \left[ \frac{\min \underline{G}_j}{\underline{G}_{ij}}, \frac{\min \bar{G}_j}{\bar{G}_{ij}} \right] \quad k+1 \leq j \leq p \quad \text{منفی غیرقطعی} \quad (6)$$

هرچند مهرگان و دباغی [۴۲] روشی برای مواجهه با شاخص‌های بهینه در حالت غیرقطعی ارائه دادند، لیکن به دلیل پیچیدگی بالای مدل ریاضی و اینکه شاخص‌های مبتنی بر هدف با محاسبه اختلافشان از مقدار مطلوب تبدیل به شاخص‌های منفی می‌شوند، می‌توان مطابق با رابطه ۷ شاخص‌های مبتنی بر هدف غیرقطعی را نرمال‌سازی نمود.

$$D_{G_o G_j} = \frac{1}{\sqrt[q]{2}} \left[ (\underline{G}_o - \underline{G}_j)^q + (\bar{G}_o - \bar{G}_j)^q \right]^{\frac{1}{q}} \quad \text{مبتنی بر هدف غیرقطعی} \quad (7)$$

$$G_{ij}^* = \frac{\min D_{G_o G_j}}{D_{G_o G_j}} \quad k+1 \leq j \leq p$$

در رابطه بالا،  $D_{G_o G_j}$  فاصله مینکوفسکی بین دو عدد خاکستری  $\otimes G_o$  و  $\otimes G_j$  است. مقدار  $q$  معمولاً برابر با ۲ در نظر گرفته می‌شود که در این صورت فاصله فوق، فاصله اقلیدسی بین دو عدد خواهد بود. با توجه به اینکه لازم است تا مقادیر حد بالا و پائین اعداد خاکستری بزرگتر از صفر باشند، بهتر است تا از توان زوج  $q$  در روابط بهره برد.

بدین ترتیب و با اعمال روابط فوق، تمامی درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری بین صفر و یک قرار خواهند گرفت.

(ب) تعیین گزینه مرجع

مقادیر ایده‌آل برای گزینه مرجع را با توجه به نرمال‌شدن ماتریس تصمیم‌گیری می‌توان برابر با یک یا بیشترین مقدار هر ستون در نظر گرفت؛ هرچند که در مبانی نظری پژوهش، معمولاً از  $\max Q_{ij}^*$  برای اعداد قطعی و  $\max G_{ij}^*$  برای اعداد خاکستری استفاده شده است. بدین ترتیب، گزینه مرجع به صورت زیر تعریف می‌شود: (۸)

$$X_0 = \left\{ \left[ \max_{1 \leq i \leq m} Q_{i1}^*, \max_{1 \leq i \leq m} Q_{i2}^*, K, \max_{1 \leq i \leq m} Q_{ik}^* \right], \left[ \max_{1 \leq i \leq m} \underline{G}_{ik+1}^*, \max_{1 \leq i \leq m} \bar{G}_{ik+1}^* \right], \left[ \max_{1 \leq i \leq m} \underline{G}_{ik+2}^*, \max_{1 \leq i \leq m} \bar{G}_{ik+2}^* \right], K, \left[ \max_{1 \leq i \leq m} \underline{G}_{ip}^*, \max_{1 \leq i \leq m} \bar{G}_{ip}^* \right] \right\}$$

(ج) محاسبه اختلاف بین گزینه‌ها و گزینه مرجع

اگر ماهیت شاخص قطعی باشد، فاصله یا اختلاف بین گزینه  $X_i$  و گزینه مرجع  $X_0$  با در نظر گرفتن

معیار  $\lambda$ ، از طریق رابطه ۹ و اگر ماهیت شاخص کیفی باشد، از فاصله اقلیدسی (رابطه ۱۰) محاسبه می‌شود.

$$\Delta_{ij} = |Q_{0j} - Q_{ij}| \quad \text{شاخص‌های کمی} \quad (9)$$

$$D_{0i(j)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{[(\underline{G}_0 - \underline{G}_i)^2 + (\bar{G}_0 - \bar{G}_i)^2]} \quad \text{شاخص‌های کیفی} \quad (10)$$

(د) محاسبه ضریب رابطه‌ای خاکستری بین گزینه  $X_0$  و  $X_i$

$$\gamma(X_{0(j)}, X_{i(j)}) = \frac{(\min_{\forall i, \forall j} \min D_{0i(j)}) + \rho(\max_{\forall i, \forall j} \max D_{0i(j)})}{D_{0i(j)} + \rho(\max_{\forall i, \forall j} \max D_{0i(j)})} \quad (11)$$

که در آن  $\rho \in (0, 1)$  ضریب تفکیک است که بیانگر چگونگی در نظر گرفتن فاصله بین هر گزینه و گزینه مرجع است. در کاربردهای مختلف تحلیل رابطه‌ای خاکستری، معمولاً میانه این بازه یعنی  $\rho = 0.5$  برای ضریب تفکیک در نظر گرفته می‌شود.

(ه) محاسبه امتیاز رابطه‌ای خاکستری بین گزینه  $X_0$  و  $X_i$

$$\Gamma(X_0, X_i) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \gamma(X_{0(j)}, X_{i(j)}) \quad (12)$$

$w_j$  وزن شاخص  $\lambda$  است؛ به طوری که  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ . هر چه مقدار امتیاز رابطه‌ای خاکستری بزرگتر باشد، یعنی دنباله مقایسه شده به دنباله مرجع شبیه‌تر یا نزدیکتر است.

### ۳-۲-۱- تخصیص اوزان غیرقطعی و تعیین اهمیت معیارها

یکی دیگر از نوآوری‌های به کاررفته در این پژوهش، تخصیص اوزان غیرقطعی به هر شاخص است. به عبارتی در مواقعی که میزان اهمیت و ارجحیت یک شاخص به صورت قطعی مشخص نیست، می‌توان با استفاده از نظر خبرگان و مرور مبانی نظری پژوهش و بهره‌گیری از اعداد خاکستری میزان وزن شاخص‌ها را در ترکیب با روش‌هایی مانند دلفی استخراج نمود. برای بهره‌گیری از اعداد خاکستری جهت تخصیص اوزان غیرقطعی به هر شاخص، دو روش زیر پیشنهاد می‌شود:

۱- تشکیل ماتریس وزنی نرمال شده: بدین ترتیب که ماتریس تصمیم‌گیری با استفاده از روابط خاکستری، به ماتریس وزنی نرمال شده تبدیل می‌شود. به عبارتی با استفاده از اعداد خاکستری و ترجیحات زبانی و طیف لیکرت [۴۳]، وزن هر معیار به صورت  $\otimes w_j = [0, 1]$  بیان می‌شود. در این

حالت، اگر  $k$  نفر خبره و تصمیم‌گیرنده در خصوص وزن یک معیار نظر بدهند، وزن آن معیار از روش زیر محاسبه می‌شود:

$$\otimes w_j = \frac{1}{k} [\otimes w_j^1 + \otimes w_j^2 + L + \otimes w_j^k] \quad (13)$$

سپس وزن معیار در ماتریس تصمیم‌گیری ضرب می‌شود. در این حالت، از آنجایی که تمامی وزن‌ها کیفی و غیرقطعی هستند کل ماتریس تصمیم‌گیری غیرقطعی خواهد شد. آنگاه با استفاده از قواعد نرمال‌سازی، ماتریس تصمیم‌گیری را تبدیل به ماتریس وزنی نرمال‌شده کرده و ادامه مراحل مطابق آنچه شرح داده شد، انجام می‌شود. ایراد این روش آن است که ضرب دو عدد خاکستری باعث بزرگتر شدن بازه عدد خاکستری شده و دقت محاسبات و تصمیم‌گیری را کاهش می‌دهد.

۲- تبدیل اوزان کیفی به کمی و استفاده از آن در محاسبه امتیاز رابطه‌ای خاکستری در این روش، پس از آنکه وزن معیارها مطابق روش قبل به صورت اعداد خاکستری تعریف و محاسبه شد، با استفاده از رابطه فاصله اقلیدسی مقدار وزن معیار  $j$ ام با مقدار وزن ایده‌آل  $[1, 1]$ ، به دست آمده و از طریق رابطه زیر وزن نهایی معیارها منتج می‌شود:

$$D_{w_0 w_j} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{[(w_{\underline{0}} - w_{\underline{j}})^2 + (\bar{w}_{\underline{0}} - \bar{w}_{\underline{j}})^2]} \quad (14)$$

$$W_j = \frac{D_{w_0 w_j}}{\sum_{j=1}^n D_{w_0 w_j}}$$

به‌گونه‌ای که  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$  باشد. پس از آن، مطابق رابطه ۱۲ امتیاز رابطه‌ای خاکستری محاسبه می‌شود.

### ۳-۳- روش ابتکاری تلفیق تاپسیس خاکستری و تحلیل رابطه‌ای خاکستری

در این روش ابتکاری، مرحله اول همانند روش بهبودیافته است، اما در مرحله دوم به‌جای آنکه گزینه مرجع مقدار بیشینه یا یک باشد، عدد خاکستری  $[0, 1]$  در نظر گرفته می‌شود. بدین معنی که می‌توان مقادیر ایده‌آل برای گزینه مرجع را با توجه به نرمال‌شدن ماتریس تصمیم‌گیری بین صفر (ایده‌آل منفی) و یک (ایده‌آل مثبت) در نظر گرفت. بدین ترتیب، گزینه مرجع به صورت زیر تعریف می‌شود:



(۱۵)

$$X_0^+ = \left\{ \max_{1 \leq i \leq m} Q_{i1}^*, \max_{1 \leq i \leq m} Q_{i2}^*, K, \max_{1 \leq i \leq m} Q_{ik}^*, \left[ \max_{1 \leq i \leq m} \bar{G}_{ik+1}^* \right], \left[ \max_{1 \leq i \leq m} \bar{G}_{ik+2}^* \right], K, \left[ \max_{1 \leq i \leq m} \bar{G}_{ip}^* \right] \right\}$$

$$X_0^- = \left\{ \min_{1 \leq i \leq m} Q_{i1}^*, \min_{1 \leq i \leq m} Q_{i2}^*, K, \min_{1 \leq i \leq m} Q_{ik}^*, \left[ \min_{1 \leq i \leq m} \underline{G}_{ik+1}^* \right], \left[ \min_{1 \leq i \leq m} \underline{G}_{ik+2}^* \right], K, \left[ \min_{1 \leq i \leq m} \underline{G}_{ip}^* \right] \right\}$$

$$\min_{\substack{1 \leq i \leq m \\ 1 \leq j \leq k}} Q_{ij}^* = 0, \quad \min_{\substack{1 \leq i \leq m \\ k+1 \leq j \leq p}} \underline{G}_{ik+1}^* = 0 \quad \max_{\substack{1 \leq i \leq m \\ 1 \leq j \leq k}} Q_{ij}^* = 1, \quad \max_{\substack{1 \leq i \leq m \\ k+1 \leq j \leq p}} \bar{G}_{ik+1}^* = 1$$

و

که در آن

اختلاف بین گزینه  $X_i$  و گزینه مرجع به دو اختلاف از ایده آل منفی  $X_0^-$  و ایده آل مثبت  $X_0^+$  تقسیم می‌شود. نوآوری به کاررفته در این مرحله، تفکیک حد بالا و پائین در عدد خاکستری و محاسبه اختلاف از ایده آل مثبت و منفی به صورت مجزا است.

اگر مقدار شاخص قطعی باشد، فاصله یا اختلاف بین گزینه  $X_i$  و گزینه مرجع  $X_0$  گرفتن معیار [ام، از طریق فرمول رابطه ۱۶ و اگر مقدار شاخص کیفی باشد، از رابطه ۱۷ محاسبه می‌شود.

$$\Delta_{ij}^+ = |1 - Q_{ij}| \quad \text{مقادیر کمی} \quad (۱۶)$$

$$\Delta_{ij}^- = |0 - Q_{ij}|$$

$$D_{0(i,j)}^+ = |1 - \bar{G}_{ij}| \quad \text{مقادیر کیفی} \quad (۱۷)$$

$$D_{0(i,j)}^- = |0 - \underline{G}_{ij}|$$

بدین ترتیب، ماتریس تصمیم‌گیری تلفیقی نرمال شده  $A^*$  به دو ماتریس کمی  $\bar{A}^*$  و  $\underline{A}^*$  تبدیل می‌شود.

$$\underline{A}^* = \begin{bmatrix} \underline{\Delta}_{11} & \underline{\Delta}_{12} & K & \underline{\Delta}_{1k} & \underline{D}_{1k+1} & \underline{D}_{1k+2} & K & \underline{D}_{1p} \\ \underline{\Delta}_{21} & \underline{\Delta}_{22} & & & \underline{D}_{2k+1} & \underline{D}_{2k+2} & & \\ M & & O & & M & & O & \\ \underline{\Delta}_{m1} & & & \underline{\Delta}_{mk} & \underline{D}_{mk+1} & & & \underline{D}_{mp} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{فاصله از} \\ \text{ایده آل منفی} \end{array} \quad (۱۸)$$

$$\bar{A}^* = \begin{bmatrix} \bar{\Delta}_{11} & \bar{\Delta}_{12} & K & \bar{\Delta}_{1k} & \bar{D}_{1k+1} & \bar{D}_{1k+2} & K & \bar{D}_{1p} \\ \bar{\Delta}_{21} & \bar{\Delta}_{22} & & & \bar{D}_{2k+1} & \bar{D}_{2k+2} & & \\ M & & O & & M & & O & \\ \bar{\Delta}_{m1} & & & \bar{\Delta}_{mk} & \bar{D}_{mk+1} & & & \bar{D}_{mp} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{فاصله از} \\ \text{ایده آل مثبت} \end{array} \quad (۱۹)$$

ضریب رابطه‌ای خاکستری بین گزینه  $X_0$  و  $X_i$  مطابق با روابط زیر به دست می‌آید:

$$\underline{\gamma}(X_{0(j)}^-, X_{i(j)}^-) = \frac{D_{0i(j)}^- + \rho(\max_{\forall i, \forall j} \max_{0i(j)} D_{0i(j)}^-)}{(\max_{\forall i, \forall j} \max_{0i(j)} D_{0i(j)}^-) + \rho(\max_{\forall i, \forall j} \max_{0i(j)} D_{0i(j)}^-)} \quad (20)$$

$$\bar{\gamma}(X_{0(j)}^+, X_{i(j)}^+) = \frac{(\min_{\forall i, \forall j} \min_{0i(j)} D_{0i(j)}^+) + \rho(\max_{\forall i, \forall j} \max_{0i(j)} D_{0i(j)}^+)}{D_{0i(j)}^+ + \rho(\max_{\forall i, \forall j} \max_{0i(j)} D_{0i(j)}^+)} \quad (21)$$

$$\gamma(X_{0(j)}, X_{i(j)}) = \frac{1}{2}(\underline{\gamma} + \bar{\gamma}) \quad (22)$$

که در آن  $\rho \in (0, 1)$  ضریب تفکیک است که بیانگر چگونگی در نظر گرفتن فاصله بین هر گزینه و گزینه مرجع است. در کاربردهای مختلف تحلیل رابطه‌ای خاکستری، معمولاً میانه این بازه یعنی  $\rho = 0.5$  برای ضریب تفکیک در نظر گرفته می‌شود. در رابطه فوق، برای بیان ساده‌تر فرمول، صرفاً از

عبارت  $D_{0i(j)}$  به جای استفاده همزمان از  $\Delta_{0ij}$  و  $D_{0i(j)}$  استفاده شده است.

امتیاز رابطه‌ای خاکستری بین گزینه  $X_0$  و  $X_i$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

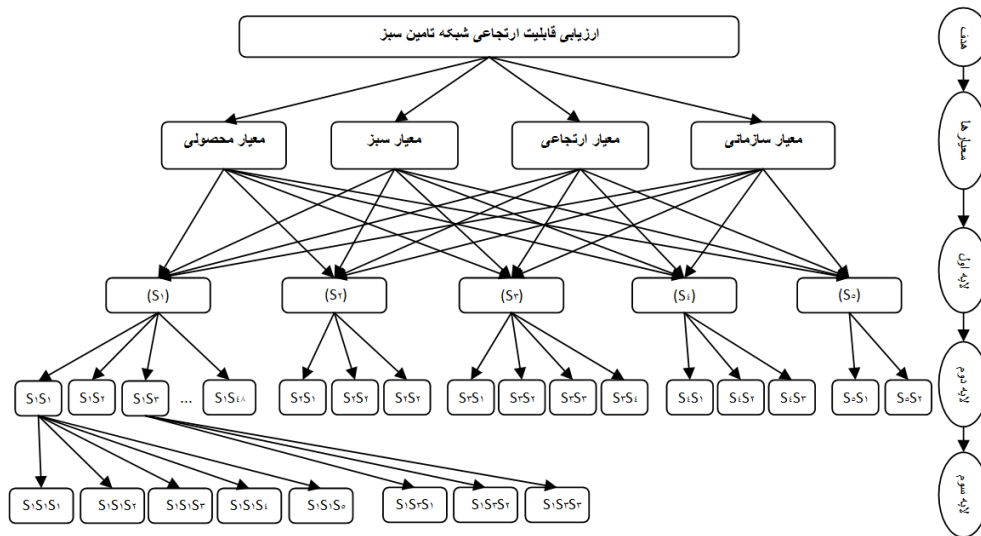
$$\Gamma(X_0, X_i) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \gamma(X_{0(j)}, X_{i(j)}) \quad (23)$$

#### ۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌ها

از آنجایی که در چند سال اخیر برون‌سپاری و توسعه شبکه همکاران یکی از راهبردهای اصلی صنایع دفاعی بوده است، بخش زیادی از اجرای قطعات محصولات به تأمین‌کنندگان داخلی واگذار شده و از این رو، تأمین‌کنندگان نقش اساسی در تحقق زنجیره تأمین سبز با قابلیت ارتجاعی بر عهده خواهند داشت. ضمن آنکه بهبود کیفیت، افزایش رضایت مشتریان، افزایش فروش و خروج از شرایط بحران مالی و امکان فرصت‌های سرمایه‌گذاری و رشد و توسعه فنی و تحقیقاتی در گرو توجه بیشتر به تأمین‌کنندگان به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی موفقیت شرکت‌ها است.

در این پژوهش و با توجه الزامات امنیتی، امکان معرفی صنعت و دامنه کاربرد آن وجود ندارد؛ با این حال، صنعت دارای ۵ تأمین‌کننده در لایه اول بوده و یکی از مهمترین و بزرگترین آن‌ها حدود ۱۵۰ تأمین‌کننده فعال کوچک و بزرگ دارد که با توجه به شرایط مسئله و در نظر گرفتن تأمین‌کنندگان ساختی، ۴۸ تأمین‌کننده به‌عنوان لایه دوم و ۵ تأمین‌کننده به‌عنوان لایه سوم تأمین‌کننده  $S_1$  انتخاب

شدند. با توجه به الزام شرکت مبنی بر رعایت اطلاعات شرکتها، لذا درخت تصمیم مطابق شکل ۳ ارائه می‌شود.



شکل ۳ - درخت تصمیم و شبکه لایه‌ای صنعت

بنابراین، مسئله پژوهش به یک ماتریس تصمیم‌گیری شامل ۵ تأمین‌کننده اصلی در لایه اول، ۶۰ تأمین‌کننده در لایه دوم و ۸ تأمین‌کننده در لایه سوم تبدیل می‌شود.

#### ۴-۱- تعیین اهمیت زیرمعیارها

با توجه به تعدد شاخص‌ها، پیچیده شدن ارزیابی و نزدیکی مقایسه‌ها، صرفاً اهمیت ۱۸ زیرمعیار تعیین و به تناسب آن اهمیت شاخص‌های مرتبط نیز مشخص می‌شود. برای تعیین میزان اهمیت و وزن معیارها، پرسشنامه‌ای تهیه و در اختیار اعضای کمیته قرار گرفت تا با استفاده از عبارتهای زبانی و اعداد خاکستری و مطابق با جدول ۶، نسبت به تعیین وزن معیارها اقدام نمایند.

جدول ۶- مقیاس ارزیابی اوزان معیارها با استفاده از اعداد خاکستری [۴۴]

مقیاس	خیلی زیاد	زیاد	تقریباً زیاد	متوسط	تقریباً کم	کم	خیلی کم
	VH	H	MH	M	ML	L	VL
⊗W	[۰,۹,۱]	[۰,۷,۰,۹]	[۰,۶,۰,۷]	[۰,۴,۰,۶]	[۰,۳,۰,۴]	[۰,۱,۰,۳]	[۰,۰,۰,۱]

جهت بالاتر بردن دقت تیم خبرگان و تصمیم‌گیری بهتر ۱۷ عضو کمیته زنجیره تأمین شرکت، با توجه به جایگاه و مدرک اعضای کمیته به هر یک از خبرگان مطابق جدول زیر وزن تعلق گرفت.

جدول ۷- اعضا و میزان وزن نظرات خبرگان شرکت

وزن نرمال شده	وزن	اعضا	تعداد	سمت
۰/۱۸	۰/۲	مدیر صنعت و جانشین	۲	مدیر ارشد
۰/۵۵	۰/۱۵	معاونت‌های بازرگانی، بازاریابی و فروش، مالی و اقتصادی، طرح‌وبرنامه، مهندسی، کیفیت، تولید، برنامه‌ریزی مواد و تولید	۸	معاونت
۰/۲۲	۰/۱	مدیریت‌های خدمات فنی و طرح و توسعه، توسعه منابع انسانی، تحقیق و توسعه، استراتژی، امور حقوقی و قراردادهای	۵	مدیریت
۰/۰۵	۰/۰۵	کارشناس ارشد ارتباط با مشتریان و مدیریت زنجیره تأمین	۲	کارشناس ارشد
۱	۲/۲	مجموع	۱۷	

جدول ۸- وزن معیارهای مدل پژوهش

معیار	زیرمعیار	شاخص‌ها	وزن خاکستری		وزن قطعی	
			$\underline{G}$	$\bar{G}$	$W_j$	
محصولی	Q <sub>۱</sub>	قیمت	قیمت محصول/محصولات؛ هزینه‌های محصول	۰,۷۰۵	۰,۸۴۸	۰,۰۵۳
	Q <sub>۲</sub>	کیفیت	درصد نواقص/تخلف/انحراف در کنترل فرآیند؛ بازده؛ گارانتی و خدمات پس از فروش	۰,۷۲۰	۰,۸۵۲	۰,۰۵۱
	Q <sub>۳</sub>	زمان	زمان تولید	۰,۸۰۲	۰,۹۲۷	۰,۰۳۴
	Q <sub>۴</sub>	تحويل	زمان تحويل؛ تحويل به موقع و فوری؛ تحويل به تعداد مقرر؛ تحويل مطابق با استانداردهای بسته‌بندی؛ قابلیت اطمینان تحويل؛ اسناد کالای تحويل شده	۰,۶۴۱	۰,۸۰۲	۰,۰۶۶
سبز	Q <sub>۵</sub>	شایستگی‌های سبز	طراحی سبز؛ تصویر سبز؛ مواد سبز؛ فناوری سبز	۰,۷۱۶	۰,۸۷۰	۰,۰۵۰
	Q <sub>۶</sub>	شایستگی‌های زیست‌محیطی	کنترل آلودگی؛ سیستم مدیریت محیط‌زیست؛ مدیریت مصرف انرژی؛ بسته‌بندی و لجستیک معکوس؛ همکاری و کنترل زیست‌محیطی تأمین‌کنندگان	۰,۶۳۶	۰,۸۰۰	۰,۰۶۶
	Q <sub>۷</sub>	شایستگی‌های ایمنی	گواهینامه ۱۸۰۰۱ OHSAS: نرخ وقوع OSHA	۰,۶۱۸	۰,۷۹۸	۰,۰۶۹
سازمانی	Q <sub>۸</sub>	مالی	نسبت‌های بازار و سرمایه‌گذاری؛ نسبت‌های فعالیت (کارایی)؛ نسبت‌های سودآوری؛ نسبت‌های نقدینگی	۰,۶۲۰	۰,۷۹۵	۰,۰۶۹
	Q <sub>۹</sub>	فنی و	اثربخشی کلی تجهیزات (OEE)؛ ماشین‌آلات	۰,۶۸۲	۰,۸۶۴	۰,۰۵۵

	تجهیزاتی	تخصصی ساخت و مونتاژ؛ تجهیزات تخصصی آزمون و کنترل کیفیت؛ کمک تأمین کننده در حل مسائل فنی				
Q <sub>۱۰</sub>	فناوری و نوآوری	بهره‌وری واحد تحقیق و توسعه؛ تعداد ثبت اختراع؛ مقالات بین‌المللی تأییدشده؛ نرخ نوآوری فناورانه	۰,۵۹۱	۰,۷۶۴	۰,۰۷۶	
Q <sub>۱۱</sub>	فناوری اطلاعات و ارتباطات	دسترسی به اینترنت؛ امنیت شبکه و اطلاعات؛ توانمندی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری	۰,۷۵۹	۰,۹۰۲	۰,۰۴۲	
Q <sub>۱۲</sub>	منابع انسانی و آموزش	بودجه تخصیص یافته به آموزش و مطالعات منابع انسانی؛ سابقه و تجربه کاری؛ سرانه آموزش	۰,۷۸۲	۰,۹۲۷	۰,۰۳۷	
Q <sub>۱۳</sub>	شایستگی‌های سازمانی و مدیریتی	فاصله جغرافیایی؛ حسن سابقه؛ گواهینامه‌ها و استانداردهای کیفی؛ مدیریت استراتژیک؛ تعهد مدیریت	۰,۷۷۵	۰,۹۰۷	۰,۰۳۹	
ارتجاعی	Q <sub>۱۴</sub>	انعطاف‌پذیری	انعطاف‌پذیری	۰,۷۲۵	۰,۸۶۸	۰,۰۴۹
	Q <sub>۱۵</sub>	افزونگی	افزونگی	۰,۶۵۲	۰,۸۳۹	۰,۰۶۱
	Q <sub>۱۶</sub>	چابکی	سرعت؛ شفافیت	۰,۶۳۹	۰,۸۳۲	۰,۰۶۴
	Q <sub>۱۷</sub>	ریسک	آسیب‌پذیری؛ آگاهی از ریسک	۰,۶۹۳	۰,۸۶۶	۰,۰۵۴
	Q <sub>۱۸</sub>	سطح همکاری	اعتماد؛ همکاری؛ اشتراک اطلاعات	۰,۶۳۴	۰,۷۹۵	۰,۰۶۷

برای محاسبه وزن کمی شده زیرمعیارها از نوآوری به کاررفته در این پژوهش و روش فاصله اقلیدسی استفاده شده است.

#### ۴-۲- ارزیابی قابلیت ارتجاعی شبکه تأمین سبز

پس از مشخص شدن نوع و ماهیت شاخص‌ها در کمیته زنجیره تأمین شرکت، شرکت‌های لایه اول، دوم و سوم شبکه زنجیره تأمین صنعت شناسایی و با هماهنگی قبلی، تیم ارزیابی فنی متشکل از (نمایندگان مدیریت بازرگانی، مدیریت مالی، مدیریت تضمین کیفیت، مدیریت طراحی و تحقیق و توسعه، مدیریت زنجیره تأمین و مدیریت منابع انسانی) جهت ارزیابی به صورت ارائه خوداظهاری و بازدید در محل<sup>۱</sup> به بررسی مقادیر شاخص‌ها می‌پردازند. بر این اساس، مقادیر هر شاخص در پایان بازدید حضوری و بررسی نهایی تیم ارزیاب، مشخص و ثبت می‌شود و از پرسشنامه در به دست آوردن مقادیر شهودی و قضاوت خبرگان استفاده نشده است. استفاده از چک‌لیست ارزیابی باعث می‌شود تا اولاً با توجه به آموزش‌های

<sup>۱</sup> Site visit

قبلی تیم ارزیاب، برداشت یکسانی از شاخص‌ها شود و درضمن با توجه به تقسیم‌بندی سؤالات، هر یک از تیم‌های تخصصی نسبت به ارزیابی بخش مربوط به خود اقدام می‌کنند. این امر باعث می‌شود تا دقت مقادیر بالاتر بوده و راهکارهای پیشنهادی نیز با توجه به واقعیت‌های موجود طرح‌ریزی و بکارگرفته شود. به‌عنوان مثال، برای محاسبه وضعیت و توان مالی تأمین‌کننده، تیم مالی از بررسی صورت‌حساب‌های مالی حسابرسی شده شرکت در سال گذشته، شاخص‌های مالی زیرمجموعه نسبت‌های نقدینگی، سودآوری، سرمایه‌گذاری و فعالیت را محاسبه و آنگاه با توجه به هدف‌گذاری شرکت، سطح تأمین‌کننده را با استفاده از متغیرهای زبانی و طیف لیکرت هفت‌تایی بیان می‌نماید. سپس این متغیرهای زبانی از طریق اعداد خاکستری [۴۳]، به مقادیر کیفی تبدیل و در ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری استفاده می‌شود. در این مقیاس‌دهی با استفاده از اعداد خاکستری، از الزام تقارن در ارزیابی طیف لیکرت استفاده شده است.

جدول ۹- مقیاس ارزیابی تأمین‌کنندگان با استفاده از اعداد خاکستری

مقیاس	خیلی خوب	خوب	تقریباً خوب	متوسط	تقریباً ضعیف	ضعیف	خیلی ضعیف
	VG	G	MG	F	MP	P	VP
⊗G	[۹, ۱۰]	[۷, ۹]	[۶, ۷]	[۴, ۶]	[۳, ۴]	[۱, ۳]	[۰, ۱]

پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و با توجه به تلفیقی بودن ماتریس و وجود معیارهای کیفی مبتنی بر هدف، با استفاده از روش بهبودیافته تحلیل رابطه‌ای خاکستری، مقادیر امتیاز رابطه‌ای خاکستری برای هر یک از تأمین‌کنندگان محاسبه می‌شود.

بر این اساس، پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و نرمال‌کردن داده‌ها (۱۲ شاخص کمی و ۴۲ شاخص کیفی)، می‌توان برای تأمین‌کننده اول از اولین تأمین‌کننده شرکت  $(S_1, S_2, S_3)$  ماتریس تلفیقی را برای ۵۴ شاخص به‌صورت جدول زیر ارائه نمود.

جدول ۱۰- درایه‌های ماتریس تلفیقی خاکستری برای تأمین‌کننده S1S1

شاخص	قطعی	خاکستری	شاخص	قطعی	خاکستری
C1	۰,۸۶۰		C28	۰,۹۱۱	
C2		[۰,۳۳۳,۰۷۵۰]	C29		[۰,۷۷۸,۱]
C3	۰,۵۴۵		C30		[۰,۷۷۸,۱]
C4	۱,۰۰۰		C31	۰,۵۰۰	
C5		[۰,۹,۱]	C32		[۰,۸۵۷,۱]
C6	۰,۹۳۸		C33	۰,۶۰۰	
C7	۰,۷۲۷		C34		[۰,۴۲۹,۰,۵۷۱]
C8		[۰,۷,۰,۹]	C35		[۰,۷۷۸,۱]
C9	۰,۵۰۰		C36		[۰,۸۵۷,۱]
C10		[۰,۷,۰,۹]	C37		[۰,۶۶۷,۰,۷۷۸]
C11		[۰,۷۷۸,۱]	C38	۰,۱۵۰	
C12		[۰,۴,۰,۶]	C39	۰,۲۱۰	
C13		[۰,۴۴۴,۰,۶۶۷]	C40	۰,۶۱۵	
C14		[۰,۳۳۳,۰,۴۴۴]	C41		[۰,۷۷۸,۱]
C15		[۰,۷۷۸,۱]	C42		[۰,۷۷۸,۱]
C16		[۰,۶۶۷,۰,۷۷۸]	C43		[۰,۷۷۸,۱]
C17		[۰,۳۳۳,۰,۴۴۴]	C44		[۰,۸۵۷,۱]
C18		[۰,۷,۰,۹]	C45		[۰,۷۷۸,۱]
C19		[۰,۶,۰,۷]	C46		[۰,۷۷۸,۱]
C20		[۰,۴۲۹,۰,۵۷۱]	C47		[۰,۶۶۷,۰,۷۷۸]
C21		[۰,۶۶۷,۰,۷۷۸]	C48		[۰,۷۷۸,۱]
C22		[۰,۹,۱]	C49		[۰,۸۵۷,۱]
C23	۰,۸۸۵		C50		[۰,۴۲۹,۰,۵۷۱]
C24		[۰,۷۷۸,۱]	C51		[۰,۸۵۷,۱]
C25		[۰,۷۷۸,۱]	C52		[۰,۵۷۱,۰,۸۵۷]
C26		[۰,۷۷۸,۱]	C53		[۰,۸۵۷,۱]
C27		[۰,۶۶۷,۰,۷۷۸]	C54		[۰,۶۶۷,۰,۷۷۸]

فاصله بین گزینه‌ها با گزینه مرجع برای شاخص‌های کمی و کیفی مطابق روابط ۹ و ۱۰ و ضریب رابطه‌ای خاکستری بین گزینه  $X_i$  و گزینه مرجع  $X_0$  مطابق رابطه ۱۱ به دست می‌آید.

$$\gamma(X_{0(j)}, X_{i(j)}) = \frac{(\min_{\forall i, \forall j} D_{0i(j)}) + \rho(\max_{\forall i, \forall j} D_{0i(j)})}{D_{0i(j)} + \rho(\max_{\forall i, \forall j} D_{0i(j)})}$$

$$\gamma(X_{0(1)}, X_{1(1)}) = \frac{0 + 0.5 * 0.44}{0.14 + 0.5 * 0.44} = 0.613 \quad (24)$$

$$\gamma(X_{0(1)}, X_{2(1)}) = \frac{0 + 0.5 * 0.44}{0.093 + 0.5 * 0.44} = 0.704$$

برای کلیه تأمین کنندگان ( $1 \leq i \leq 8$ ) و کلیه معیارها ( $1 \leq j \leq 54$ ) نیز ضریب رابطه‌ای خاکستری محاسبه و امتیاز رابطه‌ای خاکستری به شرح جدول ۱۱ به دست می‌آید.

جدول ۱۱- مقدار امتیاز رابطه‌ای خاکستری لایه سوم و رتبه هر یک از تأمین کنندگان با استفاده از روش IHGRA

رتبهبندی روش IHGRA	GRG	لایه سوم	لایه دوم	لایه اول
۲	۰,۷۲۱۳	S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub>		
۱	۰,۷۴۹۳	S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۲</sub>		
۵	۰,۵۸۵۱	S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub>	S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۲</sub>	
۴	۰,۵۹۹۲	S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub>		S <sub>۱</sub>
۳	۰,۶۱۵۹	S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۴</sub>		
۶	۰,۴۷۶۴	S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۱</sub>		
۷	۰,۴۵۰۸	S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub>	S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۲</sub>	
۸	۰,۴۰۲۰	S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۳</sub>		

برای سایر تأمین کنندگان لایه دوم و اول، مراحل بالا تکرار شده و امتیاز رابطه‌ای خاکستری هر یک از لایه‌ها تعیین می‌شود. برای به دست آوردن مقدار نهایی امتیاز رابطه‌ای خاکستری صنعت، لازم است تا ابتدا میانگین امتیاز رابطه‌ای خاکستری لایه سوم محاسبه و در میانگین امتیاز رابطه‌ای خاکستری لایه دوم آن تأمین کننده ضرب شود. در انتها نیز با ضرب این مقدار در امتیاز رابطه‌ای خاکستری لایه اول، مقدار نهایی حاصل خواهد شد.

### ۳-۴- روش ابتکاری تلفیق تاپسیس خاکستری و تحلیل رابطه‌ای خاکستری

در این روش به جای آنکه درایه‌های گزینه مرجع (ایده‌آل)، ماکزیمم هر معیار باشند، گزینه مرجع دارای گزینه ایده‌آل مثبت و منفی است. در این حالت، ایده‌آل مثبت و منفی را می‌توان به صورت عدد خاکستری [۰،۱] تعریف نمود. در این روش ابتکاری، به جای آنکه از فاصله اقلیدسی استفاده شود، عدد خاکستری



به دو بخش تبدیل می‌شود و  $\underline{G}$  با صفر و  $\overline{G}$  با یک مقایسه خواهد شد. امتیاز و رتبه تأمین‌کنندگان لایه سوم با استفاده از روش ابتکاری IHGRA-TOPSIS مطابق جدول ۱۲ به دست می‌آید.

جدول ۱۲- نتایج ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان با استفاده از روش ابتکاری IHGRA-TOPSIS

نتایج رتبه‌بندی روش IHGRA-TOPSIS	GRG	لایه سوم	لایه دوم	لایه اول
۲	۰.۸۰۵۰	$S_1 S_1 S_1$		
۱	۰.۸۳۰۰	$S_1 S_1 S_2$		
۳	۰.۷۲۳۳	$S_1 S_1 S_3$	$S_1 S_1$	
۵	۰.۷۱۸۱	$S_1 S_1 S_4$		$S_1$
۴	۰.۷۲۲۰	$S_1 S_1 S_5$		
۶	۰.۶۲۳۱	$S_1 S_2 S_1$		
۷	۰.۶۰۵۹	$S_1 S_2 S_2$	$S_1 S_2$	
۸	۰.۵۵۵۹	$S_1 S_2 S_3$		

به‌منظور رتبه‌بندی مجدد و افزایش اعتماد و پذیرش نتایج حاصل شده از روش خاکستری بهبود یافته، تأمین‌کنندگان لایه سوم با روش تاپسیس فازی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر این اساس از اعداد فازی مثلثی برای کمی کردن مقادیر کیفی در ماتریس تصمیم‌گیری استفاده شده است.

جدول ۱۳- نتایج تاپسیس فازی در مقایسه با روش‌های پیشنهادشده

Tier ۳	IHGRA		IHGRA-TOPSIS		Fuzzy-TOPSIS	
	$\Gamma(X_0, X_i)$	Rank	$\Gamma(X_0, X_i)$	Rank	$CC_i$	Rank
$S_1$	۰.۷۲۱	۲	۰.۸۰۵	۲	۰.۶۱۸	۲
$S_2$	۰.۷۴۹	۱	۰.۸۳۰	۱	۰.۶۵۰	۱
$S_3$	۰.۵۸۵	۵	۰.۷۲۳	۳	۰.۵۷۰	۳
$S_4$	۰.۵۹۹	۴	۰.۷۱۸	۵	۰.۵۳۰	۵
$S_5$	۰.۶۱۶	۳	۰.۷۲۲	۴	۰.۵۳۶	۴
$S_6$	۰.۴۷۶	۶	۰.۶۲۳	۶	۰.۴۲۸	۶
$S_7$	۰.۴۵۱	۷	۰.۶۰۱	۷	۰.۴۲۰	۷
$S_8$	۰.۴۰۲	۸	۰.۵۵۶	۸	۰.۴۱۵	۸

نتایج نشان می‌دهد که روش تحلیل رابطه‌ای خاکستری بهبودیافته (IHGRA) و تاپسیس فازی، هر

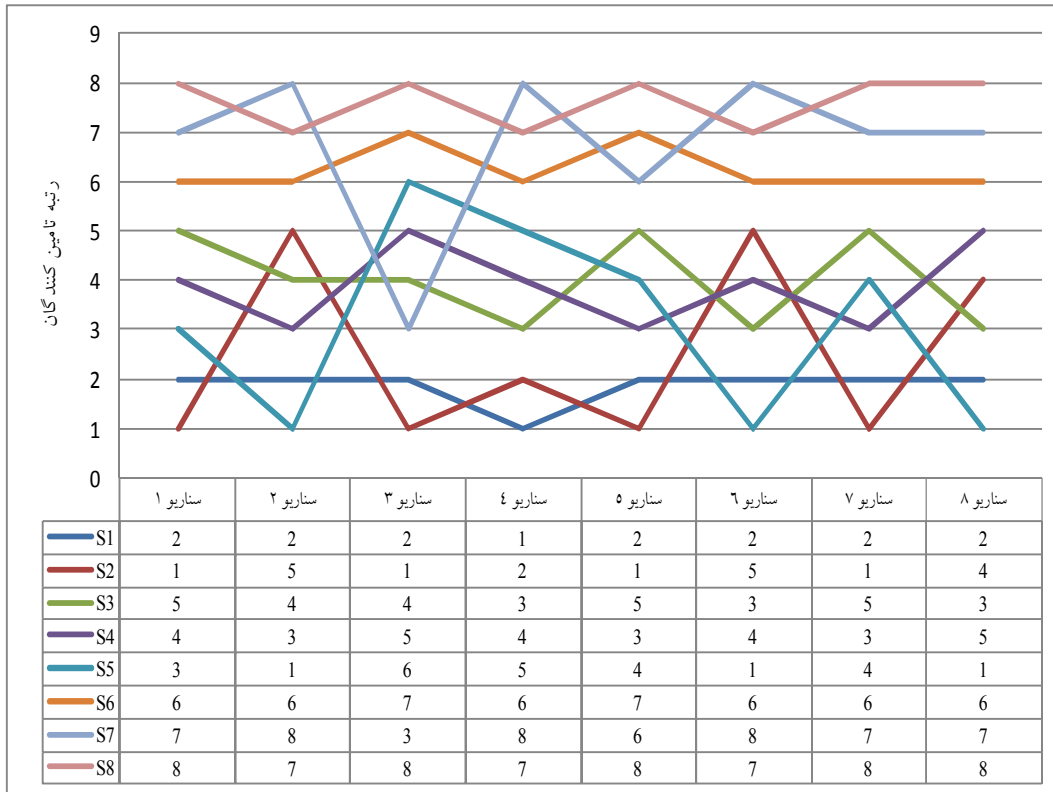
دو رتبه‌بندی یکسانی را از تأمین‌کنندگان به دست آورده‌اند. هرچند هر دو روش‌های خاکستری و فازی از جمله روش‌های پرکاربرد در مسائل MCDM هستند، روش‌های مبتنی بر نظریه خاکستری از ساختار و مفاهیم قابل‌درک‌تری برخوردار بوده و فرآیند نرمال‌سازی در GRA در مقایسه با تاپسیس فازی آسان‌تر و منطقی‌تر است. نکته مهم آنکه روش IHGRA به شکل شفاف‌تری اختلاف میان گزینه‌ها را محاسبه کرده است. همچنین در صورتی که تعداد گزینه‌ها افزایش یابد، قابلیت اطمینان نتایج رتبه‌بندی تاپسیس فازی، به‌ویژه برای گزینه‌های میانی، کاهش می‌یابد.

#### ۴-۴- تحلیل حساسیت و تصمیمات مدیریتی

در این بخش، ۸ سناریو به‌منظور تحلیل حساسیت مدل پژوهش و بررسی و مقایسه آن با مدل‌های موجود در مبانی نظری پژوهش ارائه می‌شود.

جدول ۱۴- سناریوهای مختلف جهت مقایسه و تحلیل حساسیت نتایج

شماره سناریو	عنوان سناریو	شرح سناریو
۱	مدل پژوهش	کلیه معیارها و شاخص‌های پژوهش (۱۸ معیار و ۵۴ شاخص) با توجه به ماهیت و نوع شاخص
۲	صرفاً معیارهای محصولی	معیارهای محصولی (۴ معیار و ۱۲ شاخص)
۳	صرفاً معیارهای سبز	معیارهای سبز (۳ معیار و ۱۱ شاخص)
۴	صرفاً معیارهای سازمانی	معیارهای سازمانی (۶ معیار و ۲۲ شاخص)
۵	صرفاً معیارهای ارتجاعی	معیارهای ارتجاعی (۵ معیار و ۹ شاخص)
۶	مدل انتخاب تأمین‌کنندگان [۴]	شامل ۶ معیار: قیمت، کیفیت، تحویل، هزینه حمل‌ونقل، فناوری و سیستم تولید
۷	مدل انتخاب قابلیت ارتجاعی تأمین‌کنندگان [۵]	شامل ۱۳ معیار: قیمت، کیفیت، انعطاف‌پذیری، سرعت، شفافیت، آسیب‌پذیری، سطح همکاری، آگاهی از ریسک، مدیریت یکپارچه زنجیره تأمین، توانمندی فناوری، تحقیق و توسعه، ایمنی و توجه به محیط‌زیست
۸	مدل انتخاب تأمین‌کننده سبز [۳۰]	شامل ۶ معیار: قیمت، کیفیت، فناوری، مصرف انرژی، کنترل آلودگی و تعهد مدیریت



شکل ۴- تحلیل حساسیت سناریوهای مختلف و وضعیت رتبه تأمین کنندگان در مدل‌های مختلف در مقایسه با مدل پژوهش

شکل ۴ نشان می‌دهد که نتایج سناریو ۷ با سناریو ۱ (مدل پژوهش) بسیار نزدیک بوده و تنها در رتبه‌بندی سوم و چهارم اختلاف دارند. ضمناً با بررسی وضعیت تأمین کنندگان در سناریوهای مختلف می‌توان با توجه به تکرار رتبه در سناریوهای مختلف، این‌گونه بیان نمود که تأمین‌کننده  $S_7$  مناسب‌ترین تأمین‌کننده و رتبه اول و  $S_1$  رتبه دوم را خواهد داشت. یکی دیگر از تحلیل‌های صورت گرفته در این مقاله، مقایسه نتایج رتبه‌بندی براساس مقادیر مختلف ضریب تفکیک است. بر این اساس، علاوه بر مقدار  $\rho = 0.5$ ، سایر مقادیر در بازه‌های  $0/1$  تا  $0/9$  در اثرگذاری بر نتایج مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که علی‌رغم تغییر در ضریب تفکیک و مقادیر ضریب رابطه‌ای خاکستری، ترتیب  $S_7$ ،  $S_1$  و  $S_5$  همواره بدون تغییر باقی می‌ماند.

#### ۴-۵- یافته‌ها

مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان که به‌مراتب با مدل‌ها و روش‌های مختلف در تحقیقات این حوزه بکار گرفته شده است، علاوه بر معیارها و صلاحیت‌های فنی و مدیریتی تأمین‌کنندگان، نیازمند توجه به ویژگی‌های ارتجاعی تأمین‌کنندگان و الزامات زیست‌محیطی و ایمنی نیز هست.

طراحی و ارائه مدلی جامع که بتواند مدیریت را در تصمیم‌گیری مطلوب و همه‌جانبه و با در نظر گرفتن توأمان معیارهای فنی، مدیریتی، زیست‌محیطی و ارتجاعی کمک نماید، یکی از اهداف این پژوهش است. این پژوهش به بهبود روشی مبتنی بر تحلیل رابطه‌ای خاکستری می‌پردازد و از منظر جنس و ماهیت شاخص‌های تصمیم‌گیری، روشی جامع محسوب می‌شود. در بسیاری از مسائل کاربردی مدیریت به‌ویژه در دنیای واقعی، اولاً لازم است معیارهای کمی و کیفی به‌طور همزمان در فرآیند ارزیابی و انتخاب در نظر گرفته شوند؛ ثانیاً در برخی پژوهش‌های کاربردی به‌ویژه زمانی که مشخصه یا عملکرد ویژه (مانند وزن)، سطح انتظار یا استاندارد مشخص و تعریف‌شده‌ای در تصمیم‌گیری مطرح باشد، به‌کارگیری شاخص‌هایی از نوع مبتنی بر هدف در کنار شاخص‌های مثبت و منفی که متداول‌تر هستند، اجتناب‌ناپذیر می‌شود. یکی دیگر از مزیت‌های روش تحلیل رابطه‌ای خاکستری بهبودیافته، اخذ نظرات خبرگان به‌صورت مستقل و سپس اضافه شدن آن به مدل است که این امر باعث افزایش انعطاف‌پذیری مدل در مقایسه با روش‌های TOPSIS و AHP می‌شود. این انعطاف‌پذیری به‌ویژه در موقع تحلیل حساسیت و بررسی سناریوهای مختلف و کم‌وزیاد شدن نظرات بسیار مؤثر خواهد بود. همچنین از آنجایی که در روش‌های پیشین GRA، معیارها و شاخص‌های کمی و کیفی به‌صورت همزمان و با در نظر گرفتن معیارهای مبتنی بر هدف بکار گرفته نشده‌اند، روش IHGRA حل این مسئله را امکان‌پذیر ساخته است. مجموع این عوامل باعث شده تا مدل ارزیابی قابلیت ارتجاعی شبکه تأمین سبز که برای اولین بار در این پژوهش ارائه شده است، بتواند در سایر مسائل تصمیم‌گیری یا انتخاب تأمین‌کننده نیز بکار گرفته شود. یکی دیگر از مزایای روش پیشنهادشده IHGRA، این است که فرآیند شفاف کردن امتیاز رابطه‌ای خاکستری در انتهای گام‌هاست و عدم قطعیت موجود در مسئله، تا پایان آن در تمامی مراحل محاسباتی حفظ می‌شود.

برگرفته از مقاله [۴۵] می‌توان به اختصار این‌گونه بیان نمود که نظریه سیستم‌های خاکستری و روش تحلیل رابطه‌ای خاکستری نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری مانند FAHP به دلایل زیر بسیار مناسب‌تر و نتایج آن قابل‌اعتمادتر است:

- ۱- شایستگی مدل در صورت تغییر در گزینه‌ها و معیارها؛
- ۲- چابکی مدل در فرآیند تصمیم‌گیری به‌ویژه در مواردی که تعداد معیارها و گزینه‌ها زیاد باشد؛
- ۳- پیچیدگی و زمان‌بر بودن محاسبات در مدل پژوهش از مدل AHP به مراتب کمتر است؛
- ۴- امکان تصمیم‌گیری گروهی و استفاده از نظرات خبرگان؛
- ۵- هر چه تعداد تأمین‌کنندگان و معیارها افزایش می‌یابند، مدل‌های FAHP و F-TOPSIS در حل مدل و شناسایی رتبه‌های میانی ناکارآمدتر می‌شوند؛
- ۶- سفید کردن<sup>۱</sup> وزن معیارها، عدم ضرب اوزان غیرقطعی و به‌کارگیری معیارهای مبتنی بر هدف کمی و کیفی در ماتریس تصمیم‌گیری.

در این پژوهش، بیش از یک‌صد شاخص جهت ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین سبز با قابلیت ارتجاعی جمع‌آوری و از میان آن با توجه به شرایط مسئله و قلمرو پژوهش، مدل نهایی پژوهش ارائه شد. از میان ۵۴ شاخص که در قالب ۱۸ معیار و ۴ محور اصلی معیارهای محصولی، معیارهای سبز، معیارهای ارتجاعی و معیارهای سازمانی دسته‌بندی شدند، مقدار ۱۲ شاخص قطعی و ۴۲ شاخص غیرقطعی بود. ضمن آنکه شاخص «تحویل به تعداد مقرر» از نوع مبتنی بر هدف قطعی و شاخص «سابقه و تجربه کاری» از نوع مبتنی بر هدف غیرقطعی تعریف شد.

نتایج کاربردی این پژوهش، مطابق جدول ۱۵، نشان می‌دهد که شرکت باید تأمین‌کنندگانی را که امتیاز رابطه‌ای خاکستری (GRG) آنان زیر ۰/۵ باشد، از فهرست تأمین‌کنندگان خارج یا تهدید به خروج نماید. همچنین شرکت می‌تواند با طبقه‌بندی مقادیر امتیاز رابطه‌ای خاکستری تأمین‌کنندگان، نسبت به سطح‌بندی مجدد و تعیین سطح A و B اقدام نماید. پیشنهاد می‌شود مقادیر بالای ۰/۷ در سطح A، بین [۰/۶, ۰/۷] در سطح B و بین [۰/۵, ۰/۶] در سطح C قرار بگیرند و طبق مقررات و دستورالعمل‌های بازرگانی شرکت با آنان برخورد شود. بر این اساس، صنعت ۳ تأمین‌کننده از لایه سوم و ۱۷ تأمین‌کننده را از لایه دوم خارج نمود و شبکه تأمین خود را از ۷۳ شرکت زیرمجموعه به ۵۳ واحد کاهش داد.

<sup>۱</sup> Whitening

جدول ۱۵- نتایج امتیاز رابطه‌ای خاکستری شبکه تأمین صنعت با استفاده از مدل پژوهش

Tier ۱		Tier ۲						Tier ۳					
S	GRG	S	GRG	S	GRG	S	GRG	S	GRG				
S <sub>۱</sub>	۰.۶۵۸۹	S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub>	۰.۶۶۸۹	S <sub>۱</sub> S <sub>۱۶</sub>	۰.۵۶۹۴	S <sub>۱</sub> S <sub>۱۷</sub>	۰.۴۵۵۶	S <sub>۱</sub> S <sub>۱۸</sub>	۰.۵۸۰۵	S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub>	۰.۷۲۱۳		
										S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۲</sub>	۰.۷۴۹۳		
										S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub>	۰.۵۸۵۱		
										S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۴</sub>	۰.۵۹۹۲		
										S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۵</sub>	۰.۶۱۵۹		
		S <sub>۱</sub> S <sub>۲</sub>	۰.۶۹۵۴	S <sub>۱</sub> S <sub>۱۷</sub>	۰.۵۵۶۲	S <sub>۱</sub> S <sub>۱۸</sub>	۰.۴۳۹۲	S <sub>۱</sub> S <sub>۱۹</sub>	۰.۴۰۲۸	S <sub>۱</sub> S <sub>۲۰</sub>	۰.۴۸۰۸	S <sub>۱</sub> S <sub>۲</sub> S <sub>۱</sub>	۰.۴۷۶۴
												S <sub>۱</sub> S <sub>۲</sub> S <sub>۲</sub>	۰.۴۵۰۸
												S <sub>۱</sub> S <sub>۲</sub> S <sub>۳</sub>	۰.۴۰۲۰
		S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub>	۰.۴۴۴۱	S <sub>۱</sub> S <sub>۱۶</sub>	۰.۶۶۷۴	S <sub>۱</sub> S <sub>۱۷</sub>	۰.۶۹۲۴	S <sub>۱</sub> S <sub>۱۸</sub>	۰.۷۷۰۱	S <sub>۱</sub> S <sub>۱۹</sub>	۰.۵۷۶۹	S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۱</sub>	۰.۴۳۸۶
												S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۲</sub>	۰.۴۰۹۰
												S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۳</sub>	۰.۵۵۱۱
												S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۴</sub>	۰.۵۷۶۹
												S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۵</sub>	۰.۶۷۲۲
												S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۶</sub>	۰.۶۸۲۵
												S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۷</sub>	۰.۷۸۲۸
S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۸</sub>	۰.۴۴۶۰												
S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۹</sub>	۰.۵۷۵۷												
S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۱۰</sub>	۰.۵۷۵۷												
S <sub>۲</sub>	۰.۶۸۹۱	S <sub>۲</sub> S <sub>۱</sub>	۰.۴۰۹۱	S <sub>۲</sub> S <sub>۱۶</sub>	۰.۵۶۵۴	S <sub>۲</sub> S <sub>۱۷</sub>	۰.۵۵۱۵	S <sub>۲</sub> S <sub>۱۸</sub>	۰.۴۴۶۰	S <sub>۲</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub>	۰.۴۰۹۱		
										S <sub>۲</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۲</sub>	۰.۷۶۴۳		
										S <sub>۲</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۳</sub>	۰.۶۶۶۶		
S <sub>۲</sub>	۰.۶۸۶۷	S <sub>۲</sub> S <sub>۲</sub>	۰.۷۶۴۳	S <sub>۲</sub> S <sub>۱۶</sub>	۰.۵۶۵۴	S <sub>۲</sub> S <sub>۱۷</sub>	۰.۵۵۱۵	S <sub>۲</sub> S <sub>۱۸</sub>	۰.۴۴۶۰	S <sub>۲</sub> S <sub>۲</sub> S <sub>۱</sub>	۰.۶۷۵۸		
										S <sub>۲</sub> S <sub>۲</sub> S <sub>۲</sub>	۰.۷۶۴۳		
										S <sub>۲</sub> S <sub>۲</sub> S <sub>۳</sub>	۰.۴۴۳۷		
										S <sub>۲</sub> S <sub>۲</sub> S <sub>۴</sub>	۰.۴۱۲۲		
S <sub>۲</sub>	۰.۵۶۱۴	S <sub>۲</sub> S <sub>۳</sub>	۰.۴۱۲۱	S <sub>۲</sub> S <sub>۱۶</sub>	۰.۵۶۵۴	S <sub>۲</sub> S <sub>۱۷</sub>	۰.۵۵۱۵	S <sub>۲</sub> S <sub>۱۸</sub>	۰.۴۴۶۰	S <sub>۲</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۱</sub>	۰.۷۷۰۴		
										S <sub>۲</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۲</sub>	۰.۴۵۱۴		
										S <sub>۲</sub> S <sub>۳</sub> S <sub>۳</sub>	۰.۴۱۲۱		
S <sub>۵</sub>	۰.۶۷۹۴	S <sub>۵</sub> S <sub>۱</sub>	۰.۵۵۳۸	S <sub>۵</sub> S <sub>۱۶</sub>	۰.۵۶۵۴	S <sub>۵</sub> S <sub>۱۷</sub>	۰.۵۵۱۵	S <sub>۵</sub> S <sub>۱۸</sub>	۰.۴۴۶۰	S <sub>۵</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۱</sub>	۰.۵۵۳۸		
										S <sub>۵</sub> S <sub>۱</sub> S <sub>۲</sub>	۰.۵۶۶۳		

از منظر مدیریتی نیز این تصمیم منطقی به نظر می‌رسد؛ چراکه به دلیل ماهیت تحقیقاتی و نمونه‌سازی

در صنایع دفاعی، این صنایع به جای انعقاد قراردادهای بلندمدت روی به قراردادهای فاکتوری آورده‌اند. این راهبرد به واسطه محدودیت‌های سقف قرارداد باعث شده است تا صنایع بالاجبار به سمت افزایش تعداد تأمین‌کنندگان رفته که این امر نیاز به وجود منابع انسانی از لحاظ تعداد و تخصص در حوزه‌های مالی، بازرگانی و بازرسی دارد. با عنایت به محدودیت‌های جذب و سقف ابلاغی و تدابیر کاهش نیروی انسانی و سیاست‌های درآمد هزینه، عملاً صنایع تمایلی به افزایش نیرو در حوزه‌های ستادی فوق ندارند. پس تعدد تأمین‌کنندگان با توجه به کمبود منابع انسانی باعث کند شدن ارزیابی‌ها و اثربخشی عملکرد شبکه تأمین و کاهش بهره‌وری و چابکی آن می‌شود. یکی دیگر از دلالت‌های مدیریتی پژوهش، کاهش مجموع بدهی‌های مالی شرکت به شبکه تأمین‌کنندگان است. وقتی تأمین‌کنندگان خرد که کیفیت پایینی دارند از شبکه تأمین حذف شوند، صنعت می‌تواند آن امور را پس از اخذ مجوزهای لازم از طریق قراردادهای باز با تأمین‌کنندگان بزرگ و کلیدی خود مرتفع نماید و این یعنی کاهش بهای تمام‌شده، افزایش درآمذایی و ارتقا سطح تولیدات.

یکی دیگر از یافته‌های پژوهش که با تدابیر مدیریتی مدیران ارشد منطبق است، توجه بیشتر به معیارهای ایمنی و زیست‌محیطی و به‌کارگیری شاخص نرخ وقوع OSHA در کنار شاخص مهم اخذ گواهینامه OHSAS ۱۸۰۰۱ است. شاخص نرخ وقوع به این علت انتخاب شده است که در صنایع نظامی میزان حوادث و مخاطرات به‌ویژه در حوزه ساخت، مونتاژ، آزمون<sup>۱</sup> و آزمایشگاه نمونه اولیه بسیار محتمل است و این شاخص می‌تواند با دقت بالاتری نسبت به استاندارد OHSAS به ارزیابی شبکه تأمین بپردازد. از دیگر یافته‌های مدیریتی پژوهش، ضریب اهمیت پایین معیارهای سبز و شاخص‌های مرتبط با آن مانند طراحی سبز، تصویر سبز و فناوری سبز در مقایسه با معیارهای محصولی، سازمانی و ایمنی در صنایع نظامی است. هرچند تیم مدیریتی و اعضای کمیته تأمین صنعت معتقد بودند که در برخی از صنایع به‌خصوص حوزه سوخت، مواد کامپوزیت، جوش انفجاری و... مباحث مربوط به دفع ضایعات شیمیایی و ایمنی بسیار مهم است، لکن نمی‌توان این‌گونه ادعا نمود که مسائل زیست‌محیطی در صنایع نظامی کم‌اهمیت است.

توجه بیشتر به مفاهیم قابلیت ارتجاعی در تأمین‌کنندگان و شبکه تأمین باعث شد تا مدیریت ارشد، ضمن بهینه‌سازی ساختار شبکه از لحاظ تعدد و گستردگی، درمورد شاخص‌های مالی و فنی شبکه تأمین دقیق‌تر تأمل نماید؛ چراکه ارزیابی ریسک‌های توقف یا خروج تأمین‌کنندگان کلیدی در شرایط فعلی اقتصادی بسیار مهم است. این موضوع با افزایش سطح همکاری‌ها و اعتماد متقابل میسر می‌شود که بر این اساس مقرر شد تا جلسات متعددی بین مدیریت ارشد و تأمین‌کنندگان کلیدی به‌صورت ماهانه برگزار شده و انتظارات فنی و سیستمی طرفین مطرح و تأمین‌کنندگان نیز از ریسک‌های محتمل به‌ویژه در حوزه تغییرات طراحی، مواد و حجم تولید آگاهی یابند.

راهبرد خرید مالی و سیاست‌های درآمد-هزینه منجر شده است تا از یک‌سو مباحث مربوط به بهای تمام‌شده و از سوی دیگر، فروش و بدهی‌های مالی بیش‌ازپیش موردتوجه مدیران ارشد قرار گیرد. این موضوع در تعیین سازوکارهای قیمت‌گذاری قطعات و زیرمجموعه‌ها، و انعقاد قرارداد با تأمین‌کنندگان به‌ویژه در صنایع نظامی بسیار مهم است. این پژوهش نیز نشان داد که زیرمعیارهای مرتبط با معیار محصولی (هزینه، کیفیت، زمان و تحویل) با وزن ۰/۲۴ بیشترین اهمیت را در میان معیارهای چهارگانه پژوهش دارند.

## ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

مدلی که در این پژوهش طراحی و ارائه شد سعی نموده است تا تمامی ابعاد زنجیره تأمین سبز و قابلیت ارتجاعی تأمین‌کنندگان را در کنار معیارهای فنی و مدیریتی در بر بگیرد. با این حال شرایط مسئله و نظرات کمیته خبرگان در تأیید و رد برخی از معیارها تأثیرگذار بوده و در اهمیت معیارها نقش دارد. شرکت مورد مطالعه با توجه به شرایط مالی و ترازنامه و صورتحساب سود و زیان خود، توجه و تمرکز بیشتری را بر معیارهای مالی داشته و در حوزه شایستگی‌های سازمانی و مدیریتی، شاخص‌های بیشتری را در نظر گرفته است. می‌توان برای تحقیقات آتی، شاخص‌های کیفی بیشتری را در حوزه‌های معیارهای سبز و زیست‌محیطی و قابلیت ارتجاعی در نظر گرفت و دقت مدل را بیش‌ازپیش بالا برد. ضمن آنکه افزایش شاخص‌ها و معیارها نیز باعث پیچیده‌تر شدن مدل می‌شود. بدیهی است برای ارزیابی یک شرکت کوچک با تعداد تأمین‌کنندگان اندک و با توجه به نوع محصول و صنعتی که در آن مشغول به کار است، می‌توان مدل مناسب‌تری را ارائه نمود. به‌عنوان نمونه، در صنایعی که کالاهای فاسدشدنی تولید می‌نمایند یا بیمارستان‌ها و مراکز دارویی، توجه به بسته‌بندی و بازآوری و تفکیک ضایعات بسیار مهم‌تر از شرایط موجود در مسئله این پژوهش است. این پژوهش به‌منظور افزایش روایی و پایایی مدل خود، از چک‌لیست به‌جای پرسشنامه استفاده نمود و به‌منظور تکمیل آن با محدودیت‌ها و پیچیدگی‌های متعددی نیز مواجه شد. مطابق با یافته‌ها و نتایج حاصل از این پژوهش در صنایع نظامی، می‌توان موارد زیر را جهت سیاست‌گذاری‌های آتی ودجا پیشنهاد نمود:

- لایه‌بندی استراتژیک تأمین‌کنندگان: اصطلاح لایه‌بندی تأمین‌کنندگان، روشی برای ساختاردهی زنجیره تأمین است. در این نوع ساختاردهی، قاعده زنجیره تأمین کوچک‌تر شده و تعداد کمی از تأمین‌کنندگان استراتژیک به‌عنوان سازنده لایه اول، مسئول تعداد دیگری از تأمین‌کنندگان (تأمین‌کنندگان لایه دوم) بوده و این تمرکززدایی مدیریت در طول زنجیره پیش می‌رود. لذا پیشنهاد می‌شود چنین روشی در ودجا در دستور کار قرار گیرد؛ چراکه باعث توزیع ریسک‌های زنجیره به لایه‌های مختلف آن شده و همچنین پتانسیل مدیریتی کمتری جهت مدیریت تأمین‌کنندگان لایه اول صرف خواهد شد.

- اصلاح و متناسب‌سازی چک‌لیستهای فعلی ارزیابی تأمین‌کنندگان: با توجه به مدل پیشنهادی



پژوهش می‌توان چک‌لیست‌های فعلی ارزیابی تأمین‌کنندگان را که دارای زمینه‌های بهبود متعددی است، اصلاح و به‌روزرسانی نمود. همچنین پیشنهاد می‌شود روش‌های امتیازدهی استاندارد شده و ارزیابان در دوره‌های آموزشی همسو شوند تا بروز سلايق در ارزیابی‌ها کاهش یابد.

- شناسایی تأمین‌کنندگان توانمند و مستعد برقراری ارتباط بلندمدت: با استفاده از مدل پیشنهادی پژوهش می‌توان پیش از انتخاب و انعقاد قرارداد با تأمین‌کنندگان و توسعه شبکه تأمین، نسبت به ارزیابی آنان با در نظر گرفتن تمامی ابعاد فنی و محصولی، سازمانی، ارتجاعی و سبز اقدام و تأمین‌کنندگان سطح بالا را انتخاب نمود.

- تقویت فنی و دانشی تأمین‌کنندگان و توسعه سطح توانمندی شبکه تأمین: یکی از موارد مهم پس از ارزیابی شبکه تأمین، شناخت شاخص‌ها و معیارهایی است که شبکه در آن ضعف دارد و لازم است تا صنعت از توان تجهیزاتی، فنی، دانشی و مدیریتی خود جهت توانمندسازی تأمین‌کنندگان استفاده نماید. همان‌گونه که نتایج این پژوهش نشان داد، لازم است تا تیم‌هایی از صنایع در محل تأمین‌کنندگان حضور یابند و طی تعاملات و برگزاری جلسات و دوره‌های آموزشی مطابق با نیازهای فنی و مدیریتی، توانمندی‌های آنان را در بازه‌های زمانی متناسب توسعه دهند. در اختیار گذاشتن فضا، تجهیزات و ماشین‌آلات به‌صورت امانی هرچند از لحاظ قانونی دارای محدودیت‌هایی در سطح ودجا است، اما با بازنگری در این قوانین و مقررات، قیمت قراردادهای برون‌سپاری به نفع ودجا کاهش خواهد یافت و از طرفی، رضایت بیشتری برای تأمین‌کنندگان هم حاصل خواهد شد.

- بهبود سازوکار ارتباط با تأمین‌کنندگان کلیدی: لازم است تا نحوه تعامل با تأمین‌کنندگان دارای نمره بالا در سطح‌بندی که قابلیت‌ها و توانمندی‌های آنان مطابق روش پیشنهادی پژوهش احصا شده است، متفاوت با تأمین‌کنندگان سطوح پایین‌تر باشد. این تأمین‌کنندگان در کلیه سازوکارهای بهبود روابط با تأمین‌کنندگان همچون اولویت پرداخت‌ها، تسهیلات تقویت و توسعه، تسهیل جریان‌های اطلاعاتی، تقسیم ریسک قراردادهای و مانند آن‌ها می‌توانند در اولویت قرار گیرند. درواقع در شرایط محدودیت منابع، ودجا به شکل هدفمند می‌داند برای چه تأمین‌کنندگانی باید شرایط ویژه‌تری لحاظ نماید.

پیشنهاد می‌شود تا در پژوهش‌های آتی، بانک اطلاعاتی مناسبی توسط شرکت‌ها تهیه و وضعیت قراردادهای و اطلاعات تأمین‌کنندگان در آن به‌صورت مستمر به‌روزرسانی شود تا جمع‌آوری داده‌های آسان‌تر گردد. ضمن آنکه می‌توان نرم‌افزار جامعی جهت ارزیابی تأمین‌کنندگان بر مبنای مدل پژوهش یا مدل بومی‌سازی شده شرکت، طراحی و پیاده‌سازی نمود تا به‌صورت آنلاین و با نمودار و تصویر، وضعیت تأمین‌کنندگان را به‌صورت بازه‌های شش‌ماهه یا به‌فراخور مسئله در بازه‌های سالانه، گزارش نماید.

روشی که در این پژوهش ارائه شد شامل روشی گام‌به‌گام است که تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد شاخص‌های مثبت، منفی و مبتنی بر هدف اعم از کیفی و کمی را در فرآیند بهینه‌سازی تصمیم در شرایط قطعیت و عدم قطعیت در نظر بگیرد. با توجه به عمومیت روش ارائه‌شده، پیاده‌سازی این روش در

مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره در سایر حوزه‌های مدیریتی یکی از پیشنهادهای کاربردی این پژوهش است. همچنین روش این پژوهش بر پایه «تحلیل رابطه‌ای خاکستری» استوار شده بود؛ به‌عنوان پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی می‌توان با استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری مانند ANP، Structural Analysis و DEA، PROMOTEE یا سایر روش‌های مواجهه با عدم قطعیت مانند نوع دوم اعداد فازی، نقشه‌های شناختی و... این روش را توسعه و مورد مقایسه قرار داد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر خود از تمامی کسانی که در انجام و جمع‌آوری اطلاعات این پژوهش و همچنین سردبیر محترم بابت نظرات و پیشنهادهای سازنده‌شان اعلام می‌دارد.

**References:**

منابع :

۱. Boks, C. and A. Stevels, Essential perspectives for design for environment, Experiences from the electronics industry, *International Journal of Production Research*, 2007, 45(18-19): pp. 4021-4039.
۲. Ponomarov, S. Y. and M. C. Holcomb, Understanding the concept of supply chain resilience, *The International Journal of Logistics Management*, 2009, 20(1): pp. 124-143.
۳. Li, G. D., D. Yamaguchi, and M. Nagai, A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem, *Mathematical and computer modelling*, 2007, 46(3): pp. 573-581.
۴. Golmohammadi, D. and M. Mellat-Parast, Developing a grey-based decision-making model for supplier selection, *International Journal of Production Economics*, 2012, 137(2): pp. 191-200.
۵. Rajesh, R. and V. Ravi, Supplier selection in resilient supply chains: a grey relational analysis approach, *Journal of Cleaner Production*, 2015, 86: pp. 343-359.
۶. Christopher, M., *Logistics & Supply Chain Management*, Pearson Education Limited, 2016.
۷. Talib, F., Z. Rahman, and M. Qureshi, A study of total quality management and supply chain management practices, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2011, 60(3): pp. 268-288.
۸. Peck, H., Drivers of supply chain vulnerability: an integrated framework, *International journal of physical distribution & logistics management*, 2005, 35(4): pp. 210-232.
۹. Mahapatra, S. K., R. Narasimhan, and P. Barbieri, Strategic interdependence, governance effectiveness and supplier performance: A dyadic case study investigation and theory development, *Journal of Operations Management*, 2010, 28(6): pp. 537-552.
۱۰. Punniyamorthy, M., P. Mathiyalagan, and P. Parthiban, A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection, *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(1): pp. 458-474.
۱۱. Deng, X., Y. Hu, Y. Deng, and S. Mahadevan, Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers, *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(1): pp. 156-167.
۱۲. Karsak, E. E. and M. Dursun, An integrated fuzzy MCDM approach for supplier evaluation and selection, *Computers & Industrial Engineering*, 2015, 82: pp. 82-93.
۱۳. Pitchipoo, P., P. Venkumar, and S. Rajakarunakaran, Grey decision model for supplier evaluation and selection in process industry: a comparative perspective, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, 76(9-12): pp. 2059-2069.
۱۴. Kar, A. K., A hybrid group decision support system for supplier selection using analytic hierarchy process, fuzzy set theory and neural network, *Journal of Computational Science*, 2015, 6: pp. 23-33.
۱۵. Moghaddam, K. S., Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty, *Expert Systems with Applications*, 2015, 42(15): pp. 6237-6254.
۱۶. Dey, B., B. Bairagi, B. Sarkar, and S. K. Sanyal, Multi objective performance analysis: A novel multi-criteria decision making approach for a supply chain, *Computers & Industrial Engineering*, 2016, 94: pp. 105-124.
۱۷. Lima-Junior, F. R. and L. C. R. Carpinetti, Combining SCOR® model and fuzzy TOPSIS for supplier evaluation and management, *International Journal of Production Economics*, 2016, 174: pp. 128-141.
۱۸. Amiri, M., K. Feizi, A.M. Fakoor S., and L. Olfat, A model of Supply chain resilience for competitiveness in Iranian automotive companies, *Journal of Production and Operations Management*, 2014, 5(1): pp. 143-164.
۱۹. Moore, S. B. and S. L. Manring, Strategy development in small and medium sized enterprises for sustainability and increased value creation, *Journal of cleaner production*, 2009, 17(2): pp. 276-282.
۲۰. Soni, U., V. Jain, and S. Kumar, Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach, *Computers & Industrial Engineering*, 2014, 74: pp. 11-25.
۲۱. Scholten, K. and S. Schilder, The role of collaboration in supply chain resilience, *Supply Chain Management: An International Journal*, 2015, 20(4): pp. 471-484.
۲۲. Torabi, S., M. Baghersad, and S. Mansouri, Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2015, 79: pp. 22-48.
۲۳. Tseng, M. L. and A. S. Chiu, Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences, *Journal of cleaner production*, 2013, 40: pp. 22-31.

۲۴. Nielsen, I. E., N. Banaeian, P. Golińska, H. Mobli, and M. Omid, Green supplier selection criteria: from a literature review to a flexible framework for determination of suitable criteria, in *Logistics Operations, Supply Chain Management and Sustainability*, 2014, Springer. pp. 79-99.
۲۵. Govindan, K., S. Rajendran, J. Sarkis, and P. Murugesan, Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review, *Journal of Cleaner Production*, 2015, 98: pp. 66-83.
۲۶. Kuo, T. C., C. W. Hsu, and J. Y. Li, Developing a green supplier selection model by using the DANP with VIKOR, *Sustainability*, 2015, 7(2): pp. 1661-1689.
۲۷. Baskaran, V., S. Nachiappan, and S. Rahman, Indian textile suppliers' sustainability evaluation using the grey approach, *International Journal of Production Economics*, 2012, 135(2): pp. 647-658.
۲۸. Bali, O., E. Kose, and S. Gumus, Green supplier selection based on IFS and GRA, *Grey Systems: Theory and Application*, 2013, 3(2): pp. 158-176.
۲۹. Tang, H., A novel fuzzy soft set approach in decision making based on grey relational analysis and Dempster-Shafer theory of evidence, *Applied Soft Computing*, 2015, 31: pp. 317-325.
۳۰. Hashemi, S. H., A. Karimi, and M. Tavana, An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis, *International Journal of Production Economics*, 2015, 159: pp. 178-191.
۳۱. Ramesh, S., R. Viswanathan, and S. Ambika, Measurement and optimization of surface roughness and tool wear via grey relational analysis, TOPSIS and RSA techniques, *Measurement*, 2016, 78: pp. 63-72.
۳۲. Wang, P., Z. Zhu, and Y. Wang, A novel hybrid MCDM model combining the SAW, TOPSIS and GRA methods based on experimental design, *Information Sciences*, 2016, 345: pp. 27-45.
۳۳. Tseng, M. L., Using linguistic preferences and grey relational analysis to evaluate the environmental knowledge management capacity, *Expert systems with applications*, 2010, 37(1): pp. 70-81.
۳۴. Kuo, Y., T. Yang, and G.-W. Huang, The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems, *Computers & Industrial Engineering*, 2008, 55(1): pp. 80-93.
۳۵. Wang, Y. J., Applying FMCDM to evaluate financial performance of domestic airlines in Taiwan, *Expert Systems with Applications*, 2008, 34(3): pp. 1837-1845.
۳۶. Li, G. D., D. Yamaguchi, and M. Nagai, A grey-based rough decision-making approach to supplier selection, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008, 36(9): pp. 1032-1040.
۳۷. Chan, F. T., N. Kumar, M. Tiwari, H. C. Lau, and K. Choy, Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach, *International Journal of production research*, 2008, 46(14): pp. 3825-3857.
۳۸. Chakradhar, D. and A.V. Gopal, Multi-objective optimization of electrochemical machining of EN31 steel by grey relational analysis, *International Journal of Modeling and optimization*, 2011, 1(2): pp. 113.
۳۹. Manivannan, S., S. P. Devi, R. Arumugam, and N. Sudharsan, Multi-objective optimization of flat plate heat sink using Taguchi-based Grey relational analysis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, 52(5): pp. 739-749.
۴۰. Yang, Y., C. Shih, and R. Fung, Multi-objective optimization of the light guide rod by using the combined Taguchi method and Grey relational approach, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2014, 25(1): pp. 99-107.
۴۱. Ghorabae, M. K., E. K. Zavadskas, M. Amiri, and A. Esmaeili, Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets, *Journal of Cleaner Production*, 2016, 137: pp. 213-229.
۴۲. Mehregan, M. R. and A. Dabbaghi, Developing a Generalized Grey Relational Analysis Methodology, *Management Researches*, 2014, 7(23): pp. 5-25.
۴۳. Malek, A., S. Ebrahimnejad, and R. Tavakkoli-Moghaddam, An Improved Hybrid Grey Relational Analysis Approach for Green Resilient Supply Chain Network Assessment. *Sustainability*, 2017, 9(8): pp. 1433.
۴۴. Taghavifard, M. T. and A. M. Malek, Using Grey decision making approach to ranking Key Performance Indicators (KPI) and increase effectiveness of strategic plans, *Industrial Management Studies*, 2011, 9(22): pp. 135-165.
۴۵. Junior, F. R. L., L. Osiro, and L. C. R. Carpinetti, A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection, *Applied Soft Computing*, 2014, 21: pp. 194-209.

