



## 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



## مدل سازی زنجیره تأمین چهار سطحی 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: fmoahghar@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 مدل سازی ریاضی زنجیره تأمین چهارسطحی (شامل یک تأمین کننده، یک تولیدکننده، یک توزیع کننده و یک نمایندگان فروش) با سه کانال فروش (سنتی، اینترنتی و تلویزیونی به واسطه پخش تبلیغات) به صورت چندکاناله یکپارچه برای محصول فصلی (کفش) تحت تقاضای تصادفی اقدام شده است.

**روش:** روش این پژوهش، از نوع بنیادی - کاربردی است که تلاش می کند مجموعه دانسته های موجود در حوزه مدل سازی زنجیره تأمین با ساختار چندکاناله یکپارچه را توسعه دهد. نتایج این تحقیق بنیادی در قالب مطالعه موردی، بررسی می شود. همچنین، رویکرد آن از نوع کمی است. در مسئله این پژوهش، اعضای تصمیم گیرنده، نمایندگی فروش و توزیع کننده هستند که در خصوص مقدار سفارش بهینه تصمیم می گیرند. بدین ترتیب، ابتدا مسئله، در حالت های تصمیم گیری نامتمرکز و متمرکز مدل سازی می شود و پس از تعیین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم گیری در هر یک از حالت ها، نتایج به دست آمده، با استفاده از داده های واقعی، آزمایش و به صورت عددی ارزیابی خواهد شد. همچنین، روی پارامترهای مؤثر بر سود اعضا و کل زنجیره تأمین، تحلیل حساسیت انجام شده است.

**یافته ها:** نتایج عددی نشان داد که سود کل زنجیره تأمین در حالت متمرکز، بیش از حالت نامتمرکز است، بنابراین صحت مدل و مقادیر سفارش تأیید می شود.

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

**کلیدواژه ها:** زنجیره تأمین چندسطحی، خرده فروشی چندکاناله یکپارچه، تقاضای تصادفی، تصمیم گیری متمرکز، تصمیم گیری نامتمرکز.

**استناد:** محقر، فاطمه؛ جولای، فریبرز؛ حیدری، جعفر (۱۳۹۹). مدل سازی زنجیره 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 تأمین 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، منا، ککه<sup>۱</sup>، 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، به دنبال 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<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷). مدل فروش دوکاناله، نه تنها 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<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰). کم‌رنگ شدن 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، آئی، هوریتانی و موریکاوا<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱؛ هوانگ و سوامیناتان<sup>۵</sup>، ۲۰۰۹) و رویکرد جدیدی به نام چندکاناله یکپارچه برای یکپارچه‌سازی کانال‌ها به وجود آورده است (پیترویکز و کاتیرسون<sup>۶</sup>، ۲۰۱۴). اگر این کانال‌ها به صورت مستقل فعالیت کنند و نگهداری موجودی و تحویل کالای آنها نیز به صورت مستقل باشد، به آنها چندکاناله (MC)<sup>۷</sup> می‌گویند و چنانچه نگهداری موجودی و تحویل کالای آنها به صورت یکپارچه باشد، چندکاناله یکپارچه (OC)<sup>۸</sup> 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<sup>۹</sup> 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 به صورت چندکاناله یکپارچه است. سومین

1. Kozlenkova, Hult, Lund, Mena, & Keke  
3. Zhu, Wen, Ji, & Qiu  
5. Huang, & Swaminathan  
7. Multi-Channel  
9. Dropshipper

2. Modak  
4. Takahashi, Aoi, Hirotoni, & Morikawa  
6. Piotrowicz & Cuthbertson  
8. Omni-Channel

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 ( $Q_2$ ) را به توزیع‌کننده اعلام می‌کند، سپس توزیع‌کننده مجموع تقاضای خود و نمایندگی فروش ( $Q_1 + Q_2$ ) را جهت تولید، به تولیدکننده اعلام می‌کند. به علاوه، 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 ( $X_1$ )، تقاضا از کانال فروش تلویزیونی ( $X_2$ ) و تقاضا از کانال فروش اینترنتی ( $X_3$ ). 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 می‌فروشند. بر این اساس، در این تحقیق به دو سؤال زیر پاسخ داده خواهد شد:

۱. مقدار بهینه سفارش توزیع‌کننده ( $Q_1$ ) (در حالت‌های تصمیم‌گیری نامتمرکز و متمرکز) چقدر است؟

۲. مقدار بهینه سفارش نمایندگی فروش ( $Q_2$ ) (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<sup>۱</sup>، 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<sup>۲</sup>، 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 (ملاسنی، پروتی، راسینی، تاپیا<sup>۱</sup>، 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 (ورھوف، کنانب، اینمان<sup>۲</sup>، 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، هولزافل<sup>۳</sup>، ۲۰۱۶؛ ساو و لی<sup>۴</sup>، ۲۰۱۵) و مشتریان به راحتی می‌توانند به صورت 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<sup>۵</sup>، 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<sup>۶</sup>، 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<sup>۷</sup>، 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<sup>۸</sup> (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<sup>۹</sup> (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)<sup>۱۰</sup> سفارش می‌دهد. تأمین‌کننده نیز از استراتژی لات فور لات<sup>۱۱</sup> 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<sup>۱۲</sup> (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<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۷) و یانگ، هونگ و لی<sup>۱۴</sup> (۲۰۱۴) نیز در زنجیره تأمین دوسطحی تک‌کاناله با تقاضای قطعی، مدل‌های متمرکز و نامتمرکز ارائه داده‌اند و با مثال‌های عددی، صحت مدل را به اثبات رسانده‌اند. دو، بانرزی و کیم<sup>۱۵</sup> (۲۰۱۳)، در زنجیره تأمین دوسطحی تک‌کاناله و تحت تقاضای قطعی، مقدار سفارش را برای خرده‌فروش و اندازه تولید را برای

1. Melacini, Perotti, Rasini, &amp; Tappia

3. Hübner, Wollenburg &amp; Holzapfel

5. Gallino, &amp; Moreno

7. Larke, Kilgour, &amp; O'Connor

9. Ebrahimi, Hosseini-Motlagh, &amp; Nematollahi

11. Lot-for-Lot

13. Luo

15. Du, Banerjee &amp; Kim

2. Verhoef, Kannan &amp; Inman

4. Cao, &amp; Li

6. Zhang and et al.

8. Heydari, Rastegar, &amp; Glock

10. Order-up-to-Level

12. Chaharsooghi, &amp; Heydari

14. Yang, Hong &amp; Lee

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<sup>۱</sup> (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<sup>۲</sup> (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 کانال 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 شبکه تأمین منعطف چند دوره‌ای در یک زنجیره تأمین دوسطحی تک‌کاناله 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، حداقل کردن 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 ربیع (۱۳۹۸) نیز درباره مدل‌سازی زنجیره تأمین دوسطحی تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا است که تابع دوهدفه بوده و به دنبال حداقل کردن هزینه و بیشینه کردن 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<sup>۳</sup> (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 - تولیدکننده و تولیدکننده - 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، لیاو<sup>۴</sup> (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 ژا<sup>۵</sup> (۲۰۱۲) نیز مدل‌سازی در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی تک‌کاناله تحت تقاضای تصادفی را بررسی کرده‌اند.

1. Yu, Wang & Zhang  
3. Giri, & Bardhan  
5. He, & Zhao

2. Chen, Fang, & Su  
4. Seifert, Zequeira & Liao

یکی دیگر از مقاله‌هایی که در زمینه زنجیره تأمین سه‌سطحی تک‌کاناله با تقاضای قطعی انجام شده است، مقاله شاه، چا‌داری و کاردناس - بارون<sup>۱</sup> (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<sup>۲</sup> (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<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶؛ آرسلوس، کومار، سرینیواسان<sup>۴</sup>، 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 - پیرو<sup>۵</sup> و بازی حرکت هم‌زمان<sup>۶</sup>) در نظر گرفته شده است. کنگ و وانگ<sup>۷</sup> (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 به دست آمده است. پانگ، چن و هو<sup>۸</sup> (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 موتناژ، مدل‌سازی شده و مقادیر بهینه سفارش و موجودی در هر یک از سطوح تأمین، تولید و نمایندگی فروش، به‌منظور حداقل کردن 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  
3. Keren & Pliskin  
5. Leader-Follower Game  
7. Cong & Wang

2. Hou, Wei, Li, Huang, & Ashley  
4. Arcelus, Kumar & Srinivasan  
6. Simultaneous Move Game  
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، 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 چندکاناله 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		تعداد کانال‌های فروش			
		دو سطحی	سه سطحی	چهار سطحی	قطعی	تصادفی	وابستگی تقاضا	یک کاناله	یکپارچه	چندکاناله
۱	لو <sup>۲</sup> (۲۰۰۷)	×				×	-	×		
۲	چهارسوقی و حیدری (۲۰۱۰)	×				×	-	×		
۳	نعمی 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	×		



ادامه جدول ۱

ردیف	نویسنده مقاله (سال انتشار)	زنجیره تأمین			نوع تقاضا		تعداد کانال‌های فروش		
		دو سطحی	سه سطحی	چهار سطحی	قطعی	تصادفی	یک کاناله	دو کاناله	چند کاناله
۱۱	مداک (۲۰۱۷)	×				×			×
۱۲	اختیاری و همکاران (۱۳۹۸)	×				×		×	
۱۳	فتحی و همکاران (۱۳۹۸)					×		×	
۱۴	مداک و کله (۲۰۱۹)	×				×			×
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)		×			×		×	
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)		×		×			×	
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 به صورت 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 به طور مستقل فعالیت می‌کنند و یکپارچه نیستند. به بیان دیگر، تا کنون مدل‌سازی زنجیره تأمین که به صورت 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 به صورت تک‌کاناله است. در خصوص روش حل مدل نیز، برخلاف تحقیقاتی همچون ثابت‌مطلق و محقر (۱۳۹۵)، محقر و همکاران (۱۳۹۶)، اختیاری و همکاران (۱۳۹۸) و فتیحی 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.

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

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

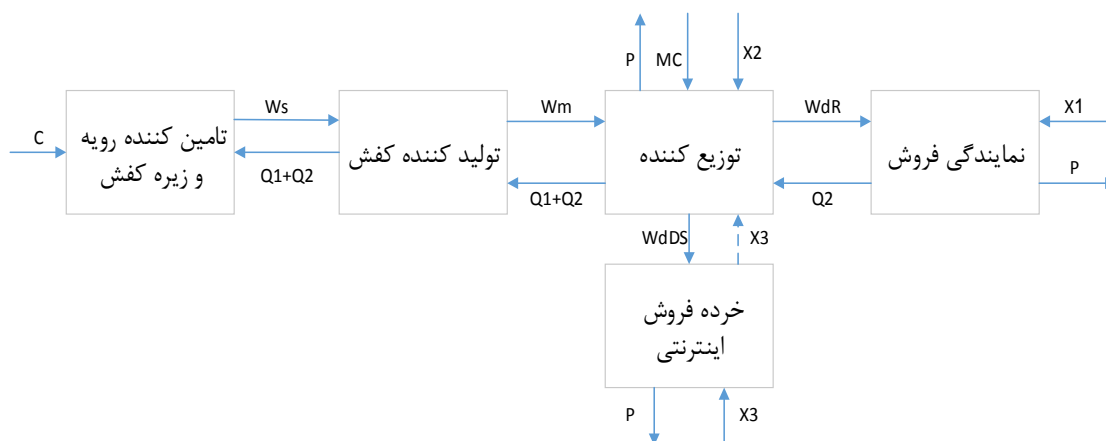
$$x_1 \sim f(x_1, n); \quad f(x_1) = \frac{1}{n+1} \quad \text{رابطه ۲}$$

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

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

که  $\alpha$  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؛
- $\omega_{dR}$ : قیمت عمده‌فروشی از توزیع‌کننده به نمایندگی فروش؛
- $\omega_{dDS}$ : قیمت عمده‌فروشی از توزیع‌کننده به خرده‌فروش اینترنتی؛
- $R$ : نمایندگی فروش؛
- $DS$ : خرده‌فروش اینترنتی؛
- $MC$ : هزینه ثابت بازاریابی تلویزیونی (قرارداد قیمت معین با تلویزیون)؛
- $\omega_m$ : قیمت عمده‌فروشی از تولیدکننده به توزیع‌کننده؛
- $\omega_s$ : قیمت عمده‌فروشی از تأمین‌کننده به تولیدکننده؛
- $h_1$ : هزینه نگهداری یک واحد کالا در انبار توزیع‌کننده؛

- $s_1$ : هزینه کمبود یک واحد کالا در انبار توزیع‌کننده؛
- $h_1$ : 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 ( $x_3 = 0, 1, 2, \dots, (1 - \alpha)$ ) به طوری که  $n < m$ ؛
- $n + m$ : حداکثر تولید؛
- $\alpha$ : 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؛
- $\pi_{DS}$ : سود خرده‌فروش اینترنتی؛
- $E(\pi_{DS})$ : میانگین سود خرده‌فروش اینترنتی؛
- $\pi_m$ : سود تولیدکننده؛
- $\pi_s$ : سود تأمین‌کننده؛
- $\pi_D$ : سود توزیع‌کننده؛
- $E(\pi_D)$ : میانگین سود توزیع‌کننده؛
- $\pi_{SC}$ : 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  $Q_p$ ، یعنی  $n$  است.

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

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

$$E(\pi_R) = P \left[ \sum_{x_1=0}^{Q_2} x_1 f(x_1) + \sum_{x_1=Q_2+1}^T Q_2 f(x_1) \right] - \omega_{dR}Q_2 \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$- h_2 \left[ \sum_{x_1=0}^{Q_2} (Q_2 - x_1) f(x_1) \right] - s_2 \left[ \sum_{x_1=Q_2+1}^T (x_1 - Q_2) f(x_1) \right] \rightarrow$$

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

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

S.t. (رابطه ۷)

$$Q_2 = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$p, \omega_{dR}, h_2, s_2 > 0 \quad \omega_{dR} \leq p$$

از آنجا که مقدار پارامتریک به دست آمده برای مقدار سفارش، از طریق مشتق‌گیری در حالت تقاضای نامحدود، در

محدودیت‌های مسئله صدق نمی‌کند، مقدار بهینه  $Q_p$  در این حالت، برابر با حد بالای  $Q_p$ ، یعنی  $n$  است.

آزمون عددی مقدار به دست 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:

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

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

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

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

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

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  $Q_p$  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  $Q_p$  محاسبه شود که اگر مقدار به دست آمده منفی باشد، معقر بودن منحنی سود نمایندگی فروش در نقطه به دست آمده را نشان می‌دهد. این نقطه، مقدار بهینه سفارش نمایندگی فروش است و سود نمایندگی فروش را به حداکثر می‌رساند (حیدری و همکاران، ۲۰۱۷).

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

### 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:

$$\pi_{Ds} = (P - \omega_{dDs})x_3 \quad \text{رابطه ۱۲}$$

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

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

$$\omega_m + h_1 \leq \omega_{dDs} \leq p \quad \text{رابطه ۱۴}$$

در خصوص سود تولیدکننده روابط زیر برقرار است:

$$\pi_m = (\omega_m - \omega_s)(Q_1 + Q_2) \quad \text{رابطه ۱۵}$$

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

هر چه  $\omega_m$  بیشتر باشد، مقدار  $\pi_m$  بیشتر می‌شود و از طرفی  $\omega_m$  باید در محدوده زیر قرار بگیرد:

$$\omega_s \leq \omega_m \leq \omega_{dR} \leq p \quad \text{رابطه ۱۷}$$

و در خصوص سود تأمین کننده روابط زیر برقرار است:

$$\pi_s = (\omega_s - c)(Q_1 + Q_2) \quad \text{رابطه ۱۸}$$

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

هر چه  $\omega_s$  بیشتر باشد، مقدار  $\pi_s$  بیشتر می‌شود و از طرفی  $\omega_s$  باید در محدوده زیر قرار بگیرد:

$$c \leq \omega_s \leq \omega_m \quad \text{رابطه ۲۰}$$

### سود توزیع کننده

برای محاسبه  $\pi_D$ ، در حالی 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  $\alpha$  درصد از  $Q_1$  با قیمت  $p$  از طریق درگاه فروش تلویزیونی فروخته می‌شود و  $(1 - \alpha\%)$  با قیمت  $\omega_{dDs}$  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  $\alpha$  در ابتدای دوره از طریق داده‌های آماری دوره‌های پیشین، پیش‌بینی پذیر خواهد بود.

**قضیه ۳:** مقدار بهینه سفارش توزیع کننده عبارت است از:

$$Q_1^* = (-3 P(1 + (-3 + \alpha)\alpha) + 3(\omega_{dDs}(-2 + \alpha)(-1 + \alpha) + h_1 + S_1) - \frac{1}{2}\sqrt{(36(\omega_{dDs}(-2 + \alpha)(-1 + \alpha) - P(1 + (-3 + \alpha)\alpha) + h_1 + S_1)^2 + 12(-\omega_{dDs}(2 - 3\alpha + \alpha^3) + P(1 - 3\alpha + 2\alpha^3) + (-1 + \alpha^3)h_1 + (-1 + \alpha^3)S_1)(6(1 + m)\omega_m(1 + m - m\alpha) - \omega_{dDs}(-1 + \alpha)(-2 + 3m(-3 + \alpha + m(-1 + \alpha^2))) + P(-2 + \alpha(-1 + 3m(-3 + \alpha + m(-1 + \alpha^2)))) + (2 + \alpha)h_1 - (4 + 3m(3 + m))S_1 + \alpha(1 + 3m(1 + m\alpha))S_1))} / (3(-\omega_{dDs}(2 - 3\alpha + \alpha^3) + P(1 - 3\alpha + 2\alpha^3) + (-1 + \alpha^3)h_1 + (-1 + \alpha^3)S_1)) \quad \text{رابطه ۲۱}$$

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

$$\pi_D = \begin{cases} \omega_{dR} Q_2 + \omega_{dDs} x_3 + p x_2 - MC - \omega_m(Q_1 + Q_2) - h_1(Q_1 - x_2 - x_3); \\ x_2 + x_3 = 0, 1, 2, \dots, Q_1 \end{cases} \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$\begin{cases} \omega_{dR} Q_2 + \omega_{dDs}(1 - \alpha)Q_1 + p\alpha Q_1 - MC - \omega_m(Q_1 + Q_2) + S_1(Q_1 - x_2 - x_3); \\ x_2 + x_3 = Q_1 + 1, Q_1 + 2, \dots, m \end{cases}$$

$$E(\pi_D) = \omega_{dR} Q_2 + \omega_{dDs} \left[ \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1} \sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3} x_3 f(x_2, x_3) + \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m} \sum_{x_2=0}^{m-x_3} (1-\alpha)Q_1 f(x_2, x_3) \right] \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

$$- \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1} \sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3} (1-\alpha)Q_1 f(x_2, x_3)]$$

$$+ P \left[ \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1} \sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3} x_2 f(x_2, x_3) + \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m} \sum_{x_2=0}^{m-x_3} \alpha Q_1 f(x_2, x_3) - \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1} \sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3} \alpha Q_1 f(x_2, x_3) \right]$$

$$- MC - \omega_m(Q_1 + Q_2) - h_1 \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1} \sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3} (Q_1 - x_2 - x_3) f(x_2, x_3)$$

$$+ S_1 \left[ \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m} \sum_{x_2=0}^{m-x_3} (Q_1 - x_2 - x_3) f(x_2, x_3) - \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1} \sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3} (Q_1 - x_2 - x_3) f(x_2, x_3) \right] \rightarrow$$

$$E(\pi_D) = \frac{1}{6(1+m)(-1+m(-1+\alpha))} (3Q_1^2(\omega_{dDs}(-2+\alpha)(-1+\alpha) - P(1+(-3+\alpha)\alpha) + h_1 + S_1) + Q_1^3(P(-1+3\alpha-2\alpha^3) + \omega_{dDs}(2-3\alpha+\alpha^3) - (-1+\alpha^3)h_1 - (-1+\alpha^3)S_1) + Q_1(6(1+m)\omega_m(1+m-m\alpha) - \omega_{dDs}(-1+\alpha)(-2+3m(-3+\alpha+m(-1+\alpha^2)))) + P(-2+\alpha(-1+3m(-3+\alpha+m(-1+\alpha^2)))) + (2+\alpha)h_1 - (4+3m(3+m))S_1 + \alpha(1+3m(1+m\alpha))S_1) + (-1+m(-1+\alpha))(-6(1+m)(MC + (-\omega_{dR} + \omega_m)Q_2) + m(-4+\alpha+m(-2+(-2+\alpha)\alpha))S_1))$$

از آنجا که اختیار تعیین  $Q_2$  با نمایندگی فروش است،  $Q_2$  به دست آمده از معادله  $E(\pi_R)$  (رابطه ۸)، می‌بایست 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.

S.t. رابطه (۲۴)

$$Q_1 = 0, 1, 2, \dots, m$$

$$p, \omega_{dR}, \omega_m, h_1, S_1, MC > 0$$

$$\omega_m + h_1 \leq \omega_{dDs} \leq p$$

$$\omega_m \leq \omega_{dR} \leq p$$



در این بخش نیز مانند روش محاسبه  $Q_p$ ، با توجه به اینکه محدودیت سفارش در محدودیت تقاضا اعمال شده است، از طریق مشتق گیری می توان مقدار بهینه  $Q_1$  را محاسبه کرد.

با توجه به اینکه معادله میانگین سود توزیع کننده از درجه سه است، می بایست مشتق دوم  $E(\pi_D)$  نسبت به  $Q_1$  محاسبه شود که اگر مقدار به دست آمده منفی باشد، نشان دهنده تقعر منحنی است و صحت قضیه فوق را ثابت می کند.

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

آزمون عددی مقدار فوق، کوچکتر از صفر است که ثابت می کند تابع هدف مقعر بوده و مقدار به دست آمده برای  $Q_1$  مقدار بهینه است و میانگین سود توزیع کننده را به حداکثر می رساند.

### تصمیم گیری متمرکز

در تصمیم گیری متمرکز، هدف، حداکثر کردن سود کل زنجیره تأمین است و مقدار بهینه متغیرهای تصمیم بر اساس حداکثرسازی سود زنجیره به دست می آید. از آنجا که در تصمیم گیری نامتمرکز، متغیرهای تصمیم در حالت تقاضای محدود جواب داشتند، در تصمیم گیری متمرکز نیز فقط حالت تقاضای محدود بررسی می شوند و جواب های بهینه در این حالت محاسبه خواهند شد.

**قضیه ۴:** مقدار بهینه سفارش نمایندگی فروش و توزیع کننده در حالت تصمیم گیری متمرکز عبارت اند از:

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

رابطه ۲۷

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

**اثبات:** برای اثبات قضیه ۴ ابتدا معادله سود و میانگین سود زنجیره تأمین محاسبه می شود.

$$\pi_{SC} = \begin{cases} (P - C)(Q_1 + Q_2) - (P + h_1)(Q_1 - x_2 - x_3) - (P + h_2)(Q_2 - x_1) - MC & \text{رابطه (۲۸)} \\ x_1 = 0, 1, 2, \dots, Q_2 ; x_2 + x_3 = 0, 1, 2, \dots, Q_1 \\ (P - C)(Q_1 + Q_2) + S_1(Q_1 - x_2 - x_3) + S_2(Q_2 - x_1) - MC \\ x_1 = Q_2 + 1, \dots, n ; x_2 + x_3 = Q_1 + 1, \dots, m \\ (P - C)(Q_1 + Q_2) - (P + h_2)(Q_2 - x_1) + S_1(Q_1 - x_2 - x_3) - MC \\ x_1 = 0, 1, 2, \dots, Q_2 ; x_2 + x_3 = Q_1 + 1, \dots, m \\ (P - C)(Q_1 + Q_2) - (P + h_1)(Q_1 - x_2 - x_3) + S_2(Q_2 - x_1) - MC \\ x_1 = Q_2 + 1, \dots, n ; x_2 + x_3 = 0, 1, 2, \dots, Q_1 \end{cases}$$

$$E(\pi_{SC}) = (P - C)(Q_1 + Q_2) - MC - \text{رابطه (۲۹)}$$

$$(P + h_1) \left[ \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1} \sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3} \sum_{x_1=0}^{Q_2} (Q_1 - x_2 - x_3) f(x_1, x_2, x_3) \right. \\ \left. + \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1} \sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3} \sum_{x_1=Q_2+1}^n (Q_1 - x_2 - x_3) f(x_1, x_2, x_3) \right] \\ - (P + h_2) \left[ \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m} \sum_{x_2=0}^{m-x_3} \sum_{x_1=0}^{Q_2} (Q_2 - x_1) f(x_1, x_2, x_3) \right] \\ + S_1 \left[ \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m} \sum_{x_2=0}^{m-x_3} \sum_{x_1=0}^{Q_2} (Q_1 - x_2 - x_3) f(x_1, x_2, x_3) \right. \\ - \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1} \sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3} \sum_{x_1=0}^{Q_2} (Q_1 - x_2 - x_3) f(x_1, x_2, x_3) \\ \left. + \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m} \sum_{x_2=0}^{m-x_3} \sum_{x_1=Q_2+1}^n (Q_1 - x_2 - x_3) f(x_1, x_2, x_3) \right. \\ \left. - \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)Q_1} \sum_{x_2=0}^{Q_1-x_3} \sum_{x_1=Q_2+1}^n (Q_1 - x_2 - x_3) f(x_1, x_2, x_3) \right] \\ + S_2 \left[ \sum_{x_3=0}^{(1-\alpha)m} \sum_{x_2=0}^{m-x_3} \sum_{x_1=Q_2+1}^n (Q_2 - x_1) f(x_1, x_2, x_3) \right] \rightarrow$$

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

مشابه محاسبات انجام شده در حالت تصمیم‌گیری نامتمرکز، برای  $E(\pi_{SC})$  نیز از روش مشتق‌گیری استفاده 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.

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

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

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

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

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

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

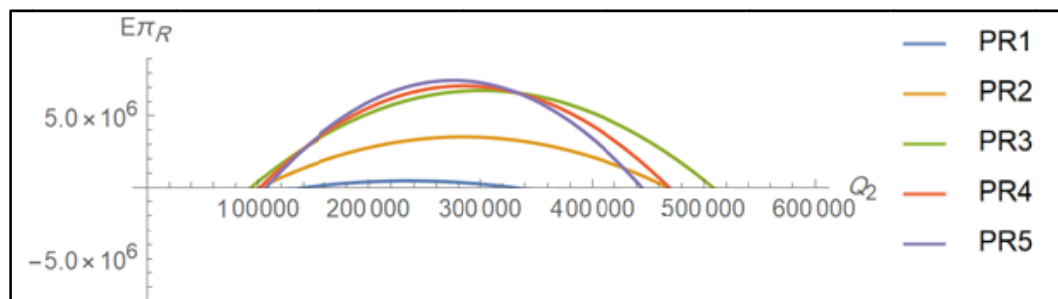
همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تغییر پارامترهای مسئله، در مثبت‌شدن سود نمایندگی فروش تأثیر ندارد و در همه حالت‌ها، مقدار سفارش در کران بالای  $Q_2$  قرار گرفته است. بنابراین با توجه به منفی‌شدن میانگین سود خرده‌فروش، می‌بایست مسئله با دیگر با فرض محدودیت تقاضا، حل شود.

### 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.

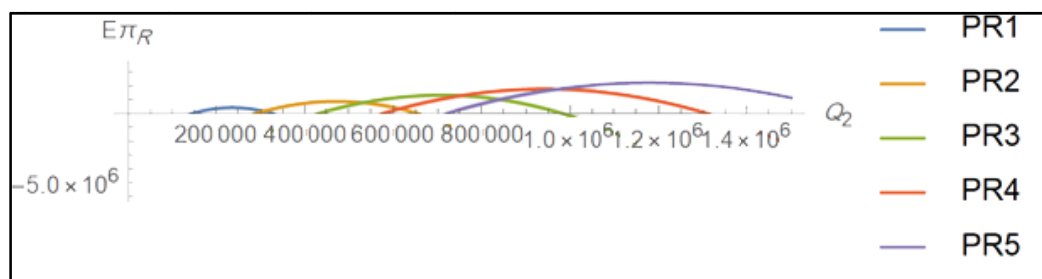
### جدول ۳. آزمایش عددی مقدار $Q_2$ در حالت تقاضای محدود با فرض افزایش قیمت‌ها و ثابت ماندن کران

مقدار بهینه سفارش و میانگین سود نمایندگی فروش		حد سفارش نمایندگی	هزینه فرصت نمایندگی فروش	هزینه انبار نمایندگی فروش	قیمت خرید نمایندگی فروش	قیمت فروش	
EPR	$Q_2$	n	$S_2$	$h_2$	WdR	P	
۴۴۸,۱۰۴	۲۳۵,۸۴۹	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵	۱	۸۰	۱۰۰	PR ۱
۳,۵۳۰,۷۸۰	۲۸۴,۳۶۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱۰	۱	۱۵۰	۲۰۰	PR ۲
۶,۷۸۰,۰۳۰	۳۰۰,۶۳۳	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱۵	۱	۲۲۰	۳۰۰	PR ۳
۷,۱۰۲,۰۹۰	۲۸۵,۰۲۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰	۱	۳۰۰	۴۰۰	PR ۴
۷,۴۸۵,۶۹۰	۲۷۵,۶۶۵	۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۵	۱	۳۸۰	۵۰۰	PR ۵



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

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

### سود توزیع کننده

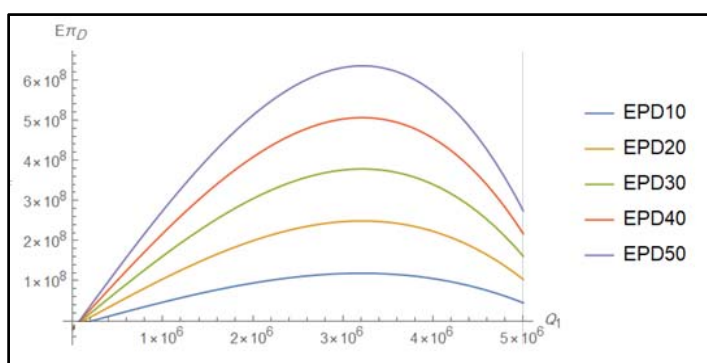
آزمون عددی مربوط به سود توزیع کننده نیز، به ازای تغییر پارامترهای مربوط به قیمت و همچنین، افزایش توان تولید انجام شد که نتایج آن در جدول‌های ۵ و ۶ و شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود.

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

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

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

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



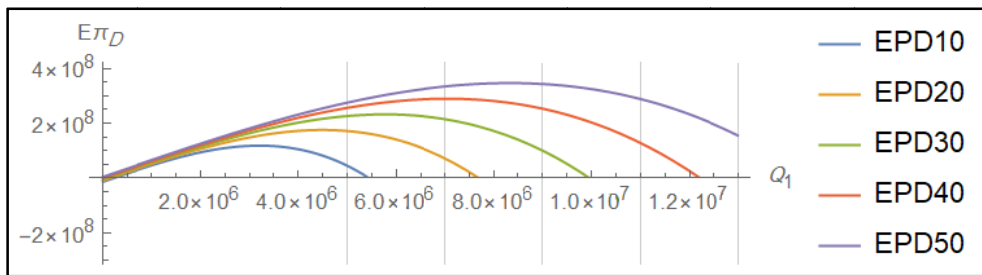
شکل ۴. تغییرات میانگین سود توزیع کننده بر حسب  $Q_1$  با فرض تغییر پارامترهای مربوط به قیمت

جدول ۶. آزمون عددی مقدار  $Q_1$  با فرض ثابت ماندن قیمت‌ها و افزایش کران‌ها

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

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

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



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

سود خرده‌فروشی اینترنتی، تولیدکننده و تأمین کننده

حال با توجه به محاسبات انجام شده در خصوص سود توزیع کننده و تعیین مقدار بهینه  $Q_1$ ، آزمون عددی مربوط به سود خرده‌فروشی اینترنتی، سود تولیدکننده و سود تأمین کننده انجام می‌شود. در جدول‌های ۷ و ۸ نتایج آزمون عددی درج شده است.

جدول ۷. آزمون عددی میانگین سود خرده‌فروشی اینترنتی، تولیدکننده و تأمین کننده با فرض افزایش قیمت‌ها و ثابت ماندن کرانها

میانگین سود تأمین کننده	میانگین سود تولید کننده	میانگین سود خرده فروش اینترنتی	مقدار بهینه سفارش نمایندگی فروش	مقدار بهینه سفارش توزیع کننده	حداکثر سهم خرده فروش اینترنتی از محصول	حد سفارش توزیع کننده	قیمت خرید تأمین کننده	قیمت خرید تولید کننده	قیمت خرید توزیع کننده	قیمت خرید خرده فروش اینترنتی	قیمت فروش	
PS	PM	EPDS	$Q_2$	$Q_1$	(1-a)	m	C	Ws	Wm	WdDs	P	
۵۱,۶۰۵,۰۸۵	۶۸,۸۰۶,۷۸۰	۱,۸۷۵,۰۰۰	۲۳۵,۸۴۹	۳,۲۰۴,۴۹۰	۰/۰۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۵	۲۰	۴۰	۸۵	۱۰۰	Case ۱
۱۰۴,۸۹۴,۷۰۰	۱۳۹,۸۵۹,۶۰۰	۳,۷۵۰,۰۰۰	۲۸۴,۳۶۰	۳,۲۱۲,۱۳۰	۰/۰۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱۰	۴۰	۸۰	۱۷۰	۲۰۰	Case ۲
۱۵۸,۱۵۳,۵۳۵	۲۱۰,۸۷۱,۳۸۰	۶,۲۵۰,۰۰۰	۳۰۰,۶۳۳	۳,۲۱۳,۸۹۰	۰/۰۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱۵	۶۰	۱۲۰	۲۵۰	۳۰۰	Case ۳
۲۰۹,۹۱۶,۹۰۰	۲۷۹,۸۸۹,۲۰۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۸۵,۰۳۵	۳,۲۱۳,۵۸۰	۰/۰۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۰	۸۰	۱۶۰	۳۲۰	۴۰۰	Case ۴
۲۶۱,۷۵۱,۱۲۵	۳۴۹,۰۰۱,۵۰۰	۱۲,۵۰۰,۰۰۰	۲۷۵,۶۶۵	۳,۲۱۴,۳۵۰	۰/۰۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۵	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۵۰۰	Case ۵

جدول ۸. آزمون عددی میانگین سود خرده‌فروشی اینترنتی، تولیدکننده و تأمین کننده با فرض ثابت ماندن قیمت‌ها و افزایش کرانها

میانگین سود تأمین کننده	میانگین سود تولید کننده	میانگین سود خرده فروشی اینترنتی	مقدار بهینه سفارش نمایندگی فروش	مقدار بهینه سفارش توزیع کننده	حداکثر سهم خرده فروشی اینترنتی از محصول	حد سفارش توزیع کننده	قیمت خرید تأمین کننده	قیمت خرید تولید کننده	قیمت خرید توزیع کننده	قیمت خرید خرده فروشی اینترنتی	قیمت فروش	
PS	PM	EPDS	$Q_2$	$Q_1$	(1- $\alpha$ )	m	C	Ws	Wm	WdDs	P	
۵۱,۶۰۵,۰۸۵	۶۸,۸۰۶,۷۸۰	۱,۱۷۵,۰۰۰	۲۳۵,۸۴۹	۳,۲۰۴,۴۹۰	-/۰.۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۵	۲۰	۴۰	۸۵	۱۰۰	Case ۶
۷۴,۳۶۹,۶۷۰	۹۹,۱۵۹,۵۶۰	۲,۶۲۵,۰۰۰	۴۷۱,۶۹۸	۴,۴۸۶,۲۸۰	-/۰.۵	۷,۰۰۰,۰۰۰	۵	۲۰	۴۰	۸۵	۱۰۰	Case ۷
۹۷,۱۳۴,۴۰۵	۱۲۹,۵۱۲,۵۴۰	۳,۳۷۵,۰۰۰	۷۰۷,۵۴۷	۵,۷۶۸,۰۸۰	-/۰.۵	۹,۰۰۰,۰۰۰	۵	۲۰	۴۰	۸۵	۱۰۰	Case ۸
۱۱۹,۸۹۸,۹۹۰	۱۵۹,۸۶۵,۳۲۰	۴,۱۲۵,۰۰۰	۹۴۳,۳۹۶	۷,۰۴۹,۸۷۰	-/۰.۵	۱۱,۰۰۰,۰۰۰	۵	۲۰	۴۰	۸۵	۱۰۰	Case ۹
۱۴۲,۶۶۳,۸۰۰	۱۹۰,۲۱۸,۴۰۰	۴,۸۷۵,۰۰۰	۱,۱۷۹,۲۵۰	۸,۳۳۱,۶۷۰	-/۰.۵	۱۳,۰۰۰,۰۰۰	۵	۲۰	۴۰	۸۵	۱۰۰	Case ۱۰

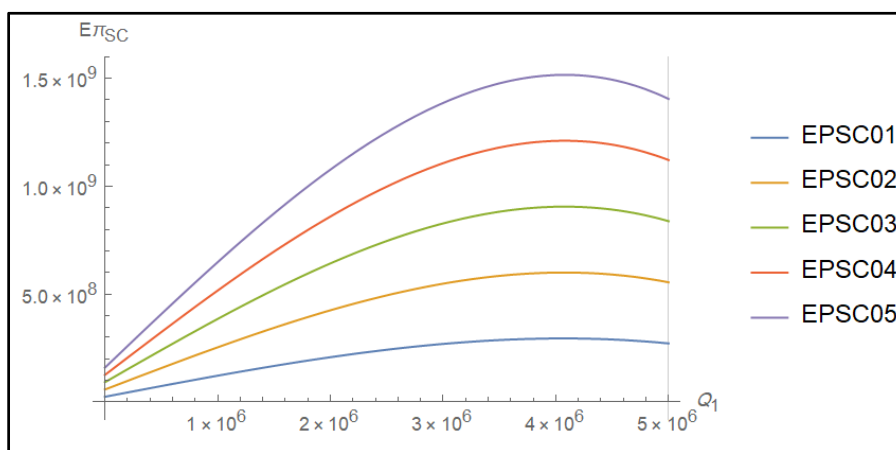
### تصمیم‌گیری متمرکز

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 ثابت ماندن کران‌ها

مقادیر بهینه سفارش و میانگین سود زنجیره تأمین در حالت متمرکز	حداکثر سهم خرده فروشی اینترنتی از محصول		حد سفارش توزیع کننده	حد سفارش نمایندگی فروش	هزینه فرصت نمایندگی فروش	هزینه فرصت توزیع کننده	هزینه انبار نمایندگی فروش	هزینه انبار توزیع کننده	هزینه بازاریابی تلویزیونی	قیمت خرید تأمین کننده	قیمت فروش		
	EPSC	$Q_2$	$Q_1$	(1- $\alpha$ )	m	n	$s_2$	$s_1$	$h_2$	$h_1$	MC	C	P
۲۹۳,۹۲۲,۰۰۰	۹۶۶,۳۷۷	۴,۰۶۳,۹۴۰	-/۰.۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۵	۵	۱	۱	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۵	۱۰۰	EPSC-۱
۵۹۹,۵۸۳,۰۰۰	۹۷۰,۹۵۷	۴,۰۷۳,۵۶۰	-/۰.۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱۰	۱۰	۱	۱	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۰	۲۰۰	EPSC-۲
۹۰۵,۲۴۷,۰۰۰	۹۷۲,۴۹۳	۴,۰۷۶,۷۹۰	-/۰.۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۱۵	۱۵	۱	۱	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۵	۳۰۰	EPSC-۳
۱,۲۱۰,۹۱۰,۰۰۰	۹۷۳,۲۶۳	۴,۰۸۸,۴۰۰	-/۰.۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰	۲۰	۱	۱	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۰	۴۰۰	EPSC-۴
۱,۵۱۶,۵۸۰,۰۰۰	۹۷۳,۷۲۶	۴,۰۷۹,۳۷۰	-/۰.۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۵	۲۵	۱	۱	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۵	۵۰۰	EPSC-۵





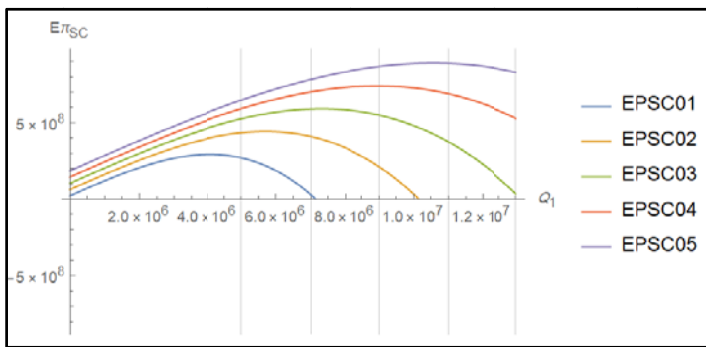
شکل ۶. تغییرات میانگین سود زنجیره تأمین بر حسب  $Q_1$  با فرض  $Q_2$  مشخص و تغییر پارامترهای مربوط به قیمت

جدول ۱۰. آزمون عددی مقدار  $Q_1$  و  $Q_2$  با فرض ثابت ماندن قیمت‌ها و افزایش کران‌ها

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

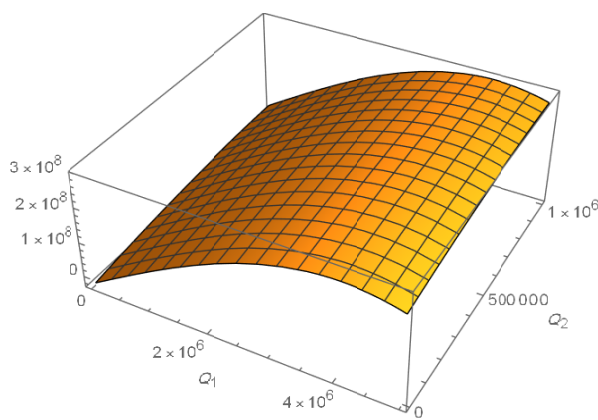
  

مقادیر بهینه سفارش و میانگین سود زنجیره تأمین در حالت متمرکز			حداکثر سهم خرده فروش اینترنی از محصول	حد سفارش توزیع کننده	
EPSC	$Q_2$	$Q_1$	(1- $\alpha$ )	m	
۲۹۳,۹۲۲,۰۰۰	۹۶۶,۳۷۷	۴,۰۶۳,۹۴۰	۰/۰۵	۵,۰۰۰,۰۰۰	EPSC۰۱
۴۴۲,۹۸۴,۰۰۰	۱,۹۳۲,۷۵۰	۵,۶۸۹,۵۲۰	۰/۰۵	۷,۰۰۰,۰۰۰	EPSC۰۲
۵۹۲,۰۴۵,۰۰۰	۲,۸۹۹,۱۳۰	۷,۳۱۵,۱۰۰	۰/۰۵	۹,۰۰۰,۰۰۰	EPSC۰۳
۷۴۱,۱۰۶,۰۰۰	۳,۸۶۵,۵۱۰	۸,۹۴۰,۶۸۰	۰/۰۵	۱۱,۰۰۰,۰۰۰	EPSC۰۴
۸۹۰,۱۶۸,۰۰۰	۴,۸۳۱,۸۸۰	۱۰,۵۶۶,۳۰۰	۰/۰۵	۱۳,۰۰۰,۰۰۰	EPSC۰۵



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

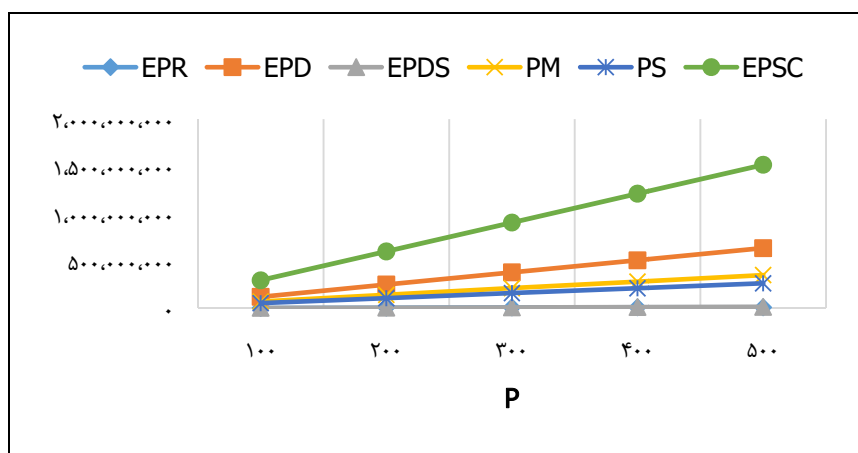
تصویر شماتیک سه بعدی میانگین سود زنجیره تأمین بر حسب  $Q_1$  و  $Q_2$  نیز به صورت شکل ۸ است.



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

### تحلیل حساسیت بر روی پارامترها

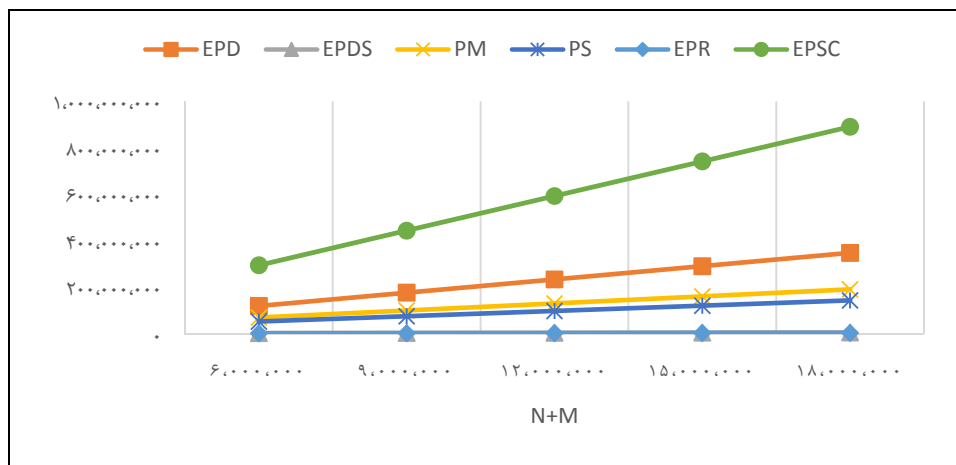
با توجه به آزمون‌های عددی انجام شده، در این بخش روی دو پارامتر اصلی مؤثر بر سود اعضای زنجیره، یعنی قیمت فروش محصول به مشتری نهایی ( $P$ ) و حداکثر تولید ( $n + m$ ) تحلیل حساسیت انجام خواهد شد. شکل ۹ تغییرات میانگین سود اعضا و سود کل زنجیره تأمین را بر حسب تغییرات قیمت فروش محصول نشان می‌دهد.



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 کل زنجیره نیز افزایش 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 افزایش توان تولید نیز، مانند 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 فروش، بیش از سرعت رشد سود با افزایش حداکثر تولید است. برای مثال، در صورتی که قیمت فروش نهایی محصول از ۱۰۰ به ۵۰۰ برسد، میانگین سود کل زنجیره حدود ۴ برابر افزایش می‌یابد، در حالی که اگر توان تولید از ۶ میلیون جفت کفش در هر دوره به ۱۸ میلیون جفت کفش برسد، میانگین سود کل زنجیره حدود ۲ برابر افزایش خواهد داشت. در خصوص سایر اعضا نیز این نسبت‌ها کمابیش برقرار است.

### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این پژوهش مدل‌سازی یک زنجیره تأمین چهارسطحی چندکاناله یکپارچه برای محصول فصلی تحت تقاضای تصادفی را بررسی کرده است. نوآوری این پژوهش، در چهارسطحی بودن زنجیره تأمین است که به صورت چندکاناله یکپارچه فعالیت می‌کند و کانال‌های فروش آن مستقیم، اینترنتی و تلویزیونی هستند. اعضای تصمیم‌گیرنده این زنجیره، نمایندگی‌های فروش و توزیع‌کننده هستند که در خصوص مقدار سفارش بهینه تصمیم‌گیری می‌کنند. در این زنجیره، 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 قیمت فروش نهایی محصول بر سود اعضا و 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؛ ربیع، 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 الگوریتم‌های فراابتکاری. مدیریت صنعتی، ۱۱(۴)، ۶۲۱-۶۵۲.

محقق، علی؛ گروسی مختارزاده، نیما؛ مدرس یزدی، محمد؛ حاجی مقصودی، معین (۱۳۹۶). طراحی شبکه تأمین منعطف در یک زنجیره تأمین دوسطحی و آنالیز ریسک با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی (مطالعه موردی: از شبکه تأمین پلی‌استایرن معمولی). مدیریت صنعتی، ۹(۱)، ۱۸۹-۲۱۶.

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

نعمی‌صدیق، علی؛ چهارسوقی، سیدکمال؛ شیخ‌محمدی، محمد (۱۳۹۱). طراحی مدل هماهنگی در زنجیره تأمین رقابتی با استفاده 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 مدل قیمت‌گذاری در محیط زنجیره تأمین 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 Production Economics*, 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 revenue sharing and buyback contract. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, 26(2), 186-202. (in Persian)
- Melacini, M., Perotti, S., Rasini, M., Tappia, E. (2018). E-fulfillment and distribution in omnichannel 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., Hirotsu, 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.