Ind. Manag. Persp. 2023, 13(3), 127-166; doi: 10.48308/JIMP.13.3.127

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

**Original Article**

# Coordination of the Agricultural Supply Chain Considering the Production of Green Crops and the Level of Customer Satisfaction

Ahad Mostafaei*, Mohammad Reza Gholamian**, Maryam Noroozi***

**Abstract**

By increasing competition in global markets, paying attention to environmental requirements in agricultural supply chain has been more important. The greenness agricultural process mainly affects several issues, such as increasing customer demand, increasing costs of supply chain members over traditional agriculture, and specific conditions for holding crops. also increasing customer satisfaction on the proposed products and services is the necessary condition for a successful supply chain. In this study, a two-level agricultural supply chain is investigated; farmer determines the greenness degree of crops, and retailer increases the customer satisfaction level by making the necessary investments. The contribution of this research is specifically the optimization of the final customer satisfaction level as a decision variable in agricultural supply chain and the simultaneous examination of three variables of price, the greenness degree of crops and the customer satisfaction level in the final customer demand function. In the modeling process, first, decentralized and centralized approaches are developed. Subsequently, by using revenue sharing contract, the chain members have attained into a win-win relationship. In the numerical results, the tomato industry is examined and the results show that the supply chain will reach the optimal profit obtained through the centralized approach after the contract.

**Keywords:** Two-Level Agricultural Supply Chain; Environmental Requirements; Customer Satisfaction; Centralized Decision Making; Revenue-Sharing Contract.

**How to Cite:** Mostafaei, Ahad; Gholamian, Mohammad Reza; Noroozi, Maryam (2023). Coordination of the Agricultural Supply Chain Considering the Production of Green Crops and the Level of Customer Satisfaction, *Ind. Manag. Persp.*, 13(3), 127-166 *(In Persian)*.

Received: Jan. 02, 2023; Revised: Apr. 13, 2023; Accepted: May. 31, 2023; Published Online: Aug. 18, 2023.

* M.S Student, Department of Logistics and Supply Chain Engineering, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

** Associate Professor, Department of Logistics and Supply Chain Engineering, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Corresponding author. Email: Gholamian@iust.ac.ir

*** Ph.D. Candidate, Department of Logistics and Supply Chain Engineering, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

**Copyright:** © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۲، دوره ۱۳، شماره ۳، صص ۱۲۷ – ۱۶۶، doi: 10.48308/JIMP.13.3.127

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=fa

**نوع مقاله:** پژوهشی

# هماهنگی در زنجیره تأمین کشاورزی با درنظرگرفتن تولید محصولات سبز و سطح رضایت مشتریان

احد مصطفائی*، محمدرضا غلامیان**، مریم نوروزی***

**چکیده**

با افزایش رقابت در بازارهای جهانی توجه به الزامات زیست‌محیطی در زنجیره تأمین کشاورزی بسیار حائز اهمیت است. سبزبودن فرآیند کشاورزی عمدتاً بر مسائل متعددی از قبیل افزایش تقاضای مشتری، افزایش هزینه‌های اعضای زنجیره تأمین نسبت به کشاورزی سنتی و شرایط خاص نگهداری محصولات تأثیرگذار است. از طرفی افزایش رضایت مشتریان از محصولات و خدمات ارائه‌شده، لازمه موفقیت زنجیره‌های تأمین است. در این پژوهش یک زنجیره تأمین دوسطحی محصولات کشاورزی بررسی می‌شود. کشاورز درجه‌ی سبزبودن محصولات را تعیین می‌کند و خرده‌فروش با سرمایه‌گذاری‌های لازم، سطح رضایت مشتری را افزایش می‌دهد. نوآوری این پژوهش به‌طور مشخص، بهینه‌سازی سطح رضایت مشتری نهایی به‌عنوان یک متغیر تصمیم در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی و بررسی هم‌زمان سه متغیر قیمت، درجه‌ی سبزبودن محصولات کشاورزی و سطح رضایت مشتریان در تابع تقاضای مشتری نهایی است. در فرایند مدل‌سازی، ابتدا رویکردهای متمرکز و غیرمتمرکز توسعه داده شد. در ادامه با ارائه قرارداد تسهیم درآمد، اعضای زنجیره به رابطه‌ای برد ـ برد دست یافتند. در بخش نتایج عددی، با ارائه مثالی، صنعت گوجه‌فرنگی بررسی شد و نتایج نشان داد زنجیره تأمین پس از انعقاد قرارداد به سود بهینه‌ای که در رویکرد متمرکز به‌دست آمده است، خواهد رسید.

**کلیدواژه‌ها:** زنجیره تأمین دوسطحی محصولات کشاورزی؛ الزامات زیست‌محیطی؛ رضایت مشتریان؛ تصمیم‌گیری متمرکز؛ قرارداد تسهیم درآمد.

**استناددهی:** مصطفائی، احد؛ غلامیان، محمدرضا؛ نوروزی، مریم (۱۴۰۲). هماهنگی در زنجیره تأمین کشاورزی با درنظرگرفتن تولید محصولات سبز و سطح رضایت مشتریان. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، ۱۳(۳)، ۱۲۷-۱۶۶.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰،تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۲/۰۵/۲۷.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی لجستیک و زنجیره تامین، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

** دانشیار، گروه مهندسی لجستیک و زنجیره تامین، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: Email: Gholamian@iust.ac.ir

*** دانشجوی دکتری، گروه مهندسی لجستیک و زنجیره تامین، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

**Copyright:** © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**۱. مقدمه**

جهان امروز با مسائلی همچون افزایش سطح آلودگی‌های محیطی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف بسیار زیاد انرژی‌های تجدیدناپذیر، نظیر سوخت‌های فسیلی در صنایع تولیدی و موارد بسیاری ازاین‌دست که به محیط‌زیست آسیب می‌رسانند، مواجه است [۱۸، ۲۸]. این موضوع به افزایش نگرانی دولت و سازمان‌ها نسبت به آلودگی محیط‌زیست و کیفیت اکوسیستم منجر شده است [۲۳]. به‌منظور کاهش این نگرانی‌ها، افزایش قوانین، مقررات و استانداردهای دولتی و دستورات عمومی، سازمان‌ها را مجاب می‌سازد تا استراتژی‌های خُرد و کلان خود را که به‌طور بالقوه محیط‌زیست را آلوده می‌سازند، تغییر دهند و در فرآیندهای تولید و زنجیره تأمین خود به‌طورکلی بازنگری داشته باشند [۳۰]. به این ترتیب زنجیره تأمین سبز به‌عنوان یک نوآوری مهم برای سازمان‌ها به‌منظور بهبود عملکرد زیست‌محیطی و صرفه‌جویی در مصرف منابع مطرح می‌شود [۹].

ازآنجاکه زنجیره تأمین سبز، بُعد ملاحظات زیست‌محیطی را به مدیریت زنجیره تأمین اضافه می‌کند، اگر از دیدگاه بهینه‌سازی هدف زنجیره تأمین، بیشینه‌سازی سود کل زنجیره در نظر گرفته شود، آنگاه محدودیت ملاحظات زیست‌محیطی به‌عنوان یک محدودیت جدید به مسئله اضافه می‌شود و به‌تبع آن سود کل زنجیره نسبت به حالت معمول کاهش می‌یابد؛ اما پژوهش‌ها نشان می‌دهد مشتریان زنجیره‌های تأمین سبز درصورتی‌که از سبزبودن محصولات آگاهی داشته باشند، الگوی مصرف آن‌ها عمدتاً افزایش می‌یابد؛ به‌عبارتی میزان آگاهی مصرف‌کنندگان نهایی، از سبزبودن فرآیندها و تولید محصولات عمدتاً بر میزان تقاضای تأثیر مستقیم دارد [۱۱].

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های اقتصادی که بر محیط‌زیست تأثیر می‌گذارد، صنعت کشاورزی است. کشاورزی سهم بزرگی در توسعه اقتصادی کشوهای توسعه‌یافته دارد و ستون فقرات بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه است و نقش مهمی در صنعت این کشورها ایفا می‌کند؛ اما ناکارآمدی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی به فاسدشدن و ازبین‌رفتن محصولات منجر می‌شود [۱]. افزایش تولید محصولات کشاورزی از راه‌های مختلفی نظیر گسترش اراضی برای کاشت محصولات بیشتر و استفاده حداکثر از نهاده‌ها نظیر منابع آب، نیتروژن و فسفر، استفاده از انواع کودهای شیمیایی و استفاده از انواع آفت‌کش‌ها امکان‌پذیر بوده و به افزایش تولید مواد غذایی کمک شایانی کرده است [۱۶، ۲۶]. بااین‌حال کشاورزی اگر به‌صورت سنتی و با هدف یادشده انجام شود، پیامدهای ناخواسته‌ای از قبیل فرسایش خاک، مصرف بی‌رویه منابع آب، ازدست‌دادن تنوع زیستی و ایجاد بیماری‌های جسمانی که به‌دلیل استفاده از آفت‌کش‌ها و سایر تجهیزات پرمصرف کشاورزی به‌وجود می‌آید، به همراه دارد [۳]؛ درنتیجه منطقی است زنجیره‌های تأمین محصولات کشاورزی به سمت سبزبودن حرکت کنند.

با توجه به تغییرات اقلیمی در کشور ایران، میزان نزولات جوی سالیانه کمتر از یک‌سوم متوسط جهانی است؛ بنابراین ایران از جمله کشورهایی است که با محدودیت منابع آب مواجه است [۸]. کمبود آب در بخش کشاورزی تبعات متعددی را به همراه دارد. بسیاری از محصولات کشاورزی از نظر آبی پرمصرف بوده و آب فراوانی برای کشت آن‌ها موردنیاز است. از جمله این محصولات می‌توان به سبزی‌ها و انواع محصولات جالیزی نظیر هندوانه، خربزه و خیار اشاره کرد. محدودیت منابع آب و همچنین روش‌های سنتی و معمول کشاورزی و آبیاری که مصرف افراطی منابع آب را به همراه دارد، به کاهش تولید این محصولات و به‌تبع آن کاهش درآمد روزافزون کشاورزان منجر خواهد شد. با توجه به این مهم یکی از سیاست‌های اصلی و موضوعات اولویت‌دار برنامه پنجساله هفتم توسعه کشور، «اصلاح الگوی کشت و افزایش بهره‌وری حدود ۵ درصد آب کشاورزی» و یکی از امور زیربنایی این برنامه «تأمین امنیت غذایی و تولید حداقل ۹۰ درصد کالاهای اساسی و اقلام غذایی در داخل، همراه با حفظ و ارتقای ذخایر ژنتیکی و منابع آبی و افزایش سطح سلامت و ایمنی مواد غذایی» است [۲۹]. به‌عبارتی توجه به اقدامات زیست‌محیطی و دستیابی به رویکرد مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنعت کشاورزی، همواره جزو دغدغه‌های دولت و سازمان‌های ذی‌صلاح به‌منظور حفظ و افزایش بهره‌وری منابع طبیعی است.

در زنجیره‌های تأمین محصولات کشاورزی کلیه اعضای بالادست زنجیره باید در جهت سبزکردن محصول نهایی و به‌تبع آن افزایش سود کل زنجیره تلاش کنند. در این زنجیره‌ها کشاورز باید شیوه‌های تولید پایدار، نظیر فناوری‌هایی با حداقل خاک‌ورزی و همچنین استفاده از کودهای دامی، کودهای سبز و آفت‌کش‌های ارگانیک را در دستور کار قرار دهد و از روش‌های کشاورزی ارگانیک نظیر روش تناوب زراعی و کشت مخلوط برای حفظ حاصلخیزی خاک استفاده کند [۱۵، ۲۱]؛ همچنین بهتر است برای محصولات کشاورزی نظیر انواع صیفی‌جات نظیر کاهو، بامیه و گوجه‌فرنگی، شیوه‌های آبیاری نوین نظیر روش‌های آبیاری تحت‌فشار که معروف‌ترین نوع آن آبیاری قطره‌ای است، جایگزین روش‌های سنتی نظیر روش آبیاری غرقابی شود. شرکت‌ها و صنایع تبدیلی محصولات کشاورزی نیز باید از تجهیزاتی استفاده کنند که ضایعات و نخاله‌های کمتری داشته باشد و فرآیندهای شرکت را به‌سوی سبزبودن سوق دهند. حاملان محصولات نیز به‌نوبه خود در سبزبودن این زنجیره سهیم هستند. بدین ترتیب که اگر برای لجستیک و حمل‌ونقل محصولات کشاورزی از روش‌های حمل جاده‌ای نظیر کامیون‌ها و مدهای هوایی استفاده شود، به‌دلیل اینکه مصرف سوخت فسیلی بالایی دارند، می‌تواند محیط زندگی مانند آب، هوا و خاک را آلوده کنند [۲۴]؛ لذا شرکت‌های حمل باید از وسایلی استفاده نمایند که مصرف سوخت پایین‌تری دارند.

ارضای نیازهای مشتریان مهم‌ترین هدف زنجیره‌های تأمین است و کلیه فعالیت‌ها و فرآیندهای زنجیره تأمین در راستای افزایش رضایت و بیشینه‌سازی سطح خدمت‌رسانی به مشتریان تدوین می‌شود. باید توجه داشت که ازدست‌رفتن یک مشتری به تبلیغات منفی علیه زنجیره منجر می‌شود و عملکرد نامناسب اعضای زنجیره به کاهش تعداد مشتریان و به‌تبع آن کاهش سود در کل زنجیره تأمین منجر خواهد شد. در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی نیز رضایت مشتریان بسیار حائز اهمیت است؛ زیرا در صورت راضی‌نبودن مشتریان از هر عاملی نظیر قیمت، کیفیت، رفتار نامناسب خرده‌فروش و مواردی ازاین‌دست به ازدست‌دادن آن‌ها منجر می‌شود. با توجه به اینکه در صنعت کشاورزی عمدتاً مشتری محصولات را از خرده‌فروش (نظیر میوه‌فروشی‌های سطح شهر) خریداری می‌کنند و نزدیک‌ترین عضو زنجیره به مشتری است، وظیفه افزایش سطح رضایت مشتریان بر عهده خرده‌فروش است؛ بنابراین در این راستا خرده‌فروش باید محصولات کشاورزی نظیر میوه‌ها و سبزیجات را با قیمت‌هایی مطابق تعرفه‌های نهادهای نظارتی و اتحادیه‌های میوه و تره‌بار استان‌ها به فروش برساند، محصولات کشاورزی را به‌صورت تازه خریداری کند، کارکنان مجربی استخدام نماید و در جهت ارائه خدمات مناسب به مشتریان، کارکنان را آموزش دهد؛ همچنین خدمات پس‌ازفروش خود را تقویت کند. این خدمات در صنعت کشاورزی شامل پس‌گرفتن محصولات کشاورزی بی‌کیفیت از مشتریان است. انجام این خدمات به‌نوعی سرمایه‌گذاری در جهت افزایش سطح رضایت و وفاداری مشتریان و به‌تبع آن تضمین سودآوری صنعت کشاورزی در بلندمدت است؛ زیرا اگر فروشنده در خرید محصولات کشاورزی باکیفیت دقت لازم را به‌عمل نیاورد و میوه‌جات نامرغوبی را عرضه کند، رفتار نامناسبی با مشتریان داشته باشند و همچنین محصولات را با قیمت بالاتر از نرخ استاندارد تعیین‌شده توسط اتحادیه‌ها به فروش برساند، مشتریان به‌مرورزمان به خرده‌فروش دیگری (یا به‌عبارتی زنجیره دیگری) مراجعه می‌کنند و درنتیجه هم خرده‌فروش و هم کل زنجیره متضرر خواهد شد.

در مبانی نظری هماهنگی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی، پژوهش‌های متعددی وجود دارند که ملاحظات زیست‌محیطی و سبزبودن محصولات کشاورزی را در مدل‌سازی خود لحاظ کرده‌اند. با وجود اهمیت فراوان رضایت مشتریان در زنجیره‌های تأمین، پژوهش‌های بسیار محدودی این موضوع را در صنعت کشاورزی بررسی کرده‌اند. لازم به توضیح است در این پژوهش‌ها، با احتمالی درنظرگرفتن تابع تقاضا و تعریف بازارهای اولیه و ثانویه، به‌طور ضمنی موضوع رضایت مشتریان را مطالعه کرده‌اند و در هیچ‌یک از پژوهش‌های پیشین، سطح رضایت مشتری به‌عنوان یک متغیر تصمیم در مدل بررسی نشده است. از طرفی هیچ‌یک از پژوهش‌های زنجیره تأمین محصولات کشاورزی، ملاحظات زیست‌محیطی و سطح رضایت مشتریان را به‌طور هم‌زمان بررسی نکرده‌اند. این پژوهش یک زنجیره تأمین دوسطحی را بررسی می‌کند. ساختار

زنجیره متشکل از یک کشاورز و یک خرده‌فروش است. در این پژوهش کشاورز تولیدکننده محصولات کشاورزی است و درجه‌ی سبزبودن محصول را تعیین می‌کند. نوآوری پژوهش حاضر این است که نخست، سطح رضایت مشتریان به‌عنوان یک متغیر تصمیم در تابع تقاضای مدل اعمال می‌شود و خرده‌فروش باید با ارائه خدمات مناسب و انجام سرمایه‌گذاری‌های لازم، سطح رضایت مشتریان را افزایش دهد؛ دوم، تصمیمات قیمت‌گذاری محصولات کشاورزی، درجه سبزبودن محصولات و سطح رضایت مشتریان از محصولات و خدمات ارائه‌شده، به‌عنوان سه متغیر و به‌صورت هم‌زمان در تقاضای مشتری نهایی موردمطالعه قرار می‌گیرد. درنهایت با انعقاد یک قرارداد تسهیم درآمد به ایجاد سازوکار هماهنگی در این زنجیره پرداخته خواهد شد. هدف این پژوهش پاسخ به این پرسش است که آیا انعقاد قرارداد تسهیم درآمد می‌تواند اعضای زنجیره را به یک رابطه سودآور و بلندمدت برساند.

ادامه پژوهش به شرح زیر ساماندهی شده است: در بخش دوم به بررسی مطالعات پیشین و مرور مبانی نظری موضوع پرداخته می‌شود، در بخش سوم مسئله به‌صورت کامل تشریح می‌شود و مفروضات و علائم اختصاری مدل معرفی خواهد شد؛ سپس به محاسبات رویکردهای متمرکز، غیرمتمرکز و سازوکار هماهنگی پرداخته خواهد شد. در بخش چهارم خروجی مدل در قالب نتایج عددی و تحلیل و مطالعه صنعت گوجه‌فرنگی بررسی می‌شود. بخش پنجم نیز به نتیجه‌گیری مقاله اختصاص دارد و نوآوری‌هایی برای استفاده سایر پژوهشگران در مطالعات آتی ارائه می‌شود.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

موفقیت هر یک از اعضای زنجیره‌های تأمین در بلندمدت صرفاً به بهبود عملکرد و فرآیندهای داخلی آن وابسته نیست؛ بلکه کلیه اعضای زنجیره تأمین باید عملکرد مناسبی داشته باشند و تصمیمات مناسبی اتخاذ کنند [۲۵]. به‌عبارتی هر یک از اعضای زنجیره تأمین باید مجموعه دقیقی از اقدامات را برای دستیابی به عملکرد بهینه زنجیره تأمین انجام دهند؛ اما با توجه به اینکه اعضای زنجیره در دنیای واقعی عمدتاً تصمیم‌گیرندگان و مدیران متفاوتی دارند، هدف اولیه آن‌ها اتخاذ تصمیمات بهینه در جهت دستیابی به اهداف خود است؛ درنتیجه عملکرد بهینه زنجیره تأمین مستلزم هماهنگی بین اعضای متفاوت زنجیره است [۷]. به‌دلیل ملاحظات و ویژگی‌های خاص صنعت کشاورزی، نظیر عدم‌توزیع عادلانه و منصفانه سود بین ذی‌نفعان و اعضای زنجیره، نیاز محصولات کشاورزی نظیر نیشکر، انواع صیفی‌جات و محصولات جالیزی نظیر خربزه، هندوانه، کدو به آبیاری فراوان، فسادپذیری محصولات و مواردی ازاین‌دست، به‌طور خاص هماهنگی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر بسیار موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است. مطالب این قسمت در سه بخش طبقه‌بندی می‌شود: در بخش نخست پژوهش‌هایی بررسی می‌شود که هماهنگی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی

ارگانیک را بررسی کرده‌اند؛ به‌عبارتی در این پژوهش‌ها بُعد ملاحظات زیست‌محیطی به‌عنوان یک شاخصه مهم در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی، بررسی می‌شود. در بخش دوم پژوهش‌هایی مطالعه می‌شوند که موضوع رضایت مشتریان را در هماهنگی زنجیره‌های تأمین و به‌طور خاص در هماهنگی زنجیره تأمین محصولات کشاورزی بررسی کرده‌اند. در بخش سوم نیز شکاف پژوهشی حاضر تعیین می‌شود.

**هماهنگی زنجیره تأمین محصولات کشاورزی ارگانیک.** در این بخش، پژوهش‌های صورت‌گرفته در حوزه هماهنگی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی با درنظرگرفتن بُعد ملاحظات زیست‌محیطی بررسی می‌شود. یان و همکاران[1] (۲۰۱۷)، یک زنجیره تأمین محصولات تازه کشاورزی را بررسی کردندکه از سه سطح تولیدکننده، توزیع‌کننده و خرده‌فروش تشکیل شده بود. آن‌ها محاسبات متمرکز، غیرمتمرکز و سازوکار هماهنگی پژوهش را با درنظرگرفتن کاربرد اینترنت اشیا در صنعت کشاورزی توسعه داده و نشان دادند استفاده از اینترنت اشیا بر محیط رشد محصولات کشاورزی نظیر دما، رطوبت، غلظت کودها و همچنین استفاده از انواع تجهیزات تولیدی نظیر انواع آفت‌کش‌ها نظارت می‌کند و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای حاصلخیزی خاک را حفظ می‌کند. درنهایت با استفاده از قرارداد تسهیم درآمد، اعضای زنجیره را به رابطه‌ای برد ـ برد رساندند [۳۶]. ما و همکاران[2] (۲۰۲۰)، یک زنجیره تأمین سه‌سطحی محصولات کشاورزی تازه را بررسی کردند. اعضای زنجیره شامل تأمین‌کننده، لجستیک طرف سوم و خرده‌فروش است. لجستیک طرف سوم، وظیفه حفظ کیفیت محصولات کشاورزی را از طریق نگهداری و حمل‌ونقل مناسب و کارا بر عهده دارد. در این پژوهش فرض می‌شود، گاز کربن از طریق نگهداری و حمل‌ونقل منتشر می‌شود؛ بنابراین به‌عنوان تابعی از میزان موجودی و میزان سفارش‌دهی و به‌عنوان هزینه در مدل‌سازی مسئله لحاظ می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد تلاش برای کاهش گاز کربن منتشرشده و به‌تبع آن بهبود شرایط زیست‌محیطی، سود تأمین‌کننده را کاهش می‌دهد؛ اما با انعقاد دو قرارداد به‌اشتراک‌گذاری درآمد و هزینه به‌صورت هم‌زمان، حجم فروش بهبود می‌یابد و سود اعضا به‌طور منصفانه‌ای توزیع می‌شود [۲۲].
چانگ‌چون[3] (۲۰۱۷)، سازوکار هماهنگی در یک زنجیره تأمین دوسطحی محصولات کشاورزی را با درنظرگرفتن استفاده از فناوری‌ها و تجهیزات کم‌کربن، توسعه داد. این زنجیره از دو سطح تولیدکننده و خرده‌فروش تشکیل شده است. در این پژوهش سطح فناوری کم‌کربن نظیر استفاده از کودها و آفت‌کش‌های ارگانیک توسط تولیدکننده و قیمت نهایی توسط خرده‌فروش تعیین می‌شود. رویکرد غیرمتمرکز تحت دو سناریوی سرمایه‌گذاری و عدم‌سرمایه‌گذاری تولیدکننده در

1. Yan, et al.
2. Ma, et al.
3. Changchun

استفاده از تجهیزات کم‌کربن توسعه داده شد. نتایج این دو رویکرد نشان داد استفاده از تجهیزات کم‌کربن علی‌رغم بهبود شرایط زیست‌محیطی به لحاظ اقتصادی تولیدکننده را تشویق به سرمایه‌گذاری نمی‌کند. به این منظور با انعقاد قرارداد تسهیم درآمد و هزینه‌های تحقیق و توسعه سازوکار هماهنگی در زنجیره تأمین محقق شده و توزیع سود به‌طور مناسبی بین اعضای زنجیره انجام می‌شود [۵]. کائو و همکاران[1] (۲۰۲۰)، یک زنجیره تأمین محصولات کشاورزی که از دو سطح تعاونی کشاورزان و شرکت تولیدکننده تشکیل شده است را بررسی کردند. در این پژوهش، کشاورزان در سبزکردن فرآیند کاشت و تولیدکننده در سبزکردن فرآیندهای تولیدی و پردازش محصولات سرمایه‌گذاری می‌کنند. تابع تقاضای محصولات کشاورزی در این مدل، تابعی احتمالی نسبت به قیمت محصولات و سطح تلاش در جهت سبزکردن فرآیند کشت و پردازش محصولات ارائه مدهد. درنهایت با انعقاد دو قرارداد بازخرید و به‌اشتراک‌گذاری هزینه، اعضای زنجیره به رابطه‌ای سودآور و پایدار دست می‌یابند [۴]. لیو و همکاران[2] (۲۰۲۰)، سازوکار هماهنگی را در یک زنجیره تأمین دوسطحی محصولات کشاورزی سبز با درنظرگرفتن خدمات اطلاعاتی مبتنی بر بلاک‌چین توسعه دادند. این زنجیره از دو سطح تولیدکننده و خرده‌فروش تشکیل شده است. در این پژوهش سطح سبزبودن توسط تولیدکننده و قیمت نهایی و کیفیت محصول توسط خرده‌فروش تعیین می‌شود. تقاضای محصول در این پژوهش به‌صورت تابعی غیرخطی نسبت به قیمت نهایی، سطح کیفیت و سطح سبزبودن محصول ارائه می‌شود. درنهایت با انعقاد قرارداد تسهیم درآمد و تسهیم هزینه، اعضای زنجیره به رابطه‌ای برد ـ برد دست می‌یابند [۲۰]. لیو و ژانگ[3] (۲۰۲۲)، یک زنجیره تأمین دوسطحی محصولات کشاورزی سبز که شامل تولیدکننده و خرده‌فروش است را با درنظرگرفتن کاربرد کلان‌داده در صنعت کشاورزی بررسی کردند. در این زنجیره که از دو کانال توزیع آنلاین و آفلاین تشکیل شده است، قیمت نهایی محصول در هر کانال را خرده‌فروش تعیین می‌کند و سطح سبزبودن توسط تولیدکننده بهبود می‌یابد. درنهایت قیمت‌گذاری و سازوکار هماهنگی را با انعقاد چهار نوع قرارداد تسهیم هزینه توسعه دادند [۱۹]. کوی و همکاران[4] (۲۰۲۰)، یک قرارداد تسهیم درآمد را برای اتخاذ تصمیمات مبتنی بر هماهنگی در زنجیره تأمین دوسطحی محصولات کشاورزی ارائه دادند. زنجیره تأمین یادشده از دو سطح کشاورز و خرده‌فروش تشکیل شده است. تقاضای آن‌ها تابعی خطی نسبت به قیمت و سطح سبزبودن محصولات است که در آن کشاورز در سبزکردن فرآیند کشاورزی سرمایه‌گذاری کرده و خرده‌فروش نیز قیمت نهایی محصول را تعیین می‌کند [۶].

1. Cao, et al.
2. Liu, et al.
3. Liu & Zhang
4. Cui, et al.

وانگ و همکاران[1] (۲۰۲۲)، یک زنجیره تأمین سه‌سطحی محصولات کشاورزی که شامل تعاونی کشاورزان، تولیدکنندگان و خرده‌فروش است را بررسی کردند. در این پژوهش، کشاورزان دو نوع محصول کشاورزی معمولی و خاص را تولید می‌کنند. محصولات خاص به محصولاتی اطلاق می‌شوند که کاشت آن‌ها نیازمند شرایط جغرافیایی، خاک و آب‌وهوای مخصوصی است و هر کدام از محصولات معمولی و خاص تقاضای متفاوتی دارند. درنهایت از قرارداد تسهیم درآمد برای دستیابی به سود بیشینه زنجیره استفاده شده است [۳۲]. هو و همکاران[2] (۲۰۲۳)، یک زنجیره تأمین محصولات کشاورزی سبز که از دو سطح تعاونی کشاورزان و خرده‌فروش تشکیل شده است را بررسی کردند. در این پژوهش تعاونی کشاورزان قیمت عمده‌فروشی و سطح سبزبودن محصولات را تعیین کرده و خرده‌فروش نیز در مورد قیمت نهایی محصولات و سطح اقدامات برای حفظ کیفیت و تازگی محصولات کشاورزی تصمیم‌گیری می‌کند. محاسبات رویکرد غیرمتمرکز تحت سه سناریو انجام می‌شود. سناریوی نخست آن است که اعضای زنجیره هیچ‌کدام نگرانی از توزیع عادلانه و منصفانه‌ی سود ندارند. سناریوی دوم نمایانگر آن است که تعاونی کشاورزان از توزیع سود به‌صورت منصفانه نگران است و خرده‌فروش این نگرانی را در تصمیم‌گیری‌های خود در نظر می‌گیرد و سناریوی سوم نیز نمایانگر آن است که تعاونی کشاورزان از توزیع سود به‌صورت منصفانه نگران است و خرده‌فروش این نگرانی را در تصمیم‌گیری‌های خود لحاظ نمی‌کند و صرفاً به دنبال بیشینه‌ساختن سود خود است [۱۲]. یانگ و یائو[3] (۲۰۲۳)، با انعقاد دو قرارداد به‌اشتراک‌گذاری هزینه و قیمت‌گذاری دودوره‌ای، سازوکار هماهنگی در یک زنجیره تأمین دوسطحی محصولات کشاورزی را توسعه دادند. این زنجیره از دو سطح تأمین‌کننده و خرده‌فروش تشکیل شده است. تأمین‌کننده بر تجهیزات و اقداماتی به‌منظور کاهش کربن و تلاش‌های حفظ تازگی محصولات کشاورزی سرمایه‌گذاری کرده و همچنین قیمت عمده‌فروشی محصولات را تعیین می‌کند. خرده‌فروش نیز در مورد قیمت نهایی محصول تصمیم‌گیری می‌کند. تابع تقاضای این پژوهش به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر هر سه مؤلفه ذکرشده است. [۳۸]. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با توجه به پژوهش‌های بررسی‌شده معمولاً اعضای بالادست زنجیره سطح سبزبودن را تعیین می‌کنند.

**رضایت مشتری در هماهنگی زنجیره تأمین.** در این قسمت پژوهش‌های صورت‌گرفته در ارتباط با نقش رضایت مشتری در هماهنگی زنجیره تأمین بررسی می‌شود. بویاسی و گالیگو[4] (۲۰۰۴)، سازوکار هماهنگی در دو زنجیره تأمین رقیب که هر یک شامل یک عمده‌فروش و یک

1. Wang, et al.
2. Hu, et al.
3. Yang & Yao
4. Boyaci & Gallego

خرده‌فروش هستند را بررسی کردند. در این مدل فرض شده است محیط کسب‌وکار، زنجیره‌های تأمین را مجبور می‌کند تا قیمت‌های مشابهی برای محصولات خود اعمال کرده و بر اساس خدمات مشتری عمل کنند و محاسبات تحت سه سناریو انجام می‌شود. در سناریوی نخست، اعضای هر دو زنجیره به‌طور مستقل در جهت بیشینه‌سازی سود خود تصمیم می‌گیرند. در سناریوی دوم اعضای هر دو زنجیره به‌صورت هماهنگ تصمیم‌گیری می‌کنند و در سناریوی سوم دو زنجیره به‌صورت ترکیبی عمل می‌نمایند. به‌این‌ترتیب یک زنجیره تأمین به‌صورت هماهنگ و زنجیره تأمین دیگر به‌صورت غیر هماهنگ عمل کرده و با یکدیگر رقابت می‌کنند. نتایج نشان داد در رویکرد هماهنگ، مشتریان سود بیشتری خواهند برد و رضایت بیشتری نسبت به دو رویکرد دیگر دارند [۲]. هوانگ و همکاران[1] (۲۰۱۴)، با انعقاد دو قرارداد بازخرید و تخفیف مقداری سازوکار هماهنگی در زنجیره تأمین، یک زنجیره تأمین دوسطحی را در حضور بازارهای ثانویه بررسی کردند. زنجیره از یک تأمین‌کننده و تعداد زیادی خرده‌فروش تشکیل شده بود. در این پژوهش محاسبات در دو سناریوی انجام شد. در سناریوی نخست فرض بر این بود که خرده‌فروشان در بازار اصلی محصولات را به فروش می‌رسانند. در این حالت فرض می‌شود اگر محصولات دارای نقص عملکردی باشند، مشتری می‌تواند آن‌ها را برگشت دهد. سناریوی دوم با حضور بازار ثانویه مطرح است. در این حالت فرض می‌شود محصولاتی که در بازار اصلی به فروش نرسیده‌اند، در بازارهای ثانویه با قیمت پایین‌تر به مشتری عرضه شوند؛ اما در این حالت مشتریان نمی‌توانند محصولاتی که دارای نقص عملکردی هستند را به زنجیره تأمین برگشت دهند؛ همچنین بین بازار اولیه و ثانویه یک بازار داخلی وجود دارد که در آن خرده‌فروشان بین خود بر قیمت و میزان موجودی، به‌منظور فروش محصولات در بازارهای ثانویه رقابت می‌کنند [۱۳]. خو و همکاران[2] (۲۰۱۵)، یک زنجیره تأمین دوسطحی که از یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش تشکیل شده است را بررسی کردند. در این پژوهش فرض شده است که به‌دلیل ارزیابی نادرست مشتریان از مطلوبیت محصولات قبل از خرید، ممکن است محصولات توسط مصرف‌کنندگان بازگردانده شود. نرخ بازگشت مشتری عمدتاً به ماهیت محصول و سیاست بازگشت ارائه‌شده توسط زنجیره بستگی دارد. به همین دلیل خرده‌فروش مهلت بازگشتی برای مشتری در نظر گرفته است. درنهایت با انعقاد دو قرارداد بازخرید سازوکار هماهنگی در زنجیره تأمین ایجاد شده است [۳۴]. یانگ و همکاران[3] (۲۰۱۵)، با ارائه قرارداد تسهیم درآمد سازوکار هماهنگی را در یک زنجیره تأمین دوسطحی با یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش توسعه دادند. این پژوهش تحت شرایط مسئله روزنامه‌فروش بررسی شده و دو سناریو برای آن در نظر گرفته

1. Huang, et al
2. Xu, et al.
3. Yang, et al.

شده است. در سناریوی نخست فرض شده است محصولات در فصل فروش با قیمت اصلی به فروش می‌رسند یا پس از فصل فروش با قیمت پایین‌تر حراج می‌شوند. در سناریوی دوم مفهوم زنجیره تأمین چابک و پاسخگویی سریع نیز مطرح می‌شود. به این صورت که خرده‌فروش دو مرتبه محصولات را سفارش می‌دهد. مرحله اول قبل از شروع فصل فروش و بدون داشتن اطلاعات دقیق از میزان تقاضای مشتریان است و مرحله دوم در ابتدای فصل فروش است که با قابلیت پاسخگویی سریع تقاضای دقیق را مشاهده می‌کند. یادآوری این نکته لازم است که قیمت عمده‌فروشی مرحله دوم بیشتر از مرحله اول است [۳۷]. لی و یو[1] (۲۰۱۷)، یک زنجیره تأمین را با دو سطح تولیدکننده و خرده‌فروش با درنظرگرفتن همگن و غیرهمگن‌بودن تقاضای مشتریان بررسی کردند. تابع تقاضای این پژوهش به‌صورت احتمالی بوده و مسئله تحت شرایط روزنامه‌فروش، مدل‌سازی شده است. با انعقاد دو قرارداد بازخرید و قیمت عمده‌فروشی، اعضای زنجیره به رابطه‌ای پایدار و بلندمدت دست می‌یابند [۱۷]. کابول و پرلاکتورک[2] (۲۰۱۹)، با انعقاد قراردادهای تعرفه دوبخشی و تخفیفات مقداری سازوکار هماهنگی در یک زنجیره تأمین غیرمتمرکز را توسعه دادند. این زنجیره از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش تشکیل شده است که یک محصول را در دو دوره به فروش می‌رسانند. در این پژوهش فرض شده است که اعضای زنجیره قیمت عمده‌فروشی و خرده‌فروشی را به‌صورت پویا تعیین می‌کنند تا سود خود را بیشینه نمایند. مشتریان استراتژیک و آینده‌دار زنجیره نیز با توجه به پویابودن قیمت نهایی محصولات تصمیم می‌گیرند که در کدام دوره محصولات را خریداری کنند که بیشترین مطلوبیت را برای آن‌ها داشته باشد [۱۴]. وانگ و همکاران[3] (۲۰۲۰)، یک زنجیره تأمین را با دو سطح تأمین‌کننده و خرده‌فروش با درنظرگرفتن نرخ بازگشت مشتریان بررسی کردند و نشان دادند با افزایش نرخ بازگشت محصولات توسط مشتریان، سود کل زنجیره و سود هر یک از اعضا کاهش می‌یابد. از طرفی شرکت می‌تواند نرخ بازگشت مشتری را بر اساس داده‌های تاریخی از فروش‌های قبلی تخمین بزند تا بتواند عدم‌قطعیت آن را کنترل کند. درنهایت با انعقاد دو قرارداد اختیار فروش و قیمت عمده‌فروشی اعضای زنجیره به رابطه‌ای برد ـ برد دست می‌یابند [۳۱].

یادآوری می‌شود صرفاً در دو پژوهش به موضوع رضایت مشتریان در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی اشاره شده است. کیو و همکاران[4] (۲۰۲۰)، با انعقاد قرارداد تسهیم درآمد و هزینه سازوکار هماهنگی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی تازه را با درنظرگرفتن اهمیت مشتریان استراتژیک زنجیره توسعه دادند. اعضای زنجیره شامل خرده‌فروش و لجستیک شخص ثالث است. در این پژوهش قیمت‌گذاری به‌صورت پویا انجام شده است و محصولات در دو دوره

1. Li & Yu
2. Kabul & Parlakturk
3. Wang, et al.
4. Qiu, et al.

فروخته می‌شوند و مشتریان تصمیم می‌گیرند که در کدام دوره محصولات را خریداری کنند [۲۷]. یان و همکاران (۲۰۲۰)، با انعقاد قرارداد تسهیم درآمد سازوکار هماهنگی در زنجیره تأمین دوسطحی محصولات کشاورزی را با درنظرگرفتن الگوی رفتار مشتری بررسی کردند. در این پژوهش از مدل احتمالی تک‌دوره‌ای (روزنامه‌فروش) استفاده شده است. طبق این مدل خرده‌فروش باید در ابتدای دوره به میزان موردنیاز سفارش دهد. در این پژوهش خرده‌فروش در مورد قیمت نهایی محصول و میزان سفارش‌دهی تصمیم‌گیری کرده و تولیدکننده بر روی قیمت عمده‌فروشی و کیفیت محصول سرمایه‌گذاری می‌کند [۳۵].

**شکاف پژوهشی.** با توجه به جدول ۱، در تعدادی از پژوهش‌های هماهنگی در زنجیره‌های تأمین، به اهمیت مشتریان پرداخته شده است؛ اما به‌طور خاص در مبانی نظری زنجیره تأمین محصولات کشاورزی صرفاً دو پژوهش وجود دارد که مفهوم رضایت مشتریان را در مدل‌سازی خود در نظر گرفته‌اند. در تمامی این پژوهش‌ها با استفاده از مسئله روزنامه‌فروش، احتمالی درنظرگرفتن تابع تقاضا و تعریف بازارهای اولیه و ثانویه، به‌طور ضمنی به موضوع رضایت مشتریان پرداخته شده است و هیچ‌گاه سطح رضایت مشتریان به‌عنوان یک متغیر تصمیم در مدل دیده نشده است؛ همچنین در هیچ‌یک از پژوهش‌های هماهنگی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی، بُعد ملاحظات زیست‌محیطی و سطح رضایت مشتریان به‌صورت هم‌زمان بررسی نشده است. با توجه به شکاف مشخص‌شده در مبانی نظری، در پژوهش حاضر مفهوم سطح رضایت مشتریان نهایی به‌عنوان یک متغیر تصمیم در تابع تقاضای مدل در نظر گرفته می‌شود؛ همچنین تابع تقاضای مشتری قطعی بوده و به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر سه متغیر قیمت خرده‌فروشی، سطح سبزبودن محصولات کشاورزی و سطح رضایت مشتریان از محصولات و خدمات ارائه شده است.

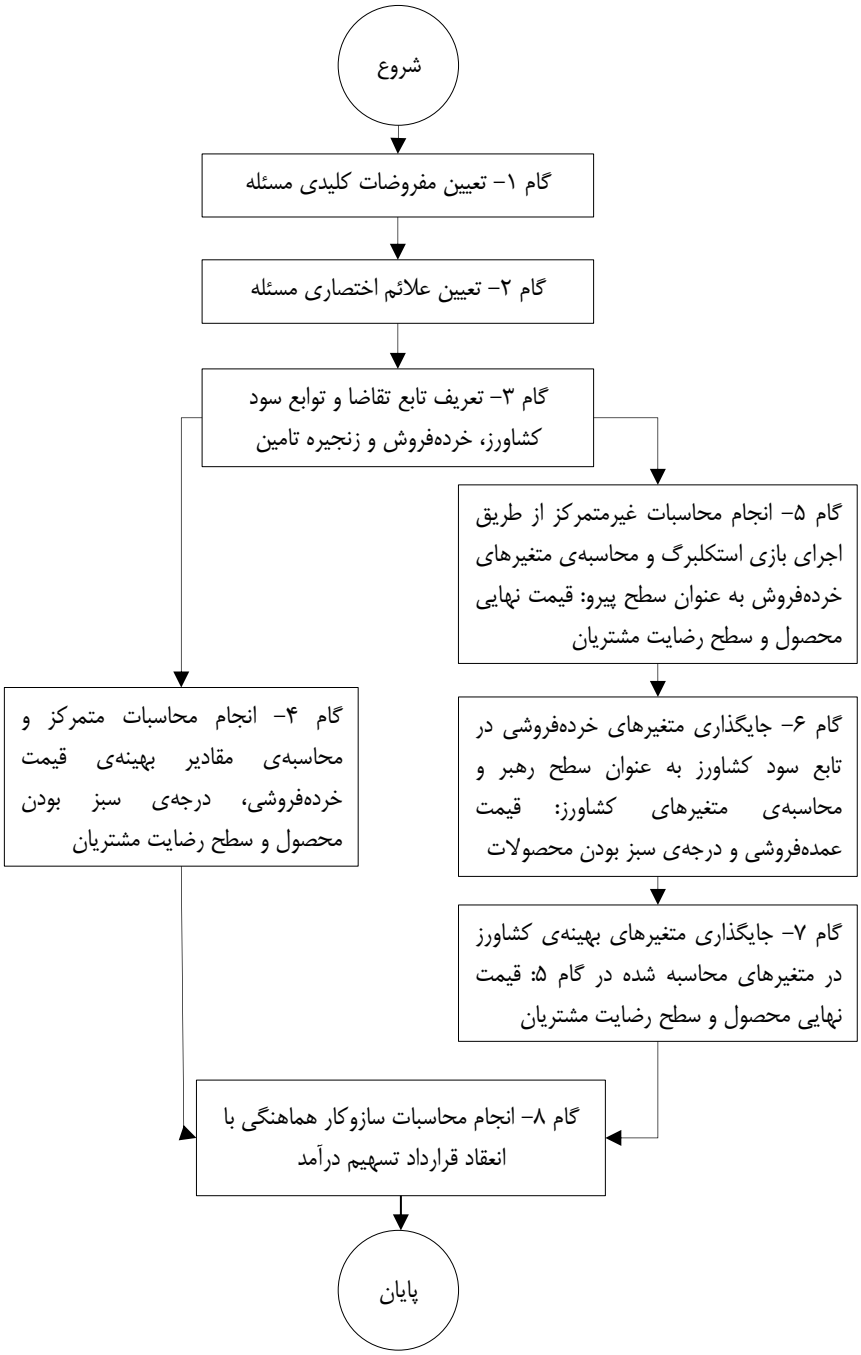
*جدول ۱. شکاف پژوهشی موجود در مبانی نظری هماهنگی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی*

| زنجیره تأمین کشاورزی | عوامل مؤثر بر تابع تقاضای مشتریان یا فروش محصولات | توجه به رضایت مشتریان | متغیر تصمیم مسئله | نوع تابع تقاضا | | منبع |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | قطعی | احتمالی | |
| × | قیمت محصولات در بازارهای اولیه و ثانویه | ✓ | قیمت خرده‌فروشی و میزان سفارش‌دهی | | ✓ | [۱۳] |
| × | قیمت و مهلت برگشت محصولات به زنجیره | ✓ | قیمت خرده‌فروشی و میزان سفارش‌دهی | | ✓ | [۳۴] |
| × | قیمت فروش و حراج | ✓ | قیمت خرده‌فروشی و میزان سفارش‌دهی | | ✓ | [۳۷] |
| ✓ | قیمت و کیفیت محصول | × | قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروشی، میزان سفارش‌دهی و سطح کیفیت | | ✓ | [۳۶] |
| ✓ | قیمت و سطح سبزبودن محصول | × | قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروشی، میزان سفارش‌دهی و سطح سبزبودن محصول | ✓ | | [۵] |
| × | قیمت فروش و حراج | ✓ | قیمت خرده‌فروشی و میزان سفارش‌دهی | | ✓ | [۱۷] |
| × | قیمت فروش هر دوره | ✓ | قیمت خرده‌فروشی و میزان سفارش‌دهی | | ✓ | [۱۴] |
| ✓ | قیمت و کیفیت محصول | × | قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروش، میزان سفارش‌دهی و سطح کیفیت | | ✓ | [۲۴] |
| ✓ | قیمت و سطح سبزبودن محصول | × | قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروش، میزان سفارش‌دهی و سطح سبزبودن فرآیند کاشت و تولید | | ✓ | [۴] |
| ✓ | قیمت، سطح سبز بودن | × | قیمت خرده‌فروشی و قیمت عمده‌فروشی | ✓ | | [۲۰] |

| زنجیره تأمین کشاورزی | عوامل مؤثر بر تابع تقاضای مشتریان یا فروش محصولات | توجه به رضایت مشتریان | متغیر تصمیم مسئله | نوع تابع تقاضا | | منبع |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | قطعی | احتمالی | |
| | محصول و کیفیت محصول | | | | | |
| ✓ | قیمت و سطح سبز بودن محصول | × | قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروشی و سطح سبزبودن محصول | ✓ | | [۶] |
| × | قیمت و درصد بازگشت محصولات به زنجیره | ✓ | قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروشی و میزان سفارش‌دهی | | ✓ | [۳۱] |
| ✓ | قیمت و کیفیت محصول | ✓ | قیمت خرده‌فروشی و سطح کیفیت | ✓ | | [۲۷] |
| ✓ | کیفیت محصول | ✓ | قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروشی و میزان سفارش‌دهی | | ✓ | [۳۵] |
| ✓ | قیمت و سطح سبزبودن محصول | × | قیمت خرده‌فروشی و قیمت عمده‌فروشی | ✓ | | [۳۲] |
| ✓ | قیمت و سطح سبزبودن محصول | × | قیمت خرده‌فروشی و قیمت عمده‌فروشی و سطح سبزبودن | ✓ | | [۱۹] |
| ✓ | قیمت، سطح سبزبودن محصول و سطح تلاش حفظ کیفیت محصول | × | قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروشی، سطح سبزبودن محصول و سطح تلاش حفظ کیفیت | ✓ | | [۱۲] |
| ✓ | قیمت، سطح سبز بودن محصول و سطح تلاش حفظ کیفیت محصول | × | قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروشی، سطح سبزبودن محصول و سطح تلاش حفظ کیفیت | ✓ | | [۳۸] |
| ✓ | قیمت، سطح سبزبودن محصول و سطح رضایت مشتری | ✓ | قیمت خرده‌فروشی، قیمت عمده‌فروشی، سطح سبزبودن محصول، سطح رضایت مشتریان | ✓ | | پژوهش حاضر |

**۳. روش‌شناسی پژوهش**

این پژوهش به دنبال ایجاد سازوکار هماهنگی در یک زنجیره تأمین محصولات کشاورزی با استفاده از قرارداد تسهیم درآمد است. این زنجیره دوسطحی بوده و متشکل از یک کشاورز و یک خرده‌فروش است. کشاورز محصولات کشاورزی را تولید کرده و بر روی سبزبودن محصول و فرآیند کشاورزی، سرمایه‌گذاری می‌کند و با قیمت عمده‌فروشی به خرده‌فروش می‌فروشد. خرده‌فروش محصولات کشاورزی را به فروش می‌رساند و در جهت افزایش سطح رضایت مشتری سرمایه‌گذاری می‌کند. به‌عبارتی متغیرهای تصمیم تحت کنترل خرده‌فروش، قیمت نهایی محصولات کشاورزی و سطح رضایت مشتری نهایی است. کشاورز نیز قیمت عمده‌فروشی و درجه‌ی سبزبودن محصولات کشاورزی را تعیین می‌کند. در ادامه ابتدا مفروضات کلیدی و علائم اختصاری مسئله معرفی خواهد شد؛ سپس انواع رویکردهای تصمیم‌گیری تشریح می‌شود. در رویکرد متمرکز، مسئله به دنبال بیشینه‌سازی سود کل زنجیره است و متغیرهای تصمیم در جهت دستیابی به هدف یادشده محاسبه خواهند شد. در رویکرد غیرمتمرکز کشاورز و خرده‌فروش تصمیم دارند سود خود را به بیشترین مقدار ممکن برسانند و از طرفی به‌دلیل اینکه سود هر یک از اعضای زنجیره به یکدیگر وابسته است، از بازی استکلبرگ برای محاسبه متغیرهای مجهول اعضای زنجیره استفاده خواهد شد. در ادامه پژوهش، با انعقاد قرارداد تسهیم درآمد، سازوکار هماهنگی بین اعضای زنجیره ایجاد خواهد شد؛ به‌گونه‌ای که کشاورز و خرده‌فروش به یک رابطه برد ـ برد و پایدار دست پیدا کنند. خلاصه مراحل اجرای مدل قالب فلوچارت و به‌صورت شکل ۱، نشان داده شده است.




*شکل ۱. فلوچارت مراحل اجرای مدل*

**مفروضات کلیدی مسئله.** در این پژوهش، مفروضاتی به‌منظور ارائه تحلیل‌ها و نتیجه‌گیری‌های مناسب در نظر گرفته شده است:

ـ در این مدل فرض می‌شود اعضای زنجیره تأمین دارای ماهیت مستقل اقتصادی بوده و بنابراین هر یک از اعضا به‌صورت مستقل به دنبال اخذ تصمیمات بهینه در راستای بیشینه‌سازی سود خود هستند؛

ـ با وجود اینکه قیمت نهایی محصولات کشاورزی سبز در مقایسه با محصولات کشاورزی معمول بیشتر است، مصرف‌کنندگان ترجیح می‌دهند محصولات کشاورزی سبز را خریداری کنند؛ به‌عبارتی هنگام خرید، علاوه بر قیمت نهایی، به درجه سبزبودن محصولات نیز اهمیت می‌دهند. $b$، $\alpha$ به‌ترتیب میزان حساسیت مشتری نسبت به قیمت محصول و درجه سبزبودن محصول را نشان می‌دهند. به‌عبارتی این نمادها نمایانگر وزن اهمیت مصرف‌کننده نسبت به قیمت، درجه سبزبودن محصول و سطح رضایت مشتری هستند که به‌صورت پارامتر ثابت در تابع تقاضای مدل تعیین می‌شود و تقاضای مصرف‌کننده با افزایش درجه سبزبودن محصول نهایی نسبت به حالتی که هیچ تلاشی در راستای افزایش سطح سبزبودن انجام نگرفته است و محصول عادی و غیرسبز کشاورزی عرضه می‌شود، افزایش می‌یابد؛

ـ هزینه کشاورزی به دو نوع هزینه‌های متغیر و هزینه‌های ثابت تقسیم‌بندی می‌شود. هزینه‌های متغیر کشاورزی به هزینه‌هایی گفته می‌شوند که به‌ازای تولید هر واحد محصول کشاورزی باید پرداخت شوند. ازجمله هزینه‌های متغیر می‌توان به هزینه‌های خرید آفت‌کش‌های ارگانیک و کودهای سازوکار با محیط‌زیست نظیر کودهای دامی و کودهای سبز، خرید بذر، نیروی کار و سوخت تجهیزات کشاورزی اشاره کرد [۱۰]. هزینه‌های ثابت کشاورزی به هزینه‌های سرمایه‌گذاری اطلاق می‌شوند که کشاورز برای کاهش اثرات زیست‌محیطی باید متقبل شود. این هزینه‌ها شامل خرید فناوری‌هایی با حداقل خاک‌ورزی، تجهیزات کشاورزی با کمترین آلایندگی و خرید تجهیزات آبیاری نوین، نظیر روش‌های آبیاری تحت فشار است که معروف‌ترین نوع آن آبیاری قطره‌ای به‌شمار می‌رود و برای کشت انواع صیفی‌جات نظیر کاهو، بامیه و گوجه‌فرنگی مناسب است [۱۵، ۲۱]؛

ـ به‌منظور افزایش رضایت مشتریان از محصولات کشاورزی و خدمات ارائه‌شده، خرده‌فروش باید محصولات کشاورزی را به‌صورت تازه خریداری کند، محصولات کشاورزی نظیر میوه‌جات و سبزیجات را با قیمت‌هایی مطابق تعرفه‌های نهادهای نظارتی و اتحادیه‌های میوه و تره‌بار استان‌ها به فروش برساند. کارکنان مجربی استخدام کند و در جهت ارائه خدمات مناسب به مشتریان، کارکنان را آموزش دهد؛ همچنین خدمات پس‌ازفروش خود را تقویت کند. این خدمات شامل پس‌گرفتن محصولات کشاورزی بی‌کیفیت از مشتریان است. تمامی موارد یادشده به‌نوعی هزینه‌های سرمایه‌گذاری خرده‌فروش در جهت افزایش سطح رضایت مشتریان است. یادآوری

می‌شود که در ازای خدمات بهتر و مناسب‌تر خرده‌فروش، تعداد دفعات مراجعه مشتریان و به‌تبع آن سود خرده‌فروش و کل زنجیره افزایش می‌یابد؛

ـ با توجه به اینکه زنجیره موردبررسی صرفاً از یک کشاورز و یک خرده‌فروش تشکیل شده است که کشاورز محصولات را تولید می‌کند و خرده‌فروش آن‌ها را به فروش می‌رساند، به‌منظور ساده‌سازی مدل، از هزینه‌های حاشیه‌ای که به موضوع اصلی پژوهش مرتبط نیست، نظیر هزینه‌های سیستم کنترل موجودی و حمل‌ونقل و هزینه‌ها و سرمایه‌گذاری حفظ کیفیت و تازگی صرف‌نظر می‌شود.

**علائم اختصاری پژوهش.** به‌منظور مدل‌سازی و محاسبات، نمادها و علائم اختصاری در قالب جدول ۲، معرفی شده است.

*جدول ۲. علائم اختصاری پژوهش*

| اندیس‌ها | توضیح |
|---|---|
| F | کشاورز |
| R | خرده‌فروش |
| SC | سود کل زنجیره تأمین |
| Ce | رویکرد متمرکز |
| De | رویکرد غیرمتمرکز |
| Co | سازوکار هماهنگی |
| **پارامترها** | **توضیح** |
| $a$ | میزان تقاضای بالقوه‌ی بازار |
| $b$ | میزان حساسیت تابع تقاضا به قیمت محصول |
| $a$ | میزان حساسیت تابع تقاضا به درجه سبزبودن محصول |
| $\beta$ | میزان حساسیت تابع تقاضا به سطح رضایت مشتری نهایی از محصول |
| C | هزینه هر واحد محصول کشاورزی تولیدشده |
| I | هزینه ثابت سرمایه‌گذاری برای سبزکردن فرآیند کشاورزی |
| K | هزینه‌های سرمایه‌گذاری خرده‌فروش برای افزایش سطح رضایت مشتریان |
| D | تابع تقاضای بازار |
| $\pi_F$ | تابع سود کشاورز |
| $\pi_R$ | تابع سود خرده‌فروش |
| $\pi_{SC}$ | تابع سود کل زنجیره تأمین |
| **متغیرهای تصمیم** | **توضیح** |
| P | قیمت نهایی محصولات کشاورزی |
| W | قیمت عمده‌فروشی محصولات کشاورزی |
| $\theta$ | درجه‌ی سبزبودن محصولات کشاورزی |
| $\gamma$ | سطح رضایت مشتری نهایی از محصولات و خدمات ارائه‌شده |

**تابع تقاضا.** در پژوهش حاضر از مفهوم به‌کاررفته در مورد رابطه قیمت و درجه‌ی سبزبودن محصولات و اقدامات زیست‌محیطی کشاورز در پژوهش‌های چانگ‌چون (۲۰۱۷) و کوی و همکاران (۲۰۲۰) استفاده شده است [۵، ۶]. از طرفی همان‌طور که در بخش مبانی نظری و پیشینه پژوهش اشاره شد، هیچ‌یک از پژوهش‌های پیشین در زنجیره تأمین کشاورزی، به‌صورت هم‌زمان سطح رضایت مشتریان و درجه سبزبودن محصولات کشاورزی را بررسی نکرده‌اند؛ بنابراین در این پژوهش به‌منظور توسعه مدل، سطح رضایت مشتریان به‌عنوان یک متغیر تصمیم به تابع تقاضا اضافه می‌شود؛ ازاین‌رو تابع تقاضای مشتریان تابعی خطی نسبت به قیمت نهایی، درجه سبزبودن محصولات کشاورزی و سطح رضایت مشتری نهایی از محصولات و خدمات ارائه‌شده در نظر گرفته شده است که در رابطه ۱، نشان داده می‌شود.

$$D = a - bp + \alpha\theta + \beta\gamma \qquad a > bp\,,\ a, b > 0$$ رابطه (۱)

در رابطه ۱، $a$ اندازه بالقوه بازار را نشان می‌دهد. با افزایش قیمت نهایی محصولات کشاورزی سبز، میزان تابع تقاضا کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش درجه سبزبودن محصولات کشاورزی و سطح رضایت مشتری نهایی، مقدار تابع تقاضا افزایش می‌یابد؛ درنتیجه تابع تقاضا با متغیرهای $\theta$ و $\gamma$، رابطه مستقیم و با متغیر p رابطه معکوس دارد. در رابطه ۱، $b$، $\alpha$ و $\beta$ به‌ترتیب میزان حساسیت مشتری نسبت به قیمت محصول، درجه‌ی سبزبودن محصول و سطح رضایت مشتری از محصولات و خدمات ارائه‌شده توسط خرده‌فروش را نشان می‌دهند. به‌عبارتی این نمادها نمایانگر وزن اهمیت مصرف‌کننده نسبت به قیمت، درجه سبزبودن محصول و سطح رضایت مشتری هستند که به‌صورت پارامتر ثابت در مدل تعیین می‌شود. لازم به توضیح است اگر یک محصول رایج و معمول کشاورزی بدون انجام اقداماتی در جهت افزایش درجه سبزبودن محصولات کشاورزی به بازار عرضه شود، به‌اندازه $D = a - bp + \beta\gamma$ تقاضا خواهد داشت؛ اما اگر محصول سبز باشد و کشاورز در راستای سبزکردن محصولات سرمایه‌گذاری انجام دهد، تقاضای محصول به‌اندازه $\alpha\theta$ نسبت به تقاضای محصولات کشاورزی معمول افزایش می‌یابد. به‌عبارتی تقاضای محصول سبز نسبت به محصولات معمول کشاورزی بیشتر است.

با توجه به مفروضات کلیدی مسئله و تابع تقاضای بازار، توابع سود کشاورز، خرده‌فروش و تابع سود کل زنجیره تأمین به‌ترتیب در روابط ۲ تا ۴، نشان داده شده است.

$$\pi_F = (w - c)D - \frac{I\theta^2}{2}$$ رابطه (۲)

$$\pi_R = (p - w)D - \frac{k\gamma^2}{2}$$ رابطه (۳)

$$\pi_{SC} = \pi_F + \pi_R = (p - c)D - \frac{I\theta^2}{2} - \frac{k\gamma^2}{2}$$ رابطه (۴)

رابطه ۲، نمایانگر سود کشاورز است. طبق این رابطه، کشاورز برای تولید هر واحد از محصولات کشاورزی سبز به‌اندازه c واحد هزینه کرده است و آن را با قیمت مبادله‌ای w به خرده‌فروش می‌فروشد؛ درنتیجه $(w-c)$ سود حاصل از فروش یک محصول کشاورزی است که در تابع تقاضای بازار ضرب می‌شود و سود حاصل از فروش کل محصولات کشاورزی به‌دست می‌آید که از آن باید هزینه سرمایه‌گذاری برای سبزکردن فرآیند کشاورزی $(\frac{I\theta^2}{2})$ کسر شود. در این رابطه، I، هزینه سرمایه‌گذاری در فرآیند کشاورزی سبز است که توسط کشاورز پرداخت می‌شود و $\theta$، درجه سبزبودن محصولات کشاورزی را نشان می‌دهد. رابطه ۳، نمایانگر سود خرده‌فروش است. طبق این رابطه، خرده‌فروش هر واحد محصول کشاورزی سبز را با قیمت مبادله‌ای w از کشاورز خریداری می‌کند و آن را با قیمت p به مشتری نهایی می‌فروشد؛ درنتیجه $(p-w)$ سود حاصل از فروش یک محصول کشاورزی است که در تابع تقاضای بازار ضرب می‌شود و سود حاصل از عرضه کل محصولات کشاورزی به بازار به‌دست می‌آید که از آن باید کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری خرده‌فروش در جهت افزایش سطح رضایت مشتریان $(\frac{k\Upsilon^2}{2})$ کسر گردد. در رابطه ۳، k هزینه‌های سرمایه‌گذاری خرده‌فروش در جهت افزایش سطح رضایت مشتریان بوده و $\Upsilon$، میزان رضایت مشتری از محصولات و خدمات خرده‌فروش است.

رابطه ۴، سود کل زنجیره تأمین را به‌صورت یکپارچه در نظر می‌گیرد؛ به عبارت بهتر به ورودی و خروجی کل زنجیره نگاه می‌کند. طبق این رابطه برای هر واحد محصول کشاورزی سبز به‌اندازه‌ی c واحد هزینه شده است و در انتهای زنجیره با قیمت p به مشتری نهایی عرضه می‌شود؛ درنتیجه $(p-c)$ سود حاصل از فروش یک محصول کشاورزی در کل زنجیره تأمین است که در تابع تقاضای بازار ضرب می‌شود و سود حاصل از فروش کل محصولات کشاورزی در زنجیره تأمین به‌دست می‌آید که از آن باید هزینه‌های سرمایه‌گذاری خرده‌فروش به‌منظور افزایش سطح رضایت مشتریان $(\frac{k\Upsilon^2}{2})$ و هزینه سرمایه‌گذاری کشاورز برای سبزکردن فرآیند کشاورزی $(\frac{I\theta^2}{2})$ کسر شود.

**انواع رویکردهای تصمیم‌گیری.** در این پژوهش، محاسبات متغیرهای تصمیم تحت سه رویکرد متمرکز، غیرمتمرکز و سازوکار هماهنگی انجام می‌شود. هدف رویکرد متمرکز، اتخاذ تصمیمات بهینه در کل زنجیره است. رویکرد غیرمتمرکز به دنبال بیشینه‌سازی سود هر یک از اعضای زنجیره به‌صورت مستقل است. هدف سازوکار هماهنگی نیز بیشینه‌سازی سود کل زنجیره تأمین است؛ به‌گونه‌ای که سود هر یک از اعضا نسبت به رویکرد غیرمتمرکز افزایش یابد. کلیه محاسبات رویکردهای متمرکز، غیرمتمرکز و سازوکار هماهنگی برای اطمینان از صحت محاسبات در نرم‌افزار Wolfram Mathematica نیز اجرا شده است.

**رویکرد متمرکز.** در تصمیم‌گیری متمرکز فرض بر آن است که در کل زنجیره تأمین، یک تصمیم‌گیرنده وجود دارد که بر کل زنجیره نظارت می‌کند. این رویکرد به دنبال بیشینه‌سازی سود کل زنجیره تأمین است و بیشینه‌سازی سود هر یک از اعضای زنجیره به‌صورت جداگانه مدنظر نیست. به‌منظور بیشینه‌سازی سود کل زنجیره مراحل انجام محاسبات به‌صورت زیر تشریح می‌شود.

در رابطه ۴، اگر تابع تقاضا بازنویسی شود، رابطه ۵، به‌دست می‌آید.

$$\pi_{SC} = (p-c)(a-bp+\alpha\theta+\beta\gamma) - \frac{I\theta^2}{2} - \frac{k\gamma^2}{2} \qquad \text{رابطه (۵)}$$

با توجه به اینکه در تابع سود کل زنجیره تأمین، متغیرهای p، $\gamma$ و $\theta$ حضور دارند، به‌منظور بیشینه‌سازی تابع سود کل زنجیره باید از رابطه ۵، نسبت به این سه متغیر، مشتقات مرتبه اول گرفته و برابر صفر قرار داده شود. مشتقات یادشده در روابط ۶ تا ۸، قابل‌مشاهده است.

$$\frac{\partial \pi_{SC}}{\partial p} = a - 2bp + \alpha\theta + \beta\gamma + bc = 0 \qquad \text{رابطه (۶)}$$

$$\frac{\partial \pi_{SC}}{\partial \theta} = (p-c)\alpha - I\theta = 0 \qquad \text{رابطه (۷)}$$

$$\frac{\partial \pi_{SC}}{\partial \gamma} = (p-c)\beta - k\gamma = 0 \qquad \text{رابطه (۸)}$$

قبل از حل معادلات و به‌دست‌آوردن مقادیر بهینه متغیرها، باید اطمینان حاصل شود که تابع $\pi_{SC}$، نسبت به p، $\gamma$ و $\theta$ مقعر است؛ بنابراین باید اثبات کرد که ماتریس هسین تابع سود کل زنجیره یک ماتریس معین منفی است. ماتریس یادشده به‌صورت رابطه ۹، نوشته می‌شود.

$$H_{(p,\theta,\gamma)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_{SC}}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 \pi_{SC}}{\partial p \partial \theta} & \frac{\partial^2 \pi_{SC}}{\partial p \partial \gamma} \\ \frac{\partial^2 \pi_{SC}}{\partial \theta \partial p} & \frac{\partial^2 \pi_{SC}}{\partial \theta^2} & \frac{\partial^2 \pi_{SC}}{\partial \theta \partial \gamma} \\ \frac{\partial^2 \pi_{SC}}{\partial \gamma \partial p} & \frac{\partial^2 \pi_{SC}}{\partial \gamma \partial \theta} & \frac{\partial^2 \pi_{SC}}{\partial \gamma^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2b & \alpha & \beta \\ \alpha & -I & 0 \\ \beta & 0 & -k \end{bmatrix} \qquad \text{رابطه (۹)}$$

درصورتی‌که روابط $2bI - \alpha^2 > 0$ و $2bIk - I\beta^2 - k\alpha^2 > 0$ به‌صورت هم‌زمان برقرار باشند، ماتریس هسین تابع سود زنجیره تأمین که در رابطه ۹، به‌دست آمده است، معین منفی خواهد بود؛ درنتیجه تابع سود زنجیره تأمین با شرایط یادشده نسبت به p، $\gamma$ و $\theta$ مقعر

است؛ بنابراین معادلات ۶ تا ۸ باید به‌صورت هم‌زمان حل شود. روابط ۱۰ تا ۱۲، مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم کل زنجیره تأمین را نشان می‌دهند.

$$P^{ce} = \frac{Ik(a-bc)}{2bIk-I\beta^2-k\alpha^2} + c$$ رابطه (۱۰)

$$\gamma^{ce} = \frac{\beta I(a-bc)}{2bIk-I\beta^2-k\alpha^2}$$ رابطه (۱۱)

$$\theta^{ce} = \frac{\alpha k(a-bc)}{2bIk-I\beta^2-k\alpha^2}$$ رابطه (۱۲)

حال مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم که از روابط ۱۰ تا ۱۲ حاصل شده است، در رابطه ۵، جایگذاری می‌شوند. مقدار تابع سود کل زنجیره تأمین در حالت بهینه از رابطه ۱۳، قابل‌محاسبه است.

$$\pi_{SC}^{ce} = (p^{ce} - c)(a - bp^{ce} + \alpha\theta^{ce} + \beta\gamma^{ce}) - \frac{I\theta^{ce2}}{2} - \frac{k\gamma^{ce2}}{2}$$ رابطه (۱۳)

**رویکرد غیرمتمرکز.** در تصمیم‌گیری غیرمتمرکز، کشاورز و خرده‌فروش هر یک به دنبال آن هستند که سود خود را به‌صورت مستقل بیشینه کنند؛ اما با توجه به اینکه توابع سود آن‌ها به یکدیگر وابسته است، باید مبتنی بر بازی استکلبرگ عمل شود. لازم به توضیح است، بازی استکلبرگ را می‌توان با دو رویکرد انجام داد، در رویکرد نخست فرض می‌شود کشاورز رهبر بازی استکلبرگ است و خرده‌فروش نقش پیرو را ایفا می‌کند؛ در رویکرد دوم جایگاه رهبر و پیرو تغییر می‌کند و می‌توان فرض کرد، خرده‌فروش رهبر بازی استکلبرگ است و کشاورز به‌عنوان پیرو عمل می‌کند. به‌دلیل اینکه در رویکرد دوم (خرده‌فروش در جایگاه رهبر)، قیمت مبادله‌ای کشاورز (w) کمتر از هزینه متغیر تولید محصولات کشاورزی است و درنتیجه کشاورز در دنیای واقعی متضرر خواهد شد، در این پژوهش از رویکرد اول (کشاورز در جایگاه رهبر) برای انجام محاسبات غیرمتمرکز استفاده می‌شود. یادآوری ازین نکته لازم است که متغیرهای تصمیم تحت کنترل خرده‌فروش، قیمت نهایی محصولات کشاورزی و سطح رضایت مشتری نهایی است. قیمت عمده‌فروشی و درجه سبزبودن محصولات کشاورزی نیز توسط کشاورز تعیین می‌شود. در ادامه روند محاسبات رویکرد غیرمتمرکز با رویکرد رهبری کشاورز تشریح شده است.

اگر در رابطه ۳ که تابع سود خرده‌فروش به‌عنوان پیرو بازی استکلبرگ است، تابع تقاضا بازنویسی شود، رابطه ۱۴، به‌دست می‌آید.

$$\pi_R = (p - w)(a - bp + \alpha\theta + \beta\gamma) - \frac{k\gamma^2}{2}$$ رابطه (۱۴)

در ادامه از تابع سود خرده‌فروش نسبت به p و $\Upsilon$ مشتقات مرتبه اول گرفته و برابر صفر قرار داده می‌شود. روابط ۱۵ و ۱۶، مشتقات یادشده را نشان می‌دهند.

$$\frac{\partial \pi_R}{\partial p} = a - 2bp + \alpha\theta + \beta\gamma + wb = 0$$ رابطه (۱۵)

$$\frac{\partial \pi_R}{\partial \gamma} = (p - w)\beta - k\gamma = 0$$ رابطه (۱۴)

قبل از حل معادلات و به‌دست‌آوردن مقادیر بهینه متغیرها، باید اطمینان حاصل شود که تابع $\pi_R$، نسبت به p و $\Upsilon$ مقعر است؛ باید باید اثبات کرد که ماتریس هسین تابع سود خرده‌فروش یک ماتریس معین منفی است. ماتریس یادشده به‌صورت رابطه ۱۷، نوشته می‌شود.

$$H_{(P,\gamma)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_R}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 \pi_R}{\partial p \partial \gamma} \\ \frac{\partial^2 \pi_R}{\partial \gamma \partial p} & \frac{\partial^2 \pi_R}{\partial \gamma^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2b & \beta \\ \beta & -K \end{bmatrix}$$ رابطه (۱۷)

درصورتی‌که رابطه $2bk - \beta^2 > 0$ برقرار باشد، ماتریس هسین تابع سود خرده‌فروش به‌دست‌آمده از رابطه ۱۷، معین منفی است؛ درنتیجه تابع سود خرده‌فروش با لحاظ رابطه یادشده نسبت به p و $\Upsilon$ مقعر است؛ بنابرنا معادلات ۱۵ و ۱۶ باید به‌صورت هم‌زمان حل شوند. روابط ۱۸ و ۱۹، مقادیر متغیرهای تصمیم خرده‌فروش را به‌عنوان عضو پیرو بازی استکلبرگ بر حسب متغیرهای تصمیم کشاورز (رهبر بازی استکلبرگ) نشان می‌دهند.

$$p_{(w,\theta)} = \frac{k(a+\alpha\theta-wb)}{2bk-\beta^2} + w$$ رابطه (۱۸)

$$\gamma_{(w,\theta)} = \frac{\beta(a+\alpha\theta-wb)}{2bk-\beta^2}$$ رابطه (۱۹)

حال روابط ۱۸ و ۱۹ که متغیرهای خرده‌فروش بر حسب متغیرهای کشاورز هستند در رابطه ۲، جایگذاری می‌شوند. بدین ترتیب تابع سود کشاورز صرفاً بر حسب متغیرهای تصمیم تحت کنترل وی است. تابع سود کشاورز بعد از جایگزینی روابط یادشده و ساده‌سازی به‌صورت رابطه ۲۰، نشان داده می‌شود.

$$\pi_F = \frac{bk(w-c)}{2bk-\beta^2}(a + \alpha\theta - wb) - \frac{I\theta^2}{2}$$ رابطه (۲۰)

در ادامه از تابع سود کشاورز نسبت به w و $\theta$ مشتقات مرتبه اول گرفته و برابر صفر قرار داده می‌شود. روابط ۲۱ و ۲۲، مشتقات یادشده را نشان می‌دهند.

$$\frac{\partial \pi_F}{\partial w} = \frac{bk}{2bk-\beta^2}(a - 2bw + \alpha\theta + bc) = 0$$ رابطه (۲۱)

$$\frac{\partial \pi_F}{\partial \theta} = \frac{bk\alpha(w-c)}{2bk-\beta^2} - I\theta = 0$$ رابطه (۲۲)

قبل از حل معادلات و به‌دست‌آوردن مقادیر بهینه متغیرها، باید اطمینان حاصل شود که تابع $\pi_F$، نسبت به w و $\theta$ مقعر است؛ بنابراین باید اثبات کرد که ماتریس هسین تابع سود کشاورز یک ماتریس معین منفی است. ماتریس یادشده به‌صورت رابطه ۲۳، نوشته می‌شود.

$$H_{(w,\theta)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_F}{\partial w^2} & \frac{\partial^2 \pi_F}{\partial w \partial \theta} \\ \frac{\partial^2 \pi_F}{\partial \theta \partial w} & \frac{\partial^2 \pi_F}{\partial \theta^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2b^2k}{2bk-\beta^2} & \frac{bk\alpha}{2bk-\beta^2} \\ \frac{bk\alpha}{2bk-\beta^2} & -I \end{bmatrix}$$ رابطه (۲۳)

درصورتی‌که روابط $\frac{2b^2k}{2bk-\beta^2} > 0$ و $4bIk - 2I\beta^2 - k\alpha^2 > 0$ به‌صورت هم‌زمان برقرار باشند، ماتریس هسین تابع سود کشاورز که از رابطه ۲۳، به‌دست آمده است، معین منفی است؛ درنتیجه تابع سود کشاورز با شرایط یادشده نسبت به w و $\theta$ مقعر است؛ بنابنرا معادلات ۲۱ و ۲۲ باید به‌صورت هم‌زمان حل شوند. روابط ۲۴ و ۲۵، مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم کشاورز را به‌عنوان رهبر بازی استکلبرگ نشان می‌دهند.

$$\theta^{de} = \frac{\alpha k(a-bc)}{4bIk-2I\beta^2-k\alpha^2}$$ رابطه (۲۴)

$$w^{de} = \frac{I(a-bc)(2bk-\beta^2)}{b(4bIk-2I\beta^2-k\alpha^2)} + c$$ رابطه (۲۵)

حال روابط ۲۴ و ۲۵ در روابط ۱۸ و ۱۹، جایگذاری شده و مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم خرده‌فروش به‌عنوان پیرو بازی استکلبرگ محاسبه می‌شود. روابط ۲۶ و ۲۷، مقادیر بهینه‌ی p و $\gamma$ را نشان می‌دهند.

$$p^{de} = \frac{I(a-bc)(3bk-\beta^2)}{b(4bIk-2I\beta^2-k\alpha^2)} + c$$ رابطه (۲۶)

رابطه (۲۷) $\gamma^{de} = \frac{\beta I(a-bc)}{4bIk-2I\beta^2-k\alpha^2}$

در ادامه با جایگذاری مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم در روابط ۲ و ۳، توابع سود خرده‌فروش و کشاورز به‌راحتی قابل‌محاسبه است. روابط ۲۸ تا ۳۰، توابع سود کشاورز، خرده‌فروش و کل زنجیره تأمین را نشان می‌دهند.

رابطه (۲۸) $\pi_R^{de} = (p^{de} - w^{de})(a - bp^{de} + \alpha\theta^{de} + \beta\gamma^{de}) - \frac{k\gamma^{de^2}}{2}$

رابطه (۲۹) $\pi_F^{de} = (w^{de} - c)(a - bp^{de} + \alpha\theta^{de} + \beta\gamma^{de}) - \frac{I\theta^{de^2}}{2}$

رابطه (۳۰) $\pi_{SC}^{de} = \pi_F^{de} + \pi_R^{de}$

**سازوکار هماهنگی.** در این پژوهش از قرارداد تسهیم درآمد برای ایجاد سازوکار هماهنگی استفاده شده است. طبق این قرارداد خرده‌فروش به‌منظور اینکه کشاورز را به تولید سبزتر ترغیب و تشویق کند، متعهد می‌شود درصدی از درآمد خود را با وی به‌اشتراک بگذارد؛ در عوض کشاورز نیز متعهد می‌شود که محصولات کشاورزی را با قیمت کمتری به خرده‌فروش بفروشد. $\lambda$ درصدی از درآمد خرده‌فروش است که متعلق به خودش بوده و $1-\lambda$ درصدی از درآمد خرده‌فروش است که به کشاورز می‌دهد. $\lambda$ عددی بین صفر و یک است. ساختار توابع سود خرده‌فروش و کشاورز در سازوکار هماهنگی تحت قرارداد تسهیم درآمد با الگوگیری از پژوهش کوی و همکاران (۲۰۲۰) در نظر گرفته شده است [۶] و به‌صورت روابط ۳۱ و ۳۲، بازنویسی می‌شود.

رابطه (۳۱) $\pi_R^{co} = \lambda(p - w)D - \frac{k\gamma^2}{2}$

رابطه (۳۲)

$$\pi_F^{co} = (w - c)D - \frac{I\theta^2}{2} + (1 - \lambda)(p - w)D = [p - c - \lambda(p - w)]D - \frac{I\theta^2}{2}$$

روند محاسبات سازوکار هماهنگی این پژوهش با الگوگیری از ایده استفاده‌شده در پژوهش وو و همکاران[1] (۲۰۲۰) انجام شده است [۳۳] که به‌طورکلی دو هدف اصلی را دنبال می‌کند:

1. Wu, et al.

**هدف نخست.** مجموع سود خرده‌فروش و کشاورز بعد از ایجاد سازوکار هماهنگی برابر با سود کل زنجیره تأمین در حالت متمرکز شود. برای تحقق این هدف، مقادیر کلیه متغیرهای تابع تقاضا (p، $\theta$ و $\Upsilon$) در حالت هماهنگی با مقادیر آن‌ها در حالت متمرکز برابر قرار داده می‌شود. روابط ۳۳ تا ۳۵، مقادیر بهینه p، $\theta$ و $\Upsilon$ را در حالت هماهنگی نشان می‌دهند.

$$p^{co} = p^{ce}$$ رابطه (۳۳)

$$\theta^{co} = \theta^{ce}$$ رابطه (۳۴)

$$\gamma^{co} = \gamma^{ce}$$ رابطه (۳۵)

با درنظرگرفتن روابط ۳۳ تا ۳۵، زنجیره تأمین به سود بهینه خود در رویکرد متمرکز دست پیدا می‌کند. بدین ترتیب هدف اول سازوکار هماهنگی محقق می‌شود. رابطه ۳۶، این موضوع را اثبات می‌کند.

رابطه (۳۶)
$$\pi_{SC}^{co} = \pi_F^{co} + \pi_R^{co} = \lambda(p-w)D - \frac{k\Upsilon^2}{2} + [p-c-\lambda(p-w)]D - \frac{I\theta^2}{2} = (p-c)D - \frac{I\theta^2}{2} - \frac{k\Upsilon^2}{2} = \pi_{SC}^{ce}$$

برای محاسبه w، به‌دلیل آنکه سایر متغیرها همگی بر حسب پارامترهای معلوم مسئله محاسبه شده است، اگر p، $\theta$ و $\Upsilon$ در رابطه‌ی ۳۲ جایگذاری شود، تابع سود کشاورز نسبت به w از مرتبه اول است و بنابراین مشتق آن مستقل از w و عدد ثابت می‌شود. اثبات این موضوع در رابطه ۳۷، نشان داده شده است.

رابطه (۳۷)
$$\frac{\partial \pi_F^{co}}{\partial w} = \lambda D^{ce} = \lambda(a - bp^{ce} + \alpha\theta^{ce} + \beta\gamma^{ce}) \ , \ \frac{\partial^2 \pi_F^{co}}{\partial w} = 0$$

درنتیجه این روش صحیح نیست. برای محاسبه w از تابع سود خرده‌فروش در حالت هماهنگ که در رابطه ۳۱، نشان داده شده است، نسبت به p مشتق گرفته و برابر صفر قرار داده می‌شود. p در حالت هماهنگ بر حسب سایر متغیرها محاسبه می‌شود. روابط ۳۸ و ۳۹، مشتق مرتبه‌ی اول، و مقدار p را در حالت هماهنگی نشان می‌دهند.

رابطه (۳۹)
$$\frac{\partial \pi_R^{co}}{\partial p} = \lambda(a - 2bp + \alpha\theta + \beta\gamma + wb) = 0$$

مشتق مرتبه دوم آن برابر $-2b\lambda < 0$ بوده و بنابراین تابع سود خرده‌فروش نسبت به p مقعر است.

$$p^{co} = \frac{a+\alpha\theta+\beta\gamma+wb}{2b}$$ رابطه (۳۹)

با توجه به اینکه کلیه مقادیر بهینه متغیرهای p، $\theta$ و $\gamma$ محاسبه شده‌اند، با برابر قراردادن هر یک با مقادیر رویکرد متمرکز از رابطه ۳۹، $w_{co}$ به‌راحتی قابل‌محاسبه است. رابطه ۴۰، $w_{co}$ را نشان داده است.

$$w^{co} = \frac{2bp^{co}-a-\alpha\theta^{co}-\beta\gamma^{co}}{b}$$ رابطه (۴۰)

**هدف دوم.** سود اعضای زنجیره در حالت هماهنگی باید بزرگ‌تر از رویکرد غیرمتمرکز در موقعیت رهبر زنجیره باشد تا بدین ترتیب برا مشارکت در قرارداد انگیزه داشته باشند. بدین منظور باید حدود بالا و پایین λ به‌گونه‌ای تعیین شود که این روابط برقرار باشند.

در گام نخست، رابطه‌ی $\pi_R^{co} \geq \pi_R^{de}$ در نظر گرفته می‌شود؛ سپس با توجه به روابط ۲۸، ۳۱، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۴۰، حد پایین $\lambda$ محاسبه می‌شود. رابطه ۴۱، حد پایین $\lambda$ را نشان می‌دهد.

$$\lambda \geq \frac{b\left(\pi_R^{de}+\frac{k\gamma^{co^2}}{2}\right)}{D^{co^2}} = LB(\lambda)$$ رابطه (۴۱)

در گام دوم، رابطه $\pi_F^{co} \geq \pi_F^{de}$ در نظر گرفته می‌شود؛ سپس با توجه به روابط ۲۹، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۴۰، حد بالای $\lambda$ محاسبه می‌شود. رابطه ۴۲ حد بالای $\lambda$ را نشان می‌دهد.

$$\lambda \leq \frac{b}{D^{co}}\left(p^{co} - \frac{\pi_F^{de}+\frac{I\theta^{co^2}}{2}}{D^{co}} - \mathrm{c}\right) = UB(\lambda)$$ رابطه (۴۲)

درنتیجه λ بین حدود روابط ۴۱ و ۴۲ و با مذاکره بین خرده‌فروش و کشاورز تعیین می‌شود.

## ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

مدل پژوهش حاضر برای تمامی محصولات کشاورزی نظیر انواع میوه‌ها، سبزیجات، صیفی‌جات، غلات و غیره قابل‌استفاده است؛ اما در این قسمت به‌طور خاص در مورد کشت گوجه‌فرنگی صحبت می‌شود. کشاورزان در گذشته بیشتر از روش‌های آبیاری سنتی نظیر روش جوی و پشته برای کاشت گوجه‌فرنگی استفاده می‌کردند. اما این روش‌ها به هدررفت و اتلاف آب مصرفی کشاورزی منجر می‌شوند؛ بنابراین امروزه کشاورزان و باغداران برای کاشت گوجه‌فرنگی الگوی

آبیاری را تغییر داده و از روش‌های نوینی نظیر آبیاری قطره‌ای استفاده می‌کنند. بدین ترتیب می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی کرد؛ همچنین برای حفظ حاصلخیزی خاک و کاهش آفات گوجه‌فرنگی بهتر است از انواع خاک‌پوش‌ها، آفت‌کش و کودهای ارگانیک استفاده کرد؛ ازاین‌رو کشت ارگانیک گوجه‌فرنگی امروزه موردتوجه باغداران و کشاورزان است. از طرفی با توجه به اینکه گوجه‌فرنگی فسادپذیر است و کیفیت خود را در طول زمان از دست می‌دهد، میوه‌فروش باید آن‌ها را به‌صورت تازه خریداری کند؛ زیرا اگر محصول بی‌کیفیت و پوسیده در مغازه‌اش وجود داشته باشد، اطمینان مشتری را از دست می‌دهد و مشتری به سراغ میوه‌فروشی دیگری می‌رود. همچنین کالا باید از کشاورز معتبری خریداری شود و به سالم‌بودن محصولات نیز توجه شود؛ زیرا بعضی از گوجه‌فرنگی‌ها به‌دلیل مصرف بیش‌ازحد کودهای شیمیایی و آلوده، زودرس و نارس بوده یا منجر به بیماری‌های خطرناکی برای مصرف‌کننده می‌شوند؛ بنابراین گوجه‌فرنگی جزو محصولات کشاورزی بسیار پرمصرف و استراتژیک مشتریان است و رضایت مشتریان در تقاضای این محصول بسیار مهم است. به‌منظور نشان‌دادن خروجی‌های اصلی مسئله، یک مثال عددی بررسی می‌شود.

با توجه به مشابهت ساختار مدل‌سازی توابع سود در رویکرد هماهنگ پژوهش حاضر با پژوهش کوی و همکاران (۲۰۲۰)، در این پژوهش مقادیر پارامترهای مثال عددی مشابه پژوهش کوی و همکاران (۲۰۲۰) و با درنظرگرفتن منطق دنیای واقعی مبنی بر کمتربودن هزینه متغیر تولید نسبت به هزینه‌های سرمایه‌گذاری کشاورز و خرده‌فروش و همچنین کمتربودن هزینه سرمایه‌گذاری خرده‌فروش نسبت به هزینه‌های سرمایه‌گذاری ارگانیک کشاورز، به‌عنوان مسئله محک اختیار شده است [۶]. مقادیر $\beta$ و $\alpha$ نیز با درنظرگرفتن شرایط شدنی‌بودن تابع تقاضا و شرایط منفی معین‌بودن ماتریس‌های هسین رویکردهای متمرکز و غیرمتمرکز (در روابط ۱، ۹، ۱۷ و ۲۳ بررسی شده است)، اعمال شده است. مقادیر پارامترها در جدول ۳، مشاهده می‌شود.

*جدول ۳. جدول مقادیر پارامترها*

| پارامترها | $a$ | b | c | I | K | $\alpha$ | $\beta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقادیر | ۱۰۰۰ | ۵۰ | ۶ | ۴۰ | ۱۵ | ۳۰ | ۲۰ |

کلیه روابط رویکردهای متمرکز، غیرمتمرکز و هماهنگی در نرم‌افزار اکسل فرمول‌نویسی شده است و برای حل مثال از این نرم‌افزار استفاده می‌شود. مقادیر متغیرهای بهینه و مقادیر توابع سود بهینه در هر سه رویکرد به‌ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵، مشاهده می‌شود.

*جدول ۴. جدول مقادیر متغیرهای تصمیم تحت سه رویکرد تصمیم‌گیری*

| متغیر | رویکرد غیرمتمرکز | رویکرد متمرکز | سازوکار هماهنگی |
|---|---|---|---|
| p | ۱۹/۹۰۶۰ | ۱۹/۷۷۰۵ | ۱۹/۷۷۰۵ |
| $\gamma$ | ۷/۵۱۶۸ | ۱۸/۳۶۰۷ | ۱۸/۳۶۰۷ |
| w | ۱۴/۲۶۸۵ | _ | ۶ |
| $\theta$ | ۴/۲۲۸۲ | ۱۰/۳۲۷۹ | ۱۰/۳۲۷۹ |

*جدول ۵. جدول توابع سود اعضای زنجیره تحت سه رویکرد تصمیم‌گیری*

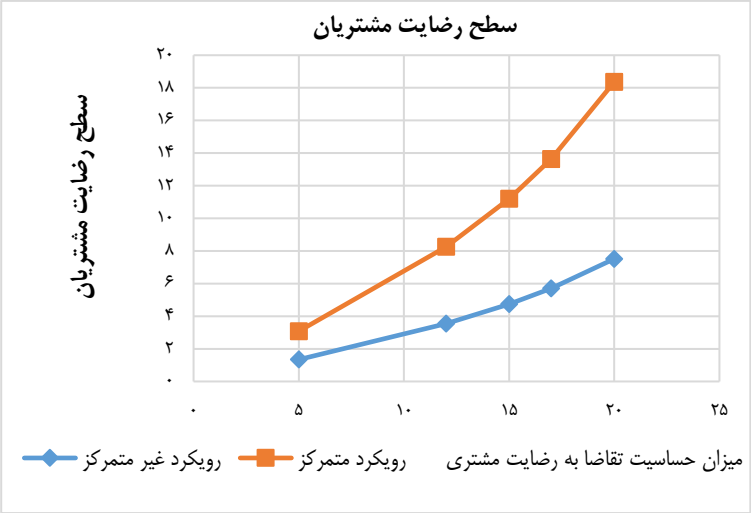
| توابع | رویکرد غیرمتمرکز | رویکرد متمرکز | سازوکار هماهنگی با حد پایین λ | سازوکارهماهنگی با حد بالای λ |
|---|---|---|---|---|
| تابع سود خرده‌فروش | ۱۱۶۵/۳۵۲۹ | _ | ۱۱۶۵/۳۵۲۹ | ۲۸۴۶/۵۱۷۸ |
| تابع سود کشاورز | ۱۹۷۳/۱۵۴۴ | _ | ۳۶۵۴/۳۱۹۲ | ۱۹۷۳/۱۵۴۴ |
| تابع سود کل زنجیره تأمین | ۳۱۳۸/۵۰۷۳ | ۴۸۱۹/۶۷۲۱ | ۴۸۱۹/۶۷۲۱ | ۴۸۱۹/۶۷۲۱ |

در این مثال فرض می‌شود کشاورز در سطح باغداری به کاشت گوجه‌فرنگی می‌پردازد و برای کاشت آن هزینه‌هایی نظیر دستمزد کارگر، خرید آفت‌کش‌ها و کودهای ارگانیک، هزینه آب و برق و گاز را به‌ازای هر واحد محصول متقبل می‌شود؛ سپس محصول را به میوه‌فروشی‌ها عرضه می‌کند. میوه‌فروش نیز با خرید به‌موقع گوجه‌فرنگی‌های مرغوب و سالم و استخدام کارکنان مجرب و آموزش آن‌ها در راستای برخورد مناسب با مشتریان، رضایت مشتریان را از سیستم افزایش می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اگر متناسب با یک رویکرد غیرمتمرکز و تصمیم‌گیری مستقل اعضا عمل شود کشاورز سود بیشتری نسبت به خرده‌فروش خواهد برد. با توجه به اینکه تقاضای مشتریان با افزایش قیمت نهایی گوجه‌فرنگی، کاهش پیدا می‌کند و با افزایش ارگانیک‌بودن آن و سطح رضایت مشتری نهایی، افزایش می‌یابد، مقادیر سطح رضایت مشتری نهایی و درجه‌ی سبزبودن محصولات در تصمیم‌گیری متمرکز بیشتر از تصمیم‌گیری غیرمتمرکز و مستقل اعضا است. از طرفی قیمت نهایی گوجه‌فرنگی در رویکرد غیرمتمرکز نسبت به رویکرد متمرکز بیشتر است؛ درنتیجه تابع تقاضا و به‌تبع آن سود کل زنجیره در رویکرد متمرکز بیشتر از غیرمتمرکز است. اعضا برای مشارکت در تصمیم‌گیری متمرکز نیاز به انگیزه کافی دارند؛ بنابراین در قرارداد تسهیم درآمد، میوه‌فروش بخشی از درآمد خود را با کشاورز به‌اشتراک می‌گذارد؛ مشروط بر آنکه کشاورز با قیمت پایین‌تری گوجه‌فرنگی را به وی عرضه نماید؛ بنابراین با توجه به جدول ۴، مقدار قیمت عمده‌فروشی بعد از ایجاد سازوکار هماهنگی نسبت به رویکرد غیرمتمرکز کاهش می‌یابد و با این کار کشاورز در درآمد میوه‌فروش سهیم

می‌شود. با توجه به سازوکار هماهنگی با استفاده از قرارداد تسهیم درآمد، میوه‌فروش می‌پذیرد قیمت نهایی را پایین‌تر اعمال کند تا در مرحله نخست میزان تقاضای بازار افزایش یابد و در مرحله دوم طبق قرارداد با قیمت عمده‌فروشی پایین‌تر محصولات را از کشاورز خریداری کند. با توجه به جدول ۵، مجموع سود میوه‌فروش و کشاورز در رویکرد هماهنگ برابر با سود کل زنجیره در رویکرد متمرکز و با درنظرگرفتن مدیریت واحد است؛ به عبارتی زنجیره پس از انعقاد قرارداد و در تصمیم‌گیری هماهنگ به مقدار سود بهینه خود در رویکرد متمرکز (مقدار ۴۸۱۹) رسیده است؛ از طرفی مقدار سود هر کدام از اعضای زنجیره پس از انعقاد قرارداد بزرگ‌تر از مقدار سود این اعضا در حالت غیرمتمرکز و تصمیم‌گیری مستقل اعضا است. به‌عبارتی هم کشاورز و هم میوه‌فروش تشویق و ترغیب می‌شوند که در سازوکار هماهنگی شرکت کنند. با درنظرگرفتن روابط ۴۱ و ۴۲، حدود بالا و پایین $\lambda$ در این مثال به‌ترتیب برابر ۰/۵۶۶ و ۰/۳۸۹ است. به‌عبارتی به‌ازای حد پایین $\lambda$، سود میوه‌فروش در تصمیم‌گیری هماهنگ برابر با سود وی در رویکرد غیرمتمرکز است و کشاورز سود بیشتری نسبت به رویکرد غیرمتمرکز می‌برد؛ همچنین به‌ازای حد بالای $\lambda$، سود کشاورز در رویکرد هماهنگ برابر با رویکرد غیرمتمرکز می‌شود و میوه‌فروش سود بیشتری نسبت به رویکرد غیرمتمرکز می‌برد؛ ازاین‌رو $\lambda$ باید عددی بین این حدود و با چانه‌زنی اعضا اختیار شود که هر دو عضو زنجیره به سودآوری بیشتری نسبت به رویکرد غیرمتمرکز دست یابند و انگیزه لازم برای مشارکت در قرارداد را داشته باشند.

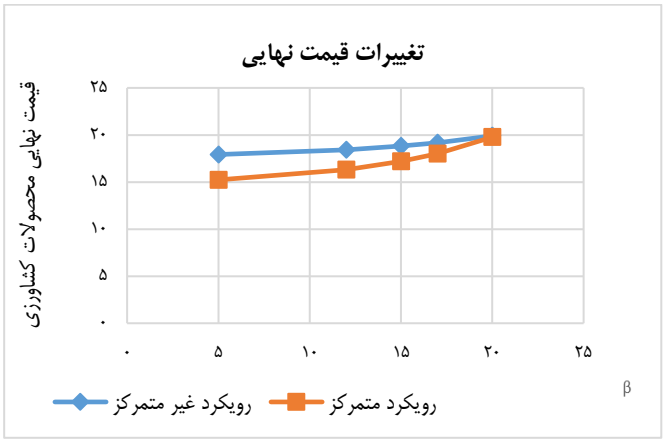
**تحلیل حساسیت.** در ادامه به تحلیل حساسیت پارامترها و تأثیر آن بر روی متغیرهای تصمیم و توابع سود پرداخته خواهد شد. در این پژوهش پارامترهای $\beta$ و $k$ به سطح رضایت مشتری از مرغوبیت و کیفیت گوجه‌فرنگی و هزینه‌های خرده‌فروش در راستای افزایش سطح رضایت مشتریان اشاره دارد؛ بنابراین جزو پارامترهای کلیدی مسئله تلقی می‌شود و تحلیل حساسیت بر روی آن‌ها انجام خواهد شد. در مقادیر مختلفی که به پارامترها داده می‌شود نباید شروط شدنی مسئله ازجمله شرط تابع تقاضا و شروط ماتریس هسین نقض شود. با توجه به این مورد و پارامترهای مثال عددی جدول ۳، تحلیل حساسیت صورت می‌گیرد.

همان‌طور که در شکل ۲، ملاحظه می‌شود، با افزایش $\beta$، سطح رضایت مشتریان در دو رویکرد متمرکز و غیرمتمرکز افزایش می‌یابد. این مورد با توجه به تعریف تابع تقاضا و همبستگی مثبت بین تقاضای گوجه‌فرنگی و سطح رضایت مشتریان از آن قابل‌توجیه است. از طرفی همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر سطح رضایت مشتریان در رویکرد متمرکز و تحت مدیریت واحد نسبت به رویکرد غیرمتمرکز و تصمیم‌گیری مستقل اعضا بیشتر است؛ بنابراین لازم است تصمیم‌گیری‌ها به سمت رویکرد متمرکز سوق پیدا کند.



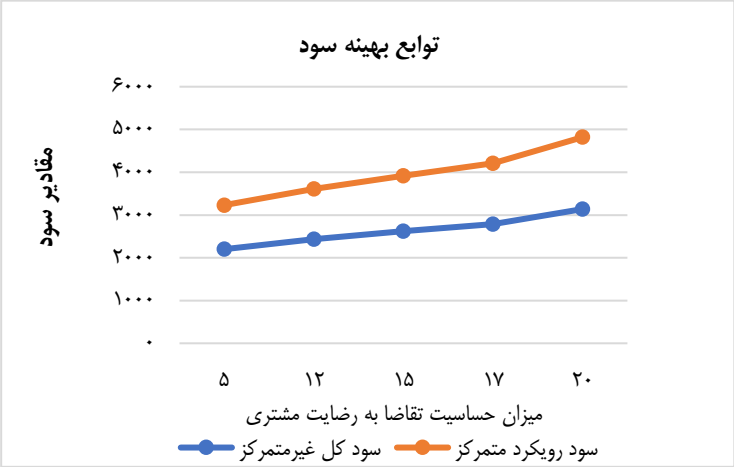

*شکل ۲. نمودار سطح رضایت مشتریان نسبت به میزان حساسیت تقاضای بازار به سطح رضایت مشتریان*

همان‌طور که در شکل ۳، مشاهده می‌شود، با افزایش میزان حساسیت تابع تقاضا نسبت به سطح رضایت مشتری، قیمت نهایی محصولات نیز افزایش می‌یابد؛ زیرا با افزایش رضایت مشتریان مرغوبیت گوجه‌فرنگی و خدمات ارائه‌شده توسط میوه‌فروش، مصرف‌کنندگان حاضرند آن را با قیمت نهایی بالاتری خریداری کنند. با توجه به شکل ۳، قیمت نهایی محصولات در رویکرد غیرمتمرکز نسبت به رویکرد متمرکز بیشتر است.



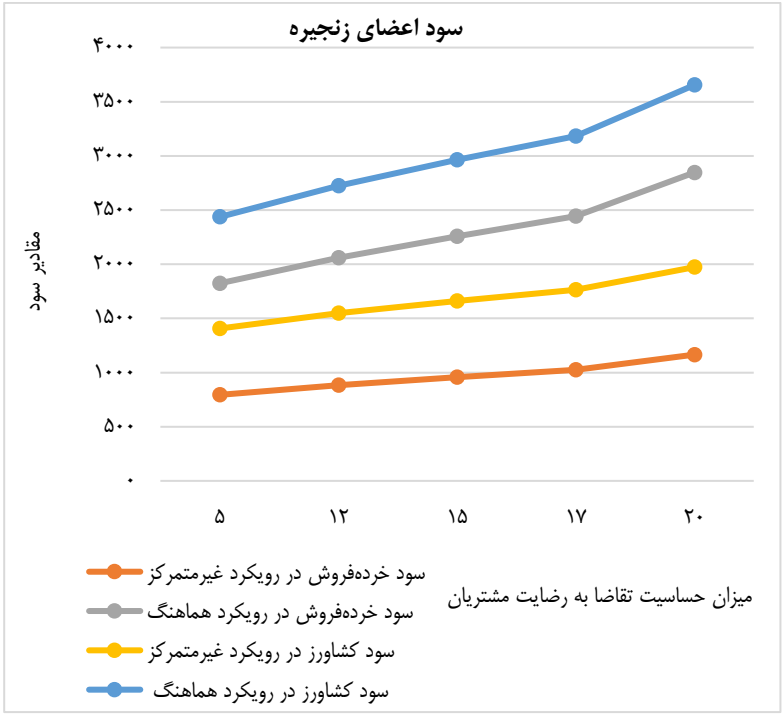

*شکل ۳. نمودار قیمت نهایی محصولات کشاورزی نسبت به میزان حساسیت تقاضای بازار به سطح رضایت مشتریان*

شکل ۴، تابع سود کل زنجیره تأمین در رویکردهای غیرمتمرکز و متمرکز تحت تغییرات β را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش حساسیت تقاضا نسبت به سطح رضایت مشتریان، به‌دلیل همبستگی مثبت بین تقاضای گوجه‌فرنگی و سطح رضایت مشتریان از مرغوبیت آن، تابع تقاضا افزایش می‌یابد؛ همچنین با توجه به شکل ۳، قیمت محصولات نیز افزایش پیدا می‌کند و بنابراین درآمد و به‌تبع آن سود زنجیره در رویکرد متمرکز و غیرمتمرکز افزایش می‌یابد. با توجه به مثال عددی بررسی‌شده، مجموع سود کشاورز و میوه‌فروش در رویکرد غیرمتمرکز از سود بهینه زنجیره که از رویکرد متمرکز حاصل می‌شود، کمتر است.




*شکل ۴. نمودار توابع سود نسبت به میزان حساسیت تقاضای بازار به سطح رضایت مشتریان*

شکل ۵، تابع سود کشاورز و میوه‌فروش در رویکردهای غیرمتمرکز و رویکرد هماهنگ را بر حسب میزان حساسیت بازار به رضایت مشتریان نشان می‌دهد. همانند شکل ۴، این نمودار نیز نسبت به β افزایشی است و سود کشاورز پس از انعقاد قرارداد و با درنظرگرفتن حد پایین λ و سود میوه‌فروش نیز با درنظرگرفتن حد بالای λ افزایش می‌یابد و کشاورز و میوه‌فروش باید با چانه‌زنی مقداری بین حد بالا و پایین λ برای خود اختیار کنند.




*شکل ۵. نمودار سود اعضای زنجیره در رویکر د هماهنگ و غیرمتمرکز نسبت به $\beta$*

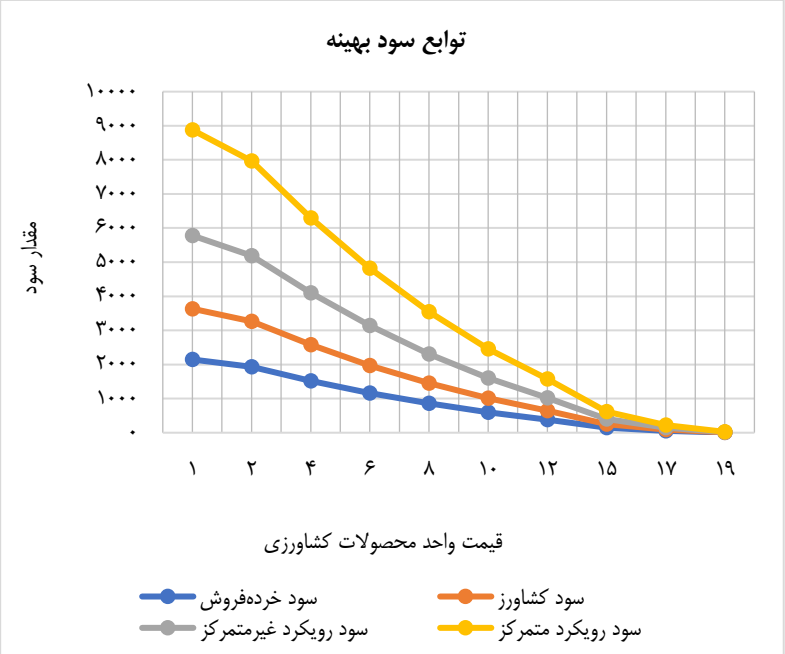
جدول ۶، خروجی تحلیل حساسیت نسبت به پارامتر k که هزینه‌های سرمایه‌گذاری میوه‌فروش در جهت افزایش رضایت مشتریان است را ارائه می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش هزینه‌های میوه‌فروش، سود وی و به‌تبع آن سود کل زنجیره در رویکرد هماهنگ کاهش می‌یابد و این کاهش سود در ابتدا با شیب تندی صورت می‌گیرد.

*جدول ۶. خروجی تحلیل حساسیت نسبت به* k

| | | K | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **رویکرد** | **متغیر** | ۱۵ | ۲۰ | ۵۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰۰ |
| غیر متمرکز | p | ۱۹/۹۱ | ۱۹/۲۴ | ۱۸/۳۱ | ۱۸/۰۶ | ۱۷/۸۵ |
| | $\gamma$ | ۷/۵۲ | ۵/۰۹ | ۱/۷۳ | ۰/۸۳ | ۰/۰۸ |
| | $\theta$ | ۴/۲۳ | ۳/۸۲ | ۳/۲۵ | ۳/۱۰ | ۲/۹۷ |
| | تابع سود خرده‌فروش | ۱۱۶۵/۳۵ | ۱۰۳۶/۶۹ | ۸۶۴/۱۹ | ۸۱۸/۶۵ | ۷۸۱/۵۴ |
| | تابع سود کشاورز | ۱۹۷۳/۱۵ | ۱۷۸۱/۸۲ | ۱۵۱۷/۰۳ | ۱۴۴۵/۴۳ | ۱۳۸۶/۵۳ |
| | تابع سود کل زنجیره تأمین | ۳۱۳۸/۵۰ | ۲۸۱۸/۵۱ | ۲۳۸۱/۲۲ | ۲۲۶۴/۰۸ | ۲۱۶۸/۰۷ |
| متمرکز | p | ۱۹/۷۷ | ۱۸/۱۷ | ۱۶/۰۷ | ۱۵/۵۲ | ۱۵/۰۸ |
| | $\gamma$ | ۱۸/۳۶ | ۱۲/۱۷ | ۴/۰۳ | ۱/۹۰ | ۰/۱۸ |
| | $\theta$ | ۱۰/۳۳ | ۹/۱۳ | ۷/۵۵ | ۷/۱۴ | ۶/۸۱ |
| | تابع سود کل زنجیره تأمین | ۴۸۱۹/۶۷ | ۴۲۶۰/۸۷ | ۳۵۲۵/۱۸ | ۳۳۳۳/۳۳ | ۳۱۷۷/۶۹ |
| هماهنگی | p | ۱۹/۷۷ | ۱۸/۱۷ | ۱۶/۰۷ | ۱۵/۵۲ | ۱۵/۰۸ |
| | $\gamma$ | ۱۸/۳۶ | ۱۲/۱۷ | ۴/۰۳ | ۱/۹۰ | ۰/۱۸ |
| | $\theta$ | ۱۰/۳۳ | ۹/۱۳ | ۷/۵۵ | ۷/۱۴ | ۶/۸۱ |
| | تابع سود خرده‌فروش با حد بالای $\lambda$ | ۲۸۴۶/۵۲ | ۲۴۷۹/۰۵ | ۲۰۰۸/۱۵ | ۱۸۸۷/۹۱ | ۱۷۹۱/۱۶ |
| | تابع سود کشاورز با حد بالای $\lambda$ | ۱۹۷۳/۱۵ | ۱۷۸۱/۸۲ | ۱۵۱۷/۰۳ | ۱۴۴۵/۴۳ | ۱۳۸۶/۵۳ |
| | تابع سود خرده‌فروش با حد پایین $\lambda$ | ۱۱۶۵/۳۵ | ۱۰۳۶/۶۹ | ۸۶۴/۱۹ | ۸۱۸/۶۵ | ۷۸۱/۵۴ |
| | تابع سود کشاورز با حد پایین $\lambda$ | ۳۶۵۴/۳۲ | ۳۲۲۴/۱۸ | ۲۶۶۰/۹۹ | ۲۵۱۴/۶۸ | ۲۳۹۶/۱۵ |
| | تابع سود کل زنجیره تأمین | ۴۸۱۹/۶۷ | ۴۲۶۰/۸۷ | ۳۵۲۵/۱۸ | ۳۳۳۳/۳۳ | ۳۱۷۷/۶۹ |

در ادامه بر روی پارامتر c که هزینه تولید هر واحد محصول کشاورزی است، تحلیل حساسیت صورت می‌گیرد؛ زیرا میزان حساسیت توابع سود زنجیره نسبت به تغییرات آن قابل‌ملاحظه است، همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، تغییرات توابع سود اعضای زنجیره، مجموع سود در رویکرد غیرمتمرکز و سود بهینه در رویکرد متمرکز با افزایش هزینه متغیر کشت گوجه‌فرنگی نظیر کودها و آفت‌کش‌های ارگانیک و نیروی انسانی کاهش می‌یابد. این کاهش در نمودار سود بهینه زنجیره در رویکرد متمرکز از شیب بسیار زیادی برخوردار است و افزایش مقادیر

بسیار کم c موجب کاهش بسیار شدید سود زنجیره تأمین می‌شود. تغییرات سود میوه‌فروش نسبت به افزایش هزینه واحد کشاورزی کم است؛ زیرا c هزینه‌ای است که کشاورز تقبل می‌کند.




*شکل ۶. تغییرات توابع سود نسبت به قیمت واحد محصولات کشاورزی*

**اعتبارسنجی مدل:** همان‌طور که در قسمت‌های قبل بررسی شد، نوآوری پژوهش حاضر درنظرگرفتن سطح رضایت مشتری به‌عنوان متغیر تصمیم و مطالعه هم‌زمان سه متغیر قیمت‌گذاری محصولات، درجه سبزبودن و سطح رضایت مشتریان در تابع تقاضای مدل است. به‌منظور بررسی نتایج مطالعه هم‌زمان این سه مؤلفه، فرض می‌شود در پژوهش حاضر سطح رضایت مشتری در تابع تقاضا و در توابع سود وجود ندارد و به‌تبع تابع تقاضای آن صرفاً وابسته به قیمت و درجه سبز بودن محصول است. حال پژوهش حاضر با حالتی که رضایت مشتری وجود ندارد، مقایسه می‌شود و توابع تقاضا و سود اعضای زنجیره این مدل به‌صورت روابط ۴۳ تا ۴۶ بازنویسی می‌شود.

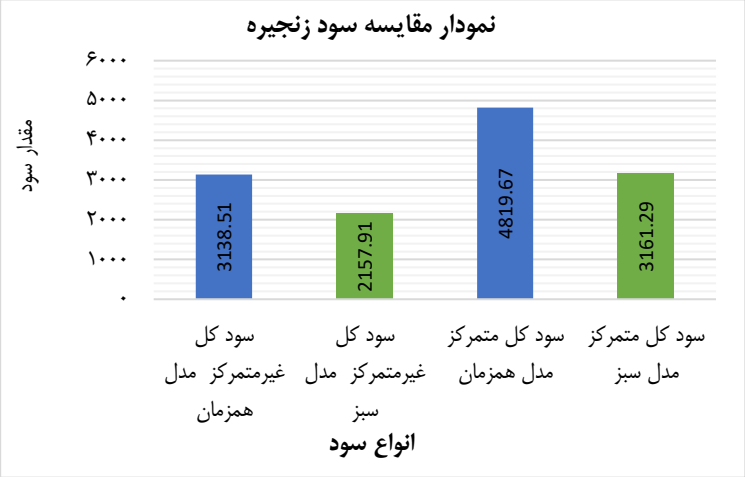
$$D = a - bp + \alpha\theta \qquad a > bp\,,\ a, b > 0$$ رابطه (۴۳)

$$\pi_F = (w - c)D - \frac{I\theta^2}{2}$$ رابطه (۴۴)

$$\pi_R = (p - w)D$$ رابطه (۴۵)

$$\pi_{SC} = \pi_F + \pi_R = (p - c)D - \frac{I\theta^2}{2}$$ رابطه (۴۶)

محاسبات متمرکز و غیرمتمرکز مدل بالا در نرم‌افزار اکسل به‌طور کامل فرمول‌نویسی شده است و مهم‌ترین نتایج آن در ادامه ارائه می‌شود. شکل ۷، مقایسه توابع سود رویکرد متمرکز و غیرمتمرکز در دو مدل ارائه‌شده را به‌ازای مقادیر عددی پارامترهای جدول ۳، نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر مقادیر متغیرهای مدل با توجه به حل هم‌زمان دو متغیر در سطح کشاورز ($w$ و $\theta$) و دو متغیر در سطح خرده‌فروش ($p$ و $\Upsilon$) نسبت به حالتی که در سطح خرده‌فروش فقط متغیر قیمت محاسبه می‌شود، بیشتر خواهد بود؛ همچنین حل هم‌زمان سه متغیر قیمت، درجه سبزبودن محصولات کشاورزی و سطح رضایت مشتریان در رویکرد متمرکز نسبت به حالتی که دو متغیر قیمت و درجه سبزبودن به‌طور هم‌زمان بررسی شود، بیشتر خواهد بود؛ از طرفی با توجه به اینکه مقدار تابع تقاضای پژوهش حاضر با افزایش قیمت، کاهش یافته و با افزایش میزان رضایت مشتریان و درجه سبزبودن محصولات کشاورزی افزایش می‌یابد، تابع تقاضای این پژوهش نسبت به رابطه ۴۳، به میزان $\beta\gamma$ افزایش یافته است. افزایش میزان $\beta\gamma$ و افزایش $(p - c)$ تأثیر منفی افزایش قیمت در تابع تقاضا را خنثی می‌کند و بنابراین سود رویکرد متمرکز و غیرمتمرکز نیز در پژوهش حاضر نسبت به مدلی که رضایت مشتری را در نظر نگرفته است، بیشتر خواهد بود.




*شکل ۷. مقایسه سود زنجیره در حالت هم‌زمان نسبت به زنجیره سبز*

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش با انعقاد قرارداد تسهیم درآمد بین کشاورز و خرده‌فروش، سازوکار هماهنگی در زنجیره تأمین دوسطحی محصولات کشاورزی با درنظرگرفتن درجه سبزبودن محصولات کشاورزی و سطح رضایت مشتریان از محصولات و خدمات ارائه‌شده بررسی شد. در این مدل هر یک از اعضای زنجیره بر روی دو متغیر کنترل دارند: کشاورز قیمت عمده‌فروشی را تعیین کرده و بر روی درجه سبزبودن محصولات کشاورزی سرمایه‌گذاری می‌کند؛ خرده‌فروش نیز قیمت نهایی محصول را تعیین کرده و با اقدامات مناسب بر روی افزایش سطح رضایت مشتریان سرمایه‌گذاری می‌کند. در پژوهش حاضر، مقادیر متغیرهای مدل با توجه به رضایت مشتری نسبت به حالتی که رضایت مشتری در نظر گرفته نمی‌شود، بیشتر خواهد بود. از طرفی با توجه به اینکه مقدار تابع تقاضای پژوهش حاضر با افزایش قیمت، کاهش و با افزایش میزان رضایت مشتریان و درجه سبزبودن محصولات کشاورزی افزایش می‌یابد و تابع تقاضای این پژوهش نسبت به حالتی که رضایت مشتری در نظر گرفته نمی‌شود، افزایش یافته است و بنابراین سود رویکرد متمرکز و غیرمتمرکز نیز در پژوهش حاضر نسبت به مدلی که رضایت مشتری را در نظر نمی‌گیرد، بیشتر خواهد بود. با همین منطق می‌توان نتیجه گرفت که پژوهش حاضر نسبت به حالتی که بُعد ارگانیک‌بودن محصولات کشاورزی مطرح نیست و تابع تقاضا وابسته به قیمت و رضایت مشتری است، بیشتر خواهد بود؛ بنابراین به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که درنظرگرفتن درجه سبزبودن و سطح رضایت مشتری به‌طور هم‌زمان، به‌دلیل همبستگی مثبت آن در تابع تقاضا، به افزایش سودآوری زنجیره تأمین منجر خواهد شد. در ادامه با انعقاد قرارداد تسهیم درآمد دو هدف اصلی پوشش داده شده است: نخست، مقادیر متغیرهای تابع تقاضا به گونه‌ای محاسبه شده که مجموع سود خرده‌فروش و کشاورز در سازوکار هماهنگی برابر با سود کل زنجیره در رویکرد متمرکز و سود بهینه زنجیره است؛ دوم سود هر یک از اعضای زنجیره در رویکرد هماهنگ و بعد از انعقاد قرارداد تسهیم درآمد بیشتر از سود آن‌ها در رویکرد غیرمتمرکز و تصمیم‌گیری مستقل اعضا است؛ بنابراین هم کشاورز و هم خرده‌فروش تشویق و ترغیب می‌شوند که در سازوکار هماهنگی شرکت کنند. به این ترتیب در این پژوهش، زنجیره تأمین با توزیع مناسب سود بین طرفین قرارداد و به‌تبع آن ایجاد و افزایش انگیزه اعضا برای مشارکت در قرارداد، به هدف اصلی و سود رویکرد متمرکز دست می‌یابد. این مورد در بخش نتایج عددی با تحلیل و مطالعه صنعت گوجه فرنگی بررسی شد و کشاورز قبول کرد محصولات را با قیمت پایین‌تری به میوه‌فروش عرضه کند و در ازای آن در درآمد خرده‌فروش سهیم شود و درنهایت کشاورز و میوه‌فروش با چانه‌زنی بر نرخ تسهیم درآمد سود خود را افزایش دهند. برای توسعه مدل می‌توان از سایر قراردادهای زنجیره تأمین نظیر قرارداد تعرفه دوبخشی، بازخرید و قراردادهای اختیاری که قراردادهای متعارف و معمول در مبانی نظری هماهنگی در زنجیره‌های

تأمین است، استفاده کرد؛ همچنین می‌توان مسئله را با اضافه‌کردن مفاهیم فسادپذیری محصولات کشاورزی توسعه داد.

**تعارض منافع.** برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

## منابع

1. Aggarwal, S., & Srivastava, M. K. (2016). Towards a grounded view of collaboration in Indian agri-food supply chains: a qualitative investigation. *British Food Journal, 118(5),* 1085-1106.
2. Boyaci, T., & Gallego, G. (2004). Supply chain coordination in a market with customer service competition. *Production and Operations Management, 13(1),* 3-22.
3. Brzezina, N., Kopainsky, B., & Mathijs, E. (2016). Can organic farming reduce vulnerabilities and enhance the resilience of the European food system? A critical assessment using system dynamics structural thinking tools. *Sustainability, 8(10),* 971.
4. Cao, Y., Tao, L., Wu, K., & Wan, G. (2020). Coordinating joint greening efforts in an agri-food supply chain with environmentally sensitive demand. *Journal of Cleaner Production, 277,* 123883.
5. Changchun, L. (2017). Research on coordination mechanism and low-carbon technology strategy for agricultural product supply chain. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJISSCM), 10(3),* 1-23.
6. Cui, L., Guo, S., & Zhang, H. (2020). Coordinating a green agri-food supply chain with revenue-sharing contracts considering retailers' green marketing efforts. *Sustainability, 12(4),* 1289.
7. de Kok, A. D., & Graves, S. C. (2003). *Supply chain management: Design, coordination and operation.* Elsevier. Chapter 6.
8. Dehghani, B. (2021). New technologies in agriculture and food with a supply chain approach. *Tarbiat Modir*, Chapter 2 (In Persian).
9. Fallah Lajimi, H., Mohammadi Kani, S. Z., & Rasooli Khatir, Z. (2019). Applying of piecewise linear value functions in LARG suppliers ranking: multi-criteria decision-making mixed approach. *Journal of Industrial Management Perspective, 9(1),* 115-140 (In Persian).
10. Hassanpur, B., & Mohtashani, R. (2015). Simple farm accounting and agricultural management in small farms. *Agricultural research, education and promotion organization,* (In Persian).
11. Heydari, J., Memarian, A., & Bozorgi Amiri, A. (2019). Coordinating Green/Functional Quality Decisions in a Two-Stage Green Supply Chain. *Journal of Industrial Management Perspective, 9(1),* 87-114 (In Persian).

12. Hu, H., Li, Y., Li, M., Zhu, W., & Chan, F. (2023). Optimal decision-making of green agricultural product supply chain with fairness concerns. *Journal of Industrial and Management Optimization*, *19*(7), 4926-4948.
13. Huang, X., Gu, J. W., Ching, W. K., & Siu, T. K. (2014). Impact of secondary market on consumer return policies and supply chain coordination. *Omega*, *45*, 57-70.
14. Kabul, M. O., & Parlaktürk, A. K. (2019). The value of commitments when selling to strategic consumers: A supply chain perspective. *Management Science*, *65(10)*, 4754-4770.
15. Kassie, M., Jaleta, M., Shiferaw, B., Mmbando, F., & Mekuria, M. (2013). Adoption of interrelated sustainable agricultural practices in smallholder systems: Evidence from rural Tanzania. *Technological forecasting and social change*, *80(3)*, 525-540.
16. Koohafkan, P., Altieri, M. A., & Gimenez, E. H. (2012). Green agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *10(1)*, 61-75.
17. Li, T., & Yu, M. (2017). Coordinating a supply chain when facing strategic consumers. *Decision Sciences*, *48(2)*, 336-355.
18. Lin, B., & Xu, M. (2018). Regional differences on CO2 emission efficiency in metallurgical industry of China. *Energy policy*, *120*, 302-311.
19. Liu, P., & Zhang, F. J. (2022). Pricing strategies of dual-channel green supply chain considering Big Data information inputs. *Soft Computing*, *26(6)*, 2981-2999.
20. Liu, P., Long, Y., Song, H. C., & He, Y. D. (2020). Investment decision and coordination of green agri-food supply chain considering information service based on blockchain and big data. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 123646.
21. Liu, Y., Sun, D., Wang, H., Wang, X., Yu, G., & Zhao, X. (2020). An evaluation of China's agricultural green production: 1978–2017. *Journal of Cleaner Production*, *243*, 118483.
22. Ma, X., Wang, J., Bai, Q., & Wang, S. (2020). Optimization of a three-echelon cold chain considering freshness-keeping efforts under cap-and-trade regulation in Industry 4.0. *International Journal of Production Economics*, *220*, 107457.
23. Min, H., & Galle, W. P. (1997). Green purchasing strategies: trends and implications. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, *33(2)*, 10-17.
24. Min, H., & Kim, I. (2012). Green supply chain research: past, present, and future. *Logistics Research*, *4(1)*, 39-47.
25. Mohaghar, A., & Sadeghi Moghadam, M. R. (2012). Supply Chain Coordination in The Automotive Industry: A Grounded Theory Approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, *1(4)*, 29-63. (In Persian)
26. National Research Council. (2010). *Toward sustainable agricultural systems in the 21st century*. National Academies Press.
27. Qiu, F., Hu, Q., & Xu, B. (2020). Fresh agricultural products supply chain coordination and volume loss reduction based on strategic *consumer*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17(21)*, 7915.
28. Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. *International journal of management reviews*, *9(1)*, 53-80.
29. The process of compiling the seventh development plan. *Planning Research Institute, Agricultural Economy and Rural Development. https://www.agri-peri.ac.ir/dorsapax/userfiles/file/14010920-1.pdf.*

30. Walton, S. V., Handfield, R. B., & Melnyk, S. A. (1998). The green supply chain: integrating suppliers into environmental management processes. *International journal of purchasing and materials management, 34(1),* 2-11.
31. Wang, C., Chen, J., Wang, L., & Luo, J. (2020). Supply chain coordination with put option contracts and customer returns. *Journal of the Operational Research Society, 71(6),* 1003-1019.
32. Wang, J., Huo, Y., Guo, X., & Xu, Y. (2022). The Pricing Strategy of the Agricultural Product Supply Chain with Farmer Cooperatives as the Core Enterprise. *Agriculture, 12(5),* 732.
33. Wu, D., Chen, J., Li, P., & Zhang, R. (2020). Contract coordination of dual channel reverse supply chain considering service level. *Journal of Cleaner Production, 260,* 121071.
34. Xu, L., Li, Y., Govindan, K. and Xu, X. (2015). Consumer returns policies with endogenous deadline and supply chain coordination. *European Journal of Operational Research, 242(1),* 88-99.
35. Yan, B., Chen, X., Cai, C., & Guan, S. (2020). Supply chain coordination of fresh agricultural products based on consumer behavior. *Computers & Operations Research, 123,* 105038.
*36.* Yan, B., Wu, X. H., Ye, B., & Zhang, Y. W. (2017). Three-level supply chain coordination of fresh agricultural products in the Internet of Things. *Industrial Management & Data Systems. 117(9),* 1842-1865.
37. Yang, D., Qi, E., & Li, Y. (2015). Quick response and supply chain structure with strategic consumers. *Omega, 52,* 1-14.
38. Yang, Y., & Yao, G. (2023). Fresh agricultural products supply chain coordination considering consumers' dual preferences under carbon cap-and-trade mechanism. *Journal of Industrial and Management Optimization. 19(3),* 2071-2090.