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*] , 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
Received in revised form
Accepted
Published online

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

ABSTRACT

Today, industrialists and policymakers are under increasing pressure to continuously reduce the negative effects of pollutant emissions from their supply chains. The purpose of the current research is to design a green supply chain pricing model with a multi-criteria decision-making approach and game theory (case study: home appliance industry). In this research, after library study and identification of key indicators in predicting green supply chain pricing, using the fuzzy Delphi method, the screening of indicators was done in three stages, and out of 20 indicators, based on the opinions of 13 experts, 13 indicators were selected and based on the priority selection index approach, company D entered the game theory as the leader company because it had the highest priority. Finally, based on the game theory, the scenario between 4 members of the supply chain was evaluated and analyzed, and the best and worst scenarios were also introduced. Also, in order to test the structural validity of the proposed model, information related to the green supply chain of 9 selected home appliance companies was implemented using MATLAB software. The results showed that the seventh scenario was presented as the best scenario and the fifth scenario as the worst scenario. Finally, it was shown that the scenario and the correlation and integration among the four members have created the profit of the members by 761.69 units better than the basic profitability model, and this is an indication of the correctness of the scenario strategy among the members of the green supply chain.

Cite this article: ……..

© The Author(s)

DOI: https://doi.org/

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]، 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: .....
تاریخ بازنگری: .....
تاریخ پذیرش: .....
تاریخ انتشار:.....

کلیدواژه‌ها:
رویکردشاخص 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. نتایج نشان داد که سناریو هفتم به‌عنوان برترین سناریو و سناریو پنجم به‌عنوان بدترین سناریو معرفی شدند. درنهایت نشان داده‌شد که سناریو، همبستگی و یکپارچگی میان اعضای چهارگانه، سود اعضا را به میزان ۷۶۱/۶۹ واحد بهتر از مدل پایه سودآوری ایجاد کرده و این نشان از درست‌بودن استراتژی سناریو میان اعضای زنجیره تامین سبز بوده‌است.

استناد: .....
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

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 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

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

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).

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، 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

[7] Gao
[8] Hou
[9] Laari
[10] Zhu
[11] Zaid.
[12] Evolutionary approach
[13] Environmental performance
[14] Obeidat
[15] Li & Shan

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.
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

[16] Zhang
[17] Wang et al
[18] Liu & Zhang
[19] Shoaeinaeini et al
[20] Rahmani & Yavari
[21] Xu & Zhu

		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.

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.
- 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

مراحل اجرایی تحقیق

- 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[22]،۲۰۱۶).

گام‌های روش دلفی‌فازی عبارتند از:

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

[22] Saffie & Rasmani,

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[23]،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

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.

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

$$a_j = \sum \frac{a_{ij}}{n} \qquad (۲)$$

$$b_j = \sum \frac{b_{ij}}{n} \qquad (۳)$$

$$c_j = \sum \frac{c_{ij}}{n} \qquad (۴)$$

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.

$$\text{Crisp} = \frac{a+b+c}{3} \qquad (۵)$$

- 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

[23] Mousavi et al

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.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max\limits_{i} x_{ij}} \quad (۶)$$

$$r_{ij} = \frac{\min\limits_{i} x_{ij}}{x_{ij}} \quad (۷)$$

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.

[24] Mania and Bihet

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

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.

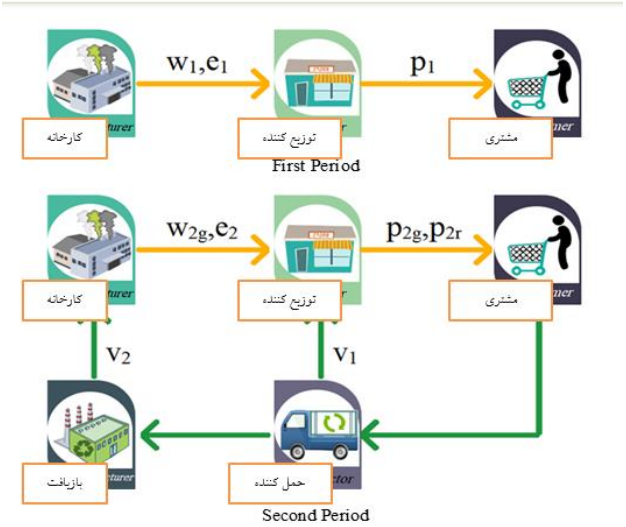
$$I_i = \sum_{j=1}^{m} (R_{ij} \times \psi_j) \qquad (۱۲)$$

- رویکرد نظریه‌بازی

در این پژوهش، بازار فروش دودوره‌ای محصول با یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش، یک جمع‌آوری‌کننده و یک بازیافت‌کننده را بررسی می‌کند. در دوره اول تولیدکننده محصولات خود را با هزینه c_m تولید می‌کند و با قیمت عمده C_1 به خرده‌فروش می‌فروشد. سپس خرده‌فروش محصولات خریداری‌شده را با قیمت p_1 به مصرف‌کننده عرضه می‌کند. در دوره دوم دو نوع محصول استفاده شده‌است. نوع اول محصولاتی که قابلیت بازسازی دارند و با تعمیر و یا تعویض قطعات، این محصولات قابلیت استفاده مجدد را با همان کارآیی اولیه دارند. با این تفاوت که به‌دلیل دست‌دوم‌بودن، قیمت پایین‌تری نسبت به محصولات نو دارند. نوع دوم محصولاتی هستند که باید قطعات آنها جدا شده و بازیافت شوند. این محصولات بازیافت‌شده که به‌منظور ایفای نقش مسئولیت اجتماعی و کاهش گازهای گلخانه‌ای ناشی از عدم استخراج مواد خام هستند، محصولات سبز نامیده می‌شوند. بنابراین جمع‌آوری‌کننده محصول‌های قابل‌بازسازی را با قیمت u_1 و محصول‌های قابل بازیافت را با قیمت u_2 از مصرف‌کننده خریداری می‌کند. خرده‌فروش محصول‌های قابل‌بازسازی به ارزش v_1 را از جمع‌آوری‌کننده خریداری کرده و پس از بازسازی با قیمت p_{2r} به مصرف‌کننده می‌فروشد. همچنین بازیافت‌کننده محصولات قابل‌بازیافت را از جمع‌آوری‌کننده به ارزش θ_{u1} خریداری کرده، به میزان c_p صرف بازیافت مواد می‌کند و با قیمت v_2 به تولیدکننده می‌فروشد. تولیدکننده نیز با صرف هزینه c_1 برای ساخت کل محصولات و صرف هزینه c_2 برای جبران کمبود مواد اولیه، محصولات سبز تولیدشده را با قیمت w_{2g} به خرده‌فروش می‌فروشد؛ بنابراین خرده‌فروش، دو نوع محصول برای عرضه به بازار دارد. محصولات بازسازی‌شده با قیمت p_{2r} و محصولات سبز با قیمت p_{2g}.

شکل (۲) رابطه بین تولیدکننده، خرده‌فروش، جمع‌آوری‌کننده، بازیافت‌کننده و مصرف‌کننده را نشان می‌دهد. رابطه بین اعضا توسط مدل استکلبرگ (رهبر – پیرو) مدل‌سازی شده‌است که در آن تولیدکننده نقش رهبر را به عهده دارد. این پژوهش می‌خواهد قیمت بهینه هریک از محصولات و میزان سرمایه‌گذاری برای کاهش انتشار کربن را به‌دست آورد. همچنین برای دستیابی به سودآوری بیشتر، همکاری در جمع‌آوری محصولات و کاهش انتشار کربن، ۷ سناریو از همکاری بازیکنان مختلف بررسی می‌شود که در شکل (۲) نشان داده شده‌است. برای هرکدام از مدل‌ها مقدار بهینه قیمت فروش محصولات و میزان سرمایه‌گذاری برای کاهش انتشار کربن مشخص

می‌شود. درنهایت سناریوهای مختلف با مدل پایه (بدون سناریو) مقایسه می‌شوند. در سناریو اول تولیدکننده و بازیافت‌کننده برای سرمایه‌گذاری در کاهش انتشار کربن، بازیافت مواد و ساخت محصولات سبز مشارکت می‌کنند. در سناریو دوم خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده در جمع‌آوری و بازسازی محصولات متحد می‌شوند. دو سناریو تولیدکننده و بازیافت‌کننده و سناریو خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده هم‌زمان در سناریو سوم بررسی می‌شود. در سناریو چهارم بازیافت‌کننده و جمع‌آوری‌کننده در جمع‌آوری محصولات و بازیافت مواد سناریو تشکیل می‌دهند. سه بازیکن خرده‌فروش، جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده در جمع‌آوری و بازسازی محصولات در سناریو پنجم شرکت می‌کنند. همچنین در سناریو ششم برای جمع‌آوری محصولات، ساخت محصولات سبز و سرمایه‌گذاری برای کاهش انتشار کربن سه بازیکن تولیدکننده، جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده مشارکت می‌کنند. درنهایت هر چهار بازیکن برای ساخت محصولات سبز، جمع‌آوری و بازسازی محصولات و سرمایه‌گذاری در کاهش انتشار کربن در سناریو هفتم شرکت می‌کنند. همچنین مسئله پایداری در زنجیره تامین حلقه بسته در دو بعد سرمایه‌گذاری در کاهش آلایندگی و مسئله اجتماعی و سود حاصل از عملکرد ظرفیت زنجیره تامین در هر دوره ارزیابی شده‌است.



شکل ۲. رابطه بین بازیکنان زنجیره تامین حلقه بسته

- پارامترها

در این پژوهش از پارامترهای زیر در جدول (۳) برای مدل‌سازی استفاده شده‌است.

جدول ۳. پارامترها

پارامترها	
a_1	تقاضای بالقوه بازار در دوره اول
a_2	تقاضای بالقوه بازار در دوره دوم
c_m	هزینه تولید یک واحد محصول برای تولیدکننده در دوره اول

c_p	متوسط هزینه بازیافت هر واحد محصول استفاده‌شده برای بازیافت‌کننده
c_1	هزینه تولید یک واحد محصول سبز برای تولیدکننده در دوره دوم
c_2	متوسط هزینه جبران کمبود مواد اولیه یک واحد محصول برای تولیدکننده در دوره دوم
u_1	پرداخت هزینه به مشتری بابت خرید محصول قابل‌بازسازی
u_2	پرداخت هزینه به مشتری بابت خرید محصول بازیافتی
θu_2	هزینه خرید محصول قابل بازیافت از جمع‌آوری‌کننده
k	ضریب هزینه کاهش انتشار کربن
ω	ضریب حساسیت مصرف‌کننده نسبت به قیمت
γ	ضریب حساسیت مصرف‌کننده نسبت به کم‌بودن انتشار کربن
δ	ضریب حساسیت مصرف‌کننده نسبت به محصولات سبز و بازسازی‌شده دوره دوم
λ	ضریب حساسیت مصرف‌کننده نسبت به محصولات سبز و بازسازی‌شده دوره دوم
σ	ضریب حساسیت تولیدکننده نسبت به قیمت
متغیرهای تصمیم‌گیری	
p_1	قیمت فروش هر واحد محصول در دوره اول
p_{2r}	قیمت فروش هر واحد محصول بازسازی‌شده در دوره دوم
p_{2g}	قیمت فروش هر واحد محصول سبز در دوره دوم
w_1	قیمت فروش عمده محصولات در دوره اول
w_{2g}	قیمت فروش عمده محصولات سبز در دوره دوم
v_1	ارزش محصول قابل‌بازسازی که جمع‌آوری‌کننده به خرده‌فروش می‌فروشد
v_2	ارزش محصول قابل بازیافت که بازیافت‌کننده به تولیدکننده می‌فروشد
e_1	نرخ کاهش انتشار کربن هر واحد محصول در دوره اول
e_2	نرخ کاهش انتشار کربن هر واحد محصول در دوره دوم
q_1	تقاضای محصول در دوره اول
q_{2r}	تقاضای محصول بازسازی‌شده در دوره دوم
q_{2g}	تقاضای محصول سبز در دوره دوم
Q	تعداد محصول سبز که تولیدکننده از بازیافت‌کننده خریداری می‌کند
توابع سود	
π_m	تابع سود تولیدکننده در هر دوره $i = 1, 2$

π_r	تابع سود خرده‌فروش در هر دوره $i=1,2$
π_{co}	تابع سود جمع‌آوری‌کننده
π_{re}	تابع سود بازیافت‌کننده

در این مسئله روابط بین اعضا از مدل استکلبرگ پیروی می‌کنند و تولیدکننده نقش رهبر را به عهده دارد. در این پژوهش قصد بر این است در دوره اول مقدار بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی و نرخ کاهش انتشار را به‌دست آید. در این دوره تنها یک تولیدکننده و خرده‌فروش داریم. روابط (۱۳) و (۱۴) سود دوره اول تولیدکننده و خرده‌فروش را نشان می‌دهد. درآمد تولیدکننده، تفاوت قیمت عمده‌فروشی و هزینه تولید در میزان تقاضاست. همچنین میزان سرمایه‌گذاری تولیدکننده برای کاهش انتشار کربن هزینه $\mathrm{ke}_1^2/2$ را شامل می‌شود. درآمد خرده‌فروش، تفاوت قیمتی که از تولیدکننده می‌خرد و قیمتی که به مصرف‌کننده می‌فروشد به ازای هر تقاضاست؛ بنابراین توابع سود به‌صورت زیر نوشته می‌شوند:

$$\pi_{1m}=(w_1-c_m)q_1-\frac{ke_1^2}{2} \quad (۱۳)$$

$$s.t:\pi_{1r}=(p_1-w_1)q_1 \quad (۱۴)$$

برای به‌دست‌آوردن مقدار p_1 باید $\partial^2\pi_{1r}/\partial p_1^2=-2\omega<0$ برقرار باشد تا سود دوره اول خرده‌فروش حداکثر شود. همچنین برای حداکثرشدن سود تولیدکننده باید تابع هیشین π_{1m} مقعر باشند. در این روابط ابتدا خرده‌فروش نسبت به p_1 مشتق گرفته و مقدار بهینه p_1 را اعلام می‌کند. سپس تولیدکننده مقادیر بهینه w_1,e_1 خود را مشخص می‌کند و روابط بهینه w_1^*,e_1^*,p_1^* به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند.

$$w_1=\frac{2k(a_1+\omega c_m)-\gamma^2 c_m}{4k\omega-\gamma^2} \quad (۱۵)$$

$$e_1=\frac{\gamma(a_1-\omega c_m)}{4k\omega-\gamma^2} \quad (۱۶)$$

$$p_1=\frac{3ka_1+c_m(k\omega-\gamma^2)}{(4k\omega-\gamma^2)} \quad (۱۷)$$

در دوره دوم، جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده نیز به مدل اضافه می‌شوند که توابع سود آنها به شرح زیر نوشته می‌شود:

$$\pi_{2m}=(w_{2g}-c_1)q_{2g}-v_2Q-c_2(q_{2g}-Q)-\frac{ke_2^2}{2} \quad (۱۸)$$

$$s.t\begin{cases}\pi_{2r}=(p_{2g}-w_{2g})q_{2g}+(p_{2r}-v_1)q_{2r} & (۱۹)\\ \pi_{co}=(v_1-u_1)q_{2r}+(\theta u_2-u_2)q_{2g} & (۲۰)\\ \pi_{re}=(v_2-c_p)Q-\theta u_2 q_{2r} & (۲۱)\end{cases}$$

قسمت اول معادله (۱۸) سود حاصل از تفاوت قیمت عمده‌فروشی و هزینه بازسازی می‌باشد. قسمت دوم تعداد واحدهایی که تولیدکننده از بازیافت‌کننده خریداری کرده است، می‌باشد. ازآنجاییکه تقاضای بازار q_{2g} واحد است و تولیدکننده فقط Q واحد خریداری کرده پس به میزان $c_2(q_{2g}-Q)$ باید هزینه شود تا کمبود مواد اولیه جبران شود. قسمت چهارم نیز سرمایه‌گذاری کاهش انتشار ناشی از بازسازی می‌باشد. رابطه (۱۹) و (۲۰) سود حاصل از فروش هر محصول را نشان می‌دهد. قسمت اول معادله (۲۱) سود حاصل از فروش Q واحد به تولیدکننده است. همچنین هزینه خرید کل واحدهای خریداری‌شده، کسر شده‌است.

در دوره دوم، قصد بر این است که مقدار بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی محصولات سبز و بازسازی‌شده، قیمت فروش محصولات استفاده‌شده قابل‌بازسازی و بازیافت و نرخ کاهش انتشار را به‌دست آورد. ابتدا خرده‌فروش، مقدار بهینه p_{2g}, p_{2r} را مشخص می‌کند که با تعیین این مقادیر و ارتباط آنها با q_{2g}, q_{2r} تحقیقات بازار صورت گرفته و میزان محصولات موردنیاز مصرف‌کننده مشخص می‌شود. بنابراین مقادیر بهینه $w^*_{2g}, e^*_2, v^*_1, v^*_2, p^*_{2g}, p^*_{2r}$ در مدل پایه به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند.

$$w_{2g}=\frac{\begin{array}{c}-2kA_0(\lambda+\delta(2+m(\delta+\lambda)))a_2\\+A_0\lambda(\delta d_1+(\theta-1)\lambda d_2)+B_0(2c_1+c_2)+C_0c_p\end{array}}{\gamma^2\delta^2(2+m\delta)^2\sigma-2kD_0(\delta(2+m\delta)(\delta+4\sigma)-\lambda^2(1+m(\delta+4\sigma(\theta-1)))} \quad (۲۲)$$

$$e_2=\frac{\begin{array}{c}\gamma\delta\sigma(2+m\delta)(-(\lambda+\delta(2+m(\delta+\lambda)))a_2\\+D_0(2c_1+c_2))+A_0c_p+\lambda(\delta d_1+\lambda(\theta-1)d_2)\end{array}}{\gamma^2\delta^2(2+m\delta)^2\sigma-2kD_0(\delta(2+m\delta)(\delta+4\sigma)-\lambda^2(1+m(\delta+4\sigma(\theta-1)))} \quad (۲۳)$$

$$v_2=\frac{\begin{array}{c}(\lambda+\delta(2+m(\delta+\lambda)))a_2+2\sigma(\delta(2+m\delta)-m(\theta-1)\lambda^2)c_p\\-\lambda\delta d_1-(\theta-1)\lambda^2d_2+\gamma\delta(2+m\delta)e_2-D_0w_{2g}\end{array}}{4\sigma(\delta(2+m\delta)-m(\theta-1)\lambda^2)} \quad (۲۴)$$

$$v_1=\frac{(1+m(\delta+(\theta-1)\lambda))a_2-\delta d_1-(\theta-1)\lambda(d_2-m\gamma e_2)+\lambda(1-m\delta(\theta-2)w_{2g}}{\delta(2+m\delta)-m(\theta-1)\lambda^2} \quad (۲۵)$$

$$p_{2g}=\frac{(\delta+\lambda)a_2+\gamma\delta e_2+(\delta^2-\lambda^2)w_{2g}}{2(\delta^2-\lambda^2)} \quad (۲۶)$$

$$p_{2r}=\frac{(\delta+\lambda)a_2+\gamma\lambda e_2+(\delta^2-\lambda^2)v_1}{2(\delta^2-\lambda^2)} \quad (۲۷)$$

همانطورکه مشخص است، مسئله زنجیره تامین در حوزه سرمایه‌گذاری، یک مسئله کلیدی و کنسرسیومی میان اعضای زنجیره می‌باشد چراکه بدون هماهنگی اعضا، سرمایه‌گذاری در ابعاد مختلف زنجیره تامین امکان‌پذیر نیست. از این رو جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای و نقش مسئولیت اجتماعی، میان بازیگران زنجیره تامین حلقه بسته پایدار، هماهنگی و سناریوهایی شکل می‌گیرد که توابع سود دو یا چند بازیگر فعال در زنجیره باهم ادغام شده

و یک سناریو میان دو بازیکن و یا سه بازیکن باهم شکل می‌گیرد. لذا با توجه به این مسئله که زنجیره تامین موردمطالعه دارای چهار بعد تولیدکننده، خرده‌فروش (در زنجیره تامین روبه‌جلو) و جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده (در زنجیره تامین روبه‌عقب) می‌باشد، سناریوهایی میان تولیدکننده (روبه‌جلو) و بازیافت‌کننده (روبه‌عقب) در سناریو اول بررسی می‌شود. همچنین خرده‌فروش (در زنجیره روبه‌جلو) و جمع‌آوری‌کننده (در زنجیره روبه‌عقب) در سناریو دوم بررسی و در سناریو سوم مجموع دو سناریو اول و دوم بررسی شده و در سناریو چهارم نیز جز تولیدکننده سناریو با یکدیگر تشکیل می‌دهند و در سناریو پنجم نیز سه بازیکن خرده‌فروش (در زنجیره روبه‌جلو)، جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده (در زنجیره تامین روبه‌عقب) در جمع‌آوری و بازسازی محصولات بررسی می‌شوند. در سناریو ششم تولیدکننده، جایگزین خرده‌فروش می‌شود و درنهایت در سناریو هفتم کلیه اعضای چهارگانه زنجیره تامین با یکدیگر تعامل بر قرار می‌سازند تا سطح بهینگی اهداف کاهش گازهای گلخانه‌ای و مسئولیت‌پذیری بهینه شود. درواقع هدف از ایجاد این سناریو، بررسی سود بیشتر هریک از بازیکنان در راستای کاهش گازهای گلخانه‌ای و نقش مسئولیت اجتماعی است.

۴) یافته‌ها

٤-۱) شناسایی، پالایش و غربال شاخص‌ها با تکنیک دلفی‌فازی

ابتدا براساس ادبیات پژوهش و مصاحبه‌های تخصصی انجام‌شده، مجموعه‌ای از شاخص‌ها در جدول (۴) شناسایی شده‌است. برای غربال و تایید نهایی شاخص‌ها از روش دلفی‌فازی استفاده شده‌است.

جدول ٤. نمادگذاری شاخص‌ها

نماد	شرح شاخص	منابع
C1	حجم مواد اولیه	گوارنیری و همکاران[25] (۲۰۱۵)
C2	ظرفیت واحد	(بویوکوزکان و سیفچی[26]،۲۰۱۱؛ ساویک[27]،۲۰۱۶)
C3	نیروی انسانی	(امینی،۱۳۹۸)- (شجاع، ۱۳۹۹)
C4	میزان سربار تولید	(لی، ۲۰۲۱)
C5	هزینه نگهداری	(هاشمی و همکاران،۲۰۱۵؛ کنان[28]،۲۰۱۸، لی، ۲۰۲۱)
C6	هزینه تعمیرات	(ژائو و همکاران[29]،۲۰۱۸؛ گویندا و همکاران[30]،۲۰۱۶، شعاییبنی، ۲۰۲۲)
C7	هزینه تولید مستقیم	(لوترا و همکاران[31]،۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران[32]،۲۰۱۷، شعاییبنی، ۲۰۲۲)
C8	مساحت تولید	بویوکوزکان و سیفچی[33]،۲۰۱۱؛ ساویک[34]،۲۰۱۶)
C9	طراحی محصول پایدار برای کاهش مواد	(ژائو و همکاران،۲۰۱۸؛ گویندا و همکاران[35]،۲۰۱۶)

[25] Guarnieri et al
[26] Buyukozkan &Cifci
[27] Sawik
[28] Kannan
[29] Zhu et al
[30] Govindan et al
[31] Luthra et al
[32] Golini et al
[33] Buyukozkan &Cifci
[34] Sawik
[35] Govindan

	مصرفی و هزینه	
C10	سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه برای محصولات پایدار	(کالیک و باردودین[۳۶]،۲۰۱۶؛ انصاری و کانت[۳۷]، ۲۰۱۷)
C11	هزینه نهایی برای خرید یک واحد از مواد خام یا محصول نیمه ساخته	(هاشمی و همکاران،۲۰۱۵؛ کنان[۳۸]،۲۰۱۸)
C12	میزان تولید	
C13	معکوس تلفات	(لوترا و همکاران،۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران،۲۰۱۷) (شعاییینی، ۲۰۲۲)
C14	سود حاصل از فروش	(هاشمی و همکاران،۲۰۱۵؛ کنان،۲۰۱۸)
C15	کاهش آلایندگی محیطی	هسو و همکاران[۳۹] (۲۰۱۶)
C16	کاهش آلایندگی هوا	(تسنگ و همکاران[۴۰]،۲۰۱۱؛ گریم و همکاران[۴۱]،۲۰۱۴)
C17	بازگشت سرمایه محصولات	(هامفریس و همکاران[۴۲]،۲۰۰۳؛ یه و همکاران[۴۳]،۲۰۱۱)
C18	توانایی لجستیک سبز	(لی و همکاران[۴۴]،۲۰۱۸؛ ماتیواتانان و همکاران[۴۵]،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[۴۶]،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 (۵) آورده شده‌است.

جدول ۵. 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
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

[36] Calik and Bardudeen
[37] Ansari and Kant
[38] Kannan
[39] Hsu et al
[40] Tseng et al
[41] Grimm et al
[42] Humphreys et al
[43] Yeh et al
[44] Li et al
[45] Mathivathanan et al
[46] Tariq et al

نام معیار	میزان اهمیت				
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
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 (۵) 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 (۶) 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.

جدول ٦. 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
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

نام معیار	امتیاز فازی	امتیاز غیرفازی	وضعیت
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 (۷) 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 (۷) 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.

جدول ۷. 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 (۷) آورده شده‌است.

همانطورکه در جدول (۸) 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 ۸. 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 (۹) آورده شده‌است.

جدول ۹- 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

٤-۲) 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 (۱۰) آورده شده‌است.

جدول ۱۰. 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 (۱۱) آورده شده‌است. بر این اساس شرکت D رتبه اول را کسب کرده‌است لذا به‌عنوان رهبر وارد نظریه بازی می‌شود.

جدول ۱۱. 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.

٤-۳) نتایج عددی قیمت‌گذاری در تئوری بازی‌ها

در این بخش تجزیه‌وتحلیل عددی و تحلیل حساسیت سود بازیکنان در سناریوهای مختلف ارائه شده‌است تا بهترین سناریو از لحاظ سود بازیکنان، سود کلی زنجیره تامین، میزان کاهش انتشار کربن و مقادیر محصول‌های جمع‌آوری‌شده مشخص شوند. از این رو استراتژی‌های تئوری بازی به شرح ذیل می‌باشد:

برای کوتاه‌کردن روابط از تغییر متغیرهای زیر استفاده شده‌است.

تغییر متغیرهای مدل پایه (بدون سناریو)

$$A_0 = m\delta^3 + \delta(-m\lambda^2 + 4\sigma) + 2\delta^2(1+m\sigma) - \lambda^2(1+2m\sigma(\theta-1))$$

$$B_0 = \sigma(\delta^2(\gamma^2 - 4k\delta)(2+m\delta)^2 + 4k\delta(2+m\delta)(1+m\delta\theta)\lambda^2 - 4km(1+m\delta)(\theta-1)\lambda^4)$$

$$C_0 = \sigma(\gamma^2\delta^2(2+m\delta)^2 + 8k\sigma(\delta(2+m\delta) - m(\theta-1)\lambda^2)^2$$

$$D_0 = \delta^2(2+m\delta) - (1+m\delta)\lambda^2$$

تغییر متغیرهای سناریو اول

$$A_1 = 2k\,(\delta(2+m\delta)(1+m\delta\theta) - m(-1+(2+m\delta)\theta)\lambda^2$$

$$B_1 = \delta^2(\gamma^2 - 2k\,\delta)(2+m\delta)^2 + 2k\,\delta(2+m\delta)(1+m\delta\theta)\lambda^2 - 2km(1+m\delta)(\theta-1)\lambda^4$$

$$C_1 = \delta^2(\gamma^2 - 2k\,\delta)(2+m\delta)^2\theta + 2k\,\delta(2+m\delta)(1+m\delta\theta)\lambda^2 + 2km(\theta-1)\lambda^4$$

$$D_1 = \delta(2+m\delta)$$

تغییر متغیرهای سناریو دوم

$$A_2 = -(\delta + m(\delta^2 - \lambda^2) + 2\sigma(-1+m\delta(-2+\theta) + m^2(\theta-1)(\delta^2-\lambda^2))$$

$$B_2 = ((\gamma+m\gamma\delta)^2 + 4k\,(\delta + m(\delta^2-\lambda^2))(-2k\,(\delta + m(\delta^2-\lambda^2) +$$

$$2\sigma(-1+m\delta(-2+\theta) + m^2(\theta-1)(\delta^2-\lambda^2)))\sigma)$$

$$C_2 = \sigma((\gamma+m\gamma\delta)^2 + 8k\,(-2k\,(\delta + m(\delta^2-\lambda^2) + 2\sigma(-1+m\delta(-2+\theta) + m^2(\theta-1)(\delta^2-\lambda^2)))^2\sigma)$$

$$D_2 = \delta + m(\delta^2 - \lambda^2)$$

$$E_2 = (\delta+\lambda)(-1+2m^2(\theta-1)(\delta^2-\lambda^2) + m(-3\delta + 2\delta\theta - \lambda(\theta-1)))$$

$$E_2^{'} = (\delta+\lambda)(-1+2m^2(\theta-1)(\delta^2-\lambda^2) + m(\delta(-3+\theta) + \lambda))$$

$$F_2 = \gamma(\delta(1+m\delta)(-1+2m\delta(\theta-1)) - m(1+2m\delta)(\theta-1)\lambda^2)$$

$$F_2^{'} = \lambda(\gamma(-1+2m\delta(\theta-2)) + 2m^2(\theta-1)(\delta^2-\lambda^2))$$

تغییر متغیرهای سناریو سوم

$$A_3 = (\gamma+m\gamma\delta)^2 + 2k\,(\delta + m(\delta^2-\lambda^2))(-1+m\delta(-2+\theta) + m^2(\theta-1)(\delta^2-\lambda^2))$$

$$B_3 = (\gamma+m\gamma\delta)^2\theta + 2k\,(\delta + m(\delta^2-\lambda^2))(1-2\theta + m\delta(2+\theta(\theta-4)) + m^2(\theta-1)(\delta^2-\lambda^2))$$

تغییر متغیرهای سناریو چهارم

$$A_4 = k\,(2+m\delta^3) + \delta(-2m\lambda^2 + 8\sigma) + 4\delta^2(1+m\sigma) + \lambda^2(-3+4m\sigma)$$

$$B_4 = \gamma^2\delta^2(2+m\delta)^2\sigma - k\,(\delta^2(2+m\delta) - (1+m\delta)\lambda^2)(4\delta(2+m\delta)\sigma + \lambda^2(-1+4m\sigma)$$

$$C_4 = \gamma^2 D_1^2\sigma + k\,\lambda^2(\delta D_1 - (1+m\delta)\lambda^2 - 2(D_1 + m\lambda^2)\sigma) + 8k\,(D_1 + m\lambda^2)^2\sigma^2$$

$$D_4 = m\delta^3 + \delta(-m\lambda^2 + 4\sigma) + 2\delta^2(1+m\sigma) + \lambda^2(-1+2m\sigma)$$

تغییر متغیرهای سناریو پنجم

$$A_5 = \gamma^2 - 2k\,\delta(2+m\delta) + 2km\lambda^2$$

$$B_5 = -\delta(2+m\delta) + m\lambda^2$$

تغییر متغیرهای سناریو ششم

$$A_6 = k\,(\delta + 4\sigma + 8m\delta\sigma + m(\delta^2 - \lambda^2(1+4m\sigma))$$
$$B_6 = k\,(\delta + m(\delta^2 - \lambda^2)^2 + ((\gamma + m\gamma\delta)^2 - 4k\,\sigma(1+m(\delta-\lambda))(\delta + m(\delta^2-\lambda^2)(1+m(\delta+\lambda)))$$
$$C_6 = (\gamma + m\gamma\delta)^2\sigma + k\,((\delta + m(\delta^2-\lambda^2)^2 - 2(1+m(\delta-\lambda))(\delta + m(\delta^2-\lambda^2)(1+m(\delta+\lambda))\sigma$$
$$+8\sigma^2(1+m(\delta-\lambda))^2(1+m(\delta+\lambda))^2)$$
$$D_6 = \delta + 2\sigma + 4m\delta\sigma + m\delta^2(1+2m\sigma) - m\lambda^2(1+2m\sigma)$$
$$E_6 = (\delta+\lambda)(-2\delta - 2m(\delta^2-\lambda^2) + \lambda + 4(1+2m((\delta-\lambda))(1+m(\delta+\lambda))\sigma)$$
$$E_6^{'} = (\delta+\lambda)(-\delta - 2m(\delta^2-\lambda^2) + 4(1+2m((\delta-\lambda))(1+m(\delta+\lambda))\sigma)$$
$$F_6 = \gamma(\lambda^2 + 2(\delta + m(\delta^2-\lambda^2)(2\sigma + \delta(-1+4m\sigma)))$$
$$F_6^{'} = 4\sigma - 2m(1-4m\sigma)(\delta^2-\lambda^2) + \delta(-1+8m\sigma)$$

تغییر متغیرهای سناریو هفتم

$$A_7 = m\gamma^2\lambda + k\,(\delta+\lambda)(1+2m(\delta-\lambda))$$
$$B_7 = \gamma^2(1+2m\delta) - 2k\,(1+2m(\delta-\lambda))(\delta+\lambda)(1+m(\delta+\lambda)))$$
$$C_7 = -2k\,(1+m\delta)(\delta^2-\lambda^2) + \gamma^2(\delta + 2m\lambda^2)$$

- داده‌های مسئله

همانطورکه گفته شد برای حل مدل باید مقادیر پارامترهای مسئله موردبحث، مشخص باشد. یکی از روش‌های به‌دست‌آوردن مقادیر داده‌ها، استفاده از مقادیر مطالعات پیشین به‌دلیل وجود اعتبار بالا و قدرت تست مناسب می‌باشد. در این مسئله از داده‌های موجود در مقالات توسط ژو و راس[۴۷] (۲۰۱۸)و یی و ون [۴۸](۲۰۲۳) در جهت حل مدل استفاده شده‌است. داده‌های مورداستفاده در مدل پایه به‌صورت جدول (۱۲) می‌باشد:

جدول ۱۲. داده‌ها

داده‌های مستخرج از مقالات								
پارامترها	a_1	a_2	k	ω	γ	δ	λ	σ
مقادیر	100	$0.25a_1$	0.5	0.5	0.3	0.5	0.3	0.1
پارامترها	c_m	c_p	c_1	c_2	θ	m	d_1	d_2
مقادیر	30	5	5	10	1.2	0.4	5	5

-حل مدل توسعه‌داده‌شده

با استفاده از پارامترهای جدول فوق، نتایج عددی با درنظرگرفتن روابط بین اعضا، از مدل استکلبرگ پیروی کرده‌است. تولیدکننده نقش رهبر را به عهده دارد و در قالب هفت سناریوی مدل حل‌شده، نتایج به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند و در جدول (۱۳) نمایش‌داده شده‌است. برای مقایسه بهتر سناریوها از جمع توابع سود π_{Total} استفاده می‌شود که در مدل پایه به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

[47] Zhu & Rass
[48] Yi & Wen

$$\pi_{Total} = \pi_{2m} + \pi_{2r} + \pi_{co} + \pi_{re}$$

در معادله فوق، π_{Total} عبارت است از مقادیر مجموع سود تولیدکننده، سود خرده‌فروش، سود جمع‌آوری‌کننده و درنهایت سود بازیافت‌کننده.

در این مسئله با حل مدل توسعه‌داده‌شده در نرم‌افزار $MATLAB$ و با استفاده از داده‌های مورداستفاده، مدل حل شد. درنهایت نتایج حاصل از سناریوهای اول تا هفتم و مقدار مدل پایه‌حل‌شده به‌همراه مقادیر بهینه متغیرهای $w^*_{2g}, e^*_2, v^*_1, v^*_2, p^*_{2g}, p^*_{2r}$ به‌صورت جدول (۱۳) می‌باشد:

جدول ۱۳. نتایج محاسبات عددی

		مدل پایه	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم	سناریو چهارم	سناریو پنجم	سناریو ششم	سناریو هفتم
Decision Variable	v_1	۴۶/۵۱	۴۱/۶	-	-	۵۲/۱۵	-	-	-
	v_2	۱۸/۷۶	-	۱۲/۸۲	-	۲۰/۳۶	-	۲۲/۱۷	-
	w_{2g}	۶۶/۱۳	۵۰/۵۱	۴۷/۰۴	۳۴/۸۴	۶۸/۳۸	۳۴/۱۴	۵۹/۵۳	-
	e_2	۲/۰۵	۱۱/۷۶	۱	۷/۷۹	۲/۲۹	۶/۴۷	۲/۱۹	۴۴/۸۴
	p_{2g}	۹۶/۵۳	۹۳/۲۷	۸۶/۸۲	۸۳/۵۸	۹۷/۷۷	۸۲/۶	۸۳/۷۸	۹۲/۳۱
	p_{2r}	۸۶/۳۳	۸۶/۶۱	۲۵/۶۷	۶۸/۵۲	۸۹/۲۲	۷۹/۴۷	۶۷/۲۳	۷۸/۰۷
Profit Function	π_{co}	۵۰۶/۹۱	۴۱۰/۵۶	-	-	-	-	-	-
	π_{re}	۴/۵	-	۴/۲۳	-	-	-	-	-
	π_{2r}	۵۲۸/۶	۷۷۲/۲۹	-	-	۴۶۵/۲۳	۹۵۳/۴۱	-	-
	π_{2g}	۲۹/۱۱	۳۰۱/۹۹	۱۲۱۷/۶۷	-	۵۵۴/۰۲	-	۲۱/۱۱	-
	π_{Total}	۱۰۶۹/۱۲	۱۴۸۴/۸۴	۱۲۱۶/۸۵	۱۵۱۲/۰۲	۱۰۵۳/۴۷	۸۶۹	۱۲۴۳/۵۸	۱۸۳۰/۸۱

همانطورکه بیان شد در این مسئله روابط بین اعضا، از مدل استکلبرگ پیروی می‌کنند و تولیدکننده نقش رهبر را به عهده دارد. در دوره اول از این مسئله، مقدار بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی و نرخ کاهش انتشار به‌دست آمد که در آن دوره تنها یک تولیدکننده و خرده‌فروش درنظر گرفته شده‌است. در دوره دوم جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده نیز به مدل اضافه شدند. هدف در دوره دوم، به‌دست‌آوردن مقادیر بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی محصولات سبز و بازسازی‌شده، قیمت فروش محصولات استفاده‌شده قابل‌بازسازی و بازیافت و نرخ کاهش انتشار می‌باشد لذا ابتدا خرده‌فروش مقدار بهینه p_{2r} و p_{2g} را مشخص می‌کند که با تعیین این مقادیر و ارتباط آنها با q_{2r} و q_{2g} تحقیقات بازار صورت‌گرفته و میزان محصولات موردنیاز مصرف‌کننده مشخص می‌شود. درنهایت مقادیر بهینه $w^*_{2g}, e^*_2, v^*_1, v^*_2, p^*_{2g}, p^*_{2r}$ در مدل پایه مطابق با جدول (۱۳) به‌دست آمد.

در جدول شماره (۱۳)، هرکدام از مقادیر بیان‌شده $w_{2g}^*, e_2^*, v_1^*, v_2^*, p_{2g}^*, p_{2r}^*$ برای سناریوهای اول تا هفتم و همچنین مدل پایه محاسبه شده‌اند. همانگونه که از روند جدول می‌توان فهمید، مقادیر v_2^* برای سناریو اول برابر صفر می‌باشد. همچنین مقدار ارزش محصول قابل‌بازسازی که جمع‌آوری‌کننده به خرده‌فروش می‌فروشد، در سناریو اول برابر ۴۱/۶۰ می‌باشد. همچنین در سناریو دوم، مقدار v_2^* برابر با ۱۲/۱۸۲ می‌باشد که نشان‌دهنده این است که مقدار بهینه متغیر ارزش محصول قابل بازیافت که بازیافت‌کننده به تولیدکننده می‌فروشد، در سناریو دوم برابر با ۱۲/۸۲ واحد می‌باشد یا به‌عنوان مثال: در جدول شماره (۱۳) در سناریو چهارم، مقدار بهینه متغیر p_{2g}^* برابر با مقدار ۹۷/۷۷ می‌باشد که نشان‌دهنده این واقعیت است که مقدار بهینه متغیر قیمت فروش هر واحد محصول سبز در دوره دوم در سناریو چهارم مقداری برابر با ۹۷/۷۷ واحد دارد. در بخشی دیگر از جدول شماره (۱۳)، مقادیر بهینه تابع سود تولیدکننده، سود خرده‌فروش، سود جمع‌آوری‌کننده و درنهایت سود بازیافت‌کننده به‌همراه سود کل برای تمام سناریوها بیان شده‌است. به‌عنوان مثال: در سناریو شماره ۶، مقدار تابع سود تولیدکننده در دوره دوم، برابر است با ۲۱/۱۱ واحد و همین مقدار برای سناریو هفتم برابر با صفر می‌باشد.

همانطورکه π_{Total} نشان می‌دهد بیشترین سود مربوط به سناریو هفتم (همکاری تمام اعضای زنجیره تامین) و کمترین سود مربوط به سناریو پنجم (همکاری جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده) می‌باشد. سناریو هفتم، سناریو سوم، سناریو اول، سناریو ششم و سناریو دوم به‌ترتیب سودی بالاتر از مدل پایه (بدون سناریو) دارند اما سناریو چهارم و سناریو پنجم به‌ترتیب سود کمتری نسبت به مدل پایه دارند. این نشان می‌دهد که سناریو بین اعضای زنجیره تامین همیشه سودمند نیست. بنابراین کلیه حالات سناریوهای مختلف باید بررسی شوند تا بهترین استراتژی تصمیم‌گیری مشخص شود.

در سناریو هفتم مشارکت تمامی اعضا جهت سرمایه‌گذاری بر روی کاهش انتشار کربن محصولات به‌وضوح بیشتر شده و رشد قابل‌توجهی بر روی سرمایه‌گذاری انتشار کربن صورت‌گرفته‌است. این امر باعث رضایت مصرف‌کنندگان، افزایش تقاضا و به دنبال آن سود کلی بیشتر شده‌است.

میزان محصولات سبز و بازسازی‌شده در سناریو هفتم نسبت به مدل پایه بیشتر می‌باشد و درواقع جمع محصولات خریداری‌شده در سناریو هفتم بیشتر از تمامی سناریوها می‌باشد که نشان از ارضای ترجیحات مصرف‌کننده و تقاضای بیشتر محصولات می‌باشد.

قیمت محصولات سبز و بازسازی‌شده تقریبا در تمام سناریوها کمتر از مدل پایه می‌باشد که به‌دلیل کاهش هزینه‌های حاشیه‌ای، همکاری، رقابت مفید و سناریو مطلوب بین اعضای زنجیره تامین می‌باشد.

-تحلیل سناریو ها میان بازیکنان زنجیره تامین حلقه بسته

مسئله هماهنگی و سناریو میان اعضای اصلی زنجیره تامین حلقه بسته با درنظرگرفتن ابعاد زیست محیطی و اجتماعی در مدیریت ناب، یک مسئله بدیهی برای توسعه سرمایه‌گذاری در سیستم موردمطالعه می‌باشد. از این رو براساس تحلیل انجام‌شده در مدل پایه (عدم سناریو میان اعضای چهارگانه تولیدکننده، خرده‌فروش، جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده) تابع سود نهایی حاصل از تابع سود چهار بازیکن عدد ۱۰۶۹/۱۲ واحد بوده‌است. در سناریو اول که میان تولیدکننده و بازیافت‌کننده شکل گرفته‌است، سود بازی به میزان ۴۱۵/۷۲ واحد افزایش داشته و این به منزله توضیح سناریو میان

تولیدکننده و بازیافت‌کننده می‌باشد و به نسبت مدل پایه بهبود بسیار زیادی در سود هر یک از شرکای زنجیره تامین ایجاد کرده‌است. در سناریو دوم نیز نسبت به مدل پایه که خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده با یکدیگر سناریو تشکیل دادند، نشان داده شد که ۱۴۷/۷۳ واحد بهبود میان اعضای سود افزایش یافته‌است و این نشان می‌دهد این سناریو نیز سودآور بوده‌است ولی کماکان سناریو اول سود بیشتری داشته‌است. در سناریو سوم نیز نشان داده شد که سود سناریو از مدل پایه ۱۰۶۹/۱۲ به میزان ۱۵۱۲/۰۲ واحد رسیده‌است و این سناریو برتر از ۲ سناریو قبلی بوده‌است. درنهایت بدترین سناریو در سناریو پنجم بوده که سطح سود ۲۰۰/۱۲ واحد کاهش یافته‌است و این سناریو به‌هیچ‌عنوان در زنجیره تامین سودآور نبوده‌است. درنهایت نشان داده شد که سناریو و همبستگی و یکپارچگی میان اعضای چهارگانه، سود اعضا را به میزان ۷۶۱/۶۹ واحد بهتر از مدل پایه سودآوری ایجاد کرده‌است و این نشان از درست‌بودن استراتژی سناریو میان اعضای زنجیره تامین بوده‌است که در این پژوهش بدان پرداخته شد.

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. درنهایت براساس تئوری بازی، سناریو میان ۴ عضو زنجیره تامین تحلیل و ارزیابی شد و برترین و بدترین سناریوها نیز معرفی شدند. در این مسئله روابط بین اعضا از مدل استکلبرگ پیروی می‌کنند و تولیدکننده نقش رهبر را به عهده دارد. در دوره اول از این مسئله، مقدار بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی و نرخ کاهش انتشار به‌دست آمد که در آن دوره تنها یک تولیدکننده و خرده‌فروش درنظر گرفته شده‌است. در دوره دوم جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده نیز به مدل اضافه شدند. هدف در دوره دوم، به‌دست‌آوردن مقادیر بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی محصولات سبز و بازسازی‌شده، قیمت فروش محصولات استفاده‌شده قابل‌بازسازی و بازیافت و نرخ کاهش

انتشار می‌باشد. π_{Total} نشان می‌دهد بیشترین سود مربوط به سناریو هفتم (همکاری تمام اعضای زنجیره تامین) و کمترین سود مربوط به سناریو پنجم (همکاری جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده) می‌باشد. سناریو هفتم، سناریو سوم، سناریو اول، سناریو ششم و سناریو دوم به‌ترتیب سودی بالاتر از مدل پایه (بدون سناریو) دارند اما سناریو چهارم و سناریو پنجم به‌ترتیب سود کمتری نسبت به مدل پایه دارند. این نشان می‌دهد که سناریو بین اعضای زنجیره تامین همیشه سودمند نیست لذا تمامی حالات سناریوهای مختلف باید بررسی شوند تا بهترین استراتژی تصمیم‌گیری مشخص شود. از این رو براساس تحلیل انجام‌شده در مدل پایه (عدم سناریو میان اعضای چهارگانه تولیدکننده، خرده‌فروش، جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده) تابع سود نهایی حاصل از تابع سود چهار بازیکن عدد ۱۰۶۹/۱۲ واحد بوده‌است. در سناریو اول که میان تولیدکننده و بازیافت‌کننده شکل گرفته‌است، سود بازی به میزان ۴۱۵/۷۲ واحد افزایش داشته‌است و این به منزله توضیح سناریو میان تولیدکننده و بازیافت‌کننده می‌باشد و به نسبت مدل پایه بهبود بسیار زیادی در سود هر یک از شرکای زنجیره تامین ایجاد کرده‌است. در سناریو دوم نیز نسبت به مدل پایه که خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده با یکدیگر سناریو تشکیل دادند، نشان داده شد که ۱۴۷/۷۳ واحد بهبود میان اعضای سود افزایش یافته‌است و مشخص می‌گردد این سناریو نیز سودآور بوده‌است ولی کماکان سناریو اول سود بیشتری داشته‌است. در سناریو سوم نیز نشان داده شد که سود سناریو از مدل پایه (۱۰۶۹/۱۲) به میزان (۱۵۱۲/۰۲) واحد رسیده‌است و این سناریو برتر از ۲ سناریو قبلی بوده‌است. درنهایت بدترین سناریو در سناریو پنجم بوده‌است که سطح سود ۲۰۰/۱۲ واحد کاهش یافته و این سناریو به‌هیچ‌عنوان در زنجیره‌تامین سودآور نبوده‌است. درنهایت نشان داده شد که سناریو و همبستگی و یکپارچگی میان اعضای چهارگانه، سود اعضا را به میزان ۷۶۱/۶۹ واحد بهتر از مدل پایه سودآوری ایجاد کرده‌است و این نشان از درست‌بودن استراتژی سناریو میان اعضای زنجیره تامین بوده‌است.

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

پیشنهادات این تحقیق مطابق با محدودیت‌های تحقیق به‌صورت زیر بیان می‌شود:

۱. محاسبه امتیاز کارآیی با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در کنار اولویت‌بندی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره.
۲. استفاده از مدل‌سازی برنامه‌ریزی آرمانی برای تحلیل قیمت‌گذاری زنجیره تامین سبز.
۳. توسعه چارچوب پیشنهادی برای سایر ساختارهای زنجیره تامین مانند زنجیره تامین حقله بسته.

منابع

1. 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
2. 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
3. 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
4. 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
5. 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
6. 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
7. 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
8. 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
9. 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
10. 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
11. 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
12. 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
13. 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
14. 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
15. 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
16. 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
17. 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
18. 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
19. 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

20. 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
21. 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
22. 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
23. 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
24. 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
25. 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
26. 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
27. 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
28. 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
29. 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
30. 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
31. 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
32. 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)
33. 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
34. 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
35. 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
36. 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
37. Palevich, R. (2011). *Lean sustainable supply chain the: How to create a green infrastructure with lean technologies*. Ft press.
38. 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
39. 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
40. 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

41. 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
42. 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
43. 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
44. 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
45. 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
46. 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
47. 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
48. 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
49. 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
50. 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
51. 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
52. 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
53. 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
54. 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
55. 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
56. 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
57. 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
58. 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
59. 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