Industrial Management Journal
Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Presenting a Supplier Selection, Order Allocation, and Pricing Model in Multi-item, Single-Period, and Multi-Supplier Supply Chain Management with Surface Response Methodology and Genetic Algorithm Approach

Ehsan Teymouri
Ph.D. Candidate, Department of Operation Research Management, Faculty of Management and Accounting, University of Allameh Tabataba'i, Tehran, Iran. E-mail: teymouri921@atu.ac.ir

Maghsoud Amiri
*Corresponding Author, Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, University of Allameh Tabataba'i, Tehran, Iran. E-mail: amiri@atu.ac.ir

Laya Olfat
Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, University of Allameh Tabataba'i, Tehran, Iran. E-mail: olfat@atu.ac.ir

Mostafa Zandieh
Associate Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. E-mail: m_zandieh@sbu.ac.ir

Abstract

Objective: Selecting the supplier, allocating the goods to the suppliers, and pricing the goods are the important challenges with which retailers are faced. The present study is aimed at providing a multi-item supplier selection, order allocation, and pricing model with stochastic demand and purchase from the suppliers who provide goods with all-unit discount.

Methods: The study has used quantitative modeling by presenting mathematical model. The demand functions are price-based with additive uncertainty. In this study, a mixed nonlinear integer single-objective model was developed. To this end, the response surface methodology was used to estimate the income function and the genetic algorithm was applied to solve the model. Further, the Taguchi method was utilized to set the parameter of the genetic algorithm. For verifying the proposed method, nine problems with different product quantities and levels of variance of stochastic variables of demand were solved. In addition, in order to evaluate the performance of the genetic algorithm, the results of the algorithm in solving problems with small dimensions were compared to the results in solving the model in Lingo software.

Results: The results of the study indicated that the difference between the results of genetic algorithm and lingo is not significant. After solving the model for the examples using the proposed method, it was determined that increasing the variance of the random variable of demand results in decreasing the profit level.

Conclusion: Considering the supplier selection, order allocation, and pricing issues can help retailers to make better decisions. Furthermore, demand based on the price and various conditions of the discount are assumptions which make the model more practical. The results of solving the model for various examples indicated that increasing uncertainty in demand leads to a decrease in the amount of profit. Moreover, the genetic algorithm is considered as an appropriate alternative to solve a mixed nonlinear integer model of supplier selection, order allocation, and pricing.

Keywords: Pricing, Supplier selection, Genetic algorithm, Response surface methodology.

Citation: Teymouri, E., Amiri, M., Olfat, L., & Zandieh, M. (2020). Presenting a Supplier Selection, Order Allocation, and Pricing Model in Multi-item, Single-Period, and Multi-Supplier Supply Chain Management with Surface Response Methodology and Genetic Algorithm Approach. *Industrial Management Journal*, 12(1), 1-23. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2020, Vol. 12, No.1, pp. 1-23
DOI: 10.22059/imj.2020.285737.1007631
Received: July 19, 2019; Accepted: December 20, 2019
© Faculty of Management, University of Tehran

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۵۸۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۵۳۶۹-۲۴۲۳

مدل انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص سفارش و قیمت‌گذاری در مدیریت زنجیره تأمین چند کالایی تک‌دوره‌ای و چند تأمین‌کننده با رویکرد روش‌های سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک

احسان تیموری
دانشجوی دکتری، گروه مدیریت تحقیق در عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران. رایانامه: teymouri921@atu.ac.ir

مقصود امیری
* نویسنده مسئول، استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران. رایانامه: amiri@atu.ac.ir

لعیا الفت
استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران، رایانامه: olfat@atu.ac.ir

مصطفی زندیه
دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m_zandieh@sbu.ac.ir

چکیده

هدف: یکی از موضوع‌های مهمی که خرده‌فروشان با آن مواجه‌اند، مسئله انتخاب تأمین‌کننده به‌منظور سفارش کالا، تخصیص کالا به تأمین‌کنندگان و قیمت‌گذاری کالاهاست. هدف این مقاله، ارائه مدل انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص سفارش و قیمت‌گذاری چندکالایی، همراه با تقاضای تصادفی و خرید از تأمین‌کننده با تخفیف کلی است.

روش: روش مقاله، مدل‌سازی کمّی از طریق ارائه مدل ریاضی است. در این پژوهش یک مدل مختلط غیرخطی عدد صحیح تک‌هدفه طراحی شده است. تقاضای کالاها مبتنی بر قیمت، به‌صورت تصادفی جمعی است. برای تخمین تابع درآمد، از تکنیک روش‌شناسی سطح پاسخ، برای حل مدل، از الگوریتم ژنتیک متناسب‌سازی و برای تنظیم پارامتر الگوریتم ژنتیک، از روش تاگوچی استفاده شده است. به‌منظور صحت‌بخشیدن به روش پیشنهادی، ۹ مسئله با مقادیر مختلف کالا و سطوح مختلف واریانس‌های متغیر تصادفی تقاضا حل شد و مقایسه‌ای میان نتایج آن در مسائل با ابعاد کوچک با نتایج در حل مدل در نرم‌افزار لینگو به عمل آمد تا عملکرد الگوریتم بررسی شود.

یافته‌ها: در مقایسه میان نتایج الگوریتم ژنتیک و حل مدل در نرم‌افزار لینگو، اختلاف کمی مشاهده شد. همچنین با حل مدل برای مثال‌های مدنظر با استفاده از روش پیشنهادی، مشخص شد که با افزایش واریانس متغیر تصادفی تقاضا، میزان سود نیز کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: در نظر گرفتن هم‌زمان مسئله انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص سفارش و قیمت‌گذاری، به خرده‌فروشان برای بهبود تصمیم‌گیری کمک می‌کند. همچنین تقاضای مبتنی بر قیمت و شرایط مختلف تخفیف، مفروض‌هایی هستند که به کاربردی‌تر شدن مدل منجر می‌شوند. پس از حل مدل برای مسائل مختلف، مشخص شد که با افزایش عدم قطعیت در تقاضا، میزان سود کاهش می‌یابد. الگوریتم ژنتیک نیز برای مدل مختلط غیرعددی صحیح انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص سفارش و قیمت‌گذاری، کارایی مناسبی دارد.

کلیدواژه‌ها: قیمت‌گذاری، انتخاب تأمین‌کننده، الگوریتم ژنتیک، روش‌شناسی سطحی پاسخ.

استناد: تیموری، احسان؛ امیری، مقصود؛ الفت، لعیا؛ زندیه، مصطفی (۱۳۹۹). مدل انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص سفارش و قیمت‌گذاری در مدیریت زنجیره تأمین چندکالایی تک‌دوره‌ای و چند تأمین‌کننده با رویکرد روش‌های سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک. *مدیریت صنعتی*، ۱۲(۱)، ۱-۲۳.

مدیریت صنعتی، ۱۳۹۹، دوره ۱۲، شماره ۱، صص. ۱-۲۳
DOI: 10.22059/imj.2020.285737.1007631
دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۸، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۹
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

به‌دلیل وجود تقاضای تصادفی، هماهنگی عرضه و تقاضا از جمله دغدغه‌های پیش‌روی خرده‌فروشان است. سفارش‌دهی و قیمت‌گذاری، دو اهرم مؤثر در ایجاد این هماهنگی هستند. خرده‌فروش از یک سو می‌تواند با استفاده از قیمت‌گذاری، تقاضا را مدیریت کند و از سوی دیگر با بهبود تصمیم‌های مربوط به سفارش‌دهی، موجب افزایش هماهنگی و کاهش هزینه‌ها شود. ایجاد یکپارچگی بین قیمت‌گذاری و سفارش‌دهی، تحت تقاضای تصادفی یکی از مسائل مهم در حوزه خرده‌فروش است. این موضوع، زمانی پیچیده‌تر می‌شود که تأمین‌کننده، کالاهای خود را با شرایط تخفیفی ارائه می‌کند. در تخفیف، مقادیر مختلف سفارش، دارای قیمت‌های متغیر هستند. خرده‌فروش، به‌دلیل وجود تقاضای تصادفی، با ریسک مازاد کالا روبه‌رو می‌شود. خرده‌فروشان، از طریق قیمت‌گذاری مناسب می‌توانند ریسک مازاد کالا را کاهش و درآمد را افزایش دهند. از این رو، تصمیم‌های هم‌زمان قیمت‌گذاری و سفارش‌دهی تحت تقاضای غیرتصادفی و وجود تخفیف‌ها، بسیار کاربردی و چالش‌برانگیز است (شی و ژانگ[1]، ۲۰۱۰). یکی دیگر از تصمیم‌های مهم خرده‌فروشان انتخاب تأمین‌کنندگان است. تأمین‌کنندگان با شرایط مختلف تخفیف و هزینه ارسال، می‌توانند بر سودآوری خرده‌فروش تأثیرگذار باشند. با در نظر گرفتن شرایط یادشده وجود مدلی برای اتخاذ تصمیم‌های اثربخش در خصوص انتخاب، تخصیص سفارش و قیمت‌گذاری و همچنین توسعه روشی مناسب و مؤثر برای مواجهه با عدم قطعیت و بهینه کردن مدل پیشنهادی، ضروری است.

این مقاله در رابطه با یک زنجیره تأمین دوسطحی با حضور چندین تأمین‌کننده بالقوه در سطح بالاتر و یک خرده‌فروش همچون فروشندگان محصولات گل و گیاه، چوب، سنگ و ... در سطح پایین‌تر انجام شده است. تأمین‌کنندگان، چندین کالا با شرایط قیمتی و تخفیفی متفاوت ارائه می‌کنند و خرده‌فروش با توجه به محدودیت‌های خود و تابع تقاضای کالاها در رابطه با انتخاب تأمین‌کننده، مقدار سفارش هر کالا به تأمین‌کنندگان و همچنین قیمت کالاها تصمیم‌گیری می‌کند. با توجه به اینکه سفارش در این مقاله تک‌دوره‌ای و تقاضا تصادفی و مبتنی بر قیمت در نظر گرفته شده است، از مدل پسرک روزنامه‌فروش استفاده می‌شود. مدل کلاسیک روزنامه‌فروش یکی از مسائل پایه‌ای در زنجیره تأمین است که به‌منظور تعیین سیاست‌های سفارش‌دهی برای محصولات با عمر کوتاه همچون روزنامه، محصولات کشاورزی و غیره ساخته شده است (ژانگ و یانگ[2]، ۲۰۱۶). همچنین در این مسئله فرض می‌شود، تأمین‌کنندگان کالاهای خود را به‌صورت تخفیف کلی[3] ارائه می‌کنند. به‌طور کلی تخفیف به دو نوع اصلی تخفیف‌های مبتنی بر اندازه انباشته[4] و تخفیف‌های حجمی[5] تقسیم می‌شود. در تخفیف‌های مبتنی بر اندازه انباشته، قیمت‌ها مبتنی بر میزان سفارش در یک نوبت پیشنهاد می‌شوند و در تخفیف‌های حجمی، تخفیف بر اساس کل میزان خرید در یک دوره و نه هر بار سفارش، پیشنهاد می‌شود. تخفیف‌های مبتنی بر اندازه انباشته نیز به دو صورت کلی و نموی هستند (چوپرا و میندل[6]، ۲۰۰۷: ۲۷۵). در تخفیف کلی، تخفیف بر کل کالاها به‌صورت یکسان اعمال می‌شود. در تحفیف نموی یا افزایشی بر هر محدوده به‌صورت جداگانه تخفیف اعمال می‌شود (طلایی‌زاده، استوجکوسکا و پنتیکو[7]، ۲۰۱۵).

1. Shi & Zhang
2. Zhang & Yang
3. All-units
4. Lot size based
5. Volume based
6. Chopra & Mindl
7. Taleizadeh, Stojkovska & Pentico

با مرور مقاله‌ها، پژوهشی در خصوص در نظر گرفتن مسئله انتخاب، سفارش‌دهی و قیمت‌گذاری چند کالایی به‌همراه تخفیف و محدودیت منابع یافت نشد. هدف این مقاله توسعه مدل پسرک روزنامه‌فروش برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان و قیمت‌گذاری چند کالایی، زمانی که تقاضا غیرقطعی است و خرده‌فروش با پیشنهاد تخفیف از تأمین‌کنندگان روبه‌روست، است. بدین منظور یک مدل مختلط صفر و یک غیرخطی ارائه شده است که با استفاده از تکنیک روش‌شناسی سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک حل می‌شود.

در نظر گرفتن مسئله انتخاب و تخصیص سفارش‌دهی در مدل قیمت‌گذاری پسرک روزنامه‌فروش با محدودیت بودجه، از جمله نوآوری‌های این مقاله است. استفاده از رویکرد روش‌شناسی سطح پاسخ[1] (RSM) برای تخمین تابع درآمد و استفاده از آن در الگوریتم ژنتیک نوآوری دیگر این پژوهش است. در مقاله‌های پیشین نیز بررسی تغییرات واریانس بخش تصادفی تقاضا مشاهده نشده است.

در ادامه ادبیات پژوهش و پس از آن مسئله پژوهشی بیان می‌شود. سپس مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. در ادامه روش حل ذکر شده و پس از آن یافته‌های پژوهش همراه با مثال عددی و در پایان نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

پیشینه پژوهش

در دنیای رقابتی امروزی، تصمیم‌های مربوط به انتخاب تأمین‌کننده، سفارش‌دهی و قیمت‌گذاری از جمله تصمیم‌های حساس و اثرگذار بر افزایش سود و کاهش هزینه‌ها هستند که در نهایت به بقا و رشد سازمان‌ها منجر خواهند شد. بی‌شک این تصمیم‌ها با هم مرتبط هستند و نگاهی یکپارچه به آنها، به‌منظور افزایش رقابت‌پذیری سازمان ضروری است. در ادبیات مدیریت زنجیره تأمین، خرده‌فروشان با ماهیت خریدوفروش جایگاه مهمی دارند و در قالب مقاله‌های متعددی در حوزه تخصیص سفارش و قیمت‌گذاری توجه‌های بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. با توجه به اینکه مسئله بررسی‌شده در این مقاله در رابطه با یک خرده‌فروش است، در ادامه مروری بر ادبیات مفروضات و ویژگی‌های مسئله بحث‌شده، ارائه می‌شود.

تخفیف‌ها

یکی از فرضیه‌های در نظر گرفته‌شده در این مقاله ارائه تخفیف‌ها توسط تأمین‌کنندگان است. طلایی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵)، مدل EOQ همراه با تخفیف‌های نموی و پس افت بخشی یا کامل را توسعه دادند. تمجید زاده و میرمحمدی[2] (۲۰۱۶) یک مدل (r,Q) را با محدودیت منبع و تخفیف مقداری نموی تحت سیستم مرور پیوسته که تقاضا تصادفی و گسسته است، بررسی کردند. آنها به‌منظور یافتن بهترین سیاست (r,Q) که هزینه سیستم را به حداقل می‌رساند، مدلی بهینه‌سازی ارائه کردند. سپس، برای یافتن نقطه بهینه، از الگوریتم جست‌وجوی تک‌بعدی استفاده کردند. تمجیدزاده و میرمحمدی (۲۰۱۸) در مقاله‌ای دیگر یک سیستم موجودی چندکالایی با تقاضای تصادفی تحت سیستم مرور دائم، با محدودیت منبع و تخفیف کلی را بررسی کردند. آنها منبع را به‌عنوان یک محدودیت نرم در نظر گرفتند و یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح ارائه دادند و به‌منظور حل آن از یک روش هیوریستیک استفاده کردند. یکی از اهداف این مقاله توسعه مدل پسرک روزنامه‌فروش قیمت‌گذاری با در نظر گرفتن تخفیف است.

1. Response surface methodology
2. Tamjidzad & Mirmohammadi

مدل پسرک روزنامه‌فروش

یکی از مدل‌های مطرح‌شده در مسائل موجودی و قیمت‌گذاری، مدل پسرک روزنامه روزنامه‌فروش است. در مدل پسرک روزنامه‌فروش کلاسیک، خرده‌فروش با توجه به تعادل هزینه‌های کمبود و مازاد و همچنین توزیع احتمال تقاضا، درباره مقدار بهینه سفارش تصمیم‌گیری می‌کند (شی، ژانگ، شا،[1] ۲۰۱۱). نخستین بار ویتین[2] (۱۹۵۵) مسئله قیمت‌گذاری را در مدل پسرک روزنامه‌فروش مطرح کرد. برخی مقاله‌ها نیز به‌کارگیری تخفیف در مدل پسرک روزنامه‌فروش را بررسی کردند که به چند مورد آن اشاره می‌شود. ژانگ و ما[3] (۲۰۰۹) یک سیاست سفارش‌دهی برای یک شبکه تأمین شامل یک تولیدکننده و چند تأمین‌کننده را بررسی کردند. تولیدکننده چندین کالا را تحت تقاضای تصادفی تولید می‌کند و هر تأمین‌کننده سیاست‌های تخفیفی متفاوتی دارد. هدف مسئله، تعیین سیاست‌های سفارش‌دهی و سطح تولید، برای حداکثر کردن سود تولیدکننده است. آنها بدین منظور یک مدل غیرخطی صفر و ۱ را پیشنهاد کردند. شی و ژانگ (۲۰۱۰) برای نخستین بار تخفیف را در مدل قیمت‌گذاری پسرک روزنامه‌فروش وارد کردند و مدل قیمت‌گذاری پسرک روزنامه‌فروش چندکالایی، همراه با تخفیف کلی و همچنین محدودیت بودجه ارائه دادند. مدل پیشنهادی به‌صورت مسئله صفر و ۱ غیرخطی فرموله شده بود که با استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ[4] حل می‌شد. شی و همکاران (۲۰۱۱)، برای حل مسئله پسرک روزنامه‌فروش چندکالایی همراه با تخفیف و محدودیت بودجه، از روش برنامه‌ریزی فصلی تعمیم‌یافته[5] استفاده کردند. کرامت‌پور، اخوان نیکی و پسندیده[6] (۲۰۱۸)، یک مدل پسرک روزنامه‌فروش دوهدفه با تقاضای تصادفی ارائه کردند. مدل آنها دارای دو هدف بیشینه کردن درآمد مورد انتظار و سطح خدمت در پایان فصل است. آنها دو سیاست تخفیف کلی و نموی را به‌کار گرفتند. در این مقاله برای حل مدل، از الگوریتم علف‌های هرز چندهدفه استفاده شده است. محمدی وجدان و جیونس[7] (۲۰۱۸) با استفاده از مدل روزنامه‌فروش، شرایطی را بررسی کردند که در آن، فروشنده‌ای کالاها را با پیش‌بینی فصل فروش نگهداری می‌کند و تقاضا غیرقطعی است. کالاها توسط چند فروشنده با تخفیف مقداری ارائه می‌شود. فروشنده به‌دنبال کمینه‌کردن هزینه مازاد و کمبود است. یکی دیگر از توسعه‌های مدل این مقاله مدل پسرک روزنامه‌فروش همراه با تخفیف در تصمیم‌های مربوط به انتخاب تأمین‌کننده است.

مسئله انتخاب و سفارش‌دهی

بخش دیگری از ادبیات این پژوهش مربوط به مسائل کنترل موجودی همراه با انتخاب تأمین‌کننده است که به‌طور عمده با عنوان مسائل انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش معرفی می‌شوند. در ادامه به چند نمونه که به این مقاله نزدیک‌ترند، اشاره می‌شود.

هاکسور و موسوراکیس[8] (۲۰۰۸) یک مدل عدد صحیح ترکیبی برای سفارش‌دهی چند کالایی و چند تأمین‌کننده با تقاضای معین ارائه دادند. تأمین‌کنندگان، تخفیف‌های نموی را پیشنهاد می‌کردند. ژانگ و ما (۲۰۰۹)، برای یک شبکه تأمین شامل یک تولیدکننده و چند تأمین‌کننده، یک سیاست سفارش‌دهی را بررسی کردند. تولیدکننده، چندین کالا را با

1. Sha
2. Whitin
3. Zhang & Ma
4. Lagrangian relaxation
5. Generalized Disjunctive Programming
6. Keramatpour, Akhavan niki & Pasandideh
7. Mohammadivojdan & Geunes
8. Haksever & Moussourakis

تقاضای تصادفی تولید می‌کند و هر تأمین‌کننده سیاست‌های تخفیفی متفاوتی دارد. هدف مسئله، تعیین سیاست‌های سفارش‌دهی و سطح تولید، برای حداکثر کردن سود تولیدکننده است. آنها بدین منظور یک مدل غیرخطی صفر و ۱ پیشنهاد دادند. مفاخری، برتون و گونیم[1] (۲۰۱۱) نیز برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص، از یک روش دومرحله‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی پویای چندشاخصه استفاده می‌کنند. مسئله با استفاده از برنامه‌ریزی پویا حل می‌شود. حسن‌زاده امین، رزمی و ژانگ[2] (۲۰۱۱) از روش SWOT در مسئله انتخاب و سفارش‌دهی همراه با تقاضای فازی استفاده کردند. کمالی، فاطمی قمی و جولایی (۲۰۱۱)، برای همکاری در یک سیستم تک‌خریدار و چند فروشنده تحت تخفیف کلی، یک مدل تک‌کالایی غیرخطی چندهدفه صفر و ۱ ارائه دادند. به‌منظور حل مدل از دو روش فراابتکاری PSO[3] و جست‌وجوی تصادفی استفاده شد. لی، کانگ، لای و هونگ[4] (۲۰۱۳) یک مدل عدد صحیح مختلط برای حل مسئله سفارش و انتخاب تأمین‌کننده با چند تأمین‌کننده، چنددوره‌ای و تخفیف ارائه کردند. به‌منظور حل مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. ونتورا، والدبنیو و گولانی[5] (۲۰۱۳) یک مدل اندازه انباشته موجودی چنددوره‌ای و کالایی در یک زنجیره تأمین چندمرحله‌ای ارائه دادند. هدف این مدل، تعیین سیاست‌های بهینه در مراحل مختلف زنجیره تأمین در هر دوره و انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در مراحل مختلف به‌منظور حداقل کردن هزینه است. پاترا و موندال[6] (۲۰۱۵) مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص کالا به تأمین‌کننده را با توجه به ریسک و در شرایط فازی در حالت چندکالایی بررسی کردند.

پراساناونکاتسان و گاه[7] (۲۰۱۶) یک برنامه‌ریزی خطی صفر و ۱ چندهدفه را برای انتخاب تأمین‌کننده و مقدار تخصیصی به آنها تحت شرایط ریسک ارائه کردند. آنها از بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و مقدار تخصیصی به آن استفاده کردند. سودنکامپ، توانا و دی‌کاپریو[8] (۲۰۱۶) شیوه‌ای برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش‌ها با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره و برنامه‌ریزی خطی چندهدفه پیشنهاد دادند. میرزایی، نادری و پسندیده[9] (۲۰۱۸) یک مدل خطی صفر و ۱ چندکالایی، چندتأمین کننده و چندهدفه را با تخفیف برای مسئله انتخاب و تخصیص معرفی کردند. اهداف عبارت بودند از: حداقل کردن هزینه موجود و حداکثر کردن ارزش خرید. آنها از مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی پیشگیرانه[10] استفاده کردند و نتایج را با سایر مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی همچون برنامه‌ریزی آرمانی کلاسیک و فازی وزندار مقایسه کردند. محب علیزاده و هندیفیلد[11] (۲۰۱۹)، برای مسئله انتخاب و تخصیص در حالت چندکالایی، چنددوره‌ای و چند نوع حمل‌ونقل، یک مدل خطی صفر و ۱ چندهدفه طراحی کردند. آنها در مدل خود جنبه‌های پایدار و تخفیف را نیز در نظر گرفتند و با استفاده از روش اپسیلون محدودیت، الگوریتم تجزیه بندر و تحلیل پوششی داده‌ها، مدل را حل کردند. آلگاز و یاپیسیگلو[12] (۲۰۱۹)، شیوه‌ای ترکیبی مبتنی بر تاپسیس فازی، تحلیل سلسه‌مراتبی فازی و برنامه‌ریزی آرمانی با در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی به‌منظور تعیین تأمین‌کننده و مقدار

1. Mafakheri, Breton, Ghoniem
2. Hassanzadeh Amin, Razmi & Zhang
3. Particle swarm optimization
4. Lee, Kang, Lai & Hong
5. Ventura, Valdebenito & Golany
6. Patra & Mondal
7. PrasannaVenkatesan & Goh
8. Sodenkamp, Tavana & Di Caprio
9. Mirzaee, Naderi & Pasandideh
10. Preemptive fuzzy GP
11. Handifield
12. Alegoz & Yapicioglu

سفارش به آن معرفی کردند. آنها در مدل خود محدودیت‌های منابع، اندازه انباشته و تخفیف‌ها مقداری را در نظر گرفتند و در پایان به این نتیجه رسیدند که شیوه آنها توانایی برقراری تعادل میان تضاد اهداف، میزان تخصیص و برآورده شدن محدودیت‌ها را دارد. کلنر و یوتز[1] (۲۰۱۸)، برای مسئله انتخاب و تخصیص، مدلی سه‌هدفه پیشنهاد کردند. اهداف آنها شامل بیشینه کردن پایداری و کمینه کردن هزینه و ریسک است. این مدل توسعه نظریه پورتفولیوی مارکویتز[2] بوده و برای حل نیز از روش اپسیلون محدودیت استفاده کردند.

با مرور ادبیات پژوهش، پژوهشی در رابطه با در نظر گرفتن مسئله انتخاب تأمین‌کننده، همراه با قیمت‌گذاری و سفارش‌دهی چندکالایی در شرایطی که تأمین‌کنندگان محصولات را با تخفیف کلی ارائه می‌کنند و تقاضا تصادفی و مبتنی بر قیمت است، یافت نشد. از این رو، در این مقاله مدل پسرک روزنامه‌فروش به‌منظور در نظر گرفتن شرایط یادشده توسعه داده شده است.

بیان مسئله پژوهش

مسئله بررسی‌شده در این مقاله در یک زنجیره تأمین دوسطحی رخ می‌دهد. در سطح اول تأمین‌کنندگان بالقوه و در سطح بعد خرده‌فروش وجود دارد. خرده‌فروش برای یک دوره کالاها را خریداری می‌کند و با قیمت مناسب می‌فروشد. با توجه به اینکه در این مقاله تقاضا تابعی از قیمت و تصادفی در نظر گرفته شده و در نتیجه تابع درآمد، به‌صورت احتمالی است، تخمین تابع درآمد از دغدغه‌های مسائل با تقاضای تصادفی است. در این مقاله به‌منظور تخمین تابع درآمد مورد انتظار از روش RSM استفاده شده است. همچنین در ادبیات مدیریت زنجیره تأمین مسائل انتخاب و سفارش‌دهی با عنوان مسائل انتخاب و تخصیص سفارش و مسائل قیمت‌گذاری به‌طور جداگانه بررسی شده‌اند که یکپارچه کردن این مسائل برای کاربردی‌تر شدن آنها ضروری است. این پژوهش به‌دنبال یکپارچه‌سازی مسائل انتخاب، تخصیص و قیمت‌گذاری است. در حقیقت در این پژوهش، درباره یک مدل انتخاب تأمین‌کننده، میزان سفارش و قیمت کالاها با توجه به محدودیت‌های بودجه، تأمین‌کننده و محدودیت‌های قیمت تصمیم‌گیری می‌شود. از سوی دیگر توسعه الگوریتم فراابتکاری برای مدل ضروری است که بدین منظور الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده است.

مدل‌سازی انتخاب تأمین‌کننده ، تخصیص سفارش و قیمت‌گذاری

در این بخش، برای مسئله انتخاب، قیمت‌گذاری و سفارش‌دهی چندکالایی همراه با تخفیف و عدم قطعیت تقاضا به‌صورت مدل ترکیبی عدد صحیح و غیرخطی، یک مدل روزنامه‌فروش ارائه می‌شود. در این مدل مفروضات زیر مد نظر قرار می‌گیرند.

مفروضات

۱. در این مسئله یک خرده‌فروش چند کالا را خریده و می‌فروشد.
۲. خرده‌فروش می‌تواند کالاها را از تأمین‌کنندگان مختلف خریداری کند و هر یک از تأمین‌کنندگان کالاها را با تخفیف کلی ارائه می‌کند.

1. Kellner & Utz
2. Markowitz portfolio theory

۳. تقاضای کالاها از یکدیگر مستقل هستند.

۴. تقاضای کالاها مبتنی بر قیمت و غیرقطعی جمعی است. یعنی برای کالای iام رابطه تقاضا و قیمت به‌صورت $\widetilde{D}_i(p_i, \varepsilon_i) = D_i(p_i) + \varepsilon_i$ بیان می‌شود.

۵. $D_i(p_i)$ تقاضای مورد انتظار کالای iام است که خطی در نظر گرفته می‌شود به‌عبارتی $D_i = a_i - b_i p_i \; a_i \geq 0$ و $b_i \geq 0$.

۶. ε_i متغیر تقاضای تصادفی در دامنه $[A_i, B_i]$ با میانگین μ_i و انحراف معیار σ_i است. به‌منظور غیرمنفی شدن، A_i نباید کمتر از $-a_i$ باشد. چنین پیش فرضی در بسیاری از ادبیات مدیریت درآمد به‌کار گرفته شده است (پتروزی و دادا[1]، ۱۹۹۹؛ پن، لای، لیانگ و لیونگ[2]، ۲۰۰۹ و شی و ژانگ، ۲۰۱۰).

۷. خرده‌فروش، برای کالاها محدودیت بودجه و فضا دارد.

اندیس‌ها

i: کالا

j: تأمین‌کننده

k: بخش تخفیفی

I: تعداد کالا

K_{ij}: حداکثر بخش‌های تخفیفی تأمین‌کننده jام برای کالای iام

N: تعداد تأمین‌کنندگان

نمادها

نمادهای مدل به‌صورت زیر تعریف شده‌اند.

c_{ijk}: هزینه خرید کالای iام از تأمین‌کننده jام در بخش تخفیفی kام

so_{ij}: هزینه سفارش‌دهی کالای i ام از تأمین‌کننده jام

d_{ijk}^{U}: حد بالای کالای i از تأمین‌کننده jدر بخش تخفیفی k

d_{ijk}^{L}: حد پایین کالای i از تأمین‌کننده jدر بخش تخفیفی k

BG: محدودیت بودجه در دسترس

g_i: هزینه کمبود کالای iام

s_i: هزینه نگهداری کالای jام

a_i و b_i: پارامترهای تابع تقاضای کالای iام

$D_i(p_i) = a_i - b_i p_i$: تابع تقاضای مورد انتظار برای کالای i (تقاضا تابعی از قیمت)

$\widetilde{D}_i(p_i, \varepsilon_i) = D_i(p_i) + \varepsilon_i$: تابع تقاضای تصادفی برای کالای i

1. Petruzzi & Dada
2. Pen, Lai, Liang & Leung

ε_i: متغیر تصادفی برای کالای i که در محدوده $[A_i, B_i]$ با میانگین μ_i در این مقاله $A_i = -a$ و $B_i = +\infty$ در نظر گرفته شده است.

$f_i(\varepsilon_i)$: توزیع احتمال متغیر تصادفی ε_i برای کالای i

SC_{ij}: ظرفیت تأمین‌کننده jام برای کالای iام

lq_i: حداقل موجودی در دسترس کالای iام

uq_i: حداکثر موجودی در دسترس کالای iام

lp_i: حد پایین قیمت کالای iام

up_i: حد بالای قیمت کالای iام

متغیرها

متغیرهای مدل شامل موارد زیر هستند:

dq_{ijk}: مقدار سفارش کالای i به تأمین‌کننده j در بخش تخفیفی k

sq_{ij}: مقدار سفارش کالای i به تأمین‌کننده j

q_i: مقدار سفارش کالای i

y_{ijk}: متغیر صفر و ۱. در صورتی که خرید کالای iاز تأمین‌کننده jدر بخش تخفیفی k قرار بگیرد یک و در غیر این صورت صفر

p_i: قیمت کالای iام

همچنین با در نظر گرفتن پیشنهاد پتروزی و دادا (۱۹۹۹) و شی و ژانگ (۲۰۱۰)، متغیر z_i برای هر کالا با استفاده از رابطه ۱ تعریف می‌شود.

رابطه ۱) $$z_i = q_i - D_i(p_i) = q_i - (a - bp_i)$$

متغیر z_i به‌عنوان یک تسهیل‌کننده در مدل‌سازی و تحلیل مدل به‌کار می‌رود. اگر کالای مازاد وجود داشته باشد، z_i بزرگ‌تر از ε_i و در غیر این صورت کمبود کالا وجود دارد. حد پایین z_i برابر با $-a_i$ (مقدار سفارش و قیمت برابر با صفر) است که برابر با حد پایین ε_i یعنی A_i است. حد بالای z_i نیز بی‌نهایت است. در حقیقت دامنه z_i با دامنه ε_i برابر است (پتروزی و دادا، ۱۹۹۹؛ پن و همکاران، ۲۰۰۹ و شی و ژانگ، ۲۰۱۰).

با توجه به هدف مسئله و مفروضات یادشده، مدل غیرخطی عدد صحیح طراحی شده ارائه می‌شود (روابط ۲ تا ۱۳).

رابطه ۲)
$$\max \sum_{i=1}^{I} \left\{ \int_{A_i}^{z_i} (p_i[D_i(p_i) + \varepsilon_i] - s_i[z_i - \varepsilon_i]) f_i(\varepsilon_i) d\varepsilon_i + \int_{z_i}^{B_i} (p_i[D_i(p_i) + z_i] - g_i[\varepsilon_i - z_i]) f_i(\varepsilon_i) d\varepsilon_i \right\} - \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{N} \sum_{k}^{K_{ij}} c_{ijk} - \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{N} sq_{ij} \times so_{ij}$$

$S.T.$

رابطه ۳)
$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k}^{K_{ij}} c_{ijk}\, q_{ijk} \le BG$$

رابطه ۴) $$dq_{ijk} \ge d_{ij}^{L} y_{ijk}, \quad \forall i,j,k$$

رابطه ۵) $$dq_{ijk} \le d_{ij}^{U} y_{ijk} \qquad \forall i,j,k$$

رابطه ۶) $$\sum_{k=1}^{K_{ij}} y_{ijk} = 1 \quad \forall i,j$$

رابطه ۷) $$sq_{ij} = \sum_{k=1}^{K_{ij}} dq_{ijk} \qquad \forall i,j$$

رابطه ۸) $$q_i = \sum_{j=1}^{N} sq_{ij} \quad \forall i$$

رابطه ۹) $$sq_{ij} \le SC_{ij} \quad \forall i,j$$

رابطه ۱۰) $$lq_i \le q_i \le up_i \quad \forall i$$

رابطه ۱۱) $$A_i \le z_i \le B_i \quad \forall i$$

رابطه ۱۲) $$lp_i \le p_i \le up_i$$

رابطه ۱۳) $$q_{ij} \ge 0,\ y_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

رابطه ۲ بیانگر تابع هدف و به‌منظور حداکثر کردن سود مورد انتظار خرده‌فروش است. نخستین بخش این رابطه به‌معنای درآمد مورد انتظار هنگامی است که مقدار سفارش بیشتر از تقاضای واقعی و دومین قسمت تابع هدف نشان‌دهنده درآمد مورد انتظار در زمانی است که مقدار سفارش کمتر از تقاضای واقعی باشد. سومین بخش تابع هدف نیز هزینه خرید از تأمین‌کننده با توجه به تخفیف است. شایان ذکر است، درآمد مبتنی بر میزان خرید است که با $D_i(p_i) + \varepsilon_i$ هنگام مازاد سفارش و $D_i(p_i) + z_i$ زمان کمبود سفارش برابر است. بخش چهارم تابع هدف، هزینه حمل‌ونقل است. هزینه حمل‌ونقل برای هر کالا از هر تأمین‌کننده متفاوت است. محدودیت ۳، ارائه‌دهنده محدودیت بودجه است. هزینه خرید با توجه به تخفیف ارائه‌شده توسط تأمین‌کننده باید از بودجه در دسترس کمتر باشد. محدودیت‌های ۴، ۵ و ۶ مربوط به تخفیف هستند و اطمینان می‌دهند که برای هر کالا از هر بخش تخفیفی فقط یک مقدار انتخاب می‌شود. روابط ۷ و ۸ مقدار سفارش هر کالا از هر تأمین‌کننده و مقدار سفارش هر کالا را به دست

می‌آورند. محدودیت ۹ بیانگر ظرفیت سفارش هر کالا از هر تأمین‌کننده است و محدودیت ۱۰ حدود سفارش هر کالا را نشان می‌دهد. همان‌گونه که پیش از این ذکر شد، متغیر z_i رابطه میان تقاضا و مقدار سفارش را به‌صورت $z_i = q_i - D_i(p_i)$ بیان می‌کند. رابطه ۱۱ محدوده مربوط به z_i را نشان می‌دهد. مقدار A_i برابر با $-a_i$ و مقدار B_i بی‌نهایت تعیین شده است. محدودیت ۱۲ حدود قیمتی کالاها را مشخص می‌کند. رابطه ۱۳ صفر و ۱ بودن متغیر y_{ij} را نشان می‌دهد. مدل شی و ژانگ (۲۰۱۰) که نزدیک‌ترین مورد به مدل یادشده است، فقط برای یک تأمین‌کننده و فقط با محدودیت بودجه است. پژوهشی برای توسعه مدل یادشده به‌منظور در نظر گرفتن چند تأمین‌کننده یافت نشد. همچنین در مقاله‌های مربوط به انتخاب و تخصیص سفارش همراه با تخفیف، همچون مقاله میرزایی و همکاران (۲۰۱۸)، بحث قیمت‌گذاری مبتنی بر تقاضا وجود ندارد. شی و ژانگ در مقاله خود اشاره کردند که مدل آنها از نوع مسائل سخت است. اگر برای حل یک مسئله هیچ نوع الگوریتمی با زمان محاسباتی چندجمله‌ای وجود نداشته باشد، آن مسئله، سخت نامیده می‌شود (تالبی[1]، ۲۰۰۹: ۱۴). بنابراین مدل پیشنهادی این مقاله، با توجه به اینکه توسعه‌ای بر مقاله نام‌برده بوده و همچنین مدلی غیرخطی و صفر و ۱ است و زمان محاسبات آنها چندجمله‌ای نیست، از نوع مسائل سخت است که به دست آوردن مقدار دقیق آن به‌خصوص برای مسائل بزرگ، دشوار است.

روش‌شناسی پژوهش

روش‌شناسی سطح پاسخ

به‌منظور حل مدل پیشنهادی از تکنیک‌های روش‌شناسی سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. روش‌شناسی سطح پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری و ریاضی است که برای توسعه، بهبود و فرایندهای بهینه‌سازی مفید است (میر، مونت گومری و اندرسون کوک، ۲۰۰۹: ۱). با توجه به پیچیدگی‌های بخش اول و دوم تابع هدف، یعنی بخش محاسبه درآمد مورد انتظار، این قسمت با استفاده از RSM، تخمین زده می‌شود. بدین منظور برای مقادیر سفارش و قیمت، سطح بالا و پایین در نظر گرفته می‌شوند. این سطوح با lq_i و uq_i برابر هستند. با توجه به سطوح، آزمایش‌های مناسب طراحی می‌شوند. در هر آزمایش با توجه به توزیع احتمال تقاضای تصادفی(ε_i) کالاهای مختلف، اعداد تصادفی برای تقاضای تصادفی به تعداد مشخص تولید می‌شوند. برای هر عدد تصادفی، درآمد مورد انتظار محاسبه می‌شود. برای هر آزمایش میانگین درآمد محاسبه شده و به‌عنوان خروجی هر آزمایش در نظر گرفته می‌شود. با توجه به آزمایش‌ها و خروجی‌های به‌دست‌آمده، تابع تقریبی برای درآمد مورد انتظار به دست می‌آید. برای محاسبات روش RSM از نرم‌افزار Design Expert نسخه ده، استفاده شده است.

الگوریتم ژنتیک

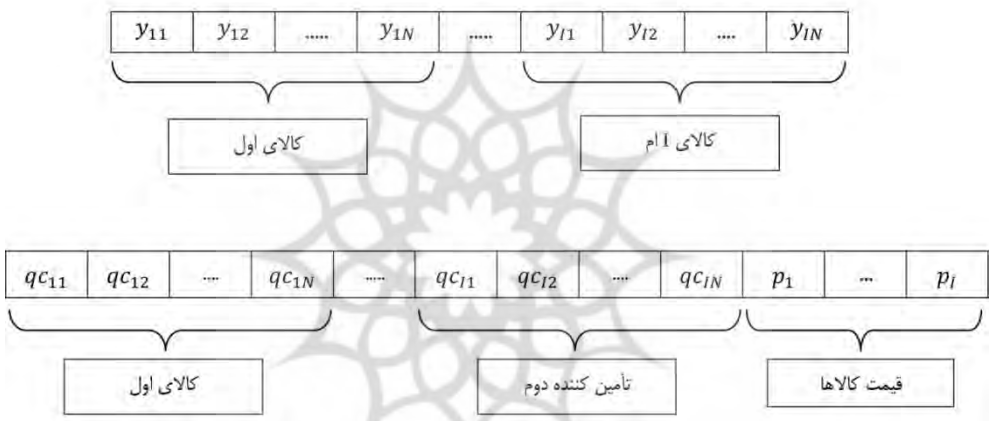
الگوریتم ژنتیک، روش بهینه‌سازی و جست‌وجوی تصادفی قدرتمندی است که امروزه به‌عنوان پرکاربردترین روش محاسبه تکاملی شناخته می‌شود (جن و چنگ[2]، ۲۰۰۰: ۱). ساختار کلی الگوریتم ژنتیک شامل ایجاد جمعیت اولیه، ارزیابی جواب‌های هر نسل، انتخاب، تقاطع، جهش و شرط توقف است.

1. Talbi
2. Gen & Cheng

پس از به دست آمدن تابع تقریبی درآمد مورد انتظار، این تابع همراه با هزینه خرید و سفارش، به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده و برای محاسبه جواب تقریبی از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود.

ساختار کروموزوم

در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، ساختار کروموزم از دو بردار تشکیل شده است. بردار صفر و ۱ برای انتخاب تأمین‌کننده که برای هر کالا از هر تأمین‌کننده یک ژن صفر و ۱ وجود دارد. بردار دوم شامل نسبتی از بودجه خرید است که صرف خرید کالای مد نظر از یک تأمین‌کننده خاص می‌شود و قیمت کالاها نیز هست. برای مثال اگر سه کالا و چهار تأمین‌کننده وجود داشته باشد، بردار صفر و ۱ شامل دوازده ژن و بردار جواب دوم حاوی پانزده ژن (دوازده مورد برای سهم بودجه خرید و سه مورد برای قیمت آنها) است. دلیل استفاده از نسبت بودجه خرید در تعریف کروموزوم این است که جواب به‌دست‌آمده، در محدودیت مربوط به بودجه صدق کند. شکل ۱ ساختار کروموزم را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نحوه نمایش جواب

جدول ۱. راهنمای نحوه نمایش جواب

متغیر	شرح
qc_{ij}	نسبتی از بودجه که صرف خرید کالای i از تأمین‌کننده j می‌شود.
y_{ij}	خریدن یا نخریدن کالای i از تأمین‌کننده j
p_i	قیمت خرید کالای i

در بردارد دوم، با جمع بستن نسبت هزینه صرف‌شده برای هر کالا از تأمین‌کنندگان مختلف، نسبت هزینه صرف‌شده برای هر کالا به دست می‌آید. در این صورت بردار جواب به شکل زیر در می‌آید.

QC_1	...	QC_I	p_1	....	p_1

شکل۲. نحوه نمایش جواب

که در نمایش بالا:

$$QC_i = \sum_{j=1}^{N} qc_{ij}$$ رابطه ۱۴)

تولید جمعیت اولیه

برای تولید بردار صفر و ۱، برای هر کالا در ابتدا تعداد تأمین‌کنندگانی که از آنها خرید انجام می‌شود و سپس بر این اساس، تأمین‌کنندگان مد نظر به‌طور تصادفی تولید می‌شوند. برای تشکیل بردار دوم، قیمت کالاها در محدوده خود به‌صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت تولید می‌شوند. سپس یک هزینه خرید تصادفی بین ۰/۶ بودجه در دسترس و حداکثر بودجه در دسترس تولید می‌شود و بر اساس بردار صفر و ۱ اولی، نسبت هزینه خرید برای هر کالا از هر تأمین‌کننده تعیین می‌شود. شایان ذکر است، در صورتی که مبتنی بر نسبت خرید هر کالا، موردی از کالاها از ظرفیت تأمین‌کننده یا ظرفیت خرده‌فروش بیشتر به دست آید، سازوکاری تهیه شده است که مقدار کالا به‌صورت تصادفی و در حدود یادشده دوباره تولید شود. با توجه به اینکه مقادیر سفارش باید صحیح باشند، نسبت بودجه به مقادیر مد نظر تبدیل شده و به طرف پایین رند می‌شود و بر این اساس هزینه خرید و نسبت خرید هر کالا دوباره محاسبه می‌شود.

تابع برازندگی

تابع برازندگی نیز سود مورد انتظار است که با در نظر گرفتن تقریب درآمد مورد انتظار به‌دست‌آمده از RSM و هزینه خرید و سفارش کالا به دست می‌آید.

سازوکار انتخاب

در الگوریتم ژنتیک، از عملگر انتخاب به‌منظور برگزیدن کروموزم‌ها برای قرارگیری در استخر زادوولد برای تولید نسل بعدی استفاده می‌شود. این عملگر با توجه به تابع برازندگی عمل می‌کند. انواع مختلفی از عملگر انتخاب وجود دارد، همانند چرخه رولت، مسابقه‌ای، رتبه‌بندی و نخبه‌گرایی. در شیوه انتخاب مسابقه‌ای k کروموزوم به‌طور تصادفی با احتمال برابر از میان جمعیت انتخاب می‌شوند و سپس از میان آنها تعدادی از اعضا که بالاترین میزان سازگاری را دارند، انتخاب شده و دیگران حذف می‌شوند. این عمل تا تکمیل جمعیت ادامه می‌یابد (البرزی، ۱۳۸۸: ۳۹). همچنین در روش نخبه‌گرایی، تعدادی از بهترین‌ها در هر نسل نگهداری می‌شوند. در این مقاله از ترکیب روش مسابقه‌ای و نخبه‌گرایی استفاده شده است. بدین صورت که درصدی از نسل بعد، بهترین‌های نسل قبل هستند و سایر اعضای نسل، توسط تقاطع کروموزم‌های انتخاب‌شده از انتخاب مسابقه‌ای هستند. در این پژوهش مجموع نرخ نخبه‌ها در هر نسل و نرخ تقاطع برابر با ۱ است.

عملگر تقاطع

عمل تقاطع (جفت‌گیری)، ژن‌های کروموزوم‌ها را با یکدیگر ترکیب می‌کند و در نهایت کروموزم‌های سازگارتری را به وجود می‌آورد. انواع مختلفی از روش‌های تقاطع همچون تقاطع تک‌نقطه‌ای، چندنقطه‌ای، میانی و خطی وجود دارد. در این مقاله از تقاطع تک‌نقطه‌ای برای بردارد صفر و ۱ و تقاطع خطی برای بردار دیگر استفاده می‌شود.

در شیوه تک‌نقطه‌ای، یک نقطه در طول بردار جواب انتخاب می‌شود و ژن‌ها از ابتدای جواب تا این نقطه از بردار اول و از این نقطه تا انتهای بردار جواب از بردار دوم انتخاب می‌شوند. در روش تقاطع خطی هر ژن کروموزم فرزند از ترکیب خطی متغیرهای متناظر دو رشته کروموزم مادر به وجود می‌آید. یعنی چنانچه دو کروموزوم والد به‌صورت $C_1 = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ و $C_2 = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ باشد، آنگاه کروموزوم فرزند به‌صورت $C = \lambda C_1 + (1 - \lambda) C_2$ خواهد بود. مقدار λ یک عدد تصادفی بین صفر و ۱ است. نحوه تقاطع بدین صورت است که به‌صورت تصادفی از استخر زادوولد دو جواب انتخاب می‌شوند. بردار صفر و ۱ آنها برای تولید دو جواب فرزند به‌صورت تک‌نقطه‌ای، جفت‌گیری می‌کنند. سپس دو بردار حاوی نسبت بودجه صرف‌شده برای هر کالای متناظر کروموزوم‌های صفر و ۱، انتخاب شده و برای آنها دو مقدار λ تولید می‌شود و بر این اساس دو فرزند تولید می‌شوند. در ادامه مبتنی بر بردارهای صفر و ۱ و بردار فرزند از جواب‌های شامل نسبت بودجه، به‌صورت تصادفی نسبت خرید هر کالا از هر تأمین‌کننده نیز تعیین می‌شود. در ادامه یک مثال برای زمانی که سه کالا و دو تأمین‌کننده وجود داشته باشد، بیان می‌شود.

$A_1 = [1,0,1,1,1,1]$

$A_2 = [0,1,1,0,0,1]$

پس از عمل تقاطع تک‌نقطه‌ای با ژن مد نظر ۳، دو جواب زیر به دست می‌آید.

$C_1 = [1,0,1,0,0,1]$

$C_2 = [0,1,1,1,1,1]$

همچنین بردارهای متناظر دوم عبارت‌اند از:

$B_1 = [0/2\ ,\ 0/3\ ,\ 0/5\ ,\ 32/5\ ,\ 53/2\ ,\ 23/1]$

$B_2 = [0/1\ ,0/6\ ,\ 0/3\ ,\ 35/1\ ,\ 51/6\ ,\ 25/5]$

در دو کروموزوم بالا، سه ژن اول سهم هزینه صرف‌شده برای خرید هر کالا و سه ژن دوم قیمت آنها است. برای مثال در صورتی که $\lambda_1 = ۰/۲$ و $\lambda_1 = ۰/۵$ باشد، آنگاه کروموزم‌های فرزند به‌صورت زیر به دست می‌آیند.

$D_1 = [0/12\ ,\ 0/54\ ,\ 0/34\ ,\ 34/58\ ,\ 51/92\ ,\ 25/02]$

$D_2 = [0/15\ ,\ 0/45\ ,\ 0/4\ ,\ 33/8\ ,\ 52/4\ ,\ 24/3]$

بر اساس C_1 و C_2 و سهم هزینه خرید هر کالا در جواب‌های D_1 و D_2 جواب‌های E_1 و E_2 ساخته می‌شوند.

$E_1 = [0/12\ ,\ 0\ ,\ 0/54\ ,\ 0\ ,\ 0\ ,\ 0/34\ ,\ 34/58\ ,\ 51/92\ ,\ 25/02]$

$E_1 = [0\ ,0/15\ ,\ 0/3\ ,\ 0/15\ ,\ 0/35\ ,\ 0/05\ ,\ 33/8\ ,\ 52/4\ ,\ 24/3]$

در دو کروموزم بالا، شش ژن اول سهم خرید هر کالا از هر تأمین‌کننده و سه ژن آخر قیمت فروش است. شایان ذکر است که نسبت هزینه خرید هر کالا به‌صورت تصادفی تعیین شده، ولی مجموع آنها با سهم خرید کالا که در بردارهای D بیان شده، برابر است.

عملگر جهش

عملگر بعدی، جهش در ژن‌ها است. در این مقاله از عملگر جهش غیریکنواخت استفاده می‌شود. بدین صورت که ابتدا بردار صفر و ۱ جواب، به احتمال ۰/۵ تغییر می‌کند. سپس کروموزم سهم خرید کالا حداکثر به‌اندازه ۰/۱ دامنه و به‌طور تصادفی تغییر می‌کند. سپس جواب مد نظر به‌صورت تصادفی، به تأمین‌کنندگانی که در بردار صفر و ۱ مشخص شده‌اند، تخصیص می‌یابد.

شرط توقف

در الگوریتم ژنتیک شرط توقف، تعداد تولید نسل‌ها است. وقتی تعداد نسل‌ها به یک مقدار مشخص برسد، الگوریتم خاتمه می‌یابد.

اعمال محدودیت‌ها

در مدل یادشده چند محدودیت وجود دارد که باید در مدل لحاظ شوند. همان‌گونه که ذکر شد، محدودیت بودجه در دسترس در نحوه نمایش جواب‌ها اعمال می‌شود. در صورتی که کروموزم تولیدشده از محدودیت تأمین‌کنندگان فراتر رود، از جمعیت حذف می‌شود. همچنین اگر کروموزم ایجادشده از ظرفیت خرده‌فروش برای کالا بیشتر شود، برای آن سازوکار و تابع اصلاحی مناسب پیش‌بینی شده است. همچنین در رابطه با محدودیت‌های مربوط به تخفیف، با تعیین ساختار کروموزوم بدین صورت که برای سفارش هر کالا از هر تأمین‌کننده یک ژن تعریف می‌شود و با توجه به دامنه آن، هزینه خرید ژن تعیین می‌شود، این محدودیت نیز اعمال می‌شود.

تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک

در الگوریتم پیشنهادی، برخی پارامترها نیاز به تنظیم شدن دارند. پارامترهای در نظر گرفته‌شده در این مقاله عبارت‌اند از: زوج جمعیت و تعداد نسل، نرخ تقاطع و نرخ جهش. زوج مقدار جمعیت و تعداد نسل‌ها به‌عنوان یک مشخص کیفی با سه سطح در طراحی آزمایش در نظر گرفته می‌شوند و بدین ترتیب تعداد جواب‌های ارزیابی‌شده طی الگوریتم ثابت می‌مانند. به‌منظور تنظیم پارامترها، از روش تاگوچی استفاده می‌شود. در این روش چندین سطح برای پارامترها انتخاب می‌شوند و سپس بر اساس روش تاگوچی آزمایش‌های متناسب با آن طراحی می‌شوند. پس از اجرای الگوریتم ژنتیک برای آنها، بهترین سطح هر یک از پارامترها به دست می‌آید.

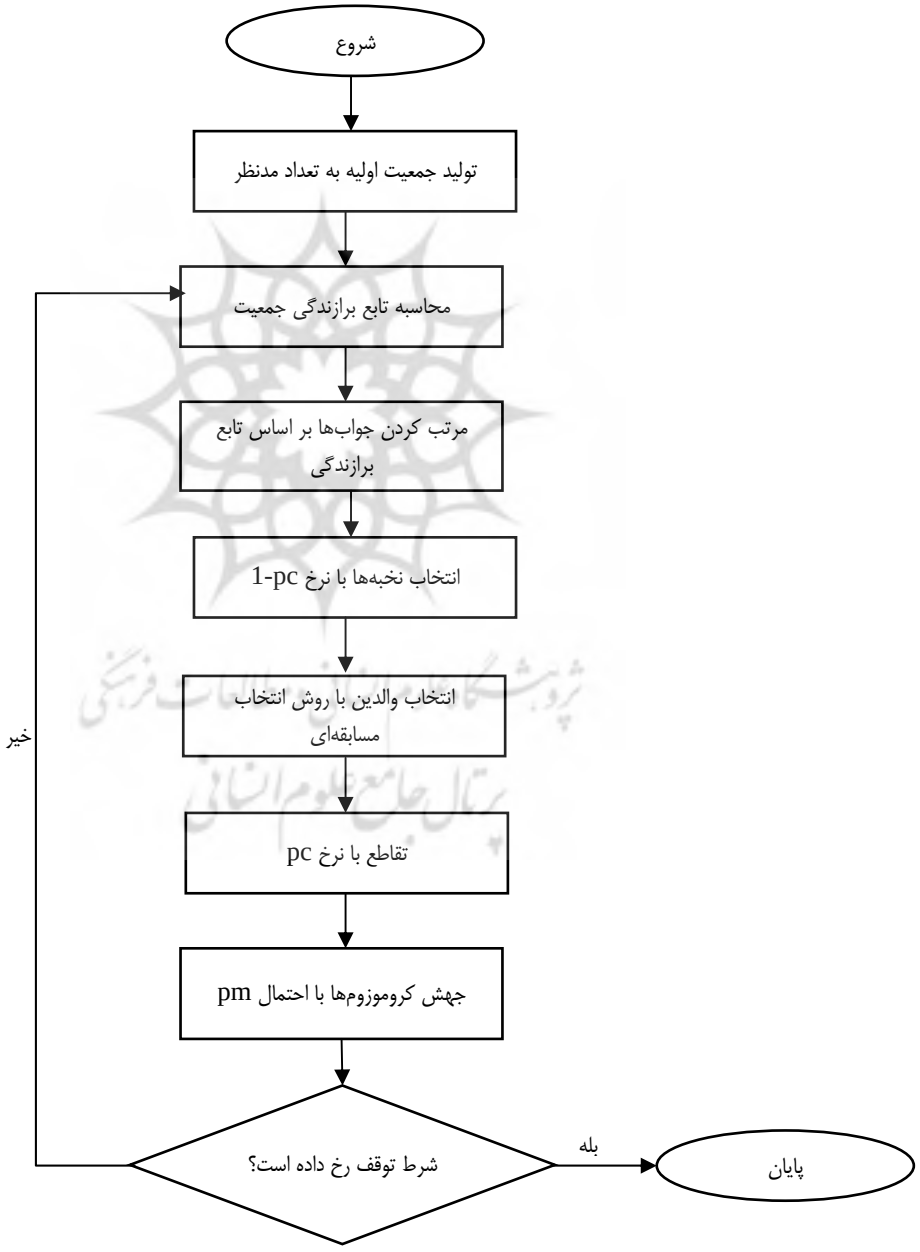
شایان ذکر است، محاسبات مربوط به الگوریتم ژنتیک با استفاده از نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۶ انجام گرفته است. همچنین سیستمی که محاسبات به‌وسیله آن انجام شده دارای مشخصاتی شامل CPU:core i۵ -۴۲۰۰، ۲/۳۰GHz و RAM: ۶ GB است.

شبه کد

شبه کد پیشنهادی برای الگوریتم ژنتیک به‌صورت زیر است.

مرحله یک: به اندازه جمعیت، جواب موجه ایجاد کنید.
مرحله دو: مقدار سود هر جواب را به‌عنوان میزان برازندگی در نظر بگیرید.
مرحله سوم: درصدی از جمعیت را به‌عنوان نخبه‌ها به نسل بعد منتقل کنید.
مرحله سه: با استفاده از انتخاب مسابقه‌ای، والدین را به‌منظور تقاطع، انتخاب کرده و در استخر جواب قرار دهید.
مرحله چهار: عمل تقاطع را انجام دهید تا جمعیت مد نظر به دست آید.
مرحله چهارم: ژن ها را به احتمال p_m جهش دهید.
مرحله پنجم: در صورت رسیدن به شرط توقف، الگوریتم را پایان دهید. در غیر این صورت به مرحله یک باز گردید.

شکل ۳ فلوچارت الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد.



شکل ۳. فلوچارت الگوریتم ژنتیک

یافته‌های پژوهش

مثال عددی

در این پژوهش از اطلاعات یک مرکز توزیع گل (برای کالاهای غیرفسادپذیر آن مرکز) استفاده شده است. داده‌های مبنا از این مرکز توزیع جمع‌آوری شده و سایر داده‌های مد نظر به‌صورت تصادفی و با نظر کارشناس مربوطه تولید شده‌اند. این توزیع‌کننده می‌تواند کالاهای خود را از چهار تأمین‌کننده خریداری کند. مسئله برای سه کالا (اندازه کوچک)، شش کالا و ده کالا در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه میزان واریانس متغیر ε هر کالا می‌تواند بر پیچیدگی مدل تأثیر گذارد، در هر تعداد کالا سه سطح کم، متوسط و زیاد برای این واریانس در نظر گرفته شده است. در سطح یک واریانس برابر با یک، در سطح دو مقداری تصادفی بین یک و یک چهارم ظرفیت آن کالا و در سطح زیاد، عددی تصادفی بین یک چهارم و سه چهارم ظرفیت کالا مقداردهی شده است. بنابراین، برای حل مدل نه مسئله وجود دارد. شایان ذکر است، در تمای کالاها، متغیر ε دارای توزیع نرمال با میانگین صفر است. داده‌های سه کالا در جدول زیر ارائه شده است.

جدول۲. داده‌های سه کالا

	a	b	s	g	سطوح ε_i	ظرفیت	حد پایین قیمت	حد بالای قیمت
کالای یک	۱۰۳/۲	۱/۱۷۲	۲/۲۶۸	۱۹	۱-۱۵-۴۴	۱۰۶	۳۵	۶۰
کالای دو	۱۶۲/۶	۱/۸۵۱	۲/۳۸۲	۱۷/۷	۱-۲۶-۷۸	۱۷۰	۳۰	۶۰
کالای سه	۳۰۰/۳	۱/۸۱۳	۵/۰۷۱	۱۵۰/۱	۱-۳۵-۱۰۸	۱۰۰	۱۰۰	۲۵۰

اطلاعات مربوط به تأمین کنندگان برای کالاها نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

جدول۳. داده‌های مربوط به تأمین‌کنندگان برای کالاها

تأمین کننده	کالای ۱				کالای ۲				کالای ۳			
	ظرفیت	هزینه حمل	سطوح تخفیف	قیمت‌های تخفیف	ظرفیت	هزینه حمل	سطوح تخفیف	قیمت‌های تخفیف	ظرفیت	هزینه حمل	سطوح تخفیف	قیمت‌های تخفیف
تأمین‌کننده ۱	۱۰۰	۳/۹۲۴	۵۰،۳۰	۳۰،۲۶ ۲۲	۱۲۰	۲۲/۶۵۲	۶۰	۲۶،۳۰	۳۱۰	۱۵/۰۹۳	۸۰،۶۱	۴۸،۵۷ ۶۵
تأمین‌کننده ۲	۱۰۰	۵/۲۰۱	۳۰	۳۰،۲۱	۱۱۰	۲۰/۶۷۵	۸۰،۴۵	۲۰،۲۵ ۲۹	۳۲۰	۱۴/۹۱۸	۶۵	۴۷،۵۸
تأمین‌کننده ۳	۱۲۰	۲/۵۶۸	۳۵	۲۹،۲۵	۹۰	۲۳/۳۵۲	۵۰	۲۳،۲۸	۳۰۰	۱۰/۷۰۷	۶۰	۴۴،۶۴
تأمین‌کننده ۴	۱۲۰	۳/۶۸۷	۵۰	۲۰،۲۸ ۳۰	۱۲۰	۱۸/۴۹۲	۵۰	۲۲،۲۹	۳۰۰	۱۳/۸۶۶	۵۵	۵۴،۶۳

اطلاعات برای ابعاد مسئله در شش‌کالایی و ده‌کالایی نزد نویسندگان مقاله محفوظ است که به‌علت کمبود فضا از آوردن آنها خودداری می‌شود. میزان بودجه در دسترس برای سه کالا، شش و ده کالا به‌ترتیب برابر با ۸۰۰۰، ۱۶۰۰۰ و ۲۶۰۰۰ واحد پولی است.

برای متغیرها (میزان سفارش کالاها و قیمت کالاها) دو سطح در نظر گرفته شده و آزمایش‌ها طراحی می‌شوند. آزمایش‌های انجام‌شده در این پژوهش از نوع مرکب مرکزی و برای سه کالایی، شش و ده کالایی به‌ترتیب برابر با ۵۱۲، ۵۴۶ و ۵۶۲ مورد هستند. در هر طرح آزمایش، آزمایش‌ها به‌تعداد ۵۰۰ مرتبه انجام می‌شوند و در هر تکرار، بر اساس توزیع بخش تصادفی تقاضای هر کالا (ε_i) یک عدد تصادفی تولید می‌شود. مقدار درآمد و میانگین درآمدها برای ۵۰۰ تکرار محاسبه شده و به‌عنوان خروجی آزمایش‌ها در نظر گرفته می‌شود. جدول ۳، مقادیر R^2 را و lack of fit را برای مجموعه داده‌های سه‌کالایی در سطح اول واریانس ε نشان می‌دهد.

جدول٤. مقادیر R^2 و lack of fit برای سطح اول واریانس ε مجموعه سه کالایی

نوع تابع	R^2	lack of fit
درجه یک	۰/۹۲	کمتر از ۰/۰۰۰۱
درجه دو	۰/۹۹	کمتر از ۰/۰۰۰۱
درجه سه	۰/۹۹	۰/۸۵۹

با توجه به جدول ۴ و معنادار نبودن مقدار p-value آزمون lack of fit برای توابع درجه یک و دو و معناداری آن برای تابع درجه سه، تابع درجه سه برازش داده می‌شود. همچنین توزیع مانده‌ها نیز برای تابع یادشده نرمال است. برای سطوح دیگر واریانس ε تابع درجه سه مناسب تشخیص داده می‌شود. همچنین برای تعداد شش و ده کالا نیز به همین ترتیب برای سطح اول واریانس ε درجه سه و برای سایر سطوح درجه دو تشخیص داده و برازش می‌شوند.

برای سه کالا و سطح اول ε، مدل برازش داده‌شده پس از خارج شدن متغیرها از حالت کدشده به‌صورت رابطه ۱۵ است.

رابطه ۱۵)
$$y = 11665/6 + 1512/409q_1 + 2378/877q_2 + 20605/2q_3 + 131/3694 * p_1 + 4425/2703p_2 + 10130/87p_3 - 205/624q_1 * p_1 - 310676q_2 * p_2 - 1457/05 * p_3 - 1636/89q_1^2 - 2578/64q_2^2 - 10317q_3^2 - 439/611p_1^2 - 972/7221p_2^2 - 209/707q_1^2 * q_2 - 59/994q_1^2 * p_1 - 242/591q_1^2 * p_2 - 90/316q_1 * q_2^2$$

مدل‌های برازش‌داده‌شده، به‌عنوان درآمد در تابع هدف قرار می‌گیرند. در ابتدا برای الگوریتم ژنتیک، با استفاده از روش تاگوچی، تنظیم پارامتر انجام می‌شود. پارامترهای در نظر گرفته‌شده برای این الگوریتم زوج تعداد جمعیت در هر نسل و تعداد نسل‌ها، نرخ تقاطع و نرخ جهش است. برای هر یک از پارامترهای یادشده، سه سطح تعیین می‌شود. جدول ۵ سطوح پارامترها را نشان می‌دهد.

جدول ۵. سطوح پارامترها

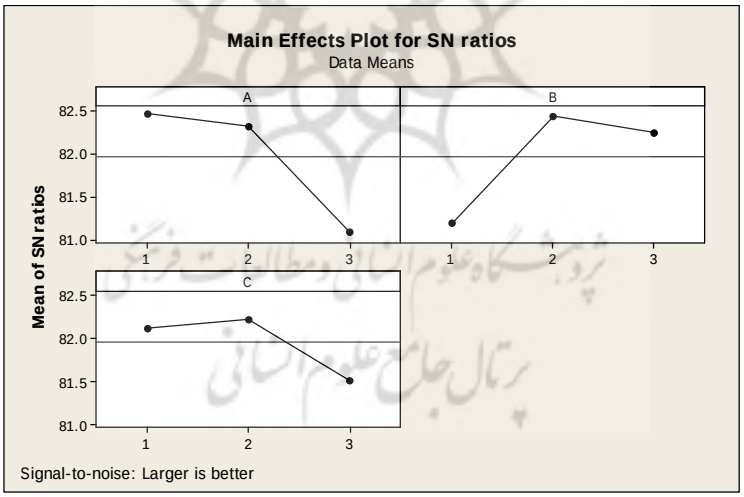
پارامترها	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
[تعداد جمعیت، تعداد نسل‌ها]	[۴۰ ،۶۰]	[۶۰ ،۴۰]	[۸۰ ،۳۰]
نرخ تقاطع (p_c)	۰/۷	۰/۸	۰/۹
نرخ جهش (p_m)	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲

با توجه به اینکه سه عامل در سه سطح وجود دارد، از طرح L۲۷ استفاده شده است.

در روش تاگوچی، برای اندازه‌گیری کیفیت مشخصه‌ها؛ از نرخ $(\frac{S}{N})$ استفاده می‌شود. $\frac{S}{N}$ بر اساس هدف مسئله، سه نوع نرخ $\frac{S}{N}$ وجود دارد که عبارت‌اند از: «هرچه کمتر بهتر»، «مقدار اسمی بهتر» و «هر چه بیشتر بهتر». در این مقاله بر اساس ماهیت مسئله از نرخ «هرچه بیشتر بهتر» استفاده می‌شود. رابطه ۱۶ بیان‌کننده شاخص $\frac{S}{N}$ است.

$$\frac{S}{N} = -10\log_{10}\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{y_i^2}\right)\right] \quad \text{رابطه ۱۶)}$$

مقدار بیشتر $\frac{S}{N}$ نشان‌دهنده شرایط بهتری برای هر سطح است. سطوحی برای الگوریتم انتخاب می‌شوند که دارای بالاترین مقدار باشند. محاسبات شیوه تاگوچی، با استفاده از نرم‌افزار مینیتب نسخه ۱۶ انجام شده است. شکل زیر، نمایانگر مقدار $\frac{S}{N}$ برای سطوح مختلف پارامترها است.



شکل٤. مقدار $\frac{S}{N}$ برای هر یک از سطوح

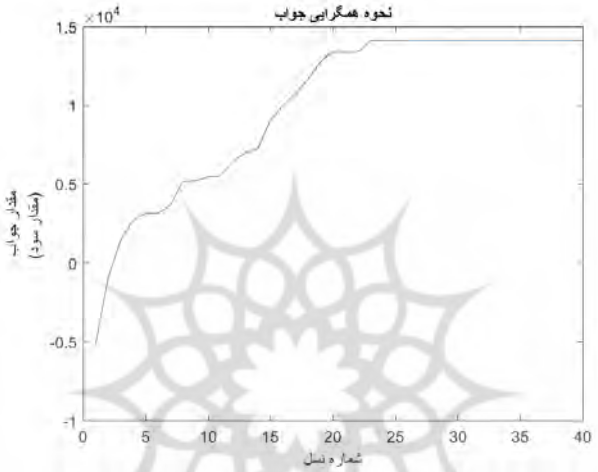
همان‌گونه که از شکل ۵ مشخص است برای پارامتر زوج تعداد جمعیت و تعداد نسل، سطح اول یعنی مقدار ۶۰ برای تعداد جمعیت و ۴۰ برای تعداد نسل‌ها، برای پارامتر نرخ تقاطع، سطح دوم یعنی ۰/۸۵ و برای پارامتر نرخ جهش، نیز سطح دوم یعنی ۰/۱۵ انتخاب می‌شود. با استفاده از مقادیر یادشده پارامترها، مدل دوباره حل می‌شود.

برای اعتبارسنجی الگوریتم ژنتیک، مدل در ابعاد سه‌کالایی در سطوح ٤ در نرم‌افزار لینگو حل می‌شود. نتایج حل مدل در لینگو و الگوریتم ژنتیک و درصد اختلاف جواب‌ها در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ٦. نتایج حل مدل در نرم‌افزار لینگو الگوریتم ژنتیک

	سطح یک ε	سطح دو ε	سطح سه ε
جواب در نرم‌افزار لینگو	۱۴۴۴۳/۷۰	۱۳۹۱۲/۱۸	۱۳۶۹۴/۷۴
جواب الگوریتم ژنتیک	۱۴۱۱۰/۸۹۵	۱۳۲۱۹/۹۰۹	۱۳۱۴۷/۱۳۸
درصد اختلاف	۲/۳۰۴	۴/۹۷۶	۳/۹۹

همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، درصد اختلاف جواب حل در مدل لینگو و الگوریتم ژنتیک کمتر از ۵ درصد است که نشان‌دهنده اختلاف ناچیز بین دو جواب و عملکرد مناسب الگوریتم ژنتیک است. شکل ۵ نحوه هم‌گرایی جواب در مدل سه‌کالایی و سطح یک ε را نشان می‌دهد.



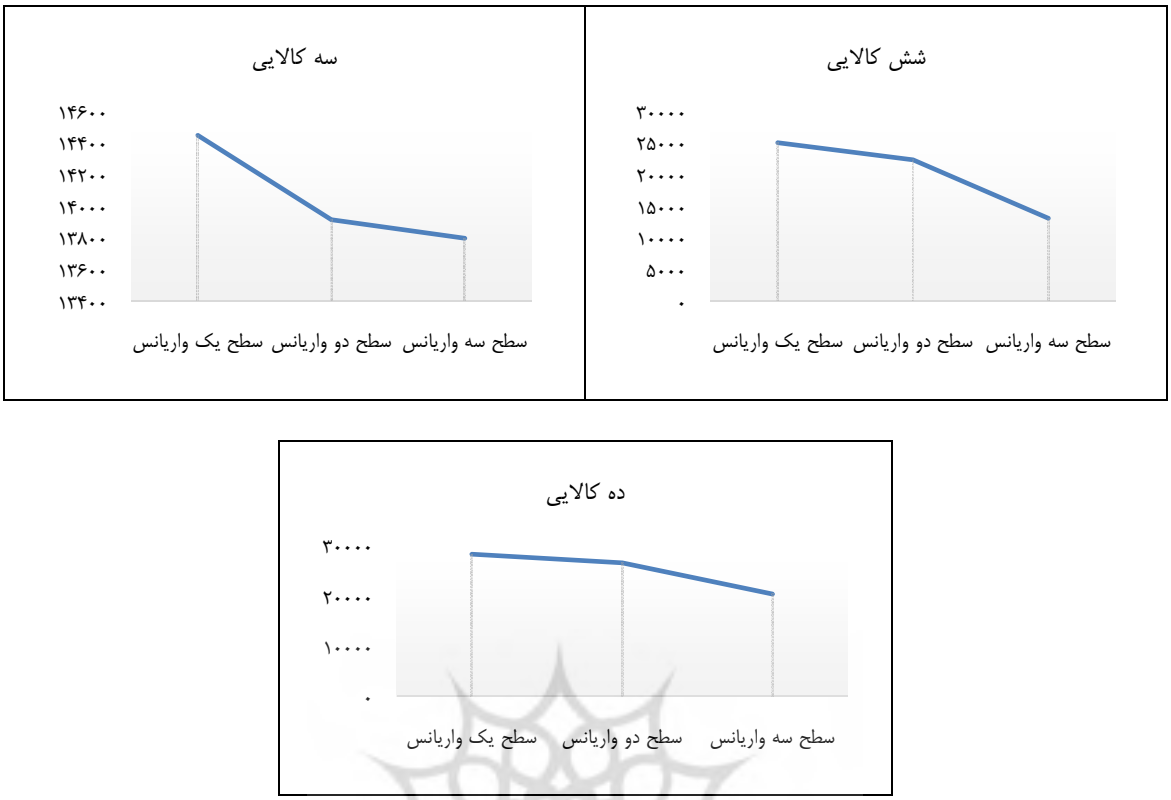
شکل ۵. نحوه هم‌گرایی جواب

برای مسائل شش‌کالایی و ده‌کالایی با توجه به افزایش ابعاد مسئله، تعداد نسل‌ها به‌ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. مقدار جواب برای ابعاد مختلف مسئله و زمان حل در جدول ۷ بیان شده است.

جدول ۷. مقدار جواب و زمان حل در ابعاد مختلف

تعداد کالا	سطح یک ε			سطح دو ε			سطح سه ε		
	جواب	هزینه خرید	زمان (ثانیه)	جواب	هزینه خرید	زمان (ثانیه)	جواب	هزینه خرید	زمان (ثانیه)
سه کالا	۱۴۱۱۰/۸۹۵	۷۹۳۹	۴/۶۵	۱۳۲۱۹/۹۰۹	۷۹۶۹	۵/۹۲۱	۱۳۷۴۷/۱۳۸	۷۹۳۷	۴/۱۸۲
شش کالا	۱۴۱۱۰/۴۳۶	۱۵۵۰۱	۵/۰۴۲	۲۲۵۴/۶۵۰	۱۵۰۰۵	۵/۲۵۴	۱۳۰۲۶/۳۸۰	۱۴۴۵	۵/۸۰۸
ده کالا	۲۸۲۲۸/۵۳۰	۱۷۹۳۸	۹/۸۹۲	۲۶۵۱۹/۷۳۹	۲۰۶۸۶	۸/۹۵۱	۲۳۲۰۴/۶۴۷	۲۰۷۱۷	۹/۹۱۵

همان‌گونه که ذکر شد، مدل یادشده برای ۹ مجموعه داده حل شد. شکل ۶ روند تغییرات سود، بر مبنای تغییرات واریانس متغیر ε را در مقادیر مختلف کالاها نشان می‌دهد.



شکل٦. تغییرات سود، بر اساس سطوح مختلف واریانس ε و تعداد کالاهای مختلف

همان‌گونه که در شکل ۶ مشخص است، زمانی که واریانس افزایش می‌یابد، به‌طور عمده روند سود کاهشی است. می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که هر چه عدم قطعیت و ابهام بیشتر باشد، سود نیز کاهش می‌یابد. بررسی سطوح مختلف واریانس بخش تصادفی تابع تقاضا در میزان سود در مقاله‌های پیشین مدل قیمت‌گذاری پسرک روزنامه‌فروش با محدودیت بودجه، همچون کارهای شی و ژانگ، (۲۰۱۰) و شی و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده نشد. استفاده از رویکرد RSM، در تخمین تابع هدف مدل قیمت‌گذاری نیز در مدل پسرک رزونامه‌فروش قیمت‌گذاری، با توجه به ماهیت تصادفی بودن تقاضا، در کارهای پیشین مشاهده نشد که در این مقاله از آن به‌نحو مناسبی استفاده شده است.

نتیجه‌گیری

قیمت‌گذاری و سفارش‌دهی کالاها، از مسائلی هستند که خرده‌فروشان برای انتخاب تأمین‌کننده به آنها توجه می‌کنند. در این مقاله، مسئله انتخاب و سفارش‌دهی با محدودیت بودجه بررسی شد. در این مسئله تأمین‌کنندگان، کالاهای خود را همراه با تخفیف ارائه می‌کردند. همچنین تقاضای کالا به‌صورت خطی وابسته به قیمت و تصادفی در نظر گرفته شده است. به‌منظور حل مسئله مد نظر یک مدل غیرخطی صفر و ۱ توسعه داده شد. مدل یادشده می‌تواند برای خرده‌فروشان فعال در صنایع مختلفی همچون گل، محصولات چوب، سنگ، پوشاک و... که می‌توانند کالاهای مختلفی را از تأمین‌کنندگان بالقوه مختلف تهیه کنند و به فروش رسانند، مفید باشد. با استفاده از مدل یادشده، تصمیم‌گیرندگان خرده‌فروش متغیرهای بیشتری را داخل مدل در نظر می‌گیرند و هم‌زمان برای یک دوره می‌توانند، در خصوص

تأمین‌کنندگان انتخاب، میزان سفارش به آنها و قیمت فروش تصمیم‌گیری کنند. با توجه به پیچیده بودن تابع درآمد، برای تخمین تابع یادشده روش RSM پیشنهاد شده است. همچنین الگوریتم ژنتیک برای حل مدل ارائه شد. به‌منظور ارتقای عملکرد الگوریتم ژنتیک، برای تنظیم پارامترها از روش تاگوچی استفاده شد. به‌منظور صحت بخشیدن به مدل و روش یادشده از داده‌های یک مرکز توزیع گل و برای کالاهای غیرفسادپذیر آن استفاده شده است. بدین منظور نه مسئله با تعداد کالاها و واریانس متفاوت برای متغیر تصادفی تابع تقاضا، طراحی شده و نتایج به دست آمدند.

پس از حل و با توجه به شکل ۶ این نتیجه به دست آمد که هر چقدر واریانس متغیر تصادفی بیشتر باشد، یعنی ابهام بیشتر باشد، سود کاهش می‌یابد. از این رو، کسب اطلاعات بیشتر می‌تواند موجب افزایش سود خرده‌فروش شود. همچنین استفاده از روش RSM زمانی که تقاضا تصادفی احتمالی با توزیع مشخص است، در تخمین تابع هدف مناسب است. الگوریتم ژنتیک نیز با توجه به جمعیت‌گرا بودن و جست‌وجوی بیشتر فضای جواب و با در نظر گرفتن اختلاف اندک الگوریتم با جواب‌های لینگو، برای حل مدل این مقاله کارایی مناسبی داشته و جواب‌های مناسبی ارائه می‌دهد.

پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده

برای پژوهش‌های آتی موارد زیر پیشنهاد می‌شوند.

- پیشنهاد می‌شود، مدل بیان‌شده برای سایر انواع تخیف‌ها مانند تخفیف نموی توسعه داده شود.
- پیشنهاد می‌شود، مدل برای چندین دوره نیز توسعه یابد.
- در مدل این مقاله تابع تقاضا خطی و عدم قطعیت نیز جمعی فرض شده است. استفاده از سایر توابع تقاضا مانند خطی ـ لگاریتمی و کشش ثابت و سایر عدم قطعیت‌ها همانند ضربی برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.
- استفاده از شبکه عصبی برای تخمین تابع درآمد و مقایسه آن با RSM و به‌کارگیری الگوریتم‌های دیگر فراابتکاری و مقایسه با الگوریتم ژنتیک نیز پیشنهاد می‌شود.

منابع

البرزی، محمود (۱۳۸۸). *الگوریتم ژنتیک*، تهران: مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.

References

Alborzi, M. (2009). *Genetic Algorithm*s. Tehran, University of Saneati Sharif press. (*in Persian*)

Alegoz, M., Yapicioglu, H. (2018). Supplier selection and order allocation decision under quantity discount and fast service option, *Sustainable Production and Consumption*, 18, 179-189.

Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management:Strartegy, Planning, and Operation*. 4thEdition. New Jersey: Pearson.

Gen, M., & Cheng, R. (2000). *Genetic algorithms and engineering optimization.* first Edition. New York: John Wiley and Sons.

Haksever, C. & Moussourakis, J. (2008). Determining order quantities in multi-product inventory systems subject to multiple constraints and incremental discounts. *European Journal of Operational Research,* 184(3), 930–945.

Hassanzadeh Amin, S., Razmi, J., & Zhang, G. (2011). Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. *Expert Systems with Applications,* 38(1), 334–342.

Kellner, F., & Utz, S. (2018). Sustainability in supplier selection and order allocation: combining integer variables with Markowitz portfolio theory. *Journal of Cleaner Production*, 214, 462-474.

Keramatpour, M., Akhavan niki, S.T. & Pasandideh, S. H. R. (2018). A bi-objective two-level newsvendor problem with discount policies and budget constraint. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 192-205.

Lee, A.H.I., Kang, H.Y., Lai, Ch.M., & Hong, W.Y. (2013). An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts. *Applied Mathematical Modelling*, 37(7), 4733–4746.

Mafakheri, F., Breton, M.B., & Ghoniem, A. (2011). Supplier selection-order allocation: A two-stage multiple criteria dynamic programming approach. *International Journal Production Economics*, *132*(1), 52–57.

Mirzaee, H., Naderi, B., Pasandideh, S.H.R. (2018). A preemptive fuzzy goal programming mode for generalized supplier selection and order allocation with incremental discount. *Computers &Industrial Engineering*. 122. 292-302

Mohammadivojdan, R. & Geunes, J. (2018). The newsvendor problem with capacitated suppliers and quantity discounts. *European Journal of Operational Research,* 271(1), 1-11.

Moheb-Alizadeh, H., Handfield, R. (2019). Sustainable Supplier Selection and Order Allocation: A Novel Multi-Objective Programming Model with a Hybrid Solution Approach, *Computers & Industrial Engineering,* 129, 192-209.

Myers, H. R., Montgomery, D., & Anderson-Cook, Ch.M. (2009). *Responce Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments.* 3th Edition, New Jersey: Wiley and Sons Inc.

Patra , K., & Shyamal Kumar, M. (2015). Multi-item Supplier Selection Model with Fuzzy Risk Analysis Studied by Possibility and Necessity Constraints. *Fuzzy Information and Engineering, 7*(4), 451-474.

Pen, K., Lai, K. K., Liang, L, & Leung, S.C.H. (2009). Two-period pricing and ordering policy for the dominant retailer in a two-echelon supply chain with demand uncertainty. *Omega,* 37(4), 919 - 929.

Petruzzi, N. C., & Dada, M. (1999). Pricing and the newsvendor problem: a review with extensions . *OperationsResearch, 47*(2), 183–194.

PrasannaVenkatesan, Sh., & Goh, M. (2016). Multi-objective supplier selection and order allocation under disruption risk. *Transportation Research Part E,* 95(1), 124–142.

Shi, J., & Zhang, G. (2010). Multi-product budget constrained acquisition and pricing with uncertain demand andsupplierquantitydiscounts. *International Journal Production Economics*, *128*(1), 322–331.

Shi, J., Zhang, G., & Sha, J. (2011). Jointly pricing and ordering for a multi-product multi-constraint newsvendor problem with supplier quantity discounts. *Applied Mathematical Modelling*, 35(6), 3001–3011.

Sodenkamp, M.A., Tavana, M., & Di Caprio, D. (2016). Modeling synergies in multi-criteria supplier selection and order allocation: An application to commodity trading. *European Journal of Operational Research*, 254(3),1–16.

Talbi, E. (2009). *Metaheuristic:from Design to Impelementation,* John Wiley and Sons.

Taleizadeh, A., Stojkovska, I., & Pentico, D. W. (2015). An economic order quantity model with partial backordering and incremental discount. *Computers & Industrial Engineering*, 82(2), 21–32.

Tamjidzad, Sh., & Mirmohammadi, S. H. (2016). Optimal (r, Q) policy in a stochastic inventory system with limited resource under incremental quantity discount. *Computers & Industrial Engineering*, 103, 59–69.

Tamjidzad, Sh., & Mirmohammadi, S. H. (2018).A two-stage heuristic approach for a multi-item inventory system with limited budgetary resource and all-units discount. *Computers & Industrial Engineering*, 124, 293–303.

Ventura, J. A., Valdebenito, V.A., & Golany, B. (2013). A dynamic inventory model with supplier selection in a serial supply chain structure. *European Journal of Operational Research*, 230(2), 258–271.

Whitin, T. M. (1955). Inventory control and price theory. *Management Science, 2*, 61–68.

Zhang, G., & Ma, L. (2009). Optimal acquisition policy with quantity discounts and uncertain demand. *International Journal of Production Research*, 47(9), 2409–2425.

Zhang, Y., & Yang, X. (2016). Online ordering policies for a two-product, multi-period stationary newsvendor problem. *Computers & Operations Research*, 47, 143–151.