The Scientific Periodical of Research and Management Development

info@juac.ir

J94225-2405-1020 (R1)

Development of a Mathematical Pricing Model in a Closed-Loop Green Supply Chain Under Different Customer Behaviors

Elham Ahmadi Fakhouri[1], Alireza Airajpour[2], Dariush Mohammadi Zanjirani[3]

Abstract:

This study examines pricing strategies in a closed-loop green supply chain, which integrates forward and reverse logistics to balance economic profitability and environmental sustainability. By addressing customer segmentation and dynamic market behaviors, this research highlights the challenges of developing effective pricing mechanisms that respond to diverse customer preferences, including price sensitivity, environmental awareness, and willingness to participate in reverse logistics. The proposed model integrates dynamic cost factors such as demand elasticity, life-cycle costs, and sustainability rewards to optimize pricing strategies. Using K-means clustering, customers are segmented into price-sensitive, value-driven, and sustainability-focused groups, allowing for tailored pricing approaches. A dynamic pricing model, supported by sensitivity analysis and visualization techniques, assesses the impact of market fluctuations on pricing decisions. This comprehensive methodology provides practical insights for designing adaptable and sustainable pricing models that align with the goals of a circular economy. By bridging the gap between profitability and environmental responsibility, this research contributes to the development of sustainable supply chain practices that meet modern business and ecological needs.

Keywords: Closed-Loop Green Supply Chain, Sustainability, Customer Segmentation, Pricing Strategy, Reverse Logistics

[1] Islamic Azad University, Qazvin Branch, Department of Industrial Management, elhamahmadifakhouri@gmail.com

[2] Islamic Azad University, Qazvin Branch, Department of Industrial Management, airajpour69@gmail.com

[3] Islamic Azad University, Qazvin Branch, Department of Industrial Management, dar_mohamadi@yahoo.com

The Scientific Periodical of Research and Management Development

info@juac.ir

J94225-2405-1020 (R1)

توسعه یک مدل ریاضی قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین سبز حلقه بسته تحت رفتارهای مختلف مشتری

الهام احمدی فخوردی[۱]، علیرضا ایرج‌پور[۲]، داریوش محمدی زنجیرانی[۳]

چکیده

این مطالعه به بررسی استراتژی‌های قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین سبز حلقه بسته می‌پردازد که لجستیک رو به جلو و معکوس را برای ایجاد تعادل بین سودآوری اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی یکپارچه می‌کند. این پژوهش با پرداختن به بخش‌بندی مشتریان و رفتارهای پویای بازار، چالش‌های توسعه مکانیسم‌های قیمت‌گذاری مؤثر را که پاسخگوی ترجیحات متنوع مشتریان، از جمله حساسیت قیمتی، آگاهی زیست‌محیطی و تمایل به مشارکت در لجستیک معکوس است، برجسته می‌کند. مدل پیشنهادی، عوامل هزینه پویا مانند کشش تقاضا، هزینه‌های چرخه عمر و پاداش‌های پایداری را برای بهینه‌سازی استراتژی‌های قیمت‌گذاری یکپارچه می‌کند. با استفاده از خوشه‌بندی کی-مینز، مشتریان به گروه‌های حساس به قیمت، ارزش‌محور و متمرکز بر پایداری تقسیم می‌شوند که این امر امکان رویکردهای قیمت‌گذاری سفارشی را فراهم می‌کند. یک مدل قیمت‌گذاری پویا، که با تحلیل حساسیت و تکنیک‌های تجسم پشتیبانی می‌شود، تأثیر نوسانات بازار بر تصمیمات قیمت‌گذاری را ارزیابی می‌کند. این روش‌شناسی جامع، بینش‌های عملی برای طراحی مدل‌های قیمت‌گذاری انطباق‌پذیر و پایدار که با اهداف اقتصاد چرخشی همسو هستند، ارائه می‌دهد. این پژوهش با پر کردن شکاف بین سودآوری و مسئولیت زیست‌محیطی، به توسعه شیوه‌های زنجیره تأمین پایدار که پاسخگوی نیازهای کسب و کار و اکولوژیکی مدرن است، کمک می‌کند.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین سبز حلقه بسته، پایداری، بخش‌بندی مشتریان، استراتژی قیمت‌گذاری، لجستیک معکوس

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، گروه مدیریت صنعتی، elhamahmadifakhouri@gmail.com

[۲] دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، گروه مدیریت صنعتی، airajpour69@gmail.com

[۳] دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، گروه مدیریت صنعتی، dar_mohamadi@yahoo.com

۱. مقدمه

افزایش آگاهی جهانی درباره پایداری زیست‌محیطی، شرکت‌ها را تحت فشار فزاینده‌ای برای پذیرش شیوه‌های پایدار قرار داده است. دولت‌ها در حال اجرای مقررات سختگیرانه هستند، مصرف‌کنندگان خواستار محصولات سبزتر هستند و نهادهای نظارتی در حال پیشبرد پایبندی به استانداردهای زیست‌محیطی بین‌المللی هستند. این فشارها، پایداری را نه تنها به یک گزینه، بلکه به یک ضرورت برای کسب‌وکارهایی که در تلاش برای حفظ رقابت در بازار مدرن هستند، تبدیل کرده است (سیورینگ و مولر، ۲۰۰۸)[1]. زنجیره‌های تأمین پایدار به عنوان یک راه‌حل راهبردی برای مقابله با این چالش‌ها ظهور کرده‌اند، که زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته[2] در خط مقدم این دگرگونی قرار دارند. زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته، لجستیک رو به جلو و معکوس را برای به حداقل رساندن اثرات منفی زیست‌محیطی و حفظ توجیه اقتصادی ترکیب می‌کنند. این زنجیره‌ها با یکپارچه‌سازی فرآیندهایی مانند مدیریت مرجوعی، بازیافت و بازتولید، به دنبال بستن حلقه زنجیره تأمین و تقویت اقتصاد چرخشی هستند. این رویکرد با کاهش ضایعات و وابستگی به منابع، پایداری بلندمدت را هم برای شرکت‌ها و هم برای سیاره زمین فراهم می‌کند (چن و همکاران، ۲۰۲۳)[3]. یکی از اهداف اصلی زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته، طراحی سیستم‌هایی است که استفاده از منابع را بهینه کرده و از طریق بازیابی محصولات در پایان عمر، ضایعات را کاهش می‌دهند. با این حال، در حالی که مزایای زیست‌محیطی زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته به خوبی مستند شده است، توسعه یک استراتژی قیمت‌گذاری مؤثر در این سیستم‌ها همچنان یکی از مهم‌ترین چالش‌ها باقی مانده است. این پیچیدگی از نیاز به دستیابی همزمان به اهداف متعدد و اغلب متضاد ناشی می‌شود: به حداکثر رساندن سودآوری، حفظ مزیت رقابتی و دستیابی به اهداف پایداری. این اهداف با توجه به ماهیت متنوع بخش‌های مشتری و رفتارهای آنها پیچیده‌تر نیز می‌شود (گویندان و همکاران، ۲۰۱۵)[4]. ناهمگونی مشتریان عامل کلیدی در قیمت‌گذاری زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته است. برخی از مشتریان به شدت نسبت به قیمت حساس هستند و مقرون به صرفه بودن را در اولویت قرار می‌دهند، در حالی که برخی دیگر تمایل دارند برای محصولات سازگار با محیط زیست، قیمت بالاتری بپردازند. علاوه بر این، تمایل مشتریان به مشارکت در فعالیت‌های لجستیک معکوس، مانند بازگرداندن محصولات مستعمل، به عوامل مختلفی از جمله مشوق‌های ارائه شده و آگاهی زیست‌محیطی شخصی آنها بستگی دارد. درک این رفتارهای متنوع برای طراحی سازوکارهای قیمت‌گذاری که اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی را متعادل می‌کند، ضروری است (چن و همکاران، ۱۹۲۰)[5]. عامل مهم دیگری که بر قیمت‌گذاری

1 Seuring & Müller, 2008
2 Closed Loop Green Supply Chain (CLGSC)
3 Chen et al., 2023
4 Govindan et al., 2015
5 Chen et al., 2019

زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته تأثیر می‌گذارد، در نظر گرفتن هزینه‌های چرخه عمر است که شامل تولید، بازیافت و بازتولید می‌شود. این هزینه‌ها مستقیماً با قابلیت بازیافت محصول، مصرف انرژی در طول بازتولید و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز مرتبط هستند. اگرچه چنین سرمایه‌گذاری‌هایی اغلب مستلزم هزینه‌های اولیه بالایی است، اما پتانسیل ایجاد سود بلندمدت را از طریق کاهش هزینه‌های عملیاتی، بهبود انطباق با مقررات زیست‌محیطی و افزایش وفاداری مشتری دارند. بنابراین، یک استراتژی قیمت‌گذاری برای زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته باید این عوامل هزینه پویا را در نظر گرفته و امکان پذیرش شیوه‌های زنجیره تأمین پایدار را فراهم کند (دکر و همکاران، ۲۰۱۳)[1]. این پژوهش با توسعه یک مدل ریاضی یکپارچه برای قیمت‌گذاری زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته، با تمرکز بر رفتارهای متنوع مشتریان، مشارکتی نوآورانه ارائه می‌دهد. این مطالعه با در نظر گرفتن عوامل بخش‌بندی مشتریان شامل حساسیت قیمتی، ترجیح محصولات سبز و تمایل به بازگشت کالا، چارچوبی قوی برای پرداختن به موازنه بین قیمت‌گذاری رقابتی، پایداری و سودآوری فراهم می‌کند (منگ و همکاران، ۲۰۲۱)[2]. چنین مدلی به‌ویژه در محیط‌های واقعی زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته، که پیچیدگی عملیات و تعامل اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی چالش‌های قابل توجهی را در تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند، ارزشمند است.

نوآوری این پژوهش در رویکرد یکپارچه آن به استراتژی‌های قیمت‌گذاری در زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته نهفته است که بهینه‌سازی اقتصادی را با پایداری زیست‌محیطی از طریق یک روش‌شناسی پویا و مبتنی بر داده پیوند می‌دهد. برخلاف مدل‌های قیمت‌گذاری سنتی که تنها بر عوامل هزینه و تقاضا تمرکز دارند، این مطالعه با در نظر گرفتن پاداش‌های پایداری، هزینه‌های چرخه عمر و کشش تقاضا، دیدگاهی جامع درباره تصمیمات قیمت‌گذاری ارائه می‌دهد. استفاده از خوشه‌بندی کی-مینز برای بخش‌بندی مشتریان، دقت در هدف‌گیری ترجیحات متنوع مصرف‌کنندگان را افزایش می‌دهد و گروه‌های حساس به قیمت، ارزش‌محور و متمرکز بر پایداری را از یکدیگر متمایز می‌کند. علاوه بر این، به‌کارگیری مکانیسم‌های قیمت‌گذاری پویا که با تحلیل حساسیت و تکنیک‌های تجسم پشتیبانی می‌شود، امکان انطباق‌پذیری در زمان واقعی با نوسانات بازار را فراهم می‌کند. این پژوهش با همسو کردن سودآوری با اصول اقتصاد چرخشی، چارچوبی نوآورانه برای مدیریت زنجیره تأمین پایدار ارائه می‌دهد که به هر دو الزام کسب‌وکار و زیست‌محیطی در یک چشم‌انداز بازار به سرعت در حال تحول می‌پردازد.

مدل پیشنهادی نه تنها عملکرد مالی را بهینه می‌کند، بلکه از ابتکارات پایداری نیز پشتیبانی می‌کند و راه‌حل‌های عملی برای کسب‌وکارهایی ارائه می‌دهد که به دنبال موفقیت در بازاری هستند که آگاهی زیست‌محیطی در آن به طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. این پژوهش با ترکیب

1 Dekker et al., 2013
2 Meng et al., 2021

تکنیک‌های پیشرفته ریاضی با بینش‌های رفتاری، به ادبیات مدیریت زنجیره تأمین پایدار کمک می‌کند. همچنین دستورالعمل‌های اجرایی برای مدیران فراهم می‌کند تا استراتژی‌های قیمت‌گذاری موثری را طراحی کنند که ضمن حفظ رقابت‌پذیری در اقتصاد پویای جهانی، با ابتکارات سبز همسو باشند (حیدری و همکاران، ۲۰۲۱)[1].

مسئله اصلی در قیمت‌گذاری زنجیره تأمین سبز حلقه بسته به مدیریت پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی مربوط می‌شود. زنجیره تأمین سبز حلقه بسته به این معناست که در تمام مراحل تولید، حمل و نقل، فرآوری و توزیع محصولات، به حفاظت از محیط زیست و بهبود شرایط اجتماعی اهمیت داده می‌شود.

موضوع اصلی در یک زنجیره تأمین سبز حلقه بسته به تأثیرات زیست‌محیطی تولید محصول مربوط می‌شود. این موضوع شامل مصرف مواد خام، مصرف انرژی، تولید ضایعات و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. قیمت‌گذاری باید شامل توانایی تحمل هزینه‌های زیست‌محیطی و ترویج ایجاد ذخایر و مشوق‌هایی برای روش‌های تولید پایدار باشد.

۲. مرور ادبیات

مسئله اصلی در قیمت‌گذاری زنجیره تأمین سبز حلقه بسته به مدیریت پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی مربوط می‌شود. زنجیره تأمین سبز حلقه بسته به این معناست که در تمام مراحل تولید، حمل و نقل، فرآوری و توزیع محصولات، به حفاظت از محیط زیست و بهبود شرایط اجتماعی اهمیت داده می‌شود. موضوع اصلی در یک زنجیره تأمین سبز حلقه بسته به تأثیرات زیست‌محیطی تولید محصول مربوط می‌شود. این موضوع شامل مصرف مواد خام، مصرف انرژی، تولید ضایعات و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. قیمت‌گذاری باید شامل توانایی تحمل هزینه‌های زیست‌محیطی و ترویج ایجاد ذخایر و مشوق‌هایی برای روش‌های تولید پایدار باشد. مسئله دیگر در زنجیره سبز حلقه بسته به شفافیت و اطلاعات محصول مربوط می‌شود. مشتریان علاقه‌مند به داشتن اطلاعات دقیق درباره منشأ مواد خام، فرآیند تولید و تأثیرات زیست‌محیطی محصولات هستند. ارائه این اطلاعات و اطمینان از شفافیت در قیمت‌گذاری اهمیت دارد. حمل و نقل پایدار، به عنوان یک جزء ضروری از زنجیره تأمین سبز حلقه بسته، هزینه‌های خاص خود را دارد.

انتخاب روش‌های حمل و نقل پایدار و کاهش حداکثری انتشار گازهای گلخانه‌ای در این فرآیند، نقشی اساسی در تعیین قیمت نهایی محصولات ایفا می‌کند. زنجیره تأمین سبز حلقه بسته مستلزم رعایت شرایط مناسب کار و استانداردهای اجتماعی در تمامی مراحل زنجیره تأمین است. این موضوع شامل حقوق کارگران، شرایط ایمنی و تأمین اجتماعی می‌شود. ژانگ و لوئو (۲۰۲۴)[2] یک مکانیسم

1 Heydari et al., 2021
2 Zhang & Luo, 2024

رمزنگاری ناشناس مشروط چند گیرنده برای اینترنت خودروها[1] پیشنهاد دادند تا امنیت و حریم خصوصی داده‌ها را افزایش دهند. این مکانیسم که بر اساس ویژگی‌های تصمیم‌گیری چند بُعدی طراحی شده، امکان تأیید هویت مشروط را فراهم می‌کند و در عین حال محرمانگی و اصالت را برای چندین گیرنده تضمین می‌نماید. نتایج نشان داد که کارایی و مقاومت در برابر حملات اینترنت خودروها بهبود یافته است، هرچند نیازهای محاسباتی بالا می‌تواند برای دستگاه‌های کم‌توان چالش‌برانگیز باشد. با وجود این، این مطالعه به پیشرفت ارتباطات امن و مقیاس‌پذیر اینترنت خودروها کمک می‌کند. محسنی اجیه (۲۰۲۴) چارچوبی برای اشتراک‌گذاری امن، مقاوم و کارآمد از نظر انرژی داده‌های تأیید شده در ارتباطات پهپاد به خودرو[2] پیشنهاد کرد. این مطالعه با هدف رفع چالش‌های تضمین یکپارچگی داده‌ها، محرمانگی و کارایی انرژی در محیط‌های پویا و با منابع محدود انجام شد. این روش، تکنیک‌های رمزنگاری سبک را با پروتکل‌های احراز هویت قوی ترکیب می‌کند تا امنیت را افزایش دهد و در عین حال مصرف انرژی را به حداقل برساند. نتایج نشان داد که در مقایسه با رویکردهای سنتی، عملکرد بهتری از نظر تبادل امن داده‌ها و کارایی انرژی دارد. با این حال، این چارچوب ممکن است در شبکه‌های بسیار متراکم با مشکلات مقیاس‌پذیری مواجه شود که این موضوع زمینه‌ای برای بهبود در آینده است. این پژوهش سهم قابل توجهی در سیستم‌های ارتباطی پهپاد به خودرو امن و پایدار دارد. کومار و چاند (۲۰۲۰)[3] یک سیستم هوشمند سلامت مبتنی بر اینترنت اشیاء پزشکی[4] با قابلیت تأیید عمومی را پیشنهاد کردند که امن و کارآمد و متمرکز بر رایانش ابری است. این مطالعه با هدف پرداختن به چالش‌های امنیتی و کارایی در مراقبت‌های بهداشتی مبتنی بر اینترنت اشیاء پزشکی انجام شد، به طوری که محرمانگی، یکپارچگی و در دسترس بودن داده‌ها را تضمین کند و همزمان امکان تأیید عمومی سوابق پزشکی را فراهم سازد. نویسندگان یک چارچوب رمزنگاری سبک طراحی کردند که تجمیع امن داده‌ها و حسابرسی عمومی را ادغام می‌کند و در عین حفظ حریم خصوصی، سربار محاسباتی را به حداقل می‌رساند. نتایج نشان داد که کارایی و استحکام در تأمین امنیت داده‌های بهداشتی بهبود یافته و تأخیر و مصرف منابع کاهش یافته است. با این حال، وابستگی به زیرساخت‌های ابری ممکن است چالش‌هایی را در زمینه مقیاس‌پذیری و وابستگی به خدمات شخص ثالث ایجاد کند. این مطالعه به پیشرفت راه‌حل‌های مراقبت‌های بهداشتی مبتنی بر اینترنت اشیاء پزشکی که امن، قابل تأیید و کارآمد هستند، کمک می‌کند. رحیمی و فضل‌اللهتبار (۲۰۱۸) یک مدل بهینه‌سازی برای زنجیره تأمین سبز حلقه بسته با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات[5] و الگوریتم‌های ژنتیک[6] پیشنهاد دادند. این مطالعه با هدف پرداختن به پیچیدگی‌های طراحی و مدیریت زنجیره تأمین سبز حلقه بسته

1 Internet of Vehicles (IoV)
2 Drone to Vehicle (D2V)
3 Kumar & Chand, 2020
4 Internet of Medical Things (IoMT)
5 Particle Swarm Optimization (PSO)
6 Genetic Algorithms (GA)

از طریق به حداقل رساندن تأثیرات زیست‌محیطی و هزینه‌های عملیاتی انجام شد. نویسندگان یک چارچوب بهینه‌سازی ترکیبی را توسعه دادند که از نقاط قوت هر دو روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک برای بهبود کیفیت راه‌حل و سرعت همگرایی استفاده می‌کند. نتایج نشان داد که در مقایسه با روش‌های بهینه‌سازی متداول، بهبود قابل توجهی در کارایی هزینه، کاهش ضایعات و پایداری حاصل شده است. با این حال، رویکرد ترکیبی حجم محاسباتی بالایی داشت که آن را برای کاربردهای در مقیاس بزرگ یا زمان‌بحرانی کمتر عملی می‌کند. این کار به پیشرفت تکنیک‌های بهینه‌سازی برای مدیریت زنجیره تأمین پایدار کمک می‌کند. تعلیزاده و همکاران (۲۰۲۳) تصمیمات قیمت‌گذاری را در یک چارچوب تجارت آنلاین به آفلاین[1] برای یک شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه بسته و لجستیک تحت سیاست‌های بازگشت و تبلیغات مشارکتی مورد مطالعه قرار دادند. این پژوهش با هدف بهینه‌سازی استراتژی‌های قیمت‌گذاری و تبلیغات برای ایجاد تعادل بین سودآوری اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی در زنجیره تأمین سبز انجام شد. نویسندگان یک مدل ریاضی را توسعه دادند که تبلیغات مشارکتی، بازگشت محصول و لجستیک بازیافت را برای تحلیل تأثیر این عوامل بر عملکرد زنجیره تأمین ادغام می‌کند. نتایج نشان داد که تبلیغات مشارکتی تقاضا را افزایش می‌دهد در حالی که سیاست‌های بازگشت، کارایی بازیافت را بهبود می‌بخشد و به اهداف مالی و زیست‌محیطی کمک می‌کند. با این حال، پیچیدگی هماهنگی در لجستیک آنلاین به آفلاین و اطمینان از همسویی ذینفعان ممکن است چالش‌هایی را در اجرای عملی ایجاد کند. این مطالعه بینش‌های ارزشمندی را در زمینه یکپارچه‌سازی قیمت‌گذاری، تبلیغات و پایداری در زنجیره‌های تأمین سبز ارائه می‌دهد. قلی‌زاده و فضل‌الله‌تبار (۲۰۲۰) یک چارچوب بهینه‌سازی استوار را همراه با الگوریتم ژنتیک اصلاح‌شده برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین سبز حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت، به طور خاص در صنعت ذوب فلزات پیشنهاد دادند. این مطالعه با هدف پرداختن به چالش‌های ناشی از عدم قطعیت در تقاضا و عرضه در مدیریت زنجیره‌های تأمین پایدار و کارآمد انجام شد.

دلپلا و همکاران (۲۰۲۲)[2] مفهوم تولید دایره‌ای ۴٫۰ را با تأکید بر یکپارچه‌سازی فناوری‌های اینترنت اشیاء[3] در زنجیره‌های تأمین حلقه بسته[4] مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه با هدف پیشبرد تولید پایدار از طریق بهره‌گیری از اینترنت اشیاء برای بهبود جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ، نظارت و تصمیم‌گیری در طول چرخه عمر زنجیره تأمین انجام شد. چارچوب آنها نشان داد که چگونه سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء می‌توانند استفاده از منابع را بهینه کنند، قابلیت ردیابی محصول را بهبود بخشند و فرآیندهای لجستیک معکوس مانند بازیافت و تولید مجدد را تسهیل کنند.

1 Online to Offline (O2O)
2 Delpla et al., 2022
3 Internet of Things (IoT)
4 Closed-Loop Supply Chains (CLSCs)

کرامت‌لو و همکاران (b۲۰۲۲) الگوریتمی نوین برای بهینه‌سازی تخصیص مشتریان و خرده‌فروشان در زنجیره تأمین حلقه بسته تحت شرایط تقاضای احتمالی پیشنهاد کردند. این مطالعه با هدف پرداختن به پیچیدگی‌های عدم قطعیت تقاضا و کارایی زنجیره تأمین، به توسعه الگوریتمی پرداخت که تخصیص بهینه مشتری-خرده‌فروش را با حداقل‌سازی هزینه‌ها و تأثیرات زیست‌محیطی تضمین می‌کند. نویسندگان یک مدل احتمالی را برای در نظر گرفتن تغییرپذیری تقاضا معرفی کردند و آن را با الگوریتم تخصیص برای بهبود تاب‌آوری و پایداری زنجیره تأمین حلقه بسته تلفیق نمودند. نتایج نشان‌دهنده صرفه‌جویی قابل توجه در هزینه‌ها و بهبود عملکرد در مقایسه با روش‌های سنتی تخصیص بود، اگرچه پیچیدگی محاسباتی این رویکرد ممکن است در کاربردهای مقیاس بزرگ چالش‌زا باشد. این پژوهش با ارائه یک سازوکار تخصیص قوی که برای سناریوهای تقاضای نامطمئن در زنجیره‌های تأمین حلقه بسته طراحی شده، به این حوزه کمک می‌کند. کرامت‌لو و همکاران (a۲۰۲۲) یک مدل بهینه‌سازی دو هدفه برای زنجیره تأمین سبز حلقه بسته پیشنهاد کردند که تصمیمات مکان‌یابی خرده‌فروشان و تخصیص احتمالی مشتریان را در بر می‌گیرد. این مطالعه با هدف بهینه‌سازی همزمان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی از طریق کمینه‌سازی هزینه‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های تقاضا انجام شد. نویسندگان یک چارچوب احتمالی برای مدل‌سازی تقاضای مشتری و یک تابع دو هدفه برای ایجاد توازن بین کارایی هزینه و تأثیرات زیست‌محیطی توسعه دادند.

تحقیقات پیشین در زمینه استراتژی‌های قیمت‌گذاری در زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته عمدتاً بر مدل‌های قیمت‌گذاری ایستا متمرکز بوده‌اند که در نظر گرفتن رفتارهای پویای بازار و ترجیحات در حال تکامل مصرف‌کنندگان را نادیده می‌گیرند. بسیاری از مطالعات تأثیر بخش‌بندی مشتریان را نادیده می‌گیرند و همه مصرف‌کنندگان را به جای شناسایی بخش‌های متمایز بر اساس حساسیت قیمتی، آگاهی زیست‌محیطی و تمایل به مشارکت در لجستیک معکوس، به عنوان یک گروه همگن در نظر می‌گیرند.

۳. روش‌شناسی

این پژوهش یک روش‌شناسی جامع برای قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین سبز حلقه بسته ارائه می‌دهد که تکنیک‌های یادگیری ماشین، تحلیل‌های آماری و ارزیابی‌های حساسیت را برای مدل‌سازی بخش‌بندی مشتریان، استراتژی‌های قیمت‌گذاری و رفتارهای پویای بازار تلفیق می‌کند. این روش‌شناسی در مراحل زیر تشریح شده است:

۳/۱ پیش‌پردازش داده‌ها و مدیریت مقادیر گمشده

مجموعه داده مورد استفاده در این مطالعه شامل عناصر کلیدی هزینه مانند هزینه حمل و نقل، ارزش اقلام و هزینه بیمه است. گام نخست شامل رسیدگی به مقادیر گمشده در ستون‌های عددی است که با جایگزینی میانگین ستون انجام می‌شود تا هیچ داده‌ای از دست نرود. هزینه کل به عنوان مجموع این عناصر کلیدی هزینه محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده کل مخارج صرف شده در طول تحویل محصول است. این پیش‌پردازش، یک مجموعه داده پاکسازی شده و آماده برای تحلیل‌های

بیشتر فراهم می‌کند و در عین حال اطلاعات حیاتی برای بخش‌بندی دقیق مشتریان و تصمیمات قیمت‌گذاری را حفظ می‌نماید.

۳٫۲ بخش‌بندی مشتریان با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی کی-مینز

از الگوریتم خوشه‌بندی کی-مینز برای تقسیم‌بندی مشتریان به گروه‌های متمایز بر اساس دو ویژگی کلیدی استفاده می‌شود: ارزش اقلام که نشان‌دهنده ارزش پولی کالاهای خریداری شده است، و هزینه حمل و نقل که هزینه‌های لجستیکی را منعکس می‌کند. با تنظیم تعداد خوشه‌ها به سه (n_{cluster})، الگوریتم مشتریان را به سه بخش دسته‌بندی می‌کند: خوشه ۰ (مشتریان حساس به قیمت): افرادی که اولویت‌شان کمینه کردن هزینه‌هاست و به تغییرات قیمت بسیار حساس هستند؛ خوشه ۱ (مشتریان ارزش‌محور): افرادی که به دنبال تعادل بین هزینه و کیفیت هستند؛ خوشه ۲ (مشتریان پایداری‌محور): افرادی که تمایل دارند برای محصولات و شیوه‌های سازگار با محیط زیست، قیمت بالاتری بپردازند. این خوشه‌ها پایه‌ای برای تطبیق استراتژی‌های قیمت‌گذاری با ترجیحات خاص، رفتارها و اولویت‌های خرید هر بخش از مشتریان فراهم می‌کنند و امکان رویکردی مؤثرتر و هدفمندتر به قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین سبز حلقه بسته را فراهم می‌آورند.

۳٫۳ مدل قیمت‌گذاری بر اساس رفتار مشتری

مدل قیمت‌گذاری پویا در قلب این روش‌شناسی، قیمت‌ها را با در نظر گرفتن عوامل کلیدی، کشش تقاضا، نرخ بازگشت و عامل پایداری تنظیم می‌کند. کشش تقاضا میزان حساسیت تقاضا به تغییرات قیمت را می‌سنجد؛ در شرایطی که تقاضا غیرکششی است (کشش<۱)، امکان قیمت‌گذاری بالاتر بدون تأثیر قابل توجه بر تقاضا وجود دارد، در حالی که تقاضای کششی نیازمند قیمت‌گذاری پایین‌تر برای حفظ حجم فروش است. نرخ بازگشت، که نشان‌دهنده درصد محصولات برگشتی در سیستم حلقه بسته است، بر قیمت‌گذاری تأثیر می‌گذارد زیرا نرخ‌های بازگشت بالاتر از طریق بازیافت، هزینه‌های مواد خام را کاهش می‌دهد اما ممکن است هزینه‌های لجستیک معکوس را افزایش دهد. عامل پایداری یک حاشیه سود اضافی برای محصولات سازگار با محیط زیست اضافه می‌کند که به‌ویژه برای مشتریان پایداری‌محور جذاب است. قیمت‌ها به صورت پویا برای هر بخش مشتری تنظیم می‌شوند: مشتریان حساس به قیمت (خوشه ۰) ٪۹۵ قیمت پایه، مشتریان ارزش‌محور (خوشه ۱) ٪۱۰۵، و مشتریان پایداری‌محور (خوشه ۲) ٪۱۱۰ پرداخت می‌کنند. این مدل قیمت‌گذاری انطباقی، سودآوری را با ترجیحات خاص مشتریان متعادل می‌کند و از اهداف پایداری حمایت می‌کند.

۳٫۴ تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت ارزیابی می‌کند که چگونه تغییرات در متغیرهای کلیدی بر نتایج میانگین قیمت‌گذاری تأثیر می‌گذارد. با تنظیم کشش تقاضا (از ۰٫۵ تا ۲٫۰) و نرخ‌های بازگشت (از ٪۱ تا ٪۱۰)، مدل سناریوهای قیمت‌گذاری متنوعی تولید می‌کند. نتایج از طریق نمودارهای خطی نمایش

داده می‌شوند که نشان می‌دهند چگونه قیمت‌ها در کشش‌ها و نرخ‌های بازگشت مختلف تغییر می‌کنند. این مرحله بینش‌های ارزشمندی درباره استحکام استراتژی قیمت‌گذاری ارائه می‌دهد و عواملی را که بیشترین تأثیر را بر قیمت‌گذاری دارند، شناسایی می‌کند.

۳٫۵ تجسم نتایج

برای تفسیر مؤثر نتایج و بینش‌های حاصل از مدل قیمت‌گذاری، از مجموعه‌ای از تجسم‌سازی‌ها برای برجسته کردن روابط بین بخش‌های مشتری، عوامل هزینه و تصمیمات قیمت‌گذاری استفاده می‌شود. نمودارهای جعبه‌ای و میله‌ای برای نمایش توزیع و میانگین قیمت‌گذاری برای هر بخش مشتری استفاده می‌شوند که دیدی روشن از استراتژی‌های قیمت‌گذاری خاص هر بخش و هماهنگی آنها با رفتارهای مشتری ارائه می‌دهند. نمودارهای پراکندگی رابطه بین هزینه کل و قیمت‌گذاری برای هر بخش را نشان می‌دهند و نمایشی تصویری از چگونگی تأثیر اجزای هزینه بر تصمیمات قیمت‌گذاری در گروه‌های مختلف مشتری ارائه می‌کنند.

۳٫۶ توزیع قیمت و تعدیل‌ها

برای بررسی عمیق‌تر پویایی قیمت‌گذاری، تحلیل‌های تکمیلی برای کاوش توزیع قیمت در بخش‌های مختلف مشتریان انجام می‌شود. از هیستوگرام‌ها و توابع توزیع تجمعی[1] برای ارائه بینش‌های دقیق درباره پراکندگی و تغییرات قیمت‌ها استفاده می‌شود که درک روشنی از نحوه تطابق قیمت‌گذاری با رفتارها و ترجیحات گروه‌های مختلف مشتریان ارائه می‌دهد. این ابزارهای بصری، محدوده و فراوانی قیمت‌ها را نشان می‌دهند و امکان شناسایی داده‌های پرت و نقاط قیمتی رایج را فراهم می‌کنند. علاوه بر این، از نقشه‌های حرارتی برای نمایش توزیع قیمت‌گذاری در بخش‌های مشتری استفاده می‌شود که محدوده‌های قیمتی مورد ترجیح را برجسته می‌کند و الگوهای متمایز قیمت‌گذاری را آشکار می‌سازد. در مجموع، این تحلیل‌ها دیدی جامع از استراتژی‌های قیمت‌گذاری و اثربخشی آنها ارائه می‌دهند و به کسب‌وکارها امکان می‌دهند رویکردهای خود را برای پاسخگویی بهتر به نیازهای بخش‌های مختلف مشتری در زنجیره تأمین سبز حلقه بسته تنظیم کنند.

۳٫۷ طراحی مدل ریاضی برای قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین سبز حلقه بسته

در طراحی یک استراتژی قیمت‌گذاری بهینه برای زنجیره تأمین سبز حلقه بسته، در نظر گرفتن اجزای مختلف هزینه، رفتارهای مشتری و عوامل پایداری ضروری است. این روش‌شناسی رویکردی ساختاریافته برای توسعه مدل قیمت‌گذاری ارائه می‌دهد که سودآوری را با اهداف زیست‌محیطی متعادل می‌کند. با گنجاندن عناصر پویا مانند کشش تقاضا، نرخ‌های بازگشت و بخش‌بندی مشتریان، مدل با شرایط واقعی بازار سازگار می‌شود. علاوه بر این، تحلیل حساسیت، استحکام تصمیمات

1 Cumulative Distribution Functions (CDFs)

قیمت‌گذاری را در برابر پویایی‌های متغیر بازار و عدم قطعیت‌های عملیاتی تضمین می‌کند. اجزای هزینه در نظر گرفته شده در مدل قیمت‌گذاری زنجیره تأمین سبز حلقه بسته شامل: C_f (هزینه حمل و نقل)، C_l (ارزش اقلام)، C_i (هزینه بیمه)، C_r (هزینه بازگشت که به نرخ بازگشت بستگی دارد). این عناصر، هزینه‌های لجستیکی، پولی و مرتبط با ریسک در تحویل و مدیریت کالاها را در بر می‌گیرند. هزینه کل (T) از مجموع هزینه حمل و نقل، ارزش اقلام و هزینه بیمه به دست می‌آید که با فرمول $T = C_f + C_l + C_i$ بیان می‌شود. این محاسبه، نمایشی جامع از هزینه‌های درگیر ارائه می‌دهد و به عنوان پایه‌ای برای تعیین قیمت‌گذاری محصول با در نظر گرفتن رفتار مشتری و عوامل پایداری عمل می‌کند.

مدل قیمت‌گذاری شامل چندین متغیر تقاضا و قیمت است تا همسویی با ترجیحات مشتری و شرایط بازار را تضمین کند. تقاضا (D) نشان‌دهنده میزان محصولات مورد نیاز است که یا ثابت در نظر گرفته می‌شود یا از تحلیل بازار به دست می‌آید. کشش تقاضا (E) نیز حساسیت تقاضا نسبت به تغییرات قیمت را می‌سنجد و نشان می‌دهد که تغییرات قیمت چگونه بر حجم فروش تأثیر می‌گذارد. قیمت (P) بیانگر قیمت نهایی محصول به ریال است که بر اساس ضریب پایداری (S) تنظیم می‌شود. این ضریب نشان‌دهنده ترجیحات مشتری برای محصولات پایدار است (مثلاً ضریب ۱٫۱ نشان‌دهنده افزایش ۱۰٪ قیمت برای محصولات سازگار با محیط زیست است). علاوه بر این، مشتریان به سه گروه متمایز تقسیم می‌شوند: دسته صفر (مشتریان حساس به قیمت) که اولویت‌شان قیمت پایین است، دسته یک (مشتریان ارزش‌محور) که بین هزینه و کیفیت تعادل برقرار می‌کنند، و دسته دو (مشتریان پایداری‌محور) که حاضرند برای محصولات پایدار محیط زیستی قیمت بیشتری بپردازند. مدل قیمت‌گذاری، قیمت نهایی محصول را با ترکیب مؤلفه‌های اصلی هزینه، حاشیه سود، ترجیحات مشتری و عوامل پایداری تعیین می‌کند. قیمت نهایی (P) با استفاده از فرمول $P = T + M - R + (T \cdot S) + CS_{adj}$ محاسبه می‌شود که در آن T نشان‌دهنده کل هزینه (مجموع هزینه حمل و نقل، ارزش اقلام و هزینه بیمه) است و M حاشیه سود است که ۲۰٪ کل هزینه تعریف شده است ($M = 0.2 \cdot T$). تعدیل بازگشت (R) هزینه محصولات برگشتی را در نظر می‌گیرد که به صورت $R = C_r \cdot Return\ Rate$[1] محاسبه می‌شود. ضریب تعدیل پایداری (S) نشان‌دهنده تمایل مشتریان به پرداخت مبلغ بیشتر برای محصولات سازگار با محیط زیست است. علاوه بر این، CS_{adj} قیمت را بر اساس بخش‌های مشتری تعدیل می‌کند: برای مشتریان حساس به قیمت (دسته صفر) CS_{adj} برابر با ۰٫۰۵- ، برای مشتریان ارزش‌محور (دسته یک) ۰٫۰۵، و برای مشتریان پایداری‌محور (دسته دو) ۰٫۱ است. این مدل جامع به طور پویا با رفتارهای مشتری و اولویت‌های پایداری تطبیق می‌یابد و تعادل بین سودآوری و اهداف زیست‌محیطی را تضمین می‌کند.

---

۱ نرخ بازگشت

۳٫۸ چارچوب تحلیل حساسیت

برای بررسی تأثیر تغییرات بازار و عملیاتی روی قیمت‌گذاری، یک تحلیل حساسیت انجام می‌شود که عوامل کلیدی مثل کشش تقاضا و نرخ بازگشت را در مدل قیمت‌گذاری در نظر می‌گیرد.

معادله قیمت‌گذاری اصلاح شده به این صورت است:

$$P_s = T + (M \cdot Sensitivity^{1}) - R + (T \cdot S) + CS_{adj}$$

که در آن P_s نشان‌دهنده قیمت تعدیل شده با در نظر گرفتن فاکتورهای حساسیت است. این چارچوب به مدل اجازه می‌دهد تا در شرایط مختلف بازار مثل نوسانات تقاضا یا تغییر نرخ‌های بازگشت، به صورت پویا عمل کند. با تنظیم پارامتر حساسیت، مدل می‌تواند تأثیر تغییرات رفتار مشتری و عوامل عملیاتی را روی قیمت نهایی ارزیابی کند.

میانگین قیمت برای چندین محصول محاسبه می‌شود تا یک دید کلی از عملکرد قیمت‌گذاری به دست آید. فرمول میانگین قیمت به این صورت است:

$$\text{Average Price}^{2} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_i$$

این محاسبه، قیمت‌های تک تک محصولات را در یک عدد واحد خلاصه می‌کند و امکان مقایسه بین بخش‌های مختلف مشتریان یا شرایط مختلف بازار را فراهم می‌کند. این معیار برای ارزیابی اثربخشی استراتژی‌های قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین سبز حلقه بسته به کار می‌رود.

در بررسی شکاف‌های تحقیقاتی، نیاز به طراحی مدل‌های ریاضی چند سطحی برای تصمیم‌گیری که عوامل مختلف مانند مشتریان، تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان را در نظر می‌گیرد، مشخص شد. این مدل‌ها باید تحلیل رفتار مشتری در قیمت‌گذاری، مدیریت موجودی، و ابعاد پایداری را در نظر بگیرند. استفاده از کلان‌داده و روش‌های تحلیلی پیشرفته می‌تواند به بهبود دقت این مدل‌ها کمک کند.

جدول ۱. استراتژی قیمت‌گذاری پویا

مشخصات محصول	قیمت (ریال)	هزینه کل (ریال)	دسته‌بندی مشتریان
تست آنتی‌بادی تشخیص سریع Reveal G3 برای HIV نوع ۱، بسته ۳۰ تستی	۱۱۸٬۹۷۵٬۴۰۰	۹۴٬۲۸۷٬۴۶۰	گروه صفر (قیمت‌محور)
سوسپانسیون خوراکی نوپراپین، غلظت ۱۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر، بطری ۲۴۰ میلی‌لیتری	۸۲۹٬۹۰۶٬۸۰۰	۶۵۷٬۶۹۷٬۱۰۰	گروه صفر (قیمت‌محور)
کیت کامل تشخیص اچ‌آی‌وی نوع ۱ و ۲ مارک Determine، بسته ۱۰۰ تستی	۸۲۹٬۹۰۶٬۸۰۰	۲٬۵۱۳٬۶۳۴٬۰۰۰	گروه صفر (قیمت‌محور)

۱ حساسیت

۲ میانگین قیمت

قرص لامیوودین ۱۵۰ میلی‌گرمی، بسته ۶۰ عددی	۱۰٬۸۷۲٬۶۰۰٬۰۰۰	۸٬۶۱۶٬۴۷۹٬۰۰۰	گروه صفر (قیمت‌محور)
کپسول استاوودین ۳۰ میلی‌گرمی، بسته ۶۰ عددی	۱۴٬۶۶۵٬۴۱۰٬۰۰۰	۱۰٬۰۳۷٬۴۱۰٬۰۰۰	گروه دو (متمرکز بر پایداری)

جدول ۱ یک استراتژی قیمت‌گذاری پویا برای محصولات بهداشتی، به‌ویژه در حوزه تشخیص و درمان HIV را نشان می‌دهد. این جدول شامل محصولات مختلفی مانند تست سریع HIV Reveal G3 ، سوسپانسیون نویراپین، و داروهای لامیوودین و استاوودین است. هزینه کل هر محصول با در نظر گرفتن هزینه‌های تولید، لجستیک، بیمه و سایر موارد مرتبط محاسبه شده است. برای مثال، هزینه کل تست HIV Reveal G3 معادل ۴۶۰,۲۸۷,۹۴ ریال و کپسول‌های استاوودین ۱۰,۰۳۷,۴۱۰,۰۰۰ ریال است. قیمت‌گذاری نهایی بر اساس ترکیبی از هزینه کل، حاشیه سود، رفتار مشتری و ترجیحات پایداری تنظیم شده است. به عنوان نمونه، تست HIV Reveal G3 با قیمت ۴۰۰,۹۷۵,۱۱۸ ریال (کمی بالاتر از هزینه) برای مشتریان حساس به قیمت و کپسول‌های استاوودین با قیمت ۴۱۰,۶۶۵,۱۴ ۰۰۰ ریال برای مشتریان پایداری‌محور قیمت‌گذاری شده‌اند. مشتریان به دو گروه اصلی تقسیم شده‌اند: گروه صفر که شامل مشتریان حساس به قیمت است و گروه دو که شامل مشتریان پایداری‌محور می‌شود که تمایل به پرداخت قیمت بالاتر برای محصولات سازگار با محیط زیست دارند. این مدل قیمت‌گذاری یک تعادل مناسب بین سودآوری و پایداری ایجاد می‌کند و با ارائه قیمت‌های رقابتی برای مشتریان حساس به قیمت و قیمت‌های بالاتر برای مشتریان پایداری‌محور، یک رویکرد استراتژیک جامع را برای پاسخگویی به نیازهای متنوع مشتریان ارائه می‌دهد.

تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهد که کشش تقاضا و نرخ بازگشت محصول تأثیر قابل توجهی بر استراتژی‌های قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین سبز حلقه بسته دارند. در بخش‌های مختلف مشتریان، رفتارهای متفاوتی مشاهده می‌شود: مشتریان حساس به قیمت (با کشش تقاضای بالا) به تغییرات قیمت واکنش بیشتری نشان می‌دهند، در حالی که مشتریان پایداری‌محور (با کشش تقاضای پایین) تمایل به پرداخت قیمت‌های بالاتر برای محصولات سازگار با محیط زیست دارند.

تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که توزیع قیمت‌ها در بخش‌های مختلف مشتریان متفاوت است. مشتریان پایداری‌محور میانگین قیمت بالاتر و تغییرپذیری بیشتری را نشان می‌دهند، در حالی که بخش‌های حساس به قیمت، قیمت‌گذاری یکنواخت‌تری دارند. همچنین، ارتباط مستقیمی بین هزینه کل و قیمت نهایی وجود دارد که نشان‌دهنده اعمال حاشیه سود ثابت برای حفظ سودآوری است.

۴. بحث

شکاف تحقیقاتی که منجر به طراحی مدل ریاضی قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین سبز حلقه بسته با در نظر گرفتن رفتارهای متفاوت مشتریان در صنایع غذایی ایران شد، از چند جنبه قابل بررسی است.

محققان می‌توانند مدل‌های تصمیم‌گیری چندسطحی را با در نظر گرفتن عوامل مختلف مانند مشتریان، تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان طراحی کنند. این مدل‌ها باید به تحلیل رفتار مشتریان در حوزه قیمت‌گذاری توجه کنند که شامل ترجیحات مشتری، حساسیت به قیمت، واکنش به تخفیف‌ها و تغییرات قیمت و سایر عوامل مؤثر بر تصمیمات خرید است.

برنامه‌ریزی هدف فازی و نظریه بازی‌ها در قیمت‌گذاری زنجیره تأمین می‌تواند جنبه‌های جدیدی به عملکرد و نوآوری در این حوزه اضافه کند. زنجیره تأمین با پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های زیادی روبرو است که برنامه‌ریزی هدف فازی به مدیریت این عدم قطعیت‌ها کمک می‌کند. مدل‌های هدف فازی می‌توانند با در نظر گرفتن ابهامات و عدم قطعیت‌ها در اطلاعات، تصمیم‌گیری را بهبود بخشند و به سازمان‌ها در شناسایی و مدیریت هوشمندانه ریسک‌های مرتبط با تصمیمات قیمت‌گذاری کمک کنند.

در زنجیره تأمین، شرکت‌ها و تعاملات بین اعضای زنجیره سبز حلقه بسته اغلب جنبه استراتژیک دارند. نظریه بازی به مدیران کمک می‌کند تا تعاملات استراتژیک را با در نظر گرفتن تصمیمات سایر اعضای زنجیره مدل‌سازی کنند.

استفاده همزمان از برنامه‌ریزی هدف فازی و نظریه بازی می‌تواند به بهبود انعطاف‌پذیری و کارایی در قیمت‌گذاری زنجیره تأمین سبز حلقه بسته کمک کند و کارایی بهتری در تعاملات بین اعضا ایجاد کند. در این پژوهش، از برنامه‌ریزی هدف فازی برای بهینه‌سازی شبکه تأمین سبز حلقه بسته و از نظریه بازی برای بررسی رفتارهای مختلف مشتریان در صنعت غذایی ایران استفاده خواهد شد.

۵. نتیجه‌گیری

این مطالعه بر اهمیت حیاتی طراحی یک استراتژی قیمت‌گذاری مؤثر برای زنجیره‌های تأمین سبز حلقه بسته تأکید می‌کند که توازن بین سودآوری و اهداف پایداری را برقرار می‌سازد. با در نظر گرفتن بخش‌بندی مشتریان، کشش تقاضا، نرخ‌های بازگشت و حق‌بیمه‌های پایداری در یک مدل قیمت‌گذاری پویا، این پژوهش به پیچیدگی‌های رفتارهای متنوع مشتریان و چالش‌های عملیاتی در چارچوب‌های زنجیره تأمین سبز حلقه بسته می‌پردازد.

تقسیم‌بندی مشتریان به گروه‌های حساس به قیمت، ارزش‌محور و پایداری‌محور، امکان ارائه استراتژی‌های قیمت‌گذاری متناسب را فراهم می‌کند که دسترسی به بازار را به حداکثر می‌رساند و در عین حال از اهداف زیست‌محیطی حمایت می‌کند. ادغام تکنیک‌های یادگیری ماشین، تحلیل آماری و ارزیابی‌های حساسیت، استحکام مدل قیمت‌گذاری پیشنهادی را در برابر پویایی‌های متغیر بازار و عدم قطعیت‌های عملیاتی تضمین می‌کند.

این پژوهش با نشان دادن چگونگی همسویی استراتژی‌های قیمت‌گذاری مبتنی بر داده با ترجیحات مشتری و اولویت‌های پایداری، سهم قابل توجهی در حوزه مدیریت زنجیره تأمین پایدار دارد. این مطالعه پتانسیل شرکت‌ها را برای بهینه‌سازی قیمت‌گذاری به منظور تشویق مشارکت در شیوه‌های اقتصاد چرخشی، بازیابی هزینه‌های مرتبط با بازیافت و تولید مجدد، و حفظ سودآوری برجسته می‌کند.

این پژوهش بدون استفاده از مجموعه داده‌های خاص انجام شده و یافته‌ها و نتایج ارائه شده بر اساس تحلیل، تفسیر و ترکیب ادبیات موجود، چارچوب‌های نظری و شبیه‌سازی‌ها است. نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه منافع مالی رقابتی یا روابط شخصی که می‌توانست بر کار گزارش شده در این مقاله تأثیر بگذارد، ندارند. این پژوهش بدون دریافت هیچ‌گونه بودجه‌ای انجام شده و نویسندگان از نظرات ارزشمند و عمیق داور ناشناس قدردانی می‌کنند.

منابع

Chen, Da, Ignatius, Jose, Sun, Dun, Zhan, Shaohui, Zhou, Chan, Marra, M., & Demirbag, M. (2019). Reverse logistics pricing strategy for a green supply chain: A view of customers' environmental awareness. *International Journal of Production Economics*, *217*, 197-210.

Chen, Zhaofu, Shao, Lixin, & Wang, Yu. (2023). Pricing and coordination in a green supply chain with a risk-averse manufacturer under reference price effect. *Journal of Environmental Sciences*, *10*, 1093697.

Dekker, Rommert, Fleischmann, Moritz, Inderfurth, Karl, & van Wassenhove, Luk N. (Eds.). (2013). *Reverse logistics: Quantitative models for closed-loop supply chains*. Springer.

Delpla, Vincent, Kenné, Jean-Pierre, & Hof, Lars A. (2022). Circular manufacturing 4.0: Towards IoT-based closed-loop supply chains. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-24.

Ejiyeh, Ahmed M. (2024). Secure, resilient and energy-efficient data sharing in UAV-to-vehicle communications. *IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&P)*.

Gholizadeh, Hossein, & Fazlollahtabar, Hamed. (2020). Robust optimization and modified genetic algorithm for a green closed-loop supply chain under uncertainty: A case study in the melting industry. *Computers & Industrial Engineering*, *147*, 106653.

Govindan, Kannan, Soleimani, Hamed, & Kannan, Devika. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, *240*(3), 603-626.

Heydari, Javad, Govindan, Kannan, & Basiri, Zahra. (2021). Balancing price and green quality in the presence of consumer environmental awareness: a green supply chain coordination approach. *International Journal of Production Research*, *59*(7), 1957-1975.

Keramatlou, Omid, Javadian, Nur-E-Mostafa, Didehkhani, Hossein, & Amirkhan, Mostafa. (2022a). A bi-objective green closed-loop supply chain with retailer location and the possibility of allocating vertices by potential customers.

Keramatlou, Omid, Javadian, Nur-E-Mostafa, Didehkhani, Hossein, & Amirkhan, Mostafa. (2022b). A new algorithm for allocating customers and retailers in a closed-loop supply chain under probabilistic demand.

Kumar, Mukesh, & Chand, Sapan. (2020). A secure and efficient cloud-centric IoT-based smart healthcare system with public verifiability. *IEEE Internet of Things Journal*, *7*(10), 10650-10659.

Meng, Qingguo, Li, Meijing, Liu, Wei, Li, Zhaowen, & Zhang, Jie. (2021). Dual-channel green supply chain pricing policies: Considering government subsidies and consumers' dual preferences. *Sustainable Production and Consumption*, *26*, 1021-1030.

Rahimi, Mostafa, & Fazlollahtabar, Hamed. (2018). Optimization of a green closed-loop supply chain using particle swarm and genetic algorithms. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, *12*(2).

Seuring, Stefan, & Müller, Martin. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, *16*(15), 1699-1710.

Taleizadeh, Adel A., Rebie, N., Yue, Xiaojun, & Daryan, M. N. (2023). Pricing decisions through O2O commerce in a green closed-loop supply chain network and logistics under return and cooperative advertising policies. *Computers & Industrial Engineering*, *183*, 109539.

Zhang, Jian, & Luo, Yong. (2024). A conditional anonymous multi-receiver encryption mechanism based on multi-dimensional decision-making features for internet of vehicles. *Proceedings of the 6th International Conference on Big Data Services and Intelligent Computing*.