University of Qom

Engineering Management and Soft Computing

JEMSC.QOM
Online ISSN: 2538-2675

Designing a green supply chain pricing model with a multi-criteria decision-making approach and game theory

case study: home appliance industry

Somayeh Sazegari [1], Sayyed Mohammad Reza Davoodi[2] and Alireza Goli[3]

1 .PhD Candidate of Industrial Management, Department of Management, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran. Email: Somayeh.sazegari@gmail.com

2 .Corresponding Author, Associate professor. Department of Management ,Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan. Email: smrdavoodi@ut.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering and Future Studies, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran. Email: goli.a@eng.ui.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 11 Aug 2024
Received in revised form 2 Sep 2024
Accepted 15 Sep 2024
Published online 21 Sep 2024

Keywords:
Game theory,
Green supply chain,
Home appliance company,
Preference selection index approach,
pricing.

ABSTRACT

pressure to continuously reduce the negative effects of pollutant emissions resulting from their supply chains. The aim of this research is to design a green supply chain pricing model using a multi-criteria decision-making approach and game theory (case study: the home appliance industry). In this study, after conducting a literature review and identifying key indicators for predicting green supply chain pricing, screening of the indicators was carried out in three stages using the fuzzy Delphi method. Out of 20 indicators, 13 were selected based on the opinions of 13 experts. According to the preference selection approach, Company D was identified as the leading company in the game theory due to its highest priority. Ultimately, based on game theory, scenarios among four members of the supply chain were evaluated, and the best and worst scenarios were identified. Additionally, to test the structural validity of the proposed model, information related to the green supply chain of nine selected home appliance companies was executed using MATLAB software. Finally, the analysis of this research based on game theory reveals the challenges currently faced by Company A. In recent years, Iran has encountered multiple challenges regarding sustainable growth. The results indicate that Company A can only achieve a better optimal status if its installed capacity is at least 20% larger than its current level. This will help Company A optimize production and reduce negative environmental impacts.

Cite this article: Sazegari, S. & Others. (2024). Designing a green supply chain pricing model with a multi-criteria decision-making approach and game theory. *Enginiiring Management and Soft Computing, 10* (1). 1-30. **DOI**: https://doi.org/10.22091/JEMSC.2022.6975.1150

© The Author(s)
DOI: https://doi.org/10.22091/JEMSC.2022.6975.1150

Publisher: University of Qom

JEMSC.QOM
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۵-۲۵۳۸
مدیریت مهندسی و رایانش نرم
دانشگاه قم

طراحی الگوی قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و نظریه بازی

مورد مطالعه: صنعت لوازم خانگی

سمیه سازگاری[۱]، سیدمحمدرضا داودی[۲] و علیرضا گلی[۳]

۱. دانشجوی دکتری، مدیریت صنعتی(مالی)، گروه مدیریت، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران. رایانامه: Somayeh.sazegari@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی،دهاقان، ایران. رایانامه: smrdavoodi@ut.ac.ir
۳. استادیار، گروه مهندسی صنایع و آینده پژوهی، دانشکده فنی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. goli.a@eng.ui.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۶/۰۶/۳۱

کلیدواژه‌ها:
رویکرد شاخص انتخاب ارجحیت،
زنجیره تامین سبز،
شرکت لوازم خانگی،
قیمت‌گذاری،
نظریه‌بازی.

چکیده

امروزه صنعتگران و سیاستگذاران تحت فشارهای فزآینده‌ای قرار دارند تا بطور مداوم اثرات منفی انتشار آلاینده‌های ناشی از زنجیره‌های تامین خود را کاهش دهند. هدف از پژوهش حاضر، طراحی الگوی قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و نظریه بازی(مورد مطالعه: صنعت لوازم خانگی) است. در این پژوهش، پس از مطالعه کتابخانه‌ای و شناسایی شاخص‌های کلیدی در پیش‌بینی قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز، با استفاده از روش دلفی‌فازی، غربالگری شاخص‌ها طی سه مرحله انجام شد و از بین ۲۰ شاخص براساس نظرات ۱۳ خبره، ۱۳ شاخص انتخاب شد. براساس رویکرد شاخص انتخاب ارجحیت، شرکت D به‌دلیل اینکه بالاترین اولویت را به خود اختصاص داد، به‌عنوان شرکت رهبر وارد نظریه بازی شد. درنهایت براساس تئوری بازی، سناریو میان ۴ عضو زنجیره تامین ارزیابی شد و برترین و بدترین سناریوها نیز معرفی شدند. همچنین به‌منظور آزمون اعتبار ساختاری مدل پیشنهادی، اطلاعات مربوط به زنجیره تامین سبز ۹ شرکت لوازم خانگی منتخب با استفاده از نرم‌افزار متلب به اجرا درآمد. در نهایت، تجزیه و تحلیل این پژوهش بر اساس نظریه بازی چالش‌هایی را که شرکت A در حال حاضر با آن مواجه است، نشان می‌دهد. در سال‌های گذشته، ایران با چالش‌های متعددی در زمینه رشد پایدار مواجه بوده است. نتایج نشان می‌دهد که شرکت A تنها زمانی می‌تواند به وضعیت بهینه‌تری دست یابد که ظرفیت نصب شده آن حداقل ۲۰ درصد بزرگ‌تر از سطح فعلی شود. این موضوع به شرکت A کمک خواهد کرد تا به بهینه‌سازی تولید و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی دست یابد.

استناد: سازگاری، سمیه؛ داودی، سیدمحمدرضا؛ گلی، علیرضا. (۱۴۰۳). «طراحی الگوی قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و نظریه بازی». *مدیریت مهندسی و رایانش نرم، دوره ۱۰* (۱). صص: ۳۰-۱. https://doi.org/10.22091/JEMSC.2022.6975.1150

ناشر: دانشگاه قم

© نویسندگان.
CC BY NC

۱) مقدمه

توسعه سبز یک روند جهانی است که کارآیی، هماهنگی و پایداری را به‌عنوان رویکردی برای رشد اقتصادی و توسعه اجتماعی در اولویت قرار می‌دهد. این چارچوب بر اهمیت توازن نگرانی‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جهت دستیابی به پایداری بلندمدت تاکید می‌کند (هو و همکاران ، ۲۰۲۳). با توجه به تهدید زیاد گرمایش جهانی، کربن کم به یکی از اجزای اساسی توسعه سبز تبدیل شده‌است. درنتیجه زنجیره تامین سبز، به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین استراتژی‌های کم‌کربن ظاهر شده‌است. (دای و یه ، ۲۰۲۲). هدف اصلی زنجیره تامین سبز به‌حداقل‌رساندن اثرات زیست‌محیطی و به‌حداکثررساندن بهره‌وری منابع است که آن را به دنیای کوچکی از توسعه سبز در سیستم زنجیره تامین تبدیل می‌کند (عباسی و چوکولایی ،۲۰۲۳).

یکی از مهمترین عوامل فعالیت‌های سبز، تولید سبز است که با توجه به فرآیندهای تصمیم‌گیری، نقش مهمی در توسعه مدیریت زنجیره تامین سبز ایفا می‌کند (لی و همکاران ،۲۰۱۶). برای دستیابی به زنجیره‌های تامین سبز، تولید محصولات سبز باید گسترش یابد (آیدین و همکاران ،۲۰۰۱۶). محصولات سبز مواردی را توصیف می‌کند که تاثیرات منفی کمتری بر سلامت انسان و محیط زیست دارد. این مفهوم شامل زنجیره‌های تامین پایدار، پایداری محیط زیست و سیاره‌ای سبز است که در آن از فناوری‌های استاندارد استفاده می‌شود (پلویچ ،۲۰۱۱).

یکی از مباحثی که در زنجیره تامین مطرح شده‌است، مسئله قیمت‌گذاری است. مسئله قیمت‌گذاری محصولات همواره یکی از مشکل‌ترین تصمیم‌های هر شرکت است چراکه به شناخت دقیق عوامل مهم اثرگذار بر تقاضای سایر بنگاه‌ها، هزینه تامین این عوامل، واکنش رقبای موجود نیاز دارد. موفقیت در قیمت‌گذاری، تابعی از عوامل درونی و بیرونی سازمان است. به‌عبارت‌دیگر برای داشتن برنامه قیمتی مناسب نه تنها باید عوامل درون‌سازمانی نظیر اهداف و خط‌مشی سازمانی مدنظر قرار گیرد بلکه باید به وضعیت و سیاست‌های رقبای سازمان نیز توجه شود (اتابکی و همکاران ،۲۰۱۹).

قیمت‌گذاری در زنجیره تامین سبز یک فرآیند حیاتی است که تاثیر زیادی بر عملکرد و پایداری زنجیره تامین دارد. در این محیط، قیمت‌گذاری باید بطور هماهنگ و پایدار انجام شود تا تاثیر مثبت بر محیط زیست، اجتماع و اقتصاد داشته باشد. این فرآیند باید عوامل مختلفی را درنظر بگیرد ازجمله: هزینه‌های تولید، حمل‌ونقل، انبارداری، مواد اولیه مورداستفاده، استانداردهای زیست‌محیطی، نیازهای مشتریان، رقبا و شرایط بازار.

با توجه به اهمیت حفظ محیط زیست و توسعه پایدار، قیمت‌گذاری در زنجیره تامین سبز باید بطور استراتژیک برنامه‌ریزی شود تا به حفظ تعادل بین اقتصاد، اجتماع و محیط زیست کمک کند و به دنبال بهینه‌سازی عملکرد کلی زنجیره تامین باشد (گوسلینگ و همکاران ،۲۰۱۶).

با توجه به اهمیت حفظ محیط زیست و توسعه پایدار، صنایع و شرکت‌های صنعتی در ایران باید توجه ویژه‌ای به اصول و قوانین زیست‌محیطی داشته باشند و محصولات خود را با توجه به سازگاری با محیط‌زیست تولید کنند. مطالعات نشان می‌دهد که برای تولید محصولات در آینده، شرکت‌ها باید به عوامل مختلفی ازجمله: کاهش اثرات زیست‌محیطی مواد و اجزای استفاده‌شده در محصولات، استفاده از انرژی‌های موردنیاز در کل چرخه عمر محصول، طراحی محصولات

با حداقل مصرف انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، طراحی برای امکان استفاده مجدد از محصول یا قطعات، بازیافت محصولات و راحتی دمونتاژ آنها توجه داشته باشند. این اقدامات می‌توانند با ایجاد یک نظام مدیریت زیست‌محیطی یکپارچه، به بهینه‌سازی عملکرد کلی زنجیره تامین کمک کرده و به توسعه پایدار و محیط زیستی کمک نمایند. به‌عنوان مثال: صنعت لوازم خانگی در ایران که از سال ۱۲۸۸ شکل گرفته‌است، باید با رویکردی پیشگامانه و پاسخگویی به نیازمندی‌های محیط زیست، جامعه و نسل‌های آینده، به سوی توسعه پایدار حرکت کند و با استفاده از مدل‌های قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز، به بهینه‌سازی فعالیت‌های خود بپردازد (کالینا و همکاران ، ۲۰۲۲). از این رو دغدغه فکری، محقق را بر آن داشت که به طراحی الگوی قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و نظریه بازی (مورد مطالعه: صنعت لوازم خانگی) بپردازد.

بنابراین مشارکت اصلی این پژوهش را می‌توان در سه نکته زیر خلاصه کرد:

۱) شناسایی و غربالگری شاخص‌های مدیریت زنجیره تامین سبز در صنعت لوازم خانگی با استفاده از روش دلفی‌فازی

۲) انتخاب بهترین شرکت لوازم خانگی به‌عنوان رهبر با استفاده از روش شاخص انتخاب ارجحیت

۳) طراحی الگوی قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد نظریه‌بازی

در بخش اول به مبانی نظری و پیشینه تحقیق پرداخته می‌شود سپس در بخش دوم روش تحقیق و در بخش سوم مراحل اجرایی تحقیق بیان گردیده و در بخش چهارم نتایج بکارگیری روش پیشنهادی در یک مطالعه موردی ارائه خواهد شد. سرانجام در بخش پنجم یک نتیجه‌گیری کلی به‌همراه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

۲) مروری بر مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱) مفهوم زنجیره تامین سبز

ایده زنجیره تامین سبز[1] توسط موسسه تحقیقاتی تولید دانشگاه ایالتی میشیگان توسعه یافت. این امر براساس تحقیقات نظریه تولید سبز و فناوری مدیریت زنجیره تامین به‌منظور دستیابی به هدف حفاظت از محیط زیست و بهبود میزان بهره‌برداری از منابع توسعه یافت (تسنگ و همکاران[2]،۲۰۱۹). مدیریت زنجیره تامین سبز[3] به‌عنوان فراهم‌کننده امکانات یک زنجیره تامین سازگار با محیط زیست بعد از دهه ۱۹۹۰ به‌عنوان یک رشته تخصصی مطرح شد (سرینگ و مولر[4]،۲۰۰۸). مدیریت زنجیره تامین سبز چندین سال است که وجود داشته و توجه زیادی از دانشگاهیان و افراد متخصص در این زمینه را به‌دلیل وخامت محیطی و افزایش آگاهی حفاظت از محیط زیست جلب کرده‌است. تحقیقات زنجیره تامین سبز عمدتا بر روی تصمیمات عملیاتی زنجیره تامین و قراردادهای همکاری تمرکز دارد (کانگ و همکاران[5]،۲۰۲۱). یکی از موضوع‌های مهم درمورد شناخت مدیریت زنجیره تامین سبز این است که چگونه شرکت‌ها این فرآیندهای سبزبودن را راه‌اندازی می‌کنند. (جابور

[1] GSC
[2] Tesng
[3] GSCM
[4] Seuring and Müller
[5] Kang

و همکاران[6]،۲۰۱۴). مدیریت زنجیره تامین سبز از منظر چرخه عمر محصول شامل تمامی مراحل از مواد اولیه، طراحی و ساخت محصول، فروش محصول و حمل‌ونقل، استفاده از محصول و بازیافت محصولات می‌باشد. با استفاده از مدیریت زنجیره تامین و فناوری سبز، شرکت می‌تواند تاثیرات منفی زیست محیطی را کاهش دهد و به استفاده مطلوب از منابع و انرژی دست یابد (گائو و همکاران[7]،۲۰۲۱). برخی از محققان مدیریت زنجیره تامین سبز را تفکر زیست محیطی در مدیریت زنجیره تامین ازجمله: طراحی محصول، تهیه و انتخاب مواد، فرآیندهای تولید، تحویل محصول نهایی به مصرف‌کنندگان و همچنین مدیریت حیات محصول پس از پایان عمر مفید آن تعریف می‌کنند (هو و همکاران[8]،۲۰۱۹). مدیریت زنجیره تامین سبز دربرگیرنده روش‌هایی است که بطور بالقوه وقوع مسائل زیست‌محیطی مانند: آلودگی، مصرف منابع غیرپایدار و دفع نامناسب محصول (شارما و همکاران[9]، ۲۰۱۷) طی فرآیند تولید محصول نهایی در سازمان‌های تولیدی را به‌حداقل می‌رساند (ژائو و همکاران[10]، ۲۰۱۷). امروزه مدیریت زنجیره تامین سبز روشی ایده‌آل برای شرکت‌ها جهت دستیابی به سودهای بالاتر، به‌حداقل‌رساندن اتلاف منابع و بهبود کارآیی اکولوژیکی (زید و همکاران[11]، ۲۰۱۸)، ایجاد تعادل در مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شرکت‌ها و ارتقاء وضعیت پایدار سازمانی درنظر گرفته شده‌است (لوترا و همکاران[12]، ۲۰۱۶). درواقع مدیریت زنجیره تامین سبز شامل چندین شیوه ازجمله: مدیریت داخلی محیط زیست، خرید سبز، همکاری محیطی مشتریان و لجستیک معکوس است. صاحبان کسب‌وکار از طریق شیوه‌های مدیریت زنجیره تامین سبز، قادر به مقاومت در برابر فشارهای محیطی نظارتی دولت و همچنین مردم (خریداران، مشتریان و جوامع) هستند. شیوه‌های مدیریت زنجیره تامین سبز، سازمان‌ها را وادار می‌کند تا عملکرد کلی خود را از طریق نوآوری سبز بهبود بخشند. بطورکلی اجرای اقدامات برای حفاظت از محیط زیست ازجمله: اکوسیستم‌های خاک، هوا و آب، عملکرد محیطی[13] نامیده می‌شود. به‌عبارت‌دیگر عملکرد محیطی به نتایج واقعی تلاش‌های زیست‌محیطی از نظر حفاظت از محیط زیست اشاره دارد. این مفهوم برای شرکت‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است (عبیدات و همکاران[14]، ۲۰۲۰).

۲-۲) قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز

قیمت‌گذاری در زنجیره تامین سبز یکی از جنبه‌های حیاتی در مدیریت زنجیره تامین پایدار است. این مفهوم به تعیین قیمت محصولات و خدمات با توجه به عوامل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مرتبط با زنجیره تامین اشاره دارد. در این راستا، قیمت‌گذاری سبز باید بطور هوشمندانه و استراتژیک انجام شود تا تعادل بین سودآوری اقتصادی، حفظ محیط زیست و تاثیر مثبت بر جوامع محلی حفظ شود. این شامل درنظرگرفتن هزینه‌های زیست‌محیطی، مواد اولیه مورداستفاده، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بازیافت محصولات و استفاده از فناوری‌های پایدار می‌شود. از طرف دیگر، قیمت‌گذاری سبز می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا بازارهای جدید را جذب کرده و رقابت‌پذیری خود را افزایش دهند. از این رو،

[6] Jabbour
[7] Gao
[8] Hou
[9] Laari
[10] Zhu
[11] Zaid.
[12] Evolutionary approach
[13] Environmental performance
[14] Obeidat

تحقیقات بیشتر در زمینه قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز می‌تواند به بهبود عملکرد شرکت‌ها و توسعه پایدار کمک کند (لی و شان[15]، ۲۰۲۳). در قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز، عوامل مهمی مانند: هزینه‌های زیست‌محیطی، مواد اولیه مورداستفاده، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بازیافت محصولات و استفاده از فناوری‌های پایدار درنظر گرفته می‌شوند. این رویکرد هوشمندانه به قیمت‌گذاری، شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا بازارهای جدید را جذب کرده و رقابت‌پذیری خود را افزایش دهند. با توجه به اهمیت این مفهوم، تحقیقات بیشتر در زمینه قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز می‌تواند به بهبود عملکرد شرکت‌ها، افزایش پایداری محیط زیستی و توسعه اقتصادی کمک کند (ژانگ و همکاران[16]، ۲۰۲۳). پژوهش‌های تجربی متعددی در زمینه موضوع موردمطالعه انجام شده که در ادامه به برخی از آنها در جدول (۱) اشاره شده‌است.

جدول ۱. پیشینه پژوهش

ردیف	محقق/ سال	هدف
۱	وانگ و همکاران[17](۲۰۲۴)	در مقاله خود بر یک زنجیره تامین سه‌لایه متشکل از یک تامین‌کننده سبز، یک تولیدکننده سبز و یک خرده‌فروش تمرکز می‌کنند و با توجه به تغییرات پویا در سبزبودن محصول، از بازی‌های دیفرانسیل برای بررسی قیمت محصول، تلاش سبز و هماهنگی در سیستم استفاده کردند.
۲	لی و شان (۲۰۲۳)	قیمت‌گذاری و استراتژی‌های تلاش ترویج سبز در زنجیره تامین سبز با رویکرد نظریه بازیبررسی کردند. این تحقیق یافته‌های خود را در دو مدل ارائه می‌کند: افزایش نرخ بهره تامین مالی منجر به افزایش قیمت عمده‌فروشی و فروش کانال‌های دوکاناله و کاهش تقاضای دوکاناله می‌شود. تلاش تبلیغات سبز تاثیر مثبتی بر قیمت عمده‌فروشی، قیمت فروش و تقاضای کانال‌های دوگانه دارد.
۳	لیو و ژانگ[18](۲۰۲۲)	در مقاله خود به استراتژی‌های قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز دوکاناله با درنظرگرفتن ورودی‌های اطلاعات کلان پرداختند و نشان دادند که هرچه خرده‌فروش هزینه‌های ورودی‌های اطلاعات کلان را متحمل شود یا هزینه‌های تحقیق و توسعه سبز، خرده‌فروش قیمت خرده‌فروشی خود را تغییر نخواهد داد.
۴	شعایینی و همکاران[19](۲۰۲۲)	در پژوهش خود یک سیاست قیمت‌گذاری در طراحی زنجیره تامین سبز، تاثیر آگاهی مصرف‌کننده از محیط زیست و یارانه‌های سبز ارائه کردند. در این پژوهش از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط را برای طراحی یک زنجیره تامین حلقه بسته سبز شامل کارخانه، مراکز جمع‌آوری ترکیبی، مناطق مشتری، بازارهای ثانویه و مراکز دفع استفاده کردند.
۵	رحمانی و یاوری[20](۲۰۱۹)	در مقاله خود سیاست‌های قیمت‌گذاری برای زنجیره تامین سبز دوکاناله تحت اختلالات تقاضا با استفاده از رویکرد بازی را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقیاس بازار ناشی از اختلال، هزینه سبز پایین‌تر و سطح پایین‌تر وفاداری مشتریان به کانال خرده‌فروشی نه تنها برای زنجیره تامین مفید است بلکه باعث پیشرفت بیشتر در سطح سبزشدن محصولات سبز می‌شود.

[15] Li & Shan
[16] Zhang
[17] Wang et al
[18] Liu & Zhang
[19] Shoaeinaeini et al
[20] Rahmani & Yavari

ردیف	محقق/ سال	هدف
۶	زو و ژو[21](۲۰۱۱)	در مقاله خود به طراحی مدل قیمت‌گذاری پویا برای عملیات زنجیره تامین حلقه بسته اشاره کردند. این مطالعه یک زنجیره تامین حلقه بسته چندمرحله‌ای شامل یک تامین‌کننده و یک تولیدکننده با مراکزی همچون توزیع، تولید مجدد و استفاده مجدد است.
۷	مصرزاده و همکاران(۱۴۰۲)	در پژوهش خود نشان دادند که با افزایش قیمت کربن، زنجیره به سمت کاهش انتشار از طریق استفاده از ظرفیت‌های سبز، تمایل نشان می‌دهد و هرچه این قیمت بالاتر رود، زنجیره تامین ترجیح می‌دهد با کاهش تولید، زمینه کاهش انتشار را فراهم سازد.
۸	محمودی و همکاران(۱۳۹۹)	با مشارکت شرکت ارائه‌دهنده خدمات لجستیک، به قیمت‌گذاری در زنجیره تامین چندکاناله با استفاده از رویکرد نظریه بازی‌ها پرداختند. در این پژوهش، یک زنجیره تامین با یک تولیدکننده و یک شرکت ارائه‌دهنده خدمات لجستیک که دولت روی این زنجیره تامین نظارت می‌کند، درنظر گرفته شده‌است. دولت از طریق تعیین تعرفه به تولیدکننده بر روی زنجیره تامین نظارت می‌کند.

با بررسی مقالات فوق و یک مرور اجمالی بر ادبیات موضوع، نشان داده شده‌است که تاکنون روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از شاخص‌های انتخاب ارجحیت به اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته‌است. در این مقاله، برای اولین بار از روش‌های دلفی‌فازی، شاخص‌های انتخاب ارجحیت و رویکرد نظریه بازیاستفاده شده‌است.

استفاده از روش‌های دلفی‌فازی، شاخص‌های انتخاب ارجحیت و نظریه بازیدر این مقاله، مزایای قابل توجهی را به‌همراه دارد که می‌تواند به بهبود فرآیند تصمیم‌گیری کمک کند.

۱. دلفی‌فازی: این روش به جمع‌آوری نظرات کارشناسان به‌صورت سیستماتیک و ساختاریافته کمک می‌کند. با استفاده از مفاهیم فازی، این روش می‌تواند عدم قطعیت و ابهام در نظرات را به‌خوبی مدیریت کند. این ویژگی به تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهد تا دیدگاه‌های مختلف را با دقت بیشتری بررسی کنند.

۲. شاخص‌های انتخاب ارجحیت: این شاخص‌ها به تحلیل و رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس معیارهای مشخص می‌پردازند. استفاده از این شاخص‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب بهترین گزینه براساس اولویت‌ها و نیازهای خاص کمک کند.

۳. نظریه‌بازی: این رویکرد به تحلیل تعاملات بین تصمیم‌گیرندگان مختلف می‌پردازد و به شناسایی استراتژی‌های بهینه کمک می‌کند. در شرایطی که رقابت یا همکاری بین چندین ذینفع وجود دارد، نظریه بازیمی‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در پیش‌بینی رفتار دیگران و انتخاب بهترین استراتژی‌ها کمک کند.

۲-۳) مقایسه با روش‌های دیگر

- روش‌های سنتی: روش‌های سنتی مانند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و روش‌های تصمیم‌گیری عادی ممکن است در مدیریت عدم قطعیت و تعاملات بین ذینفعان با محدودیت‌هایی مواجه باشند. درحالیکه روش‌های ترکیبی مورداستفاده در این مقاله می‌توانند این چالش‌ها را با دقت بیشتری مدیریت کنند.

[21] Xu & Zhu

- انعطاف‌پذیری: استفاده از دلفی‌فازی و نظریه بازیبه تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که در مواجهه با شرایط پیچیده، استراتژی‌های جدید و انعطاف‌پذیری بیشتری را پیاده‌سازی کنند.

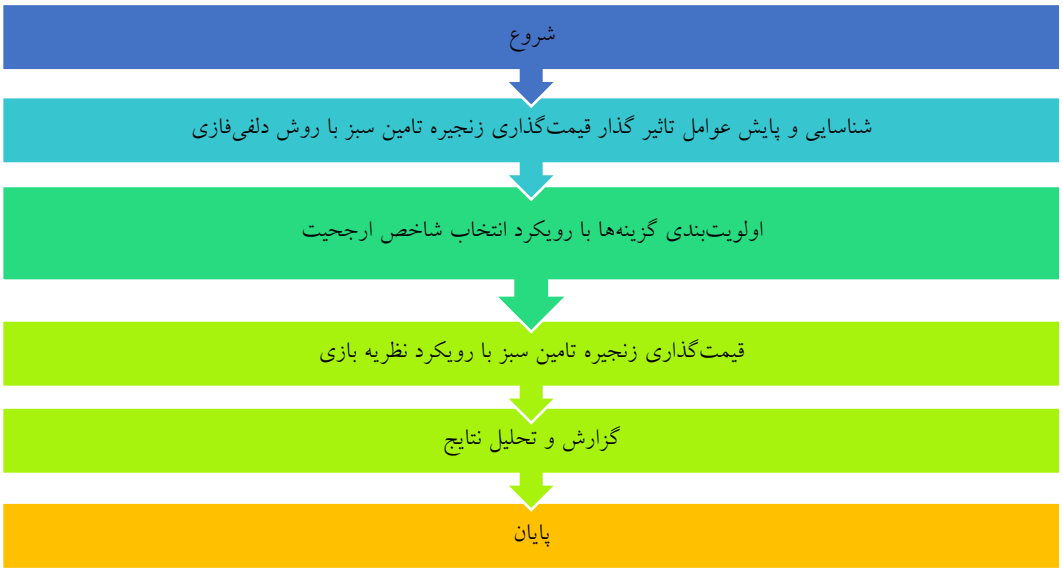
درنهایت، ترکیب این روش‌ها می‌تواند به بهبود کیفیت تصمیم‌گیری و کاهش ریسک‌های مرتبط با انتخاب گزینه‌های نادرست کمک کند.

۳) روش تحقیق

پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت و اهداف، یک تحقیق توسعه‌ای-کاربردی است که در زمره مدل‌سازی ریاضی قرار دارد. جامعه آماری این پژوهش شامل تعدادی از مدیران عالی، کارشناسان مسئول فعال و اساتید دانشگاه در حوزه زنجیره تامین سبز می‌باشد. جمع‌آوری داده‌های موردنیاز برای این پژوهش به سه صورت کتابخانه‌ای، مراجعه به اسناد و مدارک و میدانی است. با استفاده از روش کتابخانه‌ای به تدوین چارچوب نظری تحقیق، مطالعات تحقیقات پیشین و بررسی نظریات محققان پرداخته شده‌است. پس از بررسی ارزیابی تحقیقات مرتبط با موضوع و همچنین شناخت جامعه موردمطالعه، مفاهیم موردبررسی مطرح شده‌است. ابزار گردآوری داده نیز پرسشنامه است. در این تحقیق، با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند و گلوله‌برفی، ۱۳ نفر از خبرگان علم و صنعت که ۱- دارای ۸ سال سابقه کار به بالا بودند، ۲- دارای مدرک مربوطه بودند و ۳- تمایل به همکاری در این حوزه را داشتند، انتخاب شدند و پرسشنامه طراحی‌شده در اختیار آنها قرار گرفت.

ابتدا با استفاده از روش دلفی‌فازی، مهمترین شاخص‌های مدیریت زنجیره تامین سبز شناسایی و غربالگری شدند. سپس با استفاده از رویکرد شاخص انتخاب ارجحیت، بهترین شرکت لوازم خانگی به‌عنوان شرکت رهبر انتخاب شد. درنهایت با استفاده از رویکرد نظریه‌بازی، الگوی قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز تدوین گردید.

الگوی کلی مراحل پژوهش حاضر در شکل (۱) ارائه شده‌است. هریک از مراحل اجرای پژوهش در ادامه تشریح شده‌است.



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

۳-۱) مراحل اجرایی تحقیق

۳-۱-۱) روش دلفی‌فازی

روش دلفی برای نخستین‌بار توسط دالکی و هلمر در سال ۱۹۶۳ ارائه شد. این تکنیک روشی پیمایشی مبتنی بر نظرهای متخصصان است و سه خصوصیت اصلی دارد که عبارتنداز: پاسخ بی‌نام، تکرار و بازخورد کنترل‌شده و درنهایت پاسخ گروهی آماری. این تکنیک روشی نظام‌مند به‌منظور جمع‌آوری و هماهنگی قضاوت‌های آگاهانه گروهی از متخصصان درباره سئوال یا موضوعی خاص است. در بسیاری از موقعیت‌های واقعی، قضاوت متخصصان نمی‌تواند به‌صورت اعداد کمّی قطعی بیان و تفسیر شود. به‌عبارت‌دیگر؛ داده‌ها و اعداد قطعی به‌منظور مدل‌کردن سیستم‌های دنیای واقعی به‌علت ابهام و عدم قطعیت موجود در قضاوت تصمیم‌گیرندگان ناکافی است. در این راستا به‌منظور غلبه بر این مشکل "نظریه مجموعه‌های فازی" در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی‌زاده ارائه شدکه ابزار مناسبی برای مقابله با ابهام و عدم قطعیت موجود در فرآیند تصمیم‌گیری است. در این پژوهش از روش دلفی‌فازی به‌منظور تایید و غربالگری شاخص‌های شناسایی‌شده استفاده گردید. این روش ترکیبی از روش دلفی و نظریه مجموعه‌های فازی است که ایشیکاوا و همکاران ارائه کردند (صفی و رسمانی[۲۲]،۲۰۱۶).

گام‌های روش دلفی‌فازی عبارتند از:

۱) شناسایی شاخص‌های پژوهش با استفاده از مرور جامع مبانی نظری پژوهش

۲) جمع‌آوری نظرهای متخصصان تصمیم‌گیرنده: در این گام بعد از شناسایی معیارها، گروه تصمیم‌گیری متشکل از خبرگان مرتبط با موضوع پژوهش تشکیل شده و پرسشنامه‌ها به‌منظور تعیین مرتبط‌بودن شاخص‌های شناسایی‌شده با موضوع اصلی پژوهش و غربالگری برای آنها ارسال می‌شود (موسوی و همکاران[۲۳]،۲۰۱۵).

۳) آن متغیرهای زبانی جدول (۲)، برای بیان اهمیت هر شاخص بکار می‌روند. در این پژوهش از اعداد فازی مثلثی استفاده شده‌است.

جدول ۲. طیف پنج درجه‌ای فازی

متغیر کلامی	نماد	مقدار فازی	عدد فازی مثلثی	مقدار قطعی
خیلی کم	UL	$\tilde{1}$	(0,0,0.25)	۰/۰۶۲۵
کم	L	$\tilde{2}$	(0,0.25,0.25)	۰/۳۱۲۵
متوسط	M	$\tilde{3}$	(0.25,0.5,0.25)	۰/۶۲۵
زیاد	H	$\tilde{4}$	(0.5,0.75,1)	۰/۸۷۵
خیلی زیاد	VH	$\tilde{5}$	(0.75,1,1)	۱/۰۶۲۵

[22] Saffie & Rasmani,
[23] Mousavi et al

۴) تایید و غربالگری شاخص‌ها: این کار از طریق مقایسه مقدار ارزش اکتسابی هر شاخص با مقدار آستانه $\tilde{S}$ صورت می‌پذیرد. مقدار آستانه با استنباط ذهنی تصمیم‌گیرنده معین می‌شود و مستقیم بر روی تعداد عواملی که غربال می‌شوند، تاثیرخواهد داشت. هیچ راه ساده و قانونی برای تعیین مقدار آستانه وجود ندارد. در این پژوهش مقدار ۰/۷ به‌عنوان مقدار آستانه درنظر گرفته شده‌است. برای این کار ابتدا باید مقادیر فازی مثلثی نظرهای خبرگان محاسبه شده سپس برای محاسبه میانگین نظرات n پاسخ‌دهنده، میانگین فازی آنها محاسبه شود. محاسبه عدد فازی τ برای هریک از شاخص‌ها با استفاده از روابط زیر صورت می‌گیرد.

$$\tilde{\tau}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), \quad i = 1,2,\dots,n \quad j = 1,2,\dots,m \tag{۱}$$

$$a_j = \sum \frac{a_{ij}}{n} \tag{۲}$$

$$b_j = \sum \frac{b_{ij}}{n} \tag{۳}$$

$$c_j = \sum \frac{c_{ij}}{n} \tag{۴}$$

در روابط بالا اندیس i به فرد خبره و اندیس j به شاخص تصمیم‌گیری اشاره دارد. همچنین مقدار دیفازی‌شده میانگین عدد فازی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\text{Crisp} = \frac{a+b+c}{3} \tag{۵}$$

۳-۱-۲) روش شاخص انتخاب ارجحیت

روش شاخص انتخاب ارجحیت، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که هدف آن محاسبه وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. در بیشتر روش‌های تصمیم‌گیری در یک مسئله، برای رتبه‌بندی گزینه‌ها باید اهمیت نسبی معیارها مشخص شود که این اهمیت نسبی معمولا با روشی دیگر صورت می‌گیرد. استفاده از تکنیک شاخص انتخاب ارجحیت در تعیین وزن نسبی معیارها، این امکان را فراهم می‌آورد که وزن‌ها بطور مستقیم و مرتبط با داده‌های موجود محاسبه شوند. این ویژگی باعث می‌شود که روش مذکور در مقایسه با دیگر تکنیک‌ها از محاسبات کمتری برخوردار باشد و باعث کاهش اشتباهات در مسائل بزرگتر شود. مراحل این روش در ادامه آورده شده‌است (مانیا و بیهت[۲۴]، ۲۰۱۰).

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم

در این بخش ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود. ماتریس تصمیم این روش، یک ماتریس معیار گزینه می‌باشد یعنی ماتریسی که گزینه‌ها در سطرهای آن و معیارها در ستون‌ها قرار می‌گیرند و هر سلول این ماتریس ارزیابی هر گزینه نسبت به هر معیار است.

گام دوم: بی‌مقیاس‌کردن ماتریس تصمیم

برای بی‌مقیاس‌کردن معیارهای مثبت و منفی به‌ترتیب از روابط ۶ و ۷ استفاده می‌شود. با نرمال‌سازی، کلیه درایه‌ها در بازه ۰ تا ۱ قرار می‌گیرند.

[24] Mania and Bihet

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (۶)$$

$$r_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (۷)$$

گام سوم: محاسبه مقدار تفاوت هر معیار

در این گام با استفاده از رابطه ۸ مقدار تفاوت هر معیار را محاسبه می‌کنیم. که در این رابطه $\overline{R}_j$ میانگین حسابی درایه‌های هر ستون معیار است که از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$PV_j = \sum_{i=1}^{N} \left[R_{ij} - \overline{R}_j\right]^2 \quad (۸)$$

$$\overline{R}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{n} R_{ij} \quad (۹)$$

گام چهارم: محاسبه میزان انحراف هر شاخص

در این گام با استفاده از رابطه ۱۰ انحراف هر شاخص محاسبه می‌شود. درواقع انحراف هر شاخص از تفاضل تفاوت هر شاخص با عدد ۱ حاصل می‌شود.

$$\varphi_j = 1 - PV_j \quad (۱۰)$$

گام پنجم: محاسبه مقدار ارجحیت کل (وزن معیارها)

در این گام با استفاده از رابطه ۱۱ مقدار ارجحیت کل هر معیار به‌دست می‌آید. همچنین رابطه $\sum \psi = 1$ همواره برقرار می‌باشد.

$$\psi_j = \frac{\varphi_j}{\sum \varphi_j} \quad (۱۱)$$

گام ششم: محاسبه امتیاز نهایی و رتبه گزینه‌ها

در این گام با استفاده از رابطه ۱۲ امتیاز نهایی هر گزینه محاسبه می‌شود. به‌بیان‌دیگر امتیاز نهایی هر گزینه از مجموع ضرب وزن معیارها در ماتریس نرمال حاصل می‌شود. سپس براساس امتیاز، رتبه گزینه‌ها محاسبه می‌شود.

$$I_i = \sum_{j=1}^{m} (R_{ij} \times \psi_j) \quad (۱۲)$$

۳-۱-۳) رویکرد نظریه‌بازی

صنعت لوازم خانگی یک بخش رقابتی و پویا است. لوازم خانگی به عنوان کالاهایی با ویژگی‌های مشابه، در حال حاضر توسط تعدادی از شرکت‌های بزرگ و معتبر در سطح جهانی تولید می‌شوند. این شرکت‌ها با تمرکز بر نوآوری، کیفیت و خدمات مشتری، سعی در بهبود محصولات و افزایش سهم بازار خود دارند. در این صنعت، رقابت میان برندها به شدت وجود دارد و شرکت‌ها به دنبال ارائه محصولات متنوع و با تکنولوژی‌های پیشرفته هستند تا نیازهای متغیر مشتریان را

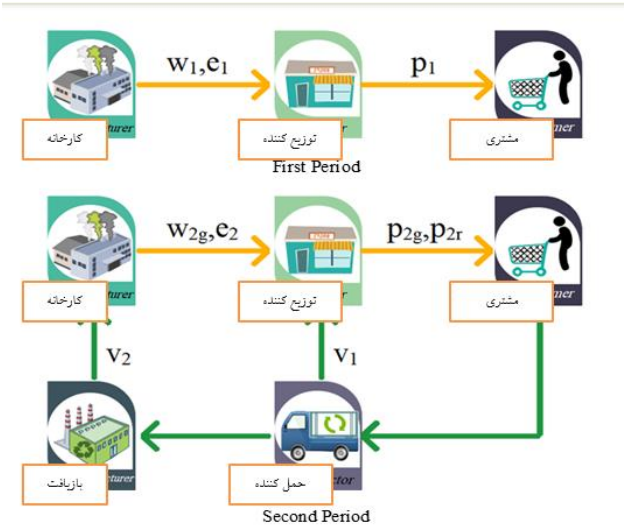
برآورده کنند (دینگا و ون[25]، ۲۰۲۲; مونیر و پونسارد[26]، ۲۰۱۴; پونسارد و رن و همکاران[27]، ۲۰۲۳). بنابراین، تعادل در این بازار رقابتی ناقص ناشی از تعاملات استراتژیک تمامی تولیدکنندگانی است که هدفشان حداکثر کردن سود شخصی با در نظر گرفتن شرایط بازار مشترک است. برای بررسی این موضوع، این پژوهش یک مدل انحصاری را طراحی می‌کند که بر اساس یک نمایه تکنولوژیکی و فضایی از بازار لوازم خانگی، شامل ۵ منتخب در این حوزه است. این مدل کمک می‌کند تا رفتار و استراتژی‌های این شرکت‌ها را تحلیل کرده و تأثیرات آن‌ها بر بازار را بهتر درک شود. فرض می شود که شرکت‌ها بازیگران استراتژیکی هستند که سود مربوطه خود را به طور همزمان به حداکثر می‌رسانند، زیرا استراتژی‌های آنها با شرایط واضح بازار که برای همه شرکت ها مشترک است به هم مرتبط است.

از دیدگاه اقتصادی، مدل در نظر گرفته شده یک بازی چند رهبر-پیرو مشترک است (لیو و همکاران[28]، ۲۰۲۱)، که در آن رهبران شرکت هایی هستند که یک رفتار استراتژیک دارند و پیرو با بازار لوازم خانگی که در آن همه تولیدکنندگان مشارکت و مواضعشان روشن است نمایش داده می شوند.

یک فرآیند معمولی تولید لوازم خانگی بر اساس سه مرحله اصلی است: ابتدا، مواد اولیه مانند فلزات، پلاستیک‌ها و شیشه‌ها تأمین و آماده‌سازی می‌شوند. سپس این مواد در مراحل مختلف به قطعات مختلفی تبدیل می‌شوند که شامل بدنه، موتور و اجزای الکترونیکی هستند و در نهایت، این قطعات در خط تولید مونتاژ شده و به محصولات نهایی مانند یخچال و ماشین لباسشویی تبدیل می‌شوند. پس از تولید، لوازم خانگی به دقت بسته‌بندی می‌شوند تا در حین حمل و نقل آسیب نبینند و سپس به فروشگاه‌ها و مشتریان توزیع می‌شوند. بسته به نوع لوازم خانگی، فرآیند تولید می‌تواند به روش‌های سنتی یا مدرن انجام شود که روش‌های مدرن معمولاً از نظر مصرف انرژی و کارایی بهتر عمل می‌کنند و به کاهش انتشار کربن کمک می‌کنند. بهینه‌سازی مراحل تولید و استفاده از مواد اولیه با کیفیت، به تولید محصولات با کیفیت و کارآمد کمک می‌کند که نیازهای مشتریان را برآورده کرده و به حفظ محیط زیست نیز کمک می‌نمایند.

یک مدل استکلبرگ مناسب نشان دهنده یک سلسله مراتب در فرآیند تصمیم گیری است که معمولاً با مشکلات مربوط به عوامل بازار مواجه است مطابقت دارد. این بازی یک بازی راهبردی در علم اقتصاد و یک رقابت ترتیبی و ناقص است. در اصطلاح اقتصادی ناقص بودن رقابت یا بازار اشاره به بازاری دارد که در آن عناصر و عوامل انحصاری کم و بیش حضور دارند. به بیان دیگر تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان تا حدودی می‌توانند بر قیمت‌ها در بازار اثر بگذارند .بنابراین، چنین مدلی به طور گسترده برای نشان دادن بازارهای الیگپولی به شکل مسئله دوسطحی استفاده شده است

[25] Dinga and Wen
[26] Meunier and Ponssard
[27] Ren et al.
[28] Liu et al.



شکل ۲-رابطه بین بازیکنان زنجیره تأمین حلقه بسته

۳-۱-۳-۱)پارامترها

برای سادگی و تشریح مدل به به معرفی اندیس ها ، پارامترها متغیرهای تصمیم مسئله سطح بالایی و متغیرهای اولیه و سطح دوگان سطح پایینی شرکت های لوازم خانگی در جداول ۳ پرداخته می شود.

جدول ۳. مجموعه ها

مجموعه ای از کارخانه های فعال مواد اولیه لوازم خانگی در بازار $\mathbf{J} = \{1, \dots, \bar{J}\}$	J
مجموعه ای از شرکت های لوازم خانگی فعال در بازار $\boldsymbol{R} = \{1, \dots \bar{R}\}$	R
مجموعه ای از کارخانه های مواد اولیه لوازم خانگی که متعلق به تولید کننده استراتژیک r ام	Ω_r
مجموعه بازارهای مصرف	I
مجموعه تکنولوژی های تولید لوازم خانگی $\boldsymbol{U} = \{1, \dots \bar{U}\}$	U

جدول ٤. پارامترها

هزینه مطلوبیت (سود) مصرف کنندگان لوازم خانگی در ناحیه i	λ_i^c
هزینه های تولیدات جانبی لوازم خانگی از کارخانه j ام با تکنولوژی u در ناحیه i	$C_{j,i,u}^c$
ظرفیت تولیدات لوازم خانگی از کارخانه j با تکنولوژی u در ناخیه i	$Q_{j,i,u}^c$
کمک‌های دولتی یا یارانه برای تولید لوازم خانگی سبز در کارخانه j با تکنولوژی u	$GA_{j,i,u}$
میانگین ضریب انتشار در هر تن تولید لوازم خانگی در ناحیه i با تکنولوژی u	$\tau_{i,u}$
قیمت co2	P^{co2}
کران بالایی تقاضای لوازم خانگی در ناحیه i	D_i^c
کران بالایی مصرف لوازم خانگی بین ناحیه iوh	$S_{j,i,h}^c$
متغیر تصمیم مسئله سطح بالایی x_r	
قیمت لوازم خانگی پیشنهادی کارخانه j در ناحیه i با تکنولوژی u	$\alpha_{j,i,u}^c$

جدول ٥ . متغیرهای اولیه در سطح پایین مسئله لوازم خانگی y

لوازم خانگی تولید شده بوسیله کارخانه j با تکنولوژی u در ناحیهi	$q_{j,i,u}^c$
لوازم خانگی تولید شده بوسیله کارخانه j و مصرف شده بین ناحیه i و h	$s_{j,i,h}^c$

تقاضای لوازم خانگی در ناحیه i	d_i^c
متغیر دوگان در سطح پایین مسئله لوازم خانگی	μ
قیمت لوازم خانگی در ناحیه i	p_i^c

۳-۱-۳-۲) مسئله سطح بالا و پایین

هر شرکت لوازم خانگی $r\epsilon R$ که به عنوان یک تولید کننده استراتژیک عمل می کند، مسئله زیر را به منظور تعیین پیشنهادات تولید لوازم خانگی خودش و سایر متغیرهای تصمیم گیری حل می نماید. به بیان دقیق تر هر تولید کننده سعی می کند سود خود را با توجه به درآمد لوازم خانگی و هزینه های تولید و همچنین در نظر گرفتن هزینه های کنترل کربن در شرکت هایی که در معرض مقررات محیط زیست قرار دارند، به حداکثر برساند.

$$\max \sum_{j\in\Omega_r i,h\in I} p_h^c . s_{j,i,h}^c - \sum_{j\in\Omega_r i\in I,u\in U} C_{j,i,u}^c . q_{j,i,u}^c + P^{CO2} . \sum_{j\in\Omega_r i\in I_{ETS},u\in U}\left(GA_{j,i,u} - \tau_{i,u} . q_{j,i,u}^c\right) \quad (۱۳)$$

s.t

$$\alpha_{j,i,l}^c \geq 0 \qquad \forall i,j \quad (۱۴)$$

$$\alpha_{j,i,u}^c \geq \alpha_{j,i,u-1}^c \quad \forall i,j,\forall u > 1 \quad (۱۵)$$

$$\min \sum_{j\in J,i\in I,u\in U} \alpha_{j,i,u}^c . q_{j,i,u}^c - \sum_{i\in I} \lambda_i^c . d_i^c \quad (۱۶)$$

s.t

$$0 \leq q_{j,i,u}^c \leq Q_{j,i,u}^c \quad (۱۷)$$

$$0 \leq d_i^c \leq D_i^c \quad (۱۸)$$

$$0 \leq s_{j,i,h}^c \leq S_{j,i,h}^c \quad (۱۹)$$

$$\sum_{j\in J,i\in I} s_{j,i,h}^c = d_h^c \quad (۲۰)$$

$$\sum_{u\in U} q_{j,i,u}^c = \sum_{h\in I} s_{j,i,h}^c \quad (۲۱)$$

که در آن متغیرهای تصمیم سطح بالایی $x_r = \{\alpha_{j,i,u}^c \ \forall i,u,j \in \Omega_r\}$ و متغیرهای دوگان و اولیه سطح پایین y و μ هستند در بخش زیر مشخص شده‌اند.

قیمت پیشنهادی استراتژیک $\alpha_{j,i,u}^c$ یک تولیدکننده ممکن است به طور قابل توجهی از هزینه نهایی واقعی آن $C_{j,i,u}^c$ منحرف شود.

همچنین فرض می شود که تکنولوژی های از ارزان‌ترین تا گران‌ترین استفاده می‌شود همانطور که اکثر بازارها نیاز دارند، محدودیت‌های (۱۴) و (۱۵) به مسئله سطح بالا اضافه می‌شوند. از دیدگاه اقتصادی، $\alpha_{j,i,u}^c$ نشان دهنده گسسته سازی گام به گام منحنی عرضه کارخانهj است. یعنی قیمتی را تعیین می کند که کارخانه مایل به فروش برای هر سطح تولید است. همانطور که مشا هده می کنیم در معادلات سطح پایین ۱۶ تا ۲۱ متغیر های تصمیم $q_{j,i,u}^c$ و d_i^c و $s_{j,i,h}^c$ می باشند. محدودیت های ۱۴ و ۱۵

شامل مسائل سطح بالا می باشد. تابع هدف ۱۶ نشان دهنده ماکزیمم رفاه اجتماعی (می نیمم هزینه های تولید منهای بهره تقاضا) و محدودیت ۱۷ محدودیت ظرفیت کارخانه ، محدودیت ۱۸ محدودیت تقاضا ، محدودیت ۱۹ محدودیت میزان لوازم خانگی که میان موقعیت کارخانه ها در نواحی مختلف مبادله می شود و محدودیت ۲۰ شرایط واضح در بازار لوازم خانگی شرکت i و محدودیت ۲۱ میزان کل لوازم خانگی فروخته شده در بازار را نشان می دهد.

برای تبدیل مسئله دوسطحی به یک مسئله تک سطحی، مسئله سطح پایین تر با شرایط بهینه مرتبه اول آن جایگزین می‌شود. یک امکان استخراج شرایط KKT مشکل سطح پایین است. با این حال، این شامل شرایط تکمیلی غیر محدب است که ممکن است مانع همگرایی روش حل شود. خطی بودن مسئله سطح پایین شرایط بهینه مشتق مرتبه اول در شکل فرمول اولیه دوگان جایگزین دیگری که از آن بهره برداری می کند یعنی محدودیت های اولیه (۲۴)، محدودیت های دوگان (۲۶)-(۲۷)، وقضیه دوگان قوی (۲۵). این محدودیت ها خطی هستند و موارد بعدی مشتق پذیری برنامه ریاضی با محدودیت های تعادلی را ساده می کنند.

$$\max f_r(x_r, y, \mu) \quad (۲۲)$$

s.t

$$Dx_r \leq 0 \quad (۲۳)$$

$$Ay \leq b \quad (۲۴)$$

$$c(x_r, x_{-r}) + A^T\mu = 0 \quad (۲۵)$$

$$c(x_r, x_{-r})^T y = -b^T\mu \quad (۲۶)$$

$$\mu \geq 0 \quad (۲۷)$$

با بکارگیری روش فوق برای مسئله دوسطحی توسعه یافته (۱۳)-(۲۱) ازهر استراتژی شرکت r ∈ J مسئله تک سطحی زیر بدست می آید:

$$\max \sum_{j\in\Omega_r i,h\in I} p_h^c . s_{j,i,h}^c - \sum_{j\in\Omega_r i\in I,u\in U} C_{j,i,u}^c . q_{j,i,u}^c + P^{CO2} . \sum_{j\in\Omega_r i\in I_{ETS},u\in U}\left(GA_{j,i,u} - \tau_{i,u} . q_{j,i,u}^c\right) \quad (۲۸)$$

s.t

$$\alpha_{j,i,l}^c \geq 0 \qquad \forall i,j \quad (۲۹)$$

$$\alpha_{j,i,u}^c \geq \alpha_{j,i,u-1}^c \quad \forall i,j,\forall u > 1 \quad (۳۰)$$

$$0 \leq q_{j,i,u}^c \leq Q_{j,i,u}^c \quad (۳۱)$$

$$0 \leq d_i^c \leq D_i^c \quad (۳۲)$$

$$0 \leq s_{j,i,h}^c \leq S_{j,i,h}^c \quad (۳۳)$$

$$\sum_{j\in J,i\in I} s_{j,i,h}^c = d_h^c \quad (۳۴)$$

$$\sum_{u\in U} q_{j,i,u}^c = \sum_{h\in I} s_{j,i,h}^c \quad (۳۵)$$

$$\sum_{j\in J,i\in I,u\in U} \alpha_{j,i,u}^{c} q_{j,i,u}^{c} - \sum_{i\in I} \lambda_i^c d_i^c + \sum_{j\in J,i\in I,u\in U} \mu_{j,i,u}^{c,max} Q_{j,i,u}^{c} + \sum_{i\in I} \delta_i^{c,max} D_i^c + \sum_{j\in J,i,h\in I} \pi_{j,i,h}^{c,max} S_{j,i,h}^{c} = 0 \quad (۳۶)$$

$$\alpha_{j,i,u}^{c} = \mu_{j,i,u}^{c,min} - \mu_{j,i,u}^{c,max} + \gamma_{j,i}^{c} \quad (۳۷)$$

$$-\lambda_i^c = \delta_{j,i,u}^{c,min} - \delta_{j,i,u}^{c,max} + p_i^c \quad (۳۸)$$

$$0 = \pi_{j,i,h}^{c,min} - \pi_{j,i,h}^{c,max} + p_h^c - \gamma_{j,i}^{c} \quad (۳۹)$$

$$\mu_{j,i,u}^{c,min}, \mu_{j,i,u}^{c,max}, \delta_{j,i,u}^{c,max}, \delta_{j,i,u}^{c,min}, \pi_{j,i,h}^{c,min}, \pi_{j,i,h}^{c,max} \geq 0$$

توجه داشته باشید که مسئله سطح پایین (۱۶)-(۲۱) با شرایط بهینه مرتبه اول آن یعنی قیود اولیه (۳۱)-(۳۵)، قیود دوگان (۳۷)-(۳۹) و قضیه دوگانگی قوی (۳۶) جایگزین شده است .

۴) یافته‌ها

۴-۱) شناسایی، پالایش و غربال شاخص‌ها با تکنیک دلفی‌فازی

ابتدا براساس ادبیات پژوهش و مصاحبه‌های تخصصی انجام‌شده، مجموعه‌ای از شاخص‌ها در جدول (۶) شناسایی شده‌است. برای غربال و تایید نهایی شاخص‌ها از روش دلفی‌فازی استفاده شده‌است.

جدول٦. نمادگذاری شاخص‌ها

نماد	شرح شاخص	منابع
C1	حجم مواد اولیه	گوارنیری و همکاران[۲۹] (۲۰۱۵)
C2	ظرفیت واحد	(بویوکوزکان و سیفچی[۳۰]،۲۰۱۱؛ ساویک[۳۱]،۲۰۱۶)
C3	نیروی انسانی	(امینی،۱۳۹۸)- (شجاع، ۱۳۹۹)
C4	میزان سربار تولید	(لی، ۲۰۲۱)
C5	هزینه نگهداری	(هاشمی و همکاران،۲۰۱۵؛ کنان[۳۲]،۲۰۱۸، لی، ۲۰۲۱)
C6	هزینه تعمیرات	(ژائو و همکاران[۳۳]،۲۰۱۸؛ گویندا و همکاران[۳۴]،۲۰۱۶، شعاییني، ۲۰۲۲)
C7	هزینه تولید مستقیم	(لوترا و همکاران[۳۵]،۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران[۳۶]،۲۰۱۷، شعاییني، ۲۰۲۲)
C8	مساحت تولید	بویوکوزکان و سیفچی[۳۷]،۲۰۱۱؛ ساویک[۳۸]،۲۰۱۶)

[29] Guarnieri et al
[30] Buyukozkan &Cifci
[31] Sawik
[32] Kannan
[33] Zhu et al
[34] Govindan et al
[35] Luthra et al
[36] Golini et al
[37] Buyukozkan &Cifci
[38] Sawik

نماد	شرح شاخص	منابع
C9	طراحی محصول پایدار برای کاهش مواد مصرفی و هزینه	(ژائو و همکاران،۲۰۱۸؛ گویندا و همکاران[39]،۲۰۱۶)
C10	سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه برای محصولات پایدار	(کالیک و باردودین[40]،۲۰۱۶؛ انصاری و کانت[41]، ۲۰۱۷)
C11	هزینه نهایی برای خرید یک واحد از مواد خام یا محصول نیمه ساخته	(هاشمی و همکاران،۲۰۱۵؛ کنان[42]،۲۰۱۸)
C12	میزان تولید	
C13	معکوس تلفات	(لوترا و همکاران،۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران،۲۰۱۷) (شعایینی، ۲۰۲۲)
C14	سود حاصل از فروش	(هاشمی و همکاران،۲۰۱۵؛ کنان،۲۰۱۸)
C15	کاهش آلایندگی محیطی	هسو و همکاران[43] (۲۰۱۶)
C16	کاهش آلایندگی هوا	(تسنگ و همکاران[44]،۲۰۱۱؛ گریم و همکاران[45]،۲۰۱۴)
C17	بازگشت سرمایه محصولات	(هامفریس و همکاران[46]،۲۰۰۳؛ یه و همکاران[47]،۲۰۱۱)
C18	توانایی لجستیک سبز	(لی و همکاران[48]،۲۰۱۸؛ ماتیواتانان و همکاران[49]،۲۰۱۸)
C19	پاسخ سریع به مشتریان و تقاضای بازار برای محصولات سبز	(لوترا و همکاران،۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران ،۲۰۱۷)
C20	طراحی محصول برای کاهش اثرگذاری بر محیط	(طارق و همکاران[50]،۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران، ۲۰۱۷)

مرحله اول دلفی‌فازی

در این مرحله، پرسشنامه‌ای شامل ۲۰ شاخص دراختیار ۱۳ خبره قرار داده شد و از آنها خواسته شد، نظر خود را در رابطه با هر سئوال براساس طیف خیلی‌کم تا خیلی‌زیاد بیان کنند. نتایج اولیه از نظرات خبرگان در جدول (۷) آورده شده‌است.

جدول۷. نتایج اولیه نظرات خبرگان

نام معیار	میزان اهمیت				
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
حجم مواد اولیه	۰	۱	۴	۵	۳
ظرفیت واحد	۰	۳	۲	۳	۵
نیروی انسانی	۰	۳	۱	۴	۵
میزان سربار تولید	۰	۱	۳	۵	۴
هزینه نگهداری	۰	۱	۳	۴	۵
هزینه تعمیرات	۰	۲	۳	۳	۵

[39] Govindan
[40] Calik and Bardudeen
[41] Ansari and Kant
[42] Kannan
[43] Hsu et al
[44] Tseng et al
[45] Grimm et al
[46] Humphreys et al
[47] Yeh et al
[48] Li et al
[49] Mathivathanan et al
[50] Tariq et al

نام معیار	میزان اهمیت				
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
هزینه تولید مستقیم	۰	۱	۴	۵	۳
مساحت تولید	۰	۱	۴	۶	۲
طراحی محصول پایدار برای کاهش مواد مصرفی و هزینه	۰	۳	۴	۳	۳
سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای محصولات پایدار	۰	۵	۴	۳	۱
هزینه نهایی برای خرید یک واحد از مواد خام یا محصول نیمه‌ساخته	۲	۴	۴	۳	۰
میزان تولید	۰	۲	۲	۷	۲
معکوس تلفات	۰	۳	۲	۳	۵
سود حاصل از فروش	۰	۲	۴	۳	۴
کاهش آلایندگی محیطی	۰	۱	۳	۴	۵
کاهش آلایندگی هوا	۰	۲	۲	۷	۲
بازگشت سرمایه محصولات	۰	۳	۵	۴	۱
توانایی لجستیک سبز	۰	۴	۲	۳	۴
پاسخ سریع به مشتریان و تقاضای بازار برای محصولات سبز	۱	۲	۶	۴	۰
طراحی محصول برای کاهش اثرگذاری بر محیط	۰	۳	۶	۳	۱

در جدول (۷) شمارش نظرات خبرگان به شاخص‌های پژوهش آورده شده‌است. برای فازی‌سازی اعداد، ابتدا براساس طیف جدول (۲) به عدد فازی تبدیل می‌کنیم سپس براساس روابط ۲ تا ۴ میانگین فازی از امتیازات اخذ می‌شود و سپس توسط رابطه ۵ میانگین فازی به عدد قطعی تبدیل می‌شود. نتایج کلیه محاسبات فازی‌سازی در مرحله اول دلفی، در جدول (۸) آورده شده‌است.

در این پژوهش عدد آستانه ۰/۷ درنظر گرفته می‌شود که نتایج نشان می‌دهد ۷ معیار، میانگین غیرفازی کمتر از ۰/۷ کسب کرده‌اند؛ درنتیجه حذف می‌شوند.

جدول۸. نتایج مرحله اول دلفی‌فازی

نام معیار	امتیاز فازی	امتیاز غیرفازی	وضعیت
حجم مواد اولیه	(۰.۴۷۹,۰.۷۵,۰.۹۵۸)	۰.۷۲۹	تایید
ظرفیت واحد	(۰.۴۷۹,۰.۷۵,۰.۹۱۷)	۰.۷۱۵	تایید
نیروی انسانی	(۰.۵,۰.۷۷۱,۰.۹۳۸)	۰.۷۳۶	تایید
میزان سربار تولید	(۰.۵۲۱,۰.۷۹۲,۰.۹۷۹)	۰.۷۶۴	تایید
هزینه نگهداری	(۰.۵۴۲,۰.۸۱۳,۰.۹۷۹)	۰.۷۷۸	تایید
هزینه تعمیرات	(۰.۵,۰.۷۷۱,۰.۹۳۸)	۰.۷۳۶	تایید
هزینه تولید مستقیم	(۰.۴۷۹,۰.۷۵,۰.۹۵۸)	۰.۷۲۹	تایید
مساحت تولید	(۰.۴۵۸,۰.۷۲۹,۰.۹۵۸)	۰.۷۱۵	تایید
طراحی محصول پایدار برای کاهش مواد مصرفی و هزینه	(۰.۳۹۶,۰.۶۶۷,۰.۸۷۵)	۰.۶۴۶	رد

نام معیار	امتیاز فازی	امتیاز غیرفازی	وضعیت
سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای محصولات پایدار	(۰.۲۷۱,۰.۵۴۲,۰.۷۹۲)	۰.۵۳۵	رد
هزینه نهایی برای خرید یک واحد از مواد خام یا محصول نیمه‌ساخته	(۰.۲۰۸,۰.۴۳۸,۰.۷۰۸)	۰.۴۵۱	رد
میزان تولید	(۰.۴۵۸,۰.۷۲۹,۰.۹۵۸)	۰.۷۱۵	تایید
معکوس تلفات	(۰.۴۷۹,۰.۷۵,۰.۹۱۷)	۰.۷۱۵	تایید
سود حاصل از فروش	(۰.۴۵۸,۰.۷۲۹,۰.۹۱۷)	۰.۷۰۱	تایید
کاهش آلایندگی محیطی	(۰.۵۴۲,۰.۸۱۳,۰.۹۷۹)	۰.۷۷۸	تایید
کاهش آلایندگی هوا	(۰.۴۵۸,۰.۷۲۹,۰.۹۵۸)	۰.۷۱۵	تایید
بازگشت سرمایه محصولات	(۰.۳۳۳,۰.۶۰۴,۰.۸۵۴)	۰.۵۹۷	رد
توانایی لجستیک سبز	(۰.۴۱۷,۰.۶۸۸,۰.۸۷۵)	۰.۶۶۰	رد
پاسخ سریع به مشتریان و تقاضای بازار برای محصولات سبز	(۰.۲۹۲,۰.۵۴۲,۰.۸۱۳)	۰.۵۴۹	رد
طراحی محصول برای کاهش اثرگذاری بر محیط	(۰.۳۱۳,۰.۵۸۳,۰.۸۳۳)	۰.۵۷۶	رد

–مرحله دوم دلفی‌فازی

در این مرحله معیارهای تاییدشده مرحله اول دلفی‌فازی در پرسشنامه‌ای جدید طراحی و دراختیار خبرگان قرار داده شد. همچنین میانگین قطعی دور اول نیز قرار داده شده‌است تا خبرگان از میزان میانگین هر شاخص در مرحله قبل نیز مطلع شوند. نتایج مرحله دوم دلفی‌فازی در جدول (۹) آورده شده‌است. در این مرحله نیز به طریق مشابه با استفاده از روابط ۲ تا ۴ میانگین فازی امتیازات محاسبه شده و توسط رابطه ۵ امتیازات قطعی محاسبه می‌گردد. همچنین جهت بررسی اجماع نظرات، اختلاف میانگین قطعی مرحله اول و دوم برای معیارها محاسبه می‌شود و اگر کمتر از ۰/۱ باشد، نشان از اجماع می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد ۸ معیار به اجماع رسیده‌اند که در جدول (۹) نیز مشخص شده‌اند و ۵ مورد نیز به‌دلیل اینکه اختلاف میانگین مرحله دوم و اول دلفی‌فازی بیشتر از ۰/۱ می‌باشد، هنوز به اجماع نرسیده‌اند.

جدول۹. نتایج دور دوم دلفی‌فازی

نام معیار	امتیاز فازی مرحله دوم	امتیاز قطعی مرحله دوم	امتیاز قطعی مرحله اول	وضعیت	اختلاف	وضعیت اجماع
حجم مواد اولیه	(۰.۶۴۶,۰.۹۱۷,۱)	۰.۸۵۴	۰.۷۲۹	تایید	۰.۱۲۵	×
ظرفیت واحد	(۰.۵۴۲,۰.۸۱۳,۰.۹۷۹)	۰.۷۷۸	۰.۷۱۵	تایید	۰.۰۶۲	✔
نیروی انسانی	(۰.۶۲۵,۰.۸۹۶,۱.۰۲۱)	۰.۸۴۷	۰.۷۳۶	تایید	۰.۱۱۱	×
میزان سربار تولید	(۰.۵۶۳,۰.۸۳۳,۱)	۰.۷۹۹	۰.۷۶۴	تایید	۰.۰۳۵	✔
هزینه نگهداری	(۰.۵۶۳,۰.۸۳۳,۰.۹۷۹)	۰.۷۹۲	۰.۷۷۸	تایید	۰.۰۱۴	✔
هزینه تعمیرات	(۰.۵۴۲,۰.۸۱۳,۰.۹۷۹)	۰.۷۷۸	۰.۷۳۶	تایید	۰.۰۴۲	✔
هزینه تولید مستقیم	(۰.۶۲۵,۰.۸۹۶,۱)	۰.۸۴۰	۰.۷۲۹	تایید	۰.۱۱۱	×
مساحت تولید	(۰.۵۴۲,۰.۸۱۳,۰.۹۷۹)	۰.۷۷۸	۰.۷۱۵	تایید	۰.۰۶۲	✔
میزان تولید	(۰.۵,۰.۷۷۱,۰.۹۷۹)	۰.۷۵۰	۰.۷۱۵	تایید	۰.۰۳۵	✔

معکوس تلفات	(۰.۵۶۳,۰.۸۳۳,۰.۹۵۸)	۰.۷۸۵	۰.۷۱۵	تایید	۰.۰۶۹	✔
سود حاصل از فروش	(۰.۵۸۳,۰.۸۵۴,۱)	۰.۸۱۳	۰.۷۰۱	تایید	۰.۱۱۱	×
کاهش آلایندگی محیطی	(۰.۶۲۵,۰.۸۹۶,۱.۰۲۱)	۰.۸۴۷	۰.۷۷۸	تایید	۰.۰۶۹	✔
کاهش آلایندگی هوا	(۰.۶۴۶,۰.۹۱۷,۱.۰۶۳)	۰.۸۷۵	۰.۷۱۵	تایید	۰.۱۶۰	×

–مرحله سوم دلفی‌فازی

در این مرحله معیارهایی که در مرحله دوم به اجماع نرسیده‌اند، دوباره طی پرسشنامه‌ای دراختیار خبرگان قرار خواهد گرفت تا امتیازدهی شوند. سپس به طریق مشابه میانگین فازی و قطعی محاسبه شد که در جدول (۹) آورده شده‌است. همانطورکه در جدول (۱۰) مشاهده می‌شود، تفاوت میانگین کلیه شاخص‌ها در مرحله سوم و دوم دلفی‌فازی کمتر از ۰/۱ شده‌است که نشان می‌دهد در این بخش نیز خبرگان به اجماع رسیدند و مراحل دلفی‌فازی خاتمه می‌یابد.

جدول ۱۰. نتایج دور سوم دلفی‌فازی

شاخص	امتیاز فازی مرحله سوم	امتیاز قطعی مرحله سوم	امتیاز قطعی مرحله دوم	وضعیت	اختلاف	وضعیت اجماع
حجم مواد اولیه	(۰.۷۰۸,۰.۹۷۹,۱.۰۴۲)	۰.۹۱۰	۰.۸۵۴	تایید	۰.۰۵۶	✔
نیروی انسانی	(۰.۶۴۶,۰.۹۱۷,۱.۰۴۲)	۰.۸۶۸	۰.۸۴۷	تایید	۰.۰۲۱	✔
هزینه تولید مستقیم	(۰.۶۴۶,۰.۹۱۷,۱.۰۲۱)	۰.۸۶۱	۰.۸۴۰	تایید	۰.۰۲۱	✔
سود حاصل از فروش	(۰.۶۰۴,۰.۸۷۵,۱)	۰.۸۲۶	۰.۸۱۳	تایید	۰.۰۱۴	✔
کاهش آلایندگی هوا	(۰.۶۸۸,۰.۹۵۸,۱.۰۶۳)	۰.۹۰۳	۰.۸۷۵	تایید	۰.۰۲۸	✔

-جمع‌بندی روش دلفی‌فازی

در این بخش روش دلفی‌فازی طی ۳ راند انجام شد و ۱۳ شاخص که از مقالات و مرور ادبیات استخراج شده‌بود، تایید نهایی شدند و در جدول (۱۱) آورده شده‌است.

جدول ۱۱- عوامل نهایی تاثیرگذار

معیار	امتیاز غیرفازی نهایی
حجم مواد اولیه	۰.۹۱۰
ظرفیت واحد	۰.۷۷۸
نیروی انسانی	۰.۸۶۸
میزان سربار تولید	۰.۷۹۹
هزینه نگهداری	۰.۷۹۲
هزینه تعمیرات	۰.۷۷۸
هزینه تولید مستقیم	۰.۸۶۱
مساحت تولید	۰.۷۷۸
میزان تولید	۰.۷۵۰
معکوس تلفات	۰.۷۸۵

سود حاصل از فروش	۰.۸۲۶
کاهش آلایندگی محیطی	۰.۸۴۷
کاهش آلایندگی هوا	۰.۹۰۳

۴-۲) انتخاب بهترین گزینه به‌عنوان رهبر با استفاده از روش شاخص انتخاب ارجحیت

در این بخش با استفاده از روش شاخص انتخاب ارجحیت به رتبه‌بندی ۵ شرکت پرداخته می‌شود. ابتدا ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود که ماتریس تصمیم، ارزیابی ۵ شرکت براساس ۱۳ معیار تاییدشده روش دلفی‌فازی می‌باشد. این ماتریس تصمیم، توسط ۱۳ خبره تکمیل و توسط رابطه ۶ و ۷ نرمال‌سازی می‌گردد سپس براساس روابط ۸ تا ۱۱ مقادیر مربوط به معیارها محاسبه می‌گردد که در جدول (۱۲) آورده شده‌است.

جدول۱۲. مقادیر $\overline{R}_j$، PV_j، φ_j و ψ_j

نام معیار	$\overline{R}_j$	PV_j	φ_j	ψ_j
حجم مواد اولیه	۰/۸۸۸	۰/۰۵۰	۰/۹۵۰	۰/۰۷۷
ظرفیت واحد	۰/۸۷۷	۰/۰۳۴	۰/۹۶۶	۰/۰۷۸
نیروی انسانی	۰/۸۱۳	۰/۰۸۴	۰/۹۱۶	۰/۰۷۴
میزان سربار تولید	۰/۹۲۴	۰/۰۲۸	۰/۹۷۲	۰/۰۷۹
هزینه نگهداری	۰/۸۰۴	۰/۰۵۸	۰/۹۴۲	۰/۰۷۶
هزینه تعمیرات	۰/۸۱۶	۰/۰۷۲	۰/۹۲۸	۰/۰۷۵
هزینه تولید مستقیم	۰/۸۳۶	۰/۰۳۴	۰/۹۶۶	۰/۰۷۸
مساحت تولید	۰/۸۲۳	۰/۱۰۶	۰/۸۹۴	۰/۰۷۲
میزان تولید	۰/۹۲۳	۰/۰۱۳	۰/۹۸۷	۰/۰۸۰
معکوس تلفات	۰/۹۵۶	۰/۰۴۰	۰/۹۶۰	۰/۰۷۸
سود حاصل از فروش	۰/۸۶۳	۰/۰۳۴	۰/۹۶۶	۰/۰۷۸
کاهش آلایندگی محیطی	۰/۹۳۲	۰/۰۲۱	۰/۹۷۹	۰/۰۷۹
کاهش آلایندگی هوا	۰/۷۴۳	۰/۰۸۳	۰/۹۱۷	۰/۰۷۴

در ادامه توسط رابطه ۱۲ امتیاز نهایی هر شرکت محاسبه می‌شود که در جدول (۱۳) آورده شده‌است. بر این اساس شرکت D رتبه اول را کسب کرده‌است لذا به‌عنوان رهبر وارد نظریه بازی می‌شود.

جدول۱۳. امتیاز و رتبه نهایی گزینه‌ها

نام منطقه	امتیاز نهایی	رتبه
شرکت A	۰/۸۳۰	۵
شرکت B	۰/۸۸۹	۲
شرکت C	۰/۸۵۴	۳
شرکت D	۰/۸۹۶	۱
شرکت E	۰/۸۴۵	۴

* به‌دلیل محرمانه‌بودن اطلاعات شرکت‌های موردمطالعه، اسامی آنها با حروف لاتین نامگذاری شده‌اند.

۴-۳) نتایج عددی قیمت‌گذاری در تئوری بازی‌ها

اطلاعات با توجه به محدودیتهای مکانی و فاصله جغرافیایی، و همچنین برای نمونه اولیه تا سال ۲۰۲۳ تهیه و مدلسازی شده است. هر شرکت تولیدکننده لوازم خانگی ممکن است چندین کارخانه در مناطق مختلف داشته باشد که از نظر الزامات زیست محیطی و قوانین محلی تنظیم شده‌اند. این شرکت ها می‌توانند از طریق خرید و فروش قطعات و مواد اولیه در بازارهای رقابتی فعالیت کنند. برای هر شرکت، ظرفیت تولید لوازم خانگی بر اساس داده های موجود در وبسایت های رسمی و گزارشهای سالانه برآورد شده است. هر کارخانه با هزینه های عملیاتی خاص، سطوح بازدهی تولید، و نرخ انتشار کربن مرتبط با فرآیندهایش مشخص می شود. هزینه های تولید جانبی شامل مواد اولیه (مانند فلزات، پلاستیک، و قطعات الکترونیکی)، انرژی مصرفی (برق)، و هزینه های مونتاژ محاسبه شده است. مقادیر دقیق این هزینه ها به ازای هر فناوری و شرکت در جدول ۱۴ ارائه شده است.

جدول۱٤. هزینه تولید حاشیه ای لوازم خانگی در پنج ناحیه با سه فناوری مختلف (به ریال به ازای هر دستگاه)

ناحیه / تکنولوژی	شرکت D	شرکت C	شرکت A	شرکت B	شرکت E
فناوری پیشرفته	۸۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰	۸۵۰۰۰۰	۸۷۰۰۰۰	۹۵۰۰۰۰
فناوری نیمه پیشرفته	۹۵۰۰۰۰	۱۰۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۲۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰
فناوری سنتی	۱۱۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۱۵۰۰۰۰	۱۱۷۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰

- شرکت D به دلیل دسترسی به زیرساخت‌های لجستیکی و زنجیره تأمین کارآمد، هزینه‌های تولید کمتری دارد.
- شرکت E به دلیل هزینه‌های بالای انرژی و نیروی کار، گران‌تر تمام می‌شود.
- فناوری سنتی به دلیل بازدهی پایین و مصرف بالای انرژی، همیشه هزینه تولید بالاتری دارد.

۵) داده ها و نتایج تجربی

در این بخش، یک مطالعه موردی گویا را برای روشن شدن رفتار بازار لوازم خانگی معرفی شده است به طور خاص، بین ۵ شرکت مختلف تمرکز شده است.

با توجه به نتایج مرجع ، تجزیه و تحلیل پارامتری را به منظور مطالعه حساسیت نقطه تعادل نسبت به تغییرات در پارامترهای بازار اجرا شد.

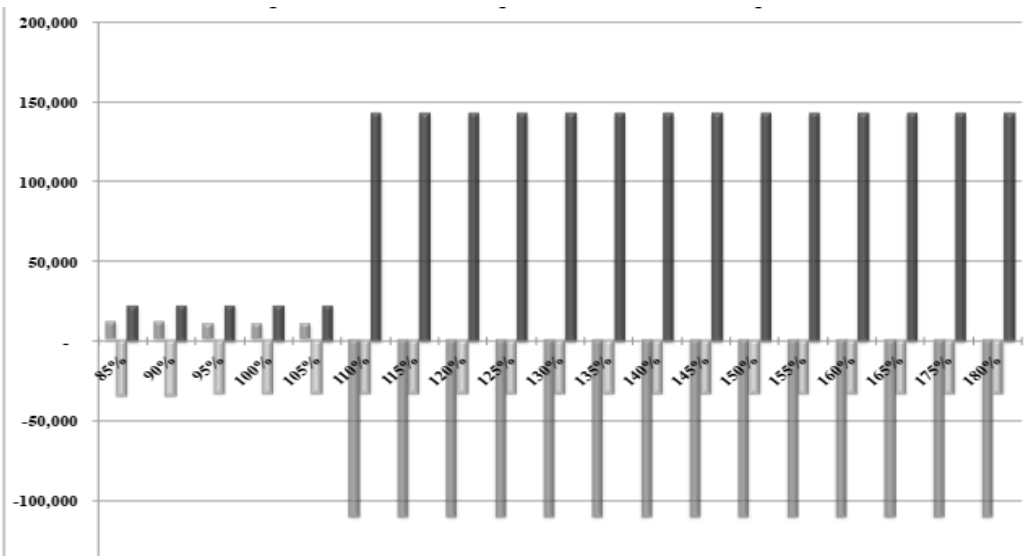
- هزینه های تولید جانبی در شرکت لوازم خانگی D ($C^c_{j,i,u}$ با $i = 1$)
- سقف تقاضا در شرکت لوازم خانگی C (D^c_i با $i = 3$)
- ظرفیت تولید لوازم خانگی در دسترس در شرکت لوازم خانگی A($Q^c_{j,i,u}$ با $i = 2$)

فواصل پارامترسازی با توجه به پارامتر در نظر گرفته شده متفاوت است.

اشـباع شـدن تقاضـای لوازم خانگی در شـرکت C و بحرانهای اقتصـادی جدید منجر به این شـده اسـت که نیازی به سرمایه‌گذاری بیشتر در این حوزه نباشد . نیروی جبر بازار منجر به بسته شدن کارخانه های ناکارآمد (به ویژه کارخانه‌هایی که بر مبنای تکنولوژی مرطوب هستند) و در نتیجه صنعت به سمت یک نوسازی به منظور تمرکز تولید در کارخانه های بزرگ و رده بالای خود حرکت می کند . تجزیه و تحلیل پارامترهای هزینه های جانبی تولید لوازم خانگی در شرکت C در دو حوزه مطرح می شـود اولین حوزه کاهش هزینه های جانبی تولید بدون هیچ تغییری در ترکیب تکنولوژی جاری می باشد. این موقعیت با تغییر هزینه های جانبی تولید از ۱۰۰ درصد تا ۸۵ درصد با توجه به ارزش نمونه مرجع مدلسازی شـد. حوزه دوم مربوط به نوسـازی کارخانه های موجود مشـابه کارخانه های جدید و رده بالای شـرکت C می باشـد. این نوسازی از یک طرف منجر به کاهش هزینه های عملیاتی می شود اما از سوی دیگر هزینه سرمایه گذاری را برای تعمیر اساسی کارخانه های موجود لازم دارد. درنتیجه در نظر گرفتن هزینه های رشد ظرفیت منجر به افزایش هزینه های جانبی تولید می شود که بین ۱۰۵ درصد تا ۱۸۰ درصد در مقایسه با ارزش نمونه مرجع تخمین زده شد.

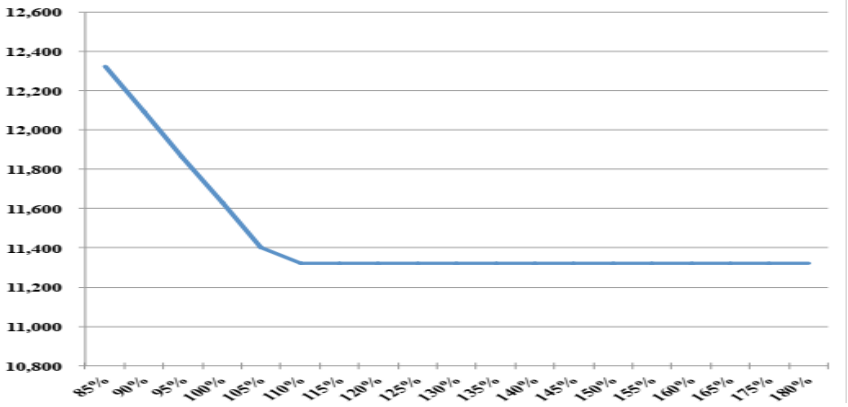
با توجه به کاهش هزینه‌های تولید جانبی در صنعت لوازم خانگی، مشاهده می‌شود که کاهش کمتر از ۱۰٪ در پارامتر هزینه تأثیر قابل توجهی بر حجم تولید و عرضه محصولات ندارد. این تغییرات اندک در هزینه‌ها معمولاً منجر به تغییرات معنادار در بازار نمی‌شود. اما در صورتی که کاهش هزینه‌ها بیش از ۱۰ درصد باشد، ممکن است به افزایش اندکی در تولید و عرضه محصولات منجر شود. در این شرایط، شرکت‌ها می‌توانند با بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها، رقابت‌پذیری خود را افزایش دهند و در نتیجه سهم بیشتری از بازار را به دست آورند.

با توجه به کاهش بیش از ۱۰ درصدی هزینه‌های تولید، شرکت A شاهد افزایش اندکی در تولید خود خواهد بود. این افزایش نشان‌دهنده تأثیر مثبت کاهش هزینه‌ها بر توانایی شرکت‌ها در بهبود کارایی و افزایش حجم تولید است. همچنین، شرکت D همچنان به عنوان یکی از بزرگترین تولیدکنندگان در صنعت لوازم خانگی باقی می‌ماند، که نشان‌دهنده قدرت و موقعیت مستحکم این شرکت در بازار است. این وضعیت می‌تواند به رقابت‌پذیری بیشتر شرکت‌ها و افزایش تنوع محصولات در بازار منجر شود.



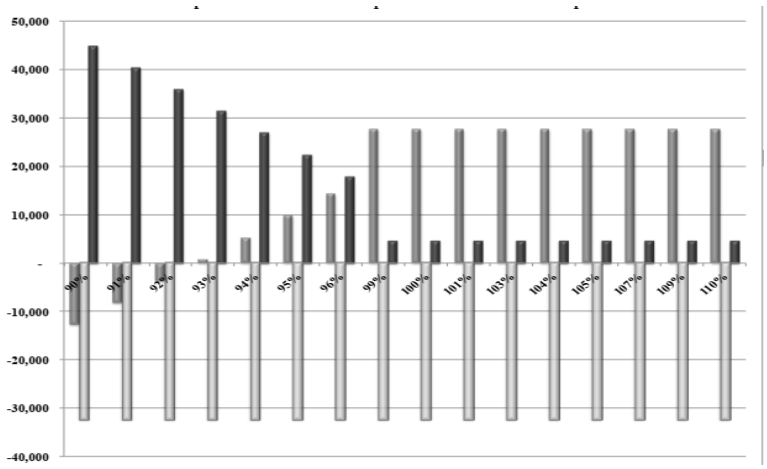
شکل ۳ . تغییر خالص به عنوان تابعی از تغیرات هزینه های جانبی تولیدات در شرکت D

با توجه به تجزیه و تحلیل رفاه اجتماعی، به راحتی می‌توان مشاهده کرد که کاهش هزینه‌های تولید نهایی منجر به سطوح رفاه بالاتر می‌شود (شکل ۴). هنگامی که سطوح هزینه‌ها به ۱۱۰٪ برسد، هیچ تغییری در سطح رفاه ایجاد نمی‌شود. این نتیجه مستقیماً از جایگزینی تولید شرکت C ناشی می‌شود، زیرا سطح قیمت اجازه پوشش بالاتر هزینه‌ها در شرکت C را نمی‌دهد. در این شرایط، شرکت C نمی‌تواند به بهینه‌سازی تولید و افزایش رفاه دست یابد و این موضوع تأثیر مستقیمی بر سطوح رفاه اجتماعی دارد.

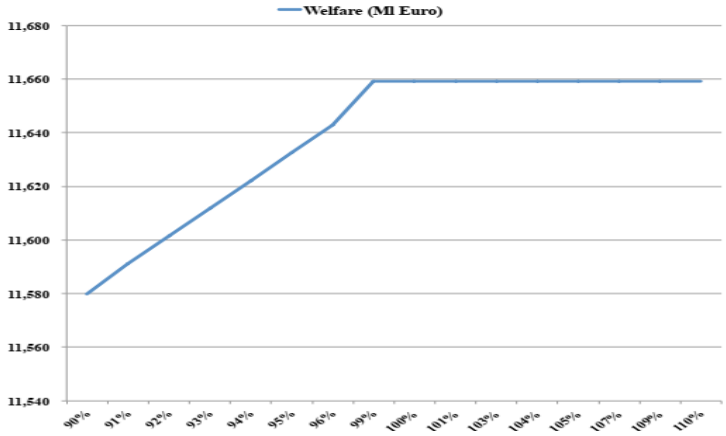


شکل ٤. تابع تغییرات رفاهی از تغییرات در هزینه های جانبی تولید در شرکت D

کاهش تقاضا در شرکت D به طور قابل توجهی بر مقادیر تولید تأثیر می‌گذارد. با توجه به اینکه شرکت A واردکننده خالص است، کاهش تقاضای لوازم خانگی در شرکت D می‌تواند به افزایش تولید در شرکت C منجر شود. به طوری که شرکت C با کاهش تقاضای شرکت D بین ۱۰ تا ۷ درصد مواجه می‌شود. در صورت گسترش تقاضا، شرکت C می‌تواند به عنوان یک جایگزین برای تأمین نیازهای بازار عمل کند، زیرا تقاضای داخلی بالاتر، شرکت D را مجبور به کاهش سطح تولید می‌کند. این وضعیت نشان‌دهنده تأثیر مثبت افزایش تقاضای لوازم خانگی بر سطوح تولید و در نتیجه رفاه اقتصادی است، چرا که تولید بالاتر منجر به افزایش رفاه عمومی می‌شود. (شکل ۵ و شکل ۶)



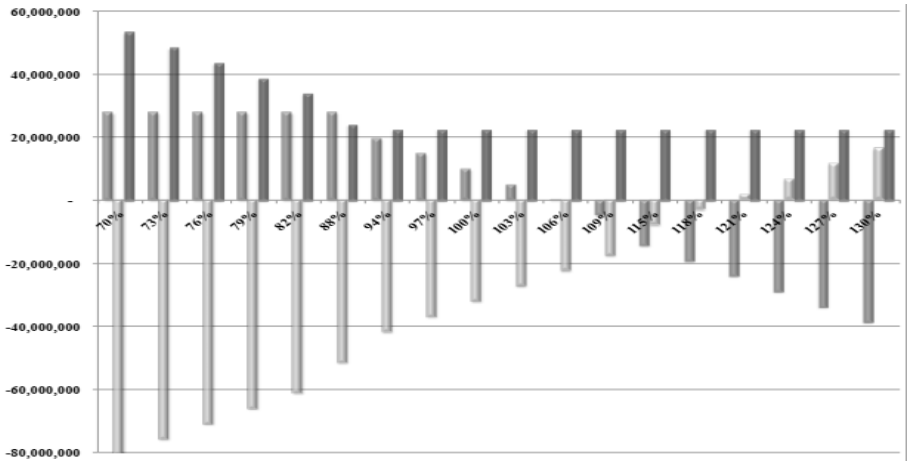
شکل ۵. تابعی از تغییرات تقاضا شرکت D



شکل ٦. تغییرات رفاهی به عنوان تابعی از تغییرات در تقاضا در شرکت D

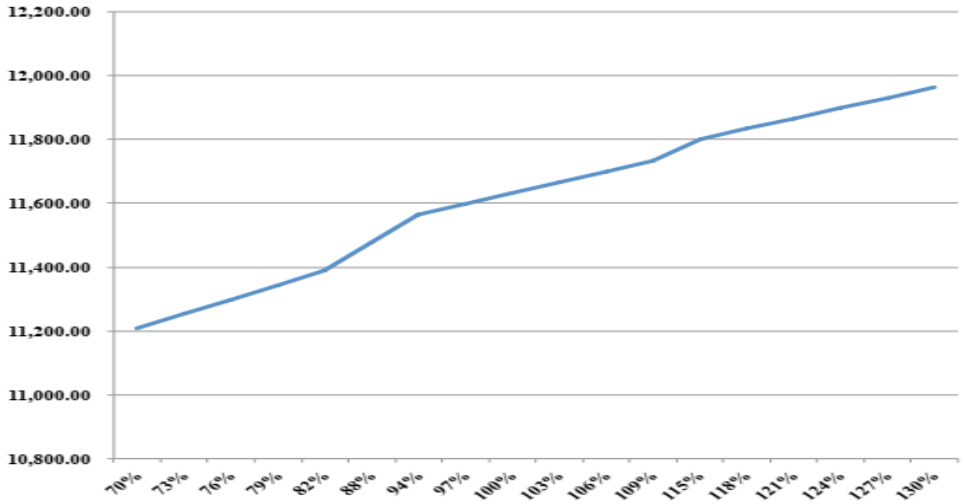
مطالعه پارامتریک ما وضعیت جدید تجارت در بازار لوازم خانگی را تحلیل می‌کند، با این فرض که سطوح ظرفیت شرکت A می‌تواند بین ۷۰٪ و ۱۳۰٪ با توجه به مقدار مرجع متفاوت باشد. بدترین حالت کاهش ظرفیت (۷۰ درصد ظرفیت واقعی) به این فرضیه اشاره دارد که کارخانه‌های ناکارآمد، با مصرف انرژی بالا، بسته می‌شوند و قابل جایگزینی با موارد کارآمدتر نخواهند بود.

در حقیقت، شرکت A در برابر افزایش هزینه‌های تولید، آسیب پذیری زیادی دارد. شرکت‌های لوازم خانگی به منابع انرژی پرهزینه وابسته هستند و این موضوع باعث می‌شود که این بخش در معرض نوسانات قیمت‌های بین‌المللی انرژی قرار گیرد. شرکت A تنها زمانی می‌تواند به وضعیت بهینه‌تری دست یابد که ظرفیت آن حداقل ۲۰ درصد بیشتر از سطح فعلی باشد. تأثیر این استراتژی به طور کامل توسط شرکت C دریافت خواهد شد و این شرکت به سمت بهینه‌سازی تولید و افزایش رقابت‌پذیری حرکت خواهد کرد.



شکل۷. تابعی از تغییرات ظرفیت در شرکت A

در نهایت، توجه داشته باشیم که میزان رفاه تقریباً به صورت خطی با سطح ظرفیت افزایش می‌یابد (شکل ۸).



شکل۸. تغییرات رفاهی به عنوان تابعی از تغییرات ظرفیت لوازم خانگی در شرکت A

۵) نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدل قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز، یک رویکرد جدید و جهت‌گیری برای بهینه‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت زنجیره تامین است. در این مدل، هدف اصلی به قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد نظریه بازی می‌پردازد. این مدل قابلیت تجزیه‌وتحلیل چندگانه دارد و با درنظرگرفتن نوسانات بازار، تغییرات قیمت‌ها و تاثیرات زیست‌محیطی، تصمیم‌گیرندگان را در بهینه‌سازی فرآیند تولید و توزیع در طول زنجیره تامین یاری می‌رساند. یکی از ویژگی‌های برجسته این مدل، استفاده از داده‌های فازی است. داده‌های فازی این امکان را فراهم می‌کنند تا عدم قطعیت‌ها و ناپیوستگی‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری مدل شود و این به مدیران این امکان را می‌دهد که با متغیرهای پویا و پیچیده محیط بازار به‌صورت دقیق‌تری برخورد کنند. در این روش، مدل قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز به‌عنوان یک ابزار پیشرفته در بهینه‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری مدیریت زنجیره تامین از اهمیت بسزایی برخوردار است. از این رو هدف پژوهش حاضر، طراحی مدل قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد نظریه بازی است. در این پژوهش، پس از مطالعه کتابخانه‌ای و شناسایی شاخص‌های کلیدی در پیش‌بینی قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز، با استفاده از روش دلفی‌فازی طی سه مرحله، غربالگری شاخص‌ها انجام شد و از بین ۲۰ شاخص براساس نظرات ۱۳ خبره، ۷ شاخص حذف گردید و۱۳ شاخص انتخاب شد. در این پژوهش اطلاعات مربوط به زنجیره تامین سبز ۹ شرکت لوازم خانگی منتخب به اجرا درآمد و براساس رویکرد شاخص انتخاب ارجحیت شرکت D به‌دلیل اینکه بالاترین اولویت را به خود اختصاص داد، به‌عنوان رهبر وارد نظریه بازی شد.

در قسمت نظریه بازی‌ها، تعادل‌هایی از بازار لوازم خانگی که دارای چندین عملیات تولید استراتژیک هستند، پیشنهاد می‌شود. این مقاله شامل یک مدل ریاضی و نقطه نظرات اقتصادی در حوزه قیمت‌گذاری است که به بررسی رفتار الیگوپلی

(انحصاری چندجانبه) می‌پردازد. این رفتار استراتژیک با یک برنامه ریاضی و محدودیت‌های تعادلی دقیق فرمول‌بندی شده است، به طوری که هر یک از شرکت‌ها منحنی پیشنهادی عرضه بهینه‌ای را برای ارسال به بازار اتخاذ می‌کنند. مدل مسئله تعادل با محدودیت‌های تعادلی در نمونه بازار لوازم خانگی برای مطالعه تأثیرات هزینه‌ها، تقاضا و نوسانات ظرفیت در نتایج مختلف بازار استفاده شده است. به عبارتی، روند تولید لوازم خانگی تحت متغیرهای هزینه‌های شرکت C ، سقف تقاضا در شرکت D و ظرفیت تولید در شرکت A تجزیه و تحلیل شده است. این تحلیل اقتصادی از طریق پارامترسازی پارامترهای مدل مشخص شده انجام گردید. تجزیه و تحلیل نشان داد که بازار شرکت C یک بازار بالغ است و سطح رقابت آن طی سال‌های گذشته کاهش یافته است. افزایش هزینه تولید محلی تأثیرات قابل توجهی بر روند تولید و عرضه لوازم خانگی داشته و تغییر تقاضا در شرکت D به دلیل نقش تأثیرگذار مصرف لوازم خانگی بین نواحی مختلف، تأثیرات مهمی بر تعاملات بین شرکت‌ها دارد.در نهایت، تجزیه و تحلیل ما چالش‌هایی را که شرکت A در حال حاضر با آن مواجه است، نشان می‌دهد. در سال‌های گذشته، ایران در حال تجربه قوی‌ترین دوره رشد پایدار است. تجزیه و تحلیل ما در صنعت لوازم خانگی نشان می‌دهد که شرکت A به عنوان یک واردکننده تنها زمانی می‌تواند به وضعیت بهینه‌ای دست یابد که ظرفیت نصب شده حداقل ۲۰ درصد بزرگتر از سطح فعلی شود.

محدودیت اصلی تحقیق را می‌توان از این جهت در نظر گرفت که روش‌های تصمیم‌گیری وابسته به استفاده از نظرات خبرگان هستند و تغییر در این نظرات می‌تواند نتایج را نیز متأثر سازد.

پیشنهادات این تحقیق مطابق با محدودیت‌های تحقیق به صورت زیر بیان می شود:

۱. محاسبه امتیاز کارایی با استفاده از مدل های تحلیل پوششی داده ها در کنار اولویت بندی با استفاده از روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره،
۲. استفاده از مدل سازی برنامه ریزی آرمانی برای تحلیل قیمت گذاری زنجیره تامین سبز
۳. توسعه چارچوب پیشنهادی برای سایر ساختارهای زنجیره تأمین مانند زنجیره تأمین حقله بسته.

یشنهادات کاربردی بر اساس نتایج تحقیق به شرح زیر است:

۱. توسعه استراتژی‌های پایدار: شرکت‌ها باید استراتژی‌های پایدار را در فرآیندهای تولید و توزیع خود ادغام کنند تا تأثیرات زیست‌محیطی را کاهش دهند و به بهینه‌سازی زنجیره تأمین سبز کمک کنند.

۲. استفاده از داده‌های فازی: مدیران باید از داده‌های فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها و ناپیوستگی‌ها در تصمیم‌گیری‌های خود استفاده کنند تا بتوانند به طور دقیق‌تری با تغییرات بازار و شرایط متغیر روبه‌رو شوند.

۳. تقویت همکاری بین اعضای زنجیره تأمین: ایجاد همکاری نزدیک‌تر بین اعضای زنجیره تأمین می‌تواند به بهبود تبادل اطلاعات و کاهش هزینه‌ها کمک کند. این همکاری می‌تواند شامل اشتراک‌گذاری داده‌ها و منابع باشد.

۴. تحلیل مستمر بازار: شرکت‌ها باید به تحلیل مستمر بازار و نوسانات تقاضا بپردازند تا بتوانند به سرعت به تغییرات واکنش نشان دهند و استراتژی‌های خود را به‌روز کنند.

۵. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین: سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و به‌روز می‌تواند به بهبود کارایی تولید و کاهش هزینه‌ها کمک کند. این فناوری‌ها می‌توانند شامل سیستم‌های هوشمند مدیریت زنجیره تأمین و ابزارهای تحلیلی پیشرفته باشند.

۶. آموزش و توانمندسازی کارکنان: برگزاری دوره‌های آموزشی برای کارکنان در زمینه مدیریت زنجیره تأمین سبز و نظریه بازی می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری‌ها و افزایش کارایی سازمان کمک کند. این آموزش‌ها باید شامل روش‌های نوین تحلیل داده و استراتژی‌های پایدار باشد.

منابع

Abbasi, S., & Choukolaei, H. A. (2023). A systematic review of green supply chain network design literature focusing on carbon policy. *Decision Analytics Journal*, *6*, 100189. https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100189

Ansari, Z. N., and R. Kant.(2017). A State-of-Art Literature Review Reflecting 15 Years of Focus on Sustainable Supply Chain Management. Journal of Cleaner Production 142: 2524–2543. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.023

Atabaki, M. S., Khamseh, A. A., & Mohammadi, M. (2019). A priority-based firefly algorithm for network design of a closed-loop supply chain with price-sensitive demand. *Computers & industrial engineering*, *135*, 814-837. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.054

Aydin, R., Kwong, C. K., & Ji, P. (2016). Coordination of the closed-loop supply chain for product line design with consideration of remanufactured products. *Journal of Cleaner Production*, *114*, 286-298. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.116

Akbari, A. H., & Jafari, M. (2025). Development of a Deep Reinforcement Learning Algorithm in a Dynamic Cellular Manufacturing System Considering Order Rejection, Case Study: Stone Paper Factory. *Engineering Management and Soft Computing*, *10*(2), 204-222. 10.22091/jemsc.2025.11853.1230

Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2011). A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information. *Computers in industry*, *62*(2), 164-174. https://doi.org/10.1016/j.compind.2010.10.009

Calik, E., & Bardudeen, F. (2016). A measurement scale to evaluate sustainable innovation performance in manufacturing organizations. *Procedia Cirp*, *40*, 449-454. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.091

Dai, Z., & Ye, C. (2022). Analysis and evaluation of key elements of optimal regulation of green supply chain from the perspective of low carbon. *Wireless Communications and Mobile Computing*, *2022*, 1-11. https://doi.org/10.1155/2022/8196756

Feng, Z., & Chen, W. (2018). Environmental regulation, green innovation, and industrial green development: An empirical analysis based on the Spatial Durbin model. *Sustainability*, *10*(1), 223. https://doi.org/10.3390/su10010223

Golini, R., Moretto, A., Caniato, F., Caridi, M., & Kalchschmidt, M. (2017). Developing sustainability in the Italian meat supply chain: an empirical investigation. *International Journal of Production Research*, *55*(4), 1183-1209. https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1234724

Gosling, J., Jia, F., Gong, Y., & Brown, S. (2016). The role of supply chain leadership in the learning of sustainable practice: toward an integrated framework. Journal of Cleaner Production, 137, 1458-1469. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.029

Govindan, K.; Khodaverdi, R.; Jafarian, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. J. Clean Prod. 47, 345–354. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.014

Grimm, J.H.; Hofstetter, J.S.; Sarkis, J. (2014). Critical factors for sub-supplier management: A sustainable food supply chains perspective. Int. J. Prod. Econ. 152, 159–173. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.011

Guarnieri, P.; Sobreiro, V.A.; Nagano, M.S.; Serrano, A.L.M. (2015). The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: A Brazilian case. J. Clean Prod. 96, 209–219. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.040

Hashemi, S.H.; Karimi, A.; Tavana, M. (2015). An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. Int. J. Prod. Econ. 159, 178–191. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.027

Hou, G., Wang, Y., & Xin, B. (2019). A coordinated strategy for sustainable supply chain management with product sustainability, environmental effect and social reputation. Journal of Cleaner Production, 228, 1143-1156. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.096

Hou, P., Wang, J., Zhang, Q., & Zhang, S. (2023). Implications of risk aversion behavior on the green product promotion strategy under manufacturer encroachment. *Applied Mathematics and Computation*, *447*, 127911. https://doi.org/10.1016/j.amc.2023.127911

Hsu, C. C., Tan, K. C., & Mohamad Zailani, S. H. (2016). Strategic orientations, sustainable supply chain initiatives, and reverse logistics: Empirical evidence from an emerging market. International journal of operations & production management, 36(1), 86-110. https://doi.org/10.1108/IJOPM-06-2014-0252

Humphreys, P.; McIvor, R.; Chan, F. (2003). Using case-based reasoning to evaluate supplier environmental management performance. Expert Syst. Appl. 25, 141–153. https://doi.org/10.1016/S0957-4174(03)00042-3

Jabbour, A.B., Jabbour, C., Govindan, K., Kannan, D., Arantes, A.F.,(2014). Mixed methodology to analyze the relationship between maturity of environmental management and the adoption of green supply chain management in Brazil https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.02.004

Jafari, M., & Akbari, A. H. (2025). Efficient Algorithms for Dynamic Cellular Manufacturing Systems by Considering Blockchain-Enabled (Case Study: Stone Paper Factory). *Journal of Advanced Manufacturing Systems*. https://doi.org/10.1142/S0219686725500404

Kalina, I., Novykov, D., Leszczynski, V., Lavrukhina, K., Kukhta, P., & Nitsenko, V. (2022). ENTREPRENEURIAL STRUCTURES OF THE EXTRACTIVE INDUSTRY: FOREIGN EXPERIENCE IN ENVIRONMENTAL PROTECTION. *Scientific Bulletin of National Mining University*, *37*(5). https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-5/136

Kang, K., Gao, S., Gao, T., & Zhang, J. (2021). Pricing and Financing Strategies for a Green Supply Chain With a Risk-Averse Supplier. IEEE Access, 9, 9250-9261. 10.1109/ACCESS.2021.3050130

Kannan, D. (2018). Role of multiple stakeholders and the critical success factor theory for the sustainable supplier selection process. Int. J. Prod. Econ. 195, 391–418. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.020

Li, B., Zhu, M., Jiang, Y., & Li, Z. (2016). Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 2029-2042. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.017

Li, M., & Shan, M. (2023). Pricing and green promotion effort strategies in dual-channel green supply chain: considering e-commerce platform financing and free-riding. *Journal of Business & Industrial Marketing*, *38*(11), 2310-2323. https://doi.org/10.1108/JBIM-07-2022-0303

Li, P., Rao, C., Goh, M., & Yang, Z. (2021). Pricing strategies and profit coordination under a double echelon green supply chain. Journal of Cleaner Production, 278, 123694. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123694

Li, Y., & Mathiyazhagan, K. (2018). Application of DEMATEL approach to identify the influential indicators towards sustainable supply chain adoption in the auto components manufacturing sector. *Journal of cleaner production*, *172*, 2931-2941. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.120

Liu, P., & Zhang, F. J. (2022). Pricing strategies of dual-channel green supply chain considering Big Data information inputs. *Soft Computing*, 1-19. https://doi.org/10.1007/s00500-021-06611-6

Luthra, S., Garg, D., & Haleem, A. (2016). The impacts of critical success factors for implementing green supply chain management towards sustainability: An empirical investigation of Indian automobile industry. Journal of Cleaner Production, 121, 142–158. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.095

Luthra, S., Garg, D., & Haleem, A. (2016). The impacts of critical success factors for implementing green supply chain management towards sustainability: An empirical investigation of Indian automobile industry. Journal of Cleaner Production, 121, 142–158. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.095

Mahmoudi, A., Shishebori, D., & Sadegheih, A. (2020). Pricing for a multi-channel supply chain with the participation of a third-party logistics service: A game theory approach. *Supply Chain Management*, *22*(67), 23-34. (In Persian) DOR:20.1001.1.20089198.1399.22.67.2.1

Maniya, K., & Bhatt, M. G. (2010). A selection of material using a novel type decision-making method: Preference selection index method. *Materials & Design*, *31*(4), 1785-1789. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.11.020

Masrzadeh Oghaz, Pegah and Dehghanian, Farzad, (2023), Presenting a two-level model to determine the carbon tax in a green supply chain by considering price-sensitive demand and carbon emissions, 9th International Conference on Industrial and Systems Engineering, Mashhad. (In Persian)

Mathivathanan, D., Kannan, D., & Haq, A. N. (2018). Sustainable supply chain management practices in Indian automotive industry: A multi-stakeholder view. *Resources, Conservation and Recycling*, *128*, 284-305. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.003

mini, A., & Alinezhad, A. (2019). Developing Network DEA Model with Undesirable Outputs for Evaluation of Green Supply Chain Management. *Supply Chain Management*, *21*(63), 51-63. 20.1001.1.20089198.1398.21.63.4.8

Mousavi, P., Yousefizenouz, R., Hasanpoor, A. (2015). Identifying Organizational Information Security Risks Using Fuzzy Delphi. Journal of Information Technology Management, 7(1), 163-184. 10.22059/jitm.2015.53555

Obeidat, S. M., Al Bakri, A. A., & Elbanna, S. (2020). Leveraging "green" human resource practices to enable environmental and organizational performance: Evidence from the Qatari oil and gas industry. Journal of Business Ethics, 164(2), 371-388. https://doi.org/10.1007/s10551-018-4075-z

Palevich, R. (2011). Lean sustainable supply chain the: How to create a green infrastructure with lean technologies. Ft press.

Rahmani, K., & Yavari, M. (2019). Pricing policies for a dual-channel green supply chain under demand disruptions. *Computers & Industrial Engineering*, *127*, 493-510. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.039

Tavakkoli-Moghaddam, R., Akbari, A. H., Tanhaeean, M., Moghdani, R., Gholian-Jouybari, F., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2024). Multi-objective boxing match algorithm for multi-objective optimization problems. *Expert Systems with Applications*, *239*, 122394. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122394

Saffie, N. A. M., & Rasmani, K. A. (2016, July). Fuzzy delphi method: Issues and challenges. In *2016 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS)* (pp. 1-7). IEEE. 10.1109/LISS.2016.7854490

Sawik, T. (2016). On the risk-averse optimization of service level in a supply chain under disruption risks. Int. J. Prod. Res. 54, 98–113. https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1016192

Seuring &M. Müller, (2008)`.`From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management," J. Cleaner Prod., vol. 16, no. 15, pp. 16991710, Oct. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020

Sharma, V. K., Chandna, P., & Bhardwaj, A. (2017). Green supply chain management related performance indicators in agro industry: A review. Journal of Cleaner Production, 141, 1194-1208. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.103

Shoaeinaeini, M., Govindan, K., & Rahmani, D. (2022). Pricing policy in green supply chain design: the impact of consumer environmental awareness and green subsidies. *Operational Research*, 1-40. https://doi.org/10.1007/s12351-021-00680-z

Shoja,Mehdi,Hosseinzadeh Lotfi,Farhad,Gholam Abri,Amir,Rashidi Komijan,Alireza. (2020) .Efficiency of 4 stage supply chain in presence of non discretionary , undesirable and negative factors Using SBM model in DEA .Economic Modeling ,51,73-98. 10.30495/eco.2020.1899015.2357

Tanhaeean, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Akbari, A. H. (2022). Boxing match algorithm: A new meta-heuristic algorithm. *Soft Computing*, *26*(24), 13277-13299. https://doi.org/10.1007/s00500-022-07518-6

Tariq, A., Badir, Y. F., Tariq, W., & Bhutta, U. S. (2017). Drivers and consequences of green product and process innovation: A systematic review, conceptual framework, and future outlook. *Technology in Society*, *51*, 8-23. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2017.06.002

Tomislav, K. (2018). The concept of sustainable development: From its beginning to the contemporary issues. *Zagreb International Review of Economics & Business*, *21*(1), 67-94. https://doi.org/10.2478/zireb-2018-0005

Tseng, M.-L., Islam, M. S., Karia, N., Fauzi, F. A., & Afrin, S. (2019). A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. Resources, Conservation and Recycling, 141, 145–162. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.009

Tseng, M.L.; Chiu, A.S.F. (2013). Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences. J. Clean Prod. 2013, 40, 22–31. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.08.007

Wang, S., Liu, L., & Wen, J. (2024). Product pricing, green effort decisions and coordination in a dynamic three-echelon green supply chain. Journal of Industrial and Management Optimization, 0-0. Doi: 10.3934/jimo.2024033

Xu, J., & Zhu, Y. (2011). Dynamic pricing model for the operation of closed-loop supply chain system. *Intelligent control and automation*, *2*(4), 418-423. DOI: 10.4236/ica.2011.24048

Yavari, M., Marvi, M., & Akbari, A. H. (2020). Semi-permutation-based genetic algorithm for order acceptance and scheduling in two-stage assembly problem. *Neural Computing and Applications*, *32*, 2989-3003. https://doi.org/10.1007/s00521-019-04027-w

Yavari, M., & Akbari, A. H. (2023). Service level and profit maximisation in order acceptance and scheduling problem with weighted tardiness. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, *43*(3), 331-362. https://doi.org/10.1504/IJISE.2023.129138

Yeh, W.C.; Chuang, M.C. (2011). Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. Expert Syst. Appl. 38, 4244–4253. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.091

Yi, S., & Wen, G. (2023). Game model of transnational green supply chain management considering government subsidies. Annals of Operations Research, 1-22. https://doi.org/10.1007/s10479-023-05420-4

Yu, C., Wenxin, L., Khan, S. U., Yu, C., Jun, Z., Yue, D., & Zhao, M. (2020). Regional differential decomposition and convergence of rural green development efficiency: evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*, 22364-22379. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08805-1

Zaid, A. A., Jaaron, A. A., & Bon, A. T. (2018). The impact of green human resource management and green supply chain management practices on sustainable performance: An empirical study. Journal of Cleaner Production, 204, 965–979. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.062

Zhang, C. T., & Wang, Z. (2021). Production mode and pricing coordination strategy of sustainable products considering consumers' preference. *Journal of Cleaner Production*, *296*, 126476. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126476

Zhang, R., Liu, J., & Qian, Y. (2023). Wholesale-price vs cost-sharing contracts in a green supply chain with reference price effect under different power structures. *Kybernetes*, *52*(5), 1879-1902. https://doi.org/10.1108/K-11-2021-1096

Zhu, Q., & Rass, S. (2018, October). Game theory meets network security: A tutorial. In Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC conference on computer and communications security (pp. 2163-2165). https://doi.org/10.1145/3243734.3264421

Zhu, Q., Feng, Y., & Choi, S. B. (2017). The role of customer relational governance in environmental and economic performance improvement through green supply chain management. Journal of Cleaner Production, 155, 46-53. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.124

Zhu, Q., Feng, Y., & Choi, S. B. (2017). The role of customer relational governance in environmental and economic performance improvement through green supply chain management. Journal of Cleaner Production, 155, 46-53. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.124