



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

case study: home appliance industry

Somayeh Sazegari<sup>1</sup> , Sayyed Mohammad Reza Davoodi<sup>2</sup>  and Alireza Goli<sup>3</sup> 

- 1 .PhD Candidate of Industrial Management, Department of Management, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran. Email: [Somayeh.sazegari@gmail.com](mailto:Somayeh.sazegari@gmail.com)
- 2 .Corresponding Author, Associate professor. Department of Management ,Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan. Email: [smrdavoodi@ut.ac.ir](mailto: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](mailto: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

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:** Sazegari, S. & Others. (2024). Designing a green supply chain pricing model with a multi-criteria decision-making approach and game theory. *Engineering Management and Soft Computing*, 10 (1). 92-122. DOI: <https://doi.org/10.22091/jemsc.2024.11144.1191>



© The Author(s)  
DOI: <https://doi.org/10.22091/jemsc.2024.11144.1191>

Publisher: University of Qom

# طراحی الگوی قیمت گذاری زنجیره تامین سبز با رویکرد تصمیم گیری چندمعیاره و نظریه بازی

مورد مطالعه: صنعت لوازم خانگی

سمیه سازگاری<sup>۱</sup>، سیدمحمد رضا داودی<sup>۲</sup> و علیرضا گلی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری، مدیریت صنعتی (مالی)، گروه مدیریت، واحد دهقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران. رایانامه: [Somayeh.sazegari@gmail.com](mailto:Somayeh.sazegari@gmail.com)

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت، واحد دهقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهقان، ایران. رایانامه: [srmdavoodi@ut.ac.ir](mailto:srmdavoodi@ut.ac.ir)

۳. استادیار، گروه مهندسی صنایع و آینده پژوهی، دانشکده فنی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. [goli.a@eng.ui.ac.ir](mailto:goli.a@eng.ui.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۲</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۶/۰۶/۳۱</p> <p>کلیدواژه‌ها: رویکرد شاخص انتخاب ارجحیت، زنجیره تامین سبز، شرکت لوازم خانگی، قیمت گذاری، نظریه بازی.</p>	<p>امروزه صنعتگران و سیاستگذاران تحت فشارهای فزاینده‌ای قرار دارند تا بطور مداوم اثرات منفی انتشار آلاینده‌های ناشی از زنجیره‌های تامین خود را کاهش دهند. هدف از پژوهش حاضر، طراحی الگوی قیمت گذاری زنجیره تامین سبز با رویکرد تصمیم گیری چندمعیاره و نظریه بازی (مورد مطالعه: صنعت لوازم خانگی) است. در این پژوهش، پس از مطالعه کتابخانه‌ای و شناسایی شاخص‌های کلیدی در پیش‌بینی قیمت گذاری 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 به دلیل 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 داده شد 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 درست بودن استراتژی سناریو میان اعضای زنجیره تامین سبز بوده است.</p>

استناد: سازگاری، سمیه؛ داودی، سیدمحمد رضا؛ گلی، علیرضا. (۱۴۰۳). «طراحی الگوی قیمت گذاری زنجیره تامین سبز با رویکرد تصمیم گیری چندمعیاره

و نظریه بازی». مدیریت مهندسی و رایانش نرم، دوره ۱۰ (۱). صص: ۹۲-۱۲۲. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2024.11144.1191>



## ۱) مقدمه

توسعه سبز یک روند جهانی است که کارآیی، هماهنگی و پایداری را به عنوان 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. در نتیجه زنجیره تامین سبز، به عنوان یکی از حیاتی‌ترین استراتژی‌های کم کربن ظاهر شده‌است. (دای و یه، ۲۰۲۲). هدف اصلی زنجیره تامین سبز به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی و به حداکثر رساندن 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، ۲۰۱۶). 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. به عبارت دیگر 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 در نظر بگیرد از جمله: هزینه‌های تولید، حمل‌ونقل، انبارداری، مواد اولیه مورد استفاده، 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 از جمله: کاهش اثرات زیست‌محیطی مواد و اجزای استفاده‌شده در محصولات، استفاده از انرژی‌های مورد نیاز 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 زیست محیطی یکپارچه، به بهینه‌سازی عملکرد کلی زنجیره تامین کمک کرده و به توسعه پایدار و محیط زیستی کمک نمایند. به عنوان مثال: صنعت لوازم خانگی در ایران که از سال ۱۳۸۸ 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 پردازد (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) پردازد.

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 به عنوان 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 به همراه 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<sup>۱</sup> توسط موسسه تحقیقاتی تولید دانشگاه ایالتی میشیگان توسعه یافت. این امر براساس تحقیقات نظریه تولید سبز و فناوری مدیریت زنجیره تامین به منظور دستیابی به هدف حفاظت از محیط زیست و بهبود میزان بهره‌برداری از منابع توسعه یافت (تسنگ و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹). مدیریت زنجیره تامین سبز<sup>۳</sup> به عنوان فراهم کننده امکانات یک زنجیره تامین سازگار با محیط زیست بعد از دهه ۱۹۹۰ به عنوان یک رشته تخصصی مطرح شد (سرینگ و مولر<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸). مدیریت زنجیره تامین سبز چندین سال است که وجود داشته و توجه زیادی از دانشگاهیان و افراد متخصص در این زمینه را به دلیل وخامت محیطی و افزایش آگاهی حفاظت از محیط زیست جلب کرده‌است. تحقیقات زنجیره تامین سبز عمدتاً بر روی تصمیمات عملیاتی زنجیره تامین و قراردادهای همکاری تمرکز دارد (کانگ و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۲۱). یکی از موضوع‌های مهم درمورد شناخت مدیریت زنجیره تامین سبز این است که چگونه شرکت‌ها این فرآیندهای سبز بودن را راه‌اندازی می‌کنند. (جابور

<sup>۱</sup> GSC

<sup>۲</sup> Tesng

<sup>۳</sup> GSCM

<sup>۴</sup> Seuring and Müller

<sup>۵</sup> Kang

و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۴). مدیریت زنجیره تامین سبز از منظر چرخه عمر محصول شامل تمامی مراحل از مواد اولیه، طراحی و ساخت محصول، فروش محصول و حمل و نقل، 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<sup>۷</sup>، ۲۰۲۱). برخی از محققان مدیریت زنجیره تامین سبز را تفکر زیست محیطی در مدیریت زنجیره تامین از جمله: 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<sup>۸</sup>، 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<sup>۹</sup>، ۲۰۱۷) طی فرآیند تولید محصول نهایی در سازمان‌های تولیدی را به حداقل می‌رساند (ژائو و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۷). امروزه مدیریت زنجیره تامین سبز روشی ایده‌آل برای شرکت‌ها جهت دستیابی به سودهای بالاتر، به حداقل رساندن اتلاف منابع و بهبود کارآیی اکولوژیکی (زید و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۸)، ایجاد تعادل در مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شرکت‌ها و ارتقاء وضعیت پایدار سازمانی در نظر گرفته شده است (لوترا و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۶). در واقع مدیریت زنجیره تامین سبز شامل چندین شیوه از جمله: مدیریت داخلی محیط زیست، خرید سبز، همکاری محیطی مشتریان و لجستیک معکوس است. صاحبان کسب و کار 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. بطور کلی اجرای اقدامات برای حفاظت از محیط زیست از جمله: اکوسیستم‌های خاک، هوا و آب، عملکرد محیطی<sup>۱۳</sup> نامیده می‌شود. به عبارت دیگر 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<sup>۱۴</sup>، 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 در نظر گرفتن هزینه‌های زیست‌محیطی، مواد اولیه مورد استفاده، 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،

<sup>6</sup> Jabbour

<sup>7</sup> Gao

<sup>8</sup> Hou

<sup>9</sup> Laari

<sup>10</sup> Zhu

<sup>11</sup> Zaid.

<sup>12</sup> Evolutionary approach

<sup>13</sup> Environmental performance

<sup>14</sup> Obeidat

تحقیقات بیشتر در زمینه قیمت گذاری زنجیره تامین سبز می تواند به بهبود عملکرد شرکت ها و توسعه پایدار کمک کند (لی و شان<sup>۱۵</sup>، ۲۰۲۳). در قیمت گذاری زنجیره تامین سبز، عوامل مهمی مانند: هزینه های زیست محیطی، مواد اولیه مورد استفاده، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، بازیافت محصولات و استفاده از فناوری های پایدار در نظر گرفته می شوند. این رویکرد هوشمندانه به قیمت گذاری، شرکت ها را قادر می سازد تا بازارهای جدید را جذب کرده و رقابت پذیری خود را افزایش دهند. با توجه به اهمیت این مفهوم، تحقیقات بیشتر در زمینه قیمت گذاری زنجیره تامین سبز می تواند به بهبود عملکرد شرکت ها، افزایش پایداری محیط زیستی و توسعه اقتصادی کمک کند (ژانگ و همکاران<sup>۱۶</sup>، ۲۰۲۳). پژوهش های تجربی متعددی در زمینه موضوع مورد مطالعه انجام شده که در ادامه به برخی از آنها در جدول (۱) اشاره شده است.

### جدول ۱. پیشینه پژوهش

ردیف	محقق / سال	هدف
۱	وانگ و همکاران <sup>۱۷</sup> (۲۰۲۴)	در مقاله خود بر یک زنجیره تامین سه لایه متشکل از یک تامین کننده سبز، یک تولیدکننده سبز و یک خرده فروش تمرکز می کنند و با توجه به تغییرات پویا در سبزی بودن محصول، از بازی های دینامیک برای بررسی قیمت محصول، تلاش سبز و هماهنگی در سیستم استفاده کردند.
۲	لی و شان (۲۰۲۳)	قیمت گذاری و استراتژی های تلاش ترویج سبز در زنجیره تامین سبز با رویکرد نظریه بازی بررسی کردند. این تحقیق یافته های خود را در دو مدل ارائه می کند: افزایش نرخ بهره تامین مالی منجر به افزایش قیمت عمده فروشی و فروش کانال های دو کاناله و کاهش تقاضای دو کاناله می شود. تلاش تبلیغات سبز تاثیر مثبتی بر قیمت عمده فروشی، قیمت فروش و تقاضای کانال های دو گانه دارد.
۳	لیو و ژانگ <sup>۱۸</sup> (۲۰۲۲)	در مقاله خود به استراتژی های قیمت گذاری زنجیره تامین سبز دو کاناله با در نظر گرفتن ورودی های اطلاعات کلان پرداختند و نشان دادند که هر چه خرده فروش هزینه های ورودی های اطلاعات کلان را متحمل شود یا هزینه های تحقیق و توسعه سبز، خرده فروش قیمت خرده فروشی خود را تغییر نخواهد داد.
۴	شعائینی و همکاران <sup>۱۹</sup> (۲۰۲۲)	در پژوهش خود یک سیاست قیمت گذاری در طراحی زنجیره تامین سبز، تاثیر آگاهی مصرف کننده از محیط زیست و یارانه های سبز ارائه کردند. در این پژوهش از یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط را برای طراحی یک زنجیره تامین حلقه بسته سبز شامل کارخانه، مراکز جمع آوری ترکیبی، مناطق مشتری، بازارهای ثانویه و مراکز دفع استفاده کردند.
۵	رحمانی و یآوری <sup>۲۰</sup> (۲۰۱۹)	در مقاله خود سیاست های قیمت گذاری برای زنجیره تامین سبز دو کاناله تحت اختلالات تقاضا با استفاده از رویکرد بازی را بررسی کردند. نتایج نشان می دهد که افزایش مقیاس بازار ناشی از اختلال، هزینه سبز پایین تر و سطح پایین تر وفاداری مشتریان به کانال خرده فروشی نه تنها برای زنجیره تامین مفید است بلکه باعث پیشرفت بیشتر در سطح سبز شدن محصولات سبز می شود.

<sup>15</sup> Li & Shan

<sup>16</sup> Zhang

<sup>17</sup> Wang et al

<sup>18</sup> Liu & Zhang

<sup>19</sup> Shoaieinaeini et al

<sup>20</sup> Rahmani & Yavari

ردیف	محقق / سال	هدف
۶	زو و ژو <sup>۲۱</sup> (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 مراکز 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، در نظر 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 بازی‌ها استفاده شده‌است.

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

۱. دلفی‌فازی: این روش به جمع‌آوری نظرات کارشناسان به صورت سیستماتیک و ساختاریافته کمک می‌کند. با استفاده از مفاهیم فازی، این روش می‌تواند عدم قطعیت و ابهام در نظرات را به خوبی 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 بر اساس معیارهای مشخص می‌پردازند. استفاده از این شاخص‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب بهترین گزینه بر اساس اولویت‌ها و نیازهای خاص کمک کند.

۳. نظریه بازی: 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 بازی می‌تواند 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 مورد استفاده در این مقاله می‌تواند این چالش‌ها را با دقت بیشتری مدیریت کنند.



- انعطاف پذیری: استفاده از دلفی فازی و نظریه بازیه تصمیم گیرندگان این امکان را می دهد که در مواجهه با شرایط پیچیده، استراتژی های جدید و انعطاف پذیری بیشتری را پیاده سازی کنند.

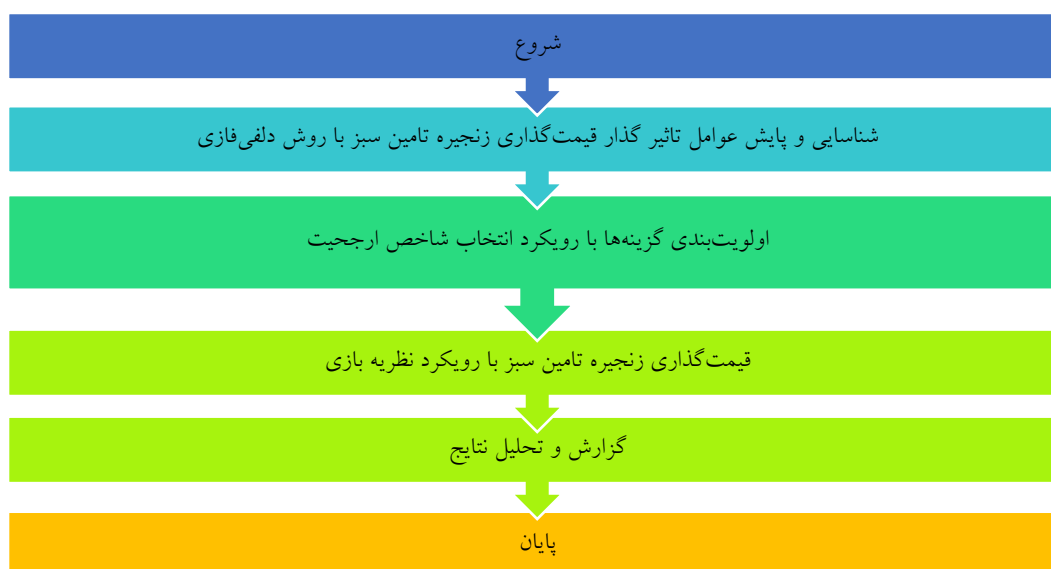
در نهایت، ترکیب این روش ها می تواند به بهبود کیفیت تصمیم گیری و کاهش ریسک های مرتبط با انتخاب گزینه های نادرست کمک کند.

### ۳ روش تحقیق

پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت و اهداف، یک تحقیق توسعه ای- کاربردی است که در زمره مدل سازی ریاضی قرار دارد. جامعه آماری این پژوهش شامل تعدادی از مدیران عالی، کارشناسان مسئول فعال و اساتید دانشگاه در حوزه زنجیره تامین سبز می باشد. جمع آوری داده های مورد نیاز برای این پژوهش به سه صورت کتابخانه ای، مراجعه به اسناد و مدارک و میدانی است. با استفاده از روش کتابخانه ای به تدوین چارچوب نظری تحقیق، مطالعات تحقیقات پیشین و بررسی نظریات محققان پرداخته شده است. پس از بررسی ارزیابی تحقیقات مرتبط با موضوع و همچنین شناخت جامعه مورد مطالعه، مفاهیم مورد بررسی مطرح شده است. ابزار گردآوری داده نیز پرسشنامه است. در این تحقیق، با استفاده از روش نمونه گیری هدفمند و گلوله برفی، 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 طراحی شده در اختیار آنها قرار گرفت.

ابتدا با استفاده از روش دلفی فازی، مهمترین شاخص های مدیریت زنجیره تامین سبز شناسایی و غربالگری شدند. سپس با استفاده از رویکرد شاخص انتخاب ارجحیت، بهترین شرکت لوازم خانگی به عنوان شرکت رهبر انتخاب شد. در نهایت با استفاده از رویکرد نظریه بازی، الگوی قیمت گذاری زنجیره تامین سبز تدوین گردید.

الگوی کلی مراحل پژوهش حاضر در شکل (۱) ارائه شده است. هر یک از مراحل اجرای پژوهش در ادامه تشریح شده است.



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش



### ۳-۱) مراحل اجرایی تحقیق

#### ۳-۱-۱) روش دلفی فازی

روش دلفی برای نخستین بار توسط دالکی و هلمر در سال ۱۹۶۳ ارائه شد. این تکنیک روشی پیمایشی مبتنی بر نظرهای متخصصان است و سه خصوصیت اصلی دارد که عبارتند از: پاسخ بی‌نام، تکرار و بازخورد کنترل‌شده و در نهایت پاسخ گروهی آماری. این تکنیک روشی نظام‌مند به منظور جمع‌آوری و هماهنگی قضاوت‌های آگاهانه گروهی از متخصصان درباره سؤال یا موضوعی خاص است. در بسیاری از موقعیت‌های واقعی، قضاوت متخصصان نمی‌تواند به صورت اعداد کمی قطعی بیان و تفسیر شود. به عبارت دیگر؛ داده‌ها و اعداد قطعی به منظور مدل کردن سیستم‌های دنیای واقعی به علت ابهام و عدم قطعیت موجود در قضاوت تصمیم‌گیرندگان ناکافی است. در این راستا به منظور غلبه بر این مشکل "نظریه مجموعه‌های فازی" در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی‌زاده ارائه شد که ابزار مناسبی برای مقابله با ابهام و عدم قطعیت موجود در فرآیند تصمیم‌گیری است. در این پژوهش از روش دلفی فازی به منظور تایید و غربالگری شاخص‌های شناسایی شده استفاده گردید. این روش ترکیبی از روش دلفی و نظریه مجموعه‌های فازی است که ایشیکاوا و همکاران ارائه کردند (صفی و رسانی<sup>۲۲</sup>، ۲۰۱۶).

گام‌های روش دلفی فازی 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 به منظور تعیین مرتبط بودن شاخص‌های شناسایی شده با موضوع اصلی پژوهش و غربالگری برای آنها ارسال می‌شود (موسوی و همکاران<sup>۲۳</sup>، ۲۰۱۵).
- ۳) آن متغیرهای زبانی جدول (۲)، برای بیان اهمیت هر شاخص بکار می‌روند. در این پژوهش از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است.

#### جدول ۲. طیف پنج درجه‌ای فازی

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

۴) تایید و غربالگری شاخص‌ها: این کار از طریق مقایسه مقدار ارزش اکتسابی هر شاخص با مقدار آستانه  $\bar{g}$  صورت می‌پذیرد. مقدار آستانه با استنباط ذهنی تصمیم‌گیرنده معین می‌شود و مستقیم بر روی تعداد عواملی که غربال می‌شوند،

<sup>22</sup> Saffie & Rasmani,

<sup>23</sup> Mousavi et al

تاثیر خواهد داشت. هیچ راه ساده و قانونی برای تعیین مقدار آستانه وجود ندارد. در این پژوهش مقدار ۰/۷ به عنوان مقدار آستانه در نظر گرفته شده است. برای این کار ابتدا باید مقادیر فازی مثلثی نظرهای خبرگان محاسبه شده سپس برای محاسبه میانگین نظرات  $n$  پاسخ دهنده، میانگین فازی آنها محاسبه شود. محاسبه عدد فازی  $T$  برای هر یک از شاخص ها با استفاده از روابط زیر صورت می گیرد.

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

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

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

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

در روابط بالا اندیس  $i$  به فرد خبره و اندیس  $j$  به شاخص تصمیم گیری اشاره دارد. همچنین مقدار دیفازی شده میانگین عدد فازی از رابطه زیر به دست می آید.

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

### ۳-۱-۲) روش شاخص انتخاب ارجحیت

روش شاخص انتخاب ارجحیت، یکی از روش های تصمیم گیری چندمعیاره است که هدف آن محاسبه وزن معیارها و رتبه بندی گزینه ها می باشد. در بیشتر روش های تصمیم گیری در یک مسئله، برای رتبه بندی گزینه ها باید اهمیت نسبی معیارها مشخص شود که این اهمیت نسبی معمولاً با روشی دیگر صورت می گیرد. استفاده از تکنیک شاخص انتخاب ارجحیت در تعیین وزن نسبی معیارها، این امکان را فراهم می آورد که وزن ها بطور مستقیم و مرتبط با داده های موجود محاسبه شوند. این ویژگی باعث می شود که روش مذکور در مقایسه با دیگر تکنیک ها از محاسبات کمتری برخوردار باشد و باعث کاهش اشتباهات در مسائل بزرگتر شود. مراحل این روش در ادامه آورده شده است (مانیا و بیهت<sup>۲۴</sup>، ۲۰۱۰).

#### گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم

در این بخش ماتریس تصمیم تشکیل می شود. ماتریس تصمیم این روش، یک ماتریس معیار گزینه می باشد یعنی ماتریسی که گزینه ها در سطرها و معیارها در ستون ها قرار می گیرند و هر سلول این ماتریس ارزیابی هر گزینه نسبت به هر معیار است.

#### گام دوم: بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم

برای بی مقیاس کردن معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط ۶ و ۷ استفاده می شود. با نرمال سازی، کلیه درایه ها در بازه ۰ تا ۱ قرار می گیرند.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (6)$$

$$r_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (7)$$

#### 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  $\bar{R}_j$  میانگین حسابی درایه‌های هر ستون معیار است که از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$PV_j = \sum_{i=1}^N [R_{ij} - \bar{R}_j]^2 \quad (8)$$

$$\bar{R}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_{ij} \quad (9)$$

#### گام چهارم: محاسبه میزان انحراف هر شاخص

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

$$\varphi_j = 1 - PV_j \quad (10)$$

#### گام پنجم: محاسبه مقدار ارجحیت کل (وزن معیارها)

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

$$\psi_j = \frac{\varphi_j}{\sum \varphi_j} \quad (11)$$

#### گام ششم: محاسبه امتیاز نهایی و رتبه گزینه‌ها

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

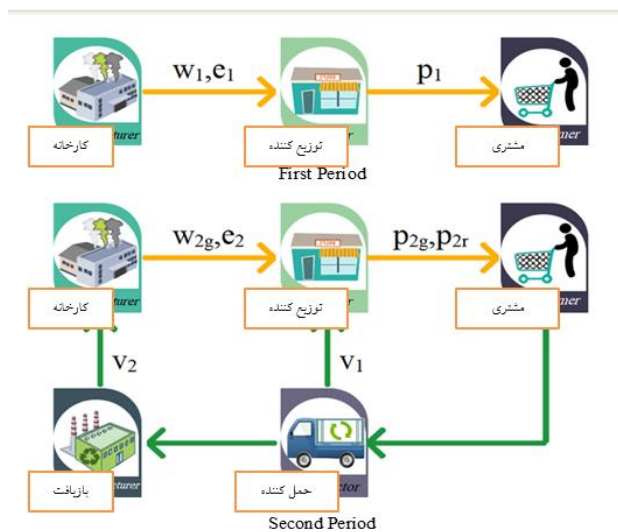
$$I_i = \sum_{j=1}^m (R_{ij} \times \psi_j) \quad (12)$$

#### ۳-۱-۳ رویکرد نظریه بازی

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 خریداری شده 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 به دلیل دست دوم بودن، قیمت پایین تری نسبت به محصولات نو دارند. نوع دوم محصولاتی هستند که باید قطعات آنها جدا شده و بازیافت شوند. این محصولات بازیافت شده که به منظور ایفای نقش مسئولیت اجتماعی و کاهش گازهای گلخانه‌ای ناشی از عدم استخراج مواد خام هستند، محصولات سبز نامیده می‌شوند. بنابراین جمع‌آوری‌کننده محصولات قابل بازسازی را با قیمت  $u_1$  و محصول‌های قابل بازیافت را با قیمت  $u_2$  از مصرف‌کننده خریداری می‌کند. خرده‌فروش محصول‌های قابل بازسازی به ارزش  $v_1$  را از جمع‌آوری‌کننده خریداری کرده و پس از بازسازی با قیمت  $p_{2r}$  به مصرف‌کننده می‌فروشد. همچنین بازیافت‌کننده محصولات قابل بازیافت را از جمع‌آوری‌کننده به ارزش  $\theta_{u1}$  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 به دست آورد. همچنین برای دستیابی به سودآوری بیشتر، همکاری در جمع‌آوری محصولات و کاهش انتشار کربن، سناریو ۷ از همکاری بازیکنان مختلف بررسی می‌شود که در شکل (۲) نشان داده شده‌است. برای هر کدام از مدل‌ها مقدار بهینه قیمت فروش محصولات و میزان سرمایه‌گذاری برای کاهش انتشار کربن مشخص می‌شود. در نهایت 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. در نهایت 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 آلاینده‌گی 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

### ۳-۱-۴ پارامترها

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

### 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 استفاده شده برای بازیافت کننده
$c_1$	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 قابل بازیافت
$u_2$	پرداخت هزینه به مشتری بابت خرید محصول بازیافتی
$\theta u_2$	هزینه خرید محصول قابل بازیافت از جمع‌آوری کننده
$k$	ضریب هزینه کاهش انتشار کربن
$\omega$	ضریب حساسیت مصرف کننده نسبت به قیمت
$\gamma$	ضریب حساسیت مصرف کننده نسبت به کم بودن انتشار کربن
$\delta$	ضریب حساسیت مصرف کننده نسبت به محصولات سبز و بازیافتی شده در دوره دوم
$\lambda$	ضریب حساسیت مصرف کننده نسبت به محصولات سبز و بازیافتی شده در دوره دوم

پارامترها	
$\sigma$	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 قابل بازسازی 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	
$\pi_m$	تابع سود تولیدکننده در هر دوره $i = 1, 2$
$\pi_r$	تابع سود خرده‌فروش در هر دوره $i = 1, 2$
$\pi_{co}$	تابع سود جمع‌آوری‌کننده
$\pi_{re}$	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 به دست 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  $ke_1^2/2$  را شامل می‌شود. درآمد خرده‌فروش، تفاوت قیمتی

که از تولیدکننده می‌خرد و قیمتی که به مصرف‌کننده می‌فروشد به ازای هر تقاضاست؛ بنابراین توابع سود به صورت زیر نوشته می‌شوند:

$$\pi_{1m} = (w_1 - c_m)q_1 - \frac{ke_1^2}{2} \quad (13)$$

$$s.t : \pi_{1r} = (p_1 - w_1)q_1 \quad (14)$$

برای به دست آوردن 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 حداکثر شدن سود تولیدکننده باید تابع هیشین  $\pi_{1m}$  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  $w_1^*, e_1^*, p_1^*$  به صورت زیر به دست می‌آیند.

$$w_1 = \frac{2k(a_1 + \omega c_m) - \gamma^2 c_m}{4k\omega - \gamma^2} \quad (15)$$

$$e_1 = \frac{\gamma(a_1 - \omega c_m)}{4k\omega - \gamma^2} \quad (16)$$

$$p_1 = \frac{3ka_1 + c_m(k\omega - \gamma^2)}{(4k\omega - \gamma^2)} \quad (17)$$

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

$$\pi_{2m} = (w_{2g} - c_1)q_{2g} - v_2 Q - c_2(q_{2g} - Q) - \frac{ke_2^2}{2} \quad (18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi_{2r} = (p_{2g} - w_{2g})q_{2g} + (p_{2r} - v_1)q_{2r} \end{array} \right. \quad (19)$$

$$s.t \left\{ \begin{array}{l} \pi_{co} = (v_1 - u_1)q_{2r} + (\theta u_2 - u_2)q_{2g} \end{array} \right. \quad (20)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi_{re} = (v_2 - c_p)Q - \theta u_2 q_{2r} \end{array} \right. \quad (21)$$

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. از آنجاییکه 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 شده است.

در دوره دوم، قصد بر این است که مقدار بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی محصولات سبز و بازسازی‌شده، قیمت فروش محصولات استفاده‌شده قابل بازسازی و بازیافت و نرخ کاهش انتشار را به دست 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 مورد نیاز مصرف‌کننده مشخص می‌شود. بنابراین مقادیر بهینه  $w_{2g}^*, e_2^*, v_1^*, v_2^*, P_{2g}^*, P_{2r}^*$  در مدل پایه به صورت زیر به دست می‌آیند.

$$w_{2g} = \frac{-2kA_0(\lambda + \delta(2 + m(\delta + \lambda)))a_2 + A_0\lambda(\delta d_1 + (\theta - 1)\lambda d_2) + B_0(2c_1 + c_2) + C_0c_p}{\gamma^2\delta^2(2 + m\delta)^2\sigma - 2kD_0(\delta(2 + m\delta)(\delta + 4\sigma) - \lambda^2(1 + m(\delta + 4\sigma(\theta - 1))))} \quad (22)$$

$$e_2 = \frac{\gamma\delta\sigma(2 + m\delta)(-\lambda + \delta(2 + m(\delta + \lambda)))a_2 + D_0(2c_1 + c_2) + A_0c_p + \lambda(\delta d_1 + \lambda(\theta - 1)d_2)}{\gamma^2\delta^2(2 + m\delta)^2\sigma - 2kD_0(\delta(2 + m\delta)(\delta + 4\sigma) - \lambda^2(1 + m(\delta + 4\sigma(\theta - 1))))} \quad (23)$$

$$v_2 = \frac{-\lambda\delta d_1 - (\theta - 1)\lambda^2 d_2 + \gamma\delta(2 + m\delta)e_2 - D_0w_{2g}}{4\sigma(\delta(2 + m\delta) - m(\theta - 1)\lambda^2)} \quad (24)$$

$$v_1 = \frac{(1 + m(\delta + (\theta - 1)\lambda))a_2 - \delta d_1 - (\theta - 1)\lambda(d_2 - m\gamma e_2) + \lambda(1 - m\delta(\theta - 2))w_{2g}}{\delta(2 + m\delta) - m(\theta - 1)\lambda^2} \quad (25)$$

$$P_{2g} = \frac{(\delta + \lambda)a_2 + \gamma\delta e_2 + (\delta^2 - \lambda^2)w_{2g}}{2(\delta^2 - \lambda^2)} \quad (26)$$

$$P_{2r} = \frac{(\delta + \lambda)a_2 + \gamma\lambda e_2 + (\delta^2 - \lambda^2)v_1}{2(\delta^2 - \lambda^2)} \quad (27)$$

همانطور که 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 مورد مطالعه 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 در نهایت در سناریو هفتم کلیه اعضای چهارگانه زنجیره تامین با یکدیگر تعامل برقرار می‌سازند تا سطح بهینگی اهداف کاهش گازهای

گلخانه‌ای و مسئولیت‌پذیری بهینه شود. در واقع هدف از ایجاد این سناریو، بررسی سود بیشتر هریک از بازیکنان در راستای کاهش گازهای گلخانه‌ای و نقش مسئولیت اجتماعی 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 (۴) شناسایی شده‌است. برای غربال و تایید نهایی شاخص‌ها از روش دلفی‌فازی استفاده شده‌است.

#### جدول ۴. نمادگذاری شاخص‌ها

نماد	شرح شاخص	منابع
C1	حجم مواد اولیه	گوارنیری و همکاران <sup>۲۵</sup> (۲۰۱۵)
C2	ظرفیت واحد	(بویوکوزکان و سیفچی <sup>۲۶</sup> ، ۲۰۱۱؛ ساویک <sup>۲۷</sup> ، ۲۰۱۶)
C3	نیروی انسانی	(امینی، ۱۳۹۸) - (شجاع، ۱۳۹۹)
C4	میزان سربار تولید	(لی، ۲۰۲۱)
C5	هزینه نگهداری	(هاشمی و همکاران، ۲۰۱۵؛ کنان <sup>۲۸</sup> ، ۲۰۱۸، لی، ۲۰۲۱)
C6	هزینه تعمیرات	(ژائو و همکاران <sup>۲۹</sup> ، ۲۰۱۸؛ گویندا و همکاران <sup>۳۰</sup> ، ۲۰۱۶، شعاینی، ۲۰۲۲)
C7	هزینه تولید مستقیم	(لوترا و همکاران <sup>۳۱</sup> ، ۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران <sup>۳۲</sup> ، ۲۰۱۷، شعاینی، ۲۰۲۲)
C8	مساحت تولید	بویوکوزکان و سیفچی <sup>۳۳</sup> ، ۲۰۱۱؛ ساویک <sup>۳۴</sup> ، ۲۰۱۶)
C9	طراحی محصول پایدار برای کاهش مواد مصرفی و هزینه	(ژائو و همکاران، ۲۰۱۸؛ گویندا و همکاران <sup>۳۵</sup> ، ۲۰۱۶)
C10	سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای محصولات پایدار	(کالیک و باردودین <sup>۳۶</sup> ، ۲۰۱۶؛ انصاری و کانت <sup>۳۷</sup> ، ۲۰۱۷)
C11	هزینه نهایی برای خرید یک واحد از مواد خام یا محصول نیمه ساخته	(هاشمی و همکاران، ۲۰۱۵؛ کنان <sup>۳۸</sup> ، ۲۰۱۸)
C12	میزان تولید	
C13	معکوس تلفات	(لوترا و همکاران، ۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران، ۲۰۱۷) (شعاینی، ۲۰۲۲)

<sup>25</sup> Guarnieri et al

<sup>26</sup> Buyukozkan & Cifci

<sup>27</sup> Sawik

<sup>28</sup> Kannan

<sup>29</sup> Zhu et al

<sup>30</sup> Govindan et al

<sup>31</sup> Luthra et al

<sup>32</sup> Golini et al

<sup>33</sup> Buyukozkan & Cifci

<sup>34</sup> Sawik

<sup>35</sup> Govindan

<sup>36</sup> Calik and Bardudeen

<sup>37</sup> Ansari and Kant

<sup>38</sup> Kannan

نماد	شرح شاخص	منابع
C14	سود حاصل از فروش	(هاشمی و همکاران، ۲۰۱۵؛ کنان، ۲۰۱۸)
C15	کاهش آلایندگی محیطی	هسو و همکاران <sup>۳۹</sup> (۲۰۱۶)
C16	کاهش آلایندگی هوا	(تسنگ و همکاران <sup>۴۰</sup> ، ۲۰۱۱؛ گریم و همکاران <sup>۴۱</sup> ، ۲۰۱۴)
C17	بازگشت سرمایه محصولات	(هامفریس و همکاران <sup>۴۲</sup> ، ۲۰۰۳؛ یه و همکاران <sup>۴۳</sup> ، ۲۰۱۱)
C18	توانایی لجستیک سبز	(لی و همکاران <sup>۴۴</sup> ، ۲۰۱۸؛ ماتیواتانان و همکاران <sup>۴۵</sup> ، 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 <sup>۴۶</sup> ، ۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران، ۲۰۱۷)

### مرحله اول دلفی فازی

در این مرحله، پرسشنامه‌ای شامل ۲۰ شاخص در اختیار ۱۳ خبره قرار داده شد و از آنها خواسته شد، نظر خود را در رابطه با هر سؤال براساس طیف خیلی کم تا خیلی زیاد بیان کنند. نتایج اولیه از نظرات خبرگان در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۵. نتایج اولیه نظرات خبرگان

نام معیار	میزان اهمیت			
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم
حجم مواد اولیه	۰	۱	۴	۵
ظرفیت واحد	۰	۳	۲	۵
نیروی انسانی	۰	۳	۱	۴
میزان سربار تولید	۰	۱	۳	۵
هزینه نگهداری	۰	۱	۳	۴
هزینه تعمیرات	۰	۲	۳	۳
هزینه تولید مستقیم	۰	۱	۴	۵
مساحت تولید	۰	۱	۴	۶
طراحی محصول پایدار برای کاهش مواد مصرفی و هزینه	۰	۳	۴	۳
سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه برای محصولات پایدار	۰	۵	۴	۳
هزینه نهایی برای خرید بک واحد از مواد خام یا محصول نیمه ساخته	۲	۴	۴	۳
میزان تولید	۰	۲	۲	۷
معکوس تلفات	۰	۳	۲	۵
سود حاصل از فروش	۰	۲	۴	۳

<sup>39</sup> Hsu et al

<sup>40</sup> Tseng et al

<sup>41</sup> Grimm et al

<sup>42</sup> Humphreys et al

<sup>43</sup> Yeh et al

<sup>44</sup> Li et al

<sup>45</sup> Mathivathanan et al

<sup>46</sup> Tariq et al

نام معیار	میزان اهمیت			
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم
کاهش آلاینده‌گی محیطی	۵	۴	۳	۱
کاهش آلاینده‌گی هوا	۲	۷	۲	۲
بازگشت سرمایه محصولات	۱	۴	۵	۳
توانایی لجستیک سبز	۴	۳	۲	۴
پاسخ سریع به مشتریان و تقاضای بازار برای محصولات سبز	۰	۴	۶	۲
طراحی محصول برای کاهش اثرگذاری بر محیط	۱	۳	۶	۳

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 در نظر گرفته می‌شود که نتایج نشان می‌دهد ۷ معیار، میانگین غیرفازی کمتر از ۰/۷ کسب کرده‌اند؛ در نتیجه حذف می‌شوند.

### جدول ۶. نتایج مرحله اول دلفی فازی

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
کاهش آلاینده‌گی محیطی	(۰.۵۴۲, ۰.۸۱۳, ۰.۹۷۹)	۰.۷۷۸	تایید
کاهش آلاینده‌گی هوا	(۰.۴۵۸, ۰.۷۲۹, ۰.۹۵۸)	۰.۷۱۵	تایید
بازگشت سرمایه محصولات	(۰.۳۳۳, ۰.۶۰۴, ۰.۸۵۴)	۰.۵۹۷	رد

وضعیت	امتیاز شیرفازی	امتیاز فازی	نام معیار
رد	۰.۶۶۰	(۰.۴۱۷, ۰.۶۸۸, ۰.۸۷۵)	توانایی لجستیک سبز
رد	۰.۵۴۹	(۰.۲۹۲, ۰.۵۴۲, ۰.۸۱۳)	پاسخ سریع به مشتریان و تقاضای بازار برای محصولات سبز
رد	۰.۵۷۶	(۰.۳۱۳, ۰.۵۸۳, ۰.۸۳۳)	طراحی محصول برای کاهش اثرگذاری بر محیط

### —مرحله دوم دلفی فازی

در این مرحله معیارهای تایید شده مرحله اول دلفی فازی در پرسشنامه‌ای جدید طراحی و در اختیار خبرگان قرار داده شد. همچنین میانگین قطعی دور اول نیز قرار داده شده است تا خبرگان از میزان میانگین هر شاخص در مرحله قبل نیز مطلع شوند. نتایج مرحله دوم دلفی فازی در جدول (۷) آورده شده است. 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 به دلیل اینکه اختلاف میانگین مرحله دوم و اول دلفی فازی بیشتر از ۰/۱ می‌باشد، هنوز به اجماع نرسیده‌اند.

### جدول ۷. نتایج دور دوم دلفی فازی

وضعیت اجماع	اختلاف	وضعیت	امتیاز قطعی مرحله اول	امتیاز قطعی مرحله دوم	امتیاز فازی مرحله دوم	نام معیار
×	۰.۱۲۵	تایید	۰.۷۲۹	۰.۸۵۴	(۰.۶۴۶, ۰.۹۱۷, ۱)	حجم مواد اولیه
✓	۰.۰۶۲	تایید	۰.۷۱۵	۰.۷۷۸	(۰.۵۴۲, ۰.۸۱۳, ۰.۹۷۹)	ظرفیت واحد
×	۰.۱۱۱	تایید	۰.۷۳۶	۰.۸۴۷	(۰.۶۲۵, ۰.۸۹۶, ۱.۰۲۱)	نیروی انسانی
✓	۰.۰۳۵	تایید	۰.۷۶۴	۰.۷۹۹	(۰.۵۶۳, ۰.۸۳۳, ۱)	میزان سربار تولید
✓	۰.۰۱۴	تایید	۰.۷۷۸	۰.۷۹۲	(۰.۵۶۳, ۰.۸۳۳, ۰.۹۷۹)	هزینه نگهداری
✓	۰.۰۴۲	تایید	۰.۷۳۶	۰.۷۷۸	(۰.۵۴۲, ۰.۸۱۳, ۰.۹۷۹)	هزینه تعمیرات
×	۰.۱۱۱	تایید	۰.۷۲۹	۰.۸۴۰	(۰.۶۲۵, ۰.۸۹۶, ۱)	هزینه تولید مستقیم
✓	۰.۰۶۲	تایید	۰.۷۱۵	۰.۷۷۸	(۰.۵۴۲, ۰.۸۱۳, ۰.۹۷۹)	مساحت تولید
✓	۰.۰۳۵	تایید	۰.۷۱۵	۰.۷۵۰	(۰.۵, ۰.۷۷۱, ۰.۹۷۹)	میزان تولید
✓	۰.۰۶۹	تایید	۰.۷۱۵	۰.۷۸۵	(۰.۵۶۳, ۰.۸۳۳, ۰.۹۵۸)	معکوس تلفات
×	۰.۱۱۱	تایید	۰.۷۰۱	۰.۸۱۳	(۰.۵۸۳, ۰.۸۵۴, ۱)	سود حاصل از فروش
✓	۰.۰۶۹	تایید	۰.۷۷۸	۰.۸۴۷	(۰.۶۲۵, ۰.۸۹۶, ۱.۰۲۱)	کاهش آلایندگی محیطی
×	۰.۱۶۰	تایید	۰.۷۱۵	۰.۸۷۵	(۰.۶۴۶, ۰.۹۱۷, ۱.۰۶۳)	کاهش آلایندگی هوا

### —مرحله سوم دلفی فازی

در این مرحله معیارهایی که در مرحله دوم به اجماع نرسیده‌اند، دوباره طی پرسشنامه‌ای در اختیار خبرگان قرار خواهد گرفت تا امتیازدهی شوند. سپس به طریق مشابه میانگین فازی و قطعی محاسبه شد که در جدول (۷) آورده شده است.

همانطور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود، تفاوت میانگین کلیه شاخص‌ها در مرحله سوم و دوم دلفی فازی کمتر از ۰/۱ شده‌است که نشان می‌دهد در این بخش نیز خبرگان به اجماع رسیدند و مراحل دلفی فازی خاتمه می‌یابد.

جدول ۸. نتایج دور سوم دلفی فازی

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

#### -جمع‌بندی روش دلفی فازی

در این بخش روش دلفی فازی طی ۳ راند انجام شد و ۱۳ شاخص که از مقالات و مرور ادبیات استخراج شده بود، تایید نهایی شدند و در جدول (۹) آورده شده‌است.

جدول ۹- عوامل نهایی تاثیرگذار

امتیاز غیر فازی نهایی	معیار
۰.۹۱۰	حجم مواد اولیه
۰.۷۷۸	ظرفیت واحد
۰.۸۶۸	نیروی انسانی
۰.۷۹۹	میزان سربار تولید
۰.۷۹۲	هزینه نگهداری
۰.۷۷۸	هزینه تعمیرات
۰.۸۶۱	هزینه تولید مستقیم
۰.۷۷۸	مساحت تولید
۰.۷۵۰	میزان تولید
۰.۷۸۵	معکوس تلفات
۰.۸۲۶	سود حاصل از فروش
۰.۸۴۷	کاهش آلاینده‌گی محیطی
۰.۹۰۳	کاهش آلاینده‌گی هوا

#### 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 تایید شده روش دلفی فازی می‌باشد. این ماتریس

تصمیم، توسط ۱۳ خبره تکمیل و توسط رابطه ۶ و ۷ نرمال سازی می گردد سپس براساس روابط ۸ تا ۱۱ مقادیر مربوط به معیارها محاسبه می گردد که در جدول (۱۰) آورده شده است.

جدول ۱۰. مقادیر  $\bar{R}_j$ ،  $PV_j$ ،  $\varphi_j$  و  $\psi_j$

نام معیار	$\bar{R}_j$	$PV_j$	$\varphi_j$	$\psi_j$
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 آلاینده‌گی محیطی	۰/۹۳۲	۰/۰۲۱	۰/۹۷۹	۰/۰۷۹
کاهش آلاینده‌گی هوا	۰/۷۴۳	۰/۰۸۳	۰/۹۱۷	۰/۰۷۴

در ادامه توسط رابطه ۱۲ امتیاز نهایی هر شرکت محاسبه می شود که در جدول (۱۱) آورده شده است. بر این اساس شرکت D رتبه اول را کسب کرده است لذا به عنوان رهبر وارد نظریه بازی می شود.

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

\* به دلیل محرمانه بودن اطلاعات شرکت‌های مورد مطالعه، اسامی آنها با حروف لاتین نامگذاری شده‌اند.

#### ۴-۳) نتایج عددی قیمت گذاری در تئوری بازی‌ها

در این بخش تجزیه و تحلیل عددی و تحلیل حساسیت سود بازیکنان در سناریوهای مختلف ارائه شده است تا بهترین سناریو از لحاظ سود بازیکنان، سود کلی زنجیره تامین، میزان کاهش انتشار کربن و مقادیر محصول‌های جمع آوری شده مشخص شوند. از این رو استراتژی‌های تئوری بازی به شرح ذیل می باشد:



برای کوتاه کردن روابط از تغییر متغیرهای زیر استفاده شده است.

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

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

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

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

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

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

همانطور که گفته شد برای حل مدل باید مقادیر پارامترهای مسئله مورد بحث، مشخص باشد. یکی از روش‌های به دست آوردن مقادیر داده‌ها، استفاده از مقادیر مطالعات پیشین به دلیل وجود اعتبار بالا و قدرت تست مناسب می‌باشد. در این مسئله از داده‌های موجود در مقالات توسط ژو و راس<sup>۴۷</sup> (۲۰۱۸) و یی و ون<sup>۴۸</sup> (۲۰۲۳) در جهت حل مدل استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در مدل پایه به صورت جدول (۱۲) می‌باشد:

جدول ۱۲. داده‌ها

داده‌های مستخرج از مقالات								
پارامترها	$a_1$	$a_2$	$k$	$\omega$	$\gamma$	$\delta$	$\lambda$	$\sigma$
مقادیر	100	$0.25a_1$	0.5	0.5	0.3	0.5	0.3	0.1
پارامترها	$c_m$	$c_p$	$c_1$	$c_2$	$\theta$	$m$	$d_1$	$d_2$
مقادیر	30	5	5	10	1.2	0.4	5	5

## — حل مدل توسعه داده شده

با استفاده از پارامترهای جدول فوق، نتایج عددی با در نظر گرفتن روابط بین اعضا، از مدل استکلبرگ پیروی کرده است. تولید کننده نقش رهبر را به عهده دارد و در قالب هفت سناریوی مدل حل شده، نتایج به صورت زیر به دست می‌آیند و در جدول (۱۳) نمایش داده شده است. برای مقایسه بهتر سناریوها از جمع توابع سود  $\pi_{Total}$  استفاده می‌شود که در مدل پایه به صورت زیر نوشته می‌شود:

<sup>47</sup> Zhu & Rass<sup>48</sup> Yi & Wen

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

در معادله فوق،  $\pi_{Total}$  عبارت است از مقادیر مجموع سود تولیدکننده، سود خرده‌فروش، سود جمع‌آوری‌کننده و در نهایت سود بازیافت‌کننده.

در این مسئله با حل مدل توسعه‌داده‌شده در نرم‌افزار *MATLAB* و با استفاده از داده‌های مورد استفاده، مدل حل شد. در نهایت نتایج حاصل از سناریوهای اول تا هفتم و مقدار مدل پایه‌حل‌شده به همراه مقادیر بهینه متغیرهای  $w_{2g}^*, e_2^*, v_1^*, v_2^*, p_{2g}^*, p_{2r}^*$  به صورت 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
	$p_{2g}$	۹۶/۵۳	۹۳/۲۷	۸۶/۸۲	۸۳/۵۸	۹۷/۷۷	۸۲/۶	۸۳/۷۸
	$p_{2r}$	۸۶/۳۳	۸۶/۶۱	۲۵/۶۷	۶۸/۵۲	۸۹/۲۲	۷۹/۴۷	۶۷/۲۳
Profit Function	$\pi_{co}$	۵۰۶/۹۱	۴۱۰/۵۶	-	-	-	-	-
	$\pi_{re}$	۴/۵	-	۴/۲۳	-	-	-	-
	$\pi_{2r}$	۵۲۸/۶	۷۷۲/۲۹	-	-	۴۶۵/۲۳	۹۵۳/۴۱	-
	$\pi_{2g}$	۲۹/۱۱	۳۰۱/۹۹	۱۲۱۷/۶۷	-	۵۵۴/۰۲	-	۲۱/۱۱
	$\pi_{Total}$	۱۰۶۹/۱۲	۱۴۸۴/۸۴	۱۲۱۶/۸۵	۱۵۱۲/۰۲	۱۰۵۳/۴۷	۸۶۹	۱۲۴۳/۵۸

همانطور که 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 به دست آمد که در آن دوره تنها یک تولیدکننده و خرده‌فروش در نظر گرفته شده است. در دوره دوم جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده نیز به مدل اضافه شدند. هدف در دوره دوم، به دست آوردن مقادیر بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی محصولات سبز و بازسازی‌شده، قیمت فروش محصولات استفاده‌شده قابل بازسازی 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  $q_{2g}$  و  $q_{2r}$  تحقیقات بازار صورت گرفته و میزان محصولات مورد نیاز مصرف‌کننده مشخص می‌شود. در نهایت مقادیر بهینه  $w_{2g}^*, e_2^*, v_1^*, v_2^*, p_{2g}^*, p_{2r}^*$  در مدل پایه مطابق با جدول (۱۳) به دست آمد.

در جدول شماره (۱۳)، هر کدام از مقادیر بیان شده  $W_{2g}^*, e_2^*, v_1^*, v_2^*, P_{2g}^*, P_{2r}^*$  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  $41/60$  می‌باشد. همچنین در سناریو دوم، مقدار  $v_2^*$  برابر با  $12/182$  می‌باشد که نشان‌دهنده این است که مقدار بهینه متغیر ارزش محصول قابل‌باز یافت که باز یافت‌کننده به تولیدکننده می‌فروشد، در سناریو دوم برابر با  $12/82$  واحد می‌باشد یا به‌عنوان مثال: در جدول شماره (۱۳) در سناریو چهارم، مقدار بهینه متغیر  $P_{2g}^*$  برابر با مقدار  $97/77$  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  $97/77$  واحد دارد.

در بخشی دیگر از جدول شماره (۱۳)، مقادیر بهینه تابع سود تولیدکننده، سود خرده‌فروش، سود جمع‌آوری‌کننده و در نهایت سود باز یافت‌کننده به‌همراه سود کل برای تمام سناریوها بیان شده‌است. به‌عنوان مثال: در سناریو شماره ۶، مقدار تابع سود تولیدکننده در دوره دوم، برابر است با  $21/11$  واحد و همین مقدار برای سناریو هفتم برابر با صفر می‌باشد.

همانطور که  $\pi_{Total}$  نشان می‌دهد بیشترین سود مربوط به سناریو هفتم (همکاری تمام اعضای زنجیره تامین) و کمترین سود مربوط به سناریو پنجم (همکاری جمع‌آوری‌کننده و باز یافت‌کننده) می‌باشد. سناریو هفتم، سناریو سوم، سناریو اول، سناریو ششم و سناریو دوم به ترتیب سودی بالاتر از مدل پایه (بدون سناریو) دارند اما سناریو چهارم و سناریو پنجم به ترتیب 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 صورت گرفته‌است. 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 در واقع 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 تقریباً در تمام سناریوها کمتر از مدل پایه می‌باشد که به دلیل 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 در نظر گرفتن ابعاد زیست محیطی و اجتماعی در مدیریت ناب، یک مسئله بدیهی برای توسعه سرمایه‌گذاری در سیستم مورد مطالعه می‌باشد. از این رو براساس تحلیل انجام‌شده در مدل پایه (عدم سناریو میان اعضای چهارگانه تولیدکننده، خرده‌فروش، جمع‌آوری‌کننده و باز یافت‌کننده) تابع سود نهایی حاصل از تابع سود چهار بازیکن عدد  $1069/12$  واحد بوده‌است. در سناریو اول که میان تولیدکننده و

بازیافت‌کننده شکل گرفته‌است، سود بازی به میزان  $415/72$  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  $147/73$  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  $1069/12$  به میزان  $1512/02$  واحد رسیده‌است و این سناریو برتر از ۲ سناریو قبلی بوده‌است. در نهایت بدترین سناریو در سناریو پنجم بوده که سطح سود  $200/12$  واحد کاهش یافته‌است و این سناریو به‌هیچ‌عنوان در زنجیره تامین سودآور نبوده‌است. در نهایت نشان داده شد که سناریو و همبستگی و یکپارچگی میان اعضای چهارگانه، سود اعضا را به میزان  $761/69$  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 تجزیه و تحلیل چندگانه دارد و با در نظر گرفتن 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 به صورت 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 دلفی فازی طی سه مرحله، غربالگری شاخص‌ها انجام شد و از بین ۲۰ شاخص براساس نظرات ۱۳ خبره، ۷ شاخص حذف گردید و ۱۳ 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 به دلیل اینکه بالاترین اولویت را به خود اختصاص داد، به‌عنوان رهبر وارد نظریه بازی شد. در نهایت 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 به دست آمد که در آن دوره تنها یک تولیدکننده و خرده‌فروش در نظر گرفته شده‌است. در دوره دوم جمع‌آوری‌کننده و بازیافت‌کننده نیز به مدل اضافه شدند. هدف در دوره دوم، به دست آوردن مقادیر بهینه قیمت عمده‌فروشی، قیمت

خرده‌فروشی محصولات سبز و بازسازی شده، قیمت فروش محصولات استفاده شده قابل بازسازی و بازیافت و نرخ کاهش انتشار می‌باشد.  $\pi_{Total}$  نشان می‌دهد بیشترین سود مربوط به سناریو هفتم (همکاری تمام اعضای زنجیره تامین) و کمترین سود مربوط به سناریو پنجم (همکاری جمع‌آوری کننده و بازیافت کننده) می‌باشد. سناریو هفتم، سناریو سوم، سناریو اول، سناریو ششم و سناریو دوم به ترتیب سودی بالاتر از مدل پایه (بدون سناریو) دارند اما سناریو چهارم و سناریو پنجم به ترتیب 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 انجام شده در مدل پایه (عدم سناریو میان اعضای چهارگانه تولید کننده، خرده‌فروش، جمع‌آوری کننده و بازیافت کننده) تابع سود نهایی حاصل از تابع سود چهار بازیکن عدد ۱۰۶۹/۱۲ واحد بوده است. در سناریو اول که میان تولید کننده و بازیافت کننده شکل گرفته است، سود بازی به میزان ۴۱۵/۷۲ واحد افزایش داشته است و این به منزله توضیح سناریو میان تولید کننده و بازیافت کننده می‌باشد و به نسبت مدل پایه بهبود بسیار زیادی در سود هر یک از شرکای زنجیره تامین ایجاد کرده است. در سناریو دوم نیز نسبت به مدل پایه که خرده‌فروش و جمع‌آوری کننده با یکدیگر سناریو تشکیل دادند، نشان داده شد که ۱۴۷/۷۳ واحد بهبود میان اعضای سود افزایش یافته است و مشخص می‌گردد این سناریو نیز سود آور بوده است ولی کماکان سناریو اول سود بیشتری داشته است. در سناریو سوم نیز نشان داده شد که سود سناریو از مدل پایه (۱۰۶۹/۱۲) به میزان (۱۵۱۲/۰۲) واحد رسیده است و این سناریو برتر از ۲ سناریو قبلی بوده است. در نهایت بدترین سناریو در سناریو پنجم بوده است که سطح سود ۲۰۰/۱۲ واحد کاهش یافته و این سناریو به هیچ عنوان در زنجیره تامین سود آور نبوده است. در نهایت 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 کرده است و این نشان از درست بودن استراتژی سناریو میان اعضای زنجیره تامین بوده است.

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 متاثر سازد.

پیشنهادات این تحقیق مطابق با محدودیت‌های تحقیق به صورت زیر بیان می‌شود:

- ۱) محاسبه امتیاز کارایی 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 حلقه بسته.

## 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>
- 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](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>
- Kalina, I., Novykov, D., Leszczynski, V., Lavrukina, 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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1007/s11356-020-08805-1)
- 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](https://doi.org/10.1007/s11356-020-08805-1)
- 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](https://doi.org/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>
- 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](https://doi.org/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. 1699-1710, 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](https://doi.org/10.30495/eco.2020.1899015.2357)
- 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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.4236/ica.2011.24048)
- 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>