



Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: <https://modelling.semnan.ac.ir/>

ISSN: 2783-2538



Type of Article (e.g. Research Article)

A game theoretic approach for pricing, recycling management and social responsibility of companies in an online to offline close loop supply chain Under Government Intervention

PAPER INFO

Paper history:

Received:

Revised:

Accepted:

Keywords:

Sustainable supply chain; Stackelberg game; Government intervention; Green activity; Game theory

ABSTRACT

Improving the environmental and socially responsible behavior of manufacturing companies plays a crucial role in mitigating harmful environmental impacts and enhancing social welfare. This study models a closed-loop supply chain of the online-to-offline type, consisting of a manufacturer and a retailer, where decisions are made within the framework of a Stackelberg game. The manufacturer is responsible for setting the level of product greenness and investing in corporate social responsibility (CSR), while the retailer handles product pricing and the collection of used products at the end of their life cycle. Market demand is considered a function of product price, greenness, and the extent of the firm's social responsibility. The model is examined across four scenarios both with and without government intervention, and under centralized and decentralized decision-making structures. The findings reveal that centralized supply chain structures lead to higher levels of environmental and CSR performance, thereby contributing more effectively to social welfare compared to decentralized systems. Moreover, government intervention through minimum thresholds for product greenness and CSR enhances environmentally conscious decision-making and plays a significant role in aligning corporate economic goals with broader social objectives. The results indicate that in the presence of effective regulatory policies, firms are more inclined to invest in sustainability and responsible practices. From a managerial perspective, companies that adopt centralized decision-making and collaborate with regulatory bodies are more likely to achieve sustainable and accountable economic performance. For policymakers, the insights from this study can inform the development of more effective regulatory and incentive-based frameworks to promote CSR and sustainability throughout the supply chain.

DOI: <https://doi.org/>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* Corresponding author.

E-mail address: eghbali@birjandut.ac.ir

How to cite this article:

نوع مقاله (به عنوان مثال مقاله پژوهشی)

یک رویکرد نظریه بازی برای قیمت گذاری، مدیریت بازیافت و مسئولیت اجتماعی شرکتها در یک زنجیره تأمین حلقه بسته آنلاین به آفلاین تحت مداخله دولت

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله:	بهبود رفتارهای زیست‌محیطی و مسئولانه شرکت‌های تولیدی نقش کلیدی در کاهش آثار مخرب
بازنگری مقاله:	زیست‌محیطی و ارتقای رفاه اجتماعی دارد. در این پژوهش، یک زنجیره تأمین حلقه بسته از نوع
پذیرش مقاله:	آنلاین به آفلاین شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش مدل‌سازی شده است که در آن
واژگان کلیدی:	تصمیم‌گیری‌ها در چارچوب بازی استکلبرگ انجام می‌پذیرد. تولیدکننده مسئول تعیین سطح
زنجیره تأمین پایدار،	سبب‌سازی محصولات و سرمایه‌گذاری در مسئولیت اجتماعی شرکت است، در حالی که خرده‌فروش
بازی استکلبرگ،	قیمت‌گذاری محصولات و جمع‌آوری آن‌ها در پایان عمر را برعهده دارد. تقاضای بازار نیز وابسته
مداخله دولت،	به قیمت، سطح سبز بودن محصول و میزان مسئولیت‌پذیری اجتماعی شرکت‌ها در نظر گرفته
فعالیت سبز،	شده است. این مدل در چهار سناریوی مختلف با و بدون مداخله دولت و در ساختارهای متمرکز
مسئولیت اجتماعی شرکت	و غیرمتمرکز بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که ساختار متمرکز زنجیره تأمین موجب
	ارتقاء سطح عملکرد زیست‌محیطی و مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها شده و رفاه اجتماعی بیشتری
	نسبت به ساختار غیرمتمرکز به همراه دارد. همچنین مداخله دولت از طریق وضع محدودیت‌های
	حداقلی برای سطح سبب‌سازی و مسئولیت اجتماعی شرکت، باعث بهبود تصمیم‌گیری‌های
	زیست‌محیطی شده و نقش مؤثری در هم‌راستاسازی منافع اقتصادی شرکت‌ها با اهداف کلان
	اجتماعی دارد. نتایج نشان داد که با وجود سیاست‌های تنظیمی مؤثر، بنگاه‌ها تمایل بیشتری به
	سرمایه‌گذاری در پایداری و مسئولیت‌پذیری نشان می‌دهند. از منظر مدیریتی، مدیران با در نظر
	گرفتن ساختار متمرکز در تصمیم‌سازی و همکاری با نهادهای دولتی، می‌توانند به عملکرد
	اقتصادی پایدارتر و مسئولانه‌تری دست یابند. همچنین سیاست‌گذاران می‌توانند با بهره‌گیری از
	نتایج این مطالعه، چارچوب‌های نظارتی و تشویقی موثرتری برای ارتقای سطح مسئولیت اجتماعی
	شرکت و پایداری در زنجیره‌های تأمین طراحی کنند.

DOI: <https://doi.org/>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

سازمان ملل، عواقب این پدیده به شدت بر محیط زیست و اقتصاد اثر می‌گذارد. علاوه بر آلودگی زیست محیطی بیش از حد، کمبود منابع طبیعی نیز شدید بوده است و مردم و

۱- مقدمه^۱

انتشار گازهای گلخانه‌ای طی دهه‌های اخیر پیشرفت بی‌سابقه‌ای داشته است [۱]. طبق گزارش سازمان هواشناسی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: eghbali@birjandut.ac.ir

۱. کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استاد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. استادیار، دانشکده مهندسی کامپیوتر و صنایع، دانشگاه صنعتی بیرجند، تلفن ۰۵۶۲۲۳۹۱۴۴۱

استاد به این مقاله: نحوه استناد فارسی در اینجا درج گردد.

سازمان‌های بین‌المللی توجه بیشتری به برنامه‌های حفاظت از محیط زیست می‌کنند [۲].

در حقیقت، با تخریب وضعیت محیط زیست، مقررات مربوط به شرکت‌ها، بازارها و صنایع به عنوان یکی از وظایف مهم سیاست‌گذاران تبدیل شده است [۳]. با تعهدات تحمیل شده توسط دولت، صنایع باید مسائل مربوط به حفاظت از محیط زیست را در فعالیت‌های خود در نظر بگیرند. استانداردهای فنی یا زیست محیطی تحمیل شده توسط دولت برای تولیدکنندگان یکی از راه‌های کاهش آلودگی هوا و استفاده از منابع غیرمستقیم است [۴].

مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها (CSR) نقش حیاتی در کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های صنعتی و تجاری ایفا می‌کند [۵،۶]. با افزایش آلودگی و تخریب منابع طبیعی، شرکت‌ها به عنوان بازیگران کلیدی در جهت تحقق توسعه پایدار باید فراتر از منافع اقتصادی، به اثرات اجتماعی و زیست‌محیطی فعالیت‌های خود توجه کنند [۷،۸]. بهبود عملکرد زیست‌محیطی از طریق به‌کارگیری استراتژی‌های مسئولیت اجتماعی، مانند کاهش انتشار گازهای آلاینده، بهینه‌سازی مصرف منابع و مدیریت بازیافت، باعث کاهش آلودگی و حفظ منابع طبیعی می‌شود که در نهایت رفاه اجتماعی را ارتقا می‌دهد [۹]. این مفهوم برای اولین بار در دهه‌ی بیست میلادی مطرح شد، ولی به دلیل رکود بزرگ و جنگ جهانی دوم، نتوانست به عنوان یک موضوع جدی تا دهه‌ی ۱۹۵۰ میان رهبران کسب و کار جایگاهی بیابد. از اوایل دهه ۱۹۹۰ دستورالعمل‌های مربوط به مسئولیت اجتماعی شرکت در سطح بین‌المللی تهیه و به تصویب رسید و در حال حاضر واحدهایی تحت عنوان مسئولیت اجتماعی شرکت در اکثر شرکت‌های بزرگ وجود دارد [۱۰]. در این زمینه، مدل‌های تصمیم‌گیری مدیریتی که مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها و فعالیت‌های سبز سازی را در زنجیره تأمین مدنظر قرار می‌دهند، به شکل مؤثری می‌توانند در کاهش آلودگی محیط زیست نقش ایفا کنند [۱۱]. به‌کارگیری رویکردهای تحلیلی همچون نظریه بازی، امکان تحلیل تعاملی بین تولیدکننده، خرده‌فروش و دولت را فراهم ساخته و ضمن تعیین سیاست‌های بهینه قیمت‌گذاری و مدیریت بازیافت، منجر به تقویت رفتار مسئولانه شرکت‌ها در برابر محیط زیست و جامعه می‌شود

[۱۲].

رویکرد نظری بازی به عنوان ابزاری قدرتمند در تصمیم‌گیری در تحقیقات گذشته و در سطحی گسترده به مسائلی از قبیل قیمت‌گذاری [۵،۱۳،۱۴]، مدیریت بازیافت و مسئولیت اجتماعی در زنجیره‌های تأمین حلقه بسته، تحت مداخله دولت شامل تعاملی استراتژیک بین ذی‌نفعان مختلف، از جمله تولیدکنندگان، خرده‌فروشان، بازیافت‌کنندگان شخص ثالث و دولت پرداخته است [۱۵،۱۶]. این رویکرد به بهینه‌سازی تصمیمات مربوط به قیمت‌گذاری، بازیافت و سرمایه‌گذاری‌های مسئولیت اجتماعی شرکتی با در نظر گرفتن سیاست‌های دولتی مانند یارانه‌ها و مکانیسم‌های پاداش-جریمه کمک می‌کند [۱۷]. ادغام این عناصر می‌تواند پایداری زیست محیطی و کارایی اقتصادی را در زنجیره تأمین افزایش دهد.

در راستای مقابله با بحران‌های زیست‌محیطی و پاسخ به الزامات ناشی از مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها، پژوهش حاضر با تمرکز بر زنجیره تأمین حلقه بسته در بستر آنلاین به آفلاین^۱، به تحلیل رفتار تصمیم‌گیران کلیدی از جمله تولیدکننده، خرده‌فروش و دولت می‌پردازد. زنجیره‌های تأمین آنلاین به آفلاین که ترکیبی از فروش آنلاین و خدمت‌رسانی آفلاین هستند، به‌ویژه در سال‌های اخیر با رشد سریع تجارت الکترونیک اهمیت فزاینده‌ای یافته‌اند و نقشی پررنگ در شکل‌گیری الگوهای مصرف، توزیع، و بازیافت کالاها دارند [۱۸،۱۹]. با توجه به ویژگی‌های خاص این نوع زنجیره‌ها، از جمله بازگشت محصول از کانال آفلاین به تولیدکننده از طریق کانال آنلاین، نیاز به تصمیم‌گیری هوشمندانه در زمینه قیمت‌گذاری، مدیریت پسماند و سرمایه‌گذاری در مسئولیت اجتماعی بیش از پیش احساس می‌شود [۲۰]. در این مطالعه، با استفاده از چارچوب نظریه بازی غیرهمکارانه، تعاملات استراتژیک میان بازیگران زنجیره مدل‌سازی شده تا چگونگی تأثیرگذاری سیاست‌های دولتی و رویکردهای CSR بر تصمیمات عملیاتی و پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی تحلیل گردد. برای دستیابی به اهداف مذکور، پژوهش حاضر دصدد به سوالات زیر پاسخ دهد:

(۱) در غیاب مداخله دولت، تصمیمات بهینه قیمت‌گذاری،

² Online to Offline

مدیران و پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در این بخش مبانی نظری و پیشینه تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این راستا تحقیق حاضر به دو جریان اصلی ادبیات شامل مدیریت زنجیره تامین سبز و مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها تحت مداخله دولت می‌پردازد.

۲-۱- مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها و سیاست‌های دولت
یانگ و همکاران [۲۱] سیاست مالیاتی دولت در یک زنجیره تامین را با استفاده از نظریه بازی چند مرحله ای مورد بررسی قرار دادند. آنها اثرات تغییرات مالیات دولتی را بر تصمیمات مطلوب شرکت‌ها بررسی کردند. حیدری و همکاران [۲۲] یک چارچوب دو طرفه معکوس و شکل گسترده آن در یک زنجیره تامین حلقه بسته با هدف افزایش تمایل مشتریان به بازگشت محصولاتی که قبلاً استفاده شده بودند، را معرفی کردند. سپس آنها با تبیین انواع مختلف مداخله دولت، از جمله معافیت مالیاتی، یارانه و نقش دولت را مورد بررسی قرار دادند. لی و همکاران [۲۳] تأثیر سیاست مصرف یارانه دولتی و سیاست یارانه جایگزین را در دو کانال با محصولات سازگار با محیط زیست مورد مطالعه قرار دادند. سپس تأثیر هر یارانه بر مشتریان مورد بررسی قرار گرفت.

ضیایی و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی زنجیره تامین حلقه بسته‌ای پرداختند که در آن کانال‌های رقابتی دوگانه در زنجیره‌های جلو و عقب وجود دارد و مکانیسم پاداش-جریمه برای بهبود پایداری و مدیریت محصولات پایان عمر در نظر گرفته شده است. آن‌ها تصمیمات مربوط به قیمت‌گذاری و نرخ جمع‌آوری تحت ساختارهای متمرکز، غیرمتمرکز را مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد ساختار هماهنگ با قرارداد دو بخشی عملکرد بهتری در جمع‌آوری و سودآوری دارد و مکانیسم پاداش-جریمه باعث افزایش نرخ جمع‌آوری و منافع اقتصادی و زیست‌محیطی می‌شود [۵].

سونگ و همکاران (۲۰۲۲) از رویکرد بازی استکلبرگ برای تجزیه و تحلیل قیمت‌گذاری، مدیریت بازیافت و مسئولیت اجتماعی شرکتی در یک زنجیره تامین حلقه بسته تحت مداخله دولت استفاده کردند. نتایج نشان داد که

سطح سبز و CSR در یک زنجیره تامین O2O با

ساختار استکلبرگ چگونه تعیین می‌شوند؟

۲) مقررات دولتی در مورد سطح سبزی و CSR چه تأثیری بر تصمیمات اعضای زنجیره و رفاه اجتماعی دارد؟

۳) عملکرد زنجیره تامین در ساختارهای متمرکز و غیرمتمرکز چه تفاوت‌هایی دارد؟ این تفاوت‌ها چگونه بر سود، پایداری و کارایی تأثیر می‌گذارند؟

چارچوب نظری ارائه شده در این مقاله، با در نظر گرفتن سیاست‌های تشویقی و تنبیهی دولت مانند یارانه‌های زیست‌محیطی، جریمه‌های مرتبط با عدم رعایت استانداردها و طرح‌های پاداش برای فعالیت‌های مسئولانه، بستری را فراهم می‌آورد تا آثار ترکیبی این سیاست‌ها بر عملکرد کل زنجیره مورد بررسی قرار گیرد. یکی از نوآوری‌های این تحقیق، درک بهتر از نحوه تعامل میان اهداف اقتصادی بنگاه‌ها و اهداف کلان اجتماعی و زیست‌محیطی در بستر یک زنجیره تامین مدرن است. همچنین، مدل پیشنهادی به بررسی سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری می‌پردازد که در آن‌ها شرکت‌ها باید بین منافع کوتاه‌مدت اقتصادی و منافع بلندمدت حاصل از پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی تعادل برقرار کنند. نتایج حاصل از این مدل می‌تواند راهنمای مؤثری برای سیاست‌گذاران در طراحی ابزارهای مداخله‌ای بهینه و نیز برای مدیران شرکت‌ها در تدوین استراتژی‌های مسئولانه و پایدار باشد. بدین ترتیب، این پژوهش به‌طور مشخص به دغدغه‌های مرتبط با آلودگی زیست‌محیطی و ایفای نقش فعال شرکت‌ها در تحقق توسعه پایدار پاسخ داده و گامی در جهت تلفیق سیاست‌گذاری عمومی و تصمیم‌سازی بنگاه‌محور در حوزه زنجیره تامین برمی‌دارد.

ساختار این مقاله به‌صورت زیر تنظیم شده است. در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه تحقیق ارائه می‌شود. در بخش سوم، مسئله تحقیق تعریف شده و مفروضات، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری مدل تشریح می‌گردد. در بخش چهارم، مدل‌سازی ریاضی برای سناریوهای مختلف شامل ساختار متمرکز و غیرمتمرکز، با و بدون مداخله دولت انجام می‌گیرد. برای صحت‌سنجی و اعتبار مدل از یک مثال عددی در بخش پنجم استفاده شده است. در نهایت، بخش ششم به جمع‌بندی یافته‌ها و ارائه پیشنهادهایی برای

چن و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از نظریه بازی، اثر مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها و ترجیحات سبز مصرف‌کنندگان را در عملکرد زنجیره تأمین دوکاناله سبز بررسی کردند. نتایج نشان داد توجه به مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها و ترجیحات سبز مصرف‌کنندگان موجب بهبود سطح سبز محصول و رفاه اجتماعی می‌شود. همچنین، قراردادهای همکاری می‌توانند سودآوری و هماهنگی زنجیره تأمین را تضمین کنند [۲۹]. هوانگ و همکاران (۲۰۲۲) با مدل‌سازی سه حالت بازیافت (آنلاین، آفلاین و ترکیبی) در زنجیره تأمین حلقه بسته، تأثیر یارانه‌های دولتی را بر تصمیم‌گیری قیمتی و انتخاب روش بازیافت بررسی کردند. نتایج نشان داد، تولیدکننده با تعیین قیمت مناسب، کانال‌ها را هماهنگ می‌کند و سود خود را به حداکثر می‌رساند. همچنین ترجیحات مصرف‌کننده و یارانه دولت نقش مهمی در انتخاب و موفقیت کانال بازیافت دارند [۳۰]. سانگ و همکاران (۲۰۲۰) با بکارگیری مدل بازی استکلبرگ و با تمرکز بر زنجیره تأمین بسته و نقش مسئولیت اجتماعی شرکت، سه مدل مختلف سرمایه‌گذاری CSR شامل مدل متمرکز، مدل تولیدکننده‌محور و مدل خرده‌فروش‌محور را بررسی کردند. نتایج نشان داد یارانه دولتی می‌تواند تقاضا، نرخ بازیافت و سطح CSR را افزایش دهد و یک قرارداد اشتراک هزینه برای هماهنگی کانال پیشنهاد می‌شود [۳۱].

تولیدکنندگان در هنگام مسئولیت بازیافت، بالاترین سود و سطح سرمایه‌گذاری CSR را به دست می‌آورند، در حالی که سیاست‌های دولت، به ویژه طرح‌های پاداش و جریمه، به طور موثر شرکت‌ها را برای به حداکثر رساندن نرخ بازیافت و افزایش مزایای اقتصادی هدایت می‌کند [۱۶]. سونگ و همکاران (۲۰۲۰) از مدل بازی استکلبرگ برای بررسی قیمت‌گذاری، مدیریت بازیافت و مسئولیت اجتماعی شرکت در یک زنجیره تأمین حلقه بسته تک چرخه تحت مداخله دولت استفاده کردند. آن‌ها سه مدل سرمایه‌گذاری CSR را تدوین و نشان دادند که یارانه‌های دولتی تقاضای بازار و نرخ بازیافت زباله را افزایش و در عین حال سطح سرمایه‌گذاری CSR را بهبود می‌بخشد [۲۴]. رویمین و لیفی (۲۰۲۳) از یک رویکرد بازی تکاملی برای تجزیه و تحلیل پویایی زنجیره تأمین حلقه بسته تجارت الکترونیکی کم کربن با استفاده از تولیدکنندگان مجدد، سیستم عامل‌ها و دولت استفاده کردند. نتایج نشان داد که مداخله موثر دولت برای ارتقای مدیریت بازیافت و ارتقای مسئولیت اجتماعی در زنجیره تأمین بسیار مهم است [۲۵]. لی و همکاران (۲۰۲۰) با تلفیق دیدگاه‌های ابزاری و سیاسی درباره مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها، به بررسی رابطه بین CSR و عملکرد مالی شرکت‌ها در بستر نهادی خاص چین پرداختند. نتایج نشان داد CSR تأثیر مثبتی بر عملکرد مالی دارد، مالکیت دولتی این رابطه را تضعیف می‌کند، و رقابت صنعتی آن را تقویت می‌نماید. همچنین، انگیزه‌های اقتصادی و رقابت بازار موجب استفاده راهبردی‌تر از CSR می‌شود [۲۶]. بالکیا و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی انگیزه‌های شرکت‌ها برای انجام مسئولیت اجتماعی، نقش دولت، و تأثیر ادراک مشتریان از اصالت CSR و تصویر برند بر رفاه جامعه و رفتار شهروندی مشتریان در اندونزی پرداختند. نتایج نشان داد که اصالت CSR و تصویر برند تأثیر مثبتی دارند، اما مداخله دولت نقش تعدیل‌کننده معناداری ندارد [۲۷]. ویربا (۲۰۲۴) نقش دولت در ترویج مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد، کشورهای توسعه‌یافته در تقویت CSR پیشرو بوده‌اند، در حالی که کشورهای در حال توسعه با ضعف حکمرانی و فساد روبرو هستند. وی بر لزوم بومی‌سازی سیاست‌های CSR، شفاف‌سازی، و نهادسازی برای توسعه پایدار و عادلانه در این کشورها تأکید کرد [۲۸].

۲-۲- مدیریت زنجیره تامین سبز

مدیریت زنجیره تامین سبز^۳ به مجموعه‌ای از سیاست‌ها و اقدامات اشاره دارد که در راستای کاهش اثرات زیست‌محیطی زنجیره تامین و افزایش بهره‌وری منابع طراحی می‌شوند [۳۲]. این رویکرد با تلفیق ملاحظات زیست‌محیطی در مراحل مختلف زنجیره تامین از جمله طراحی محصول، تامین مواد اولیه، تولید، توزیع و بازیافت، به دنبال دستیابی به توسعه پایدار است [۳۳]. مدیریت زنجیره تامین سبز با استفاده از ابزارهایی چون طراحی برای محیط زیست، ارزیابی چرخه عمر و سیستم‌های لجستیک معکوس، موجب کاهش ضایعات، بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقاء تصویر برند شرکت می‌شود [۳۴]. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که پیاده‌سازی موفق مدیریت زنجیره تامین سبز نه تنها منجر به کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌شود بلکه می‌تواند مزایای اقتصادی نظیر کاهش هزینه‌ها و افزایش رقابت‌پذیری را نیز برای سازمان‌ها به همراه داشته باشد [۳۵]. ژو و همکاران (۲۰۱۶) فرآیند بهینه‌سازی یک زنجیره تامین کم کربن از طریق طراحی قرارداد را بررسی کردند. آنها نشان دادند که نگرانی‌های عدالت یک عضو پایین‌دست، بر تصمیمات مطلوب و هماهنگی شرکت تاثیر می‌گذارد [۳۶]. یانگ و وانگ (۲۰۱۷) یک زنجیره تامین دو کاناله سبز را بررسی کردند که مشتریان دارای ترجیحات کم کربن هستند و مقررات کلاه و تجارت وجود دارد. آنها مدل را با استفاده از استراتژی‌های مختلف کاهش انتشار کربن حل و اثر اولویت کم کربن مشتریان تحت استراتژی‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند [۳۷]. زو و وانگ [۳۸] یک زنجیره تامین سبز را با توجه به تولید پایدار مورد بررسی قرار دادند. محصول توسط تولید کننده در دو دوره، عرضه و توسط خرده فروش بازسازی انجام می‌شود و محصولات جدید و بازسازی شده را به مشتریان می‌فروشد. چوانگ و همکاران [۳۹] یک CLSC برای محصولات با تکنولوژی بالا طراحی کردند. همچنین ساختار کانال معکوس برای جمع‌آوری محصولات در پایان عمر مفیدشان را مورد مطالعه قرار دادند. کنگ و همکاران [۴۰] یک زنجیره تامین حلقه بسته O2O که در آن تولید کننده نیز مسئول بازسازی بود و خرده فروش مسئول جمع‌آوری محصولات بود را مورد بررسی قرار دادند. همبستگی بین تصمیمات بهینه مورد بررسی

قرار گرفت و هماهنگی زنجیره تامین حلقه بسته O2O از طریق قرارداد اشتراک درآمد دو طرفه به دست آوردند. وو و ژائو (۲۰۲۴) با استفاده از مدل بازی، تأثیر مسئولیت اجتماعی شرکت‌های لجستیکی بر توسعه بسته‌بندی سبز را بررسی کردند. آنها با تحلیل تصمیم‌گیری‌های مرتبط میان تولیدکنندگان و شرکت‌های لجستیکی، نشان دادند که ایفای مسئولیت اجتماعی، انگیزه تولید بسته‌بندی دوستدار محیط زیست را افزایش می‌دهد، مصرف‌کننده را منتفع می‌سازد و اعمال جریمه‌های داخلی از رفتار فرصت‌طلبانه جلوگیری می‌کند [۹]. موندال و گیری (۲۰۲۱) مسئله قیمت‌گذاری، کیفیت محصول، سرمایه‌گذاری در مسئولیت اجتماعی شرکتی و استراتژی جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده در زنجیره تامین بسته را بررسی کردند. آنها چهار مدل مختلف شامل یک مدل متمرکز و سه مدل غیرمتمرکز توسعه و مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مدل غیرمتمرکز بهترین عملکرد را دارد و قرارداد پیشنهادی اشتراک درآمد و هزینه می‌تواند زنجیره را هماهنگ کرده و سود بیشتری برای تولیدکننده و خرده‌فروش ایجاد کند [۴۱].

لی (۲۰۲۰) با استفاده از مدل بازی دیفرانسیلی، تأثیر حمایت اعتباری، یارانه دولتی و یارانه داخلی هزینه‌ها را بر رفتار مسئولیت اجتماعی اعضای زنجیره تامین شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش بررسی کرد. نتایج نشان داد که حمایت اعتباری تنها انگیزه تولیدکننده را افزایش می‌دهد، اما یارانه دولتی هر دو طرف را تشویق می‌کند. همچنین یارانه داخلی هزینه‌ها می‌تواند سود طرفین را در شرایط خاص افزایش دهد [۴۲].

اصغری و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی یک زنجیره تامین سبز حلقه‌بسته تک مرحله‌ای پرداختند که در آن تولیدکننده سبز، خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده تلاش می‌کنند اثرات زیست-محیطی عملیات، محصولات و خدمات خود را در طول زنجیره ارزش بر اساس مسئولیت‌های زیست‌محیطی خود اصلاح کنند. آنها مدل غیرمتمرکز و تمامی اشکال ائتلاف احتمالی را بررسی و سپس از نظریه بازی‌های مشارکتی استفاده کردند. نتایج نشان داد تشکیل ائتلاف کلی نسبت به قراردادهای، نتایج بهتری در دستیابی به اهداف زیست‌محیطی و سود کل دارد [۴۳].

³ Green Supply Chain Management – GSCM

گذاری برای دستیابی به نوآوری سبز و نیز سرمایه‌گذاری جهت دستیابی به CSR مطلوب تعیین شده از جانب دولت و در عین حال در فرآیند بازیافت مشغول به کار است. خرده فروش مسئول جمع آوری محصولات استفاده شده در پایان دوره حیاتشان از کانال های آنلاین و آفلاین است. فرض بر این است که عدم تقارن اطلاعات میان اعضای کانال وجود ندارد. دولت با هدف به حداکثر رساندن رفاه اجتماعی در بازار دخالت می کند. علاوه بر این، ما معتقدیم که اعضا موظف به رعایت مقررات دولتی هستند تا فعالیت هایشان قانونی باشند. این امر ممکن است منجر به تغییراتی در فعالیت اعضا و تصمیمات آنها شود.

مفهوم رفاه اجتماعی به عنوان تابع هدف سیاست‌گذار عمومی (دولت) مطرح است که هدف آن ایجاد توازن میان منافع اقتصادی بازیگران زنجیره تأمین و پیامدهای اجتماعی و زیست‌محیطی فعالیت‌ها است [۴۵]. رفاه اجتماعی در این چارچوب، نشان‌دهنده سطح کلی رضایت اجتماعی حاصل از عملکرد زنجیره تأمین است و از سه مؤلفه اصلی تشکیل می‌شود: سودآوری اقتصادی تولیدکننده و خرده‌فروش، کاهش پیامدهای زیان‌بار زیست‌محیطی از طریق ارتقاء سطح فعالیت‌های سبزی، و ایفای مسئولیت اجتماعی توسط شرکت‌ها به منظور پاسخ‌گویی به انتظارات جامعه [۴۶]. مداخله دولت از طریق تعیین آستانه‌های الزام‌آور برای سطح حداقلی سبزی‌سازی محصول و سرمایه‌گذاری در مسئولیت اجتماعی، به دنبال ارتقاء این شاخص ترکیبی است [۴۷]. اگرچه این سیاست‌ها ممکن است موجب افزایش هزینه‌های عملیاتی برای تولیدکننده شود، اما از منظر کلان، منجر به ارتقاء پایداری، مسئولیت‌پذیری سازمانی و رفاه بلندمدت مصرف‌کنندگان و جامعه خواهد شد [۴۸].

پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری در جدول زیر ارائه شده است، بطوریکه $i = r, d$ به ترتیب نشان‌دهنده کانال خرده‌فروشی و کانال مستقیم و C, D به ترتیب نشان‌دهنده زیرساختار متمرکز و غیر متمرکز است. ساختار بازی مساله مدنظر در شکل 1 نمایش داده شده است.

عموزاد و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل تک‌دوره‌ای برای تحلیل هماهنگی در زنجیره تأمین میان یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش تحت عدم قطعیت تقاضا (با توزیع نرمال استاندارد) توسعه دادند. آن‌ها در این مدل، دو متغیر تصمیم‌گیری مقدار سفارش و سرمایه‌گذاری در مسئولیت اجتماعی شرکت در نظر گرفتند و تأثیر سه نوع قرارداد شامل بازخرید، انعطاف‌پذیری در مقدار سفارش، و تخفیف پیش خرید را بررسی کردند. نتایج عددی نشان داد که قرارداد تخفیف بیشترین سود کلی و فردی را فراهم می‌کند و اثربخشی آن را در تقویت همکاری در شرایط تصادفی تأیید می‌کند [۴۴].

۲-۳- شکاف‌های تحقیقاتی

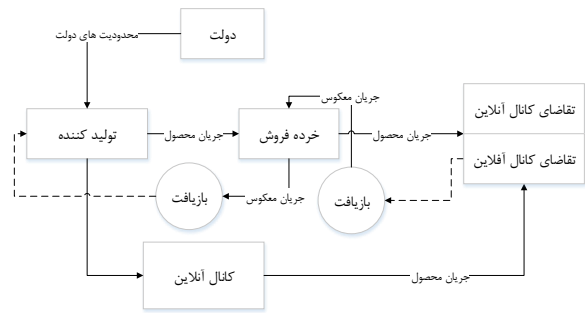
گرچه بسیاری از مطالعات پیشین مانند سونگ و همکاران [۲۴] و لی [۴۲]، به نقش دولت در ارائه یارانه‌ها، جریمه‌ها یا مکانیسم‌های تشویقی و تنبیهی پرداخته‌اند، اما کمتر پژوهشی به وضع محدودیت مستقیم بر سطح فعالیت‌های CSR توسط دولت توجه کرده است. این در حالی است که تحقیق حاضر آستانه‌گذاری دولتی بر سطح CSR و سبزی‌سازی محصولات را در مدل تصمیم‌گیری لحاظ می‌کند. از سوی دیگر، اغلب مطالعات پیشین مانند چن و همکاران [۲۹] یا هوانگ و همکاران [۳۰] بر زنجیره‌های آنلاین یا آفلاین متمرکز بوده‌اند یا به زنجیره‌های سنتی پرداخته‌اند. در حالی که تحقیق حاضر زنجیره‌ای را بررسی می‌کند که دارای هم‌زمانی فروش آنلاین، خدمت‌رسانی آفلاین و بازگشت محصولات به صورت ترکیبی است. در بسیاری از تحقیقات پیشین مانند بالیکا و همکاران [۲۷] و عموزاد و همکاران [۴۴]، ساختار تصمیم‌گیری متمرکز یا غیرمتمرکز به صورت مجزا مدل‌سازی شده‌اند، اما بررسی اثرات مداخله دولت بر این ساختارها و مقایسه رفاه اجتماعی، سود و پایداری میان آن‌ها، در تحقیق حاضر برجسته شده است.

۳- تعریف مسئله

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، یک O2O CLSC با تولیدکننده رهبر و خرده‌فروش دنباله‌رو در نظر گرفته شده است. تولیدکننده از طریق خرده‌فروش و کانال مستقیمی که کاملاً متعلق به او است محصولات خود را به بازار عرضه می‌کند. یک رابطه استکلبرگ بین تولیدکننده و خرده‌فروش وجود دارد. تولیدکننده برای تولید محصولات سبز و کاهش اثرات منفی محصول بر محیط زیست از تولید پایدار استفاده می‌کند. یک نمونه از چنین محصولاتی می‌تواند چراغ‌های روشنایی مانند لامپ‌ها با انرژی کارآمد باشد، که پس از استفاده، قابل بازیافت نیز هستند. تولیدکننده در حال سرمایه

Q_j^0 آستانه سطح CSR تعیین شده توسط دولت ($j = C, D$)

متغیرهای تصمیم	
قیمت فروش محصول i ($i = r, d$)	p_i
سطح سبز محصول	s
سطح CSR شرکت	q
سود تولید کننده	π_m
سود خرده فروش	π_r



شکل ۱ - توپولوژی مسئله

۳-۱- علائم ریاضی

در این بخش پارامترها، متغیرهای تصمیم مستقل و وابسته به ترتیب در جدول ۱ قابل مشاهده هستند.

جدول ۱- علائم ریاضی بکار رفته در مدل سازی

پارامترها

D_i	تقاضا کانال i ($i = r, d$)
D	تقاضای بالقوه از بازار هنگامی که کالاها بدون هزینه هستند.
θ	نسبت مشتریان وفادار به کانال آنلاین و نسبت مشتریان وفادار به کانال خرده فروشی را $1 - \theta$ نشان می دهد.
β_i	ضریب اثرگذاری سطح سبز در هر واحد محصول برای کانال i ($i = r, d$)
μ_i	ضریب اثرگذاری سطح CSR در هر واحد محصول برای کانال i ($i = r, d$)
b_1	حساسیت تقاضا به قیمت کانال
b_2	حساسیت تقاضا به قیمت کانال متقابل
W	قیمت عمده فروشی
C	هزینه تولید هر واحد محصول
C_0	هزینه یک واحد محصول بازیافتی که خرده فروش به مشتریان پرداخت می کند.
C_1	قیمت واحد یک واحد محصول بازیافتی که سازنده به خرده فروش پرداخت می کند
C_2	ارزش هر واحد محصول بازیافتی برای تولید کننده
K	هزینه فعالیت های سبزسازی محصولات
T	هزینه فعالیت های اجتماعی شرکت
R	نرخ بازگشت محصولات در پایان دوره حیات
I	تلاش های خرده فروش برای جمع آوری محصولات در پایان دوره حیات
S_j^0	آستانه سطح سبز تعیین شده توسط دولت ($j = C, D$)

۳-۲- مفروضات

مفروضات اصلی برای توسعه چارچوب مدل های ریاضی در ادامه بیان شده است. شایان ذکر است که تمام مفروضات با ادبیات موجود سازگار است.

مفروض ۱: تولید کننده و خرده فروش با یک تابع تقاضای خطی سطح سبز بودن محصول سطح CSR و قیمت فروش مواجه می شوند. این نوع تقاضای خطی نیز به طور گسترده در ادبیات مورد استفاده قرار گرفته است [۴۹] و [۵۰]. توابع تقاضا در کانال مستقیم و خرده فروشی به ترتیب روابط (۱) و (۲) می باشد:

$$D_d = \theta D - b_1 p_d + b_2 p_r + \beta_d s + \mu_d q \quad (1)$$

$$D_r = (1 - \theta) D - b_1 p_r + b_2 p_d + \beta_r s + \mu_r q \quad (2)$$

D پتانسیل تقاضای بازار است زمانی که کالاها بدون هزینه هستند. θ درجه وفاداری مشتریان به کانال مستقیم است، بنابراین $D\theta$ نسبت تقاضای کانال مستقیم و $(1 - \theta)D$ نسبت تقاضای کانال خرده فروشی است. تقاضای کانال مستقیم و خرده فروشی حساس به سطح سبز محصول و سطح CSR شرکت است. فرض بر این است که $\beta_r > \beta_d$ و $\mu_r > \mu_d$ به دلیل این واقعیت که مشتریان هنگام خرید مستقیم بهتر از خرید از خرده فروشان می توانند در مورد ویژگی های سبز محصولات و فعالیت های اجتماعی شرکت اطلاع کسب می کنند. همچنین فرض شده است که قیمت خرده فروشی از قیمت عمده فروشی و قیمت عمده فروشی از هزینه تولید بیشتر است ($p > w > c$).

مفروض ۲: به منظور جلوگیری از منازعه بین کانال ها، با افزودن یک کانال فروش مستقیم، سیاست قیمت گذاری سازمانی اتخاذ

۴-۱- سناریوی اول: ساختار متمرکز بدون در نظر گرفتن

محدودیت دولت

در سناریوی متمرکز، یک تصمیم گیرنده وجود دارد که از طرف همه اعضای کانال تصمیم گیری می کند. بنابراین هنگامی که اعضای کانال مایل به عمل به شیوه ی یکپارچه می شوند، محصولات در یک کانال واحد تولید می شوند و پس از فروش با قیمت خرده فروشی p ، توسط همان کانال جمع آوری می شوند. به این ترتیب، تابع سود سناریو متمرکز برابر است با:

$$\pi^c(p, s, q) = (p - c)(D_d + D_r) - \frac{K}{2}s^2 - \frac{T}{2}q^2 - (C_0 - C_2)R(D_d + D_r) - I \quad (5)$$

ماتریس هیسین تابع، در رابطه (۶) آورده شده است.

$$\begin{pmatrix} -4b & \beta_d + \beta_r & \mu_d + \mu_r \\ \beta_d + \beta_r & -K & 0 \\ \mu_d + \mu_r & 0 & -t \end{pmatrix} \quad (6)$$

با در نظر گرفتن شرایط تقعر تابع که در ضمیمه پژوهش موجود است به ادامه حل تابع می پردازیم. از مساوی صفر قرار دادن بردار گرادیان تابع هدف متغیرهای تصمیم p و q و s برحسب پارامترهای مساله به دست می آیند که به ترتیب روابط (۷) - (۹) است.

$$p = c + RC_0 - RC_1 + \frac{KT(-2bC + D + 2bR(-C_0 + C_2))}{-T(\beta_d + \beta_r)^2 + k(4bT - (\mu_d + \mu_r)^2)} \quad (7)$$

$$s = -\frac{T(2bC - D + 2bR(C_0 - C_2))(\beta_d + \beta_r)}{-T(\beta_r + \beta_d)^2 + K(4bT - (\mu_d + \mu_r)^2)} \quad (8)$$

$$q = -\frac{K(2bC - D + 2bR(C_0 - C_2))(\mu_d + \mu_r)}{-T(\beta_d + \beta_r)^2 + K(4bT - (\mu_d + \mu_r)^2)} \quad (9)$$

۴-۲- سناریوی دوم: ساختار غیرمتمرکز بدون در نظر

گرفتن محدودیت دولت

در سناریو غیر متمرکز، هر عضو مستقل عمل می کند تا سود خود را به حداکثر برساند. تولید کننده به عنوان رهبر بازی، سطح سبز محصولات و سطح CSR شرکت را بر اساس بهترین پاسخ خرده فروش تعیین می کند. با توجه به تصمیم تولیدکننده، خرده فروش در مورد قیمت فروش محصولات برای هر دو کانال تصمیم میگیرد. ابتدا فاز دوم بازی بررسی شده است، تابع سود خرده فروش رابطه (۱۰) است:

می شود که به طور گسترده در ادبیات مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین توابع تقاضا به صورت روابط (۳) و (۴) بازنویسی می شوند:

$$D_d = \theta d - bp + \beta_d s + \mu_d q \quad (3)$$

$$D_r = (1 - \theta)D - bp + \beta_r s + \mu_r q \quad (4)$$

$b = b_1 - b_2$ واضح است که حساسیت قیمت خود کانال همیشه بالاتر از حساسیت قیمت کانال متقابل است.

مفروض ۳: برای تولید محصولات با آسیب زیست محیطی کمتری و محبوبیت بیشتر شرکت، تولید کننده باید هزینه های اضافی را برای بهینه سازی فرایند تولید، تولید محصولات کم کربن و انجام فعالیت های اجتماعی سرمایه گذاری کند. برای اندازه گیری سطح سبز محصولات و سطح CSR شرکت از s و q استفاده شده است. سطح سبز و سطح CSR بالاتر باعث افزایش هزینه ها می شود. برای نمایش هزینه اضافی از معادلات $\frac{T}{2}q^2$ و $\frac{K}{2}s^2$ استفاده میشود، که در آن K ضریب هزینه سبز در هر واحد T ضریب هزینه فعالیت های اجتماعی در هر واحد محصول است. همچنین فرض میکنیم $C_2 > C_1 > C_0$.

مفروض ۴: جهت کاهش اثرات منفی محصولات در محیط زیست و فعالیت های اجتماعی شرکت ها دولت با تعیین آستانه های خاصی در بازار دخالت می کند [۵۱]. سطح سبز محصول و سطح فعالیت های اجتماعی شرکت تولیدکننده نباید کمتر از آستانه تعیین شده توسط دولت باشد.

هدف از این مقاله بررسی یک روش کارآمد برای تصمیم گیری اعضا با توجه به آستانه های مختلف تعیین شده توسط دولت است. آستانه تعیین شده توسط دولت با اهداف به حداکثر رساندن رفاه اجتماعی و بهبود سطح سبز مجموع محصولات و مسئولانه عمل کردن شرکت ها در قبال جامعه است.

۴- مدل سازی

در بخش های زیر، فرموله سازی مدل تحت سناریو متمرکز و غیر متمرکز نشان داده میشود تا بتوان تصمیمات اعضا و سود آنها را در هر سناریو مقایسه کرد. فرموله کردن مدل براساس مفروضاتی است که در بخش قبل بیان شده است. همچنین لازم به ذکر است که حل این مساله براساس یک بازی استکلبرگ می باشد. این مدل ها بدون در نظر گرفتن نقش مداخله دولت و با در نظر گرفتن نقش مداخله دولت است، به طوری که بهتر بتوان نتایج را مقایسه و تحلیل کرد.

خاصی را برای سطح سبزیسازی محصولات و سطح CSR شرکت برای تولید کنندگان تعیین می کند. در این حالت، متغیرهای تصمیم بهینه تحت قوانین دولتی ارائه شده است. تابع سود در این حالت طبق رابطه (۱۴) محاسبه می شود.

$$\pi_g^c(p, s, q) = (p - c)(D_d + D_r) - \frac{K}{2}s^2 - \frac{T}{2}q^2 - (C_0 - C_2)R(D_d + D_r) - I \quad (14)$$

در رابطه فوق $s \geq S_c^0$ و $q \geq Q_c^0$ باید برقرار باشد. ماتریس هیسین تابع رابطه (۱۵) است. با در نظر گرفتن شرایط تقعر تابع که در ضمیمه پژوهش موجود است به ادامه حل تابع می پردازیم.

$$\begin{pmatrix} -4b & \beta_d + \beta_r & \mu_d + \mu_r \\ \beta_d + \beta_r & -K & 0 \\ \mu_d + \mu_r & 0 & -T \end{pmatrix} \quad (15)$$

با توجه به یک طرفه بودن جریمه، محدودیت های اعمال شده از جانب دولت امکان قرار دادن محدودیت ها به صورت جریمه در تابع هدف وجود ندارد. لذا مساله تبدیل به یک تابع هدف ماکزیم سازی با دو محدودیت بزرگتر مساوی میشود. از آنجا که حل این مساله با روش لاگرانژ موجب بیشتر شدن تعداد متغیرهای مساله و پیچیدگی آن میشود مساله با بررسی نقاط مرزی حل شده است. در اینجا ۸ نقطه مرزی وجود دارد که یکی از این نقاط همان جواب سناریو اول است و نقطه دیگر از قرار دادن $p = C, s = S_c^0, q = Q_c^0$ به دست می آید و عملاً ۶ نقطه بررسی می شود. جواب هر یک از این نقاط و جواب بهینه حاصل از مقایسه همه این نقاط در فایل ضمیمه موجود می باشد.

$$\pi_r^D(p) = (p - W)D_r + (C_1 + C_0)R(D_d + D_r) - I \quad (10)$$

با در نظر گرفتن شرایط تقعر تابع که در ضمیمه پژوهش موجود است به ادامه حل تابع می پردازیم. از مساوی صفر قرار دادن مشتق اول تابع هدف متغیر تصمیم p برحسب پارامترهای مساله به دست می آید که رابطه (۱۱) است.

$$p = \frac{D + bW - D\theta + 2bRC_0 - 2bRC_1 + s\beta_r + q\mu_r}{2b} \quad (11)$$

در فاز اول بازی تابع سود تولید کننده رابطه (۱۲) است:

$$\pi_m^D(p, s, q) = (p - c)D_d + (w - c)D_r - \frac{1}{2}Ks^2 - \frac{1}{2}Tq^2 + R(C_2 - C_1)(D_d + D_r) \quad (12)$$

پس از قرار دادن متغیر p در تابع سود تولید کننده و ساده سازی تابع، ماتریس هیسین محاسبه میشود که به صورت رابطه (۱۳) است.

$$\begin{pmatrix} \frac{2bK - 2\beta_d\beta_r + \beta_r^2}{2b} & \frac{\beta_r(\mu_d - \mu_r) + \beta_d\mu_r}{2b} \\ \frac{\beta_r(\mu_d - \mu_r) + \beta_d\mu_r}{2b} & -\frac{2bT - 2\mu_d\mu_r + \mu_r^2}{2b} \end{pmatrix} \quad (13)$$

با در نظر گرفتن شرایط تقعر تابع که در ضمیمه پژوهش موجود است به ادامه حل تابع می پردازیم. از مساوی صفر قرار دادن بردار گرادیان تابع هدف متغیرهای تصمیم q و s برحسب پارامترهای مساله به دست می آید که به صورت روابط (۱۶) و (۱۷) است. عبارت های A و B در ضمیمه پژوهش موجود می باشند.

۴-۳- سناریوی سوم: ساختار متمرکز با در نظر گرفتن محدودیت دولت

در سناریوی متمرکز، یک تصمیم گیرنده وجود دارد که از طرف همه اعضای کانال تصمیم گیری می کند. دولت آستانه های

$$s = \frac{A}{(\beta_r^2(2bT - \mu_d^2) - \beta_d^2\mu_r^2 + 2\beta_d\beta_r(-2bT + \mu_d\mu_r) + 2bK(2bT - 2\mu_d\mu_r + \mu_r^2))} \quad (16)$$

$$q = \frac{B}{(\beta_r^2(2bT - \mu_d^2) - \beta_d^2\mu_r^2 + 2\beta_d\beta_r(-2bT + \mu_d\mu_r) + 2bK(2bT - 2\mu_d\mu_r + \mu_r^2))} \quad (17)$$

مرزی وجود دارد که یکی از این نقاط همان جواب سناریو دوم است. جواب هریک از این نقاط و جواب بهینه حاصل از مقایسه همه این نقاط در فایل ضمیمه موجود می باشد.

۵- مثال عددی

برای تأیید واجد شرایط بودن مدل، یک نمونه عددی در نظر گرفته شده است. سپس، تجزیه و تحلیل حساسیت بر پارامترهای کلیدی مدل صورت میگیرد تا تاثیر آن ها بر تصمیمات مشخص شود.

جدول (۴): مقادیر پارامترها

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
D	۷۰۰	μ_d	۰/۶
θ	۰/۵	μ_r	۰/۷
C_0	۲۰	β_d	۰/۷
C_1	۳۰	β_r	۰/۸
C_2	۴۰	I	۲۰۰
α	۳۵۰۰	W	۹۰
K	۴۵۰	C	۶۰
b	۱/۵	T	۱۰۰
r	۰/۳۲	Q^0	۱/۲
S^0	۰/۳۵		

با توجه به پارامترهای فوق مقادیر متغیرهای تصمیم برای هر چهار سناریو به شرح جدول ۴ است. با مقایسه سناریو یک و دو در حالت بدون اعمال محدودیت های دولت میتوان فهمید که قیمت در حالت غیرمتمرکز بیشتر از حالت متمرکز است. اما متغیرهای s و q مربوط به سطح سبزی سازی محصولات و سطح CSR شرکت در حالت متمرکز بیشتر از حالت غیرمتمرکز است.

با مقایسه سناریو های سه و چهار در حالت با اعمال محدودیت های دولت میتوان فهمید که قیمت در حالت غیرمتمرکز بیشتر از حالت متمرکز است. اما متغیرهای s و q مربوط به سطح سبزی سازی محصولات و سطح CSR شرکت در حالت متمرکز از حالت غیرمتمرکز بزرگتر یا مساوی است.

۴-۴- سناریوی چهارم ساختار غیر متمرکز با در

نظرگرفتن محدودیت دولت

با توجه به محدودیت دولت در سناریو غیر متمرکز، تصمیمات هر عضو مستقلاً به صورت زیر است. ابتدا فاز دوم بازی بررسی شده است، تابع سود خرده فروش رابطه (۱۸) است:

$$\pi_{rg}^D(p) = (p - W)D_r + (C_1 + C_0)R(D_d + D_r) - I \quad (18)$$

با در نظرگرفتن شرایط تقعر تابع که در ضمیمه پژوهش موجود است به ادامه حل تابع می پردازیم. از مساوی صفر قرار دادن مشتق اول تابع هدف متغیرتصمیم p برحسب پارامترهای مساله به دست می آید که در رابطه (۱۹) آمده است. پس از قرار دادن متغیر p در تابع سود تولید کننده و ساده سازی تابع، ماتریس هیشین محاسبه میشود که به صورت رابطه (۲۰) است.

$$p = \frac{D + bW - D\theta - 2bRC_0 - 2bRC_1 + s\beta_r + q\mu_r}{2b} \quad (19)$$

$$\begin{pmatrix} -\frac{2bK - 2\beta_d\beta_r + \beta_r^2}{2b} & \frac{\beta_r(\mu_d - \mu_r) + \beta_d\mu_r}{2b} \\ \frac{\beta_r(\mu_d - \mu_r) + \beta_d\mu_r}{2b} & -\frac{2bT - 2\mu_d\mu_r + \mu_r^2}{2b} \end{pmatrix} \quad (20)$$

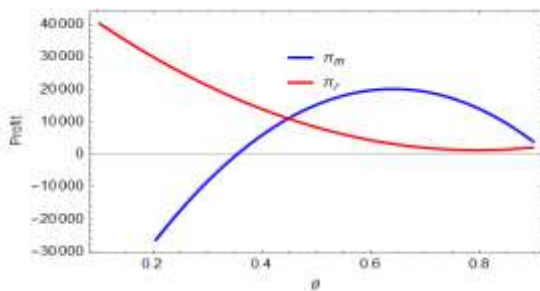
با در نظرگرفتن شرایط تقعر تابع که در ضمیمه پژوهش موجود است به ادامه حل تابع می پردازیم. در فاز اول بازی تابع سود تولید کننده در رابطه (۲۱) آمده است:

$$\pi_{mg}^D(s, q) = (p - C) + (W - C)D_r - \frac{1}{2}Ks^2 - \frac{1}{2}Tq^2 + R(C_2 - C_1)(D_d + D_r) \quad (21)$$

s.t:

$$\begin{cases} s \geq S_D^0 \\ q \geq Q_D^0 \end{cases}$$

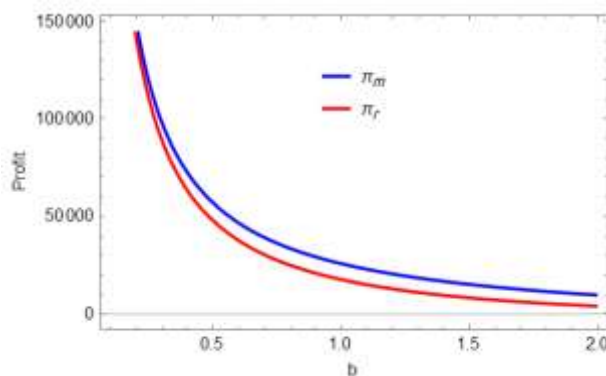
باتوجه به یک طرفه بودن جریمه محدودیت های اعمال شده از جانب دولت امکان قرار دادن محدودیت ها به صورت جریمه در تابع هدف وجود ندارد. لذا مساله تبدیل به یک تابع هدف ماکزیمم سازی با دو محدودیت بزرگتر مساوی می شود. از آنجا که حل این مساله با روش لاگرانژ موجب بیشتر شدن تعداد متغیرهای مساله و پیچیدگی آن میشود مساله با بررسی نقاط مرزی حل شده است. در اینجا ۴ نقطه



شکل (۲): تغییرات سود کل نسبت به پارامتر θ

۲-۶- تحلیل حساسیت پارامتر b

تغییرات در سود کل $O2O\ CLSC$ در سناریوهای غیر متمرکز در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به فرض سوم $(b = b_1 - b_2)$ تفاضل حساسیت کانال آنلاین و کانال آفلاین است. در شکل ۳ می توان مشاهده کرد که مقدار سود کل تولید کننده و خرده فروش در سناریوهای غیرمتمرکز در $O2O\ CLSC$ با افزایش b ، افزایش می یابد و به ازای تمامی مقادیر b سود تولید کننده بیشتر از سود خرده فروش است.



شکل (۳): تغییرات سود کل نسبت به پارامتر

۷- بحث

با توجه به تحلیل‌های انجام شده و نتایج حاصل از مدل - سازی می توان گفت، پژوهش حاضر از چند جهت با مطالعات قبلی در حوزه زنجیره تأمین پایدار همخوانی و در برخی موارد تکمیل کننده آنها است. در مورد اثر مداخله دولت، یافته‌های تحقیق حاضر تأییدکننده نتایج سونگ و همکاران [۱۶] در خصوص تأثیر مثبت سیاست‌های دولتی بر بهبود شاخص‌های پایداری است. با این تفاوت که در مدل حاضر، محدودیت‌های مستقیم همچون آستانه‌های حداقلی سبزشازی و CSR نسبت به سازوکارهای پاداش-جریمه مورد استفاده در پژوهش‌های قبلی [۱۶، ۵]، در شرایط خاصی می تواند کارایی بیشتری داشته باشد. به ویژه، نتایج

سود تولید کننده و خرده فروش در سناریوهای متمرکز بیشتر از سناریوهای غیرمتمرکز است. سود تولید کننده در سناریوهای سه و چهار (با اعمال محدودیت های دولت) نسبت به سناریوهای یک و دو (بدون اعمال محدودیت های دولت) کاهش یافته است. درحالی که برای خرده فروش کاملاً برعکس بوده و با اعمال محدودیت دولت سود آن افزایش خواهد یافت.

جدول (۵): مقادیر متغیرها در تمامی سناریوها

سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم	سناریو ۴	
۱۴۳/۷۹۶	۱۵۸/۶۵	۱۴۳/۸۱	۱۵۸/۸۴	p
۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۳۵	۰/۳۵	s
۱/۱۷	۰/۶۳	۱/۲	۱/۲	q
-	۱۵۱۷۱/۶	-	۱۵۱۴۷/۸	π_m
-	۸۲۵۰/۳۵	-	۱۱۱۷۸/۳	π_r
۲۴۱۱۶/۸	-	۲۴۱۱۶/۲	-	π

۶- تحلیل حساسیت

۶-۱- تحلیل حساسیت پارامتر θ

تغییرات در سود کل $O2O\ CLSC$ در سناریوهای غیر متمرکز در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۲ می توان مشاهده کرد که مقدار سود کل خرده فروش در سناریوهای غیرمتمرکز در $O2O\ CLSC$ با افزایش θ (نسبت مشتریان وفادار به کانال خرده فروشی) کاهش می یابد. همچنین مشاهده میشود که با افزایش نسبت وفاداری مشتریان به کانال آنلاین ابتدا سود کل خرده فروش افزایش و سپس کاهش می یابد. با وجود اینکه هر دو تقاضا با ضریب مثبت در تابع هدف تولید کننده قرار دارند اما طبق فرض یک $(p > w > c)$ ضریب تقاضای آنلاین $(p - c)$ بزرگتر از ضریب تقاضای خرده فروش $(w - c)$ است بنابراین با افزایش θ سود کل تولید کننده ابتدا افزایش می یابد و سپس کاهش می یابد. مقدار بهینه $\theta \approx 0.65$ است.

• سطح سبز محصول و سطح *CSR* شرکت در ساختار *O2O CLSC* متمرکز همیشه بزرگتر یا مساوی از ساختار *O2O CLSC* غیرمتمرکز است. در نتیجه، زمانی که ساختارهای مختلف *O2O CLSC* در یک بازار با دخالت دولت وجود دارد، بهترین استراتژی برای دولت‌ها این است که یک سطح سبز قابل قبول از ساختار *CLSC* متمرکز *O2O* در نظر گرفته شود.

یافته‌های این پژوهش چند پیامد مهم برای مدیران و سیاست‌گذاران دارد که در قالب پیشنهادات کاربردی به صورت زیر بیان می‌شود:

۱. اتخاذ رویکردی متوازن بین سرمایه‌گذاری در بهبود ویژگی‌های زیست‌محیطی محصولات و فعالیت‌های مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها می‌تواند به ایجاد مزیت رقابتی پایدار منجر شود. تولیدکنندگانی که بتوانند این دو حوزه را به صورت هماهنگ توسعه دهند، نه تنها قادر به پاسخگویی بهتر به الزامات قانونی خواهند بود، بلکه امکان دستیابی به موقعیت ممتاز در بازار را نیز کسب می‌کنند.

۲. خرده‌فروشان می‌توانند ارتباط مؤثری بین کانال‌های آنلاین و آفلاین ایجاد کنند، قادر خواهند بود تجربه مشتری را به شکل معناداری بهبود بخشند. همچنین، سرمایه‌گذاری در سیستم‌های پیشرفته جمع‌آوری و بازیافت محصولات نه تنها امکان پاسخ‌گویی به انتظارات روزافزون مشتریان را فراهم می‌آورد، بلکه می‌تواند به ایجاد جریان‌های درآمدی جدید منجر شود.

۳. اگر توسعه چارچوب‌های نظارتی هوشمند ضمانت اجرایی کافی داشته باشند و از سوی دیگر انگیزه‌های لازم برای نوآوری را ایجاد کنند، می‌تواند به تحقق اهداف توسعه پایدار کمک شایانی کند. همچنین، ایجاد بسترهای مناسب برای تسهیل همکاری بین بخش خصوصی و نهادهای عمومی در این حوزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

اگرچه پژوهش حاضر نتایج قابل توجهی را نشان می‌دهد، اما برخی محدودیت‌ها باید مدنظر قرار گیرد. در مدل حاضر تقاضا را به صورت قطعی در نظر گرفته‌ایم، در حالی که در نظر گرفتن عدم قطعیت می‌تواند به واقع‌گرایی

نشان داد این رویکرد هزینه‌های نظارتی دولت را تا حد قابل توجهی کاهش می‌دهد. در زمینه ساختار زنجیره تأمین، نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های موندال و گیری [۴۱] تا حدی همخوانی دارد، با این تفاوت که در مدل حاضر، ساختار متمرکز تحت مداخله دولت توانست رفاه اجتماعی را تا ۳۰٪ بیشتر از حالت غیرمتمرکز بهبود بخشد. این نتیجه‌گیری تا حدودی با پژوهش چن و همکاران [۲۹] که بر مزیت‌های ساختارهای غیرمتمرکز تأکید داشتند، متفاوت است. در مقایسه با تحقیق هوانگ و همکاران [۳۰] که صرفاً به بررسی کانال‌های تک‌حالته پرداخته‌اند، تحقیق حاضر اثر ترکیبی سیاست‌های محدودکننده دولت و ساختار *O2O* بر عملکرد زنجیره تأمین را پوشش می‌دهد. نتایج نشان داد ترکیب این دو عامل می‌تواند سطح سبزی‌سازی محصولات را افزایش و سود خرده‌فروش را بهبود بخشد. در زمینه مسئولیت اجتماعی شرکتی، یافته‌های تحقیق حاضر توسعه‌دهنده نتایج لی [۴۲] است. در حالی که لی در مقاله خود بر تأثیر یارانه‌ها متمرکز بود، ما نشان دادیم محدودیت‌های مستقیم اگرچه در کوتاه‌مدت هزینه‌بر هستند، اما در بلندمدت اثر تجمعی بهتری بر رفاه اجتماعی دارند.

۸- نتیجه‌گیری

این پژوهش یک *O2O CLSC* با مداخله دولت را معرفی کرد که شامل تولیدکننده (که سطح سبز محصولات و سطح *CSR* شرکت را تعیین می‌کند) و یک خرده‌فروش (که قیمت خرده‌فروشی را تعیین می‌کند). این مساله قیمت‌گذاری، فعالیت‌های سبزی‌سازی و مدیریت بازیافت را برای ساختار متمرکز و غیرمتمرکز تحت سیاست قیمت‌گذاری ثابت مورد بحث قرار داد. هدف از این مقاله، تعیین آستانه مطلوب سطح سبز محصول با توجه به محدودیت مستقیم دولت است. یافته‌های اصلی این مقاله عبارتند از:

• محدودیت مستقیم دولت باعث افزایش سطح سبز محصولات و سطح *CSR* شرکت شد و به همین ترتیب میزان تلاش جمع‌آوری محصولات را بهبود بخشید. این به این معنی است که خرده‌فروش باید پول بیشتری برای جمع‌آوری محصولات در پایان زندگی سرمایه‌گذاری کند که نه تنها به بهبود اثرات زیست‌محیطی محصولات کمک می‌کند، بلکه باعث می‌شود تا خرده‌فروش برای جمع‌آوری محصولات در پایان عمر بیشتر تلاش کند.

- [5] M. Ziaei, M. Ameli, M. Rasti-Barzoki, A. Shavandi, A game-theoretic approach for pricing in a dual-channel socially responsible closed-loop supply chain under reward-penalty mechanism, *Environ. Dev. Sustain.* 26 (2024) 31201–31223. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04448-7>.
- [6] M.-A. Eghbali, M. Rasti-Barzoki, J. Altmann, An evolutionary game-theoretic approach for analysis of startups' funding mechanisms considering their opportunistic and responsible behavior based on system dynamics, *Kybernetes* (2025). <https://doi.org/10.1108/K-07-2024-1950>.
- [7] D. Buccella, L. Fanti, L. Gori, M. Sodini, Corporate social responsibility and network externalities: a game-theoretic approach, *Ann. Oper. Res.* 337 (2024) 835–871. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05601-1>.
- [8] M.-A. Eghbali, M. Rasti-Barzoki, S. Safarzadeh, An evolutionary game-theoretic approach for analysis of green innovation and environmental performance of tech firms under stakeholders' policies based on system dynamics, *Clean Technol. Environ. Policy* 26 (2024) 3107–3125. <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02782-6>.
- [9] X. Wu, S. Zhao, Research on green development strategy of logistics packaging based on corporate social responsibility: an evolutionary game analysis, *Environ. Dev. Sustain.* (2024). <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04362-y>.
- [10] W.L. Bennett, J. Uldam, Corporate
- بیشتر مدل کمک کند. در تحقیق حاضر اثرات متغیرهای کلان اقتصادی مانند تورم را در نظر نگرفته‌ایم.
- با توجه به محدودیت‌های مدل حاضر که بر تعاملات استراتژیک و رفتاری در زنجیره تأمین *O2O* متمرکز است، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، تأثیر متغیرهای کلان اقتصادی مانند تورم، نرخ بهره و نوسانات نرخ ارز بر تصمیمات اعضای زنجیره تأمین بررسی شود. این عوامل می‌توانند با ایجاد عدم قطعیت در هزینه‌های تولید، قیمت‌گذاری و تقاضای مصرف‌کننده، پویایی‌های مدل را به‌طور معناداری تغییر دهند. توسعه مدل با در نظر گرفتن این مؤلفه‌ها نه تنها به واقع‌گرایی بیشتر تحلیل‌ها کمک می‌کند، بلکه امکان ارائه راهکارهای سیاستی تطبیقی برای دولت و بنگاه‌ها در شرایط بی‌ثباتی اقتصادی را فراهم می‌سازد.
- ۱ منابع
- [1] M. Jamali, M. Rasti-barzoki, A game theoretic approach for green and non-green product pricing in chain-to-chain competitive sustainable and regular dual-channel supply chains, 170 (2018) 1029–1043.
- [2] J. McKenzie, 'Fragile, impermanent things': Joseph Tainter on what makes civilizations fall, *Bull. At. Sci.* 81 (2025) 114–120. <https://doi.org/10.1080/00963402.2025.2464444>.
- [3] M. Eghbali, M. Rasti-barzoki, An evolutionary game-theoretic approach to analysis the green innovation chain dynamics under government policies, *Technol. Soc.* 77 (2024). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102568>.
- [4] A. Hafezalkotob, Competition of domestic manufacturer and foreign supplier under sustainable development objectives of government, *Appl. Math. Comput.* 292 (2017) 294–308. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2016.07.007>.

- under the Government's Reward–Penalty Policy, *Sustainability* 14 (2022) 14228. <https://doi.org/10.3390/su142114228>.
- [17] H. Jolai, A. Hafezalkotob, R. Reza-Gharehbagh, Pricing and greening decisions of competitive forward and reverse supply chains under government financial intervention: Iranian motorcycle industry case study, *Comput. Ind. Eng.* 157 (2021) 107329. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107329>.
- [18] A.H.P.K. Putra, Learning from the Past Bridging Digital and Physical Markets: A Guidelines for Future Research Agenda of Online-to-Offline (O2O) Marketing Strategy, *Int. Rev. Manag. Mark.* 14 (2024) 82–96. <https://doi.org/10.32479/irmm.16145>.
- [19] A.A. Taleizadeh, E.S. Darabi, P. Thaichon, Optimizing online selling through an online-to-offline platform: strategic ramifications for local n stores, *J. Revenue Pricing Manag.* 23 (2024) 554–574. <https://doi.org/10.1057/s41272-023-00448-4>.
- [20] S.-H. Liao, D.-C. Hu, H.-L. Liu, Offline-to-online and online-to-offline (a reciprocal O2O model): re-patronage in an omni-channel, *Int. J. Retail Distrib. Manag.* 52 (2024) 341–354. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-06-2023-0420>.
- [21] H. Yang, W. Chen, Retailer-driven carbon emission abatement with consumer environmental awareness and carbon tax: Revenue-sharing versus Cost-sharing, *Omega* 78 (2018) 179–191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.05.008>.
- Social Responsibility in The Disinformation Age, *Manag. Commun. Q.* 38 (2024) 864–896. <https://doi.org/10.1177/08933189241261717>.
- [11] W. Lin, Y. Wang, G. Samara, J. Lu, Governance of corporate social responsibility: a platform ecosystem perspective, *Manag. Decis.* 62 (2024) 3782–3816. <https://doi.org/10.1108/MD-10-2023-1843>.
- [12] X. Yang, X. Dai, Y. Zhang, The Government Subsidy Policies for Organic Agriculture Based on Evolutionary Game Theory, *Sustainability* 16 (2024) 2246. <https://doi.org/10.3390/su16062246>.
- [13] H. Rajabzadeh, A.A. Khamseh, M. Ameli, A Game-Theoretic Approach for Pricing Considering Sourcing, Andrecycling Decisions in a Closed-Loop Supply Chain Under Disruption, in: 2021: pp. 137–157. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89743-7_9.
- [14] H. Khosroshahi, M. Rasti-barzoki, S.R. Hejazi, A game theoretic approach for pricing decisions considering CSR and a new consumer satisfaction index using transparency-dependent demand in sustainable supply chains, 208 (2019).
- [15] H. Khosroshahi, S. Dimitrov, S.R. Hejazi, Pricing, greening, and transparency decisions considering the impact of government subsidies and CSR behavior in supply chain decisions, *J. Retail. Consum. Serv.* 60 (2021) 102485. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102485>.
- [16] H. Song, Q. Li, K. Liu, Y. Li, The Recycling Strategy of Closed-Loop Supply Chain Considering CSR

- [28] A.V. Wirba, Corporate Social Responsibility (CSR): The Role of Government in promoting CSR, *J. Knowl. Econ.* 15 (2023) 7428–7454. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01185-0>.
- [29] X. Chen, R. Zhang, B. Lv, Dual-Channel Green Supply Chain Decision-Making and Coordination considering CSR and Consumer Green Preferences, *Discret. Dyn. Nat. Soc.* 2021 (2021) 1–18. <https://doi.org/10.1155/2021/5301461>.
- [30] Y. Huang, Y. Liang, Exploring the strategies of online and offline recycling channels in closed-loop supply chain under government subsidy, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29 (2022) 21591–21602. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17396-4>.
- [31] L. Song, Y. Yan, F. Yao, Closed-loop supply chain models considering government subsidy and corporate social responsibility investment, *Sustain.* 12 (2020). <https://doi.org/10.3390/su12052045>.
- [32] P. He, Z.-S. Chen, A. Mardani, H. Xu, Should a Retailer Introduce Green Items in Socially Responsible Supply Chains? A Game-Theoretic Analysis, *IEEE Trans. Eng. Manag.* 71 (2024) 15224–15235. <https://doi.org/10.1109/TEM.2024.3484664>.
- [33] W. Li, L. Liu, Z. Li, The Impact of CSR Implement Modes on Sustainable Supply Chain Pricing and Green Decision Making, *Sustainability* 16 (2024) 5269. <https://doi.org/10.3390/su16125269>.
- [34] W. Li, L. Liu, Y. Li, Z. Li, Decision-making and coordination of green supply chain with corporate social responsibility under loss aversion, *6/j.omega.2017.06.012*.
- [22] J. Heydari, K. Govindan, A. Jafari, Reverse and closed loop supply chain coordination by considering government role, *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 52 (2017) 379–398. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.008>.
- [23] B. Li, W. Chen, C. Xu, P. Hou, Impacts of government subsidies for environmental-friendly products in a dual-channel supply chain, *J. Clean. Prod.* 171 (2018) 1558–1576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.056>.
- [24] L. Song, Y. Yan, F. Yao, Closed-Loop Supply Chain Models Considering Government Subsidy and Corporate Social Responsibility Investment, *Sustainability* 12 (2020) 2045. <https://doi.org/10.3390/su12052045>.
- [25] M. Ruimin, Y. Lifei, Evolution and Equilibrium of a Low Carbon E-commerce Closed-Loop Supply Chain Recycling System: An Evolutionary Game Approach, (2023). <https://doi.org/10.20944/preprints202311.1093.v1>.
- [26] W. Long, S. Li, H. Wu, X. Song, Corporate social responsibility and financial performance: The roles of government intervention and market competition, *Corp. Soc. Responsib. Environ. Manag.* 27 (2020) 525–541. <https://doi.org/10.1002/csr.1817>.
- [27] T.E. Balqiah, R.D. Astuti, F. Martdianty, S.R.H. Hati, Corporate social responsibility and customer's responses: CSR authenticity and government intervention during the COVID-19 pandemic, *Heliyon* 9 (2023) e15962. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15962>.

- 12-2016-0544.
- [41] C. Mondal, B.C. Giri, Optimizing price, quality and CSR investment under competing dual recycling channels in a sustainable closed-loop supply chain, *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* 35 (2021) 193–208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.06.011>.
- [42] Y. Li, Research on supply chain CSR management based on differential game, *J. Clean. Prod.* 268 (2020) 122171. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122171>.
- [43] T. Asghari, A.A. Taleizadeh, F. Jolai, M.S. Moshtagh, Cooperative game for coordination of a green closed-loop supply chain, *J. Clean. Prod.* 363 (2022) 132371. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132371>.
- [44] H.A. Mahdiraji, M. Tavana, A. Rezayar, A Game-Theoretic Framework for Analyzing the Impact of Social Responsibility and Supply Chain Profitability, *Cybern. Syst.* 54 (2023) 104–137. <https://doi.org/10.1080/01969722.2022.2055402>.
- [45] M. Sinayi, M. Rasti-Barzoki, A game theoretic approach for pricing, greening, and social welfare policies in a supply chain with government intervention, *J. Clean. Prod.* 196 (2018) 1443–1458. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.212>.
- [46] E. Truant, E. Borlatto, E. Crocco, N. Sahore, Environmental, social and governance issues in supply chains. A systematic review for strategic performance, *J. Clean. Prod.* 434 (2024) 140024. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140024>.
- Evol. Intell.* 17 (2024) 399–415. <https://doi.org/10.1007/s12065-023-00888-2>.
- [35] M.-B. Jamali, M.-A. Eghbali, Evaluation of Water Treatment Technologies in Water-Intensive Industries Under Cap-and-Trade Strategy: A Game-Theoretic Approach, *Syst. Eng. Product.* 5 (2025).
- [36] J. Xu, Y. Chen, Q. Bai, A two-echelon sustainable supply chain coordination under cap-and-trade regulation, *J. Clean. Prod.* 135 (2016) 42–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.047>.
- [37] L. Yang, G. Wang, Carbon emissions in a dual-channel closed-loop supply chain with consumer's preference, in: *2017 Int. Conf. Serv. Syst. Serv. Manag., IEEE, 2017: pp. 1–6*. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996182>.
- [38] L. Xu, C. Wang, Sustainable manufacturing in a closed-loop supply chain considering emission reduction and remanufacturing, *Resour. Conserv. Recycl.* 131 (2018) 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.012>.
- [39] C.-H. Chuang, C.X. Wang, Y. Zhao, Closed-loop supply chain models for a high-tech product under alternative reverse channel and collection cost structures, *Int. J. Prod. Econ.* 156 (2014) 108–123. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.05.008>.
- [40] L. Kong, Z. Liu, Y. Pan, J. Xie, G. Yang, Pricing and service decision of dual-channel operations in an O2O closed-loop supply chain, *Ind. Manag. Data Syst.* 117 (2017) 1567–1588. <https://doi.org/10.1108/IMDS->

- [47] J. Xia, Y. Zheng, L. Yang, Y. Xiao, Government intervention in green technology innovation: The carrot, the stick or both?, *Technol. Forecast. Soc. Change* 200 (2024) 123126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123126>.
- [48] G. Dou, T.-M. Choi, Compete or cooperate? Effects of channel relationships on government policies for sustainability, *Eur. J. Oper. Res.* 313 (2024) 718–732. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.08.012>.
- [49] P.L. Abad, Supplier pricing and lot sizing when demand is price sensitive, *Eur. J. Oper. Res.* 78 (1994) 334–354. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)90044-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90044-2).
- [50] C.S. Tang, R. Yin, Responsive pricing under supply uncertainty, *Eur. J. Oper. Res.* 182 (2007) 239–255. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.011>.
- [51] S.R. Madani, M. Rasti-Barzoki, Sustainable supply chain management with pricing, greening and governmental tariffs determining strategies: A game-theoretic approach, *Comput. Ind. Eng.* 105 (2017) 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.017>.