Industrial Management Journal

Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Modeling a Four Echelon Omni-Channel Supply Chain for Seasonal Product under Stochastic Demand

Fatemeh Mohaghar
Ph.D. Candidate, Department of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, Alborz Campus, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: fmohaghar@ut.ac.ir

Fariborz Jolai
*Corresponding Author, Prof., Department of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: fjolai@ut.ac.ir

Jafar Heydari
Associate Prof., Department of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: j.heydari@ut.ac.ir

Abstract

Objective: The present work proposes a mathematical model for a four-echelon supply chain network for a seasonal product with stochastic demand. The supply chain structure includes a supplier, a producer, a distributor, and a retailer with three sale channels.

Methods: The methodology introduced in this paper is a fundamental yet practical one that expands the knowledge of modeling for omnichannel supply chain and examines the outcomes in a real case study using a quantitative approach. In this case study, the retailer and the distributor are decision-makers, who decide the optimum order quantity. First, the centralized and decentralized models are identified. Second, the optimum order quantity for each model is determined, and finally, the results are verified using a numerical approach. Further, a sensitivity analysis is performed on the parameters that affect the profits obtained by members and the supply chain.

Results: Numerical examples show that the supply chain profit in the centralized model is more than the decentralized model, which correctly predicts the models and the estimated optimum order quantities.

Conclusion: The results of the sensitivity analysis show that the expected value of the members and the supply chain profit will increase when the final selling price and production capacity are increased. However, the increasing rate of profit obtained by increasing the selling price is higher than that of production capacity.

Keywords: Multi-echelon supply chain, Omni-channel retailing, Stochastic demand, Centralized decision making, Decentralized decision making.

Citation: Mohaghar, Fatemeh, Jolai, Fariborz, & Heydari, Jafar (2020). Modeling a Four Echelon Omni-Channel Supply Chain for Seasonal Product under Stochastic Demand. *Industrial Management Journal*, 12(1), 206-235. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2020, Vol. 12, No.1, pp. 206-235
DOI: 10.22059/imj.2020.306753.1007759
Received: November 06, 2019; Accepted: March 13, 2020
© Faculty of Management, University of Tehran

مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۵۸۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۵۳۶۹-۲۴۲۳

مدل‌سازی زنجیره تأمین چهارسطحی چندکاناله یکپارچه برای محصول فصلی تحت تقاضای تصادفی

فاطمه محقر
دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس البرز دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: fmohaghar@ut.ac.ir

فریبرز جولای
* نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: fjolai@ut.ac.ir

جعفر حیدری
دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: j.heydari@ut.ac.ir

چکیده

هدف: در این پژوهش، به مدل‌سازی ریاضی زنجیره تأمین چهارسطحی (شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده، یک توزیع‌کننده و یک نمایندگی فروش) با سه کانال فروش (سنتی، اینترنتی و تلویزیونی به‌واسطه پخش تبلیغات) به‌صورت چندکاناله یکپارچه برای محصول فصلی (کفش) تحت تقاضای تصادفی اقدام شده است.

روش: روش این پژوهش، از نوع بنیادی ـ کاربردی است که تلاش می‌کند مجموعه دانسته‌های موجود در حوزه مدل‌سازی زنجیره تأمین با ساختار چندکاناله یکپارچه را توسعه دهد. نتایج این تحقیق بنیادی در قالب مطالعه موردی، بررسی می‌شود. همچنین، رویکرد آن از نوع کمّی است. در مسئله این پژوهش، اعضای تصمیم‌گیرنده، نمایندگی فروش و توزیع‌کننده هستند که در خصوص مقدار سفارش بهینه تصمیم می‌گیرند. بدین ترتیب، ابتدا مسئله، در حالت‌های تصمیم‌گیری نامتمرکز و متمرکز مدل‌سازی می‌شود و پس از تعیین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم‌گیری در هر یک از حالت‌ها، نتایج به‌دست آمده، با استفاده از داده‌های واقعی، آزمایش و به‌صورت عددی ارزیابی خواهد شد. همچنین، روی پارامترهای مؤثر بر سود اعضا و کل زنجیره تأمین، تحلیل حساسیت انجام شده است.

یافته‌ها: نتایج عددی نشان داد که سود کل زنجیره تأمین در حالت متمرکز، بیش از حالت نامتمرکز است، بنابراین صحت مدل و مقادیر سفارش تأیید می‌شود.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج تحلیل حساسیت مدل، میانگین سود اعضا و سود کل زنجیره تأمین با افزایش قیمت فروش نهایی و توان تولید محصول، افزایش می‌یابد؛ ولی سرعت رشد سود با افزایش قیمت فروش بیش از سرعت رشد سود با افزایش حداکثر تولید است.

کلیدواژه‌ها: زنجیرهٔ تأمین چندسطحی، خرده‌فروشی چندکاناله یکپارچه، تقاضای تصادفی، تصمیم‌گیری متمرکز، تصمیم‌گیری نامتمرکز.

استناد: محقر، فاطمه؛ جولای، فریبرز؛ حیدری، جعفر (۱۳۹۹). مدل‌سازی زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی چندکاناله یکپارچه برای محصول فصلی تحت تقاضای تصادفی. *مدیریت صنعتی*، ۱۲(۲)، ۲۰۶- ۲۳۵.

مدیریت صنعتی، ۱۳۹۹، دوره ۱۲، شماره ۲، صص. ۲۰۶- ۲۳۵
DOI: 10.22059/imj.2020.306753.1007759
دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۵، پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

یکی از عوامل موفقیت شرکت‌ها در افزایش سود سالیانه و ارتقای ارزش نام تجاری آنها، وجود زنجیره تأمینی است که استراتژی‌ها و عملیات در آن به نحوی عالی مدیریت شوند. در عصر حاضر، بیش از نیمی از مدیران به این نتیجه رسیده‌اند که مدیریت زنجیره تأمین، دارایی استراتژیک شرکت محسوب می‌شود (کزلنکوا، هولت، لوند، منا، ککه[1]، ۲۰۱۵). از سوی دیگر، نفوذ اینترنت در زندگی روزمره مردم، باعث اقبال آنها از خرید اینترنتی و رشد روزافزون تجارت الکترونیک شده است. از این رو، بسیاری از شرکت‌ها، به‌دنبال ایجاد راه‌هایی برای فروش اینترنتی در کنار فروش سنتی هستند، به بیان دیگر، تلاش می‌کنند که در کنار روش سنتی، روشی برای فروش اینترنتی راه‌اندازی کرده و به اصطلاح، کسب‌وکار چندکاناله ایجاد کنند (مداک[2]، ۲۰۱۷). مدل فروش دوکاناله، نه‌تنها برای مشتریان امکان تجربه خرید راحت‌تری را فراهم می‌کند، بلکه باعث می‌شود هزینه شرکت‌ها کاهش یافته و طریقه فروش سنتی صنایع تغییر و بهبود یابد (ژو، ون، جی و کیو[3]، ۲۰۲۰). کم‌رنگ‌شدن مرز بین کانال‌های فروش فیزیکی و آنلاین، توجه بخش بزرگی از محققان را به یکپارچه‌سازی کانال‌های خرده‌فروشی سنتی و فروش آنلاین جلب کرده است (تاکاهاشی، آأی، هوریتانی و موریکاوا[4]، ۲۰۱۱؛ هوانگ و سوامیناتان[5]، ۲۰۰۹) و رویکرد جدیدی به نام چندکاناله یکپارچه برای یکپارچه‌سازی کانال‌ها به‌وجود آورده است (پیتروویکز و کاتبرتسون[6]، ۲۰۱۴). اگر این کانال‌ها به‌صورت مستقل فعالیت کنند و نگهداری موجودی و تحویل کالای آنها نیز به‌صورت مستقل باشد، به آنها چندکاناله (MC)[7] می‌گویند و چنانچه نگهداری موجودی و تحویل کالای آنها به‌صورت یکپارچه باشد، چندکاناله یکپارچه (OC)[8] نامیده می‌شوند. از یک سو، توجه به یکپارچه‌سازی روابط بین اعضای زنجیره و از سوی دیگر، یکپارچه‌سازی کانال‌های فروش، باعث رسیدن به سود و سیاست نگهداری موجودی بهینه در زنجیره تأمین چندکاناله یکپارچه خواهد شد.

با توجه به مطالب بیان شده، مسئله اصلی این پژوهش، یک زنجیره تأمین چهارسطحی مربوط به محصول فصلی (کفش) شامل یک تأمین‌کننده (زیره و رویه کفش)، یک تولیدکننده، یک توزیع‌کننده و یک نمایندگی فروش است. در این زنجیره، سه نوع کانال فروش وجود دارد: تلویزیونی، اینترنتی و مستقیم (سنتی). در کانال فروش تلویزیونی، فروش به‌طور مستقیم از طریق توزیع‌کننده و به‌واسطه پخش تبلیغات تلویزیونی صورت می‌گیرد. در واقع، محصول پس از تأمین کالا توسط تولیدکننده و رسیدن موجودی به سطح اطمینان در انبار توزیع‌کننده، برای مشتری ارسال می‌شود. در کانال فروش اینترنتی نیز، مشتریان از طریق سایت اینترنتی سفارش خود را ثبت می‌کنند، سپس از طریق پست یا پیک، محصول را تحویل می‌گیرند. در این نوع فروش، سایت اینترنتی فقط به‌عنوان خرده‌فروش اینترنتی[9] عمل می‌کند و خود، انبار محصول ندارد. بر این اساس، ارسال سفارش ثبت شده در سایت اینترنتی، از انبار توزیع‌کننده انجام می‌شود. در این ساختار، توزیع‌کننده مقدار سفارش (Q_1) را تعیین می‌کند و برای پخش تبلیغات تلویزیونی، هزینه ثابت بازاریابی (MC) پرداخت می‌شود. بنا بر مطالب ذکر شده، ساختار خرده‌فروشی در این بخش به‌صورت چندکاناله یکپارچه است. سومین

1. Kozlenkova, Hult, Lund, Mena, & Keke
2. Modak
3. Zhu, Wen, Ji, & Qiu
4. Takahashi, Aoi, Hirotani, & Morikawa
5. Huang, & Swaminathan
6. Piotrowicz & Cuthbertson
7. Multi-Channel
8. Omni-Channel
9. Dropshipper

کانال فروش، کانال فروش مستقیم (سنتی) است که از طریق نمایندگی فروش در سطح شهر انجام می‌شود. در این نوع فروش، نمایندگی فروش مقدار سفارش خود ($Q_۲$) را به توزیع‌کننده اعلام می‌کند، سپس توزیع‌کننده مجموع تقاضای خود و نمایندگی فروش ($Q_۱ + Q_۲$) را جهت تولید، به تولیدکننده اعلام می‌کند. به‌علاوه، در این کانال، محصول به‌طور مستقیم از انبار نمایندگی فروش در اختیار مشتری قرار می‌گیرد.

بنابراین، تقاضا در این زنجیره، از سه محل دریافت می‌شود: تقاضای مستقیم از نمایندگی فروش ($X_۱$)، تقاضا از کانال فروش تلویزیونی ($X_۲$) و تقاضا از کانال فروش اینترنتی ($X_۳$). متغیرهای تقاضا مستقل از هم هستند و توزیع یکنواخت گسسته‌ای دارند. همچنین در این زنجیره، دو انبار محصول وجود دارد که یکی تحت مدیریت نمایندگی فروش و دیگری تحت مدیریت توزیع‌کننده است. سفارش مشتریان اینترنتی و تلویزیونی، فقط از انبار توزیع‌کننده تأمین شده و از سوی توزیع‌کننده برای مشتری ارسال می‌شود و انبار نمایندگی فروش، فقط برای تأمین نیاز مشتریان حضوری است. در این زنجیره، قیمت فروش محصول به مشتری (p) به‌طور سراسری توسط توزیع‌کننده مشخص می‌شود و هر سه کانال فروش با همان قیمت، محصول را می‌فروشد. بر این اساس، در این تحقیق به دو سؤال زیر پاسخ داده خواهد شد:

۱. مقدار بهینه سفارش توزیع‌کننده ($Q_۱$) (در حالت‌های تصمیم‌گیری نامتمرکز و متمرکز) چقدر است؟

۲. مقدار بهینه سفارش نمایندگی فروش ($Q_۲$) (در حالت‌های تصمیم‌گیری نامتمرکز و متمرکز) چقدر است؟

ادامه پژوهش به این صورت ساختاربندی شده است: در بخش دوم، ادبیات موضوع مرور می‌شود. بخش سوم پژوهش، به مدل‌سازی ریاضی مسئله اختصاص دارد و مشتمل بر نمادها، مدل ریاضی مسئله در حالت‌های تصمیم‌گیری نامتمرکز و متمرکز است. در بخش چهارم، نتایج عددی بر اساس داده‌های مطالعه موردی و تحلیل حساسیت روی پارامترهای مؤثر بر میانگین سود اعضا و سود کل زنجیره تأمین ارائه می‌شود و در پایان، جمع‌بندی و نتیجه پژوهش بیان خواهد شد.

پیشینه پژوهش

علی‌رغم افزایش شایان توجه فروش اینترنتی طی سال‌های اخیر، هنوز فروشگاه‌های فیزیکی و سنتی، مهم‌ترین مقاصد خرید محسوب می‌شوند. با این حال، عملیاتی که در فروشگاه‌های فیزیکی انجام می‌شود، نسبت به گذشته تغییرات چشمگیری داشته است. در حال حاضر، فروشگاه‌های سنتی، هم محل خرید فیزیکی و آفلاین مشتریان هستند و هم به‌عنوان مرکز تعامل و ارتباط بین کانال‌های فروش نیز شناخته می‌شوند (مو، راب، دهوراتیوس[1]، ۲۰۱۷). امروزه، موفقیت خرده‌فروشان فقط به توانمندی آنها برای فروش آنلاین یا سنتی وابسته نیست، بلکه باید قابلیت‌های بالقوه‌ای نیز برای ارتباط با مشتری نهایی وجود داشته باشد (گولتی و گارینو[2]، ۲۰۰۰). بدین منظور، خرده‌فروشان ابتدا با ساختار چندکاناله شروع کردند تا در کنار فروش سنتی از مزایای فروش اینترنتی نیز برخوردار شوند. در این ساختار، کانال‌های فروش به‌صورت مستقل فعالیت می‌کنند که همین امر، زنجیره‌های جدا از هم را باعث می‌شود، در نتیجه، این ساختار رضایت

1. Mou, Robb, & DeHoratius
2. Gulati & Garino

همه‌جانبه مشتریان را فراهم نمی‌کند (ملاسینی، پروتی، راسینی، تاپیا[1]، ۲۰۱۸). به همین دلیل، طی سال‌های اخیر، تحقیقاتی در این زمینه انجام گرفت که به معرفی ساختار جدیدی انجامید که ارجحیتی بین کانال‌های سنتی و آنلاین قائل نمی‌شود که به آن، ساختار چندکاناله یکپارچه می‌گویند (ورهوف، کنانب، اینمان[2]، ۲۰۱۵). در این ساختار، فقط یک رابط لجستیکی مشترک برای هر دو کانال فروش سنتی و آنلاین وجود دارد، سیستم‌های انبارداری، عملیاتی، لجستیکی و اطلاعاتی بین کانال‌های فروش مشترک‌اند (هابنر، وولنبرگ، هولزابفل[3]، ۲۰۱۶؛ سااو و لی[4]، ۲۰۱۵) و مشتریان به‌راحتی می‌توانند به‌صورت یکپارچه از یک کانال به کانال دیگر جابه‌جا شوند (هابنر و همکاران، ۲۰۱۶) که همین امر می‌تواند هزینه کل ساختار چندکاناله یکپارچه را کاهش دهد (گالینو و مورنو[5]، ۲۰۱۴). برای عبور از یک ساختار چندکاناله به چندکاناله یکپارچه، لازم است که ذی‌نفعان داخلی، برای این امر تعهد و اشتیاق کافی داشته باشند (ژانگ و همکاران[6]، ۲۰۱۰). همچنین در کسب‌وکارهای بزرگ با شعب فروش مستقیم، باید یک سیاست تشویقی برای ترغیب فروشگاه‌ها به ایجاد کانال فروش اینترنتی در کنار فروش سنتی در نظر گرفته شود و راهکارهایی برای ایجاد انگیزه در مشتریان برای خرید اینترنتی ارائه شود (لارکه، کیلگور، اُکونور[7]، ۲۰۱۸).

بر این اساس، تاکنون مطالعات زیادی در خصوص مدل‌سازی زنجیره تأمین صورت گرفته است که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. حیدری، رستگار، گلاک[8] (۲۰۱۷) در زمینه زنجیره تأمین دوسطحی، پژوهشی انجام دادند. در این پژوهش، تقاضا تصادفی و ساختار زنجیره تک‌کاناله است. مدل‌سازی مسئله نیز در حالت‌های تصمیم‌گیری متمرکز و نامتمرکز انجام شده است و صحت مدل با مثال‌های عددی تأیید شده است.

ابراهیمی، حسینی‌مطلق، نعمت‌اللهی[9] (۲۰۱۷) نیز در همان سال، زنجیره تأمین دو سطحی تک‌کاناله با تقاضای تصادفی، متشکل از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش را بررسی کردند. در این پژوهش، برای بازپرسازی اقلام، خرده‌فروش از سیستم بازبینی دوره‌ای موجودی استفاده می‌کند و اقلام را بر اساس دوره بازبینی و تلاش تبلیغاتی خود (سفارش‌دهی تا سطح موجودی اطمینان)[10] سفارش می‌دهد. تأمین‌کننده نیز از استراتژی لات فور لات[11] بر اساس دوره بازبینی خود بهره می‌برد. در این تحقیق نیز، مدل‌های نامتمرکز و متمرکز ارائه شده و جواب‌های بهینه هر یک مشخص شده است. چهارسوقی و حیدری[12] (۲۰۱۰) در یک زنجیره تأمین دوسطحی چنددوره‌ای تک‌کاناله و تحت تقاضای تصادفی، متغیرهای تصمیم (مقدار سفارش و زمان سفارش‌دهی) را به طور بهینه تعیین کردند.

لو[13] (۲۰۰۷) و یانگ، هونگ و لی[14] (۲۰۱۴) نیز در زنجیره تأمین دوسطحی تک‌کاناله با تقاضا قطعی، مدل‌های متمرکز و نامتمرکزی ارائه داده‌اند و با مثال‌های عددی، صحت مدل را به اثبات رسانده‌اند. دوُ، بانرژی و کیم[15] (۲۰۱۳)، در زنجیره تأمین دوسطحی تک‌کاناله و تحت تقاضای قطعی، مقدار سفارش را برای خرده‌فروش و اندازه تولید را برای

1. Melacini, Perotti, Rasini, & Tappia
2. Verhoef, Kannanb & Inman
3. Hübner, Wollenburg & Holzapfel
4. Cao, & Li
5. Gallino, & Moreno
6. Zhang and et al.
7. Larke, Kilgour, & O'Connor
8. Heydari, Rastegar, & Glock
9. Ebrahimi, Hosseini-Motlagh, & Nematollahi
10. Order-up-to-Level
11. Lot-for-Lot
12. Chaharsooghi, & Heydari
13. Luo
14. Yang, Hong & Lee
15. Du, Banerjee & Kim

تأمین‌کننده مشخص کرده‌اند. نعیمی صدیق، چهارسوقی و شیخ‌محمدی (۱۳۹۱) روی زنجیره تأمین دوسطحی تک‌کاناله تحت شرایط عدم قطعیت مطالعه کرده‌اند و روابط بین خریدار و فروشنده را در دو حالت بازی بدون همکاری و بازی با همکاری در نظر گرفته‌اند و نشان داده‌اند که بازی با همکاری، در مقایسه با بازی بدون همکاری، سود طرفین را بیشتر خواهد کرد. مشرقی و امین ناصری (۱۳۹۴) در تحقیق خود، زنجیره تأمین دوسطحی تک‌کاناله با یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش را تحت تقاضای تصادفی بررسی و سیاست‌های بهینه قیمت‌گذاری و سفارش‌دهی را تعیین کرده‌اند. یو، وانگ و ژانگ[1] (۲۰۱۹) تحقیقی در زمینه زنجیره تأمین دوسطحی با یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش و با دو کانال فروش آنلاین و مستقیم انجام داده‌اند و مدل‌سازی زنجیره در حالت‌های تصمیم‌گیری نامتمرکز و متمرکز را تحت تقاضای تصادفی انجام داده‌اند و مقدار سفارش و همچنین استراتژی بهینه حمل‌ونقل موجودی را تعیین کرده‌اند. چن، فنگ و سو[2] (۲۰۱۹) نیز پژوهشی مشابه تحقیق یو و همکاران انجام داده‌اند، با این تفاوت که در این تحقیق، تخصیص یا عدم تخصیص یارانه به کانال سنتی به مسئله اضافه شده است. ژو و همکاران (۲۰۲۰) تحقیق خود را روی زنجیره تأمین دوسطحی دوکاناله تحت تقاضای تصادفی انجام داده‌اند و خرده‌فروش را ریسک‌گریز در نظر گرفته‌اند و مدل‌سازی زنجیره تأمین آنها در این وضعیت بررسی شده است. محقر، گروسی مختارزاده، مدرس یزدی و حاجی مقصودی (۱۳۹۶) در تحقیق خود، یک شبکهٔ تأمین منعطف چند دوره‌ای در یک زنجیرهٔ تأمین دوسطحی تک کاناله با تقاضای تصادفی طراحی کرده‌اند. در این پژوهش، شبکه زنجیره تأمین، مشتمل بر تأمین‌کنندگان و سایت‌های تولیدی و با چند محصول طراحی شده و هدف آن، حداقل‌کردن کل هزینه‌های زنجیره تأمین است. در این زنجیره موضوع ریسک خنثی یا ریسک‌گریز بودن تصمیم‌گیرنده نیز گنجانده شده است. مقاله اختیاری، زندیه، عالم تبریز و ربیعه (۱۳۹۸) نیز درباره مدل‌سازی زنجیره تأمین دوسطحی تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا است که تابع دوهدفه بوده و به‌دنبال حداقل‌کردن هزینه و بیشینه‌کردن قابلیت اطمینان سیستم است. همچنین، در این زنجیره انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش، هم‌زمان صورت گرفته و برای حل مدل، از الگوریتم ژنتیک دوسطحی استفاده شده است. گیری و بردخان[3] (۲۰۱۷) مدل‌سازی زنجیره تأمین سه‌سطحی تک‌کاناله تحت تقاضای تصادفی شامل یک تأمین‌کننده مواد اولیه، یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش را بررسی کرده‌اند. آنها علاوه بر زنجیره تأمین، زیرزنجیره‌ها (به‌صورت تأمین‌کننده ـ تولیدکننده و تولیدکننده ـ خرده‌فروش) را نیز بررسی و مقدار سفارش و تولید بهینه را در حالت متمرکز مشخص کرده‌اند. در این مقاله نیز، استراتژی‌های بهینه تحت ساختارهای مختلف تئوری بازی‌ها مقایسه و تحلیل حساسیت انجام شده است. سیفرت، زیکوریا، لیااو[4] (۲۰۱۲) تحقیقی انجام داده‌اند که می‌توان پژوهش گیری و بردخان را ادامه و مکمل آن پژوهش دانست. حوزه کاری آنها نیز، زنجیره تأمین سه‌سطحی تک‌کاناله با تقاضای تصادفی و یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش است، با این تفاوت که مدل ریاضی آن از نوع مدل مسئله روزنامه‌فروش است. در این مقاله نیز، مدل نامتمرکز و متمرکز و مقدار سفارش بهینه در هر یک ارائه شده است. هی و ژاا[5] (۲۰۱۲) نیز مدل‌سازی در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی تک‌کاناله تحت تقاضای تصادفی را بررسی کرده‌اند.

1. Yu, Wang & Zhang
2. Chen, Fang, & Su
3. Giri, & Bardhan
4. Seifert, Zequeira & Liao
5. He, & Zhao

یکی دیگر از مقاله‌هایی که در زمینه زنجیره تأمین سه‌سطحی تک‌کاناله با تقاضای قطعی انجام شده است، مقاله شاه، چااُداری و کاردناس ـ بارون[1] (۲۰۱۸) است. در این تحقیق محصولات با عمر محدود و تقاضای فصلی در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل یک تولیدکننده، یک توزیع‌کننده و یک خرده‌فروش بررسی شده است. یومی هو، وی، لی، هوانگ و اشلی[2] (۲۰۱۶) یک زنجیره تأمین سه‌سطحی تک‌کاناله را با تقاضای تصادفی و تابع یکنواخت در بازه [L,U] را مدل‌سازی کرده‌اند. در مقاله‌های پیشین، توزیع یکنواخت معمولاً برای مدل ریاضی روزنامه‌فروش (کرن و پلیسکین[3]، ۲۰۰۶؛ آرسلوس، کومار، سرینیواسان[4]، ۲۰۰۸) و همچنین برای محصولات مصرفی روزانه نظیر شیر، نان، تخم مرغ و تجهیزات پزشکی مانند ابزارهای جراحی به کار رفته است. در این پژوهش مدل نامتمرکز تحت دو نمونه از بازی‌های تئوری بازی‌ها (بازی رهبر ـ پیرو[5] و بازی حرکت هم‌زمان[6]) در نظر گرفته شده است. کنگ و وانگ[7] (۲۰۱۷) نیز مدل‌سازی یک زنجیره تأمین سه‌سطحی تک‌کاناله تحت تقاضای تصادفی را بررسی کرده‌اند. زنجیره‌ای متشکل از یک تولیدکننده، یک توزیع‌کننده و یک فروشنده که در آن مقدار سفارش بهینه برای کل زنجیره در حالت متمرکز و نامتمرکز به‌دست آمده است. پانگ، چن و هو[8] (۲۰۱۴) تحقیق خود را روی یک زنجیره تأمین سه‌سطحی تک‌کاناله با تقاضای تصادفی متشکل از یک تولیدکننده، یک توزیع‌کننده و یک خرده‌فروش انجام داده‌اند.

هنرور و رضایی (۱۳۹۸) در مقاله خود، از سیاست برون‌سپاری برای مقابله با ریسک، استفاده کرده‌اند و مدل ریاضی جدیدی برای تصمیم‌گیری هم‌زمان مباحث قیمت‌گذاری و برون‌سپاری در زنجیره تأمین سه‌سطحی و دوکاناله ارائه داده‌اند و با توجه به پیچیده‌بودن مدل غیرخطی، از روش فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید و مدل‌سازی احتمالی براساس سناریو برای حل مدل پیشنهادی بهره برده‌اند. فتحی، نصراللهی و زمانیان (۱۳۹۸) در پژوهش خود، به بررسی یک شبکه زنجیره تأمین پایدار چندسطحی حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند. آنها مدل‌سازی این شبکه را با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه فازی انجام داده‌اند و آن را با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری حل کرده‌اند. در مقاله ثابت‌مطلق و محقر (۱۳۹۵) نیز، زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و تعدادی نمایندگی فروش با تقاضای قطعی برای یک زنجیره واقعی مربوط به سیستم‌های مونتاژ، مدل‌سازی شده و مقادیر بهینه سفارش و موجودی در هر یک از سطوح تأمین، تولید و نمایندگی فروش، به‌منظور حداقل‌کردن هزینه کل زنجیره تأمین، انجام شده است.

همان گونه که ملاحظه می‌شود، در این مطالعات، زنجیره‌های تأمین یا تک‌کاناله یا چندکاناله بوده‌اند و به‌صورت چندکاناله یکپارچه نیستند. در خصوص زنجیره تأمین چندسطحی چندکاناله یکپارچه، فقط دو کار پژوهشی صورت گرفته است. در اولین مقاله که در سال ۲۰۱۷ انجام شده است، یک زنجیره تأمین دوسطحی چندکاناله یکپارچه توسعه داده شده که تقاضا در آن تصادفی و وابسته به قیمت و زمان تحویل است و خرده‌فروش، یک کانال مستقیم آنلاین و یک کانال خرده‌فروشی سنتی دارد. در این پژوهش نیز مدل‌های نامتمرکز و متمرکز ارائه شده است. علاوه بر قیمت و تصمیم‌های

1. Shah, Chaudhari, & Cárdenas-Barrón
2. Hou, Wei, Li, Huang, & Ashley
3. Keren & Pliskin
4. Arcelus, Kumar & Srinivasan
5. Leader-Follower Game
6. Simultaneous Move Game
7. Cong & Wang
8. Pang, Chen & Hu

انبارداری خرده‌فروشی و کانال آنلاین، زمان تحویل کانال فروش آنلاین نیز، به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است؛ زیرا تأخیر تحویل در فروش آنلاین، رضایت مشتری را کاهش می‌دهد (مداک، ۲۰۱۷). در دومین مقاله نیز، همه مفروضات مسئله با پژوهش سال ۲۰۱۷ یکسان است، با این تفاوت که در این مقاله، مدل‌های متمرکز و نامتمرکز در دو حالت نامعین بودن تابع توزیع متغیرهای تصادفی با رویکرد توزیع آزاد و تابع توزیع معین با هدف ماکزیمم شدن سود، ارائه شده است (مداک و کله[1]، ۲۰۱۹).

شکاف تحقیقاتی و نوآوری تحقیق

بررسی‌ها نشان می‌دهد که پژوهش‌های حوزه زنجیره تأمین با ساختار چندکاناله یکپارچه، اغلب به‌صورت نظری انجام شده است و در زمینه مدل‌سازی ریاضی آن، فقط کار تحقیقاتی مداک وجود دارد که آن هم در یک زنجیره تأمین دوسطحی با دو کانال فروش آنلاین و سنتی انجام گرفته است. بنابراین، نوآوری این پژوهش در مدل‌سازی ریاضی زنجیره تأمین چهارسطحی است که به‌صورت چندکانالهٔ یکپارچه فعالیت می‌کند و سه کانال فروش سنتی، آنلاین و تلویزیونی دارد. جدول ۱ مقایسه بین تحقیقات پیشین و تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

جدول ۱. تفاوت پژوهش‌های پیشین با پژوهش حاضر در حوزه مدل‌سازی زنجیره تأمین

ردیف	نویسنده مقاله (سال انتشار)	زنجیره تأمین			نوع تقاضا		وابستگی تقاضا	تعداد کانال‌های فروش		
		دو سطحی	سه سطحی	چهار سطحی	قطعی	تصادفی		تک کاناله	چند کاناله	چندکاناله یکپارچه
۱	لو[2] (۲۰۰۷)	×			×		-	×		
۲	چهارسوقی و حیدری (۲۰۱۰)	×				×	-	×		
۳	نعیمی صدیق و همکاران (۱۳۹۱)	×				×	قیمت، هزینه تبلیغات	×		
۴	دو و همکاران (۲۰۱۳)	×			×		قیمت	×		
۵	یانگ و همکاران (۲۰۱۴)	×			×		موجودی	×		
۶	مشرقی و امین‌ناصری (۱۳۹۴)	×				×	–	×		
۷	ثابت‌مطلق و محقر (۱۳۹۵)		×		×		–	×		
۸	محقر و همکاران (۱۳۹۶)	×				×	–	×		
۹	حیدری و همکاران (۲۰۱۷)	×				×	دوره اعتبار	×		
۱۰	ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۷)	×				×	تلاش تبلیغاتی	×		

1. Modak & Kelle
2. Luo

ادامه جدول ۱

ردیف	نویسنده مقاله (سال انتشار)	زنجیره تأمین			نوع تقاضا		وابستگی تقاضا	تعداد کانال‌های فروش		
		دو سطحی	سه سطحی	چهار سطحی	قطعی	تصادفی		تک کاناله	چند کاناله	چندکاناله یکپارچه
۱۱	مداک (۲۰۱۷)	×				×	قیمت، زمان تحویل			×
۱۲	اختیاری و همکاران (۱۳۹۸)	×				×	–	×		
۱۳	فتحی و همکاران (۱۳۹۸)					×	–	×		
۱۴	مداک و کله (۲۰۱۹)	×				×	قیمت، زمان تحویل			×
۱۵	یو و همکاران (۲۰۱۹)	×				×	–		×	
۱۶	چن و همکاران (۲۰۱۹)	×				×	–		×	
۱۷	ژو و همکاران (۲۰۱۰)	×				×	–		×	
۱۸	سیفرت و همکاران (۲۰۱۲)		×			×	-	×		
۱۹	هی (۲۰۱۲)		×			×	-	×		
۲۰	پانگ و همکاران (۲۰۱۴)		×			×	تلاش تبلیغاتی	×		
۲۱	هو و همکاران (۲۰۱۶)		×			×	-	×		
۲۲	گیری و همکاران (۲۰۱۷)		×			×	-	×		
۲۳	هنرور و رضایی (۱۳۹۸)		×			×	–		×	
۲۴	کنگ و ونگ (۲۰۱۷)		×			×	-	×		
۲۵	شاه و همکاران (۲۰۱۸)		×		×		زمان، دوره اعتبار	×		
۲۶	پژوهش حاضر			×		×	-			×

با توجه به موضوع این پژوهش، در جدول ۱، تحقیقات به تفکیک سطوح زنجیره تأمین، نوع تقاضا، تعداد کانال‌های فروش و نوع خرده‌فروشی (چندکاناله/ چندکاناله یکپارچه) دسته‌بندی شده‌اند. بنابراین، همان گونه که مشخص است، فقط در پژوهش حاضر، به مدل‌سازی ریاضی زنجیره تأمین چهارسطحی اقدام شده است. همچنین، مقاله‌هایی که به‌صورت خرده‌فروشی چندکاناله بوده‌اند (یو و همکاران، ۲۰۱۹؛ چن و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ هنرور و رضایی، ۱۳۹۸) همه دارای دو کانال فروش مستقیم و اینترنتی هستند که به‌طور مستقل فعالیت می‌کنند و یکپارچه نیستند. به بیان دیگر، تا کنون مدل‌سازی زنجیره تأمینی که به‌صورت چندکاناله یکپارچه فعالیت کند، فقط در مقاله مداک

(۲۰۱۷ و ۲۰۱۹) انجام شده است که آن هم، در یک زنجیره تأمین دوسطحی و فقط دارای دو کانال فروش مستقیم و اینترنتی بوده است. در سایر مقاله‌های بررسی شده در پیشینه پژوهش نیز، خرده‌فروشی به‌صورت تک‌کاناله است. در خصوص روش حل مدل نیز، برخلاف تحقیقاتی همچون ثابت‌مطلق و محقر (۱۳۹۵)، محقر و همکاران (۱۳۹۶)، اختیاری و همکاران (۱۳۹۸) و فتحی و همکاران (۱۳۹۸) که از روش‌های فراابتکاری برای حل مدل استفاده کرده‌اند، در این مقاله، از روش حل دقیق بهره برده شده است، بنابراین جواب‌های به‌دست آمده بهینه خواهند بود.

مدل‌سازی ریاضی

کل تقاضای سالیانه کفش در کشور، مقدار مشخصی است که بخشی از آن مستقیم و بخشی غیرمستقیم (آنلاین یا تلویزیونی) تأمین می‌شود. این تقاضا برابر با T در نظر گرفته شده و مسئله ابتدا به صورت نامحدود حل خواهد شد. از طرفی حداکثر ظرفیت تولید مسئله $n + m$ است. بنابراین مسئله با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت تولید حل می‌شود و مقادیر سفارش در این حالت محاسبه خواهد شد و چنانچه جواب‌های به‌دست آمده موجه نباشند، مسئله دوباره با فرض محدودیت تقاضا حل خواهد شد که در حالت محدودیت تقاضا، n حداکثر تقاضا در درگاه نمایندگی فروش و m حداکثر تقاضا در درگاه فروش تلویزیونی و خرده‌فروش اینترنتی خواهد بود. شایان ذکر است که این حدود، بر اساس برنامه شرکت در خصوص کسب سهم بازار کفش و داده‌های آماری مربوط به فروش سال‌های گذشته در هر یک از کانال‌های فروش، تعیین شده است.

بنابراین، با توجه به سقف تقاضا در هر یک از درگاه‌های فروش، رابطه ۱، توزیع جرمی احتمال متغیرهای تقاضا در حالت نامحدود را نشان می‌دهد.

$$x_1 \sim f(x_1, T);\ \ x_2 \sim f(x_2, T);\ \ x_3 \sim f(x_3, T);\ \ f(x_1) = f(x_2) = f(x_3) = \frac{1}{T+1} \qquad \text{رابطه ۱)}$$

همچنین، توزیع جرمی احتمال متغیرهای تقاضا در حالت محدود به صورت زیر است:

$$x_1 \sim f(x_1, n)\ ;\quad f(x_1) = \frac{1}{n+1} \qquad \text{رابطه ۲)}$$

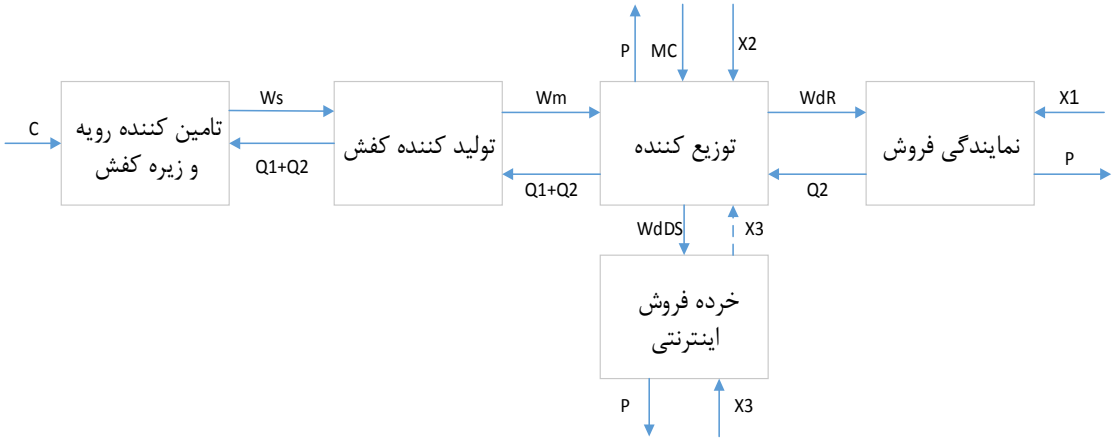
$$x_2 \sim f(x_2, m)\ ;\quad f(x_2) = \frac{1}{m+1} \qquad \text{رابطه ۳)}$$

$$x_3 \sim f(x_3, (1-\alpha)m)\ \ ;\quad f(x_3) = \frac{1}{(1-\alpha)m+1} \qquad \text{رابطه ۴)}$$

که α ضریب ثابتی بین صفر و یک است، براساس داده‌های آماری تعیین می‌شود و سهم درگاه فروش تلویزیونی از سفارش توزیع‌کننده (Q_1) را نشان می‌دهد. به بیان دیگر، سهم خرده‌فروش اینترنتی از تولید حداکثر $(1-\alpha)m$ است که این مقدار، بر اساس سوابق آماری موجود در شرکت و ضریب افزایش برنامه سهم بازار شرکت، تعیین شده است. گفتنی است، با توجه به گسسته‌بودن متغیرهای تقاضا در این تحقیق، برای محاسبه مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم،

فرض می‌شود که متغیرهای تقاضا پیوسته‌اند و در این حالت، مشتق‌گیری صورت می‌گیرد، سپس هنگام آزمایش عددی، چنانچه مقدار سفارش عددی حقیقی باشد، به نزدیک‌ترین عدد صحیح گرد خواهد شد. البته، از آنجا که کلیه پارامترهای مسئله عدد صحیح هستند، احتمال به‌دست آمدن عدد حقیقی در آزمایش عددی صفر است.

در ادامه، برای روشن شدن بهتر موضوع، ساختار کلی زنجیره تأمین و جریان اطلاعات در شکل ۱ نشان داده می‌شود.



شکل ۱. شمای کلی زنجیره تأمین و جریان اطلاعات

نمادها

x_1 : تقاضای تصادفی درگاه نمایندگی فروش؛

x_2 : تقاضای تصادفی درگاه فروش تلویزیونی؛

x_3 : تقاضای تصادفی درگاه فروش اینترنتی؛

P : قیمت فروش محصول به مشتری نهایی؛

ω_{dR} : قیمت عمده‌فروشی از توزیع‌کننده به نمایندگی فروش؛

ω_{dDS} : قیمت عمده‌فروشی از توزیع‌کننده به خرده‌فروش اینترنتی؛

R : نمایندگی فروش[1]؛

Ds : خرده‌فروش اینترنتی؛

MC : هزینه ثابت بازاریابی تلویزیونی (قرارداد قیمت معین با تلویزیون)؛

ω_m : قیمت عمده‌فروشی از تولیدکننده به توزیع‌کننده؛

ω_s : قیمت عمده‌فروشی از تأمین‌کننده به تولیدکننده؛

h_1 : هزینه نگهداری یک واحد کالا در انبار توزیع‌کننده؛

1. Retailer

s_1 : هزینه کمبود یک واحد کالا در انبار توزیع‌کننده؛

h_2 : هزینه نگهداری یک واحد کالا در انبار نمایندگی فروش؛

s_2 : هزینه کمبود یک واحد کالا در انبار نمایندگی فروش؛

C : هزینه تأمین (تولید) هر واحد کالا در سایت تأمین‌کننده؛

Q_1 : متغیر تصمیم مقدار سفارش توزیع‌کننده در حالت تصمیم‌گیری نامتمرکز؛

Q_2: متغیر تصمیم مقدار سفارش نمایندگی فروش در حالت تصمیم‌گیری نامتمرکز؛

Q_{1SC} : متغیر تصمیم مقدار سفارش توزیع‌کننده در حالت تصمیم‌گیری متمرکز؛

Q_{2SC}: متغیر تصمیم مقدار سفارش نمایندگی فروش در حالت تصمیم‌گیری متمرکز؛

T: حداکثر تقاضا در هر سه درگاه فروش در حالت نامحدود $(x_1, x_2, x_3 = 0, 1, 2, \dots, T)$؛

n: حداکثر تقاضا در درگاه نمایندگی فروش $(x_1 = 0, 1, 2, \dots, n)$ در حالت محدود؛

m: حداکثر تقاضا در درگاه فروش تلویزیونی و فروش اینترنتی در حالت محدود $(x_2 = 0, 1, 2, \dots, m)$ و $\left(x_3 = 0, 1, 2, \dots, (1-\alpha)\right)$ به‌طوری که $n < m$؛

$n + m$: حداکثر تولید؛

α : ضریب ثابت بین صفر و یک که بر اساس داده‌های آماری تعیین می‌شود و سهم درگاه فروش تلویزیونی از سفارش توزیع‌کننده (Q_1) را نشان می‌دهد؛

$1 - \alpha$: ضریب ثابت بین صفر و یک که بر اساس داده‌های آماری تعیین می‌شود و سهم درگاه فروش اینترنتی از سفارش توزیع‌کننده (Q_1) را نشان می‌دهد؛

π_{DS} : سود خرده‌فروش اینترنتی؛

$E(\pi_{DS})$: میانگین سود خرده‌فروش اینترنتی؛

π_m : سود تولیدکننده؛

π_s : سود تأمین‌کننده؛

π_D : سود توزیع‌کننده؛

$E(\pi_D)$: میانگین سود توزیع‌کننده؛

π_{SC} : سود کل زنجیره تأمین؛

$E(\pi_{SC})$: میانگین سود کل زنجیره تأمین.

تصمیم‌گیری نامتمرکز

با توجه به چهارسطحی بودن مسئله، در تصمیم‌گیری نامتمرکز، می‌بایست سود هر یک از اعضای زنجیره محاسبه شده و مقدار بهینه متغیرهای تصمیم مربوط به هر عضو، بر اساس بیشینه‌سازی سود آن عضو به‌دست آید. در ادامه، سود هر یک از اعضا در حالت تصمیم‌گیری نامتمرکز خواهد آمد.

سود نمایندگی فروش در حالت تقاضای نامحدود

همان طور که پیش از این ذکر شد، سود نمایندگی فروش، ابتدا در حالت تقاضای نامحدود محاسبه می‌شود و در صورتی که جواب موجه وجود نداشته باشد، محاسبات در حالت تقاضای محدود انجام خواهد شد.

قضیه ۱: مقدار سفارش نمایندگی فروش در حالت تقاضای نامحدود برابر با حد بالای Q_2، یعنی n است.

اثبات: برای اثبات قضیه ۱، ابتدا معادله سود و میانگین سود نمایندگی فروش محاسبه می‌شود.

رابطه ۵)
$$\pi_R = \begin{cases} Px_1 - \omega_{d_R} Q_2 - h_2(Q_2 - x_1)\ ;\ x_1 = 0,1,2,\dots,Q_2 \\ PQ_2 - \omega_{d_R} Q_2 - s_2(x_1 - Q_2)\ ;\ x_1 = Q_2+1, Q_2+2,\dots,T \end{cases}$$

رابطه ۶)
$$E(\pi_R) = P\left[\sum_{x_1=0}^{Q_2} x_1 f(x_1) + \sum_{x_1=Q_2+1}^{T} Q_2 f(x_1)\right] - \omega_{d_R} Q_2 - h_2\left[\sum_{x_1=0}^{Q_2}(Q_2 - x_1) f(x_1)\right] - s_2\left[\sum_{x_1=Q_2+1}^{T}(x_1 - Q_2) f(x_1)\right] \rightarrow$$

$$E(\pi_R) = -\frac{T(1+T)S_2 + Q_2^2(P + h_2 + S_2) - Q_2(P + 2PT - 2(1+T)\omega_{d_R} - h_2 + (1+2T)S_2)}{2(1+T)}$$

با محاسبه $E(\pi_R)$، تابع هدف مسئله مشخص شد. محدودیت‌های مسئله به شرح زیر است:

رابطه ۷)
$$\text{S.t.}$$
$$Q_2 = 0,1,2,\dots,n$$
$$p, \omega_{d_R}, h_2, s_2 > 0 \qquad \omega_{d_R} \le p$$

از آنجا که مقدار پارامتریک به‌دست آمده برای مقدار سفارش، از طریق مشتق‌گیری در حالت تقاضای نامحدود، در محدودیت‌های مسئله صدق نمی‌کند، مقدار بهینه Q_2 در این حالت، برابر با حد بالای Q_2، یعنی n است.

آزمون عددی مقدار به‌دست آمده در این حالت، نشان می‌دهد که میانگین سود نمایندگی فروش منفی می‌شود، بنابراین می‌بایست مسئله بار دیگر با فرض محدودیت تقاضا، حل شود.

سود نمایندگی فروش در حالت تقاضای نامحدود

از آنجا که توان تأمین تقاضای نمایندگی فروش بر اساس داده‌های آماری سال‌های گذشته و همچنین، برنامه شرکت در خصوص کسب سهم بازار کفش محدود و برابر n است، در این حالت، محدودیت برای سقف سفارش (تولید تخصیص داده شده به) درگاه نمایندگی فروش، به‌عنوان سقف تقاضا در نظر گرفته شده و مسئله با فرض محدودیت تقاضا حل شده است.

قضیه ۲: مقدار سفارش بهینه نمایندگی فروش در حالت تقاضای محدود عبارت است از:

رابطه ۸)
$$Q_2^* = \frac{P + 2nP - 2(1+n)\omega_{d_R} - h_2 + (1+2n)S_2}{2(P + h_2 + S_2)}$$

اثبات: برای اثبات قضیه ۲ ابتدا معادله سود و میانگین سود نمایندگی فروش محاسبه می‌شود.

رابطه ۹)
$$\pi_R = \begin{cases} Px_1 - \omega_{d_R} Q_2 - h_2(Q_2 - x_1)\ ;\ x_1 = 0,1,2,\dots,Q_2 \\ PQ_2 - \omega_{d_R} Q_2 - s_2(x_1 - Q_2)\ ;\ x_1 = Q_2+1, Q_2+2,\dots,n \end{cases}$$

رابطه ۱۰)
$$E(\pi_R) = P\left[\sum_{x_1=0}^{Q_2} x_1 f(x_1) + \sum_{x_1=Q_2+1}^{n} Q_2 f(x_1)\right] - \omega_{d_R} Q_2 - h_2\left[\sum_{x_1=0}^{Q_2} (Q_2 - x_1) f(x_1)\right] - s_2\left[\sum_{x_1=Q_2+1}^{n} (x_1 - Q_2) f(x_1)\right]$$

$$E(\pi_R) = -\frac{n(1+n)S_2 + Q_2^2(P + h_2 + S_2) - Q_2(P + 2nP - 2(1+n)\omega_{d_R} - h_2 + (1+2n)S_2)}{2(1+n)}$$

با محاسبه $E(\pi_R)$ تابع هدف مسئله مشخص شد. در این حالت نیز محدودیت های مسئله مطابق رابطه ۷ است. با توجه به اینکه معادله سود نمایندگی فروش از نوع درجه دو است و محدودیت سفارش نیز در محدودیت تقاضا اعمال شده است، از طریق مشتق‌گیری می‌توان مقدار بهینه Q_2 را محاسبه کرد (مداک، ۲۰۱۷).

با توجه به اینکه معادله میانگین سود نمایندگی فروش از نوع درجه دو است، می‌بایست مشتق دوم $E(\pi_R)$ نسبت به Q_2 محاسبه شود که اگر مقدار به‌دست آمده منفی باشد، معقر بودن منحنی سود نمایندگی فروش در نقطه به‌دست آمده را نشان می‌دهد. این نقطه، مقدار بهینه سفارش نمایندگی فروش است و سود نمایندگی فروش را به حداکثر می‌رساند (حیدری و همکاران، ۲۰۱۷).

رابطه ۱۱)
$$\frac{\partial^2 E(\pi_R)}{\partial {Q_2}^2} = -\frac{P + h_2 + S_2}{1+n} < 0$$

سود خرده‌فروش اینترنتی، تولیدکننده و تأمین‌کننده

از آنجا که معادله سود نمایندگی فروش در حالت محدود به جواب می‌رسد، معادله سود سایر اعضای زنجیره نیز فقط در این حالت بررسی می‌شود. برای سود خرده‌فروش اینترنتی روابط زیر برقرار است:

رابطه ۱۲)
$$\pi_{Ds} = (P - \omega_{d_{Ds}}) x_3$$

رابطه ۱۳)
$$E(\pi_{Ds}) = (P - \omega_{d_{Ds}}) \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m} x_3\, f(x_3) = \frac{(1-\alpha)m}{2}(P - \omega_{d_{Ds}}) \Rightarrow \omega^*_{d_{Ds}} = ?$$

هر چه $\omega_{d_{Ds}}$ کمتر باشد، مقدار $E(\pi_{Ds_2})$ بیشتر می‌شود و از طرفی $\omega_{d_{Ds}}$ باید در محدوده زیر قرار بگیرد:

رابطه ۱۴)
$$\omega_m + h_1 \le \omega_{d_{Ds}} \le p$$

در خصوص سود تولیدکننده روابط زیر برقرار است:

رابطه ۱۵) $$\pi_m = (\omega_m - \omega_s)(Q_1 + Q_2)$$

رابطه ۱۶) $$\max\pi_m = (\omega_m - \omega_s)\cdot(Q_1^* + Q_2^*) \Rightarrow \omega_m^* = ?$$

هر چه ω_m بیشتر باشد، مقدار π_m بیشتر می‌شود و از طرفی ω_m باید در محدوده زیر قرار بگیرد:

رابطه ۱۷) $$\omega_s \leq \omega_m \leq \omega_{d_R} \leq p$$

و در خصوص سود تأمین‌کننده روابط زیر برقرار است:

رابطه ۱۸) $$\pi_s = (\omega_s - c)(Q_1 + Q_2)$$

رابطه ۱۹) $$\max\pi_s = (\omega_s - c)\cdot(Q_1^* + Q_2^*) \Rightarrow \omega_s^* = ?$$

هر چه ω_s بیشتر باشد، مقدار π_s بیشتر می‌شود و از طرفی ω_s باید در محدوده زیر قرار بگیرد:

رابطه ۲۰) $$c \leq \omega_s \leq \omega_m$$

سود توزیع‌کننده

برای محاسبه π_D، در حالتی که مجموع تقاضا در درگاه فروش اینترنتی و تلویزیونی بیش از Q_1 باشد، میزان فروش حداکثر به مقدار Q_1 خواهد بود، بنابراین می‌توان این طور در نظر گرفت که α درصد از Q_1 با قیمت p از طریق درگاه فروش تلویزیونی فروخته می‌شود و $(1 - \alpha\%)$ با قیمت $\omega_{d_{Ds}}$ در اختیار درگاه فروش اینترنتی قرار گرفته و سپس از طریق درگاه فروش اینترنتی با قیمت p به فروش می‌رسد. شایان ذکر است که مقدار α در ابتدای دوره از طریق داده‌های آماری دوره‌های پیشین، پیش‌بینی‌پذیر خواهد بود.

قضیه ۳: مقدار بهینه سفارش توزیع‌کننده عبارت است از:

رابطه ۲۱)
$$\begin{aligned} Q_1^* = {} & (-3\,P(1 + (-3 + \alpha)\alpha) + 3(\omega_{d_{Ds}}(-2 + \alpha)(-1 + \alpha) + h_1 + S_1) \\ & - \frac{1}{2}\sqrt{(36\big(\omega_{d_{Ds}}(-2 + \alpha)(-1 + \alpha) - P(1 + (-3 + \alpha)\alpha) + h_1 + S_1\big)^2} \\ & + 12(-\omega_{d_{Ds}}(2 - 3\,\alpha + \alpha^3) + P(1 - 3\,\alpha + 2\alpha^3) + (-1 + \alpha^3)h_1 + (-1 \\ & + \alpha^3)S_1)(6(1 + m)\omega_m(1 + m - m\alpha) - \omega_{d_{Ds}}(-1 + \alpha)(-2 + 3\,m(-3 \\ & + \alpha + m(-1 + \alpha^2))) + P(-2 + \alpha(-1 + 3\,m(-3 + \alpha + m(-1 + \alpha^2)))) \\ & + (2 + \alpha)h_1 - (4 + 3\,m(3 + m))S_1 + \alpha(1 + 3\,m(1 \\ & + m\alpha))S_1))) \,/\, (3(-\omega_{d_{Ds}}(2 - 3\,\alpha + \alpha^3) + P(1 - 3\,\alpha + 2\alpha^3) + (-1 \\ & + \alpha^3)h_1 + (-1 + \alpha^3)S_1)) \end{aligned}$$

اثبات: برای اثبات قضیه ۳، ابتدا معادله سود و میانگین سود توزیع‌کننده محاسبه می‌شود.

رابطه ۲۲)
$$\pi_D=\begin{cases}\omega_{d_R}Q_2+\omega_{d_{Ds}}x_3+px_2-MC-\omega_m(Q_1+Q_2)-h_1(Q_1-x_2-x_3); \\ x_2+x_3=0,1,2,\dots,Q_1\\ \\ \omega_{d_R}Q_2+\omega_{d_{Ds}}(1-\alpha)Q_1+p\alpha Q_1-MC-\omega_m(Q_1+Q_2)+S_1(Q_1-x_2-x_3); \\ x_2+x_3=Q_1+1,Q_1+2,\dots,m\end{cases}$$

رابطه ۲۳)
$$E(\pi_D)=\omega_{d_R}Q_2+\omega_{d_{Ds}}[\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1}\sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3}x_3\,f(x_2,x_3)+\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m}\sum_{x_2=0}^{m-x_3}(1-\alpha)Q_1\,f(x_2,x_3)$$
$$-\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1}\sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3}(1-\alpha)Q_1\,f(x_2,x_3)]$$
$$+P[\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1}\sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3}x_2\,f(x_2,x_3)+\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m}\sum_{x_2=0}^{m-x_3}\alpha Q_1\,f(x_2,x_3)-\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1}\sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3}\alpha Q_1\,f(x_2,x_3)]$$
$$-MC-\omega_m(Q_1+Q_2)-h_1\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1}\sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3}(Q_1-x_2-x_3)\,f(x_2,x_3)$$
$$+s_1[\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m}\sum_{x_2=0}^{m-x_3}(Q_1-x_2-x_3)\,f(x_2,x_3)-\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1}\sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3}(Q_1-x_2-x_3)\,f(x_2,x_3)]\rightarrow$$
$$E(\pi_D)=\frac{1}{6(1+m)(-1+m(-1+\alpha))}(3Q_1^2(\omega_{d_{Ds}}(-2+\alpha)(-1+\alpha)-P(1+(-3+\alpha)\alpha)+h_1+S_1)+Q_1^3(P(-1+3\alpha-2\alpha^3)+\omega_{d_{Ds}}(2-3\alpha+\alpha^3)-(-1+\alpha^3)h_1-(-1+\alpha^3)S_1)+Q_1(6(1+m)\omega_m(1+m-m\alpha)-\omega_{d_{Ds}}(-1+\alpha)(-2+3m(-3+\alpha+m(-1+\alpha^2)))+P(-2+\alpha(-1+3m(-3+\alpha+m(-1+\alpha^2))))+(2+\alpha)h_1-(4+3m(3+m))S_1+\alpha(1+3m(1+m\alpha))S_1)+(-1+m(-1+\alpha))(-6(1+m)(MC+(-\omega_{d_R}+\omega_m)Q_2)+m(-4+\alpha+m(-2+(-2+\alpha)\alpha))S_1))$$

از آنجا که اختیار تعیین Q_2 با نمایندگی فروش است، Q_2 به‌دست آمده از معادله $E(\pi_R)$ (رابطه ۸)، مـی‌بایسـت در رابطه ۲۳ جای‌گذاری شود، ضمن آنکه $E(\pi_D)$ محاسبه شده، در واقع تابع هدف است که باید با توجه به محدودیت‌های زیر به حداکثر برسد.

رابطه ۲۴)
S.t.
$$Q_1=0,1,2,\dots,m$$
$$p,\omega_{d_R},\omega_m,h_1,s_1,MC>0$$
$$\omega_m+h_1\le\omega_{d_{Ds}}\le p$$
$$\omega_m\le\omega_{d_R}\le p$$

در این بخش نیز مانند روش محاسبه Q_2، با توجه به اینکه محدودیت سفارش در محدودیت تقاضا اعمال شده است، از طریق مشتق‌گیری می‌توان مقدار بهینه Q_1 را محاسبه کرد.

با توجه به اینکه معادله میانگین سود توزیع‌کننده از درجه سه است، می‌بایست مشتق دوم $E(\pi_D)$ نسبت به Q_1 محاسبه شود که اگر مقدار به‌دست آمده منفی باشد، نشان‌دهنده تقعر منحنی است و صحت قضیه فوق را ثابت می‌کند.

رابطه ۲۵)
$$\frac{\partial^2 E(\pi_D)}{\partial {Q_1}^2} = (\omega_{d_{Ds}}(-2+\alpha)(-1+\alpha) - P(1+(-3+\alpha)\alpha) + h_1 + S_1 + Q_1(P(-1+3\,\alpha - 2\alpha^3) + \omega_{d_{Ds}}(2-3\,\alpha+\alpha^3) - (-1+\alpha^3)h_1 - (-1+\alpha^3)S_1))/((1+m)(-1+m(-1+\alpha))) < 0$$

آزمون عددی مقدار فوق، کوچک‌تر از صفر است که ثابت می‌کند تابع هدف مقعر بوده و مقدار به‌دست آمده برای Q_1 مقدار بهینه است و میانگین سود توزیع‌کننده را به حداکثر می‌رساند.

تصمیم‌گیری متمرکز

در تصمیم‌گیری متمرکز، هدف، حداکثرکردن سود کل زنجیره تأمین است و مقدار بهینه متغیرهای تصمیم بر اساس حداکثرسازی سود زنجیره به‌دست می‌آید. از آنجا که در تصمیم‌گیری نامتمرکز، متغیرهای تصمیم در حالت تقاضای محدود جواب داشتند، در تصمیم‌گیری متمرکز نیز فقط حالت تقاضای محدود بررسی می‌شوند و جواب‌های بهینه در این حالت محاسبه خواهند شد.

قضیه ٤: مقدار بهینه سفارش نمایندگی فروش و توزیع‌کننده در حالت تصمیم‌گیری متمرکز عبارت‌اند از:

رابطه ۲۶)
$$Q_{1\,sc}^* = \frac{1}{3(-1+\alpha^3)(P+h_1+S_1)}(3\,P + 3(h_1+S_1) - \sqrt{3}\sqrt{((P+h_1+S_1)(3(P+h_1+S_1) - (-1+\alpha^3)(6\,C(1+m)(-1+m(-1+\alpha)) - P(-4+\alpha+6\,m(-2+m(-1+\alpha)+\alpha)) - (2+\alpha)h_1 - (-4+\alpha+3\,m(-3+\alpha+m(-1+\alpha^2)))S_1))))$$

رابطه ۲۷)
$$Q_{2\,sc}^* = \frac{-4\,C(1+m)(1+n) + P(2+4\,n+m(3+4\,n-\alpha)) - (2+m+m\alpha)h_2 + (1+2\,n)(2+m+m\alpha)S_2}{2(2+m+m\alpha)(P+h_2+S_2)}$$

اثبات: برای اثبات قضیه ۴ ابتدا معادله سود و میانگین سود زنجیره تأمین محاسبه می‌شود.

رابطه ۲۸)

$$\pi_{SC}=\begin{cases}(P-C)(Q_1+Q_2)-(P+h_1)(Q_1-x_2-x_3)-(P+h_2)(Q_2-x_1)-MC\\ \quad x_1=0,1,2,\dots,Q_2\ ;\ x_2+x_3=0,1,2,\dots,Q_1\\ (P-C)(Q_1+Q_2)+S_1(Q_1-x_2-x_3)+S_2(Q_2-x_1)-MC\\ \quad x_1=Q_2+1,\dots,n\ ;\ x_2+x_3=Q_1+1,\dots,m\\ (P-C)(Q_1+Q_2)-(P+h_2)(Q_2-x_1)+S_1(Q_1-x_2-x_3)-MC\\ \quad x_1=0,1,2,\dots,Q_2\ ;\ x_2+x_3=Q_1+1,\dots,m\\ (P-C)(Q_1+Q_2)-(P+h_1)(Q_1-x_2-x_3)+S_2(Q_2-x_1)-MC\\ \quad x_1=Q_2+1,\dots,n\ ;\ x_2+x_3=0,1,2,\dots,Q_1\end{cases}$$

رابطه ۲۹)

$$\begin{aligned}E(\pi_{SC})=(P-C)(Q_1+Q_2)-MC-\\ (P+h_1)\Bigg[\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1}\sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3}\sum_{x_1=0}^{Q_2}(Q_1-x_2-x_3)f(x_1,x_2,x_3)\\ +\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1}\sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3}\sum_{x_1=Q_2+1}^{n}(Q_1-x_2-x_3)f(x_1,x_2,x_3)\Bigg]\\ -(P+h_2)\Bigg[\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m}\sum_{x_2=0}^{m-x_3}\sum_{x_1=0}^{Q_2}(Q_2-x_1)f(x_1,x_2,x_3)\Bigg]\\ +S_1\Bigg[\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m}\sum_{x_2=0}^{m-x_3}\sum_{x_1=0}^{Q_2}(Q_1-x_2-x_3)f(x_1,x_2,x_3)\\ -\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1}\sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3}\sum_{x_1=0}^{Q_2}(Q_1-x_2-x_3)f(x_1,x_2,x_3)\\ +\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m}\sum_{x_2=0}^{m-x_3}\sum_{x_1=Q_2+1}^{n}(Q_1-x_2-x_3)f(x_1,x_2,x_3)\\ -\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1}\sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3}\sum_{x_1=Q_2+1}^{n}(Q_1-x_2-x_3)f(x_1,x_2,x_3)\Bigg]\\ +S_2\Bigg[\sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m}\sum_{x_2=0}^{m-x_3}\sum_{x_1=Q_2+1}^{n}(Q_2-x_1)f(x_1,x_2,x_3)\Bigg]\rightarrow\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E(\pi_{SC})=-\frac{1}{12(1+m)(1+n)\big(-1+m(-1+\alpha)\big)}(-6(1+n)Q_1^2(P+h_1+S_1)+2(1\\ +n)(-1+\alpha^3)Q_1^3(P+h_1+S_1)+2(1+n)Q_1(6\,C(1+m)(-1+m(-1\\ +\alpha))-P(-4+\alpha+6\,m(-2+m(-1+\alpha)+\alpha))-(2+\alpha)h_1-(-4\\ +\alpha+3\,m(-3+\alpha+m(-1+\alpha^2)))S_1)+(-1+m(-1+\alpha))(3(2+m\\ +m\alpha)Q_2^2(P+h_2+S_2)+(1+n)(12(1+m)MC-2\,m(-4+\alpha\\ +m(-2+(-2+\alpha)\alpha))S_1+3\,n(2+m+m\alpha)S_2)+3Q_2(4\,C(1+m)(1\\ +n)-P(2+4n+m(3+4\,n-\alpha))+(2+m+m\alpha)h_2-(1+2\,n)(2\\ +m+m\alpha)S_2)))\end{aligned}$$

مشابه محاسبات انجام شده در حالت تصمیم‌گیری نامتمرکز، برای $E(\pi_{SC})$ نیـز از روش مشـتق‌گیـری اسـتفاده و مقادیر سفارش بهینه محاسبه می‌شود.

با توجه به اینکه معادله $E(\pi_{SC})$، معادله دو مجهولی از نوع درجه دو است، می‌بایست ماتریس هسین تشکیل و معین مثبت یا منفی بودن آن بررسی شود (مداک، ۲۰۱۷). در صورتی که این ماتریس به ازای مقادیر بهینه، معین یا نیمه‌معین منفی باشد، تقعر تابع هدف و حداکثر بودن نقطه به‌دست آمده را نشان می‌دهد.

رابطه ۳۰)
$$\frac{\partial^2_{E(\pi_{SC})}}{\partial_{Q_1}{}^2} = -\frac{(-1+(-1+\alpha^3)Q_1)(P+h_1+S_1)}{(1+m)(-1+m(-1+\alpha))}$$

رابطه ۳۱)
$$\frac{\partial^2_{E(\pi_{SC})}}{\partial_{Q_2}{}^2} = -\frac{(2+m+m\alpha)(P+h_2+S_2)}{2(1+m)(1+n)}$$

رابطه ۳۲)
$$\text{Hessian Matrix} = \begin{bmatrix} -\frac{(-1+(-1+\alpha^3)Q_1)(P+h_1+S_1)}{(1+m)(-1+m(-1+\alpha))} & 0 \\ 0 & -\frac{(2+m+m\alpha)(P+h_2+S_2)}{2(1+m)(1+n)} \end{bmatrix}$$

از آنجا که درایه‌های ماتریس هسین فوق، منفی یا صفر است، این ماتریس، معین منفی است و مقادیر به‌دست آمده برای Q_1 و Q_2 بهینه است.

نتایج عددی و تحلیل حساسیت

به‌منظور ارزیابی عملکرد و قابلیت مدل ارائه شده در این پژوهش، برای هر یک از قضایای بخش سوم، ۱۰ آزمایش عددی بر مبنای داده‌های آماری واقعی موجود در شرکت‌های عضو زنجیره تأمین انجام شده است که در این بخش ارائه می‌شود. ۵ آزمایش اول با فرض افزایش قیمت‌های فروش و عمده‌فروشی و ۵ آزمایش دوم با فرض افزایش توان تولید انجام شده است. در انتها، روی پارامترهای مؤثر بر سود اعضا و سود کل زنجیره تأمین، تحلیل حساسیت انجام خواهد شد.

تصمیم‌گیری نامتمرکز

در این بخش، نتایج آزمایش‌های عددی انجام شده در حالت تصمیم‌گیری نامتمرکز، در قالب جدول و نمودار ارائه می‌شود.

سود نمایندگی فروش در حالت تقاضای نامحدود

نتایج آزمایش‌های عددی انجام شده برای سود نمایندگی فروش در حالت تقاضای نامحدود به شرح جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲. آزمایش عددی مقدار Q_2 در حالت تقاضای نامحدود

	قیمت فروش	قیمت خرید نمایندگی فروش	هزینه انبار نمایندگی فروش	هزینه فرصت نمایندگی فروش	حد سفارش نمایندگی	مقدار سفارش و میانگین سود نمایندگی فروش	
	P	WdR	h_2	S_2	n	Q_2	EPR
Case ۱	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	−۱۵۰,۷۵۷,۰۰۰
Case ۲	۲۰۰	۱۵۰	۱	۱۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	−۲۹۱,۵۰۷,۰۰۰
Case ۳	۳۰۰	۲۲۰	۱	۱۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	−۴۳۲,۲۵۷,۰۰۰

Case ۴	۴۰۰	۳۰۰	۱	۲۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	−۵۸۳,۰۰۷,۰۰۰
Case ۵	۵۰۰	۳۸۰	۱	۲۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	−۷۳۳,۷۵۷,۰۰۰
Case ۶	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	−۱۵۰,۷۵۷,۰۰۰
Case ۷	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۲,۰۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	−۱۲۸,۰۲۹,۰۰۰
Case ۸	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۳,۰۰۰,۰۰۰	۳,۰۰۰,۰۰۰	−۱۰۶,۸۱۴,۰۰۰
Case ۹	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۴,۰۰۰,۰۰۰	۴,۰۰۰,۰۰۰	−۸۷,۱۱۴,۳۰۰
Case ۱۰	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	−۶۸,۹۲۸,۶۰۰

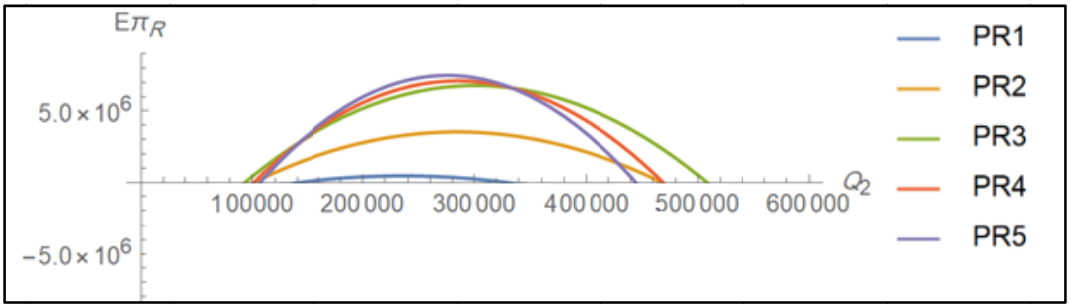
همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تغییر پارامترهای مسئله، در مثبت‌شدن سود نمایندگی فروش تأثیری ندارد و در همه حالت‌ها، مقدار سفارش در کران بالای Q_2 قرار گرفته است. بنابراین با توجه به منفی‌شدن میانگین سود خرده‌فروش، می‌بایست مسئله با دیگر با فرض محدودیت تقاضا، حل شود.

سود نمایندگی فروش در حالت تقاضای محدود

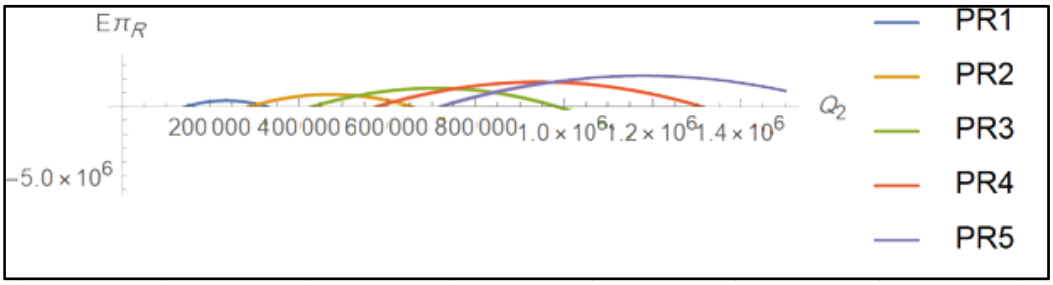
در حالت تقاضای محدود نیز، آزمایش عددی انجام شد که نتایج آن در جدول‌های ۳ و ۴ و شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۳. آزمایش عددی مقدار Q_2 در حالت تقاضای محدود با فرض افزایش قیمت‌ها و ثابت ماندن کران

	قیمت فروش	قیمت خرید نمایندگی فروش	هزینه انبار نمایندگی فروش	هزینه فرصت نمایندگی فروش	حد سفارش نمایندگی	مقدار بهینه سفارش و میانگین سود نمایندگی فروش	
	P	WdR	h_2	S_2	n	Q_2	EPR
PR ۱	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۳۵,۸۴۹	۴۴۸,۱۰۴
PR ۲	۲۰۰	۱۵۰	۱	۱۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۸۴,۳۶۰	۳,۵۳۰,۷۸۰
PR ۳	۳۰۰	۲۲۰	۱	۱۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۳۰۰,۶۳۳	۶,۷۸۰,۰۳۰
PR ۴	۴۰۰	۳۰۰	۱	۲۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۸۵,۰۳۵	۷,۱۰۲,۰۹۰
PR ۵	۵۰۰	۳۸۰	۱	۲۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۷۵,۶۶۵	۷,۴۸۵,۶۹۰



شکل ۲. تغییرات میانگین سود نمایندگی فروش بر حسب Q_2 در حالت تقاضای محدود با فرض تغییر پارامترهای مربوط به قیمت



شکل ۳. تغییرات میانگین سود نمایندگی فروش بر حسب Q_2 در حالت تقاضای محدود با فرض تغییر کران

جدول ٤. آزمایش عددی مقدار Q_2 در حالت تقاضای محدود با فرض ثابت ماندن قیمت‌ها و افزایش کران

	قیمت فروش	قیمت خرید نمایندگی	هزینه انبار نمایندگی فروش	هزینه فرصت نمایندگی فروش	حد سفارش نمایندگی	مقدار بهینه سفارش و میانگین سود نمایندگی فروش	
	P	WdR	h_2	S_2	n	Q_2	EPR
PR ۱	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۳۵,۸۴۹	۴۴۸,۱۰۴
PR ۲	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۲,۰۰۰,۰۰۰	۴۷۱,۶۹۸	۸۹۶,۲۱۷
PR ۳	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۳,۰۰۰,۰۰۰	۷۰۷,۵۴۷	۱,۳۴۴,۳۳۰
PR ۴	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۴,۰۰۰,۰۰۰	۹۴۳,۳۹۶	۱,۷۹۲,۴۴۰
PR ۵	۱۰۰	۸۰	۱	۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۱۷۹,۲۵۰	۲,۲۴۰,۵۶۰

سود توزیع‌کننده

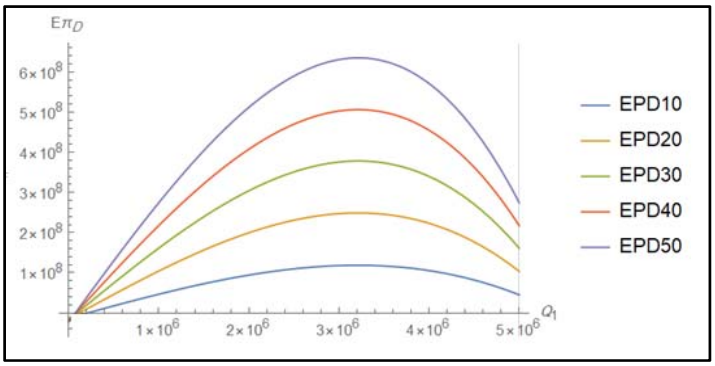
آزمون عددی مربوط به سود توزیع‌کننده نیز، به ازای تغییر پارامترهای مربوط به قیمت و همچنین، افـزایش تـوان تولیـد انجام شد که نتایج آن در جدول‌های ۵ و ۶ و شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود.

جدول ۵. آزمون عددی مقدار Q_2 با فرض افزایش قیمت‌ها و ثابت ماندن کران‌ها

	قیمت فروش	قیمت خرید نمایندگی فروش	قیمت خرید خرده فروش اینترنتی	قیمت خرید توزیع کننده	هزینه بازاریابی تلویزیونی	هزینه انبار توزیع کننده	هزینه انبار نمایندگی فروش	هزینه فرصت توزیع کننده
	P	WdR	WdDs	Wm	MC	h_1	h_2	s_1
EPD ۱۰	۱۰۰	۸۰	۸۵	۴۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵
EPD ۲۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۷۰	۸۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۱۰
EPD ۳۰	۳۰۰	۲۲۰	۲۵۰	۱۲۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۱۵
EPD ۴۰	۴۰۰	۳۰۰	۳۲۰	۱۶۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۲۰
EPD ۵۰	۵۰۰	۳۸۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۲۵

	هزینه فرصت نمایندگی فروش	حد سفارش نمایندگی فروش	حد سفارش توزیع کننده	سهم درگاه فروش تلویزیونی از سفارش توزیع کننده	مقادیر بهینه سفارش و میانگین سود توزیع کننده

	s_2	n	m	α	Q_1	Q_2	EPD
EPD ۱۰	۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۹۵	۳,۲۰۴,۴۹۰	۲۳۵,۸۴۹	۱۱۸,۶۳۵,۰۰۰
EPD ۲۰	۱۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۹۵	۳,۲۱۲,۱۳۰	۲۸۴,۳۶۰	۲۴۸,۹۳۶,۰۰۰
EPD ۳۰	۱۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۹۵	۳,۲۱۳,۸۹۰	۳۰۰,۶۳۳	۳۷۸,۳۰۵,۰۰۰
EPD ۴۰	۲۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۹۵	۳,۲۱۳,۵۸۰	۲۸۵,۰۳۵	۵۰۶,۱۱۷,۰۰۰
EPD ۵۰	۲۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۹۵	۳,۲۱۴,۳۵۰	۲۷۵,۶۶۵	۶۳۵,۰۴۲,۰۰۰



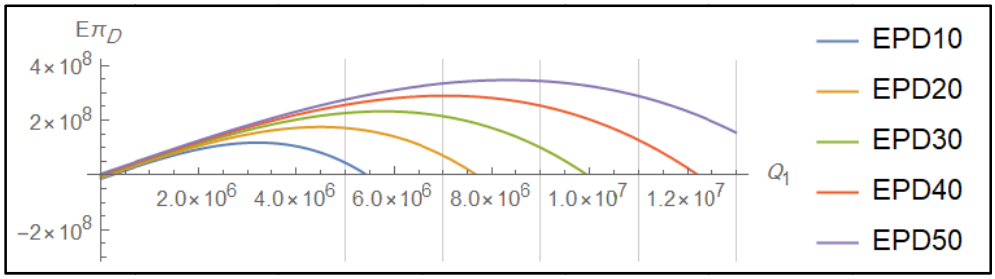
شکل ٤. تغییرات میانگین سود توزیع کننده بر حسب Q_1 با فرض تغییر پارامترهای مربوط به قیمت

جدول ٦. آزمون عددی مقدار Q_1 با فرض ثابت‌ماندن قیمت‌ها و افزایش کران‌ها

	P	WdR	WdDs	Wm	MC	h_1	h_2	s_1
	قیمت فروش	قیمت خرید نمایندگی فروش	قیمت خرید خرده‌فروش اینترنتی	قیمت خرید توزیع کننده	هزینه بازاریابی تلویزیونی	هزینه انبار توزیع کننده	هزینه انبار نمایندگی فروش	هزینه فرصت توزیع کننده
EPD ۱۰	۱۰۰	۸۰	۸۵	۴۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵
EPD ۲۰	۱۰۰	۸۰	۸۵	۴۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵
EPD ۳۰	۱۰۰	۸۰	۸۵	۴۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵
EPD ۴۰	۱۰۰	۸۰	۸۵	۴۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵
EPD ۵۰	۱۰۰	۸۰	۸۵	۴۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵

	هزینه فرصت نمایندگی فروش	حد سفارش نمایندگی فروش	حد سفارش توزیع کننده	سهم درگاه فروش تلویزیونی از سفارش توزیع کننده	مقادیر بهینه سفارش و میانگین سود توزیع کننده		
	s_2	n	m	α	Q_1	Q_2	EPD
EPD ۱۰	۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۹۵	۳,۲۰۴,۴۹۰	۲۳۵,۸۴۹	۱۱۸,۶۳۵,۰۰۰
EPD ۲۰	۵	۲,۰۰۰,۰۰۰	۷,۰۰۰,۰۰۰	۰/۹۵	۴,۴۸۶,۲۸۰	۴۷۱,۶۹۸	۱۷۵,۷۵۰,۰۰۰
EPD ۳۰	۵	۳,۰۰۰,۰۰۰	۹,۰۰۰,۰۰۰	۰/۹۵	۵,۷۶۸,۰۸۰	۷۰۷,۵۴۷	۲۳۲,۸۶۴,۰۰۰
EPD ۴۰	۵	۴,۰۰۰,۰۰۰	۱۱,۰۰۰,۰۰۰	۰/۹۵	۷,۰۴۹,۸۷۰	۹۴۳,۳۹۶	۲۸۹,۹۷۹,۰۰۰

EPD ۵۰	۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱۳,۰۰۰,۰۰۰	۰/۹۵	۸,۳۳۱,۶۷۰	۱,۱۷۹,۲۵۰	۳۴۷,۰۹۴,۰۰۰



شکل ۵. تغییرات میانگین سود توزیع کننده بر حسب Q_1 با فرض تغییر کران‌ها

سود خرده‌فروش اینترنتی، تولیدکننده و تأمین‌کننده

حال با توجه به محاسبات انجام شده در خصوص سود توزیع‌کننده و تعیین مقدار بهینه Q_1، آزمون عددی مربوط به سود خرده‌فروش اینترنتی، سود تولیدکننده و سود تأمین‌کننده انجام می‌شود. در جدول‌های ۷ و ۸ نتایج آزمون عددی درج شده است.

جدول ۷. آزمون عددی میانگین سود خرده‌فروش اینترنتی، تولیدکننده و تأمین‌کننده با فرض افزایش قیمت‌ها و ثابت‌ماندن کران‌ها

	P	WdDs	Wm	Ws	C	m	(۱-α)	Q_1	Q_2	EPDS	PM	PS
	قیمت فروش	قیمت خرید خرده فروش اینترنتی	قیمت خرید توزیع کننده	قیمت خرید تولید کننده	قیمت خرید تأمین کننده	حد سفارش توزیع کننده	حداکثر سهم خرده فروش اینترنتی از محصول	مقدار بهینه سفارش توزیع کننده	مقدار بهینه سفارش نمایندگی فروش	میانگین سود خرده فروش اینترنتی	میانگین سود تولیدکننده	میانگین سود تأمین کننده
Case ۱	۱۰۰	۸۵	۴۰	۲۰	۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۳,۲۰۴,۴۹۰	۲۳۵,۸۴۹	۱,۸۷۵,۰۰۰	۶۸,۸۰۶,۷۸۰	۵۱,۶۰۵,۰۸۵
Case ۲	۲۰۰	۱۷۰	۸۰	۴۰	۱۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۳,۲۱۲,۱۳۰	۲۸۴,۳۶۰	۳,۷۵۰,۰۰۰	۱۳۹,۸۵۹,۶۰۰	۱۰۴,۸۹۴,۷۰۰
Case ۳	۳۰۰	۲۵۰	۱۲۰	۶۰	۱۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۳,۲۱۳,۸۹۰	۳۰۰,۶۳۳	۶,۲۵۰,۰۰۰	۲۱۰,۸۷۱,۳۸۰	۱۵۸,۱۵۳,۵۳۵
Case ۴	۴۰۰	۳۲۰	۱۶۰	۸۰	۲۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۳,۲۱۳,۵۸۰	۲۸۵,۰۳۵	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۷۹,۸۸۹,۲۰۰	۲۰۹,۹۱۶,۹۰۰
Case ۵	۵۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۳,۲۱۴,۳۵۰	۲۷۵,۶۶۵	۱۲,۵۰۰,۰۰۰	۳۴۹,۰۰۱,۵۰۰	۲۶۱,۷۵۱,۱۲۵

جدول ۸. آزمون عددی میانگین سود خرده‌فروش اینترنتی، تولیدکننده و تأمین‌کننده با فرض ثابت‌ماندن قیمت‌ها و افزایش کران‌ها

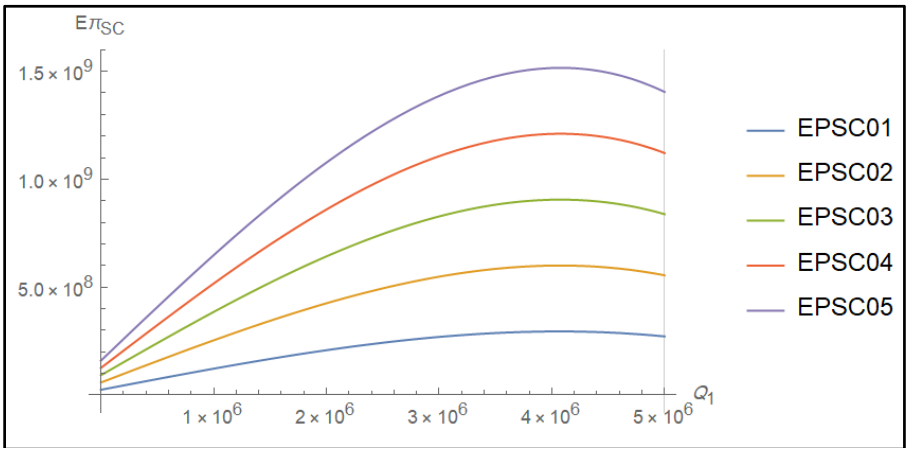
	قیمت فروش	قیمت خرید توزیع کننده خرده فروش اینترنتی	قیمت خرید توزیع کننده	قیمت خرید تولید کننده	قیمت خرید تأمین کننده	حد سفارش توزیع کننده	حداکثر سهم خرده فروش اینترنتی از محصول	مقدار بهینه سفارش توزیع کننده	مقدار بهینه سفارش نمایندگی فروش	میانگین سود خرده فروش اینترنتی	میانگین سود تولیدکننده	میانگین سود تأمین کننده
	P	WdDs	Wm	Ws	C	m	(۱-α)	Q_1	Q_2	EPDS	PM	PS
Case ۶	۱۰۰	۸۵	۴۰	۲۰	۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۳,۲۰۴,۴۹۰	۲۳۵,۸۴۹	۱,۸۷۵,۰۰۰	۶۸,۸۰۶,۷۸۰	۵۱,۶۰۵,۰۸۵
Case ۷	۱۰۰	۸۵	۴۰	۲۰	۵	۷,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۴,۴۸۶,۲۸۰	۴۷۱,۶۹۸	۲,۶۲۵,۰۰۰	۹۹,۱۵۹,۵۶۰	۷۴,۳۶۹,۶۷۰
Case ۸	۱۰۰	۸۵	۴۰	۲۰	۵	۹,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۵,۷۶۸,۰۸۰	۷۰۷,۵۴۷	۳,۳۷۵,۰۰۰	۱۲۹,۵۱۲,۵۴۰	۹۷,۱۳۴,۴۰۵
Case ۹	۱۰۰	۸۵	۴۰	۲۰	۵	۱۱,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۷,۰۴۹,۸۷۰	۹۴۳,۳۹۶	۴,۱۲۵,۰۰۰	۱۵۹,۸۶۵,۳۲۰	۱۱۹,۸۹۸,۹۹۰
Case ۱۰	۱۰۰	۸۵	۴۰	۲۰	۵	۱۳,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۸,۳۳۱,۶۷۰	۱,۱۷۹,۲۵۰	۴,۸۷۵,۰۰۰	۱۹۰,۲۱۸,۴۰۰	۱۴۲,۶۶۳,۸۰۰

تصمیم‌گیری متمرکز

در خصوص مدل مربوط به تصمیم‌گیری متمرکز نیز، آزمون عددی به ازای تغییر پارامترهای مربوط به قیمت و همچنین، افزایش کران‌ها انجام شد که نتایج آن در جدول‌های ۹ و ۱۰ و شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود.

جدول ۹. آزمون عددی مقدار Q_1 و Q_2 با فرض افزایش قیمت‌ها و ثابت‌ماندن کران‌ها

	قیمت فروش	قیمت خرید تأمین کننده	هزینه بازاریابی تلویزیونی	هزینه انبار توزیع کننده	هزینه انبار نمایندگی فروش	هزینه فرصت توزیع کننده	هزینه فرصت نمایندگی فروش	حد سفارش نمایندگی فروش	حد سفارش توزیع کننده	حداکثر سهم خرده فروش اینترنتی از محصول	مقادیر بهینه سفارش و میانگین سود زنجیره تأمین در حالت متمرکز		
	P	C	MC	h_1	h_2	s_1	s_2	n	m	(۱-α)	Q_1	Q_2	EPSC
EPSC۰۱	۱۰۰	۵	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵	۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۴,۰۶۳,۹۴۰	۹۶۶,۳۷۷	۲۹۳,۹۲۲,۰۰۰
EPSC۰۲	۲۰۰	۱۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۱۰	۱۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۴,۰۷۳,۵۶۰	۹۷۰,۹۵۷	۵۹۹,۵۸۳,۰۰۰
EPSC۰۳	۳۰۰	۱۵	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۱۵	۱۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۴,۰۷۶,۷۹۰	۹۷۲,۴۹۳	۹۰۵,۲۴۷,۰۰۰
EPSC۰۴	۴۰۰	۲۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۲۰	۲۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۴,۰۸۸,۴۰۰	۹۷۳,۲۶۳	۱,۲۱۰,۹۱۰,۰۰۰
EPSC۰۵	۵۰۰	۲۵	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۲۵	۲۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۴,۰۷۹,۳۷۰	۹۷۳,۷۲۶	۱,۵۱۶,۵۸۰,۰۰۰

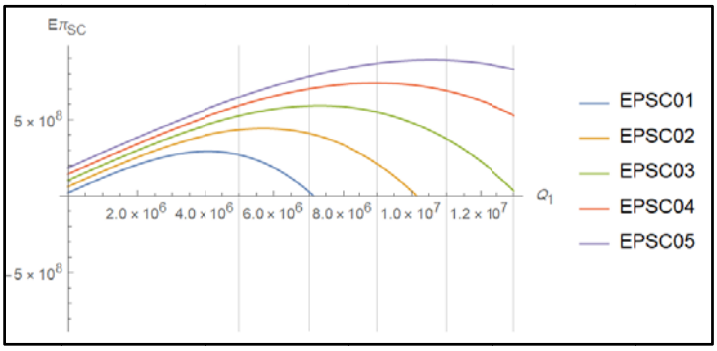


شکل ٦. تغییرات میانگین سود زنجیره تأمین بر حسب Q_1 با فرض Q_2 مشخص و تغییر پارامترهای مربوط به قیمت

جدول ۱۰. آزمون عددی مقدار Q_1 و Q_2 با فرض ثابت‌ماندن قیمت‌ها و افزایش کران‌ها

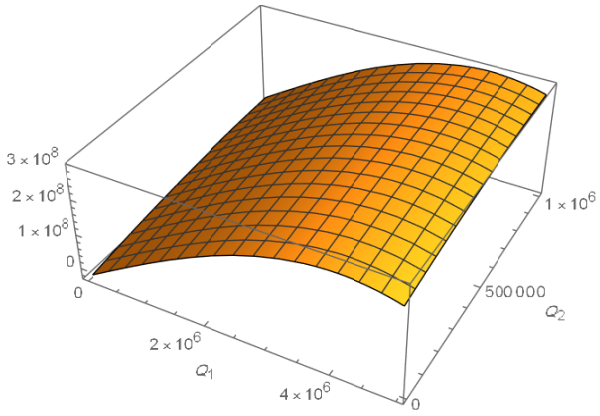
	قیمت فروش	قیمت خرید تأمین کننده	هزینه بازاریابی تلویزیونی	هزینه انبار توزیع کننده	هزینه انبار نمایندگی فروش	هزینه فرصت توزیع کننده	هزینه فرصت نمایندگی فروش	حد سفارش نمایندگی فروش
	P	C	MC	h_1	h_2	s_1	s_2	n
EPSC۰۱	۱۰۰	۵	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵	۵	۱,۰۰۰,۰۰۰
EPSC۰۲	۱۰۰	۵	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵	۵	۲,۰۰۰,۰۰۰
EPSC۰۳	۱۰۰	۵	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵	۵	۳,۰۰۰,۰۰۰
EPSC۰۴	۱۰۰	۵	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵	۵	۴,۰۰۰,۰۰۰
EPSC۰۵	۱۰۰	۵	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	۱	۵	۵	۵,۰۰۰,۰۰۰

	حد سفارش توزیع کننده	حداکثر سهم خرده فروش اینترنتی از محصول	مقادیر بهینه سفارش و میانگین سود زنجیره تأمین در حالت متمرکز		
	m	(۱-α)	Q_1	Q_2	EPSC
EPSC۰۱	۵,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۴,۰۶۳,۹۴۰	۹۶۶,۳۷۷	۲۹۳,۹۲۲,۰۰۰
EPSC۰۲	۷,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۵,۶۸۹,۵۲۰	۱,۹۳۲,۷۵۰	۴۴۲,۹۸۴,۰۰۰
EPSC۰۳	۹,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۷,۳۱۵,۱۰۰	۲,۸۹۹,۱۳۰	۵۹۲,۰۴۵,۰۰۰
EPSC۰۴	۱۱,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۸,۹۴۰,۶۸۰	۳,۸۶۵,۵۱۰	۷۴۱,۱۰۶,۰۰۰
EPSC۰۵	۱۳,۰۰۰,۰۰۰	۰/۰۵	۱۰,۵۶۶,۳۰۰	۴,۸۳۱,۸۸۰	۸۹۰,۱۶۸,۰۰۰



شکل ۷. تغییرات میانگین سود زنجیره تأمین بر حسب Q_1 با فرض Q_2 مشخص و تغییر کران‌ها

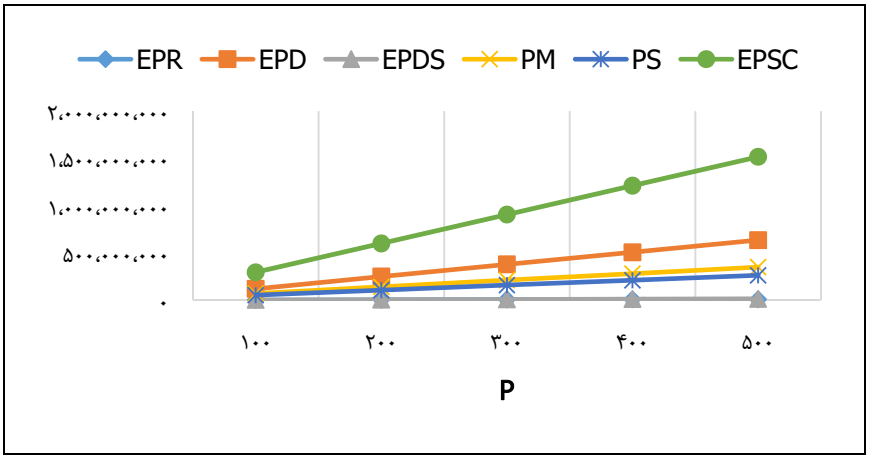
تصویر شماتیک سه بعدی میانگین سود زنجیره تأمین بر حسب Q_1 و Q_2 نیز به‌صورت شکل ۸ است.



شکل ۸. تصویر سه بعدی میانگین سود زنجیره تأمین بر حسب Q_1 و Q_2

تحلیل حساسیت بر روی پارامترها

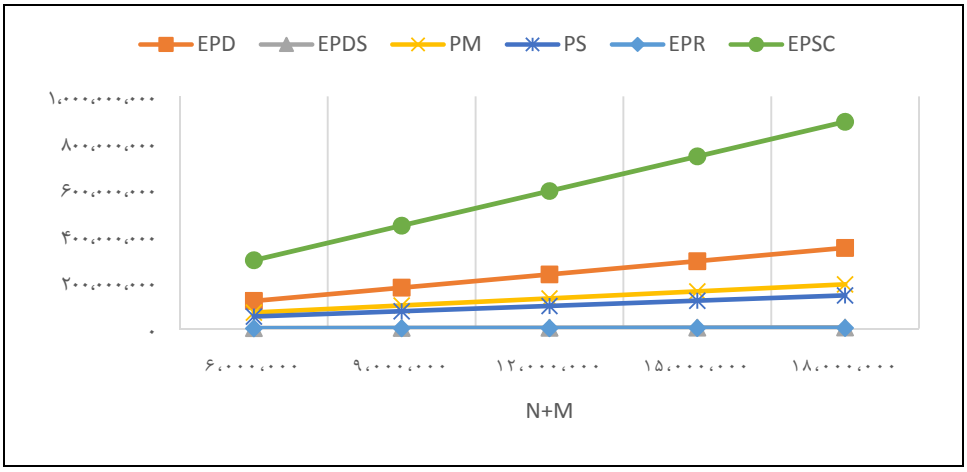
با توجه به آزمون‌های عددی انجام شده، در این بخش روی دو پارامتر اصلی مؤثر بر سود اعضای زنجیره، یعنی قیمت فروش محصول به مشتری نهایی (P) و حداکثر تولید $(n+m)$ تحلیل حساسیت انجام خواهد شد. شکل ۹ تغییرات میانگین سود اعضا و سود کل زنجیره تأمین را بر حسب تغییرات قیمت فروش محصول نشان می‌دهد.



شکل ۹. تغییرات میانگین سود اعضا و سود کل زنجیره تأمین بر حسب تغییرات قیمت فروش محصول

همان گونه که در شکل ۹ ملاحظه می‌شود با افزایش قیمت فروش نهایی، سود اعضا و کـل زنجیـره نیـز افـزایش داشته و سرعت افزایش سود برای توزیع کننده بیش از سایر اعضای زنجیره است.

شکل ۱۰ تغییرات میانگین سود اعضا و سود کل زنجیره تأمین را بر حسب تغییرات حداکثر تولید نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. تغییرات میانگین سود اعضا و سود کل زنجیره تأمین بر حسب تغییرات حداکثر تولید

نمودار شکل ۱۰ نشان می‌دهد که میانگین سود اعضا و سود کل زنجیره تأمین با افـزایش تـوان تولیـد نیـز، ماننـد افزایش قیمت فروش نهایی محصول، افزایش پیدا می‌کند، با این تفاوت که تأثیر افزایش قیمت بر افزایش میانگین سود، بیش از تأثیر افزایش توان تولید خواهد بود و سرعت رشد سود با افزایش قیمت فـروش، بـیش از سـرعت رشـد سـود بـا افزایش حداکثر تولید است. برای مثال، در صورتی که قیمت فروش نهایی محصول از ۱۰۰ به ۵۰۰ برسد، میانگین سـود کل زنجیره حدود ۴ برابر افزایش می‌یابد، در حالی که اگر توان تولید از ۶ میلیون جفت کفش در هر دوره به ۱۸ میلیـون جفت کفش برسد، میانگین سود کل زنجیره حدود ۲ برابر افزایش خواهد داشت. در خصوص سایر اعضا نیز این نسبت‌هـا کمابیش برقرار است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این پژوهش مدل‌سازی یک زنجیره تأمین چهارسطحی چندکاناله یکپارچه برای محصول فصلی تحت تقاضای تصـادفی را بررسی کرده است. نوآوری این پژوهش، در چهارسطحی بودن زنجیره تأمین است که بـه‌صـورت چندکانالـه یکپارچـه فعالیت می‌کند و کانال‌های فروش آن مسـتقیم، اینترنتـی و تلویزیـونی هسـتند. اعضـای تصـمیم‌گیرنـده ایـن زنجیـره، نمایندگی‌های فروش و توزیع‌کننده هستند که در خصوص مقدار سفارش بهینه تصمیم‌گیری می‌کنند. در این زنجیـره، دو انبار نگهداری محصول وجود دارد که یکی از آنها تحت مدیریت نمایندگی فروش و دیگری در مدیریت توزیع‌کننده است

و تقاضای خرده‌فروش اینترنتی، فقط از طریق درگاه و انبار توزیع‌کننده تأمین و ارسال می‌شود. بر این اساس، ابتدا مدل‌سازی ریاضی مسئله در حالت‌های تصمیم‌گیری نامتمرکز و متمرکز انجام شد و پس از تعیین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم‌گیری در هر یک از حالت‌ها، برای بررسی نتایج به‌دست آمده، مسئله با استفاده از داده‌های واقعی که از شرکت مورد مطالعه دریافت شده است، به‌صورت عددی ارزیابی و آزمون شدند. مزیت این پژوهش در مقایسه با تحقیقات پیشین، این است که یک زنجیره تأمین چهارسطحی که به‌صورت چندکاناله یکپارچه با سه کانال مستقیم، اینترنتی و تلویزیونی فعالیت می‌کند، مدل‌سازی شده است، در حالی که در تحقیقات گذشته، فقط یک پژوهش در خصوص مدل‌سازی ریاضی زنجیره تأمین چندکاناله یکپارچه انجام شده (مداک، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹) که آن هم در یک زنجیره تأمین دوسطحی است و فقط دو کانال فروش اینترنتی و مستقیم دارد. در سایر پژوهش‌های مشابه، زنجیره‌های تأمین دو یا سه‌سطحی، به‌صورت چندکاناله فعالیت می‌کنند؛ ولی فعالیت آنها مستقل بوده و لجستیک و نگهداری موجودی آنها به‌صورت یکپارچه نیست. همچنین روی پارامترهای مؤثر بر سود اعضا و کل زنجیره تأمین تحلیل حساسیت انجام شد که نتایج آن نشان داد تأثیر افزایش قیمت فروش نهایی محصول بر سود اعضا و کل زنجیره تأمین، در صورت ثابت‌ماندن توان تولید، بیش از تأثیر افزایش توان تولید است. همچنین سود کل زنجیره در حالت متمرکز، بیش از سود آن در حالت نامتمرکز است. بنابراین، از آنجا که این مسئله، بر اساس شرایط یک زنجیره تأمین واقعی طراحی، مدل‌سازی و حل شده است، پیشنهاد می‌شود مدیران اجرایی و تصمیم‌گیرنده این زنجیره، مقدار سفارش بهینه خود را بر پایه حالت متمرکز قرار دهند. ولی از آنجا که ممکن است، برخی از اعضا در صورت تصمیم‌گیری بر اساس حالت متمرکز، متضرر شوند، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، مسئله استفاده از قراردادهای هماهنگی برای ترغیب اعضای زنجیره، به افزایش مقدار سفارش به اندازه حالت متمرکز مطالعه و بررسی شود؛ زیرا استفاده از قراردادهای هماهنگی حتی در حالت ثابت‌ماندن قیمت و توان تولید، افزایش سود کل زنجیره تأمین و برخی یا همه اعضا را به‌دنبال خواهد داشت و این امر، باعث تداوم همکاری اعضای زنجیره خواهد شد.

در خصوص نتایج تحلیل حساسیت مبنی بر تأثیر افزایش قیمت فروش نهایی بر سود اعضا و کل زنجیره تأمین نیز، پیشنهاد می‌شود با استفاده از تحقیقات میدانی، حداکثر میزان افزایش قیمت به‌گونه‌ای تعیین شود که از یک سو، به کاهش تعداد تقاضا منجر نشود و از سوی دیگر، سود اعضا و کل زنجیره تأمین را افزایش دهد.

منابع

اختیاری، مصطفی؛ زندیه، مصطفی؛ عالم تبریز، اکبر؛ ربیعه، مسعود (۱۳۹۸). ارائه یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی برای زنجیره تأمین چندمرحله‌ای با تأکید بر قابلیت اطمینان در شرایط عدم قطعیت. *مدیریت صنعتی*، ۱۱(۲)، ۱۷۷- ۲۰۶.

ثابت‌مطلق، محمد؛ محقر، علی (۱۳۹۵). به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک برای برنامه‌ریزی تأمین، تولید و توزیع یکپارچه سیستم‌های مونتاژ. *مدیریت صنعتی*، ۸(۲)، ۱۶۳- ۱۹۰.

فتحی، محمدرضا؛ نصراللهی، مهدی؛ زمانیان، علی (۱۳۹۸). مدل‌سازی ریاضی شبکه زنجیره تأمین پایدار در وضعیت عدم قطعیت و حل آن با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری. *مدیریت صنعتی*، ۱۱(۴)، ۶۲۱-۶۵۲.

محقر، علی؛ گروسی مختارزاده، نیما؛ مدرس یزدی، محمد؛ حاجی مقصودی، معین (۱۳۹۶). طراحی شبکه تـأمین منعطـف در یـک زنجیره تأمین دوسطحی و آنالیز ریسک با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی (مطالعه مـوردی: از شـبکه تـأمین پلـی‌اسـتایرن معمولی). *مدیریت صنعتی*، ۹(۱)، ۱۸۹-۲۱۶.

مشرقی، حمید؛ امین‌ناصری، محمدرضا (۱۳۹۴). هماهنگی زنجیره تأمین با قراردادهای اشتراک درآمد و بازخرید در شرایط نـامعینی تقاضا. *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، ۲۶(۲)، ۱۸۶- ۲۰۲.

نعیمی‌صدیق، علی؛ چهارسوقی، سیدکمال؛ شیخ‌محمدی، محمد (۱۳۹۱). طراحی مدل هماهنگی در زنجیره تأمین رقابتی با اسـتفاده از رویکرد نظریه بازی با همکاری و بدون همکاری. *فصلنامه مدل‌سازی در مهندسی*، ۱۰(۲۹)، ۱۹-۳۱.

هنرور، محبوبه؛ رضایی، حسین (۱۳۹۸). تعیین استراتژی بهینه برون‌سپاری و ارائه مـدل قیمـت‌گـذاری در محـیط زنجیـره تـأمین دوکاناله در شرایط عدم قطعیت. *مدیریت تولید و عملیات*، ۱۰(۱)، ۱۵۵- ۱۷۴.

References

Arcelus, F.J., Kumar, S., Srinivasan, G. (2008). Evaluating manufacturer's buyback policies in a single-period two-echelon framework under price-dependent stochastic demand. *Omega*, 36, 808 – 824.

Cao, L., Li, L. (2015). The Impact of Cross-Channel Integration on Retailers' Sales Growth. *Journal of Retailing*, 91(2), 198-216.

Chaharsooghi, S.K., heydari, J. (2010). Supply chain coordination for the joint determination of order quantity and reorder point using credit option. *European Journal of Operational Research*, 204, 86–95.

Chen, Z., Fang, L. & Su, S.I. (2019). The value of offline channel subsidy in bricks and clicks: an O2O supply chain coordination perspective. *Electronic Commerce Research*, https://doi.org/10.1007/s10660-019-09386-z

Cong, J., Wang, H. (2017). Research on Three-Level Supply Chain Coordination Based on Revenue Sharing Contract and Option Contract. Xu, J., Hajiev, A., Nickle, S., Gen, M. (Editors). *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 502, 1215-1226.

Du, R., Banerjee, A., Kim, S.L. (2013). Coordination of two-echelon supply chains using wholesale price discount and credit option. *International Journal of Production Economics*, 143, 327–334.

Ebrahimi, S., Hosseini‐Motlagh, S.M., Nematollahi, M. (2017). Proposing a delay in payment contract for coordinating a two-echelon periodic review supply chain with stochastic promotional effort dependent demand. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 1, 1-14.

Ekhtiari, M., Zandieh, M., Alem Tabriz, A., Rabieh, M. (2019). Proposing a Bi-level Programming Model for Multi-echelon Supply Chain with an Emphasis on Reliability in Uncertainty. *Industrial Management Journal*, 11(2), 177-206. (*in Persian*)

Fathi, M. R., Nasrollahi, M., Zamanian, A. (2019). Mathematical Modeling of Sustainable Supply Chain Networks under Uncertainty and Solving It Using Metaheuristic Algorithms. *Industrial Management Journal*, 11(4), 621-652. (*in Persian*)

Gallino, S., Moreno, A. (2014). Integration of Online and Offline Channels in Retail: The Impact of Sharing Reliable Inventory Availability Information. *Management Science*, 60(6), 1434-1451.

Giri, B.C., Bardhan, S. (2017). Sub-supply chain coordination in a three-layer chain under demand uncertainty and random yield in production. *International Journal of Production Economics*, 191, 66-73.

Gulati, R., Garino, J. (2000). Get the right mix of bricks and clicks (cover story). *Harvard Business Review*, 78(3), 107-114.

He, Y., Zhao, X. (2012). Coordination in multi-echelon supply chain under supply and demand uncertainty. *International Journal of ProductionEconomics*, 139, 106–115.

Heydari, J. (2014). Supply chain coordination using time-based temporary price discounts. *Computers & Industrial Engineering*, 75, 96-101

Heydari, J., Rastegar, M., Glock, C.H. (2017). A two-level delay in payments contract for supply chain coordination: The case of credit-dependent demand. *International Journal of Production Economics*, 191, 26-36.

Honarvar, M. & Rezaee, H. (2019). Optimal Outsourcing Strategy Determination and Pricing Model in Dual-Channel Supply Chain under Uncertainty. *Production and Operations management*, 10(1), 155-174. (*in Persian*)

Hou, Y., Wei, F., Li, S.X., Huang, Z., Ashley, A. (2016). Coordination and performance analysis for a three-echelon supply chain with a revenue sharing contract. *International Journal of Production Research*, 55(1), 202-227

Huang, W., Swaminathan, J.M. (2009). Introduction of a second channel: Implications for pricing and profits. *European Journal of Operational Research*, 194, 258–279.

Hübner, A., Wollenburg, J., Holzapfel, A. (2016). Retail logistics in the transition from multi-channel to omni-channel. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46(6/7), 562 – 583.

Keren, B., Pliskin, J.S. (2006). A benchmark solution for the risk-averse newsvendor problem. *European Journal of Operational Research*, 174, 1643–1650.

Kozlenkova, I.V., Hult, G.T.M., Lund, D.J., Mena, J.A., Keke, P. (2015). The Role of Marketing Channels in Supply Chain Management. *Journal of Retailing*, 91 (4), 586–609.

Larke, R., Kilgour, M., O'Connor, H. (2018). Build touchpoints and they will come: transitioning to omnichannel retailing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(4), 465-483.

Luo, J. (2007). Buyer–vendor inventory coordination with credit period incentives. *International Journal of Production Economics*, 108, 143–152.

Mashreghi, H. & Amin Naseri, M. (2015). Supply chain coordination under demand uncertainty with rwvwnue sharing and buyback contrast. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, 26(2), 186-202. (*in Persian*)

Melacini, M., Perotti, S., Rasini, M., Tappia, E. (2018). E-fulfilment and distribution in omni-channel retailing: a systematic literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(4), 391-414.

Modak, N.M. (2017). Exploring Omni-channel supply chain under price and delivery time sensitive stochastic demand. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 18(4), 218-230

Modak, N.M., Kelle, P. (2019). Managing a dual-channel supply chain under price and delivery-time dependent stochastic demand. *European Journal of Operational Research*, 272(1), 147-161.

Mohaghar, A., Garusi Mokhtarzadeh, N., Modarres Yazdi, M., HajiMaghsoudi, M. (2017). Designing a flexible supply network in a two levels supply chain and risk analyzing. *Industrial Management Journal*, 9(1), 189-216. (*in Persian*)

Mou, S., Robb, D.J., DeHoratius, N. (2017). Retail Store Operations: Literature Review and Research Directions. *European Journal of Operational Research*, 265(2), 399-422.

Naeimi Sedigh, A., Chaharsooghi, S.K., Sheikh Mohamadi, M. (2012). Designing a coordination model in a competitive supply chain using the cooperative and non-cooperative game theory approach. *Journal of Modeling in Engineering*, 10(29), 19-31. (*in Persian*)

Pang, Q., Chen, Y., Hu, Y. (2014). Coordinating Three-Level Supply Chain by Revenue-Sharing Contract with Sales Effort Dependent Demand. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1, 1-10.

Piotrowicz, W., Cuthbertson, R. (2014). Introduction to the Special Issue Information Technology in Retail: Toward Omnichannel Retailing. *International Journal of Electronic Commerce*, 18(4), 5-16.

Sabet Motlagh, M., Mohaghar, A. (2016). Applying Genetic Algorithm for an integrated Supply and Production/Distribution Planning in assembly systems. *Industrial Management Journal*, 8(2), 163- 190. (*in Persian*)

Seifert, R.W., Zequeira, R.I., Liao, S. (2012). A three-echelon supply chain with price-only contracts and sub-supply chain coordination. *International Journal of Production Economics*, 138, 345–353.

Shah, N.H., Chaudhari, U., Cárdenas-Barrón, L.E. (2018). Integrating credit and replenishment policies for deteriorating items under quadratic demand in a three echelon supply chain, *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 1, 1-12.

Takahashi, K., Aoi, T., Hirotani, D., Morikawa, K. (2011). Inventory control in a two-echelon dual-channel supply chain with setup of production and delivery. *International Journal of Production Economics*, 133, 403–415.

Verhoef, P.C., Kannanb, P.K., Inman, J. (2015). From Multi-Channel Retailing to Omni-Channel Retailing: Introduction to the Special Issue on Multi-Channel Retailing. *Journal of Retailing*, 91 (2), 174–181.

Yang, S., Hong, K.S., Lee, C. (2014). Supply chain coordination with stock-dependent demand rate and credit incentives. *International Journal of Production Economics*, 157, 105-111.

Yu, X., Wang, S., Zhang, X. (2019). Ordering Decision and Coordination of a Dual-Channel Supply Chain with Fairness Concerns under an Online-to-Offline Model. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 36 (2). DOI: 10.1142/S0217595919400049.

Zhang, J., Farris, P.W., Irvin, J.W., Kushwaha, T., Steenburgh, T.J., Weitz, B.A. (2010). Crafting Integrated Multichannel Retailing Strategies. *Journal of Interactive Marketing*, 24, 168–180.

Zhu, B., Wen, B., Ji, S., Qiu, R., (2020). Coordinating a dual-channel supply chain with conditional value-at-risk under uncertainties of yield and demand. *Computers & Industrial Engineering*, 139. DOI:10.1016/J.IJPE.2013.09.012.