Journalof Farayandno – Vol. 20 – No. 89 (2025): 77-100

Review Article

DOI: 10.22034/farayandno.2025.2052676.1987

This journal is an open access journal licensed under an Attribution-Non Commercial 4.0 International Licenses (CC BY-NC 4.0).

Identification, Weighting, and Ranking of Green Suppliers Using Multi-Criteria Decision-Making Methods

Iman Heydari [1], Kamran Kianfar [2*], Mahdi Imanian Najafabadi [3]

[1] Msc. of Industrial Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran

[2] Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran

[3] National Iranian Oil Products Distribution Company, Isfahan, Iran

Received: 5 Feb 2025 **Accepted:** 13 May 2025

Abstract

This research aimed to identify, weight, and rank green suppliers for the National Iranian Oil Products Distribution Company. Initially, 73 preliminary criteria were identified through a review of scientific literature and expert opinions, followed by the screening of 10 key criteria using the CVI index. AHP, CRITIC, and Shannon Entropy methods were used for weight assignment, and the TOPSIS, CoCoSo, and MARCOS methods were applied for supplier ranking. In this study, the projector product was selected as a case study, and three companies (Golnoor, MaziNoor, and Shayan Bargh) were evaluated. The results showed that the sub-criteria of cost, product quality, on-time delivery, greenhouse gas emissions, and employee training had the highest weights in the decision-making process. Ultimately, Golnoor achieved the highest rank across all methods with a final weight of 0.394 and was selected as the top green supplier, while Shayan Bargh and Mazi Noor had final weights of 0.316 and 0.291, respectively.

Keyword: Multi-Criteria Decision Making, National Iranian Oil Products Distribution Company, Green Supplier Selection, Expert Choice Software.

* k.kianfar@eng.ui.ac.ir

Please Cite This Article Using:

Heydari, I., Kianfar, K., Imanian Najafabadi, M., “Identification, Weighting, and Ranking of Green Suppliers Using Multi-Criteria Decision-Making Methods”, Journal of Farayandno – Vol. 20 – No. 89, pp. 77-100, In Persian, (2025).

مقاله ترویجی

DOI: 10.22034/farayandno.2025.2052676.1987

This journal is an open access journal licensed under an Attribution-Non Commercial 4.0 International Licenses (CC BY-NC 4.0).

شناسایی، وزن‌دهی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان سبز با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

ایمان حیدری [1]، کامران کیانفر [2*]، مهدی ایمانیان نجف‌آبادی [3]

[1] کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

[2] دانشیار مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

[3] شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، اصفهان، ایران

دریافت: 1403/11/17 **پذیرش:** 1404/02/23

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی، وزن‌دهی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان سبز برای شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران انجام شد. در ابتدا، 73 شاخص اولیه با مرور منابع علمی و نظرات خبرگان شناسایی گردید و سپس 10 معیار کلیدی با استفاده از شاخص CVI غربالگری شدند. برای وزن‌دهی معیارها از روش‌های AHP، کریتیک و آنتروپی شانون استفاده شد و برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان، روش‌های تاپسیس، کوکوسو و مارکوس به‌کار گرفته شدند. در این تحقیق، محصول پروژکتور به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب و سه شرکت گلنور، مازی نور و شایان برق ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که زیرمعیارهای هزینه، کیفیت محصول، تحویل به‌موقع، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آموزش کارکنان بیشترین وزن را در فرآیند تصمیم‌گیری داشتند. در نهایت، شرکت گلنور با کسب وزن نهایی 0/394 در تمامی روش‌ها بالاترین رتبه را کسب کرده و به‌عنوان برترین تأمین‌کننده سبز انتخاب شد و شرکت‌های شایان برق و مازی نور به‌ترتیب وزن‌های 0/316 و 0/291 را داشتند.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی، انتخاب تامین‌کننده سبز، نرم‌افزار، Expert Choice.

* k.kianfar@eng.ui.ac.ir

استناد به مقاله:

حیدری،ا.، کیانفر،ک.، ایمانیان نجف‌آبادی،م.، "شناسایی، وزن‌دهی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان سبز با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره"، نشریه فرآیندنو، سال بیستم، شماره 89، صص.100-77، (بهار 1404).

1- مقدمه

در دهه‌های اخیر، نگرانی‌های زیست‌محیطی و تلاش برای دستیابی به توسعه پایدار به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های سازمان‌ها تبدیل شده است. تغییرات اقلیمی، کاهش منابع طبیعی، افزایش آلایندگی زیست‌محیطی و الزامات قانونی و اجتماعی، همگی باعث شده‌اند تا شرکت‌ها به دنبال راه‌حل‌هایی باشند که بتوانند ضمن کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی، عملکرد اقتصادی و اجتماعی خود را بهبود بخشند. یکی از رویکردهای مهم و کارآمد در این زمینه، مدیریت زنجیره تأمین سبز است که بر ادغام معیارهای زیست‌محیطی در تمامی مراحل زنجیره تأمین از طراحی تا بازیافت تمرکز دارد. این رویکرد با تأکید بر مسئولیت اجتماعی و بهره‌وری پایدار، توانسته است سازمان‌ها را در مسیر تحقق اهداف توسعه پایدار و حفظ مزیت رقابتی یاری دهد.

زنجیره تأمین سبز مفهومی است که تمامی اجزای زنجیره تأمین، از تأمین مواد اولیه تا تولید، توزیع و بازیافت را شامل می‌شود. در این نوع مدیریت، معیارهایی نظیر کاهش مصرف منابع، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت پسماند، طراحی محصولات دوستدار محیط‌زیست و بهره‌وری اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرند. تأمین‌کنندگان، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای زنجیره تأمین، نقشی کلیدی در دستیابی به اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی ایفا می‌کنند. انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب با توجه به معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش آلودگی‌ها و بهبود عملکرد کلی زنجیره تأمین داشته باشد.

صنعت نفت و گاز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع تأثیرگذار در اقتصاد جهانی، نقش کلیدی در توسعه اقتصادی و صنعتی کشورها ایفا می‌کند. این صنعت، ضمن تأثیرات مثبت اقتصادی، با چالش‌های گسترده‌ای در حوزه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مواجه است. انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی منابع آب و خاک، تخریب زیستگاه‌های طبیعی و مصرف بالای انرژی، از جمله پیامدهای زیست‌محیطی این صنعت به‌شمار می‌آید. این مسائل، همراه با افزایش آگاهی عمومی و فشارهای قانونی و اجتماعی، شرکت‌های فعال در این حوزه را وادار کرده است تا توجه بیشتری به پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی داشته باشند.

شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های فعال در صنعت نفت و انرژی کشور، با چالش‌های متعددی در زمینه مدیریت منابع و رعایت اصول زیست‌محیطی مواجه است. این شرکت به دلیل گستردگی فعالیت‌ها و سهم بالای خود در مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها، نیازمند اتخاذ رویکردی جامع و پایدار برای مدیریت زنجیره تأمین است. انتخاب تأمین‌کنندگان سبز، یکی از گام‌های اساسی در این مسیر است که می‌تواند به کاهش اثرات زیست‌محیطی و بهبود عملکرد اقتصادی این شرکت کمک کند.

در این راستا، پژوهش حاضر به شناسایی و ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز برای شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران می‌پردازد. این پژوهش، چارچوبی جامع برای انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه می‌دهد که علاوه بر معیارهای اقتصادی، به معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی نیز توجه دارد. برای این منظور، از تشخیص و کمّی‌سازی معیارهای تاثیرگذار بر انتخاب تامین‌کننده و نیز روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی کمک کند تا تصمیماتی مبتنی بر داده‌های دقیق و شواهد مستند اتخاذ کنند. در حال حاضر تامین‌کنندگان کالا و خدمات برای شرکت مذکور از طریق سامانه ستاد انتخاب می‌شوند که عموماً تنها شاخص هزینه را مدنظر قرار می‌دهد.

ساختار این مقاله در پنج بخش تنظیم شده است. در بخش دوم، پیشینه پژوهش ارائه شده است. بخش سوم، به روش تحقیق و مراحل انجام پژوهش اختصاص دارد. در بخش چهارم، تحلیل داده‌ها و نتایج به تفصیل بیان شده و در نهایت، بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

2- مرور پیشینه پژوهش

پیشینه پژوهش در سه بخش ارائه می‌شود. در بخش اول پژوهش‌های مربوط به روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و چندهدفه در انتخاب تامین‌کننده سبز را در صنایع مختلف بررسی می‌کنیم. بخش دوم به معرفی پایداری و تاب‌آوری در انتخاب تامین‌کنندگان در زنجیره تامین می‌پردازد و در بخش سوم مطالعات مربوط به انتخاب تامین کننده در صنعت پتروشیمی و نفت و گاز را مورد بررسی قرار می‌دهد.

روش‌های تصمیم‌گیری در انتخاب تامین‌کننده سبز: مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه و چندمعیاره با ترکیب معیارهای کمّی و کیفی، امکان تحلیل دقیق و جامع را فراهم می‌کنند. در این راستا، ساها و همکاران [1] مدلی مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی توافقی و عملگرهای وزن‌دهی فازی برای انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تامین سلامت ارائه داده‌اند. این مدل به‌ویژه در مدیریت عدم قطعیت و افزایش توافق میان کارشناسان عملکرد خوبی داشته و نتایج بهتری در مقایسه با روش‌های سنتی ارائه می‌دهد. همچنین، گونری و دیویچی [2] با استفاده از روش تصمیم‌گیری فازی مبتنی بر ارزیابی فاصله، تأثیر معیارهای مختلف مانند عملکرد محصول، کیفیت و قیمت در صنعت دفاعی را ارزیابی کرده‌اند. مانیک [3] نیز با تحلیل سلسله‌مراتبی در انتخاب تأمین‌کنندگان دارویی، اهمیت معیارهایی مانند هزینه، کیفیت و تحویل را مورد بررسی قرار داده است. اسماعیل‌زاده و سادات طایفی [4] با استفاده از روش بهترین-بدترین در صنعت خودروسازی به اولویت‌بندی شاخص‌ها و انتخاب تامین‌کننده پرداخته و نشان دادند که عواملی همچون قیمت و نوآوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. میرغفوری و همکاران [5] با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل میانگین وزنی مرتب شده (OWA) و پرومته، مدلی برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز در صنعت کاشی و سرامیک استان یزد ارائه می‌دهد و شش معیار کلیدی مانند تامین و خرید سبز، طراحی سبز، و تولید سبز را برای ارزیابی عملکرد محیطی شرکت‌ها معرفی می‌کند.

پایداری و تاب‌آوری در انتخاب تامین‌کنندگان: این دو از مفاهیم کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین هستند که به بهبود عملکرد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی تأمین‌کنندگان و افزایش انعطاف‌پذیری در برابر چالش‌های مختلف کمک می‌کنند. در این راستا، چاکرابورتی و همکاران [6] مدلی مبتنی بر مقایسه مرزی چندشاخصی برای انتخاب تأمین‌کنندگان در حوزه خدمات درمانی ارائه دادند. این مدل به‌ویژه در محیط‌های فازی به‌کارگرفته شده و توانایی بالایی در بهینه‌سازی معیارهای متناقضی مانند کیفیت، پاسخگویی و قابلیت اطمینان در انتخاب تأمین‌کننده دارد. در پژوهش دیگری، گوکلر و بوران [7] مدلی ترکیبی برای انتخاب تأمین‌کنندگان تاب‌آور و پایدار با استفاده از روش‌های دیمتل و تحلیل سلسله‌مراتبی عددی ارائه داده‌اند که در آن معیارهای کیفی و کمی متناقض به‌خوبی مدیریت می‌شوند. همچنین، نظری و همکاران [8] یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه فازی مقاوم برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش طراحی کردند که با هدف دستیابی به پایداری و تعادل میان اهداف مختلف در شرایط عدم قطعیت کار می‌کند. در نهایت، نیری و همکاران [9] با معرفی مدل تصمیم‌گیری چندمرحله‌ای، پایداری، پاسخ‌گویی و انعطاف‌پذیری را در انتخاب تأمین‌کننده‌ها و تخصیص سفارش‌ها ارزیابی کردند و نشان دادند که

معیارهایی نظیر چابکی، هزینه، کیفیت و مدیریت پسماند از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این مطالعات نشان می‌دهند که برای انتخاب تأمین‌کنندگان تاب‌آور و پایدار، می‌بایست از مدل‌های ترکیبی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شود که قادر به ارزیابی دقیق و بهینه‌سازی معیارهای کیفی و کمی در شرایط پیچیده و عدم قطعیت باشند. **انتخاب تامین کننده در صنعت پتروشیمی و نفت و گاز:** نصری و همکاران [10] روشی پایدار برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل تأمین‌کنندگان در صنعت نفت و فرآورده‌های نفتی ارائه کرده‌اند. این روش، با استفاده از ترکیب دیمتل فازی و فرآیند تجزیه تحلیل شبکه‌ای، امکان انتخاب تأمین‌کنندگان را با توجه به تأثیرات محیطی، اجتماعی و اقتصادی فراهم می‌کند. جنتی پور و همکاران [11] با استفاده از روش ترکیبی AHP وQFD تأمین‌کنندگان را در پروژه‌های نفت و گاز ارزیابی کرده‌اند. این روش‌ها با توجه به نیازهای پروژه و نظرات ذینفعان، معیارهایی چون کیفیت و زمان تحویل را در انتخاب تأمین‌کنندگان در نظر می‌گیرند. همچنین، میرفخرالدینی و همکاران [12] در پژوهشی با استفاده از مدل ترکیبی تاپسیس فازی و برنامه‌ریزی آرمانی چندهدفه، به حل مسأله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش‌ها پرداخته‌اند. این مدل با استفاده از تصمیم‌گیری گروهی و در نظر گرفتن اطلاعات غیرقطعی، قادر به حل مسائل پیچیده انتخاب تأمین‌کننده است. حاجی یخچالی و همکاران [13] مدلی مبتنی بر مقایسه مرزی چندشاخصی برای انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین سبز پروژه‌های صنعت نفت و گاز ارائه داده‌اند. این مدل در محیط‌های فازی و با هدف بهینه‌سازی معیارهایی مانند کیفیت، پاسخگویی و قابلیت اطمینان طراحی شده است. پاک‌سرشت و همکاران [14] با تلفیق روش‌های Group Fuzzy SMARTS و تحلیل پوششی داده‌ها، یک مدل ریاضی برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز در شرکت بهره‌برداری نفت و گاز شرق ارائه می‌دهند. با استفاده از منطق فازی و تصمیم‌گیری گروهی، معیارهای کیفی و کمی (مانند قیمت، کیفیت، تحویل به موقع، و برنامه‌های زیست‌محیطی) به‌صورت یکپارچه ارزیابی شده و وزن‌دهی می‌شوند و سپس با به‌کارگیری DEA، کارایی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان مشخص می‌شود. جدول 1 پژوهش‌های انجام شده در حوزه انتخاب تامین‌کننده را از جنبه‌های مختلف (مطالعه موردی، روش حل، ایستا/ پویا، تک‌دوره‌ای یا چنددوره‌ای، قطعی/ غیرقطعی، معیار انتخاب تامین‌کننده) با پژوهش حاضر مقایسه می‌نماید.

جدول 1- مرور ادبیات مرتبط با این پژوهش

مرجع	مورد مطالعه	روش حل	ایستا/پویا *	تک/چند دوره‌ای **	قطعی/غیرقطعی ***	معیار انتخاب تامین‌کننده
Dai [15]	مراقبت‌های بهداشتی	SMAA , MABAC	2	2	2	ریسک، کیفیت، دسترسی، قابلیت اطمینان، هزینه
Gökler [7]	شرکت خودروسازی	AHP،DEMATEL	2	2	2	هزینه ،کیفیت ،زمان ،انعطاف‌پذیری ،پایداری
Nazari [8]	_	برنامه‌ریزی چندهدفه فازی	2	2	2	هزینه حمل‌ونقل، جریمه تأخیر، پارامتر تقاضا
Demiralay [16]	تولیدکننده قطعات یدکی خودرو	_	1	1	1	هزینه، کیفیت
Ahmad [17]	صنعت تسمه‌نقاله	مدل برنامه‌ریزی ریاضی، روش تاگوچی	1	2	2	قابلیت اطمینان، کیفیت
Nayeri [9]	تجهیزات پزشکی	بهترین-بدترین فازی	2	2	2	هزینه، کیفیت، چابکی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، استحکام، مدیریت پسماند

مرجع	مورد مطالعه	روش حل	ایستا/پویا *	تک/چند دوره‌ای **	قطعی/غیرقطعی ***	معیار انتخاب تامین‌کننده
Chakraborty [6]	سایت‌های مراقبت‌های بهداشتی	MABAC	1	1	2	قابلیت اطمینان، کیفیت، پشتیبانی
Güneri [2]	صنایع دفاعی	AHP , EDAS	1	1	2	کیفیت، پایداری، عملکرد محصول، کنترل‌های عملیاتی
Lin [18]	تولیدکننده مواد نسوز در تایوان	AHP	1	1	1	کیفیت، پشتیبانی، لجستیک، سابقه تامین‌کننده
Al Hazza [19]	تولیدکننده کارتن راه‌راه	AHP	1	1	1	قابلیت عملیاتی، رویکرد مشتری، عملکرد اقتصادی، جهت‌گیری استراتژیک، تحقیق‌وتوسعه
Hosseini [20]	_	شبکه‌های بیزی	1	1	2	هزینه، کیفیت، زمان تحویل
ابراهیمی [21]	شرکت گاز استان کردستان	AHP, WASPAS	1	1	2	هزینه
حاجی‌یخچالی [13]	_	AHP, TOPSIS	1	2	1	نوآوری سبز، مدیریت کیفیت، مدیریت مواد خطرناک، تصویر سبز، محصول سبز، کنترل آلودگی
نصری [10]	شرکت ملی نفت ایران	فازی دیمتل و فرآیند تجزیه تحلیل شبکه‌ای	1	1	1	هزینه، کیفیت، پایداری، کنترل آلودگی
جنتی پور [11]	پتروپارس	AHP-QFD	2	2	1	کیفیت، هزینه، زمان تحویل، نوآوری
میرفخرالدینی [12]	شرکت نفت	تاپسیس‌فازی، برنامه‌ریزی آرمانی چندهدفه	1	1	2	قیمت، کیفیت کالا و خدمات، زمان تحویل
پژوهش حاضر	شرکت پخش فراورده‌های نفتی	AHP, TOPSIS, CoCoSo, CRITIC, MARCOS	1	1	1	کیفیت، ایمنی شغلی، مقررات زیست‌محیطی، هزینه، گازهای گلخانه‌ای، ارسال به‌موقع، قابلیت دسترسی، مدیریت ضایعات، مدیریت پسماند، توسعه مهارت کارکنان

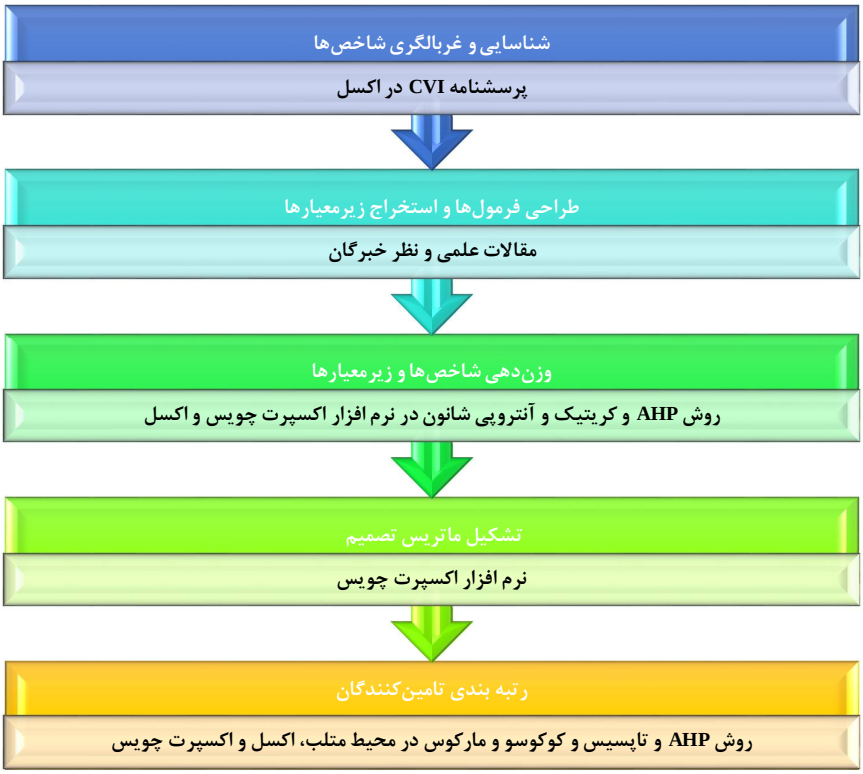
* 1) ایستا 2) پویا ** 1) تک‌دوره‌ای 2) چنددوره‌ای *** 1) قطعی 2) عدم قطعیت

پژوهش حاضر به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل زیست‌محیطی مؤثر بر انتخاب تأمین‌کنندگان سبز در شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی می‌پردازد، که تاکنون به‌صورت جامع بررسی نشده است. با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند AHP، آنتروپی شانون، کریتیک، تاپسیس، کوکوسو و مارکوس، شاخص‌ها تحلیل و نتایج مقایسه می‌شوند تا ارزیابی جامعی از تأثیر عوامل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی ارائه شود. با مقایسه پژوهش حاضر با مطالعات پیشین در جدول 1 مشخص است که پژوهش حاضر مجموعه کاملی از معیارهای ارزیابی تامین‌کننده را از جنبه‌های مختلف مدنظر قرار می‌دهد که در ادبیات موضوع مشاهده نشد و نیز انواع روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تحلیل این مساله استفاده شده است تا امکان مقایسه نتایج روش‌های مختلف و رسیدن به یک تصمیم مطمئن فراهم شود.

3- روش تحقیق

پژوهش حاضر در مرحله نخست، با مرور منابع علمی و جمع‌آوری نظرات خبرگان صنعت، معیارهای تأثیرگذار در انتخاب تأمین‌کنندگان را شناسایی می‌کند. این معیارها شامل عواملی نظیر کیفیت خدمات، هزینه‌ها، رعایت استانداردهای زیست‌محیطی، مدیریت پسماند، مصرف انرژی و مسئولیت اجتماعی هستند. سپس این معیارها با

استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی[1]، کریتیک[2] و آنتروپی شانون وزن‌دهی شدند. روش تحلیل سلسله‌مراتبی با بهره‌گیری از مقایسات زوجی و قضاوت‌های خبرگان، وزن نسبی هر معیار را تعیین می‌کند. درحالی‌که روش‌های کریتیک و آنتروپی شانون، براساس تحلیل داده‌های عینی و پراکندگی اطلاعات، وزن معیارها را محاسبه می‌کنند.
برای رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان، از سه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل تاپسیس[3]، کوکوسو[4] و مارکوس[5] استفاده شده است. روش تاپسیس گزینه‌ها را بر اساس فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و ضدایده‌آل ارزیابی می‌کند. روش کوکوسو با ترکیب میانگین هندسی و حسابی معیارها، بهترین گزینه را شناسایی می‌کند و روش مارکوس با تحلیل جامع ایده‌آل مثبت و منفی، به ارزیابی دقیق‌تری می‌پردازد.
این پژوهش با رویکرد ترکیبی (کمّی و کیفی) به تحلیل و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان سبز در شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی پرداخته است. از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی، تاپسیس، کوکوسو، مارکوس و کریتیک به همراه نرم‌افزارهای اکسپرت چویس[6]، اکسل و متلب برای تحلیل داده‌ها استفاده شده است. روند کلی مراحل پژوهش و ابزارهای مورد استفاده در هر مرحله در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1- روند کلی مراحل پژوهش و ابزارهای مورد استفاده

[1] AHP: Analytic Hierarchy Process
[2] CRITIC: Criteria Importance Through Intercriteria Correlation
[3] TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
[4] CoCoSo: Combined Compromise Solution
[5] MARCOS: Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution
[6] Expert Choice Software

3-1 شناسایی و غربالگری شاخص‌ها

شناسایی و غربالگری شاخص‌ها به‌عنوان مرحله‌ای کلیدی، به‌منظور تعیین معیارهای اساسی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز انجام شد. ابتدا با مرور منابع علمی و نظرات خبرگان، 73 شاخص اولیه در چهار دسته زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و عملکردی شناسایی شدند. این شاخص‌ها شامل مواردی مانند مدیریت پسماند، ایمنی شغلی، هزینه و کیفیت خدمات بودند. با استفاده از روش روایی محتوایی[7] این شاخص‌ها توسط خبرگان بر اساس معیارهای سادگی، وضوح و تناسب ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که از میان شاخص‌های اولیه، 10 شاخص کلیدی نظیر کیفیت محصول و خدمات، ارسال به‌موقع، انتشار گازهای گلخانه‌ای، هزینه و مدیریت ضایعات برای ادامه پژوهش مناسب هستند. این مرحله، مبنای مطمئنی برای تحلیل‌های بعدی، از جمله وزن‌دهی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان، فراهم کرد.

3-2 طراحی فرمول‌ها و استخراج زیرمعیارها

پس از شناسایی و غربالگری شاخص‌ها، مرحله طراحی فرمول‌ها و استخراج زیرمعیارها آغاز شد. هر یک از شاخص‌های کلیدی با دقت مورد بررسی قرار گرفتند و زیرمعیارهایی برای آن‌ها تعریف شد که امکان تحلیل دقیق‌تر عملکرد تأمین‌کنندگان را فراهم آوردند. روابط مناسب برای محاسبه هر زیرمعیار به‌گونه‌ای طراحی شدند که تمام ابعاد کمّی و کیفی شاخص‌ها را پوشش دهند. کلیه روابط زیرمعیارها در جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 2- زیرمعیارهای هر شاخص و روابط مربوطه

نام زیر معیار	رابطه	نام زیر معیار	رابطه
(شاخص کیفیت: C_1)			
درصد محصولات معیوب: $C_1^{(1)}$	تعداد محصولات معیوب / تعداد کل محصولات خریداری شده	میانگین امتیاز رضایت مشتریان: $C_1^{(3)}$	امتیاز رضایت مشتری از کیفیت محصول / تعداد کل نظرات
نرخ بازگشت محصولات: $C_1^{(2)}$	تعداد محصولات بازگردانده شده / تعداد کل محصولات خریداری شده	انطباق فرآیند تولید با استانداردهای کیفی: $C_1^{(4)}$	تعداد محصولات دارای استاندارد / تعداد کل محصولات خریداری شده
(شاخص ایمنی و بهداشت شغلی: C_2)			
نرخ وقوع حوادث شغلی: $C_2^{(1)}$	تعداد حوادث محل کار / تعداد کل کارکنان	روزهای از دست رفته بابت حوادث شغلی: $C_2^{(3)}$	زمان ازدست‌رفته کارکنان با حوادث / تعداد کل حوادث
زمان از دست رفته کارکنان بابت حوادث شغلی: $C_2^{(2)}$	زمان ازدست‌رفته کارکنان با حوادث / کل زمان در دسترس کارکنان		
(شاخص تطابق با مقررات زیست‌محیطی: C_3)			
درصد جریمه‌های زیست‌محیطی: $C_3^{(1)}$	تعداد و مبلغ جریمه‌های زیست محیطی / کل درامد ناخالص سالیانه	انطباق فعالیت‌ها با مجوزهای قانونی: $C_3^{(2)}$	تعداد مجوزهای زیست‌محیطی شرکت / تعداد مجوز هایی که میتوانست داشته باشد
(شاخص هزینه: C_4)			
کل هزینه: $C_4^{(1)}$	هزینه خرید +هزینه حمل‌ونقل + هزینه سفارش‌دهی + هزینه نگهداری و تعمیرات محصولات خریداری شده		
(شاخص انتشار گازهای گلخانه‌ای: C_5)			

[7] CVI: Content Validity Index

نام زیر معیار	رابطه	نام زیر معیار	رابطه
ضریب انتشار دی‌اکسید کربن: $C_5^{(1)}$	مجموع انتشار گاز دی‌اکسیدکربن / مجموع انرژی مصرفی	ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای: $C_5^{(2)}$	میزان انتشار سایر گازهای گلخانه‌ای / انرژی مصرفی یا تولید
(شاخص ارسال به‌موقع: C_6)			
میانگین تحویل به‌موقع: $C_6^{(1)}$	تعداد سفارشاتی که به‌موقع تحویل داده شده / کل سفارشات خریداری شده	میانگین تاخیر در تحویل سفارشات: $C_6^{(2)}$	کل مدت‌زمان تاخیر / تعداد کل سفارشات
(شاخص قابلیت دسترسی: C_7)			
فاصله جغرافیایی: $C_7^{(1)}$	$\frac{1}{\text{فاصله تامین‌کننده تا مشتری} + 1}$		
(شاخص مدیریت ضایعات: C_8)			
درصد ضایعات بازیافتی: $C_8^{(1)}$	کل ضایعات تولید شده / کل ماده اولیه مصرفی	درصد ضایعاتی که بجای دفع، بازیافت شده: $C_8^{(2)}$	کل ضایعات تولید شده / کل ماده اولیه دفع شده
(شاخص مدیریت پسماند: C_9)			
درصد پسماند تولیدی به ازای هر واحد محصول: $C_9^{(1)}$	کل پسماند تولید شده / کل محصول تولید شده	درصد پسماندهای تولیدی که بازیافت شده‌اند: $C_9^{(2)}$	کل محصول بازیافت شده / کل پسماند تولید شده
(شاخص آموزش و توسعه مهارت‌های کارکنان: C_{10})			
کارکنان شرکت‌کننده در دوره‌های آموزشی: $C_{10}^{(1)}$	تعداد کارکنان شرکت‌کننده در دوره‌های آموزشی / تعداد کل کارکنان	ساعات آموزشی ارائه‌شده به هر کارمند: $C_{10}^{(2)}$	مجموع ساعات آموزشی / تعداد کل کارکنان

در خصوص شاخص قابلیت دسترسی و فاصله کارخانه‌های تأمین‌کنندگان از محل شرکت، برای نرمال‌سازی این مقادیر از روش معمول نرمال‌سازی مقادیر به مقیاس [1 و 0] استفاده شده است. به‌طور دقیق‌تر، فاصله‌های واقعی بین کارخانه‌ها و اصفهان ابتدا به مقدار حداکثر فاصله تقسیم شدند تا مقدار نرمال‌شده به‌دست آید. این مرحله از پژوهش با طراحی فرمول‌ها و محاسبات مرتبط با 10 شاخص کلیدی و 21 زیرمعیار، چارچوبی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان ایجاد کرد. داده‌ها به‌صورت ماتریس تصمیم، سازمان‌دهی شده و برای تحلیل‌های نهایی استفاده می‌شوند.

3-3 وزن‌دهی شاخص‌های اصلی و زیرمعیارها

وزن‌دهی شاخص‌ها و زیرمعیارها یکی از مراحل اساسی پژوهش است. برای وزن‌دهی به شاخص‌های اصلی از دو روش AHP و کریتیک و برای وزن‌دهی به زیرمعیارها از روش آنتروپی شانون استفاده شد. روش AHP بر اساس مقایسات زوجی و نظرات خبرگان، وزن شاخص‌های اصلی را با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت‌چویس تعیین کرد و یک مرتبه نیز روش کریتیک اجرا شد که براساس میزان واریانس گزینه‌ها در هر شاخص و همبستگی زیرمعیارها با هم وزن شاخص‌ها محاسبه می‌شود. در مرحله بعد، وزن‌دهی زیرمعیارها با روش آنتروپی شانون انجام شد که بر داده‌های واقعی و پراکندگی اطلاعات مبتنی بود.

روش تحلیل سلسله‌مراتبی [22] برای وزن‌دهی شاخص‌های اصلی پژوهش به‌کار گرفته شد. این روش با تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و استفاده از مقیاس نه‌درجه‌ای ساعتی، اهمیت نسبی معیارها را ارزیابی می‌کند. مقادیر

مقایسات زوجی در ماتریس با استفاده از معکوس‌سازی خودکار ثبت شدند تا دقت و سازگاری مقایسات تضمین شود. پس از تشکیل ماتریس، نرمال‌سازی آن طبق رابطه 1 انجام شد تا وزن نسبی هر شاخص محاسبه شود که در آن P_{ij} نشان‌دهنده مقدار نرمال‌شده درایه ij، A_{ij} مقدار اصلی وزن شاخص i نسبت به شاخص j، و n تعداد شاخص‌ها است. سپس میانگین مقادیر نرمال‌شده هر ردیف طبق رابطه 2 محاسبه شد تا اهمیت نسبی هر شاخص تعیین شود. در این فرمول، w_i وزن نسبی شاخص i و n نیز تعداد شاخص‌ها برای میانگین‌گیری مقادیر نرمال‌شده را نشان می‌دهد.

$$P_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} A_{ij}} \quad (1)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} P_{ij}}{n} \quad (2)$$

در گام بعد، شاخص (CI) و نرخ ناسازگاری (CR) طبق روابط 3 و 4 برای ارزیابی سازگاری قضاوت‌های خبرگان محاسبه شدند. در اینجا، λ_{max} مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی است که کیفیت و هماهنگی قضاوت‌ها را نشان می‌دهد. مقدار CR نرخ ناسازگاری است که میزان سازگاری قضاوت‌ها را نشان می‌دهد و برای اعتبار قضاوت‌ها باید کمتر از 0/1 باشد و نیز CR شاخص ناسازگاری تصادفی است که مقدار استاندارد آن بر اساس تعداد شاخص‌ها (n) تعیین می‌شود. در نهایت، وزن‌های نهایی شاخص‌ها با نرم‌افزار اکسپرت‌چویس محاسبه و به‌عنوان ورودی تحلیل‌های بعدی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده شد.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

روش کریتیک [23] یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که وزن شاخص‌ها را بر اساس پراکندگی داده‌ها و همبستگی بین آن‌ها محاسبه می‌کند. در این پژوهش، ماتریس تصمیم با ابعاد 10×3 شامل 10 شاخص کلیدی و 3 گزینه تأمین‌کننده تشکیل شد. داده‌های ماتریس تصمیم از منابع واقعی مانند گزارش‌های داخلی شرکت‌ها و مصاحبه‌ها استخراج و سپس طبق رابطه 5 نرمال‌سازی شدند. در اینجا، N_{ij} مقدار نرمال‌شده درایه ij است که به بازه بین صفر تا یک تبدیل می‌شود. X_{ij} مقدار درایه ij در ماتریس تصمیم و $min(X_j)$ و $\max(X_j)$ کمترین و بیشترین مقادیر در ستون j هستند که برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده می‌شوند.

$$N_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - min(X_j)} \quad (5)$$

در گام دوم، واریانس var_j توسط رابطه 6 برای هر شاخص محاسبه شده تا پراکندگی داده‌ها و اهمیت نسبی آن شاخص در تصمیم‌گیری تعیین شود. در این رابطه $\bar{N}_j$ میانگین مقادیر نرمال‌شده در ستون j هستند و m تعداد گزینه‌ها در ماتریس تصمیم است. سپس ماتریس همبستگی r_{jk} در رابطه 7 برای ارزیابی وابستگی میان شاخص‌ها محاسبه می‌شود. همبستگی بالا نشان‌دهنده وابستگی قوی و اطلاعات مشابه بین شاخص‌ها است که به آن‌ها وزن کمتری اختصاص می‌دهد.

$$var_j = \frac{\sum_{i=1}^{m} (\bar{N}_j - N_{ij})^2}{m} \quad (6)$$

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{m}(\overline{N_k} - N_{ik})(\overline{N_j} - N_{ij})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(\overline{N_k} - N_{ik})^2 \sum_{i=1}^{m}(\overline{N_j} - N_{ij})^2}} \quad (7)$$

در نهایت، ضریب اطلاعاتی C_j هر شاخص در رابطه 8 با ترکیب واریانس و همبستگی محاسبه شد و نمایانگر اطلاعات منحصربه‌فرد هر شاخص است. وزن نهایی W_j هر شاخص با نرمال‌سازی ضرایب اطلاعاتی C_j محاسبه می‌شود. این وزن‌ها اهمیت هر شاخص در تحلیل نهایی را نشان می‌دهند.

$$C_j = \sum_{k=1}^{n}(1 - r_{jk}) \times var_j \quad (8)$$

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{i=1}^{n} C_j} \quad (9)$$

روش آنتروپی شانون [24]، برای وزن‌دهی زیرمعیارها بر اساس تحلیل پراکندگی داده‌ها استفاده شد. در این پژوهش، داده‌های زیرمعیارها در ماتریسی گردآوری و سپس با استفاده از رابطه 10 نرمال‌سازی می‌شوند تا مقادیر در مقیاسی استاندارد قرار گیرند. در این رابطه X_{ij} مقدار ماتریس تصمیم به‌ازای گزینه i و معیار j است. همچنین، P_{ij} مقدار نرمال‌شده درایه X_{ij} و m تعداد گزینه‌ها (در این پژوهش تعداد تامین‌کنندگان سبز) را نشان می‌دهد.

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} X_{ij}} \quad (10)$$

در ادامه، آنتروپی E_j هر زیرمعیار برای تعیین میزان پراکندگی مقادیر آن طبق رابطه 11 محاسبه شد. در اینجا، $K = \frac{1}{Ln(m)}$ مقدار ثابت نرمال‌سازی است که به تعداد گزینه‌ها (m) وابسته است. سپس انحراف d_j هر زیرمعیار برای تعیین اهمیت نسبی آن در فرآیند تصمیم‌گیری طبق رابطه 12 محاسبه شد. درنهایت وزن نهایی هر زیرمعیار w_j با استفاده از رابطه 13 به‌دست می‌آید.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^{m} P_{ij} \times Ln\, P_{ij} \quad j = 1,2 \dots, n \quad (11)$$

$$d_j = 1 - E_j \quad (12)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{m} d_j} \quad (13)$$

4-3 رتبه‌بندی تامین‌کنندگان

تشکیل ماتریس تصمیم، یکی از مراحل کلیدی پژوهش بود که شامل سطرهایی برای شاخص‌ها و زیرمعیارها و ستون‌هایی برای گزینه‌های تصمیم‌گیری (تأمین‌کنندگان شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی) بود. هر درایه بیانگر امتیاز نهایی یک شرکت در یکی از زیرمعیارها بود. در این پژوهش، از روش‌های تاپسیس، کوکوسو و مارکوس برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده شد. ورودی‌های اصلی شامل ماتریس تصمیم و وزن‌های محاسبه‌شده با روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و آنتروپی شانون و کریتیک بودند. نرم‌افزار اکسپرت‌چویس برای تحلیل داده‌ها در روش تحلیل سلسله‌مراتبی به‌کار رفت و سایر برنامه‌ها در محیط نرم‌افزار متلب پیاده شد.

یکی از روش‌های به‌کار رفته برای رتبه‌بندی تامین‌کنندگان سبز در شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی در این پژوهش، روش تاپسیس است. روش تاپسیس [25] گزینه‌ها را بر اساس نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و دوری از

راه‌حل ایده‌آل منفی رتبه‌بندی می‌کند. بهترین گزینه کمترین فاصله از ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی دارد. در گام اول، ماتریس تصمیم با داده‌های عملکرد شرکت‌های تأمین‌کننده در شاخص‌های مختلف تشکیل شد. سپس ماتریس تصمیم توسط رابطه 14 نرمال‌سازی می‌شود تا اثر واحدهای مختلف حذف و مقادیر به بازه صفر تا یک تبدیل شوند. در ادامه، طبق رابطه 15 ماتریس نرمال‌سازی وزن‌دار با ضرب وزن معیارها (W_j) در مقادیر نرمال‌شده N_{ij} تشکیل می‌شود.

$$N_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} {X_{ij}}^2}} \quad (14)$$

$$V_{ij} = N_{ij} \times W_j \quad (15)$$

در ادامه روش تاپسیس، راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی بر اساس بزرگترین و کوچکترین مقادیر در هر ستون ماتریس نرمال‌شده تعیین می‌شود. فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت (S_i^+) و منفی (S_i^-) با استفاده از فاصله اقلیدسی در روابط 16 و 17 محاسبه می‌شود. این مقادیر میزان نزدیکی هر گزینه به بهترین و بدترین حالت را ارزیابی کرده و مبنای تحلیل نهایی در روش تاپسیس هستند. سپس شاخص نزدیکی گزینه به جواب ایده‌آل یعنی C_i برای هر گزینه طبق رابطه 18 محاسبه می‌شود که میزان نزدیکی آن به ایده‌آل مثبت را نشان می‌دهد و مقادیر بالاتر آن نشان‌دهنده برتری گزینه است.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (V_{ij} - A_j^+)^2} \quad (16)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (V_{ij} - A_j^-)^2} \quad (17)$$

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (18)$$

دومین روش مورد برای رتبه‌بندی تامین‌کنندگان سبز در این پژوهش، روش کوکوسو [26] است. این روش یک ابزار قدرتمند در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که بر اساس مقایسه و تحلیل نقاط بهینه در میان گزینه‌ها عمل می‌کند و به‌ویژه برای تصمیم‌گیری در شرایط پیچیده و زمانی که معیارهای متعدد و متنوع وجود دارد، بسیار مؤثر است. روش کوکوسو با ترکیب مدل‌های جمع وزنی ساده و ضرب وزنی برای تحلیل و رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. در این پژوهش، داده‌های مربوط به معیارها و گزینه‌ها پس از پردازش و نرمال‌سازی آماده شدند و به‌عنوان ورودی برای ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها به‌کار گرفته می‌شوند. در گام اول، بردار وزن شاخص‌ها از دو روش AHP و کریتیک محاسبه شد. این وزن‌ها به‌عنوان ورودی برای روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شدند. برای حذف اثر واحدهای اندازه‌گیری مختلف معیارها، مقادیر ماتریس تصمیم نرمال‌سازی می‌شوند. برای شاخص‌های مثبت و منفی، از روابط 19 و 20 استفاده می‌شود تا مقادیر به بازه صفر تا یک تبدیل شده و تحلیل مقایسه‌ای استاندارد داده‌ها فراهم گردد. در اینجا، N_{ij} مقدار نرمال‌شده درایه ij و X_{ij} مقدار اصلی درایه در ماتریس تصمیم است.

برای شاخص‌ها با جنبه مثبت

$$N_{ij} = \frac{X_{ij}}{\max(X_j)} \quad (19)$$

$$N_{ij} = \frac{min(X_j)}{X_{ij}} \qquad \text{برای شاخص‌ها با جنبه منفی} \tag{20}$$

در ادامه، مقادیر جمع وزنی (S_i) و ضرب وزنی (P_i) برای هر گزینه (تامین‌کنندگان در این پژوهش) در روابط 21 و 22 محاسبه می‌شوند.

$$S_i = \sum_{i=1}^{n} (N_{ij} \times W_j) \tag{21}$$

$$P_i = \sum_{i=1}^{n} (N_{ij})^{W_j} \tag{22}$$

سپس، سه مقدار نسبی میانگین ساده طبق رابطه 23، مقایسه با بهترین‌ها طبق رابطه 24 و موازنه بین جمع وزنی و ضرب وزنی طبق رابطه 25 برای هر گزینه محاسبه می‌شود که نمایانگر ارزیابی گزینه‌ها بر اساس استراتژی‌های مختلف هستند. در این روابط، λ ضریب موازنه و $S_{max}, P_{min}, P_{max}\ S_{min}$ مقادیر حداقل و حداکثر شاخص‌ها هستند که در تعیین امتیازات نسبی استفاده می‌شوند. درنهایت شاخص نهایی (K_i) از ترکیب سه استراتژی برای هر گزینه توسط رابطه 26 محاسبه شده و مبنای رتبه‌بندی قرار می‌گیرد. مقدار بیشتر K_i نشان‌دهنده برتری گزینه است.

$$K_a = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^{m}(P_i + S_i)} \tag{23}$$

$$K_b = \frac{P_i}{P_{min}} + \frac{S_i}{S_{min}} \tag{24}$$

$$K_c = \frac{\lambda S_i + P_i(1-\lambda)}{\lambda S_{max} + (1-\lambda)P_{max}} \tag{25}$$

$$K_\mathrm{i} = \frac{K_a + K_b + K_c}{3} + (K_a \times K_b \times K_c)^{\frac{1}{3}} \tag{26}$$

برای اینکه یک معیار برای مقایسه نتایج روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در این پژوهش داشته باشیم از روش مارکوس نیز رتبه‌بندی تامین‌کنندگان شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی انجام می‌شود. روش مارکوس [27] یکی از تکنیک‌های مؤثر در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که با استفاده از مفهوم ایده‌آل و ضد ایده‌آل، گزینه‌ها را تحلیل و رتبه‌بندی می‌کند. این روش مقادیر مطلوبیت گزینه‌ها را محاسبه کرده و امکان مقایسه دقیق بین آن‌ها را فراهم می‌آورد. این روش مزیتی دارد که می‌تواند به‌طور دقیق‌تری ترتیب گزینه‌ها را بر اساس یک راه‌حل سازگار به دست آورد و در نتیجه در ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز، نتایج معتبرتری به‌دست دهد. در این روش، ماتریس تصمیم شامل داده‌های عملکرد گزینه‌ها در معیارها تشکیل می‌شود. هر درایه X_{ij} عملکرد گزینه i نسبت به معیار j را نشان می‌دهد. سپس، راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی بر اساس نوع معیارها تعیین می‌شوند و مبنای محاسبات فاصله گزینه‌ها از ایده‌آل‌ها در گام‌های بعدی قرار می‌گیرند. برای استانداردسازی داده‌ها و حذف اثر واحدهای مختلف، ماتریس تصمیم نرمال‌سازی می‌شود. نرمال‌سازی برای معیارهای مثبت با رابطه 27 و برای معیارهای منفی با رابطه 28 انجام می‌شود که A^+ ایده‌آل مثبت و A^- ایده‌آل منفی برای معیارها هستند. مقادیر نرمال‌شده هر درایه طبق رابطه 29 در وزن معیار مربوطه (W_j) ضرب می‌شود تا ماتریس نرمال‌شده وزن‌دار ایجاد شود.

$$N_{ij} = \frac{X_{ij}}{A^+} \tag{27}$$

$$N_{ij} = \frac{A^-}{X_{ij}} \tag{28}$$

$$V_{ij} = N_{ij} \times W_j \quad (29)$$

در ادامه روش مارکوس، مطلوبیت ایده‌آل (K_i^+) و ضدایده‌آل (K_i^-) برای هر گزینه طبق روابط 30 و 31 محاسبه می‌شود که نمایانگر نزدیکی به شرایط ایده‌آل و دوری از شرایط ضدایده‌آل هستند. در اینجا، S_i جمع مقادیر وزن‌دار گزینه i روی تمام شاخص‌ها بوده و S^+و S^- جمع مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی در ماتریس وزن‌دار هستند. K_i^+ مطلوبیت ایده‌آل و K_i^- مطلوبیت ضدایده‌آل، نشان‌دهنده نزدیکی به شرایط ایده‌آل مثبت و فاصله از شرایط ضدایده‌آل است.

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S-} \quad (30)$$

$$K_i^- = \frac{S_i}{S+} \quad (31)$$

در نهایت، عملکرد مطلوب هر گزینه با استفاده از رابطه 32 محاسبه می‌شود که امتیاز نهایی $f(K_i)$ را بر اساس معیارهای ایده‌آل مثبت و منفی تعیین می‌کند. عملکرد مطلوبیت ایده‌آل مثبت $f(K_i^+)$ و ضدایده‌آل $f(K_i^-)$ با استفاده از روابط 33 و 34 محاسبه می‌شوند. با استفاده از مقادیر $f(K_i)$ برای هر گزینه، رتبه‌بندی نهایی انجام می‌شود و گزینه با بالاترین مقدار به‌عنوان گزینه بهینه انتخاب می‌شود. روش مارکوس با ارائه چارچوب دقیق، به‌عنوان تکنیکی کارآمد در تصمیم‌گیری چندمعیاره شناخته می‌شود و در این پژوهش برای ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز استفاده شد.

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1-f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1-f(K_i^-)}{f(K_i^-)}} \quad (32)$$

$$f(K_i^-) = \frac{(K_i^+)}{(K_i^+) + (K_i^-)} \quad (33)$$

$$f(K_i^+) = \frac{S_i}{(K_i^+) + (K_i^-)} \quad (34)$$

4- تحلیل نتایج

شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران یکی از بزرگترین شرکت‌های دولتی در زمینه توزیع فرآورده‌های نفتی است و نقش اساسی در تأمین، ذخیره‌سازی، توزیع و فروش فرآورده‌های نفتی مانند بنزین، گازوئیل، نفت سفید و سایر سوخت‌ها ایفا می‌کند. این شرکت علاوه بر تأمین سوخت برای نیروگاه‌ها و صنایع مختلف، در اجرای پروژه‌های بزرگ تأسیسات نفتی و پالایشگاه‌ها نیز نقشی کلیدی دارد. هدف این شرکت، ارتقای بهره‌وری در صنعت نفت و بهبود فرایندهای توزیع فرآورده‌ها است. پروژکتورهای LED به‌عنوان یکی از کارآمدترین تجهیزات روشنایی، نقشی اساسی در کاهش مصرف انرژی و ارتقای کیفیت روشنایی ایفا می‌کنند. در شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی، مصرف بالای این تجهیزات در جایگاه‌های توزیع سوخت و محیط‌های عملیاتی، اهمیت آن‌ها را دوچندان کرده است. این پروژکتورها، به‌دلیل استفاده از فناوری دیودهای نوری، مصرف برق بسیار کمتری نسبت به پروژکتورهای قدیمی دارند و عمر مفید آن‌ها بسیار طولانی‌تر است. باتوجه‌به هزینه‌های بالای انرژی و ضرورت کاهش مصرف برق در مراکز وابسته به شرکت، پروژکتورهای LED به‌عنوان محصولی کلیدی در پژوهش حاضر انتخاب شده‌اند. ویژگی‌های بارز این پروژکتورها شامل

مقاومت در برابر شرایط جوی، بازدهی بالا، و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است که با اهداف توسعه پایدار و مسئولیت اجتماعی شرکت همخوانی دارد.

در این پژوهش، سه شرکت تأمین‌کننده اصلی که در پروژه‌های مختلف با شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی همکاری دارند، شامل گلنور، شایان برق و مازی نور برای ارزیابی به‌عنوان تامین‌کننده درنظر گرفته شده‌اند. انتخاب این سه شرکت بر اساس شاخص‌های سبز که در ادبیات موضوع به‌عنوان معیاری برای ارزیابی تأمین‌کنندگان معرفی شده‌اند، انجام شد. این شاخص‌ها شامل کیفیت محصول و خدمات، هزینه، ارسال به‌موقع، مدیریت ضایعات و پسماند، ایمنی و بهداشت شغلی، آموزش محیط کارکنان، انتشار گازهای گلخانه‌ای و تطابق با مقررات زیست‌محیطی می‌باشند. علاوه بر این، سه شرکت انتخاب‌شده از جمله بزرگترین و معتبرترین تأمین‌کنندگان در این حوزه هستند و به‌عنوان تنها تأمین‌کنندگان محصول پروژکتور برای شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران شناخته می‌شوند. این شرکت‌ها توانسته‌اند حداقل‌های لازم را در بیشتر معیارهای مطرح‌شده رعایت کنند و در نتیجه به‌عنوان تأمین‌کنندگان سبز شناخته شده‌اند.

شرکت گلنور یکی از تأمین‌کنندگان بزرگ است که محصولات متنوعی در زمینه تأمین انرژی و تجهیزات مرتبط با صنایع مختلف از جمله تأسیسات نفتی ارائه می‌دهد. این شرکت به‌ویژه در حوزه‌های تأمین سوخت و خدمات زیست‌محیطی شناخته‌شده است. شرکت شایان برق نیز در زمینه تأمین تجهیزات برقی و سیستم‌های زیربنایی فعالیت دارد و خدمات تأمین برق به صنایع مختلف از جمله پروژه‌های نفت و گاز را ارائه می‌دهد. همچنین، شرکت مازی نور به‌عنوان یکی از پیشروان در زمینه محصولات نوری و انرژی، علاوه بر تأمین محصولات برقی، در زمینه فناوری‌های پایدار و زیست‌محیطی نیز فعالیت می‌کند. این شرکت به تأمین پروژکتورها و سیستم‌های روشنایی برای پروژه‌های صنعتی و محیطی در تأسیسات نفتی کمک می‌کند. تمامی این شرکت‌ها با تأمین تجهیزات نوری و روشنایی به شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی کمک می‌کنند تا نیازهای روشنایی و ایمنی در پروژه‌های بزرگ تأسیسات نفتی و صنایع مرتبط را تأمین کنند.

1-4 نتایج شناسایی و غربالگری شاخص‌ها

در این پژوهش، 73 شاخص اولیه برای ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز شناسایی شد که از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، مرور پژوهش‌های مرتبط و مشورت با خبرگان انتخاب شدند. سپس برای غربالگری و شناسایی شاخص‌های معتبر، از روش روایی محتوایی (CVI) استفاده گردید. در این روش، سه معیار سادگی، وضوح و مرتبط بودن برای ارزیابی شاخص‌ها در نظر گرفته شد و پرسش‌نامه‌ای به 13 نفر از خبرگان ارسال شد. نتایج این ارزیابی نشان داد که 10 شاخص از امتیاز بالای 0/68 در سه معیار برخوردار بودند و به‌عنوان شاخص‌های نهایی انتخاب شدند. این شاخص‌ها شامل قابلیت دسترسی، کیفیت محصول و خدمات، ارسال به‌موقع، هزینه، ایمنی و بهداشت شغلی، آموزش محیط کارکنان، مدیریت ضایعات، مدیریت پسماند، تطابق با مقررات و انتشار گازهای گلخانه‌ای بودند که در تحلیل‌های بعدی پژوهش برای وزن‌دهی و ارزیابی به‌کار گرفته شدند.

2-4 تحلیل داده‌های خام و محاسبات نرمال‌سازی زیرمعیارها

در این بخش، داده‌های خام از شرکت‌های گلنور، شایان برق و مازی نور جمع‌آوری و تحلیل شدند. این داده‌ها به‌عنوان ورودی برای محاسبات زیرمعیارها استفاده می‌شوند و عملکرد این شرکت‌ها در بازه زمانی یک‌ساله بررسی شد. داده‌ها از مستندات رسمی و گزارش‌های فنی استخراج شده و شامل شاخص‌های ارزیابی‌شده هستند. فرایند نرمال‌سازی داده‌ها طبق رابطه 1 برای حذف اثر واحدهای مختلف اندازه‌گیری و به‌منظور مقایسه دقیق و عادلانه میان گزینه‌ها انجام شده است. مقادیر نرمال‌شده که در جدول 3 ارائه شده‌اند، مبنای اصلی برای ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان به‌شمار می‌روند امتیاز نرمال شده هر شرکت در 21 زیرمعیار مورد بررسی در این پژوهش را نمایش می‌دهد.

جدول3- مقادیر نرمال شده امتیاز نهایی هر شرکت در هر زیرمعیار

زیر معیار	اسامی شرکت‌ها		
	شایان برق	مازی نور	گلنور
$C_1^{(2)}$	0/334	0/333	0/333
$C_1^{(3)}$	0/298	0/351	0/351
$C_1^{(4)}$	0/333	0/333	0/333
$C_1^{(1)}$	0/334	0/333	0/333
$C_2^{(3)}$	0/000	1/000	0/000
$C_2^{(1)}$	0/836	0/164	0/000
$C_2^{(2)}$	0/000	1/000	0/000
$C_3^{(2)}$	0/288	0/327	0/385
$C_3^{(1)}$	0/334	0/333	0/333
$C_4^{(1)}$	0/667	0/333	0/000
$C_5^{(1)}$	0/334	0/333	0/333
$C_5^{(2)}$	0/334	0/333	0/333
$C_9^{(2)}$	0/800	0/200	0/000
$C_9^{(1)}$	0/588	0/412	0/000
$C_8^{(2)}$	0/444	0/556	0/000
$C_8^{(1)}$	0/370	0,259	0/370
$C_6^{(2)}$	0/334	0/333	0/333
$C_6^{(1)}$	0/334	0/333	0/333
$C_7^{(1)}$	0/004	0/001	0/994
$C_{10}^{(2)}$	0/481	0/423	0/096
$C_{10}^{(1)}$	0/535	0/181	0/283

در محاسبات برخی پارامترها، فرضیاتی به‌کاررفته که صحت داده‌ها را تضمین می‌کند. به‌عنوان مثال، داده‌ها بر اساس عملکرد یک‌ساله شرکت‌ها جمع‌آوری شده است.

3-4 وزن‌دهی شاخص‌ها و زیر معیارها

در این بخش، وزن‌دهی شاخص‌ها با روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام شد. پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی میان کارکنان شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی و اعضای هیئت‌علمی دانشگاه اصفهان توزیع شد و داده‌ها در نرم‌افزار Expert Choice تحلیل شدند. ضریب ناسازگاری برای تمامی 13 پرسشنامه در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی محاسبه شد. حداکثر مقدار ضریب ناسازگاری برابر 0/095 بود (کمتر از 0/1) که نشان‌دهنده این است که تمامی پرسشنامه‌ها برای انجام مقایسات زوجی مناسب بوده‌اند. به‌دلیل مناسب بودن تمامی پرسشنامه‌ها، نتایج آن‌ها بر اساس میانگین هندسی ادغام شدند. نتایج وزن شاخص‌ها در جدول 4 نشان داده شده است.

جدول 4- وزن شاخص‌های اصلی در روش تحلیل سلسله‌مراتبی

شاخص	وزن	شاخص	وزن
قابلیت دسترسی	0/995	آموزش محیط کارکنان	0/163
کیفیت محصول و خدمات	0/351	مدیریت ضایعات	0/564
ارسال به‌موقع	0/333	مدیریت پسماند	0/605
هزینه	0/001	تطابق با مقررات	0/385
ایمنی و بهداشت شغلی	0/55	انتشار گازهای گلخانه‌ای	0/333

وزن‌دهی زیرمعیارها با استفاده از روش آنتروپی شانون انجام شده است که بر مبنای پراکندگی داده‌ها اهمیت نسبی هر زیرمعیار را تعیین می‌کند. ابتدا داده‌های گردآوری‌شده از سه شرکت گلنور، شایان برق و مازی نور در ماتریس تصمیم قرار گرفت و سپس با نرمال‌سازی مطابق جدول 3 استاندارد شدند. آنتروپی (E_j) میزان پراکندگی مقادیر هر زیرمعیار را نشان می‌دهد و سپس مقادیر انحراف (d_j) برای تعیین اهمیت نسبی زیرمعیارها محاسبه شدند. در نهایت، وزن نهایی هر زیرمعیار (w_j) محاسبه و نتایج در جدول 5 ارائه شده‌اند.

جدول 5- مقادیر نهایی وزن زیرمعیارها محاسبه‌شده با روش آنتروپی شانون

معیار	زیر معیار	E_j	d_j	w_j
C_1	$C_1^{(2)}$	0	0	0
	$C_1^{(3)}$	0/099	0/003	1
	$C_1^{(4)}$	0	0	0
	$C_1^{(1)}$	0	0	0
C_2	$C_2^{(3)}$	0	1	0/385
	$C_2^{(1)}$	0	0/594	0/228
	$C_2^{(2)}$	0	1	0/385
C_3	$C_3^{(2)}$	0	0/006	1
	$C_3^{(1)}$	0	0	0
C_4	$C_4^{(1)}$	0	0/421	1
C_5	$C_5^{(1)}$	0	0	0
	$C_5^{(2)}$	0	0	0
C_9	$C_9^{(2)}$	0	0/545	0/587
	$C_9^{(1)}$	0	0/383	0/412
C_8	$C_8^{(2)}$	0	0/357	0/969
	$C_8^{(1)}$	0/360	0/012	0/031
C_6	$C_6^{(2)}$	0	0	0
	$C_6^{(1)}$	0	0	1
C_7	$C_7^{(1)}$	0	0/966	1
C_{10}	$C_{10}^{(2)}$	0/626	0/143	0/616
	$C_{10}^{(1)}$	1/396	0/089	0/383

ماتریس تصمیم یکی از مراحل کلیدی در فرایند تحلیل تصمیم‌گیری است که داده‌های مرتبط با عملکرد گزینه‌ها را به‌صورت ساختاریافته ارائه می‌دهد و امکان تحلیل دقیق‌تر را فراهم می‌کند. در این پژوهش، ماتریس تصمیم نهایی با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت‌چویس و داده‌های وزنی محاسبه‌شده ایجاد شد. این ماتریس شامل وزن‌های شاخص‌ها با روش AHP، وزن‌های زیرمعیارها (با روش آنتروپی شانون) و امتیازات هر شرکت در هر زیرمعیار است. پس از واردکردن این داده‌ها به نرم‌افزار، امتیازات نهایی استخراج شده و در قالب ماتریس تصمیم نمایش داده شدند. این ماتریس که در جدول 6 ارائه شده است، مبنای رتبه‌بندی گزینه‌ها خواهد بود.

جدول 6- ماتریس تصمیم نهایی با امتیازات تأمین‌کنندگان در شاخص‌های کلیدی

نام شاخص	اسامی شرکت‌ها		
	گلنور	مازی نور	شایان برق
قابلیت دسترسی	0/995	0/001	0/004
کیفیت محصول و خدمات	0/351	0/351	0/298
ارسال به‌موقع	0/333	0/333	0/334
هزینه	0/001	0/333	0/666
ایمنی و بهداشت شغلی	0/55	0/025	0/424
آموزش محیط کارکنان	0/163	0/336	0/501
مدیریت ضایعات	0/564	0/384	0/052
مدیریت پسماند	0/605	0/312	0/084
تطابق با مقررات	0/385	0/327	0/288
انتشار گازهای گلخانه‌ای	0/333	0/333	0/334

در ادامه، وزن شاخص‌ها با روش کریتیک محاسبه شد که بر اساس واریانس و همبستگی میان شاخص‌ها عمل می‌کند. داده‌های ورودی شامل ماتریس تصمیم نهایی بودند. پس از محاسبه واریانس و بررسی همبستگی، وزن نهایی شاخص‌ها با نرمال‌سازی امتیازات تعیین شد. نتایج در جدول 7 برای وزن شاخص‌ها ارائه شده است.

جدول 7- نتایج محاسبات وزن شاخص‌ها با استفاده از روش کیریتیک

نام شاخص	واریانس (var_j)	همبستگی (r_{jk})	امتیاز (C_j)	وزن نهایی شاخص (W_j)
قابلیت دسترسی	0/332	0/796	0/264	0/097
کیفیت محصول و خدمات	0/333	0/994	0/331	0/122
ارسال به‌موقع	0/333	1/005	0/335	0/123
هزینه	0/250	1/120	0/280	0/103
ایمنی و بهداشت شغلی	0/272	0/779	0/212	0/078
آموزش محیط کارکنان	0/250	1/123	0/280	0/103
مدیریت ضایعات	0/257	0/914	0/235	0/086
مدیریت پسماند	0/253	0/858	0/217	0/080
تطابق با مقررات	0/2511	0/865	0/217	0/080
انتشار گازهای گلخانه‌ای	0/333	1/005	0/335	0/123

4-4 رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان با روش‌های مختلف

روش تاپسیس برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس نزدیکی به پاسخ ایده‌آل مثبت و دوری از پاسخ ضد ایده‌آل استفاده می‌شود. در این پژوهش، رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان با وزن‌های محاسبه‌شده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و کریتیک انجام شد. ورودی این روش ماتریس تصمیم بوده و پس از نرمال‌سازی، تشکیل ماتریس وزن‌دار و محاسبه فاصله‌ها، امتیازات نهایی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان مشخص شد. نتایج شامل فاصله از ایده‌آل‌ها، امتیاز نهایی و رتبه‌بندی است که در جدول 8 قابل مشاهده است.

جدول 8- نتایج روش تاپسیس

	وزن‌های تحلیل سلسله‌مراتبی			وزن‌های کریتیک		
	شایان برق	مازی نور	گلنور	شایان برق	مازی نور	گلنور
فاصله از ایده‌آل (S_i^+)	0/089	0/111	0/067	0/115	0/116	0/077
فاصله از ضد ایده‌آل (S_i^-)	0/091	0/049	0/120	0/083	0/052	0/122
امتیاز نهایی (C_i)	1/114	0/491	1/910	1/115	0/502	1/707
رتبه‌بندی نهایی	2	3	1	2	3	1

روش کوکوسو یکی دیگر از روش‌های تصمیم‌گیری درباره انتخاب تامین‌کننده سبز در شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی است که با استفاده از مدل‌های جمع وزنی و ضرب وزنی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان به‌کار رفته است. این روش بر پایه میانگین حسابی و هندسی وزن‌دار عمل می‌کند. ابتدا، ماتریس نرمال‌شده وزن‌دار به‌عنوان ورودی وارد این روش شد. سپس، میانگین‌های حسابی و هندسی برای هر گزینه محاسبه و سه شاخص کلیدی K_a ، K_b و K_c به‌دست آمد. در نهایت، شاخص ترکیبی K طبق روابط 23 تا 26 محاسبه و براساس آن رتبه‌بندی انجام شد. نتایج در جدول 9 برای دو حالت مختلف وزن‌دهی (تحلیل سلسله‌مراتبی و کریتیک) ارائه شده‌اند.

جدول 9- نتایج روش کوکوسو

	وزن‌های تحلیل سلسله‌مراتبی			وزن‌های کریتیک		
	شایان برق	مازی نور	گلنور	شایان برق	مازی نور	گلنور
میانگین حسابی (S_i)	0/699	0/643	0/871	0/698	0/662	0/826
میانگین هندسی (P_i)	0/048	0/036	0/054	0/039	0/033	0/046
K_a	0/317	0/288	0/393	0/320	0/302	0/379
K_b	2/417	2/000	2/847	2/230	2/000	2/653
K_c	0/807	0/734	1/000	0/845	0/797	1/000
K	2/033	1/758	2/452	1/976	1/816	2/346
رتبه‌بندی نهایی	2	3	1	2	3	1

روش مارکوس سومین روش مورد بررسی در انتخاب تامین‌کننده سبز بود که با ارزیابی گزینه‌ها نسبت به ایده‌آل مثبت و منفی، شاخص‌های ترکیبی به‌دست می‌آورد. محاسبات این روش با استفاده از ماتریس تصمیم و وزن‌های محاسبه‌شده از دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی و کریتیک انجام شد. نتایج شامل شاخص‌های S_i ، K_i^+ ، K_i^- و F است که در جدول 10 برای دو روش وزن‌دهی مختلف ارائه شده‌اند. گزینه با بالاترین مقدار F بهترین انتخاب است که در هر دو حالت شرکت گلنور می‌باشد.

جدول 10- نتایج روش مارکوس

	وزن‌های تحلیل سلسله‌مراتبی			وزن‌های کریتیک		
	شایان برق	مازی نور	گلنور	شایان برق	مازی نور	گلنور
جمع وزن‌دار (S_i)	0/699	0/643	0/871	0/698	0/662	0/826
مطلوبیت ضد ایده‌آل (K_i^-)	1/526	1/404	1/903	1/495	1/418	1/769
مطلوبیت ایده‌آل (K_i^+)	0/699	0/643	0/871	0/698	0/662	0/826
$F(K_i^-)$	0/314	0/314	0/314	0/318	0/318	0/318
$F(K_i^+)$	0/685	0/685	0/685	0/682	0/682	0/682
F	0/611	0/562	0/762	0/608	0/577	0/719
رتبه‌بندی نهایی	2	3	1	2	3	1

به‌عنوان آخرین روش برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان، از نرم‌افزار اکسپرت چویس (Expert Choice) با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) بهره‌گیری شد. در این نرم‌افزار، ساختار سلسله‌مراتبی شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها مشخص شد. داده‌های ورودی شامل وزن‌های معیارها و زیرمعیارها و مقادیر عملکردی تأمین‌کنندگان بود که در نرم‌افزار وارد شدند. پس از تحلیل، امتیازات کلی برای هر تأمین‌کننده محاسبه و نتایج رتبه‌بندی در بخش نتایج نرم‌افزار ارائه شد.

شکل 2- نتایج رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس

نتایج نرم‌افزار اکسپرت چویس در شکل 2 نمایش داده شده‌اند که در سمت راست مقادیر وزن شاخص‌ها و زیرمعیارها آمده است و در سمت چپ نیز امتیاز نهایی هرکدام از شرکت‌های گلنور، مازی نور و شایان برق به‌عنوان تامین‌کننده برای شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی مشخص است.

5-4 بحث درباره نتایج پژوهش

در این تحقیق، از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان سبز استفاده شده است. یکی از نکات مهم این است که باوجود اینکه مقادیر وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر تأمین‌کننده در هر روش متفاوت بود، اما در نهایت رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان در تمامی روش‌ها یکسان بود. این هم‌راستایی در نتایج از دقت و جامعیت معیارهای انتخابی و روش‌های استفاده‌شده حکایت دارد و نشان می‌دهد که این روش‌ها قادرند به‌طور مؤثر تصمیم‌گیری‌های مدیریتی را هدایت کنند.

از دیگر نکات قابل‌توجه، استفاده از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند MARCOS و CoCoSo در کنار روش‌های سنتی همچون AHP و TOPSIS بوده است. این انتخاب به‌دلیل دقت بالاتر در تحلیل‌ها و کاهش خطاهای احتمالی در رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان انجام شد. استفاده از روش‌های متعدد، امکان مقایسه نتایج مختلف و اعتبار بالای ارزیابی‌ها را فراهم کرد.

مقایسه نتایج روش‌ها نشان داد که شاخص‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در کنار معیارهای سنتی (مانند کیفیت محصول و هزینه) نقش تعیین‌کننده‌ای در فرآیند انتخاب تأمین‌کنندگان دارند. به‌ویژه، در تمامی روش‌های به‌کار رفته، شرکت گلنور به‌عنوان برترین تأمین‌کننده شناخته شد که این نتیجه نه تنها با نتایج تحقیقات پیشین هم‌خوانی دارد، بلکه تأثیر استفاده از معیارهای سبز در انتخاب تأمین‌کنندگان را تأکید می‌کند.

با وجود این، برخی محدودیت‌ها در این تحقیق وجود داشت که می‌تواند بر دقت نتایج تأثیر بگذارد. به‌عنوان مثال، دسترسی به اطلاعات دقیق و کامل تأمین‌کنندگان محدود بود که این امر ممکن است باعث ایجاد برخی اختلافات در ارزیابی‌ها شود. علاوه بر این، این تحقیق تنها بر یک محصول خاص متمرکز بود که می‌تواند محدودیت‌هایی در تعمیم نتایج به سایر محصولات ایجاد کند.

در پایان، نتایج این تحقیق با کارشناسان شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی به اشتراک گذاشته شد و این نتایج مورد تأیید و پذیرش قرار گرفت. شرکت نیز اعلام کرد که از روش‌های پیشنهادی در ارزیابی سایر محصولات نیز استفاده خواهد کرد. این امر نشان‌دهنده عملیاتی بودن روش‌های پیشنهادی است که می‌توانند در ارتقای پایداری و بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری در صنایع مشابه مؤثر واقع شوند.

5- نتیجه گیری و پیشنهاد برای مطالعات آتی

هدف اصلی این پژوهش، شناسایی، وزن‌دهی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان سبز برای شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مانند تحلیل سلسله‌مراتبی، تاپسیس، کریتیک، مارکوس) بود. در این تحقیق، ابتدا 73 شاخص برای ارزیابی تأمین‌کنندگان شناسایی و پس از ارزیابی و غربالگری، 10 شاخص کلیدی بر اساس روش روایی محتوایی انتخاب شدند. سپس این شاخص‌ها با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی، آنتروپی شانون و کریتیک وزن‌دهی شدند و در مرحله بعد، تأمین‌کنندگان با استفاده از روش‌های تاپسیس، کوکوسو و مارکوس رتبه‌بندی گردیدند.

نتایج تحقیق نشان داد که در تمامی روش‌های به‌کار رفته، شرکت گلنور به‌عنوان بهترین تأمین‌کننده سبز برای محصول انتخابی ویدئو پروژکتور معرفی شد و پس از آن، شایان برق و مازی نور به‌ترتیب رتبه‌های دوم و سوم را کسب کردند. در این میان، هزینه کل، کیفیت محصول، ارسال به‌موقع، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آموزش کارکنان به‌عنوان

مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار در انتخاب تأمین‌کنندگان شناخته شدند و در تمامی روش‌های مورد استفاده، این معیارها بالاترین وزن را به خود اختصاص دادند.

این پژوهش می‌تواند در بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری در شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی و دیگر صنایع مشابه برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز مفید واقع شود. به‌ویژه، انتخاب تأمین‌کنندگان سبز می‌تواند به کاهش هزینه‌ها، بهبود بهره‌وری اقتصادی و کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک کند. با توجه به پذیرش نتایج توسط کارشناسان شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی و تصمیم شرکت برای گسترش این روش‌ها برای محصولات دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های پیشنهادی در عمل کاربردی و مؤثر هستند و این مدل‌ها می‌توانند به بهبود پایداری و افزایش کارایی در انتخاب تأمین‌کنندگان سبز در سایر صنایع نیز کمک کنند.

این تحقیق، با وجود نتایج معتبر و قابل توجه، محدودیت‌هایی نیز داشته است که می‌تواند به عنوان زمینه‌ای برای مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرد. در پژوهش‌های آتی، استفاده از داده‌های طولانی‌مدت و وابسته به زمان می‌تواند برای تحلیل روند تغییرات در عملکرد تأمین‌کنندگان و پیش‌بینی رفتار آینده آن‌ها مفید واقع شود. همچنین، گسترش جامعه آماری تحقیق و انجام مطالعات مشابه در صنایع مختلف و کشورهای مختلف می‌تواند به تعمیم‌پذیری نتایج کمک کند. مقایسه نتایج بین صنایع مختلف یا بین کشورها می‌تواند تأثیرات فرهنگی، اقتصادی و زیست‌محیطی بر فرایند انتخاب تأمین‌کنندگان سبز را روشن‌تر سازد. مدل‌های دینامیک و پویا برای تحلیل زنجیره تأمین سبز نیز می‌تواند چشم‌انداز بهتری برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک فراهم آورد. استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دینامیک سیستم‌ها و مدل‌سازی ریاضی می‌تواند در تحلیل پیچیده‌تر زنجیره تأمین و بهینه‌سازی فرآیند انتخاب تأمین‌کنندگان کمک کند. همچنین، نقش فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی در جمع‌آوری داده‌های دقیق و آنالیز در زمان واقعی می‌تواند به بهبود فرایند ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز کمک کند.

6- منابع

[1] Saha, A., Debnath, B.K., Chatterjee, P., Panaiyappan, A.K., Das, S., & Anusha, G., "Generalized Dombi-based probabilistic hesitant fuzzy consensus reaching model for supplier selection under healthcare supply chain framework", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 133, pp. 107966, 2024.

[2] Güneri, B., & Deveci, M., "Evaluation of supplier selection in the defense industry using q-rung orthopair fuzzy set based EDAS approach", *Expert Systems with Applications*, vol. 222, pp. 119846, 2023.

[3] Manik, M.H., "Addressing the supplier selection problem by using the analytical hierarchy process", *Heliyon*, vol. 9, no. 7, e17997, 2023.

[4] Esmaeilzadeh, M., & Panahi, Y., "Prioritize Criteria Related to Supplier Development in the Automotive Industry Using BWM", *Commercial Surveys*, vol. 20, pp. 99-118, 2023.

[5] میرغفوری، س.ح.، صادقی، ز. و عزیزی، ف.، "ارایه مدلی جهت انتخاب تامین کننده سبز با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: شرکت‌های منتخب کاشی و سرامیک استان یزد)"، *پژوهش‌های محیط زیست*، دوره 5، شماره 10، صفحات 96-83، 1393.

[6] Chakraborty, S., Raut, R.D., Rofin, T.M., Chatterjee, S., & Chakraborty, S., "A comparative analysis of Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC) model for healthcare supplier selection in fuzzy environments", *Decision Analytics Journal*, vol. 8, pp. 100290, 2023.

[7] Gökler, S.H., & Boran, S., “A novel resilient and sustainable supplier selection model based on D-AHP and DEMATEL methods”, *Journal of Engineering Research*, 2023.
[8] Nazari-Shirkouhi, S., Jalalat, S.M., Sangari, M.S., Sepehri, A., & Vandchali, H.R., “A robust-fuzzy multi-objective optimization approach for a supplier selection and order allocation problem: Improving sustainability under uncertainty”, *Computers and Industrial Engineering*, vol. 186, pp. 109757, 2023.
[9] Nayeri, S., Khoei, M.A., Rouhani-Tazangi, M.R., GhanavatiNejad, M., Rahmani, M., & Tirkolaee, E.B., “A data-driven model for sustainable and resilient supplier selection and order allocation problem in a responsive supply chain: A case study of healthcare system”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 124, pp. 106511, 2023.
[10] Nasri, S.A., Sarabi, A., Shabanian, A., Hosseini, S.M. & Nowshadi, R., "Defining and prioritizing criteria for sustainable supplier selection in the oil and petrochemical industry (case study: National Iranian Oil Company)", *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, vol. 9, no. 1, pp. 210-235, 2023.
[11] Jannatipour, M., Dehghani, T., & Jannatipour, M., "Supplier selection in oil and gas projects with AHP-QFD method: A case study", *Quarterly Energy Economics Review*, vol. 11, no. 47, pp. 145-159, 2016.
[12] میرفخرالدینی، س. ح.، نوربخش، ا.، ربیعی، ا. و بردبار، م.، "ارزیابی و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان با استفاده از روش تلفیقی تاپسیس فازی و برنامه‌ریزی آرمانی با انتخاب چندگانه (مطالعه موردی: شرکت نفت)"، *تحقیق در عملیات در کاربردهای آن*، دوره 12، شماره 4، صفحات 81-61، 1394.
[13] حاجی یخچالی، س.، پرچمی، م.، و اسدی، م.، "انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین سبز پروژه‌های صنعت نفت و گاز با ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی"، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دوره 4، شماره 3، صفحات 246-231، 1396.
[14] پاک‌سرشت، م.، اشجری، ب.، پاک‌سرشت، م.، "مدل‌سازی ریاضی جهت انتخاب تامین‌کنندگان سبز در شرکت بهره‌برداری نفت و گاز شرق با تلفیق روش‌های Group Fuzzy SMARTS و DEA"، *اولین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی*، تهران، 1391.
[15] Dai, X., Li, H., Zhou, L., & Wu, Q., “The SMAA-MABAC approach for healthcare supplier selection in belief distribution environment with uncertainties”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 129, pp. 107654, 2024.
[16] Demiralay E., & Paksoy, T., "Strategy development for supplier selection process with smart and sustainable criteria in fuzzy environment", *Cleaner Logistics and Supply Chain*, vol. 5, pp. 100076, 2022.
[17] Ahmad, M.T., Firouz, M., & Mondal, S., "Robust supplier-selection and order-allocation in two-echelon supply networks: A parametric tolerance design approach", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 171, pp. 108394, 2022.
[18] Lin, G.H., Chuang, C.A., Tan, C.L., Yeo, S.F., & Wu, F.Y., "Supplier selection criteria using analytical hierarchy process (AHP)-based approach: a study in refractory materials manufacturers", *Industrial Management and Data Systems*, vol. 123, no. 6, pp. 1814-1839, 2023.
[19] Al Hazza, M.H., Dapit, A.B., Bourini, I.F., Muataz, Z., & Ali, M.Y., "Multicriteria Decision Making on Supplier Selection Using Soccer Model Integrated with Analytical Hierarchy Process", *IIUM Engineering Journal*, vol. 24, no. 2, pp. 239-257, 2023.
[20] Hosseini, S., & Barker, K., "A Bayesian network model for resilience-based supplier selection," *International Journal of Production Economics*, vol. 180, pp. 68-87, 2016.

[21] ابراهیمی، س.، چالاکی، ک. و سلطان پناه، ه.، "انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار با استفاده از رویکرد ترکیبی چندمعیاره راف-فازی (مطالعه موردی: شرکت گاز استان کردستان)"، *پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری*، دوره 7، شماره 4، صفحات 45-20، 1401.

[22] Saaty, T.L., "How to make a decision: the analytic hierarchy process", *European Journal of Operational Research*, vol. 48, no. 1, pp. 9–26, 1990.

[23] Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L., "Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method", *Computers and Operations Research*, vol. 22, no, 7, pp. 763-770T 1995.

[24] Shannon, C.E., "A mathematical theory of communication", *The Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 379-423, 1948.

[25] Madanchian, M., & Taherdoost, H., "A comprehensive guide to the TOPSIS method for multi-criteria decision making", *Sustainable Social Development*, vol. 1, pp. 1-6, 2023.

[26] Yazdani, M., & Zarate, P., "A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems", *Management Decision*, vol. 57, no. 9, pp. 2501-2519, 2019.

[27] Stević, Z., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P., "Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution (MARCOS)", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 140, pp. 106231, 2020.