Ind. Manag. Persp. 2024, 15(3), 32-57; doi: 10.48308/JIMP.15.3.32

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Presenting a multi-product and multi-period mathematical model for sustainable supplier selection and development (Case study: Zamiad automotive company)

Neda Asili*
Ebrahim Teimoury**

Extended Abstract

Introduction and Objectives: Supply chain management in today's economic and competitive environment has been challenging for many decision-makers. The presence of multiple suppliers with different quality levels, high production and transportation costs, and expectations regarding product quality has caused suppliers to compete based on acceptable criteria. Moreover, the modern perspective on supply chains has shifted from the traditional view, and sustainability criteria, including environmental, social, and economic factors, have received increased attention among researchers. Supplier development is a form of collaboration between manufacturers and suppliers. This study aims to propose a two-stage mathematical model for supplier selection and development and to evaluate its performance in Zamyad Company (automotive industry).

Methods: In the first stage, the competency of existing suppliers is evaluated, and those lacking the minimum required score to compete are prevented from entering the second stage. In the second stage, selected suppliers are identified, and their production quantities for each production period are planned. The model also considers production planning for suppliers, and suppliers are allowed to have backorders in their inventory. In addition to production planning, the characteristics of multi-period and multi-product environments are also taken into account. Due to the non-uniform nature of the objective functions, the mathematical model was linearized using the weighted sum method, converting it into a single-objective linear model. The model was solved using GAMS software.

Received: Feb. 06, 2025; Revised: May. 07, 2025; Accepted: Jul. 27, 2025; Published Online: Aug. 04, 2025.

* MSc, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran.
** Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Corresponding Author: Teimoury@iust.ac.ir

Ind. Manag. Persp. 2024, 15(3), 32-57; doi: 10.48308/JIMP.15.3.32

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Results and Discussion: The results indicate that considering a multi-period environment adds two key capabilities to the model: first, it allows suppliers to meet demand with backorders, which reduces overall supply chain costs; second, it enables existing suppliers to develop their performance across all or some criteria in each production period. Moreover, the multi-product environment allows all suppliers to compete to supply at least one product, providing greater flexibility in supplier selection. Suppliers who can improve their performance in the accepted criteria for a specific product can be considered as candidates for supplying that product.

Conclusions: The proposed mathematical model, considering multi-product and multi-period environments, provides an effective tool for supplier selection and development, facilitating optimal decision-making for companies. The results suggest that this model can reduce supply chain costs, improve the performance of existing suppliers, and allow new suppliers to enter the competitive environment.

Keywords: Sustainable supply chain, Supplier development, Production planning, Multi-product environment, Multi-period environment, Mathematical modeling.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

How to Cite: Asili, Neda; Teimoury, Ebrahim (2025). Presenting a multi-product and multi-period mathematical model for sustainable supplier selection and development (Case study: Zamiad automotive company). *Ind. Manag. Persp.*, 15(3), 32-57 *(In Persian)*.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication license (**https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/**).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۵، شماره ۳، صص ۳۲ – ۵۷، doi: 10.48308/JIMP.15.3.32

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

ارائه یک مدل ریاضی چندمحصولی و چنددوره‌ای برای انتخاب و توسعه تأمین‌کنندگان پایدار (مطالعه موردی: شرکت خودروسازی زامیاد)

ندا اصیلی*

ابراهیم تیموری**

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف: مدیریت زنجیره تأمین در فضای اقتصادی و رقابتی امروز، برای بسیاری از تصمیم‌گیران این حوزه چالش‌برانگیز بوده است. وجود تأمین‌کنندگان مختلف با سطوح کیفی متفاوت، هزینه‌های بالای تولیدی، هزینه‌های حمل و نقل و انتظارات از سطح کیفی محصول تولیدی باعث شده است تا تأمین‌کنندگانی وارد عرصه رقابت شوند که معیارهای قابل قبول را داشته باشند. همچنین نگاه دنیای مدرن به زنجیره تأمین از حالت سنتی آن خارج شده و معیارهای مربوط به پایداری زنجیره تأمین شامل معیارهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی بیشتر مورد توجه محققین این حوزه بوده است. توسعه تأمین‌کننده یک نوع همکاری بین شرکت‌های تولیدکننده و تأمین‌کننده است. هدف این مطالعه ارائه یک مدل ریاضی دومرحله‌ای برای انتخاب و توسعه تأمین‌کنندگان و بررسی عملکرد آن در شرکت زامیاد (صنعت خودروسازی) می‌باشد.

روش‌ها: در مرحله اول مدل ریاضی ارائه‌شده، شایستگی تأمین‌کنندگان قدیمی جهت ابقاء مورد بررسی قرار گرفته و در صورتی که فاقد حداقل امتیاز لازم جهت ورود به رقابت باشند، از ورود به مرحله دوم منع خواهند شد. سپس در مرحله دوم مدل ریاضی ارائه‌شده، تأمین‌کنندگان منتخب مشخص شده و میزان تولید هر کدام از آن‌ها در هر دوره تولیدی برنامه‌ریزی خواهد شد. امکان برنامه‌ریزی تولید برای تأمین‌کنندگان نیز در این مدل لحاظ شده و تأمین‌کننده مجاز است موجودی خود را دچار پس‌افت کند. علاوه بر برنامه‌ریزی تولید، ویژگی‌های محیط چنددوره‌ای و چندمحصولی نیز در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است. مدل ریاضی پس از خطی‌سازی به دلیل عدم یکسان بودن جنس توابع هدف با استفاده از روش مجموع وزنی، تبدیل به مدلی تک‌هدفه و خطی‌سازی شده است. مدل ریاضی ارائه‌شده با استفاده از نرم‌افزار گمس حل شده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۵، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳.

* کارشناس ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

** استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

نویسنده مسئول: Teimoury@iust.ac.ir

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۵، شماره ۳، صص ۳۲ – ۵۷، doi: 10.48308/JIMP.15.3.32

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

یافته‌ها و بحث: بر اساس نتایج بدست‌آمده، در نظرگیری محیط چنددوره‌ای دو قابلیت را به مدل اضافه نموده است: نخست، این ویژگی باعث می‌شود تا تأمین‌کننده امکان برآورده کردن تقاضا به شکل پس‌افت را داشته باشد که در این صورت هزینه‌های کلی زنجیره تأمین کاهش پیدا می‌کند. دوم، این قابلیت باعث خواهد شد تا تأمین‌کنندگان قدیمی در هر دوره تولیدی امکان توسعه خود را در تمام یا برخی از معیارها داشته باشند. همچنین، محیط چندمحصولی باعث خواهد شد تا تمامی تأمین‌کنندگان امکان رقابت برای تأمین حداقل یک محصول را داشته باشند و آزادی عمل بیشتری برای انتخاب تأمین‌کنندگان وجود داشته باشد. چنانچه تأمین‌کننده‌ای بتواند در معیارهای مورد پذیرش برای یک محصول خاص، خود را توسعه دهد می‌تواند به‌عنوان کاندید انتخاب به عنوان تأمین‌کننده آن محصول در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری: مدل ریاضی ارائه‌شده، با توجه به محیط چندمحصولی و چنددوره‌ای، ابزاری کارآمد برای انتخاب و توسعه تأمین‌کنندگان فراهم می‌کند و امکان تصمیم‌گیری بهینه برای شرکت‌ها را تسهیل می‌نماید. نتایج حاکی از آن است که این مدل می‌تواند هزینه‌های زنجیره تأمین را کاهش داده، عملکرد تأمین‌کنندگان قدیمی را ارتقا دهد و ورود تأمین‌کنندگان جدید به رقابت را ممکن سازد.

کلید واژه ها : زنجیره تأمین پایدار، توسعه تأمین‌کننده، برنامه‌ریزی تولید، محیط چندمحصولی، محیط چنددوره‌ای، مدلسازی ریاضی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناددهی: اصیلی، ندا؛ تیموری، ابراهیم (۱۴۰۴). ارائه یک مدل ریاضی چندمحصولی و چنددوره‌ای برای انتخاب و توسعه تأمین‌کنندگان پایدار (مطالعه موردی: شرکت خودروسازی زامیاد). چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۵(۳)، ۳۲-۵۷.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication license (**https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/**).

۱. مقدمه

گسترش یافتن و پراکنده شدن تولید در سطح جهانی باعث شده است که بسیاری از شرکت‌ها تأمین‌کنندگان خود را در موقعیت رقابتی خود سهیم ببینند. به خصوص در شرایطی که پیدا کردن تأمین‌کنندگان جایگزین دشوار است و یا خدمات و محصولاتی که تأمین‌کنندگان عرضه می‌کنند برای تصمیم گیری‌های خرید حیاتی باشد، عملکرد تأمین‌کنندگان تاثیر مستقیمی در قابلیت رقابتی شرکت خواهد داشت. درنتیجه، هرگاه یک شرکت خریدار از عملکرد تأمین‌کنندگان خود و یا محدوده خدمات و محصولاتی که آنها ارائه می‌کنند، راضی نباشد (برای مثال به علت کیفیت پایین، سطح خدمات پایین، ظرفیت ناکافی، کمبود توان نوآوری و یا آگاهی‌های زیست محیطی پایین) ممکن است تصمیم به توسعه توانایی‌های تأمین‌کنندگان بگیرد. توسعه تأمین‌کنندگان به طورکلی به عنوان هر تلاشی تعریف می‌شود که عملکرد تأمین‌کنندگان کنونی را بهبود می‌دهد و می‌تواند در بسیاری از موارد در مقایسه با یکپارچه‌سازی عمودی و یا تعویض تأمین‌کننده گزینه بهتری باشد [۲۶]. در حالی‌که تصمیمات خرید سنتی عمدتاً بر اساس هزینه اتخاذ می‌شوند، شرایط بازار نوظهور، ابعاد بیشتری را فراتر از هزینه وارد تصمیم‌گیری‌ها کرده‌اند. به‌طور خاص، مفهوم «پایداری» به‌عنوان بعدی مهم در تصمیمات خرید مورد توجه قرار گرفته است. پایداری شامل سه بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی است که با توجه به اهمیت و ضرورت روبه‌رشد، توجه بیشتری به تصمیمات خرید با درنظر گرفتن این ابعاد لازم است [۱].

مرور ادبیات نشان می‌دهد که اغلب پژوهش‌ها یا به انتخاب تأمین‌کننده پرداخته‌اند یا صرفاً به برنامه‌های توسعه تأمین‌کننده توجه کرده‌اند و مطالعاتی که به‌صورت یکپارچه، تصمیمات انتخاب، توسعه تأمین‌کننده و تخصیص سفارش را در محیط‌های چندمحصولی و چنددوره‌ای بررسی کرده باشند، محدود هستند. همچنین بسیاری از این پژوهش‌ها از رویکردهای ابتکاری استفاده کرده‌اند که پاسخ‌های بهینه را تضمین نمی‌کنند. بر همین اساس، هدف مقاله حاضر، توسعه مدلی ریاضی برای تصمیم‌گیری همزمان در مورد انتخاب، توسعه و تخصیص سفارش تأمین‌کنندگان در محیط زنجیره تأمین پایدار است.

سؤالات اصلی پژوهش عبارت‌اند از:

۱. چگونه می‌توان تأمین‌کنندگان را با توجه به شاخص‌های پایداری ارزیابی و توسعه داد؟
۲. در محیطی با چند محصول و چند دوره زمانی، بهینه‌ترین ترکیب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش چگونه تعیین می‌شود؟
۳. چگونه می‌توان هزینه‌های توسعه، تولید و نگهداری را در کنار عملکرد تأمین‌کنندگان به صورت همزمان در تصمیم‌گیری لحاظ کرد؟

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این قسمت به مرور مطالعات انجام گرفته در خصوص توسعه تأمین‌کنندگان در ابعاد مختلف زنجیره تامین پرداخته خواهد شد. در مقاله بای و ساتیر[1] (۲۰۲۲) موانع توسعه تأمین‌کننده سبز برای صنعت تولید شناسایی می‌شوند. یک روش ترکیبی شامل دیمتل خاکستری و مدلسازی ساختاری تفسیری خاکستری[2] برای شناسایی روابط و نقش‌های آن‌ها در اجرای برنامه‌های توسعه تأمین‌کننده سبز تحت عدم‌قطعیت توسعه داده شده‌است. [۵]. مقاله بای و همکاران (۲۰۲۴) یک چارچوب ساختاری برای بررسی انتقادی مقالات گذشته در چهار دسته، مفاهیم، شیوه‌ها، مشکلات و راه حل‌ها معرفی می‌کند. این چارچوب یک نقشه راه کلی برای فرصت‌های تحقیقاتی آینده ارائه می‌دهد [۷]. آدیتی و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله‌ی مدل انتخاب تأمین‌کننده پایدار با یک موازنه بین توسعه تأمین‌کننده و تغییر تأمین‌کننده به توسعه تأمین‌کننده پایدار پرداختند. در این مطالعه، تصمیمات استراتژی منبع‌یابی شامل توسعه تأمین‌کننده است، که به تأمین‌کنندگان کمک می‌کند تا عملکرد خود را بهبود بخشند و تعویض تأمین‌کننده، که به دنبال جایگزین‌های مناسب‌تری برای تأمین است. برای حل این مشکلات، این مطالعه یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره یکپارچه را ارائه می‌دهد. این مدل شامل چهار مرحله است. اول، مجموعه درستی از شاخص‌های عملکرد

1. Bai and Satir
2. Interpretive Structure Modeling

کلیدی پایدار برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان از طریق یک بررسی ادبی و بحث با تیم تصمیم‌گیری شناسایی می‌شود. روش بهترین-بدترین[۱] و مارکوس[۲] برای تعیین وزن شاخص‌های عملکرد کلیدی پایدار و وزن تأمین‌کنندگان فعلی و جدید بر اساس شاخص‌های عملکرد کلیدی پایدار شناسایی‌شده اعمال می‌شود. سوم، یک مدل ریاضی دو هدفه برای تعیین این که کدام استراتژی منبع‌یابی بهینه و تأمین‌کننده بالقوه باید براساس اولویت تأمین‌کنندگان فعلی و جدید و در عین حال بهینه‌سازی هزینه و عملکرد پایدار انتخاب شود، توسعه داده شده‌است. چهارم، مدل ریاضی با استفاده از روش محدودیت اپسیلون و رویکرد فازی حداقل-حداکثر حل می‌شود. کاربردپذیری و کارایی مدل ترکیبی با مطالعه موردی واقعی از یک شرکت تولید لوازم خانگی نشان‌داده شده‌است [۱].

هدف مقاله ابوتراب وهمکاران (۲۰۱۸) اولویت‌بندی معیارهای توسعه تأمین‌کننده باگسترش روش بهترین-بدترین می‌باشد. روش پیشنهادی برای رسیدگی به مسئله توسعه تأمین‌کننده مورد بررسی قرار می‌گیرد [۳].

هدف مقاله سوبرامانیام وهمکاران (۲۰۲۰)[۳] آزمایش تجربی تأثیرات شیوه‌های توسعه تأمین‌کننده بر عملکرد اجتماعی تأمین‌کنندگان است. داده‌ها از یک نظرسنجی از ۱۴۱ شرکت چند ملیتی در مالزی به دست آمد. داده‌ها با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی، تجزیه و تحلیل شدند [۲۲]. کول و ایتکن (۲۰۱۹)[۴] در مقاله خود به توسعه تأمین‌کننده اجتماعی پرداختند. هدف این مقاله ارائه درک چگونگی فرآیند انتخاب تأمین‌کننده مورد استفاده توسط سازمان‌های خریدار برای ایجاد زنجیره تأمین اجتماعی از عملکرد خرید است. از طریق استفاده از رویکرد خرید، سازمان‌ها در تلاش هستند تا چالش‌های انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب برای تعامل با آنها را برطرف کنند [۱۰]. توکیمین وهمکاران(۲۰۱۹)[۵] در مقاله‌ای تحت عنوان "اولویت‌بندی شیوه‌های توسعه تأمین‌کننده: یک روش فازی" به توسعه تأمین‌کننده پرداختند. این مقاله مدلی را برای ارزیابی و انتخاب شیوه‌های توسعه تأمین‌کننده با استفاده از منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی پیشنهاد کرد [۱۹]. پژوهش دستیار وهمکاران (۲۰۲۰) از یک مدل بهینه‌سازی استفاده می‌کند تا تصمیمات سرمایه‌گذاری توسعه تأمین‌کننده را برای در نظر گرفتن پویایی بازارها به دست آورد. بنابراین، این مدل به گونه‌ای طراحی شده است که بر اساس نیازهای شرکت‌های مختلف قابل تنظیم باشد. مطالعه موردی در بخش خودرو تجزیه و تحلیل شد [۱۱]. مقاله کارائر وهمکاران (۲۰۲۰)[۶] بررسی می‌کند که چگونه یک خریدار می‌تواند از یک استراتژی کامل و اشتراک هزینه برای توسعه قابلیت‌های تأمین‌کنندگان ردیف ۱ و ردیف ۲ خود استفاده کند. این مقاله یک زنجیره تأمین چند لایه را با خریدار، تأمین‌کننده ردیف ۱ و تأمین‌کننده ردیف ۲ با هدف حداکثرسازی سود مدل می‌کند [۱۴]. در پژوهش انجام گرفته توسط جعفریان وهمکاران (۲۰۲۱) یک رویکرد مدل‌سازی ریاضی برای مقابله با تأمین‌کنندگان مشکل‌ساز در معرض ریسک پیشنهاد شده‌است. تصمیمات اتخاذ شده عبارتند از: الف) توسعه تأمین‌کننده فعلی برای بهبود عملکرد آن ب) تغییر به یک تأمین‌کننده مناسب و ج) ادامه دادن با تأمین‌کننده فعلی (وضعیت موجود). سهم بازار از دست رفته به عنوان یک متغیر جدید برای ارزیابی ریسک‌های تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن معیارهای عملکرد کیفیت، هزینه و تحویل پیشنهاد شده است [۱۳].

در مقاله ارائه شده توسط ژو وهمکاران (۲۰۲۲)[۷] مسئله انتخاب برنامه‌های توسعه تأمین‌کننده برای بهبود عملکرد تأمین‌کنندگان با بودجه محدود برای کاهش ریسک‌های تأمین‌کننده برای یک تولیدکننده بررسی می‌شود. یک الگوریتم مبتنی بر نمونه و یک روش تجزیه سریع بندرز برای حل مدل توسعه‌یافته پیاده‌سازی می‌شود. روش‌شناسی با استفاده از چهار شرکت تولیدی کم حجم ارزیابی می‌شود [۲۸]. سائوسیل و همکاران (۲۰۲۳)[۸] در مقاله خود از روش تفکر ارزش محور[۹] برای ارزیابی و مرتب‌سازی تأمین‌کنندگان در صنعت مواد غذایی کلمبیا بهره

1. Best -Worst Method
2. Measurement of Alternatives and Ranking according tothe Compromise Solution
3. Subramaniam et al.
4. Cole and Aitken
5. R. Tukimin et al.
6. Ö. Karaer et al.
7. R. Zhou et al.
8. Causil and Morais
9. Value-Focused Thinking

برده‌اند. در این پژوهش تأمین‌کنندگان در دسته‌های مشخصی با عناوین تأمین‌کنندگان پایدار، تأمین‌کنندگان در مسیر توسعه و تأمین‌کنندگان غیر سبز دسته‌بندی شده‌اند. بر اساس یافته‌های این تحقیق، این دسته‌بندی می‌تواند برنامه‌های استراتژیکی را برای بهبود عملکرد تأمین‌کنندگان ارائه دهد [۹]. بای و همکاران (۲۰۲۴)[1] مسأله توسعه تأمین‌کننده پایدار را در صنعت تولید تجهیزات در چین مورد بررسی قرار داده‌اند. موضوع این مطالعه بررسی ضرورت درنظرگیری همزمان تخصیص سرمایه و برنامه‌های توسعه به گونه‌ای می‌باشد که بهره‌وری پایداری در سیستم تأمین، به حداکثر برسد. بر اساس نتایج بدست‌آمده در این مطالعه، جهت انتخاب و تخصیص سرمایه، بایستی برنامه‌های توسعه تأمین‌کننده پایدار رو مورد توجه قرار داد [۷]. پای‌برجای و همکاران (۲۰۲۴) در مقاله خود از معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای ارزیابی و دسته‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده کرده‌اند. سپس در مرحله بعد از این دسته‌بندی برای توسعه تأمین‌کنندگان استفاده کرده‌اند. با استفاده از رویکرد ارائه‌شده در این مقاله یک مجموعه مادر، می‌تواند پتانسیل‌های تأمین‌کنندگان خود را از جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی ارزیابی کرده و باعث توسعه آن‌ها از جهت این ابعاد گردد [۱۸]. سیف‌برقی (۲۰۲۲) در مقاله خود تأمین‌کنندگان یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته را با استفاده از روش سورا-واسپاس در سه مرحله مورد ارزیابی قرار داده است. هدف این پژوهش انتخاب تأمین‌کننده مناسب و محل سایت‌های نوسازی و همچنین جریان بین اعضای زنجیره می‌باشد [۲۰]. نصیری و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود، معیارهای سنتی، سبز و تاب‌آور در ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان را شناسایی و سپس آن‌ها را با استفاده از رویکرد تحلیل مسیر و روش سوارا و تاپسیس رتبه‌بندی کرده‌اند. آن‌ها رویکرد خود را در شرکت پتروشیمی فناوران مورد ارزیابی قرار داده و بر اساس نتایج بدست‌آمده، معیار تاب‌آوری به عنوان مهمترین معیار انتخاب شده است [۱۷].

در مقاله کرمی و همکاران (۲۰۲۲)[2] به بررسی انتخاب تأمین‌کننده پایدار محصولات پالایشی تحت ریسک و قرارداد اختیار معامله با استفاده از ارزش در معرض ریسک شرطي پرداخته شده است .در این پژوهش ازترکیب تاپسیس فازی، FMEA و مدل برنامه ریزی تصادفی چندمرحله ای به منظور انتخاب بهترین تأمین‌کننده و تخصیص بهینه سفارش به کار برده شده است [۱۵].

در مقاله مهدی سیف (۲۰۲۲)[3] به مدل چندهدفه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با درنظرگرفتن ارزیابي تأمین‌کنندگان و استفاده از روش ترکیبي سوارا_واسپاس پرداخته شده است . در مرحله نخست از روش ترکیبی سوارا_واسپاس در حالت سلسله مراتبی برای امتیازدهی به تأمین‌کنندگان استفاده شده، در مرحله دوم امتیازات زیست محیطی_اجتماعی مکان‌های نوسازی با توجه به جمعیت مناطق مسکونی و نرخ بیکاری محاسبه و در مرحله سوم یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی سه هدفه ارائه شده است [۲۳].

در مقاله ارائه شده توسط ترابی و تفکری (۲۰۲۲)[4] به طراحي یک رویکرد کاربردی برای حمایت از تصمیمات توسعه تأمین‌کنندگان در مدیریت رابطه خریدار ـــ تأمین‌کننده پرداخته شده است . ابتدا، زمینه‌های تأمین نیازمند توسعه و سپس تأمین‌کنندگان واجد شرایط توسعه در هریک از این زمینه‌ها به کمک رویکرد تصمیم گیری چندشاخصه بهترین-بدترین تعیین گردیدند. درنهایت، یک مدل ریاضی دو هدفه برای انتخاب و تخصیص برنامه‌های توسعه به هریک از تأمین‌کنندگان منتخب توسعه پیشنهاد شده است [۲۵].

هدف تحقیق وانگ وکلازون (۲۰۲۵)[5] بررسی چالش‌های پایداری درزمینه توسعه تامین‌کننده است. از پروژه‌های توسعه تأمین‌کننده در صنعت پوشاک در بنگلادش، صنعت دباغی در ساور، بنگلادش، صنعت قهوه (گل) در اوگاندا، صنعت پوشاک در میانمار و صنعت پلاستیک (ضایعات) در داکای قدیمی، بنگلادش استفاده شده است [۲۷]. مطالعات پیشین به مرور انتقادی ادبیات توسعه تأمین‌کننده پایدار پرداخته‌اند [۶].

شیخی‌زاده وهمکاران (۲۰۲۴)[6] به تعیین و ارزیابی شاخص‌های مختلف در زنجیره تامین لارج برای جلوگیری از اختلال در هنگام

1. Bai
2. Karami et al.
3 Seif
4. Torabi and Tafakkori
5. Vang and Clausen
6. Sheikhi Zadeh et al

انتخاب تأمین‌کنندگان پرداختند. علاوه بر این، اهمیت این معیارها قبل و بعد از وضـعیت همه گیر بررسـی می‌شـود. با توجه به پرداختن به جنبه‌های متعدد مشـکل، یک رویکرد تصـمیم‌گیری چند ویژگی فازی ترکیبی برای این توضـیح زمانی که چهار معیار لارج با هجده زیر معیار انتخاب تامین‌کننده ادغام می‌شوند، اتخاذ می‌شود. برای محاسبه تأثیر هر معیار (یا زیر معیار)، یک روش فازی بهترین-بدترین همراه با ارزیابی نسبت افزایشی (ARAS) برای پیشـنهاد رتبه‌بندی تأمین‌کننده برای توزیع‌کننده زنجیره تأمین دارویی استفاده می‌شود. مدل توسعه‌یافته جدید است زیرا معیارهای لارج در زمینه انتخاب تأمین‌کننده برای رسیدگی به اختلالات در زنجیره تأمین دارویی مطالعه نشده است [۲۴]. اقدامات در جهت توسعه تأمین‌کنندگان می‌تواند کوتاه‌مدت (برای مثال باهدف بهبود زمان تحویل تأمین‌کننده) و یا بلندمدت (برای مثال بهبود راهبردی پایگاه تأمین خریدار) بوده و به شکل تأثیر مستقیم و یا غیرمستقیم اعمال شوند. در مورد اقدامات مستقیم، شرکت خریدار به شکل مستقیم منابعی را در یک تأمین‌کننده سـرمایه‌گذاری می‌کند، برای مثال مشـاوره در محل، برنامه‌های آموزشـی، انتقال موقت کارکنان و یا تامین تجهیزات. در حالت توسعه تامین‌کنندگان به شکل غیرمستقیم، شرکت خریدار نقش غیرفعال دارد و برای مثال اهداف عملکردی و یا اهداف ارتقا را تعیین می‌کند و یا اینکه مشوق‌هایی را به تأمین‌کنندگان پیشنهاد می‌دهد. موفقیت فعالیت‌های توسعه تأمین‌کنندگان بستگی به عوامل داخلی و خارجی مختلفی مانند توانایی‌های تأمین‌کننده، سابقه ارتباط مشتری و تأمین‌کننده، توزیع قدرت، عدم‌قطعیت‌های مربوط به فناوری و یا راهبردهای سـازمانی شـرکت دارد. به علاوه، اقدامات موفق می‌توانند مزیت‌های طولانی مدت را برای تأمین‌کنندگان فراهم کند که فراتر از محدوده آن پروژه خاص است [۲۶]. یاوار و همکاران فعالیت‌های توسعه تأمین‌کننده را بر اساس پارامترهای مدنظر خریدار مانند سرمایه و زمان طبقه بندی کردند و سـه دسـته تأمین‌کننده پایه، میانی و پیشـرفته را جهت توسـعه و بهبود عملکرد مورد ارزیابی قرار دادند [۲]. برخی پژوهش‌ها به ارزیابی برنامه‌های توسعه تأمین‌کننده سبز با استفاده از روش‌های مبتنی بر خاکستری پرداخته‌اند [۲۱].

جدول ۱ خلاصه مطالعات انجام‌گرفته را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مرور مطالعات انجام گرفته

نام نویسنده	جریان پژوهشی	عنوان پژوهش	ابعاد پایداری	نوع محصول	محیط تولیدی	رویکرد پژوهش
وانگ وکلازون (۲۰۲۵) [۲۷]	توسعه تأمین‌کننده	چالش‌های بزرگ توسعه تامین‌کننده در جنوب جهانی	پایداری	---	---	پیمایشی
شیخی‌زاده و همکاران (۲۰۲٤) [۲۴]	انتخاب تأمین‌کننده	یک چارچوب تصمیم‌گیری ترکیبی برای یک مشکل انتخاب تأمین‌کننده بر اساس معیارهای ناب، چابک، انعطاف‌پذیری و سبز: مطالعه موردی یک صنعت داروسازی	لارج	تک محصولی	تک دوره‌ای	BWM ARAS
آدیتی وهمکاران (۲۰۲۳) [۱]	انتخاب و توسعه تأمین‌کننده پایدار	مدل انتخاب تأمین‌کننده پایدار با مبادله بین توسعه تأمین‌کننده و تغییر تأمین‌کننده	پایداری	تک محصولی	تک دوره‌ای	BWM MARCOS برنامه ریزی چندهدفه
آدیتی و آگاراوال (۲۰۲۱) [۴]	انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش	مدل انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش مبتنی بر عملکرد با ترکیب استراتژی‌های توسعه پایدار	پایداری	چند محصولی	تک دوره‌ای	AHP مدل ریاضی
نصیری و همکاران (۲۰۲۲) [۱۷]	ارزیابی و انتخاب تامین کننده	توسعه یک مدل یکپارچه برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان سبز و مقاوم با ترکیب تحلیل مسیر، تکنیک‌های تصمیم گیری سوارا و تاپسیس	اقتصادی- زیست‌محیطی - اجتماعی - تاب‌اور	تک محصولی	تک دوره‌ای	SWARA-Topsis
سیف برقی (۲۰۲۲) [۲۰]	ارزیابی و انتخاب تامین کننده	یک مدل زنجیره تامین حلقه بسته پایدار چند هدفه با در نظر گرفتن ارزیابی تأمین‌کنندگان و با استفاده از روش سوارا و واسپاس	اقتصادی- زیست‌محیطی - اجتماعی	چند محصولی	چند دوره‌ای	SWARA-WASPAS مدل ریاضی

نام نویسنده	جریان پژوهشی	عنوان پژوهش	ابعاد پایداری	نوع محصول	محیط تولیدی	رویکرد پژوهش
دستیار وهمکاران (۲۰۲۰) [۱۱]	توسعه تأمین‌کننده	مطالعه عددی در مورد اثرات اعتماد در توسعه تأمین‌کننده	-	تک محصولی	تک دوره‌ای	مدل ریاضی
سوبرامانیام وهمکاران (۲۰۲۰) [۲۲]	توسعه تأمین‌کننده	تأثیر رویه‌های توسعه تأمین‌کننده با مسئولیت اجتماعی شرکت‌های چندملیتی بر شهرت شرکت و عملکرد مالی آنها	اجتماعی	تک محصولی	تک دوره‌ای	پیمایشی
کول وایتکن (۲۰۱۹) [۱۰]	انتخاب و توسعه تأمین‌کننده	انتخاب تأمین‌کنندگان برای مدیریت توسعه زنجیره تامین پایدار اجتماعی: فعالیت‌های توسعه تأمین‌کننده پس از تبادل به عنوان الزامات پیش انتخاب	اجتماعی	تک محصولی	تک دوره‌ای	مطالعه موردی
توکیمین وهمکاران (۲۰۱۹) [۱۹]	توسعه تأمین‌کننده	اولویت بندی شیوه‌های توسعه تأمین‌کننده: یک روش فازی	-	تک محصولی	تک دوره‌ای	AHP
ابوتراب وهمکاران (۲۰۱۸) [۳]	توسعه تأمین‌کننده	ZBWM: گسترش روش ZBWM و کاربرد آن برای توسعه تأمین‌کننده	-	تک محصولی	تک دوره‌ای	ZBWM
حبیب وهمکاران (۲۰۱۷) [۸]	توسعه تأمین‌کننده	یک مدل دیمتل مبتنی بر خاکستری برای ارزیابی معیارهای توسعه تأمین‌کننده.	-	تک محصولی	تک دوره‌ای	DIMATEL
مقاله حاضر	انتخاب تأمین‌کننده - توسعه تأمین‌کننده پایدار-تخصیص سفارش		پایداری	چندمحصولی	چنددوره‌ای	**مدل ریاضی**

شکاف و نوآوری پژوهش

درنظرگیری معیارهایی که به صورت جامع بتواند تمامی رویکردهای پایداری را دربرگیرد به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. لذا در این پژوهش با استفاده از مطالعات انجام‌یافته و نظر خبرگان، مهمترین و تاثیرگذارترین معیارها شناسایی و مورد بررسی قرار خواهند گرفت. بر اساس یافته‌های حاصل از مطالعه ادبیات موضوع توسعه تأمین‌کننده، اکثر مطالعات در این حوزه در یک محیط تک‌محصولی صورت گرفته است. در حالی که بسیاری از سازمان‌های تولیدی چالش تعدد محصولات را دارند. لذا در این مقاله تلاش بر پاسخ به این نیاز خواهد شد. اکثر مطالعات صورت‌گرفته در زمینه توسعه تأمین‌کنندگان، توسعه را صرفا یا برای یک تأمین‌کننده و یا برای چند تأمین‌کننده و فقط بر روی یک معیار درنظر گرفته‌اند. یکی از نوآوری‌های مقاله حاضر درنظرگیری امکان توسعه تمامی تأمین‌کنندگان و برای تمامی معیارها می‌باشد.

میزان تولیدات در طول زنجیره تامین در یک دوره تولیدی می‌تواند بر روی تولیدات دوره بعد تأثیرگذار باشد. در این پژوهش انتخاب و توسعه تأمین‌کنندگان در یک محیط چنددوره‌ای در نظر گرفته شده است که یکی دیگر از نوآوری‌های پژوهش حاضر می‌باشد. با نگاهی به ادبیات موضوع و پژوهش‌هایی که در زمینه توسعه تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین انجام گرفته است، مشخص می‌گردد که مسائل اصلی تولید مانند میزان تولید، میزان کمبود، میزان انبارش، فروش از دست‌رفته یا تقاضای پس‌افت و در حالت کلی برنامه تولید بین دوره‌های مختلف تولیدی، به ندرت مورد توجه محققین این حوزه بوده است. البته نیازمندی لازم برای بررسی این موضوعات، درنظرگیری محیط چنددوره‌ای تولیدی می‌باشد که همانطور که اشاره شد؛ در پژوهش‌های بررسی‌شده در این مقاله، به آن پرداخته نشده است. به طور خلاصه نوآوری مقاله فعلی به شرح زیر می‌باشد

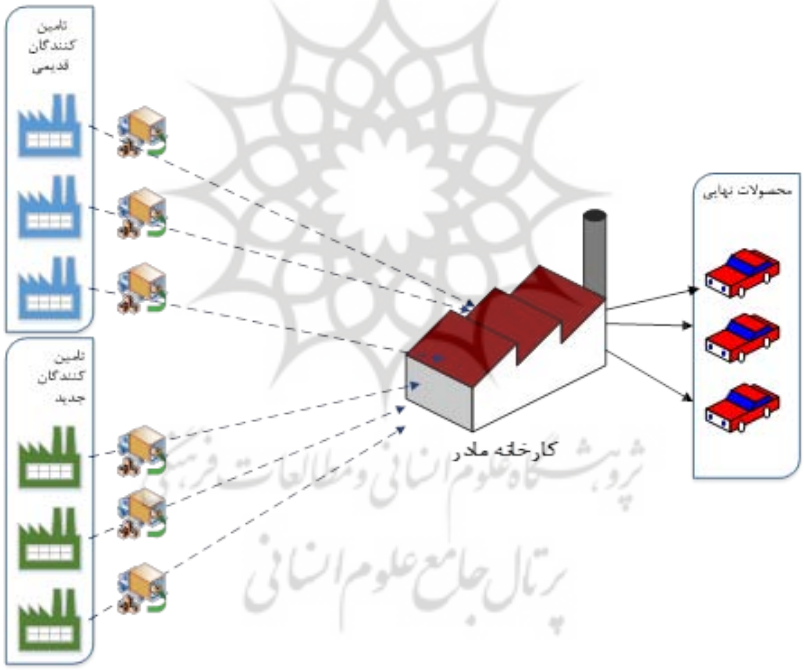
الف: ویژگی چندمحصولی انتظار می‌رود درنظر گرفتن چند محصول مختلف در طول زنجیره تأمین، توسعه تأمین‌کنندگان (به عنوان مثال در صنعت خودروسازی) را تحت تأثیر قرار دهد. پژوهش حاضر برآنست تا تأثیر این ویژگی را بر انتخاب و توسعه هر تأمین‌کننده مورد بررسی قرار گیرد.

ب: ویژگی چنددوره‌ای سیستم: در مقاله حاضر فرض بر این است که بازه‌های تأمین و تولید شامل بیش از یک دوره بوده و بنابراین توسعه و انتخاب تأمین‌کننده در یک دوره می‌تواند بر دوره‌های دیگر تولیدی تأثیرگذار باشد. لذا به منظور مدل‌سازی واقعی‌تر مساله این ویژگی نیز در نظر گرفته خواهد شد.

ج: سفارش‌گذاری و در نظرگرفتن برنامه تولید: با توجه به ویژگی چنددوره‌ای بودن سیستم زنجیره تأمین، لازم است تا مفاهیم برنامه تولید شامل میزان سفارش از هر تأمین‌کننده، میزان موجودی انبار، میزان تقاضای پس‌افت و بالانس موجودی در دوره‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد. این امر در موضوع توسعه تأمین‌کننده نیز از این جهت اهمیت دارد که توسعه هر تأمین‌کننده متأثر از ظرفیت و برنامه تولید برای آن تأمین‌کننده می‌باشد

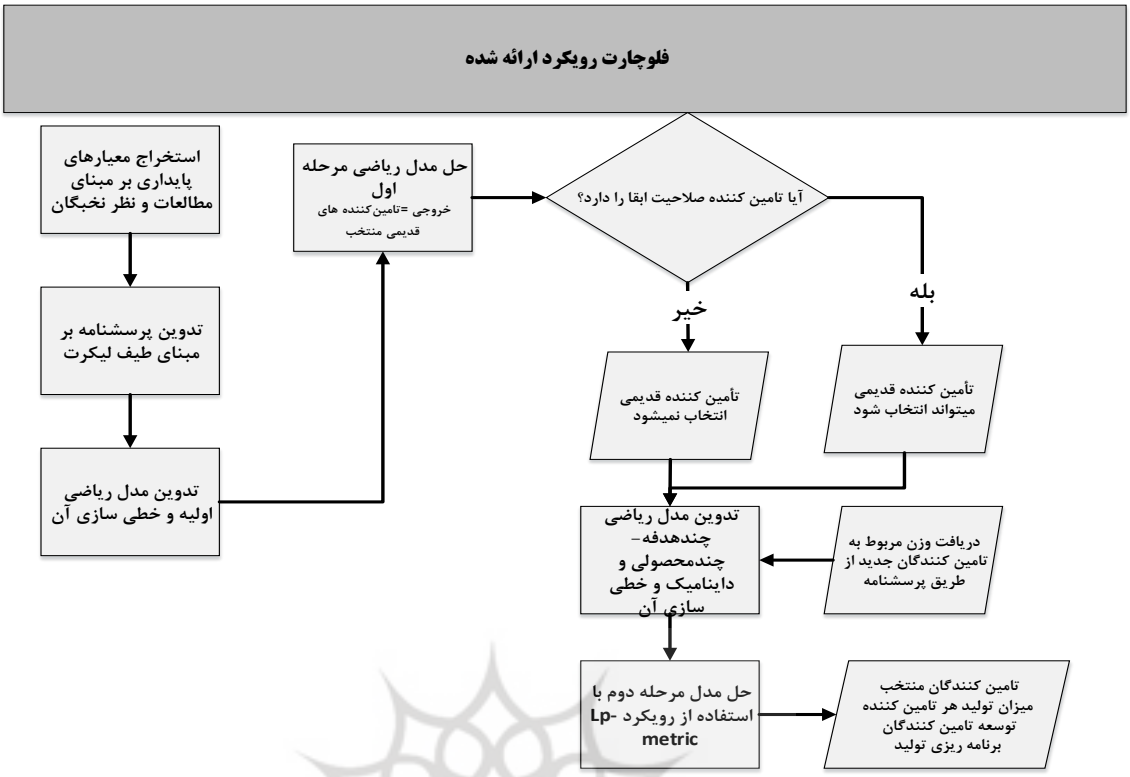
۳. روش‌شناسی پژوهش

شمای کلی مسئله در شکل ۱ قابل مشاهده است



شکل۱. نمای کلی مساله

شکل ۲، فلوچارت کلی پژوهش را نمایش می‌دهد .



شکل ۲. فلوچارت کلی مسئله

مفروضات مدل

۱- مدل ارائه‌شده در یک افق برنامه‌ریزی کوتاه مدت و میان مدت که شامل چندین دوره تولیدی می‌باشد، توسعه داده شده است و طبیعتا مراحل توسعه نیز در همین افق زمانی تدوین می‌گردد. اقدامات در جهت توسعه تأمین‌کنندگان در این پژوهش کوتاه مدت و میان مدت (برای مثال باهدف بهبود زمان تحویل تأمین‌کننده ، آموزش تأمین‌کننده ، همکاری با تأمین‌کننده ، ارزیابی عملکرد و بازخورد تأمین‌کننده و.....) می‌باشد .

۲- امکان انتخاب و توسعه تأمین‌کنندگان در هر دوره تولیدی به صورت مجزا وجود دارد.

۳- محیط چندمحصولی بوده و برای تأمین هر محصول فقط و فقط می‌توان از تعداد مشخصی از تأمین‌کننده استفاده کرد که این تعداد به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شده است. این تعداد تأمین‌کننده شامل تأمین‌کننده قدیمی و جدید کل نیاز خریدار را برآورده خواهند کرد .

۴- تأمین‌کنندگان به دو دسته قدیمی و جدید تقسیم می‌شوند. در صورت تعویض تأمین‌کننده برای یک محصول در یک دوره تولیدی هزینه تغییر تأمین‌کننده به مدل تحمیل خواهد شد.

۵- امکان تقاضای پس‌افت در مدل وجود داشته و در صورت ایجاد کسری تأمین‌کننده متحمل هزینه کسری خواهد شد.

۶- در مدل ارائه شده امکان تولید تأمین‌کننده نیز به عنوان هزینه‌های اصلی در نظر گرفته شده است. لذا تأمین‌کننده به عنوان یک تولیدکننده نیز شناخته خواهد شد.

۷- امکان فروش از دست رفته در مدل وجود ندارد و در پایان افق برنامه‌ریزی باید تمامی موجودی مورد نیاز کارخانه تأمین گردد.

۸- وزن تأمین‌کننده جدید برای هر محصول بر اساس معیارهای از پیش‌تعریف شده و از طریق پرسشنامه مشخص و به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شده است.

۹- وزن تأمین‌کننده قدیمی برای هر محصول در هر معیار بر اساس پرسشنامه از پیش تعریف شده به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شده است.

مدل ریاضی غیرخطی مرحله اول

با توجه به وزن بدست آمده برای تأمین‌کنندگان قدیمی برای تأمین هر محصول در هر دوره تولیدی که از طریق پرسشنامه طیف لیکرت بدست آمده است، باید تأمین‌کنندگانی که از حداقل امتیاز لازم برخوردار نیستند، حذف شده و امکان ابقا را نداشته باشند. لذا در این مرحله یک مدل ریاضی به این منظور ارائه شده است. مدل ریاضی توسعه داده شده به شرح زیر می‌باشد:

مجموعه اندیس‌های مدل

$i = (1,...,I)$ مجموعه تأمین‌کنندگان قدیمی

$u = (1,...,\mathrm{U})$ مجموعه شاخص‌های کلیدی عملکرد

$t = (1,...,T)$ مجموعه دوره‌های تولیدی

$k = (1,...,K)$ مجموعه محصولات درخواستی

پارامترهای مدل

W_{iuk}^{Inc} وزن تأمین‌کننده قدیمی i ام با توجه به شاخص عملکرد u ام برای تولید محصول k ام

W_{THu} حداقل وزن قابل قبول برای انتخاب تأمین‌کننده

n'_T حداکثر تعداد شاخص عملکرد مورد نیاز برای ارضای محدودیتی که نشان‌دهنده وزن قابل قبول برای انتخاب تأمین‌کننده می‌باشد.

متغیرهای تصمیم مدل

X_{ikt}^{Inc} متغیر باینری؛ اگر تأمین‌کننده قدیمی i ام برای تولید محصول k در دوره t ابقا گردد ،مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر میگیرد .

X_{iukt}^{Inc} متغیر باینری؛ اگر وزن تأمین‌کننده قدیمی i ام برای تولید محصول k در دوره t با توجه به شاخص u ام بزرگتر از حداقل وزن مورد نیاز باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ میگیرد.

P_{ikt} مجموع متغیر X_{iukt}^{Inc} برای تأمین‌کننده قدیمی i ام برای تولید محصول k در دوره t

تابع هدف و محدودیت‌ها

تابع هدف مدل اولیه به شکل زیر میباشد:

$$\max Z_1 = \sum_i \sum_k \sum_t X_{ikt}^{Inc} \qquad (۱)$$

تابع هدف سعی در بیشینه کردن تعداد تأمین‌کنندگان قدیمی دارد که بتوانیم بیشترین حق انتخاب را داشته باشیم. هر چند محدودیت‌های زیر این موضوع را کنترل خواهد کرد.

$$(W_{iuk}^{Inc} - W_{THU})(X_{iukt}^{Inc}) + (W_{THU} - W_{iuk}^{Inc})(1 - X_{iukt}^{Inc}) \geq 0 \quad \forall i,u,k,t \qquad (۲)$$

$$P_{ikt} = \sum_u X_{iukt}^{Inc} \quad \forall i,k,t \qquad (۳)$$

$$(P_{ikt} - n'_T)X_{ikt}^{Inc} + (n'_T - P_{ikt})(1 - X_{ikt}^{Inc}) \geq 0 \quad \forall i,k,t \qquad (۴)$$

محدودیت اول امکان انتخاب هر تأمین‌کننده قدیمی با توجه به هر معیار را مشخص می‌کند. محدودیت دوم مجموع متغیرهای تأمین‌کننده قدیمی برای هر محصول که حائز شرایط انتخاب هستند را مشخص میکند. محدودیت آخر تضمین میکند که تأمین‌کننده ای که از امتیاز لازم برخوردار نشده است، مقدار صفر گرفته و به مدل دوم راه پیدا نکند

$$X^{Inc}_{ikt}, X^{Inc}_{iukt} = 0,1 \qquad (۵)$$
$$P_{ikt} \geq 0$$

مدل ریاضی غیر خطی مرحله دوم

مدل ریاضی توسعه داده شده به شرح زیر می‌باشد

مجموعه اندیس‌های مدل

$i = (1,...,I)$ مجموعه تأمین‌کنندگان قدیمی

$j = (1,...,J)$ مجموعه تأمین‌کنندگان جدید

$u = (1,...,U)$ مجموعه شاخص‌های کلیدی عملکرد

$v = (1,...,V)$ مجموعه مراحل توسعه

$t = (1,...,T)$ مجموعه دوره‌های تولیدی

$k = (1,...,K)$ مجموعه محصولات درخواستی

پارامترهای مدل

C^{Devlop}_{iuvkt} هزینه توسعه مرحله توسعه v ام برای تأمین‌کننده قدیمی i ام با توجه به شاخص عملکرد u ام برای تولید محصول k ام در دوره t ام

C^{Switch}_{jkt} هزینه متضررشده با توجه به تأمین‌کننده جدید j ام برای تولید محصول k ام در دوره tام

W^{New}_{jk} وزن تأمین‌کننده جدید j ام برای تولید محصول k ام

W^{Inc}_{iuk} وزن تأمین‌کننده قدیمی i ام با توجه به شاخص عملکرد u ام برای تولید محصول kام

$Wbreak_u$ حداکثر وزن قابل ارتقا شاخص عملکرد uام برای استراتژی توسعه

N^{Total}_{k} تعداد تأمین‌کننده مورد نیاز برای تولید محصول k ام

Q_u در صورتی که شاخص u ام قابل توسعه باشد مقدار ۱ میگیرد و در غیر اینصورت ۰

PRA^{Old}_{ki} در صورتیکه تأمین‌کننده i توان تولید محصول k را دارد ۱ میگیرد و در غیراینصورت ۰

PRA_{kj} در صورتیکه تأمین‌کننده j توان تولید محصول k را دارد ۱ میگیرد و در غیر اینصورت ۰

α_k هزینه انبارداری محصول k ام

β_k هزینه کمبود محصول k ام

D_{kt} تقاضای محصول k ام در دوره t

PC_{kt} هزینه تولید محصول k ام در دوره تولیدی t ام

PO^{Old}_{ikt} ظرفیت تولید محصول k ام توسط تأمین‌کننده i ام در دوره تولیدی t ام

PO_{jkt} ظرفیت تولید محصول k ام توسط تأمین‌کننده j ام در دوره تولیدی t ام

متغیرهای تصمیم مدل

X^{Inc}_{ikt} اگر تأمین‌کننده قدیمی i ام برای تولید محصول k در دوره t ابقا گردد، مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر میگیرد.

Y^{New}_{jkt} اگر تأمین‌کننده جدید j ام برای تولید محصول k در دوره t انتخاب گردد، مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر میگیرد.

Z^{Inc}_{iuvkt} اگر تأمین‌کننده قدیمی i ام در مرحله توسعه v ام و با توجه به شاخص u ام برای تولید محصول k در دوره t قرار

گیرد ، مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر میگیرد.

PR_{ikt}^{OLD} میزان تولید محصول k ام توسط تأمین‌کننده i ام در دوره تولیدی t ام

PR_{jkt} میزان تولید محصول k ام توسط تأمین‌کننده j ام در دوره تولیدی t ام

BR_{kt} میزان کمبود محصول k ام در دوره تولیدی t ام

IR_{kt} میزان موجودی انبار محصول k ام در دوره تولیدی t ام

تابع هدف و محدودیت‌ها

مدل ارائه شده شامل دو دسته تابع هدف می‌باشد:

$$\begin{aligned}\min Z_1 = &\sum_i\sum_u\sum_v\sum_t\sum_k C_{iuvkt}^{Devlop} Z_{iuvkt}^{Inc} Q_u \\ &+\sum_j\sum_k\sum_t C_{jkt}^{Switch} Y_{jkt}^{New} + \sum_j\sum_k\sum_t PC_{kt} PR_{ktj} Y_{jkt}^{New} \\ &+\sum_i\sum_k\sum_t PC_{kt} PR_{ikt}^{OLD} X_{ikt}^{Inc} + \sum_t\sum_k IR_{kt}\alpha_k + \sum_t\sum_k BR_{kt}\beta_k\end{aligned} \quad (۶)$$

تابع هدف اول ارائه‌شده شامل ۶ جمله می‌باشد. این جملات به ترتیب سعی در کمینه سازی هزینه توسعه تأمین‌کننده قدیمی، هزینه تغییر تأمین‌کننده، هزینه تولید تأمین‌کننده جدید، هزینه تولید تأمین‌کننده قدیمی، هزینه انبارداری و هزینه کمبود محصولات را دارد. هزینه انبارداری و کسری موجودی برای تمامی تأمین‌کنندگان، یکسان در نظر گرفته شده است.

$$\max Z_2 = \sum_i\sum_u\sum_t\sum_k W_{iuk}^{Inc} X_{ikt}^{Inc} + \sum_j\sum_k\sum_t W_{jk}^{New} Y_{jkt}^{New} \quad (۷)$$

تابع هدف دوم عملکرد تأمین‌کنندگان انتخاب شده را بیشینه خواهد کرد. در حقیقت بر اساس اوزان بدست آمده از طریق پرسشنامه در انتخاب تأمین‌کنندگان موثر می‌باشد. لذا مدل ریاضی تأمین‌کنندگانی را انتخاب خواهد کرد که دارای وزن بیشتری باشند.

محدودیت‌های در نظر گرفته شده برای مدل به شرح زیر می‌باشند:

$$\sum_i X_{ikt}^{Inc} + \sum_j Y_{jkt}^{New} = N_k^{Total} \quad \forall k,t \quad (۸)$$

این محدودیت تضمین می‌کند که مجموع تأمین‌کنندگان قدیمی و جدید باید برابر با تعداد مشخص شده قبلی باشند .

$$\sum_v (v-1)\,\mathrm{Wbreak}_u(Z_{iuvkt}^{Inc}) Q_u \le W_{iuk}^{Inc} X_{ikt}^{Inc} \le \sum_v v\,\mathrm{Wbreak}_u(Z_{iuvkt}^{Inc}) Q_u \quad \forall i,u,k,t \quad (۹)$$

$$\sum_v Z_{iuvkt}^{Inc} \le X_{ikt}^{Inc} \quad \forall i,u,k,t \quad (۱۰)$$

این دو محدودیت انتخاب استراتژی توسعه تأمین‌کنندگان را بر عهده دارد. با استفاده از این محدودیت‌ها مرحله توسعه تأمین‌کننده ابقاشده بر اساس شاخص‌های کلیدی عملکرد مشخص خواهد شد.

$$PR_{ikt}^{OLD} \le PO_{ikt}^{Old} PRA_{ki}^{Old} X_{ikt}^{Inc} \quad \forall i,k,t \quad (۱۱)$$

$$PR_{jkt} \le PO_{jtk} PRA_{kj} Y_{jkt}^{New} \quad \forall j,k,t \quad (۱۲)$$

این دو محدودیت تضمین می‌کند که تولید توسط تأمین‌کننده در صورتی انجام میشود که توان تولید آن را داشته باشد و در این صورت به میزان حداکثر ظرفیت تولید، امکان تولید وجود خواهد داشت این محدودیت هم برای تأمین‌کننده قدیمی و هم تأمین‌کننده جدید در نظر گرفته شده است.

$$\sum_i PR_{ikt}^{OLD} X_{ikt}^{Inc} + \sum_j PR_{jkt} Y_{jkt}^{New} = D_{kt} - IR_{k(t-1)} + BR_{k(t-1)} + IR_{kt} - BR_{kt} \quad \forall k,t,t \quad 1 \quad (۱۳)$$

$$\sum_i PR_{ikt}^{OLD} X_{ikt}^{Inc} + \sum_j PR_{jkt} Y_{jkt}^{New} = D_{kt} + IR_{kt} - BR_{kt} \quad \forall k,t,t \quad 1 \quad (۱۴)$$

دو محدودیت فوق بالانس موجودی تأمین‌کننده در هر دوره تولیدی برای هر محصول را تضمین می‌نمایند که سبب می‌شود تأمین‌کننده

تشخیص دهد که در هر دوره تولیدی چقدر باید تولید کند که در هزینه‌های تولید و انبار داری و موجودی تأثیر گذار است

$$X_{ikt}^{Inc}, Y_{jkt}^{New}, Z_{iuvkt}^{Inc} = 0,1 \quad (۱۵)$$

$$PR_{ikt}^{OLD}, PR_{jkt}, BR_{kt}, IR_{kt} \geq 0$$

مدل ریاضی خطی‌سازی‌شده

مدل ریاضی فوق با توجه به جملات $P_{ikt}X_{ikt}^{Inc}$ در مدل اول و $PR_{jkt}Y_{jkt}^{New}$ و $PR_{ikt}^{OLD}X_{ikt}^{Inc}$ در مدل دوم که حاصل ضرب متغیر باینری در متغیر صحیح می‌باشد، غیرخطی می‌باشد. لذا به منظور کاهش پیچیدگی مدل و با استفاده از اصل خطی‌سازی، مدل بازنویسی شده و به یک مدل خطی تبدیل شده است.

$$PRY_{jkt} = Y_{jkt}^{New} PR_{jkt} \quad (۱۶)$$

$$PRX_{ikt} = X_{ikt}^{INC} PR_{ikt}^{OLD} \quad (۱۷)$$

$$PX_{ikt} = P_{ikt} X_{ikt}^{Inc} \quad (۱۸)$$

مدل ارائه شده، شامل دو دسته کلی هزینه و وزن تأمین‌کننده می‌باشد. لذا این دو دسته تابع هدف هم‌جنس نبوده و بایستی از تکنیک‌های تصمیم گیری چند هدفه[1] برای حل مسئله استفاده نمود. در این مطالعه از روش مجموع وزنی یا WSM برای حل مدل استفاده شده است.

حل مدل با استفاده از روش مجموع وزنی

در این پژوهش، برای حل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه از روش مجموع وزنی استفاده شده است. این روش با ترکیب خطی اهداف و تبدیل آن‌ها به یک تابع هدف تجمیعی، امکان یافتن یک راه‌حل مصالحه‌ای را فراهم می‌کند. دلیل انتخاب این روش، سادگی پیاده‌سازی، قابلیت انعطاف در اعمال وزن‌دهی بر اساس اولویت‌های تصمیم‌گیرنده و خروجی مشخص و تک‌جوابی آن است که در کاربردهای عملی و تصمیم‌گیری‌های اجرایی بسیار مفید است [۲۹و۱۲]. با وجود این‌که روش‌های پیشرفته‌تری مانند AUGMECON نیز وجود دارند که توانایی تقریب بهتر مرز پارتو را دارند [۱۶]، اما روش WSM برای این مطالعه مناسب‌تر تشخیص داده شد. از جمله دلایل این انتخاب، می‌توان به **محدودیت منابع محاسباتی، نیاز به ارائه یک جواب یکتا به تصمیم‌گیرنده نهایی، و عدم نیاز به تولید کل رویه پارتو** اشاره کرد. همچنین در این مطالعه، هدف اصلی یافتن راه‌حل‌های پارتو در معنای کلاسیک نبوده بلکه دستیابی به یک گزینه نهایی قابل اجرا در محیط عملیاتی بوده است، که این هدف با روش WSM بهتر محقق می‌شود.

۴. تحلیل داده و یافته‌های پژوهش

شرکت زامیاد در سال۱۳۴۲ به عنوان یکی از کارخانه‌های اصلی گروه صنعتی رنا در تهران تاسیس گردید و فعالیت خود را با واردات، مونتاژ و تولید انواع خودروهاي تجاري آغاز کرد. شرکت در طول چندین دهه فعالیت خود به عنوان شریک تجاري شرکت هاي نیسان[2] ژاپن، ایویکو[3] ایتالیا، زد ان ای[4] و فود[5]ي چین، فعالیت نموده است. این شرکت برای تولید محصولات خود با تأمین‌کنندگان متنوعی همکاری می‌نماید. محصولات نهایی این مجموعه شامل خودروهای پادرا پلاس، کارون، زاگرس، پادرا پلاس لانگ، نیسان و اتوبوس شهری دیزل می‌باشد. پس از مشورت با خبرگان این مجموعه تعداد ده محصول واسطه‌ای که توسط ۷ تأمین‌کننده برای تولید محصولات نهایی تأمین می‌شوند، استخراج شده است. جدول ۲ لیست محصولات و تأمین‌کنندگان را نمایش می‌دهد:

1. Multi Objective Decision Making (MODM)
2. Nissan
3. Ivoko
4. ZNE
5. Fudi

جدول ۲. تأمین کنندگان محصولات زامیاد

ردیف	لیست محصولات	لیست تأمین کنندگان						
		بهران محور	ومکو	فنرسازي زر	مهرگان پهنه	ماهران صنعت	میثاق	ایران دلکو
۱	اکسل جلو	*	*	*	–	–	–	–
۲	اکسل عقب بنزین	*	*	*	–	–	–	–
۳	اکسل عقب دیزل	*	*	–	–	–	–	–
٤	فنر تخت	–	–	–	–	*	–	–
٥	دسته سیم داشبورد	–	–	–	*	*	–	*
٦	دسته سیم محفظه	–	–	–	*	–	*	–
۷	دسته سیم ems	–	–	–	*	*	*	–
۸	دسته سیم کولر	–	*	*	*	*	–	–
۹	دسته سیم تاخوگراف	*	–	–	*	–	–	–
۱۰	زه درب موتور	–	–	–	–	*	–	*

علامت‌های مشخص‌شده در نشان‌دهنده توانمندی تأمین‌کننده در فراهم‌سازی محصولات درخواستی می‌باشد. پس از شناسایی محصولات میانی و تأمین‌کنندگان آن‌ها، یکی از مهمترین مراحل انجام این پژوهش شناسایی معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان می‌باشد. در این پژوهش تمرکز اصلی بر روی ابعاد پایداری زنجیره‌تأمین بین تأمین‌کنندگان وکارخانه مادر بوده است. جدول ۳ معیارها و دسته‌بندی آن‌ها را نشان می‌دهد، بر اساس اطلاعات دریافتی از مجموعه زامیاد شرکت‌های فنرسازی زر، ماهران صنعت و ایران دلکو تا کنون قراردادی نداشته و برای تأمین محصولات متناظر به عنوان تأمین‌کننده جدید شناخته می‌شوند.

جدول ۳. معیارهای انتخاب تأمین کنندگان قدیمی و جدید

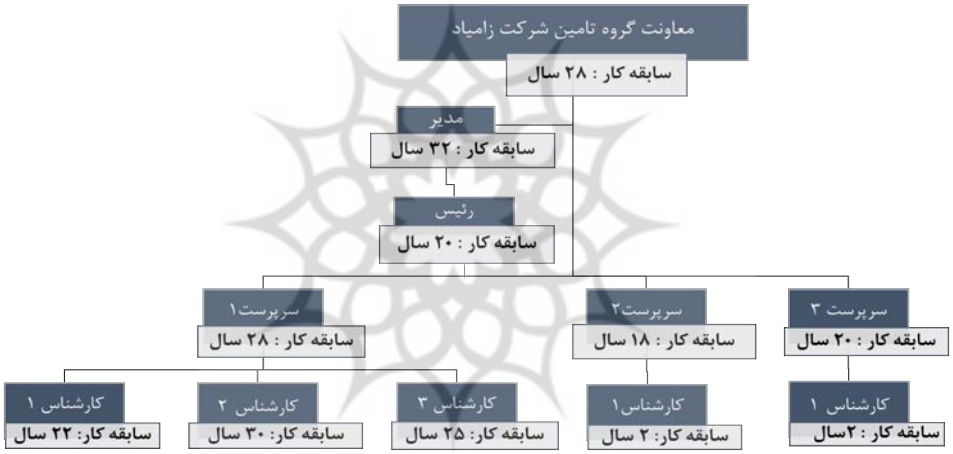
کد معیار	دسته معیار	معیار
M1	معیارهای زیست‌محیطی	استفاده از مواد قابل بازیافت در تولید و بسته بندی محصولات [۴]
M2		داشتن سیستم مدیریت ضایعات [۱۵و۱]
M3		میزان جلوگیری از اتلاف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای [۱۵و۱]
M4		تعداد گواهینامه‌های ایزو (خبرگان شرکت زامیاد)
M5	معیارهای مسئولیت اجتماعی	میزان رضایت شغلی کارمندان مجموعه [۱۵و۱]
M6		تعداد دوره‌های آموزشی سالانه برای کارکنان (خبرگان شرکت زامیاد)
M7		کیفیت و حجم استخدام سرمایه انسانی در رده‌های مختلف شغلی (خبرگان شرکت زامیاد)
M8	معیارهای اقتصادی	موقعیت مالی و سهم بازار تأمین‌کننده (خبرگان شرکت زامیاد)
M9		شفافیت اطلاعات و ترازنامه مالی (خبرگان شرکت زامیاد)

در این مقاله برای بررسی عملکرد تأمین‌کنندگان از یک طیف لیکرت ۵ مرحله ای استفاده شده است. مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش دو مرحله‌ای می‌باشد. در مرحله اول تنها مطالعه بر روی تأمین‌کنندگان قدیمی اتفاق میفتد که حائز حداقل شرایط لازم برای ورود به فاز دوم مدل خواهند بود. در حقیقت تأمین‌کنندگان قدیمی که از حداقل امتیاز (وزن) لازم برخوردار نباشند در این مرحله مقدار صفر گرفته و از ورود به مرحله دوم منع خواهند شد. تابع هدف این مرحله حداکثرسازی تعداد متغیرهایی میباشد که می‌توانند مقدار یک بگیرند. در مرحله دوم

مدل ریاضـــی مســـاله توســـعه و انتخاب تأمین‌کنندگان در یک محیط چنددوره‌ای مورد بررســـی قرار می‌گیرد. هدف تابع هدف مرحله دوم کمینه‌سازی هزینه توسعه تأمین‌کننده قدیمی، هزینه تغییر تأمین‌کننده، هزینه تولید تأمین‌کننده جدید، هزینه تولید تأمین‌کننده قدیمی، هزینه انبارداری و هزینه کمبود محصولات را دارد. همچنین در این مدل عملکرد تأمین‌کنندگان انتخاب شده بیشینه خواهد شد. در حقیقت بر اساس اوزان بدست آمده از طریق پرسشنامه در انتخاب تأمین‌کنندگان موثر می‌باشد. لذا مدل ریاضی تأمین‌کنندگانی را انتخاب خواهد کرد که دارای وزن بیشتری باشند. در حل مدل تلاش بر این بوده است که پارامترهای مدل را اعداد واقعی مجموعه مطابق جدول ۴ و ۵ تشکیل دهند. اما با توجه به محرمانگی اطلاعات مجموعه زامیاد، اطلاعات برخی از این پارامترها در اختیار پژوهشگر قرار نگرفته و لذا با استفاده از توزیع نرمال و در بازه‌های از پیش‌تعیین شده تولید شدند. مساله برای دو دوره تولیدی ۶ ماهه در نظر گرفته شده است که سیاست قراردادی شرکت زامیاد با تأمین‌کنندگان را شامل می‌شود.

روش گردآوری اطلاعات

اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش بر مبنای نظرات خبرگان فعال در صنعت خودروسازی مطابق شکل ۳ جمع‌آوری شده است. بدین منظور پرسشنامه‌ای طراحی و نظرات بر اساس طیف لیکرت ۵ سطحی اخذ شده است. معیارهای انتخاب شده برای پرسشنامه با استفاده از اطلاعات ارائه‌شده در مطالعات پیشین مرتبط با زنجیره تأمین شرکت‌های خودروسازی و همچنین شبیه‌سازی بر اساس توزیع نرمال، گردآوری شده است.



شکل ۳. خبرگان شرکت زامیاد

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

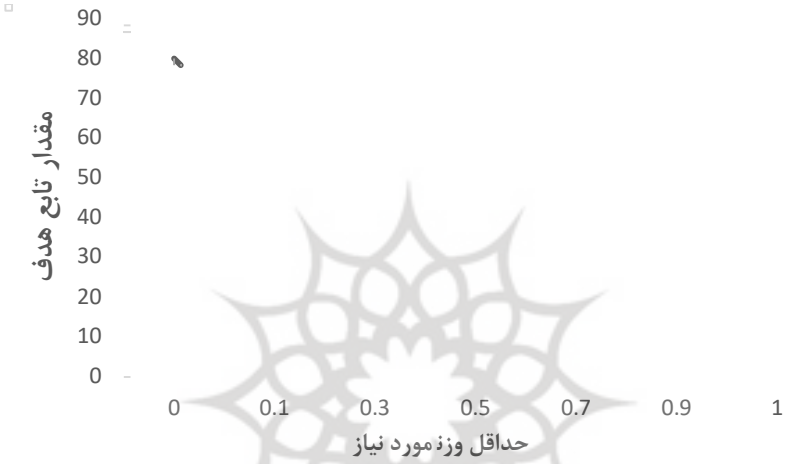
جدول ۴. منابع برآورد پارامترهای کلیدی مدل

منبع داده	روش برآورد	پارامتر
سیستمERP ، مصاحبه با مدیران	تحلیل داده‌های تاریخی، نظر خبرگان	حداقل وزن قابل قبول
گزارش‌های مالی شرکت	میانگین هزینه‌های مشابه، تخمین دپارتمان مالی	هزینه ها
سیستمERP ، واحد برنامه‌ریزی تولید	داده واقعی و نظر کارشناسی	ظرفیت تأمین

جدول ۵. اطلاعات پارامترهای مرحله اول مدل ریاضی

پارامتر	شرح پارامتر	مقدارعددی
W_{iuk}^{Inc}	وزن تأمین‌کننده قدیمی با توجه به شاخص عملکرد برای تولید هر محصول	بدست آمده از پرسشنامه
W_{THu}	حداقل وزن قابل قبول برای انتخاب تأمین‌کننده	۰/۷
n'_T	حداکثر تعداد شاخص عملکرد مورد نیاز برای ارضای محدودیتی که نشان‌دهنده وزن قابل قبول برای انتخاب تأمین‌کننده می‌باشد	۶

مقدار تابع هدف بدست‌آمده از حل مدل ۱۲ می‌باشد. به این معنی که ۱۲ متغیر اجازه ورود به مرحله دوم مدل ریاضی را پیدا کرده‌اند. به منظور تحلیل حساسیت تعداد متغیرهای قابل قبول این مدل، مقدار عددی W_{THu} از ۰ تا ۱ تغییر داده‌ایم و شکل ۴ بدست آمده است.



شکل ۴. تغییرات تابع هدف در قبال حداقل امتیاز مورد نیاز

بر اساس نمودار فوق در صورت انتخاب مقدار ۰ تمامی ۸۰ متغیر مربوط به تأمین‌کنندگان قدیمی امکان انتخاب را خواهند داشت و در مقادیر بالای ۰/۹ هیچ متغیری امکان انتخاب شدن را نخواهد داشت. این به این معنی است که هیچ کدام از تأمین‌کنندگان قدیمی امتیاز بالای ۰/۹ را کسب نکرده‌اند.

پس از حل مدل در مرحله اول، مدل را در مرحله دوم حل کرده‌ایم. مدل حل شده برای یک بازه زمانی ۲ دوره‌ای با ۱۰ محصول، ۴ تأمین‌کننده قدیمی، ۳ تأمین‌کننده جدید، ۹ معیار و ۳ مرحله توسعه حل شده است. مقادیر متغیرهای بدست‌آمده به شرح جدول ۶ می‌باشد.

جدول ۶. اطلاعات مربوط به انتخاب تأمین‌کننده‌های قدیمی و جدید

	دوره اول اول	دوره دوم
تأمین‌کننده قدیمی	تأمین‌کننده ۱ برای محصول ۱	تأمین‌کننده ۱ برای محصول ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای محصول ۳	تأمین‌کننده ۱ برای محصول ۳
	تأمین‌کننده ۱ برای محصول ۹	تأمین‌کننده ۱ برای محصول ۹
	تأمین‌کننده ۴ برای محصول ۶	تأمین‌کننده ۴ برای محصول ۶
	تأمین‌کننده ۶ برای محصول ۷	تأمین‌کننده ۶ برای محصول ۷

	دوره اول اول	دوره دوم
تأمین‌کننده جدید	تأمین‌کننده ۳ برای محصول ۲	تأمین‌کننده ۳ برای محصول ۲
	تأمین‌کننده ۳ برای محصول ۸	تأمین‌کننده ۵ برای محصول ۴
	تأمین‌کننده ۵ برای محصول ۴	تأمین‌کننده ۵ برای محصول ۸
	تأمین‌کننده ۵ برای محصول ۱۰	تأمین‌کننده ۵ برای محصول ۱۰
	تأمین‌کننده ۷ برای محصول ۵	تأمین‌کننده ۷ برای محصول ۵

بر اساس این اطلاعات، تأمین‌کننده‌های ۱ و ۴ و ۶ از ۴ تأمین‌کننده قدیمی برای تولید ۵ محصول انتخاب شده‌اند و به همین دلیل در مراحل توسعه بر اساس این تولیدات قرار خواهند گرفت که اطلاعات آن در جدول ۷ و ۸ آورده شده است. دلیل عدم انتخاب این تأمین‌کننده‌ها برای محصولات دیگر و یا یک تأمین‌کننده قدیمی هزینه تولید بالاتر، هزینه تعویض تأمین‌کننده کمتر و هزینه‌های انبارداری و کسری موجودی بیشتر این تأمین‌کننده‌ها می‌باشد. در حقیقت مدل ترجیح داده‌است تا با توجه به هزینه‌های توسعه بالای مورد نیاز تأمین‌کننده‌های قدیمی از تأمین‌کنندگان جدید استفاده نماید. همچنین با توجه به هزینه‌های تغییر تأمین‌کننده بین دو دوره تولیدی تغییری در نوع تأمین‌کننده‌ها بین دو دوره تولیدی ایجاد نگردیده است.

جدول ۷. مراحل توسعه در دوره اول

مراحل توسعه در دوره تولیدی اول	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۱ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۱ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۱ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۲ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۲ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۲ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۳ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۳ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۳ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۴ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۴ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۴ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۵ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۵ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۵ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۶ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۶ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۶ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۷ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۷ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۷ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۸ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۸ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۸ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۹ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۹ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۹ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۴ برای معیار ۱ و برای محصول ۶ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۴ برای معیار ۲ و برای محصول ۶ ام در مرحله توسعه ۱

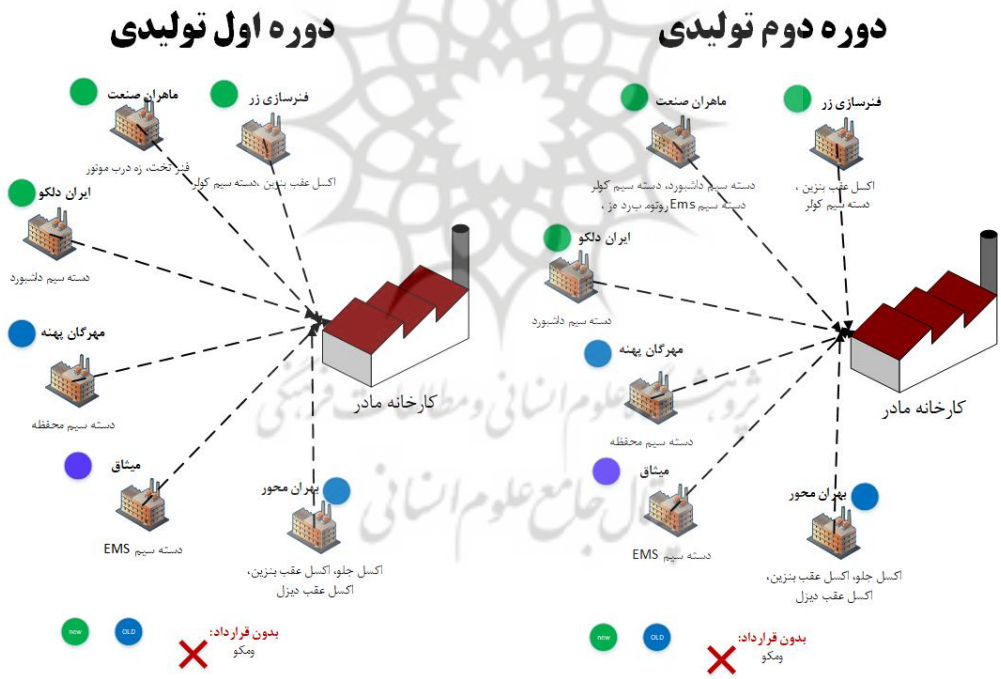
	تأمین‌کننده ۴ برای معیار ۳ و برای محصول ۶ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۴ برای معیار ۴ و برای محصول ۶ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۴ برای معیار ۵ و برای محصول ۶ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۴ برای معیار ۶ و برای محصول ۶ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۴ برای معیار ۷ و برای محصول ۶ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۴ برای معیار ۸ و برای محصول ۶ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۴ برای معیار ۹ و برای محصول ۶ ام در مرحله توسعه ۲
	تأمین‌کننده ۶ برای معیار ۱ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۶ برای معیار ۲ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۲
	تأمین‌کننده ۶ برای معیار ۳ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۶ برای معیار ۴ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۶ برای معیار ۵ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۶ برای معیار ۶ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۶ برای معیار ۷ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۶ برای معیار ۸ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۶ برای معیار ۹ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۲

جدول ۸. مراحل توسعه در دوره دوم

مراحل توسعه در دوره تولیدی دوم	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۱ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۱ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۱ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۲ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۲ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۲ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۲
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۳ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۳ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۳ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ٤ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ٤ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ٤ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ٥ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ٥ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ٥ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ٦ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ٦ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ٦ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۷ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۷ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۷ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۸ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۸ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۸ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۲
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۹ و برای محصول ۱ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۹ و برای محصول ۳ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ۱ برای معیار ۹ و برای محصول ۹ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٤ برای معیار ۱ و برای محصول ٦ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٤ برای معیار ۲ و برای محصول ٦ ام در مرحله توسعه ۱

	تأمین‌کننده ٤ برای معیار ۳ و برای محصول ٦ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٤ برای معیار ٤ و برای محصول ٦ ام در مرحله توسعه ۲
	تأمین‌کننده ٤ برای معیار ٥ و برای محصول ٦ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٤ برای معیار ٦ و برای محصول ٦ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٤ برای معیار ۷ و برای محصول ٦ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٤ برای معیار ۸ و برای محصول ٦ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٤ برای معیار ۹ و برای محصول ٦ ام در مرحله توسعه ۲
	تأمین‌کننده ٦ برای معیار ۱ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٦ برای معیار ۲ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۲
	تأمین‌کننده ٦ برای معیار ۳ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٦ برای معیار ٤ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٦ برای معیار ٥ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٦ برای معیار ٦ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٦ برای معیار ۷ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٦ برای معیار ۸ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۱
	تأمین‌کننده ٦ برای معیار ۹ و برای محصول ۷ ام در مرحله توسعه ۲

شماتیک کلی حل مدل در دوره تولیدی در شکل ۵ قابل مشاهده است



شکل۵. جواب کلی مساله

در این شکل، دایره بنفش نشان‌دهنده عدم تغییر تأمین‌کننده نسبت به دوره قبل می باشد و دایره سبز نشان‌دهنده انتخاب به عنوان تأمین‌کننده جدید می باشد. به عنوان مثال، ایران دلکو جزو تامین‌کنندگان جدید می‌باشد که وارد قرارداد با کارخانه مادر شده است. بر اساس جواب بدست آمده، ماهران صنعت محصول بیشتری را در دوره تولیدی، تامین خواهد کرد.

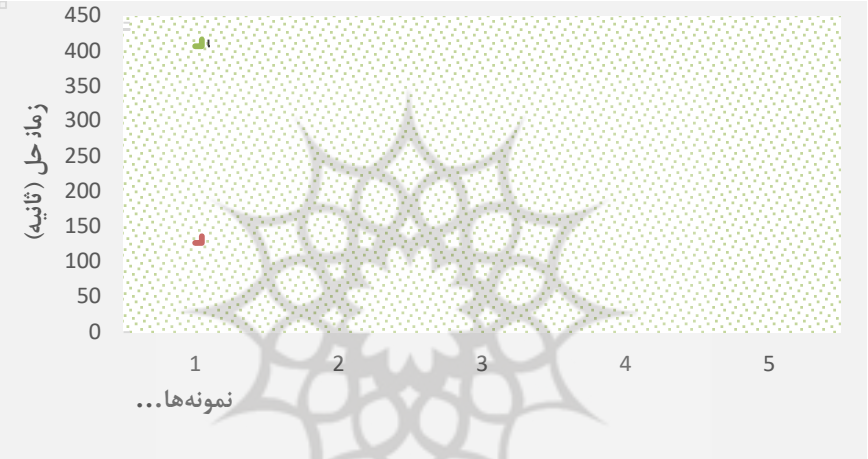
به منظور بررسی تفاوت زمان حل در مدل‌های خطی‌سازی‌شده و غیرخطی مرحله دوم از چند نمونه مثال عددی با ابعاد بزرگتر استفاده

شده است که اطلاعات آن در جدول ۹ می‌باشد.

جدول ۹. میزان تولید محصولات در دو دوره تولیدی توسط تأمین کنندگان

ردیف	تعداد تأمین‌کننده قدیمی	تعداد تأمین‌کننده جدید	تعداد دوره تولیدی	تعداد محصول
۱	٤	۳	۲	۱۰
۲	۶	۳	۲	۱۰
۳	۶	۵	۲	۱۰
۴	۶	۵	۳	۱۰
۵	۶	۵	۳	۱۵

با حل مدل‌های خطی‌سازی‌شده و غیرخطی شکل ۶ ایجاد گردیده است.



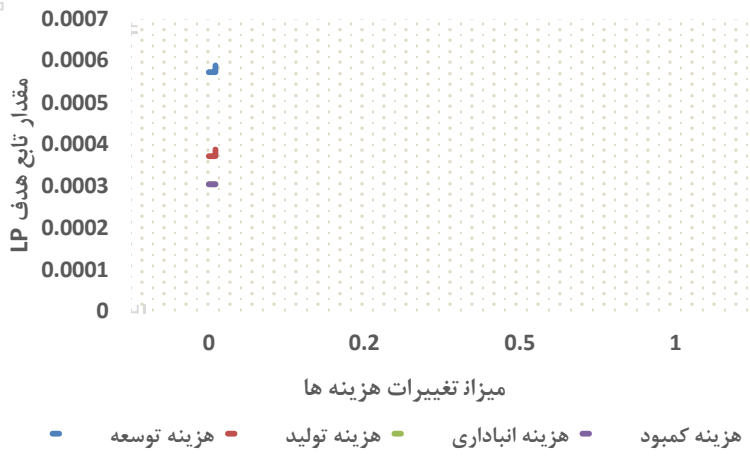
شکل ۶. مقایسه زمان حل مدل خطی‌سازی‌شده و غیر خطی

سه نکته از این شکل قابل استنتاج می‌باشد:

- اول: با افزایش ابعاد مساله اختلاف زمان حل مدل‌های خطی‌سازی‌شده و غیرخطی به صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند که این نشان‌دهنده اهمیت خطی‌سازی مدل در بخش پیش می‌باشد.
- دوم: بیشترین تأثیرگذاری در افزایش زمان حل مسأله چه در مدل خطی و چه در مدل غیرخطی را تعداد دوره تولیدی دارد. به طوریکه فاصله زمان حل بین نمونه‌های ۳ و ٤ که افزایش دوره تولیدی در آن اتفاق افتاده است قابل توجه می‌باشد. لذا در حل مساله با ابعاد بزرگ و دوره‌های تولیدی زیاد توجه به این نکته ضروری می‌باشد
- سوم: مدل برای نمونه‌هایی با تا ٦ تأمین‌کننده، ۱۵ محصول و ۳ دوره تولیدی قابل حل بوده و در زمان قابل قبول توسط گمز به جواب بهینه رسیده است. اما برای مسائل بسیار بزرگ‌تر، به دلیل افزایش تعداد متغیرهای باینری، احتمال افزایش زمان حل به شکل چشمگیر وجود دارد. در این موارد می‌توان از موارد زیر استفاده کرد:
- الگوریتم‌های حل تقریبی(متاهیوریستیک
- یا رویکردهای تجزیه‌ای مانند (الگوریتم تجزیه بندرز)

مهمترین پارامترهای هزینه‌ای شناسایی‌شده در این مدل عبارتند از: هزینه‌های تولید، انبارداری، کمبود و هزینه توسعه. برای مدیران

تصـمیم‌گیر در صـنعت، کنترل پارامترهای هزینه‌ای بسـیار مهم‌تر از سـایر پارامترهای کنترلی می‌باشـد. لذا در این قسـمت به بررسـی تحلیل حساسیت این پارامترها می‌پردازیم. شکل ۷ نتایج حاصله را نمایش می‌دهد.



شکل ۷. مقدار تابع هدف LP به ازای تغییرات پارامترهای هزینه‌ای

در این شکل پارامترهای هزینه‌ای مذکور از ۰ تا ۱۰۰٪ افزایش داده شده و مقادیر توابع هدف مشخص شده‌اند. نکته قابل ذکر اینکه هر مرحله افزایش یک پارامتر هزینه‌ای در حالت ثبات سـایر پارامترها اتفاق افتاده و در مجموع نمودار فوق حاصـل شـده اسـت. بر اسـاس نتایج حاصله بیشترین حساسیت مدل در قبال تغییرات هزینه توسعه می‌باشد. مدل در قبال هزینه‌های انبارداری و کمبود کمترین تغییرات را داشته اسـت. در حقیقت با تغییر این هزینه‌ها، مدل مقادیر را طوری تعیین می‌دهد که دچار کمبود یا انبار نگردد و این هزینه‌ها را متحمل نشـود. بنابراین کنترل هزینه‌های توسعه مهمتر می‌باشد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج بدست‌آمده، درنظرگیری مفهوم برنامه تولید و ماهیت چنددوره‌ای مسئله، باعث خواهد شد مدل آزادی عمل بیشتری در انتخاب تأمین‌کنندگان داشته باشد. به بیان دیگر حتی اگر تأمین‌کننده‌ای نتواند در یک دوره تولیدی تقاضای مورد نظر از یک محصول را تأمین نماید، دچار کسری شده و در دوره بعد امکان جبران را خواهد داشت. در حالی که در صورت عدم درنظرگیری فرض تقاضای پس‌افت، این تأمین‌کننده امکان انتخاب شدن برای تولید آن محصول را به هیچ عنوان پیدا نمی‌کرد. با توجه به نتایج بدست‌آمده، محیط چندمحصولی باعث خواهد شد که تأمین‌کننده برای بقاء در فضای رقابتی عملکرد خود در معیارهای مختلف را برای محصولاتی که کاندید تولید آن‌ها می‌باشد، به صورت توأمان ارتقاء بخشد. به عنوان مثال، تأمین‌کننده ۴ برای تولید محصول ۶ در دوره تولیدی دوم ملزم به طی کردن یک مرحله توسعه در معیارهای چهارم و نهم خود می‌باشد در صورت تولید محصولی دیگر (بجز محصول ۶) این تأمین‌کننده می‌بایست معیارهای دیگر خود را نیز ارتقاء دهد. به بیان دیگر محیط چندمحصولی باعث شتاب بیشتر در توسعه تأمین‌کنندگان خواهد شد .همچنین در نظرگیری فرض فروش ازدست رفته و بررسی آن بر کیفیت رویکرد ارائه‌شده و مقایسه آن با حالت تقاضای پس‌افت می‌تواند به عنوان یک مطالعه جذاب باشد. همچنین در فضای اقتصادی امروز بسیاری از شرکت‌های تجاری، پارامترهای بسیاری وجود دارند که ماهیت عدم قطعی داشته و نمی‌توان به صورت قطعی در خصوص مقادیر آن‌ها اظهار نظر کرد. این موضوع با عنوان درنظرگیری عدم‌قطعیت شناخته می‌گردد. لذا پیشنهاد می‌گردد به عنوان یک پژوهش آتی این موضوع مورد بررسی محققین قرار گرفته و پارامترهایی مانند مقدار تقاضا و یا پارامترهای هزینه‌ای را با حالت غیر قطعی در رویکرد ارائه‌شده در این مقاله مورد بحث و تجزیه و تحلیل قرار دهند.

فعالیت و کار با تأمین‌کننده جدید همواره با ریسک بالاتری نسبت به تأمین‌کننده قدیمی همراه است. درنظرگیری این ریسک فعالیت و بررسی تأثیر آن بر عملکرد مدل به عنوان یک مطالعه آتی پیشنهاد می‌گردد.

بینش‌های مدیریتی پژوهش

نتایج این پژوهش از چند منظر می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان و مدیران زنجیره تأمین در بخش‌های تولیدی و صنعت لجستیکی کمک شایانی نماید:

۱. تصمیم‌گیری یکپارچه و هم‌زمان

مدل ارائه‌شده به مدیران این امکان را می‌دهد که سه تصمیم حیاتی در مدیریت زنجیره تأمین شامل:

۱. انتخاب تأمین‌کننده

۲. توسعه تأمین‌کننده

۳. تخصیص مقدار سفارش

را به‌صورت هم‌زمان و با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و اهداف پایدار اتخاذ کنند. این یکپارچگی موجب افزایش کارایی تصمیم‌گیری و کاهش تناقض‌های اجرایی بین بخش‌های عملیاتی، خرید و پایداری می‌گردد.

۲. پشتیبانی از استراتژی توسعه پایدار در تأمین‌کنندگان

مدل، امکان ارزیابی و مقایسه سناریوهای مختلف توسعه تأمین‌کننده را با توجه به معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی فراهم می‌آورد. این ویژگی به مدیران کمک می‌کند تا با توجه به اولویت‌های استراتژیک سازمان خود (مثلاً کاهش آلایندگی، ارتقاء سلامت شغلی کارگران یا کاهش هزینه) برنامه توسعه مناسبی را انتخاب کنند.

۳. تحلیل حساسیت و مدیریت ریسک تصمیم

با انجام تحلیل حساسیت بر پارامترهای کلیدی مدل (نظیر هزینه توسعه، وزن‌دهی به معیارها، بودجه کل)، مدیران می‌توانند رفتار مدل را در مواجهه با عدم قطعیت‌ها و تغییرات محیطی تحلیل کرده و از این طریق، تصمیماتی مقاوم‌تر و مبتنی بر شواهد اتخاذ نمایند.

٤. تخصیص بهینه منابع توسعه

در شرایطی که بودجه توسعه محدود است، مدل به مدیران کمک می‌کند تا منابع توسعه‌ای را به‌صورت هدفمند به تأمین‌کنندگانی اختصاص دهند که بیشترین بازده و تأثیر را در بهبود عملکرد کلی زنجیره دارند. این کار موجب افزایش نرخ بازگشت سرمایه توسعه و کاهش هزینه فرصت توسعه اشتباه خواهد شد.

تعارض منافع برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Aditi, Kannan,D ., Darbari, J. ,& Jha, P.(2023). Sustainable supplier selection model with a trade-off between supplier development and supplier switching. *Annals of Operations Research*, *331*, 351-392.

2. Asnaashari, A., Gheydar-Khalajani, J., & Karimi-Gavareshki, M. (2020). Supplier development strategies: A study and review of criteria, indicators, strategies, and a proposed model (Case study of several governmental organizations). *6th International Conference on Industrial Engineering and Systems*. (in Persian)
3. Aboutorab, H., Saberi, M., Asadabadi, M. R., Hussain, O., & Chang, E. (2018). ZBWM: The Z-number extension of Best Worst Method and its application for supplier development. *Expert Systems with Applications, 107*, 115-125.
4. Aditi, & Aggarwal, S. (2021). Performance-Based Supplier Selection and Order Allocation Model Incorporating Sustainable Development Strategies*. In Soft Computing for Problem Solving: Proceedings of SocProS 2020*, 2 (573-587). Springer Singapore.
5. Bai, C., & Satir, A. (2020). Barriers for green supplier development programs in manufacturing industry. *Resources, Conservation and Recycling*, *158*, 104756.
6. Bai, C., & Satir, A. (2022). A critical content-analysis of sustainable supplier development literature and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132443.
7. Bai, C., Govindan, K., & Dhavale, D. (2024). Optimal selection and investment-allocation decisions for sustainable supplier development practices. *Annals of Operations Research*, 335(1), 1-31.
8. Barua, A., Kant, R., & Habib, M. M. (2017). A Grey-Based DEMATEL Model for Evaluating Supplier Development Criteria.
9. Causil, O. M. M., & Morais, D. C. (2023). Food supplier sorting model for strategic supply chain sustainable development. *Business Strategy and the Environment, 32(7)*, 4103-4118.
10. Cole, R., & Aitken, J. (2019). Selecting suppliers for socially sustainable supply chain management: post-exchange supplier development activities as pre-selection requirements*. Production Planning & Control, 30(14)*, 1184-1202.
11. Dastyar, H., Rippel, D., Pannek, J., Thoben, K. D., & Freitag, M. (2020). A numerical study on the effects of trust in supplier development. Processes*, 8(3)*, 300.
12.Hwang, C., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making, *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, 58-191.
13. Jafarian, M., Lotfi, M. M., & Pishvaee, M. S. (2021). Supplier switching versus supplier development under risk: A mathematical modelling approach. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107737.
14. Karaer, Ö., Kraft, T., & Yalçın, P. (2020). Supplier development in a multi-tier supply chain. *IISE Transactions, 52(4),* 464-477.
15. Karami, A., Fattahi, M., & Hasani., A. (2022). Sustainable Supplier Selection of Refined Products under Risk and Options Contract using Conditional Value at Risk. *Journal of Industrial Management Perspective*, *12*, 289-323. (In Persian).
16. Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems*. Applied mathematics and computation, 213(2)*, 455-465.
17. Nasiri, A., Mansoti, A., & Mohammadi, N. (2022). Developing an integrated model for evaluation the performance of green and resiliant suppliers by combining path analysis, SWARA and Topsis decision making techniqes. *Industrial Management Perspective, 12(46)*, 227- 251. (In Persian).
18. Paybarjay, H., Fallah Lajimi, H., & Hashemkhani Zolfani, S. (2024). An investigation of supplier development through segmentation in sustainability dimensions. *Environment, Development and Sustainability*, 26(6), 14369-14403.
19. Rahayu Tukimin, W. H. W. M., Mohamed, N., Hanif, M. N., Rosdi, M., & Nordin, M. M (2019). Prioritization of Supplier Development Practices: A Fuzzy Method.
20 .Seifbarghi, M. (2022). A multi-objective sustainable closed loop supplychain model consideing suppliers evaluation and using SWARA-WASPAS method. *Industrial Management Perspective*, *12(47),* 63- 88. (In Persian).
21. SharifAbadi, A., Mirfakhredini, H., Rash, S., & Ardekani, H. (2017). Evaluating green supplychain development programs with a gray analytical network process-based methodology. *International journal of industrial engineering & Production research, 28(3),* 421- 432. (In Persian).
22. Subramaniam, P. L., Iranmanesh, M., Kumar, K. M., & Foroughi, B. (2020). The impact of multinational corporations' socially responsible supplier development practices on their corporate reputation and financial performance*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *50(1),* 3-25.
23.Seif,M. (2022). A Multi-Objective Sustainable Closed Loop Supply Chain Model Considering Suppliers Evaluation and using SWARA-WASPAS Method, *12,*63-88. (In Persian).
24.Sheykhizadeh,M., Ghasemi, R., Vandchali, H., Sepehri, A, &Torabi,S.(2024). A hybrid decision-making framework for a supplier selection problem based on lean, agile, resilience, and green criteria: a case study of a pharmaceutical industry. *Environment, Development and Sustainability*, 1-28.

25. Torabi, S, &Tafakkori, K. (2022). Designing an Applied Approach to Support Supplier Development Decisions in Buyer-Supplier Relationship Management. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 12 (46), 9-36. (In Persian).
26. Tavakkoli, G., Abbasi, M., & Ahmadi, A. (2018). Designing a supplier development model in the supply chain. *International Conference on Dynamic Management, Accounting and Auditing*. (in Persian)
27. Vang, J, &Clausen, H. (2025). Grand challenges and supplier development in the Global South: why experiment with new (ethnographic) intervention research methods. *The International Journal of Logistics Management*.
28. Zhou, R., Bhuiyan, T. H., Medal, H. R., Sherwin, M. D., & Yang, D. (2022). A stochastic programming model with endogenous uncertainty for selecting supplier development programs to proactively mitigate supplier risk. *Omega*, 107, 102542.
29. Zeleny, M. (1998).Multiple criteria decision making. *Eight concepts of optimalityHuman Systems Management*, *17 (2),* 97-107.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی