Industrial Innovations

https://jii.araku.ac.ir

ISSN: 2980-8847

Development of a Green Supplier Selection Model with the Aim of Optimizing the Selection Criteria and Considering Incremental Discounts

Fereshte SarAbadani [a], Ramin Bazoukar [b], Fateme Rashidian [c*]

[a] Department of industrial engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran.
[b] Department of industrial engineering, Faculty of Engineering, Arak university, Arak, Iran.
[c] Department of industrial engineering, Faculty of Engineering, Kurdistan university, Sanandaj, Iran.

Original Article

Use your device to scan and read the article online

Citation: SarAbadani F, Bazoukar R, Rashidian F. Development of a Green Supplier Selection Model with the Aim of Optimizing the Selection Criteria and Considering Incremental Discounts. Industrial Innovations. 2024; 2(1): 1-21.

https://doi.org/10.61186/jii.2.1.1

KEYWORDS

Multi-objective optimization;
Green supply chain;
Choosing a green supplier;
Mathematical programming.

ABSTRACT

Today, sustainable development has been proposed as an alternative to industrial development, and the environmental consequences and lack of resources on the planet have become the main concern of societies. Industry managers, especially in advanced countries, are looking for ways to increase the performance of their organization while protecting the environment. In this regard, paying attention to the green supply chain has received a lot of attention. One of the solutions to this problem, which has recently attracted the attention of industries and researchers, is choosing a green supplier. That is, purchasing units in companies should pay attention to green criteria in their purchasing process from suppliers throughout the supply chain. The concept of green supplier is to provide materials that consume less resources and energy and are non-toxic and do not destroy the environment. The aim of this paper is to develop a bi-objective model based on traditional and green supplier selection criteria and the simultaneous integration of the fuzzy AHP method, multi-objective optimization along with the use of the incremental discount concept. In this research, an integrated model that combines price-related decisions and traditional criteria with green criteria for selecting a green supplier has been presented. Finally, the performance of the model has been investigated and analyzed using a real example in the Lingo software and by the LP metric method. After solving the mentioned bi-objective model, the value of the first objective function is equal to 3.547628 and the value of the second objective function is equal to 1060513.

Extended Abstract

1. Introduction

In recent years, industrial development has given way to sustainable development and the environmental consequences and unresponsiveness of the earth's resources have become the main concern of mankind. Industry managers, especially in developed countries, are looking for ways to increase the performance of their organization while protecting the environment. In this regard, attention has been paid to the green supply chain.

Given that one of the most important aspects in supply chain management is the selection and management of suppliers, and success in external supply begins with the correct selection of suppliers, and in the long run, it directly depends on how to manage relationships with suppliers. For this reason, suppliers exert an important influence on the success or failure of a company.

* Corresponding author.
E-mail address: f_rashidian89@yahoo.com
DOI: https://doi.org/10.61186/jii.2.1.1
Received: November 28, 2023; Received in revised form: February 28, 2024; Accepted: March 3, 2024.
Article type: Research Paper
©Author

One of the approaches to protect the environment that has recently attracted the attention of industries and researchers is choosing a green supplier. That is, companies should pay attention to green criteria in their purchasing process from suppliers throughout the supply chain. The concept of a green supplier is that the supplier provides materials that consume less resources and energy, create less noise, and are non-toxic and do not destroy the environment.

2. Modeling and formulation

Multi-objective planning is a special type of optimization problem in which several objectives are considered instead of one objective, which sometimes conflict with each other. In this research, the aim is 1- to minimize the cost by giving a discount and to maximize the total value of the purchase. For this purpose, the weights of the criteria are considered as the coefficient of the objective function for allocating the amount of demand to the suppliers, so that the total value of the purchase is maximized. 2- Minimizing environmental damage by maximizing the points of green criteria.

To solve the mathematical model, the first objective function, which is to maximize the total score of the supplier from the criteria defined according to each item, we must put the values obtained from the opinions of experts as parameter S for each criterion in the function. But these values must be normalized to become unscaled and are presented as parameter S.

In this model, one of our very important objectives is to maximize the criteria of being green. Also, due to the fact that sometimes meeting the traditional criteria and the criteria of being green contradict each other, for this reason we define the model in two goals. We define an objective function to maximize the green criteria and by presenting a questionnaire to experts and managers according to supplier records, we obtain values between 0 and 100 for the criteria. Then, to solve the second objective function, which is to maximize the total score of the supplier from the green criteria defined according to each item, we must put the values obtained from the experts' opinions as parameters, A_1 and A_2 for each criterion, in the function. These values should be normalized to be unscaled and presented as parameters A_1 and A_2 in the objective function.

The carbon footprint of the product is greatly reduced when changing from non-renewable plastic sources to renewable sources (such as cardboard or wood), because the consumption of petroleum fuel is also reduced. Finally, with the improvement of the end-of-life management of product packaging, the carbon footprint of the product has been significantly reduced due to the reduction of waste landfill emissions. Also, depending on the type of packaging of the required items, the amount of carbon footprint production is different, and according to the expert's opinion, the maximum allowed amount of carbon footprint is determined.

3. Implementation of the model and analysis

To show the characteristics, strengths and weaknesses of the proposed model, a numerical example is solved. Using this example, the model has been implemented and its performance has been evaluated, and the solution of this model has been done using Lingo software and LP metric method. The application of the proposed method has been used in a motor company where most of the raw materials needed by this company are procured from a main company located in Germany and some of its raw materials are procured from suppliers in Turkey. We consider 5 types of bearings that have the greatest impact on the total cost of resources and supplies. Also, the traditional criteria considered for supplier selection in this model include quality, price, after-sales service, delivery time performance, and after-sales service.

The information of 6 suppliers is listed for all types of bearings, and the traditional criteria considered for supplier selection in this model include quality, price, performance, delivery time, and after-sales service. The considered green criteria include green process management criteria, green product packaging. In this model, the recycling factor for goods is also considered. The delivery delay rate of each type of bearing is different. For example, when the data is examined, we find that 4% of Type 1 bearings and 5% of Type 2 bearings have delivery delays when supplied by supplier A. Similarly, the defective rate may vary for different types of bearings supplied by the same supplier.

When the after-sales service performance of each supplier is examined, it is clear that the performance of a supplier for all types of bearings is the same and does not change. Similarly, the amount of non-recyclable solid waste may also vary for different types of bearings supplied by the same supplier. Also, the amount of footprint produced due to packaging may also be different for the types of bearings that are provided by the same supplier.

4. Conclusion

In this research, we chose the supplier by considering the green criteria. Due to the adverse environmental effects, many issues are raised in the field of improving the supply chain. The purpose of these reviews is to improve the quality of the product and reduce the cost of purchasing materials, equipment input to the factory and reduce the environmental impact and thus increase the competitive advantage. This model is the development of a new supplier selection model in the multi-item and multi-supplier environment, which reduces the cost by considering incremental discount intervals. Choosing the right criteria for choosing the right green supplier is another topic that is raised and has a great impact on the final result of the model. In choosing a suitable supplier, there are many criteria, such as cost and quality, which must be compromised in order to lead to a satisfactory result. Therefore, the primary challenge is to choose a criterion to evaluate the performance of suppliers, in this research, research on the concepts related to the green supply chain has been used.

In this research, after determining the criteria according to the previous research, we put a questionnaire at the disposal of the experts and managers of the organization so that they can comment on the importance of the traditional criteria according to each item. Then, using the fuzzy AHP method, we obtained the weight of the criteria according to each item, because the greenness of the criteria is an important goal for selecting suppliers in this model. Then, in the next step, we put these weights in the first objective of the two-objective mathematical model.

We maximize the score of traditional and green criteria using a mathematical model and obtain the amount of items assigned to each supplier. A two-part integrated model including F-AHP and MOLP is presented, which we used incremental discount to minimize the costs, and we also considered other criteria in addition to the cost criterion.

نوآوری‌های صنعتی

شاپا: ۸۸۴۷-۲۹۸۰

توسعه مدل انتخاب تأمین‌کنندگان سبز با هدف بهینه‌سازی معیارهای گزینش و در نظر گرفتن تخفیف افزایشی

فرشته سرآبادانی[الف]، رامین بازوکار[ب]، فاطمه رشیدیان[ج*]

[الف] گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

[ب] گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

[ج] گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

واژگان کلیدی

بهینه‌سازی چندهدفه؛ زنجیره تأمین سبز؛ انتخاب تأمین‌کننده سبز؛ برنامه‌ریزی ریاضی.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳

چکیده

امروزه توسعه پایدار به‌عنوان جایگزین توسعه صنعتی با پیامدهای زیست‌محیطی و کمبود منابع کره زمین، به دغدغه اصلی در جوامع تبدیل‌شده است. مدیران صنایع به دنبال روش‌هایی هستند که ضمن حمایت از محیط‌زیست، عملکرد سازمان خود را افزایش دهند. در این راستا توجه به زنجیره تأمین سبز، موردتوجه زیادی قرارگرفته است. یکی از راه‌حل‌های این مسأله که اخیراً توجه صنایع و محققان را به خود جلب کرده، انتخاب تأمین‌کننده سبز می‌باشد. یعنی واحدهای خرید در شرکت‌ها باید به معیارهای سبز بودن در فرآیند خریدشان از تأمین‌کننده‌ها در سراسر زنجیره تأمین، توجه کنند. مفهوم تأمین‌کننده سبز، عبارت است از تهیه موادی که منابع و انرژی کمتر مصرف نموده و غیر سمی بوده و موجب نابودی محیط‌زیست نمی‌شود. هدف مقاله حاضر، توسعه یک مدل دوهدفه مبتنی بر معیارهای سنتی و سبز انتخاب تأمین‌کننده و تلفیق همزمان روش AHP فازی، بهینه‌سازی چندهدفه در کنار استفاده از مفهوم تخفیف افزایشی می‌باشد. در این پژوهش یک مدل یکپارچه که تصمیمات مرتبط با قیمت و معیارهای سنتی با معیارهای سبز برای انتخاب تأمین‌کننده سبز را با یکدیگر ترکیب می‌نماید، ارائه‌شده است. درنهایت عملکرد مدل با استفاده از یک مثال واقعی در نرم‌افزار لینگو و به روش آل پی متریک موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته است. پس از حل مدل دو هدفه مذکور مقدار تابع هدف اول برابر ۵۴۷۶۲۸/۳ و مقدار تابع هدف دوم برابر ۱۰۶۰۵۱۳ می‌باشد.

۱- مقدمه

در سالیان اخیر، توسعه صنعتی جای خود را به توسعه پایدار داده و پیامدهای زیست‌محیطی و جوابگو نبودن منابع کره‌زمین، به دغدغه اصلی بشر، تبدیل‌شده است. مدیران صنایع، به‌ویژه در کشورهای پیشرفته، به دنبال روش‌هایی هستند که ضمن حمایت از محیط‌زیست، عملکرد سازمان خود را افزایش دهند. در این راستا توجه به زنجیره تأمین سبز، موردتوجه قرارگرفته است.

با توجه به اینکه یکی از جنبه‌های مهم در مدیریت زنجیره تأمین، انتخاب و مدیریت تأمین‌کننده است و موفقیت در تأمین

* نویسنده مسئول؛

آدرس پست الکترونیک: f_rashidian89@yahoo.com

بیرونی با انتخاب صحیح تأمین‌کنندگان آغاز می‌شود و در بلندمدت به نحوه اداره روابط با تأمین‌کنندگان بستگی مستقیم دارد، به همین جهت تأمین‌کنندگان تأثیر مهمی در موفقیت یا شکست یک شرکت اعمال می‌کنند.

مدیریت زنجیره تأمین سبز سبب دست‌یابی سازمان به سود و سهم بازار از طریق کاهش خطرها و آثار محیطی می‌شود، درحالی‌که کارایی اکولوژی آن‌ها افزایش پیدا می‌کند [۱]. به‌طورکلی، ایجاد زنجیره تأمین سبز و توجه به مسائل محیط زیستی سبب کاهش هزینه‌ها و بهبود عملکرد محیطی می‌شود و اعتبار و شهرت شرکت را افزایش می‌دهد [۲].

یکی از رویکردهای حمایت از محیط‌زیست که اخیراً توجه صنایع و محققان را به خود جلب کرده، انتخاب تأمین‌کننده سبز می‌باشد. یعنی شرکت‌ها باید به معیارهای سبز بودن در فرآیند خریدشان از تأمین‌کننده‌ها در سراسر زنجیره تأمین، توجه کنند. مفهوم تأمین‌کننده سبز عبارت است از اینکه تأمین‌کننده، موادی را تهیه نماید که منابع و انرژی کمتر مصرف نموده و سروصدای کمتر ایجاد می‌نمایند و غیر سمی است و موجب نابودی محیط‌زیست نمی‌شود. بنابراین هدف از انجام این مقاله، انتخاب تأمین‌کننده سبز با توجه به معیارهای پیشگیرانه تخریب محیط‌زیست و در نظر گرفتن تخفیف افزایشی است. بدین منظور با استفاده از مطالعات پیشین، معیارهایی برای انتخاب تأمین‌کننده مناسب در نظر گرفته‌شده است. پس از اولویت‌بندی معیارها با رویکرد AHP فازی، به مدل‌سازی ریاضی پرداخته و مدل با روش LP-metric حل و درنهایت به حل مدل با نرم‌افزار لینگو پرداخته‌شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در سالیان اخیر پژوهش‌های مختلفی در حوزه زنجیره تأمین سبز صورت گرفته است. ژو و همکاران در سال ۲۰۰۷ [۳]، در مطالعه‌ای دیگر به دلیل افزایش فشارها به مدیران برای ارتقاء همزمان ملاحظات زیست‌محیطی و عملکرد اقتصادی در صنعت خودروی چین، اجرایی‌کردن مدیریت زنجیره تأمین سبز را موردبررسی قراردادند. برخی از عواملی که به سازمان‌ها برای پذیرش و اجرای مدیریت زنجیره تأمین سبز فشار می‌آورند، عبارتند از: فشار مصرف‌کنندگان، کمبود منابع، راه‌کارهای سبز رقبا، رسالت محیطی سازمان و قوانین و مقررات ملی و بین‌المللی. سو و هو در سال ۲۰۰۸ [۴]، به ارزیابی رویکردهای عمده در عملیاتی کردن مدیریت زنجیره تأمین سبز پرداختند. ایشان ۲۰ رویکرد را شناسایی کرده و از طریق تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی، رویکردها را اولویت‌بندی کردند. اولویت نخست به‌دست‌آمده در این تحقیق عبارتند از: بنا نهادن یک پایگاه داده محیطی برای محصولات، حمایت مدیریت عالی و ارزیابی محیطی تأمین‌کنندگان. نینلاوان و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۵]، معیارهایی را برای ارزیابی مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنعت الکترونیک تایلند شناسایی کردند. آن‌ها این معیارها را در چهار گروه شامل تدارکات سبز، تولید سبز، توزیع سبز و لجستیک طبقه‌بندی کردند. وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۶]، با ارائه یک مدل چندهدفه، به بهینه‌سازی زنجیره تأمین سبز پرداختند. آن‌ها با درنظرگرفتن متغیرهایی از قبیل هزینه حمل‌ونقل، جریان محصولات در طول زنجیره تأمین و سرمایه‌گذاری برای حفاظت از محیط‌زیست، مدل تحقیق خود را توسعه دادند. شانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۷]، با مطالعه بر روی یک شرکت الکترونیکی، ۲۲ شاخص را با استفاده از تحلیل عاملی، برای سنجش زنجیره تأمین سبز در حوزه صنعت الکترونیک، استخراج کردند.

در مطالعه‌ای دیگر، گووِیندان و همکاران (۲۰۱۳) [۸]، یک رویکرد فازی چند معیاره برای اندازه‌گیری پایداری یک تأمین‌کننده ارائه دادند و تولید آلودگی، مصرف منابع و طراحی زیست‌محیطی و سیستم مدیریت محیط‌زیست را به‌عنوان معیار زیست‌محیطی، در نظر گرفتند.

در پژوهش توسعه داده‌شده توسط Gupta و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۹]، مقاله‌ای باهدف یافتن عوامل مهم برای مدیریت زنجیره تأمین سبز (GSCM) از دیدگاه شرکت‌های کوچک و متوسط انجام‌شده است. روش رتبه‌بندی سلسله مراتبی تحلیلی فازی برای رتبه‌بندی فعال‌کننده‌ها استفاده‌شده است.

با توجه به مشکل تصمیم‌گیری چند معیاره با مقادیر ویژگی‌های مختلف مانند وزن ویژگی، در مقاله توسعه داده‌شده توسط

Huang و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۱۰]، یک روش تصمیم‌گیری بر اساس اطلاعات توزیع ویژگی ارائه‌شده است. همچنین انتخاب تأمین‌کنندگان سبز به‌عنوان نمونه‌ای برای تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری در نظر گرفته‌شده است.

در مقاله توسعه داده‌شده توسط Jiang و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۱۱] عملکرد توسعه پایدار و نوآوری تکنولوژیکی مبتنی بر فناوری تولید سبز بسته به هوش مصنوعی و بلاک چین انجام شد.

انتخاب تأمین‌کننده سبز (GSS) در صنعت نساجی به‌عنوان یک فرآیند ضروری برای ذینفعان توسط Celik و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۱۲] در نظر گرفته شد. در این مطالعه، یک مشکل GSS به‌عنوان یک فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره موردبررسی قرارگرفته و روش بهترین بدترین (BWM) تحت یک مفهوم فازی بهبودیافته در تعیین معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز مورداستفاده قرار گرفت.

در مطالعه انجام‌شده توسط Zhang و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۱۳] یک مرور جامع از مطالعات پیشین انجام‌شده که هدف آن‌ها توسعه مدل‌ها و روش‌هایی برای کمک به شرکت‌ها در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان سبز مناسب است. برای دستیابی به این هدف، درمجموع ۱۹۳ مقاله ژورنالی استخراج‌شده از پایگاه داده Scopus طی دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۰ انتخاب و بررسی‌شده است.

جدول ۱ مروری بر پیشینه پژوهش

مقاله	تأمین‌کننده		معیار		تخفیف	روش	مطالعه موردی
	تکی	چندتایی	تکی	چندتایی	مقداری		
ژیا و وو (۲۰۰۷)		•	•		•	AHP, MOMIP	•
سو و هو (۲۰۰۸)		•	•			FAHP	•
نیلان و همکاران (۲۰۱۰)	•		•			-	•
وانگ و یانگ (۲۰۱۱)		•	•		•	AHP و برنامه‌ریزی فازی	
شانگ و همکاران (۲۰۱۰)		•	•			-	•
Gupta و همکاران (۲۰۱۶)		•	•			FAHP	
Huang و همکاران (۲۰۲۱)		•	•			MCDM	
Jiang و همکاران (۲۰۲۱)	•		•			Artificial Intelligence	•
Celik و همکاران (۲۰۲۱)	•		•			BWM-TODIM	•
Zhang و همکاران (۲۰۲۰)		•	•			-	•
پژوهش حاضر		•	•		•	AHP	•

اکثر مطالعات پیشین انجام‌شده در زمینه انتخاب تأمین‌کننده سبز، بر روش‌های تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان متمرکز بوده و مطالعاتی که درزمینه مدل‌سازی ریاضی بوده‌اند بیشتر بر موضوعات مربوط به تولید آلودگی و مصرف منابع متمرکز بوده است. اما نوع دیگر از مسائل انتخاب تأمین‌کننده سبز که با استفاده از روش‌های مدل‌سازی ریاضی انجام‌شده باشند به‌طور کافی موردتوجه قرار نگرفته است. موضوع مشترک در همه مدل‌ها این است که چگونه تأمین‌کننده‌ها را بر اساس معیارهای سبز بودن رتبه‌بندی کنیم. تحقیقات انجام‌شده موجود به‌وسیله روش‌های مدل‌سازی ریاضی برای انتخاب تأمین‌کننده سبز اغلب معیارهای مربوط به مدیریت فرآیند و بسته‌بندی سبز را به‌عنوان عوامل پیشگیرانه تخریب محیط‌زیست تصویر نمی‌کشد. موفقیت مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده سبز، درگرو توسعه مدل‌های ریاضی با در نظر گرفتن معیارهای پیشگیرانه تخریب محیط‌زیست، می‌باشد.

نوآوری مقاله حاضر به‌صورت زیر می‌باشد:

۱- توسعه یک مدل دوهدفه مبتنی بر معیارهای سنتی و سبز در انتخاب تأمین‌کننده

۲- تلفیق همزمان روش AHP فازی، بهینه‌سازی چندهدفه در کنار استفاده از مفهوم تخفیف افزایشی

ساختار پژوهش حاضر به این صورت می‌باشد که در بخش ۳ از این پژوهش به بررسی مدل توسعه داده‌شده با در نظر گرفتن معیارهای پیشگیرانه تخریب محیط‌زیست پرداخته خواهد شد. در بخش ۴ عملکرد مدل با استفاده از یک مثال واقعی در نرم‌افزار لینگو و به روش آل پی متریک موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته و در بخش ۵ تحلیل حساسیت انجام خواهد گرفت. درنهایت در بخش ۶ نتایج پژوهش مطرح می‌شود. روش آل پی متریک به جهت تبدیل توابع هدف چندگانه به یگانه مورداستفاده قرارگرفته است. بنابراین جواب حاصل، یک جواب کارا خواهد بود.

۳- مدل توسعه داده‌شده

در این تحقیق با استفاده از مطالعات پیشین معیارهایی را برای انتخاب تأمین‌کننده مناسب در نظر گرفته و پس از اولویت‌بندی معیارها با رویکرد AHP فازی، به مدل‌سازی ریاضی پرداخته و مدل را با روش LP-metric حل کرده و درنهایت به حل مدل با نرم‌افزار لینگو می‌پردازیم.

۳-۱- روش AHP فازی

AHP فازی ابزاری برای تصمیم‌گیری چند معیاره است که می‌تواند مسائل پیچیده را به‌صورت سلسله مراتبی ایجاد کند، در نتیجه ارزیابی همه معیارهای مرتبط با تصمیمی را که باید داده شود ساده می‌کند. همه گزینه‌ها بر اساس هر معیار با استفاده از مقیاس ترجیحی به‌طور جداگانه مقایسه می‌شوند و برای هر معیار یک لیست اولویت از گزینه‌ها به دست می‌آید. مقیاس ترجیحی که بیشتر استفاده می‌شود، مقیاس ۱-۹ است. AHP فازی تحلیلگر تصمیم‌گیری را قادر می‌سازد برای مواردی که بسیاری از عدم قطعیت‌ها در آن وجود دارد، امتیاز واقعی‌تری برای گزینه‌های دیگر ارائه دهد.

۳-۲- تعیین معیارها و اولویت‌بندی

در قدم اول بامطالعه مرور ادبیات و کارهای انجام‌شده درزمینه انتخاب تأمین‌کننده سبز، یک سری معیار در نظر می‌گیریم بعد با F-AHP و مقایسه زوجی بین معیارها وزن هر معیار را برای هر آیتم به دست می‌آوریم و ازآنجایی‌که معیارهای سبز بودن برای ما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است فقط وزن معیارهای سنتی را به دست می‌آوریم.

مطابق با مطالعات صورت گرفته، معیارهای ما در این مدل عبارتند از:

I. معیارهای سنتی: کیفیت، قیمت، خدمات پس از فروش، عملکرد زمان تحویل
II. معیارهای سبز بودن و زیست‌محیطی: معیار بسته‌بندی سبز، معیار برنامه‌ریزی فرآیند سبز

سپس با ارائه پرسشنامه بین خبرگان، امتیاز بین ۰ تا ۱۰۰ برای معیارها را به دست می‌آوریم.

۳-۳- مدل برنامه‌ریزی چندهدفه

برنامه‌ریزی چندهدفه، نوع خاصی از مسائل بهینه‌سازی است که در آن چند هدف به‌جای یک هدف، مدنظر است، که گاهی این هدف‌ها باهم متضاد می‌باشند. در تحقیق حاضر هدف ۱- مینیمم سازی هزینه به‌وسیله تخفیف مقداری و ماکزیمم کردن ارزش کل خرید است. برای این منظور وزن‌های معیارها به‌عنوان ضریب تابع هدف برای تخصیص مقدار تقاضا به تأمین‌کنندگان درنظرگرفته شده است، به‌طوری‌که ارزش کل خرید ماکزیمم شود. ۲- مینیمم کردن خسارات زیست‌محیطی به‌وسیله ماکزیمم سازی امتیازات معیارهای سبز بودن.

۳-۴- فرضیات مدل ریاضی

الف- مدل چند محصولی می‌باشد و امکان سفارش ترکیبی از محصولات مختلف به‌صورت هم‌زمان وجود دارد.
ب- مدل تک دوره است. (در یک دوره زمانی است)
ج- تأمین‌کنندگان به ازای خرید حجم‌های مختلف کالا، قیمت‌های مختلفی ارائه می‌دهند. (تخفیف افزایشی)

د- تأمین‌کنندگان دارای ظرفیت محدود می‌باشند.
ه- تمامی اهداف و محدودیت‌ها به‌صورت خطی است.

۳-۵- نشانه‌گذاری

اندیس‌ها:

i	اندیس مربوط به تأمین‌کنندگان
j	اندیس مربوط به آیتم‌ها یا محصولات
k	اندیس مربوط به بازه تخفیف
c	معیار انتخاب تأمین‌کننده (به‌جز قیمت)
L	اندیس مربوط به معیارهای سبز
$l = 2$	معیار بسته‌بندی سبز
$l = 3$	معیار برنامه‌ریزی فرایند سبز

پارامترها:

MSW_{ij}	میزان پسماندهای جامد غیرقابل بازیافت به وجود آمده برای تولید آیتم **j**ام تولیدشده از تأمین‌کننده **i**ام
FP_{ij}	میزان ردپای کربن تولیدشده در اثر بسته‌بندی آیتم **j**ام که توسط تأمین‌کننده **i** تولید می‌شود
Ar_{ij}	ضریب بازیافت آیتم **j**ام تأمین‌کننده **i** ام
A_{1i}	امتیاز معیار بسته‌بندی سبز برای تأمین‌کننده **i** ام
A_{2i}	امتیاز معیار برنامه‌ریزی فرایند سبز تأمین‌کننده **i** ام
W_{cj}	وزن اهمیت معیار **c** و آیتم **j** (بدست آمده بوسیله **AHP** فازی)
W_{cRj}	وزن اهمیت معیار قیمت و آیتم **j** (بدست آمده بوسیله **AHP** فازی)
D_j	تقاضای آیتم **j**
$m(i)$	مقدار محدوده در سطوح قیمت‌گذاری تأمین‌کننده **i**
E_{ij}	ظرفیت تأمین‌کننده **i** با توجه به آیتم **j**
DLR_{ij}	نرخ تأخیر تحویل تأمین‌کننده **i** برای آیتم **j**
DR_{ij}	نرخ معیوبی آیتم **j** خریداری‌شده از تأمین‌کننده **i**
T_j	ماکزیمم تأخیر قابل‌قبول در تحویل آیتم **j**
Q_j	ماکزیمم نرخ معیوبی قابل‌قبول آیتم **j**
NS	ماکزیمم تعداد تأمین‌کننده قابل انتخاب
S_{ijc}	امتیاز تأمین‌کننده **i** و آیتم **j** برای معیار **c**
S_{ijk}	امتیاز تأمین‌کننده **i** و آیتم **j** برای سطح قیمت‌گذاری **k**
b_{ijk}	مرز ارزش بالای فواصل تخفیف مقداری برای آیتم **j** از تأمین‌کننده **i** در سطح قیمت‌گذاری **k** (مقدار اولیه $\mathbf{b_{ijk}=0}$)
M	عدد بزرگ
Ca	حداکثر مقدار مجاز ردپای کربن تولیدشده که در اثر بسته‌بندی آیتم‌های تولیدشده توسط تأمین‌کننده‌ها می‌تواند منتشر شود.

CO	حداکثر میزان پسماندهای جامد غیرقابل بازیافت به وجود آمده برای آیتم‌های تولیدشده توسط تأمین‌کننده‌ها

متغیرهای تصمیم:

Xij	مقدار آیتم **j** ارائه‌شده از تأمین‌کننده **i**
Xx_{ijk}	مقدار آیتم **j** ارائه‌شده از تأمین‌کننده **i** در سطوح قیمت‌گذاری **k**
Y_i	متغیر ۰ و ۱؛ اگر تأمین‌کننده **i** انتخاب شود، پس داریم؛ $y_i=1$ و در غیر این صورت داریم؛ $y_i=0$
YY_{ijk}	متغیر ۰ و ۱؛ اگر سطح قیمت‌گذاری **k** از آیتم **j** برای تأمین‌کننده **i** انتخاب شود، پس داریم؛ $YY_{ijk}=1$ و در غیر این صورت داریم؛ $YY_{ijk}=0$

۳-۶- مدل‌سازی

$$MaxZ_1 = \sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}(W_{cj} * S_{ijc} * X_{ij}) + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}(\sum_{k=1}^{m(i)}(W_{cRj} * S_{ijk} * (X_{ijk} - YY_{ijk}b_{ijk-} YY_{ijk}\sum_{l=1}^{k-1} W_{cRl} * S_{ijl}(b_{ijl} - b_{ijl-1})) \quad (۱)$$

$$Max\ Z_2 = \sum_j \sum_i (A_{1ij} + A_{2ij})Y_i + \sum_i \sum_j Ar_{ij}X_{ij} \quad (۲)$$

$$\sum_{k=1}^{m(i)} XX_{ijk} = X_{ij} \qquad i=1,\ldots,I;\ j=1,\ldots,J \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{I} X_{ij} = D_j \qquad j=1,\ldots,J \quad (۴)$$

$$X_{ij} \le E_{ij} \qquad i=1,\ldots,I;\ j=1,\ldots,J \quad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{I}(DLR_{ij} * X_{ij}) \le T_j * D_j \qquad j=1,\ldots,J \quad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{I}(DR_{ij} * X_{ij}) \le Q_j * D_j \qquad j=1,\ldots,J \quad (۷)$$

$$\sum_{j=1}^{J} X_{ij} \quad M * Y_i \qquad i=1,\ldots,I \quad (۸)$$

$$\sum_{j=1}^{J} XX_{ijk} \le M * YY_{ijk} \qquad i=1,\ldots,I$$

$$M * YY_{ijk} \ge XX_{ijk} \qquad i=1,\ldots,I,\ j=1,\ldots,J,\ k=1,\ldots,m(i) \quad (۹)$$

$$\sum_{k=1}^{K} YY_{ijk} \le 1 \qquad i=1,\ldots,I\ ;j=1,\ldots,J \quad (۱۰)$$

$$\sum_{i=1}^{I} Y\,i \le NS \quad (۱۱)$$

$$b_{ijk-1} + M * (YY_{ijk} - 1) \le XX_{ijk} \qquad i=1,\ldots,I,\ j=1,\ldots,J,\ k=1,\ldots,m(i) \quad (۱۲)$$

$$b_{ijk} + M * (1 - YY_{ijk}) > XX_{ijk}$$

$$X_{ij},\ XX_{ijk} \in \text{صحیح و مثبت}, \qquad i=1,\ldots,I,\ j=1,\ldots,J,\ k=1,\ldots,m(i) \quad (۱۳)$$

$$Y_i,\ YY_{ijk} \in \{\ 0,\ 1\ \} \quad (۱۴)$$

$$\sum_{j=1}^{I} FP_{ij}\,X_{ij} \le Ca\ , \qquad i = 1, \ldots, I \quad (۱۵)$$

$$\sum_{j=1}^{I} MSW_{ij}\,X_{ij} \le Co\ , \qquad i = 1, \ldots, I \quad (۱۶)$$

در مدل ریاضی فوق، تابع هدف اول شامل حداکثر کردن مجموع امتیاز تأمین‌کننده از معیارهای تعریف‌شده با توجه به هر آیتم است. تابع هدف دوم شامل حداکثرکردن معیارهای سبز بودن به‌این‌ترتیب که تأمین‌کنندگانی انتخاب شوند که میزان ضریب بازیافت آیتم‌های تولیدشده توسط آن‌ها و معیار بسته‌بندی سبز و معیار برنامه‌ریزی فرایند سبز در آن‌ها حداکثر باشد.

معادله (۳) مجموع مقدار آیتم j که تأمین‌کننده i در سطوح قیمت‌گذاری k تهیه‌اش می‌کند، باید برابر باشد با کل مقادیر آیتم j که تأمین‌کننده i عرضه می‌کند.

معادله (۴) مجموع مقدار آیتم j که توسط تأمین‌کنندگان مختلف تهیه می‌شود باید با مجموع تقاضای آیتم j برابر باشد.

معادله (۵) مقدار آیتم j که توسط تأمین‌کننده i عرضه می‌شود نباید از ظرفیت تأمین‌کننده i برای تهیه آیتم j بیشتر باشد.

معادله (۶) میانگین تأخیر تحویل هر آیتم j که توسط تأمین‌کنندگان مختلف عرضه می‌شود، نباید بیشتر از ماکزیمم نرخ تأخیر تحویل قابل‌قبول آیتم j باشد.

معادله (۷) میانگین نرخ معیوب هر آیتم j که توسط تأمین‌کنندگان مختلف عرضه می‌شود، نباید بیشتر از حداکثر نرخ معیوب قابل‌قبول آیتم j باشد.

معادله (۸) اگر هر مقدار آیتم j توسط تأمین‌کننده i عرضه شد، تأمین‌کننده مرتبط انتخاب می‌شود و $Y_i = 1$ وگرنه آن تأمین‌کننده انتخاب نمی‌شود و $Y_i=0$

معادله (۹) اگر هر مقدار آیتم j توسط تأمین‌کننده i عرضه شود در سطح قیمت‌گذاری k، پس تأمین‌کننده i برای آیتم j در سطح قیمت‌گذاری k انتخاب می‌شود و $YY_{ijk}=1$ وگرنه آن تأمین‌کننده انتخاب نمی‌شود و $YY_{ijk}=0$.

معادله (۱۰) سطح قیمت‌گذاری k از آیتم j برای تأمین‌کننده i انتخاب‌شده یا نشده است. (۰ یا ۱)

معادله (۱۱) تعداد تأمین‌کننده‌های انتخاب‌شده نباید بیشتر از حداکثر تعداد تأمین‌کننده‌ها باشد.

معادله (۱۲) سطح قیمت‌گذاری k برای هر آیتم j که توسط تأمین‌کننده i عرضه می‌شود، تعیین می‌شود.

معادله (۱۳) و (۱۴) متغیرهای تصمیم همچنین مثبت هستند یا اعداد صحیح دوتایی هستند.

معادله (۱۵) مجموع میزان ردپای کربن تولیدشده در اثر بسته‌بندی آیتم jام که توسط تأمین‌کننده i تولید می‌شود باید از مقدار مجاز آن کمتر باشد

معادله (۱۶) مجموع میزان پسماندهای جامد غیرقابل بازیافت به وجود آمده برای تولید آیتم jام تولیدشده از تأمین‌کننده iام باید از مقدار مجاز برای آن کمتر باشد. حداکثر مقدار پسماند به‌وسیله نظریه کارشناسی تعیین می‌شود.

ردپای کربن محصول در سطح زیادی در زمان تغییر از منابع پلاستیکی تجدید ناپذیر به منابع تجدید پذیر (مانند مقوا یا چوب) کاهش‌یافته است، چراکه به دنبال آن مصرف سوخت نفتی نیز کاهش می‌یابد. درنهایت نیز با بهبود مدیریت پایان عمر بسته‌بندی محصولات میزان ردپای کربن محصول به دلیل کاهش انتشارات محل دفن ضایعات، به‌طور چشمگیری کاهش‌یافته است. و بسته به اینکه بسته‌بندی اقلام موردنیاز از چه جنسی باشد میزان تولید رد پای کربن متفاوت است و با توجه به نظر کارشناسی میزان حداکثر مقدار مجاز ردپای کربن تعیین می‌شود.

۳-۷- تحلیل معیارهای سبز بودن و زیست‌محیطی

برای حل مدل ریاضی، تابع هدف اول که حداکثر کردن مجموع امتیاز تأمین‌کننده از معیارهای تعریف‌شده با توجه به هر آیتم، می‌باشد، باید مقادیر به‌دست‌آمده از نظرات خبرگان را به‌عنوان پارامتر S برای هر معیار، در تابع قرار دهیم. ولی این مقادیر باید نرمالایز گردند تا بی‌مقیاس شوند و به‌عنوان پارامتر S مطرح می‌شوند.

چون در این مدل، یکی از اهداف بسیار مهم ما حداکثر نمودن معیارهای سبز بودن می‌باشد و نیز به دلیل اینکه در بعضی مواقع برآورده ساختن معیارهای سنتی و معیارهای سبز بودن باهم در تناقض می‌باشند به این دلیل ما مدل را در دو هدف تعریف می‌نماییم و یک تابع هدف برای حداکثر کردن معیارهای سبز تعریف نموده و با ارائه پرسشنامه بین خبرگان و مدیران با توجه به سوابق تأمین‌کننده مقادیر بین ۰ تا ۱۰۰ برای معیارها را به دست می‌آوریم. سپس برای حل تابع هدف دوم که حداکثر کردن مجموع امتیاز تأمین‌کننده از معیارهای سبز تعریف‌شده با توجه به هر آیتم می‌باشد، باید مقادیر به‌دست‌آمده از نظرات خبرگان را به‌عنوان پارامتر A_2 , A_1 برای هر معیار، در تابع قرار دهیم. این مقادیر باید نرمالایز گردند تا بی‌مقیاس شوند و به‌عنوان پارامتر A_1 و A_2 در تابع هدف مطرح شوند. برای نرمالایزکردن معیارها، برای هرکدام از معیارهای سبز که در تابع هدف دوم آمده‌اند یک شاخص تعیین می‌کنیم به این صورت که:

برای معیار بسته‌بندی سبز شاخص میزان ردپای کربن تولیدشده در اثر بسته‌بندی آیتم‌هایی که توسط تأمین‌کننده‌ها تولید می‌شود را در نظر می‌گیریم. و به‌صورت زیر برای این شاخص امتیاز A_1 را بدست می‌آوریم:

$$A_1 = 1 - \frac{A \text{ تأمین کننده } F.P \text{ برای آیتم } 1 - \min F.P \text{ برای آیتم } 1}{Max F.P \text{ برای آیتم } 1 - \min F.P \text{ برای آیتم } 1} \quad (۱۷)$$

که در آن، A_1 امتیاز معیار بسته‌بندی سبز و F.P میزان ردپای کربن تولیدشده در اثر بسته‌بندی آیتم‌ها است. برای معیار فرآیند برنامه‌ریزی سبز، شاخص میزان پسماندهای جامد غیرقابل بازیافت به وجود آمده در اثر تولید آیتم‌ها توسط تأمین‌کننده، را در نظر می‌گیریم. و به‌صورت زیر برای این شاخص امتیاز A_2 را بدست می‌آوریم:

$$A_2 = 1 - \frac{A \text{ تأمین‌کننده } MSW \text{ برای آیتم } 1 - \min MSW \text{ برای آیتم } 1}{Max\ MSW \text{ برای آیتم } 1 - \min MSW \text{ برای آیتم } 1} \quad (۱۸)$$

که در آن، A_2 امتیاز معیار برنامه‌ریزی فرایند تولید سبز و MSW به‌عنوان میزان پسماندهای جامد غیرقابل بازیافت به وجود آمده در اثر تولید آیتم‌ها توسط تأمین‌کننده می‌باشد. همچنین ضریب بازیافت را به‌عنوان یک پارامتر در تابع قرار می‌دهیم و برای اینکه به این هدف دست پیدا کنیم دو محدودیت در میان بقیه محدودیت‌ها قرار دادیم و آن به این صورت است؛ مجموع میزان ردپای کربن تولیدشده در اثر بسته‌بندی آیتم jام که توسط تأمین‌کننده i تولید می‌شود باید از مقدار مجاز آن کمتر باشد و مجموع میزان پسماندهای جامد غیرقابل بازیافت به وجود آمده برای تولید آیتم jام تولیدشده از تأمین‌کننده iام باید از مقدار مجاز برای آن کمتر باشد.

ردپای کربن محصول در سطح زیادی در زمان تغییر از منابع پلاستیکی تجدید ناپذیر به منابع تجدید پذیر (مانند مقوا یا چوب) کاهش‌یافته است، چراکه به دنبال آن مصرف سوخت نفتی نیز کاهش می‌یابد. درنهایت نیز با بهبود مدیریت پایان عمر بسته‌بندی محصولات میزان ردپای کربن محصول به دلیل کاهش انتشارات محل دفن ضایعات، به‌طور چشمگیری کاهش‌یافته

است. و بسته به اینکه بسته‌بندی اقلام موردنیاز از چه جنسی باشد میزان تولید رد پای کربن متفاوت است و با توجه به نظر کارشناسی میزان حداکثر مقدار مجاز ردپای کربن تعیین می‌شود.

۴- مطالعه موردی

برای نشان دادن مشخصات، نقاط قوت و ضعف مدل پیشنهادی، یک مثال عددی حل‌شده است. با استفاده از این مثال، مدل اجراشده و عملکرد آن مورد ارزیابی قرارگرفته است و حل این مدل با استفاده از نرم‌افزار Lingo و روش آل. پی متریک انجام‌شده است. کاربرد روش پیشنهادشده در یک شرکت موتور استفاده‌شده که بیشتر مواد اولیه موردنیاز این شرکت از یک شرکت اصلی که در آلمان قرار دارد تهیه می‌شود و بعضی از مواد اولیه آن از تأمین‌کننده‌های موجود در ترکیه تهیه می‌شود. و ۵ نوع از انواع بلبرینگ که بیشترین تأثیر را روی هزینه کل منابع و تدارکات دارند را در نظر می‌گیریم و معیارهای سنتی درنظرگرفته شده برای انتخاب تأمین‌کننده در این مدل؛ کیفیت، قیمت، خدمات پس از فروش، عملکرد زمان تحویل، خدمات پس از فروش می‌باشد.

اطلاعات ۶ تأمین‌کننده برای انواع بلبرینگ فهرست شده است و معیارهای سنتی درنظرگرفته شده برای انتخاب تأمین‌کننده در این مدل؛ کیفیت، قیمت، عملکرد زمان تحویل، خدمات پس از فروش می‌باشد و معیارهای سبز درنظرگرفته شده؛ معیار مدیریت فرآیند سبز، بسته‌بندی سبز کالا می‌باشد، و در این مدل ضریب بازیافت برای کالاها نیز در نظر گرفته‌شده است. نرخ تأخیر تحویل هر نوع بلبرینگ، متفاوت است. به‌طور مثال زمانی که داده‌ها بررسی شدند متوجه می‌شویم که ٪۴ بلبرینگ نوع ۱ و ٪۵ درصد بلبرینگ نوع ۲، تأخیر تحویل‌دارند وقتی توسط تأمین‌کننده A تهیه شوند و به‌طور مشابه نرخ معیوبی نیز برای انواع بلبرینگ که توسط یک تأمین‌کننده مشابه تهیه می‌شوند ممکن است متفاوت باشد.

زمانی که عملکرد خدمات پس از فروش هر تأمین‌کننده بررسی می‌شود، واضح است که عملکرد یک تأمین‌کننده برای انواع بلبرینگ‌ها یکسان می‌باشد و تغییر نمی‌کند و به‌طور مشابه، میزان پسماندهای جامد غیرقابل بازیافت نیز برای انواع بلبرینگ که توسط یک تأمین‌کننده مشابه تهیه می‌شوند ممکن است متفاوت باشد.

و همین‌طور میزان ردپای تولیدشده در اثر بسته‌بندی، نیز برای انواع بلبرینگ که توسط یک تأمین‌کننده مشابه تهیه می‌شوند ممکن است متفاوت باشد.

در این مدل ابتدا به مقایسه زوجی بین معیارها برای هر کالا، توسط خبرگان می‌پردازیم. که در جدول شماره ۴-۱ و ۴-۲، این مقایسات نشان داده‌شده است.

جدول ۴-۱ مقایسات زوجی معیارها برای بلبرینگ نوع ۱

	زوج معیارها	اهمیت معیارها	اعداد فازی
۱	کیفیت – قیمت	کیفیت - نسبتاً مهم	(۲، ۳، ۴)
۲	کیفیت - خدمات پس از فروش	کیفیت – کاملاً مهم	(۹، ۹، ۹)
۳	کیفیت – زمان تحویل	کیفیت – قویاً مهم	(۶، ۷، ۸)
۴	قیمت – خدمات پس از فروش	قیمت – قویاً مهم	(۶، ۷، ۸)
۵	قیمت – زمان تحویل	قیمت – تقریباً مهم	(۴، ۵، ۶)
۶	خدمات پس از فروش – زمان تحویل	زمان تحویل – تقریباً مهم	(۴، ۵، ۶)

جدول ۴-۲ ماتریس مقایسه معیارها برای بلبرینگ نوع ۱

معیار	کیفیت	قیمت	زمان تحویل	خدمات پس از فروش
کیفیت	(۱، ۱، ۱)	(۲، ۳، ۴)	(۹، ۹، ۹)	(۶، ۷، ۸)
قیمت	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(۱، ۱، ۱)	(۶، ۷، ۸)	(۴، ۵، ۶)

معیار	کیفیت	قیمت	زمان تحویل	خدمات پس از فروش
زمان تحویل	$(\frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9})$	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$	(۱، ۱، ۱)	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$
خدمات پس از فروش	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	(۴، ۵، ۶)	(۱، ۱، ۱)

میانگین هندسی برای معیارها از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\widetilde{r_i} = \left(\prod_{i=1}^{n} \widetilde{d_{ij}}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (۱۹)$$

که برای معیار کیفیت برای کالای ۱ به‌صورت زیر است:

$$\widetilde{r_1} = [(1*2*9*6)^{\frac{1}{4}}, (1*3*9*7)^{\frac{1}{4}}, \left(1*4*9*8\right)^{\frac{1}{4}}] = [3.22, 3.71, 4.12]$$

جدول ۴-۳ میانگین هندسی مقادیر مقایسات فازی برای بلبرینگ نوع ۱

معیار	$\widetilde{r_i}$		
کیفیت	۳/۲۲	۳/۷۱	۴/۱۲
قیمت	۱/۵۷	۱/۸۵	۲/۲۱
خدمات پس از فروش	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۶
زمان تحویل	۰/۵۴	۰/۶۱	۰/۷۱
مجموع	۵/۵۵	۶/۴۱	۷/۳

جدول ۴-۴ وزن نسبی فازی هر معیار برای بلبرینگ نوع ۱

معیار	$\widetilde{W_i}$		
کیفیت	۰/۴۵۱	۰/۵۹۴	۰/۷۴۲
قیمت	۰/۲۱۴	۰/۲۸۸	۰/۳۹۹
خدمات پس از فروش	۰/۰۳	۰/۰۳۷	۰/۰۴۷
زمان تحویل	۰/۰۷۴	۰/۰۹۶	۰/۱۲۸

جدول ۴-۵ میانگین و وزن نسبی نرمالایز شده هر معیار برای بلبرینگ نوع ۱

معیار	M_i	N_i
کیفیت	۰/۵۹۶	۰/۵۷
قیمت	۰/۳۰۱	۰/۲۹
خدمات پس از فروش	۰/۰۳۸	۰/۰۴
زمان تحویل	۰/۰۹۹	۰/۱
مجموع	۱/۰۳۳	۱

به‌طور مشابه همین مراحل را برای سایر انواع بلبرینگ‌ها انجام می‌دهیم. جدول اوزان نسبی نرمالایز شده برای سایر کالاها در ضمیمه آورده شده است.

جدول ۴-۶ اوزان نسبی نرمالایز شده معیارها برای انواع بلبرینگ‌ها

معیار	بلبرینگ نوع ۱	بلبرینگ نوع ۲	بلبرینگ نوع ۳	بلبرینگ نوع ۴	بلبرینگ نوع ۵
کیفیت	۰/۵۷	۰/۲۲	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۰۹
قیمت	۰/۲۹	۰/۶۴	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۶۳
خدمات پس از فروش	۰/۰۴	۰/۱	۰/۱	۰/۰۸	۰/۲۴
زمان تحویل	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۴

اطلاعات تأمین‌کننده اول، که به‌وسیله نظرخواهی از خبرگان، به‌صورت زیر به دست آوردیم و برای بقیه تأمین‌کننده‌ها نیز در ضمایم موجود می‌باشد.

جدول ۴-۷ داده‌های تأمین‌کننده ۱

معیار	بلبرینگ نوع ۱	بلبرینگ نوع ۲	بلبرینگ نوع ۳	بلبرینگ نوع ۴	بلبرینگ نوع ۵
ظرفیت تولید	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۸۰۰۰	۱۷۰۰۰	۲۰۰۰۰
نرخ دیرکرد تحویل	٪۴	٪۵	٪۳	٪۵/۵	٪۴/۵
نرخ اقلام معیوب	٪۱	٪۲/۵	٪۱/۵	٪۲	٪۱/۷۵
خدمات پس از فروش	٪۹۰	٪۹۰	٪۹۰	٪۹۰	٪۹۰

جدول ۴-۸ داده‌های نرمالایز شده برای تأمین‌کننده ۱

معیار	بلبرینگ نوع ۱	بلبرینگ نوع ۲	بلبرینگ نوع ۳	بلبرینگ نوع ۴	بلبرینگ نوع ۵
ظرفیت تولید	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۸۰۰۰	۱۷۰۰۰	۲۰۰۰۰
نرخ دیرکرد تحویل	٪۶۶/۷	٪۱۴	٪ ۱۰۰	٪۲۲	٪۵۰
نرخ اقلام معیوب	٪۱۰۰	٪۲۵	٪۱۰۰	٪۶۷	٪۵۷
خدمات پس از فروش	٪۹۰	٪۹۰	٪۹۰	٪۹۰	٪۹۰

بازه تخفیفات قیمت و امتیاز مربوط به تأمین‌کننده ۱ به‌صورت زیر می‌باشد و برای سایر تأمین‌کننده‌ها نیز در ضمایم موجود می‌باشد.

جدول ۴-۹ بازه تخفیفات، قیمت و امتیاز مربوط به تأمین‌کننده ۱

	بازه مقداری	قیمت	امتیاز (٪)
بلبرینگ نوع ۱	[۰,۵۰۰۰)	۱۱	۶۷
	[۵۰۰۰,∞)	۱۰	۳۳
بلبرینگ نوع ۲	[۰,۵۰۰۰)	۹/۵	۰
	[۵۰۰۰,∞)	۷/۵	۱۰۰
بلبرینگ نوع ۳	[۰, ۵۰۰۰)	۶/۵	۵۵
	[۵۰۰۰,∞)	۵/۵	۹۱
بلبرینگ نوع ۴	[۰,۵۰۰۰)	۷/۵	۱۴
	[۵۰۰۰,∞)	۷	۴۳
بلبرینگ نوع ۵	[۰,۱۰۰۰۰)	۱۱/۵	۱۱
	[۱۰۰۰۰,∞)	۱۰/۷۵	۴۴

جدول ۴-۱۰ میزان ردپای کربن تولیدشده در اثر بسته‌بندی آیتم‌ها به ازای هر تأمین‌کننده

	بلبرینگ نوع ۱	بلبرینگ نوع ۲	بلبرینگ نوع ۳	بلبرینگ نوع ۴	بلبرینگ نوع ۵
تأمین‌کننده ۱	۵/۵	۶	۷	۴	۵/۷۵
تأمین‌کننده ۲	۸	۴	۵/۸	۶	۴/۲۵
تأمین‌کننده ۳	۴/۵	۸/۲	۶/۳	۵/۲	۶/۸
تأمین‌کننده ۴	۷/۳	۶/۵	۵/۷	۵/۹	۵/۳
تأمین‌کننده ۵	۶/۱	۳/۹	۵/۱	۶/۷	۷/۲
تأمین‌کننده ۶	۴/۳	۷/۶	۸/۴	۳/۱	۵/۵

جدول ۴-۱۱ امتیاز معیار بسته‌بندی سبز برای هر تأمین‌کننده به ازای هر کالا

	بلبرینگ نوع ۱	بلبرینگ نوع ۲	بلبرینگ نوع ۳	بلبرینگ نوع ۴	بلبرینگ نوع ۵
تأمین‌کننده ۱	۶۸	۵۱	۴۲	۷۵	۴۹
تأمین‌کننده ۲	۰	۹۸	۷۹	۱۹	۱۰۰
تأمین‌کننده ۳	۹۵	۰	۶۴	۴۲	۱۴
تأمین‌کننده ۴	۱۹	۴۰	۸۲	۲۲	۶۴
تأمین‌کننده ۵	۵۱	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰
تأمین‌کننده ۶	۱۰۰	۱۴	۰	۱۰۰	۵۸

جدول ۴-۱۲ سایر اطلاعات مساله

	تقاضا	ماکزیمم نرخ تأخیر قابل‌قبول	ماکزیمم نرخ اقلام معیوب قابل‌قبول
بلبرینگ نوع ۱	۱۴۵۰۰	٪۵	٪۶
بلبرینگ نوع ۲	۱۷۵۰۰	٪۵	٪۶
بلبرینگ نوع ۳	۱۶۰۰۰	٪۵	٪۶
بلبرینگ نوع ۴	۲۵۰۰۰	٪۵	٪۶
بلبرینگ نوع ۵	۲۱۰۰۰	٪۵	٪۶

پس از حل مدل، نتیجه به‌صورت جدول ۴-۱۳ حاصل می‌شود.

جدول ۴-۱۳ نتیجه حاصل‌شده از حل مدل

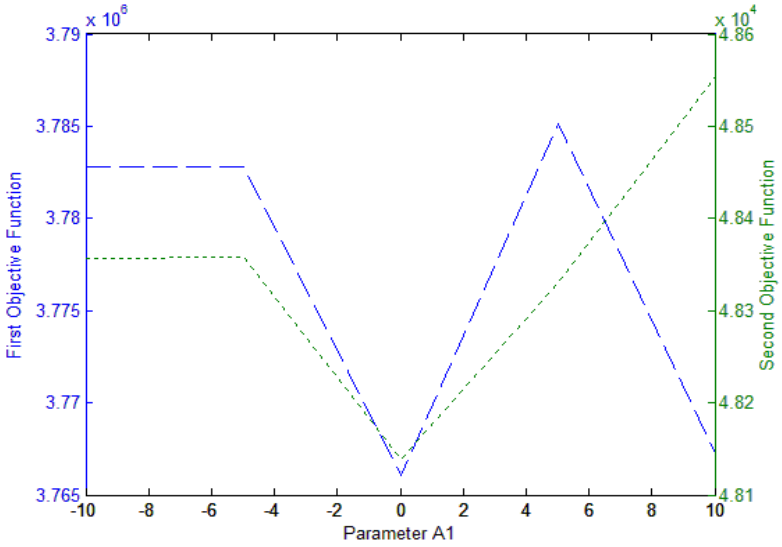
	بلبرینگ نوع ۱	بلبرینگ نوع ۲	بلبرینگ نوع ۳	بلبرینگ نوع ۴	بلبرینگ نوع ۵
تأمین‌کننده ۱	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۸۰۰۰
تأمین‌کننده ۲	۴۵۰۰	۹۵۰۰	۵۰۰۰	۱۲۰۰۰	۷۰۰۰
تأمین‌کننده ۳	۰	۰	۰	۰	۰
تأمین‌کننده ۴	۰	۰	۰	۰	۰
تأمین‌کننده ۵	۰	۰	۰	۰	۰
تأمین‌کننده ۶	۵۰۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰	۸۰۰۰	۶۰۰۰
مجموع تقاضا	۱۴۵۰۰	۱۷۵۰۰	۱۶۰۰۰	۲۵۰۰۰	۲۱۰۰۰

مطابق با جدول فوق، تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ و ۶ انتخاب می‌شوند. مقدار تابع هدف اول دریکی از جواب‌های کارای روش آل‌پی متریک، برابر ۵۴۷۶۲۸/۳ و مقدار تابع هدف دوم برابر ۱۰۶۰۵۱۳ می‌باشد که مقدار قابل قبولی است.

۵- تحلیل حساسیت

در این مقاله از طریق تحلیل حساسیت به تجزیه‌وتحلیل نتایج می‌پردازیم به این صورت که کلیه پارامترها را در مدل ثابت در نظر می‌گیریم و پارامتر موردنظر را به‌اندازه ۵ و ۱۰ درصد کم و زیاد می‌کنیم و مقادیر توابع هدف را در اثر این تغییرات به دست می‌آوریم. و این کار را برای چند پارامتری که برایمان از اهمیت بیشتری برخوردار است انجام می‌دهیم. و نمودارهای این تغییرات را به‌وسیله نرم‌افزار متلب رسم می‌نماییم. تحلیل حساسیت‌های پارامترها را در بازه‌های ۵-درصد، ۱۰- درصد، ۵+ درصد و ۱۰+ درصد انجام دادیم.

۵-۱- تحلیل حساسیت پارامتر امتیاز بسته‌بندی



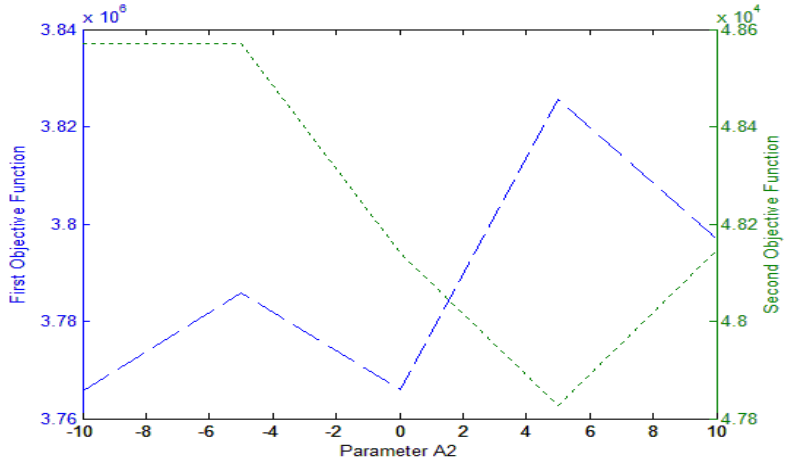
شکل ۵-۱ تغییرات توابع هدف در اثر تغییرات پارامتر امتیاز بسته‌بندی

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در این شکل پارامتر در بازه ۱۰- تا ۵- برای تابع هدف اول و دوم به‌صورت یکنواخت عمل می‌کند. از ۵- تا صفر برای هر دو تابع هدف به‌صورت نزولی می‌باشد. از صفرتا ۵+ تابع هدف اول افزایشی است و پس‌ازآن کاهشی می‌باشد. ولی برای تابع هدف دوم از صفرتا انتها به‌صورت افزایشی می‌باشد.

۵-۲- تحلیل حساسیت پارامتر امتیاز برنامه‌ریزی فرآیند سبز

در تابع هدف اول از ۱۰- تا ۵- صعودی و از ۵- تا صفر نزولی می‌باشد. از صفرتا ۵+ با شیب زیادی افزایش میابد و از ۵+ تا ۱۰+ روند نزولی دارد.

در تابع هدف دوم از ۱۰- تا ۵- رفتار یکنواخت دارد و از ۵- الی ۵+ به‌صورت نزولی می‌باشد و از ۵+ الی ۱۰+ صعودی می‌باشد.

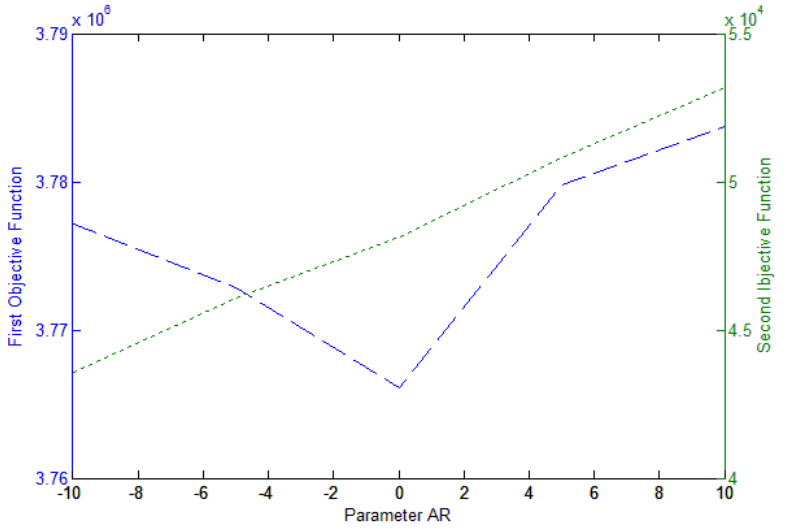


شکل ۵-۲ تغییرات توابع هدف در اثر تغییرات پارامتر امتیاز برنامه‌ریزی فرآیند سبز

۵-۳- تحلیل حساسیت پارامتر ضریب بازیافت

در تابع هدف اول از ۱۰- تا صفر روند کاهشی دارد و از صفر به بعد روند افزایشی دارد.

در تابع هدف دوم در کل بازه روند صعودی دارد.

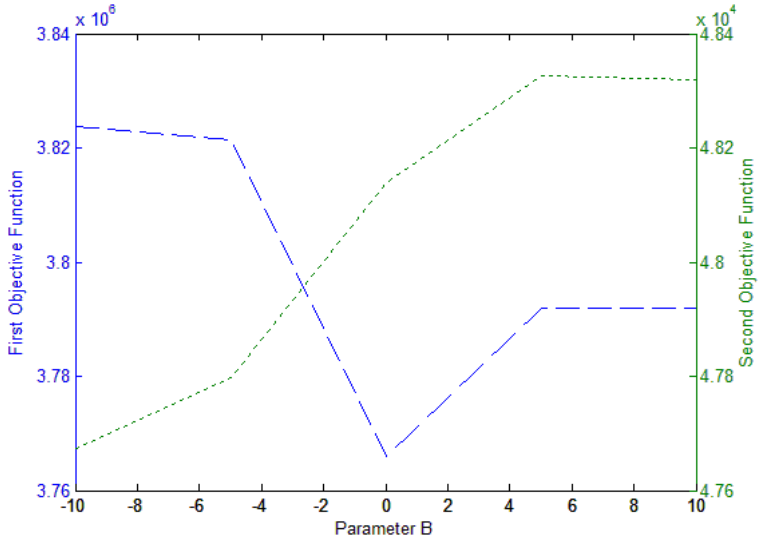


شکل ۵-۳ تغییرات توابع هدف در اثر تغییرات پارامتر ضریب بازیافت

۵-۴- تحلیل حساسیت پارامتر فواصل تخفیف

در تابع هدف اول در فاصله ۱۰- تا ۵- دارای شیب نزولی بسیار کم ولی از ۵- تا صفر شیب نزولی زیادی دارد. از صفرتا ۵+ روند افزایشی و از ۵+ به بعد به‌صورت یکنواخت است.

در تابع هدف دوم از بازه ۱۰- تا ۵+ دارای روند افزایشی و از ۵+ به بعد یکنواخت است.

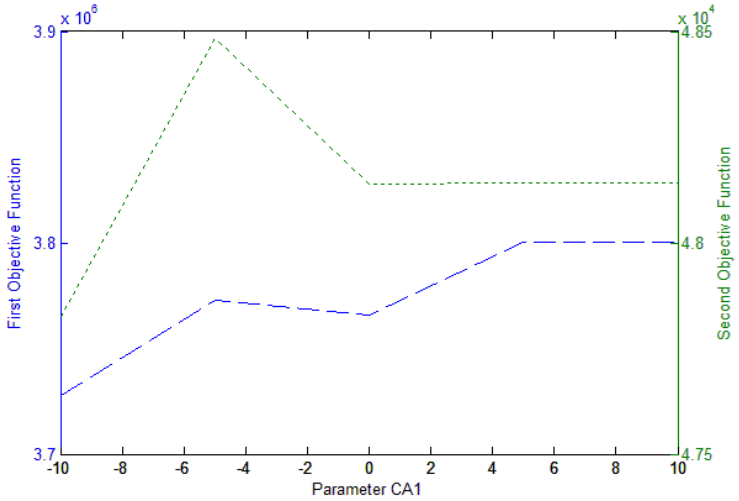


شکل ۵-۴ تغییرات توابع هدف در اثر تغییرات پارامتر فواصل تخفیف

۵-۵- تحلیل حساسیت پارامتر حداکثر مجاز کربن

در تابع هدف اول از ۱۰- تا ۵- روند افزایشی و از ۵- تا صفر با شیب نسبتاً کم کاهشی می‌باشد. از صفرتا ۵+ دارای روند افزایشی و از ۵+ تا ۱۰+ به‌صورت یکنواخت می‌باشد.

در تابع هدف دوم از ۱۰- تا ۵- صعودی و از ۵- تا صفر نزولی می‌باشد. از صفر به بعد نیز دارای رفتار یکنواخت می‌باشد.

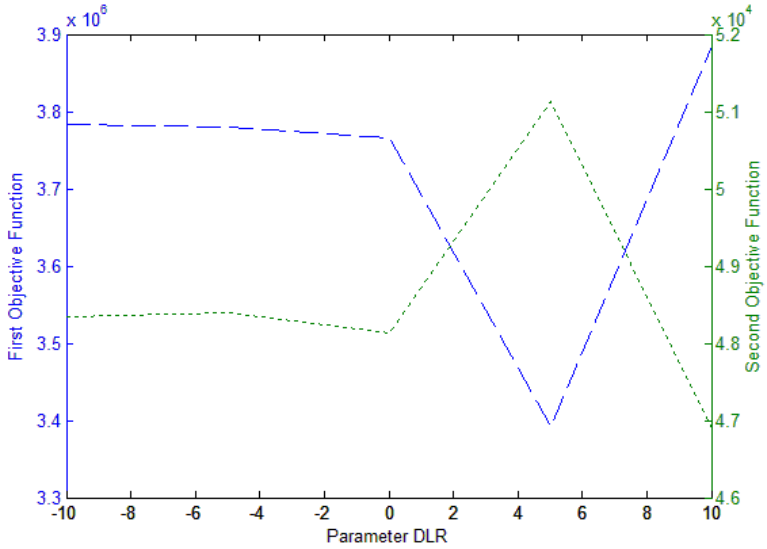


شکل ۵-۵ تغییرات توابع هدف در اثر تغییر پارامتر حداکثر مجاز کربن

۵-۶- تحلیل حساسیت پارامتر نرخ تاخیرتحویل

در تابع هدف اول از ۱۰- تا صفر دارای روند نزولی با شیب نسبتاً کم می‌باشد و از ۰ تا ۵+ با شیب بسیار زیادی نزولی است. از ۵+ تا ۱۰+ نیز با شیب زیادی روند افزایشی دارد.

در تابع هدف دوم از ۱۰- تا صفر تقریباً روند یکنواختی دارد و از صفرتا ۵+ صعودی و از ۵+ تا ۱۰+ نزولی می‌باشد.

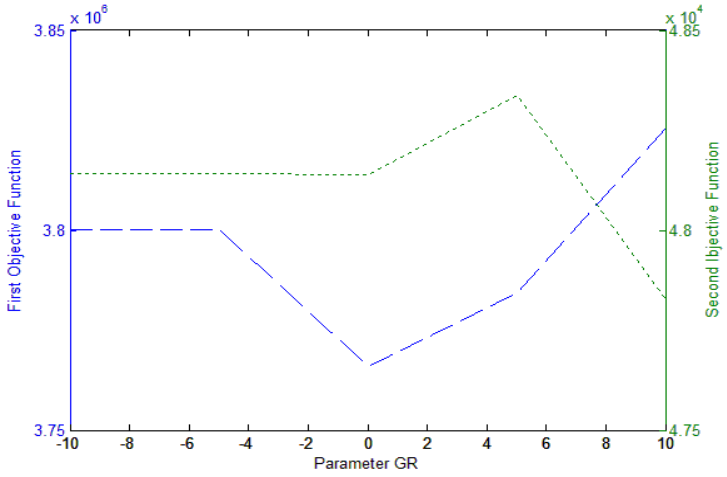


شکل ۵-۶ تغییرات توابع هدف در اثر تغییرات پارامتر نرخ تاخیر تحویل

۵-۷- تحلیل حساسیت پارامتر میزان رد پای کربن

در تابع هدف اول از ۱۰- تا ۵- یکنواخت می‌باشد و از ۵- تا صفر روند نزولی دارد. از صفرتا ۱۰+ نیز دارای روند افزایشی می‌باشد.

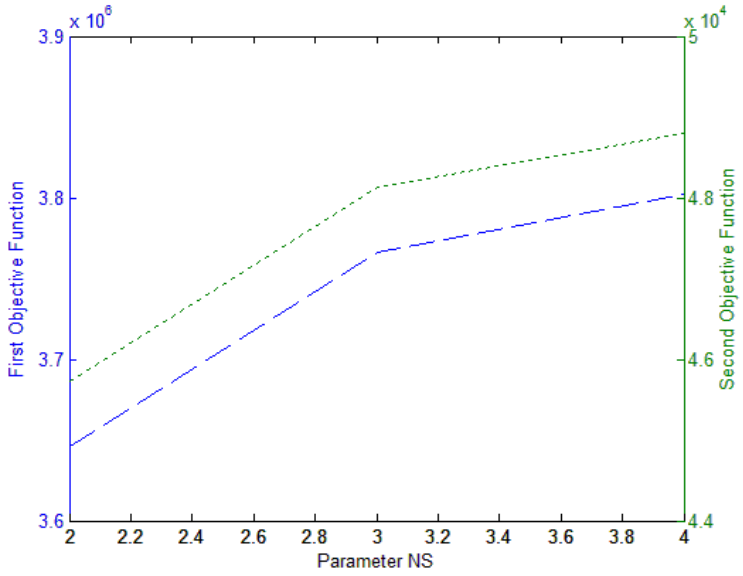
در تابع هدف دوم از ۱۰- تا صفر به‌صورت یکنواخت می‌باشد. و از صفرتا ۵+ دارای روند صعودی و از ۵+ تا ۱۰+ روند نزولی دارد.



شکل ۵-۷ تغییرات توابع هدف در اثر تغییرات پارامتر میزان رد پای کربن

۵-۸- تحلیل حساسیت پارامتر حداکثر تعداد تأمین‌کننده‌ها

تعداد حداکثر تأمین‌کنندگان مساله اصلی برابر ۳ بود. یکبار این عدد را به ۲ و بار دیگر به ۴ تغییر دادیم و همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌شود درجایی‌که این پارامتر را کاهش دادیم توابع هدف کاهش یافتند و درجایی‌که تعداد تأمین‌کنندگان را افزایش دادیم توابع هدف نیز افزایش یافتند.



شکل ۵-۸ تغییرات توابع هدف در اثر تغییرات پارامتر حداکثر تعداد تأمین‌کننده‌ها

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن معیارهای سبز پرداخته‌شده است. زیرا با توجه به اثرات نامطلوب زیست‌محیطی، مباحث زیادی در زمینه بهبود زنجیره تأمین مطرح می‌گردد. هدف از این بررسی‌ها بهبود کیفیت محصول و کاهش هزینه‌های خرید مواد، تجهیزات ورودی به کارخانه و کاهش اثرات زیست‌محیطی و درنتیجه افزایش مزیت رقابتی است. این مدل توسعه یک مدل جدید انتخاب تأمین‌کننده در محیط چند آیتمی و چند تأمین‌کننده می‌باشد، که به‌وسیله در نظر گرفتن فواصل تخفیف افزایشی میزان هزینه را کاهش می‌دهد. انتخاب معیارهای مناسب برای انتخاب تأمین‌کننده سبز مناسب، مبحث دیگری است که مطرح می‌شود و تأثیر فراوانی بر روی نتیجه نهایی حاصل از مدل دارد.

در انتخاب یک تأمین‌کننده مناسب معیارهای زیادی وجود دارد، مانند هزینه و کیفیت، که باید مصالحه‌ای بین آن‌ها صورت گرفته شود تا بتواند به نتیجه رضایت‌بخش منجر گردد. بنابراین چالش ابتدایی انتخاب معیار برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان می‌باشد که در این پژوهش از تحقیق در مورد مفاهیم مرتبط با زنجیره تأمین سبز استفاده‌شده است.

در این پژوهش پس از تعیین معیارها با توجه به تحقیقات پیشین، پرسشنامه‌ای در اختیار خبرگان و مدیران سازمان قرار گرفت تا در مورد میزان اهمیت معیارهای سنتی با توجه به هر آیتم نظر بدهند. سپس توسط روش AHP فازی، وزن معیارها با توجه به هر آیتم به دست آورده شد. زیرا سبز بودن معیارها هدف مهمی برای انتخاب تأمین‌کننده‌ها در این مدل است. سپس در مرحله بعد این وزن‌ها، در تابع هدف اول مدل ریاضی دو هدفه قرارگرفته شد.

امتیاز معیارهای سنتی و سبز، با استفاده از مدل ریاضی حداکثر گردید و میزان آیتم‌های اختصاص داده‌شده به هر تأمین‌کننده را به دست آورده شد. درواقع یک مدل ادغامی دو قسمتی شامل F-AHP و MOLP ارائه و برای حداقل نمودن هزینه‌ها از تخفیف افزایشی استفاده شد. همچنین درکنار معیار هزینه، معیارهای دیگر نیز در نظر گرفته شد.

طبق نتایج حاصل از حل مساله، تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ و ۶ انتخاب می‌شوند. همچنین مقدار تابع هدف اول دریکی از جواب‌های کارای روش آل پی متریک، برابر ۵۴۷۶۲۸/۳ و مقدار تابع هدف دوم برابر ۱۰۶۰۵۱۳ می‌باشد که مقدار قابل قبولی است. به منظور مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود که از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری جهت رتبه‌بندی استفاده و نتایج با مقاله مورد نظر، مقایسه شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که مساله در ابعاد بزرگتر و توسط روش‌های حل دقیق و فرا ابتکاری نیز حل شود.

۷- منابع

[1] Van Hoek, Remko I, Erasmus. From reversed logistics to green supply chains. Logistics Solutions. 2000;2:28-33.

[2] Hervani AA, Helms MM, Sarkis J. Performance measurement for green supply chain management. Benchmarking: An international journal. 2005;12:330-53. DOI: 10.1108/14635770510609015.

[3] Zhu Q, Sarkis J, Lai K-h. Green supply chain management: pressures, practices and performance within the Chinese automobile industry. Journal of cleaner production. 2007;15:1041-52. DOI: 10.1016/j.jclepro.2006.05.021.

[4] Hsu C-W, Hu AH. Green supply chain management in the electronic industry. International Journal of Environmental Science & Technology. 2008;5:205-16. DOI: 10.1007/BF03326014.

[5] Ninlawan C, Seksan P, Tossapol K, Pilada W. The implementation of green supply chain management practices in electronics industry. World Congress on Engineering 2012 July 4-6, 2012 London, UK: International Association of Engineers; 2010. p. 1563-8.

[6] Wang F, Lai X, Shi N. A multi-objective optimization for green supply chain network design. Decision support systems. 2011;51:262-9. DOI: 10.1016/j.dss.2010.11.020

[7] Shang K-C, Lu C-S, Li S. A taxonomy of green supply chain management capability among electronics-related manufacturing firms in Taiwan. Journal of environmental management. 2010;91:1218-26.

[8] Govindan K, Khodaverdi R, Jafarian A. A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. Journal of cleaner production. 2013;47:345-54. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.04.014.

[9] Gupta H, Barua M. Fuzzy AHP approach to prioritize enablers of green supply chain management practices: A case study of automotive component supplier. Management Science Letters. 2016;6:487-98.

[10] Huang J, Jiang N, Chen J, Balezentis T, Streimikiene D. Multi-criteria group decision-making method for green supplier selection based on distributed interval variables. Economic research-Ekonomska istraživanja. 2022;35:746-61.

[11] Jiang X, Lin G-H, Huang J-C, Hu I-H, Chiu Y-C. Performance of sustainable development and technological innovation based on green manufacturing technology of artificial intelligence and block chain. Mathematical Problems in Engineering. 2021:1-11.

[12] Celik E, Yucesan M, Gul M. Green supplier selection for textile industry: a case study using BWM-TODIM integration under interval type-2 fuzzy sets. Environmental Science and Pollution Research. 2021;28:64793-817. DOI: 10.1007/s11356-021-13832-7.

[13] Zhang L-J, Liu R, Liu H-C, Shi H. Green supplier evaluation and selections: a state-of-the-art literature review of models, methods, and applications. Mathematical Problems in Engineering. 2020:1-25.