

## قیمت گذاری در زنجیره تامین رقابتی سه رده‌ای با استفاده از رویکرد نظریه بازی

سحر پارسایی فر<sup>a</sup>، محمدصادق سنگری<sup>b</sup>، علی بزرگی امیری<sup>c</sup>، علی نعیمی صدیق<sup>d</sup>، سهیل منصوری<sup>e</sup>

<sup>a</sup> دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

<sup>b</sup> دانشکده فنی فومن، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

<sup>c</sup> دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

<sup>d</sup> پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایراندک)

<sup>e</sup> دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

نویسنده مسئول: محمدصادق سنگری (mssangari@ut.ac.ir)

### چکیده

در این تحقیق یک زنجیره تامین سه رده‌ای، شامل چند خرده فروش، یک تولیدکننده و چند تامین کننده مورد بررسی قرار می‌گیرد که رقابت در هر سه رده این زنجیره تامین انجام می‌گیرد و تولیدکننده محصولات متفاوتی را به خرده فروشان عرضه می‌کند. رقابت بین اعضای زنجیره به دو صورت رقابت افقی و رقابت عمودی نشان داده شده است. رقابت و مدل سازی هماهنگی روی استراتژی قیمت گذاری تحت یک مدل ریاضی غیرخطی ارائه شده است. همچنین در این مدل روابط بین اعضای زنجیره تامین در حالت بازی غیرهمکارانه در نظر گرفته شده است. در این مقاله تقاضا تابعی قیمت خرده فروشی و قیمت خرده فروشان رقیب می‌باشد. در این مدل فرض می‌گردد که تولیدکننده از قدرت بیشتری برخوردار است و تصمیم‌های خود را به تامین کنندگان و خرده فروشان تحمیل می‌نماید به عبارت دیگر تولیدکننده نقش رهبر و دیگر اعضا نقش پیرو را دارند از این رو بازی از نوع استکلبرگ می‌باشد. در نهایت تحلیل حساسیت بر روی مهمترین پارامتر مدل صورت گرفته است.

**کلمات کلیدی:** زنجیره تامین سه رده‌ای، نظریه بازی، رقابت، قیمت گذاری

### ۱. مقدمه

یک زنجیره تامین شامل شرکت‌های مستقل است که کلیه فرآیندهای تبدیل مواد اولیه به محصولات نهایی و تحویل آنها به مشتری نهایی به صورت یک زنجیره می‌باشد [۱]. در سال‌های اخیر به هماهنگی میان اجزای زنجیره تامین توجه شده است [۲]. هماهنگی اعضای زنجیره تامین با یکدیگر به منظور کسب سود بیشتر صورت می‌گیرد. یک زنجیره تامین مجموعه‌ای از تلاش‌های چندین شرکت است که منجر به تحویل محصولات نهایی به مشتری نهایی می‌شوند. به طور کلی در یک زنجیره تامین، تامین کنندگان مواد اولیه را تامین می‌کنند، تولیدکننده محصولات را تولید می‌کند و خرده فروشان محصولات نهایی را به مشتریان نهایی می‌فروشد. افزایش رقابت به خاطر جهانی شدن بازار و برانگیختن شرکت‌های مستقل برای هماهنگی در زنجیره تامین باعث می‌شود تا سود متقابل بیشتری را بدست آورند [۳، ۴]. در زنجیره تامین غیرمتمرکز، اجزا به صورت مستقل تصمیم‌گیری می‌کنند که البته این تصمیم‌ها از یکدیگر تاثیر می‌پذیرند. اغلب اجزای چنین زنجیره‌ای، قدرت‌های متفاوت دارند. قدرت به صورت "توانایی یک جزء زنجیره برای کنترل متغیرهای تصمیم در راهبرد بازاریابی جزء دیگر زنجیره در سطح توزیع متفاوت" تعریف می‌شود [۵].

یک زنجیره تامین اغلب بیش از یک نوع محصول را به منظور پاسخ‌گویی به نیازهای مشتریان عرضه می‌کند. شرکت‌ها برای تامین نیازهای متفاوت مشتریان و برآورده کردن تقاضای بازار به دنبال ارائه کالاهای مختلفی هستند تا بتوانند سهم بازار و سود خود را به حداکثر برسانند. بنابراین این پژوهش چند محصولی بودن را در استراتژی قیمت گذاری در زنجیره تامین در نظر می‌گیرد [۶].

در این مقاله یک زنجیره تامین با چند تامین کننده، یک تولیدکننده و چند خرده فروش برای تامین مواد اولیه، تولید و فروش محصولات نهایی با یکدیگر مشارکت می‌کنند. تولیدکننده چندین عنصر یا مواد اولیه با توجه به نیازهایش از چندین تامین کننده خریداری می‌کند و محصولات نهایی را تولید و بصورت عمده به خرده فروشان تحویل می‌دهند. بنابراین این زنجیره تامین سه رده‌ای است، که چندین تامین کننده، یک تولیدکننده و چندین خرده فروش دارد. تصمیمات اصلی تامین کنندگان، قیمت مواد اولیه و مقدار مواد اولیه است. تولیدکننده قیمت عمده فروشی، مقدار مورد نیاز مواد اولیه هر محصول را جهت

بهینه‌سازی سود خود تعیین می‌کند. در نهایت خرده‌فروشان محصولات را به قیمت عمده‌فروشی از تولیدکننده خریداری می‌کنند و سپس آنها را به مشتریان نهایی بازار به قیمت خرده‌فروشی به فروش می‌رسانند. در این تحقیق فرض شده که خرده‌فروشان در یک بازار قرار دارند و با یکدیگر بر روی قیمت خرده‌فروشی رقابت می‌کنند. همچنین نرخ تقاضا برای هر خرده‌فروش تابعی افزایشی با توجه به قیمت خرده‌فروشان رقیب و تابعی کاهشی با توجه به قیمت خرده‌فروشی می‌باشد. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی سه رده‌ای غیرهمکارانه ارائه شده است که در آن اعضای زنجیره‌تامین به عنوان یک بازیکن فرض شده‌اند. تامین‌کنندگان و خرده‌فروشان بصورت افقی با یکدیگر رقابت می‌کنند. از طرفی تامین‌کنندگان با تولیدکنندگان در بازی دیگر و خرده‌فروشان به صورت غیرهمکارانه با تولیدکننده در بازی دیگری رقابت می‌کند. فرض می‌گردد که تولیدکننده از قدرت بیشتری برخوردار است و تصمیم‌های خود را به تامین‌کنندگان و خرده‌فروشان تحمیل می‌نماید به عبارت دیگر تولیدکننده نقش رهبر و دیگر اعضا نقش پیرو را دارند، از این رو بازی استکلبرگ است. در ادامه مقاله، در بخش دوم به مرور پژوهش‌های پیشین پرداخته می‌شود که مرتبط با موضوع هستند. در بخش سوم مدل‌سازی ریاضی اعضای زنجیره‌تامین با استفاده از نظریه بازی صورت گرفته است. در بخش چهارم روش حل دقیق به‌منظور به‌دست آوردن نقطه تعادل استکلبرگ ارائه شده است. سپس تحلیل حساسیت روی مهم‌ترین پارامتر مدل و در نتیجه آن پیام مدیریتی در بخش پنجم مورد بحث قرار گرفته است. در بخش ششم، به نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای مطالعات آتی پرداخته شده است.

## ۲. مرور ادبیات

در این قسمت پژوهش‌های انجام شده در زنجیره‌تامین‌های دو رده‌ای و چند رده‌ای بر مبنای استراتژی‌های قیمت‌گذاری، بازیافت، موجودی و محصولات سبز آورده شده است.

اسماعیلی، سید اصفهانی، شی و یوگانگ و همکاران [۷، ۸، ۹، ۱۰] مساله قیمت‌گذاری و سفارش موجودی در یک زنجیره‌تامین دو رده‌ای برای بهینه‌سازی سود در نظر می‌گیرند زمانیکه تقاضا وابسته به قیمت است. آنها نشان دادند که اعضای زنجیره‌تامین می‌توانند سود بیشتری در مقایسه با شرایطی که بصورت شخصی تصمیم‌گیری کنند به‌دست آورند. هشیه و همکاران [۱۱] چندین تولیدکننده و یک خرده‌فروش را در یک زنجیره‌تامین که با عدم قطعیت تقاضا روبه‌رو است در نظر می‌گیرند، هر تولیدکننده محصولات قابل جایگزین متفاوتی را تولید می‌کنند و به خرده‌فروش می‌فروشند و بخشی از تولیدکنندگان محصولاتشان را از طریق کانال‌های مستقیم بعلاوه کانال خرده‌فروشی به فروش می‌رسانند. آنها تصمیمات مربوط به قیمت و مقادیر تعادل اعضا را در محیط غیرمتمرکز و ناهماهنگ و یکپارچه متمرکز مشخص کردند و راه‌حل‌های شکل بسته را برای جستجوی اثرساختار کانال و پارامترهای تصمیمات اعضا و عملکرد بررسی می‌کنند. چپو و همکاران [۱۲] قیمت‌ها و مقادیر سفارش را برای یک محصول فاسدشدنی با عمر چند دوره‌ای تعیین کردند.

مخلصیان و همکاران [۱۳] یک مدل برنامه‌ریزی دو سطحی چند بعدی نشان می‌دهند. این مدل دو خرده‌فروش و تولیدکننده را در نظر می‌گیرد که درباره قیمت و حجم تولید (برای تولیدکننده) یا مقدار خرید (برای خرده‌فروشان) تصمیم‌گیری می‌کنند. یک الگوریتم ژنتیک (GA) و روش سرچ محلی برای حل مدل دو سطحی غیرخطی ارائه کردند.

ماداک و همکاران [۱۴] مدل همکارانه و غیرهمکارانه یک زنجیره‌تامین حلقه بسته دو رده‌ای را ارائه کردند که شامل یک تولیدکننده و دو خرده‌فروش است و تابع تقاضا شامل فاکتورهای قیمت و بازیافت می‌باشد و این مدل را با بازی‌های کلوزن و کورنات مقایسه می‌کنند. نعیمی صدیق و همکاران [۱۵] بر روی هماهنگی تصمیمات شرکت که شامل: قیمت‌گذاری، تبلیغات، سفارش و تصمیمات موجودی می‌باشند در یک زنجیره‌تامین غیرمتمرکز چند مرحله‌ای و چند محصولی که چندین تامین‌کننده، یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش دارد تمرکز می‌کنند. آنها یک مدل موجودی برای تولیدکننده و خرده‌فروشان که قادرند تعداد سفارشات برای هر محصول را تعیین کنند ارائه کردند. مدل پیشنهادی ارتباطات بین اعضای زنجیره‌تامین سه مرحله‌ای را بر اساس یک بازی نش غیررقابتی با تصمیمات قیمت‌گذاری و موجودی نشان می‌دهد. آنها یک الگوریتم حل تکرار شونده برای یافتن نقطه تعادل نش بازی ارائه کردند.

هوآنگ و همکاران [۱۶] مدل جدیدی برای یک زنجیره‌تامین چند رده‌ای ارائه می‌کند که تصمیمات قیمت‌گذاری و موجودی در هر رده تعیین می‌شوند. دان‌لی و همکاران [۱۷] نشان دادند که به‌منظور قابل ترجیح بودن محصولات سبز توسط انواع مصرف‌کنندگان، قیمت‌های آنها باید به صورت رقابتی باشند. کاسکون و همکاران [۱۸] یک مدل برنامه‌ریزی-هدف را با در نظر گرفتن سه نوع مصرف‌کننده از جمله مصرف‌کنندگان سبز، ناسازگار و قرمز ارائه کردند و مساله را برای یک مثال واقعی حل کرده‌اند تا به طور آشکاری ارزش و قابل کاربرد بودن مدل را نشان دهند. لی و همکاران [۱۹] یک زنجیره‌تامین دو مرحله‌ای را بررسی می‌کنند که در آن تولیدکننده محصولات سبز برای حفظ محیط‌زیست تولید می‌کند. آنها در مورد سیاست قیمت‌گذاری و استراتژی‌های سبز برای اعضای زنجیره‌تامین در دو مورد متمرکز و غیرمتمرکز با استفاده از مدل بازی استکلبرگ تحت یک استراتژی ثابت قیمت‌گذاری مطرح نمودند. آنها نتایج زنجیره‌های تامین تک کانالی و دوکانالی را باهم مقایسه کردند.

در این مقاله مدل ریاضی را به صورت یک بازی غیرهمکارانه سه رده‌ای بررسی کردیم که در آن هر یک از اعضای زنجیره‌تامین به عنوان بازیکن فرض شده‌اند. خرده‌فروشان و تامین‌کنندگان در سطح پایین‌تر با یکدیگر به صورت افقی رقابت می‌کنند. از طرفی در یک بازی دیگر بطور همزمان با تولیدکننده بصورت عمودی رقابت می‌کنند. در این مقاله فرض شده است که تولیدکننده از قدرت بیشتری برخوردار است و تصمیماتش را به خرده‌فروشان و تامین‌کنندگان تحمیل می‌کند. به عبارت دیگر تولیدکننده نقش رهبر و خرده‌فروشان و تامین‌کنندگان نقش پیرو دارند. بنابراین بازی از نوع استکلبرگ می‌باشد.

### ۳. مدل ریاضی مساله

در این قسمت به شرح مفروضات، پارامترها، متغیرهای تصمیم و مدل‌های ریاضی خریدار و فروشنده ارائه شده می‌پردازیم:

#### ۱.۳. مجموعه‌ها

- I: مجموعه محصولات  $(1, 2, \dots, n)$   
 R: مجموعه خرده‌فروشان  $(1, 2, \dots, R)$   
 S: مجموعه تامین‌کنندگان  $(1, 2, \dots, S)$   
 J: مجموعه مواد اولیه مورد نیاز برای تولید n محصول  $(1, 2, \dots, J)$

#### ۲.۳. پارامترها

- $f_{ir}$ : تقاضای بالقوه (تقاضای ثابت  $f_{ir} > 0$ )  
 $\alpha_{ir}$ : ضریب حساسیت قیمت خرده‌فروش  
 $\beta_{ir}$ : ضریب حساسیت قیمت خرده‌فروش رقیب  
 $C_{mi}$ : هزینه تولید آمین محصول تولیدکننده  
 $B_m$ : حداکثر بودجه تولید تمام محصولات  
 $U_{ij}$ : مقدار مصرف واحد ماده خام j لازم در هر واحد محصول i  
 $C_{Sj}$ : هزینه تولید j ماده اولیه توسط تامین‌کننده S  
 $C_{Aj}$ : حداکثر ظرفیت تولید j آمین ماده اولیه توسط تامین‌کننده S  
 $\eta_{js}$ : ضریب الاستیسیته قیمت S آمین تامین‌کننده برای ماده اولیه j  
 $\theta_{js}$ : ضریب الاستیسیته قیمت S آمین تامین‌کننده رقیب برای ماده اولیه j

#### ۳.۳. متغیرهای تصمیم

- $P_{ir}$ : قیمت خرده‌فروشی خرده‌فروش r ام برای محصول i  
 $\Phi_i$ : قیمت واحد عمده‌فروشی محصول آ  
 $F_{js}$ : قیمت j آمین ماده خام تعیین شده توسط تامین‌کننده S برای تولیدکننده  
 $V_{js}$ : مقدار ماده خام j ام تولید شده توسط تامین‌کننده S  
 $Q_j$ : مقدار مورد نیاز از j آمین ماده اولیه برای تولید تمام محصولات

#### ۴.۳. مفروضات مساله

تقاضای هر محصول به صورت تابعی از  $P_{ir}$  می‌باشد و به صورت زیر می‌باشد:

$$D_{ir} = f_{ir} - \alpha_{ir} p_{ir} + \sum_{r=1/r \neq i}^R \beta_{ir} p_{ir} \quad (1)$$

در این مدل تقاضا ثابت نمی‌باشد، مدل ارائه شده در این مقاله بر اساس مفروضات زیر است:

- پارامترها قطعی و از پیش تعیین شده می‌باشند.
- تقاضای هر محصول تابع خطی از قیمت خرده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشان رقیب است.
- برای هر ماده اولیه از هر محصول که تولیدکننده تولید می‌کند و بصورت عمده‌فروشی به خرده‌فروشان می‌فروشد، باید حداقل دو تامین‌کننده در دسترس باشند. به عبارت دیگر بخاطر وجود رقابت بین تامین‌کنندگان، تک منبعی مجاز نمی‌باشد. این فرض برای خرده‌فروشان نیز صادق می‌باشد.
- تولیدکننده مواد اولیه متفاوت را از تامین‌کنندگان خریداری و محصولات را در چندین نوع متفاوت تولید و به قیمت عمده‌فروشی به خرده‌فروشان می‌فروشد.

### ۵.۳. مدل خرده‌فروشان

هدف خرده‌فروشان تعیین قیمت خرده‌فروشی است، بطوریکه سود خالص خود را بیشینه نماید. قیمت خرده‌فروشی به عنوان عاملی اصلی در تعیین تقاضا و سود تمام زنجیره‌تامین است. مدل خرده‌فروشان در زیر ارائه شده است:

$$\Pi R_r = \sum_{i=1}^n p_{ir} D_{ir} - \sum_{i=1}^n \varphi_i D_{ir} \quad (2)$$

St.

$$p_{ir} \geq 0 \quad (3)$$

### ۶.۳. مدل تولیدکننده

هدف تولیدکننده تعیین میزان بهینه انباشته ( $Q_j$ ) و مقدار بهینه قیمت عمده‌فروشی ( $\Phi_i$ ) است، بطوریکه سود خالص آن را بیشینه نماید. معادله (۵) محدودیت بودجه تولید تولیدکننده است. در اینجا مدل به صورت چند محصولی و محدودیت (۶) میزان تولید در نظر گرفته شده است بطوریکه حتی اگر تقاضای بازار کشش نیز داشته باشد، تولیدکننده نمی‌تواند از هر محصول به هر اندازه تولید نماید. به عبارت دیگر تولیدکننده دارای محدودیت ظرفیت تولید است و محدودیت (۷) نامنفی بودن متغیرهای تصمیم را تضمین می‌کند. بنابراین سود سالیانه تولیدکننده به شکل زیر می‌باشد:

$$\Pi_M = \sum_{i=1}^n \left[ \varphi_i \sum_{r=1}^R D_{ir} \right] - \sum_{i=1}^n \left[ C m_i \sum_{r=1}^R D_{ir} \right] \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S F_{js} V_{js}$$

St.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^R C m_i D_{ir} \leq B_m \quad (5)$$

$$Q_j = u_{ji} \sum_{i=1}^R D_{ir} \quad \text{for } j=1,2,\dots,J \quad (6)$$

$$\varphi_i \geq 0, Q_j \geq 0 \quad (7)$$

### ۷.۳. مدل تامین‌کنندگان

متغیرهای تصمیم هر تامین‌کننده قیمت مواد اولیه و مقدار مواد اولیه می‌باشد. بنابراین تامین‌کنندگان باید استراتژی‌های بهینه را جهت حداکثرسازی سود خالص خود بدست آوردند. تابع سود تامین‌کنندگان به صورت زیر می‌باشد:

$$\prod_{(F_{js}, V_{js})} S_s = \sum_{j=1}^J F_{js} V_{js} - \sum_{j=1}^J C_{js} V_{js} \quad (8)$$

*S t.*

$$V_{js} = Q_j - \eta_{js} F_{js} + \sum_{s=1/s}^S \theta_{js} F_{js} \quad (9)$$

$$\sum_{s=1}^S V_{js} = Q_j \quad \text{for } j=1,2,\dots,J \quad (10)$$

$$V_{js} \leq C a_{js} \quad \text{for } j=1,2,\dots,J \quad (11)$$

$$F_{js} \geq 0 \quad V_{js} \geq 0 \quad (12)$$

محدودیت (۹) مقدار تقاضای هر ماده اولیه را نشان می‌دهد که وابسته به قیمت خود و قیمت سایر تامین‌کنندگان است، محدودیت شماره (۱۰) تضمین می‌کند که مقدار ماده اولیه مورد نیاز توسط تامین‌کنندگان تامین می‌شود، محدودیت (۱۱) محدودیت ظرفیت تولید ماده اولیه است و محدودیت (۱۲) نامنفی بودن متغیرهای تصمیم را تضمین می‌کند.

### ۸.۳. مدل استکلبرگ تولیدکننده

در این قسمت تقابل بین اعضای زنجیره تامین را از نوع بازی استکلبرگ در نظر می‌گیریم، که تولیدکننده نقش رهبر و خرده‌فروشان و تامین‌کنندگان نقش پیرو را دارند. به عبارت دیگر، در یک بازی استکلبرگ ابتدا رهبر استراتژی خود را تعیین نموده، سپس پیرو عکس‌العمل خود را در قالب بهترین استراتژی با اطلاعات موجود انجام می‌دهد. بنابراین مدل استکلبرگ به صورت زیر ارائه خواهد شد:

$$\prod_M(\varphi_i, Q_j) = \sum_{i=1}^n \left[ \varphi_i \sum_{r=1}^R D_{ir} \right] - \sum_{i=1}^n \left[ C m_i \sum_{r=1}^R D_{ir} \right] \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S F_{js} V_{js}$$

S t.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^R C m_i D_{ir} \leq B_m$$

$$Q_j = u_{ji} \sum_{r=1}^R D_{ir} \quad \text{for } j=1,2,\dots,J$$

$$p_{ir} \in \arg \text{Max } \Pi R_r(p_{ir})$$

$$= \sum_{i=1}^n p_{ir} D_{ir} - \sum_{i=1}^n \varphi_i D_{ir}$$

S t.

$$p_{ir} \geq 0$$

$$D_{ir} = f_{ir} - \alpha_{ir} p_{ir} + \sum_{r=1/r}^R \beta_{ir} p_{ir}$$

$$(F_{js}, V_{js}) \in \arg \text{Max } \prod_{S_s}(F_{js}, V_{js}) = \sum_{j=1}^J F_{js} V_{js} - \sum_{j=1}^J C s_j V_{js}$$

S t.

$$V_{js} = Q_j - \eta_{js} F_{js} + \sum_{s=1/s}^S \theta_{j\bar{s}} F_{j\bar{s}}$$

$$\sum_{s=1}^S V_{js} = Q_j \quad \text{for } j=1,2,\dots,J$$

$$V_{js} \leq C a_{js} \quad \text{for } j=1,2,\dots,J$$

#### ۴. حل مدل استکلبرگ تولیدکننده

مساله فوق یک مساله برنامه‌ریزی دوسطحی است. در این قسمت، با توجه به اینکه تابع هدف شبه مقعر قوی بوده و محدودیت‌ها محدب هستند [۲۰] نقاط بهینه یکتای تابع هدف سطوح پایین‌تر (خرده‌فروشان و تامین‌کنندگان) را بر اساس مقادیر داده شده از (تولیدکننده) به عنوان رهبر و با استفاده از شرایط KKT محاسبه می‌نماییم. برای محاسبه تصمیمات بهینه خرده‌فروش شرط مرتبه اول معادله (۲) را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$\frac{\partial \Pi R_r}{\partial p_{ir}} = 0 \rightarrow p_{ir}^* = \frac{f_{ir} + \sum_{r=1/r}^R \beta_{ir} p_{ir} + \alpha_{ir} \varphi_i}{2\alpha_{ir}} \quad (14)$$

بنابراین، معادله (۱۴) بهترین پاسخ هر خرده‌فروش است.

برای محاسبه بهترین پاسخ بهینه تامین‌کنندگان، معادله (۱۱) در نهایت در نظر گرفته نشده است. بنابراین معادله لاگرانژ و شرط مرتبه اول تابع هدف تامین‌کنندگان بصورت زیر است. منطقی است که  $\mu_j$  می‌تواند مقداری مثبت یا منفی بگیرد.

$$L_{S_s}(F_{js}) = \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S F_{js} \left( Q_j - \eta_{js} F_{js} + \sum_{s=1/s}^S \theta_{j\bar{s}} F_{j\bar{s}} \right) \quad (15)$$

$$- \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S C s_j \left( Q_j - \eta_{js} F_{js} + \sum_{s=1/s}^S \theta_{j\bar{s}} F_{j\bar{s}} \right) - \mu_j \left( \sum_{s=1}^S V_{js} - Q_j \right)$$

$$\frac{\partial L_{S_s}}{\partial F_{j_s}} = 0 \rightarrow \left( Q_j - \eta_{j_s} F_{j_s} + \sum_{s=1/s}^S \theta_{j_s} F_{j_s} \right) - \eta_{j_s} (F_{j_s} - C_{S_{j_s}}) - \mu_j (-\eta_{j_s} + (s-1)\theta_{j_s}) = 0$$

برای حل این مدل، استراتژی‌های بهینه بازیکنان پیرو، که تابعی از استراتژی‌های بازیکن رهبر می‌باشند، در تابع هدف رهبر قرار داده می‌شوند. بنابراین مدل دو سطحی به شکل زیر تبدیل می‌شود:

$$\Pi_M(\varphi_i, Q_j) = \sum_{i=1}^n \left[ \varphi_i \sum_{r=1}^R D_{ir} \right] - \sum_{i=1}^n \left[ C m_i \sum_{r=1}^R D_{ir} \right] - \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S F_{j_s} V_{j_s} \quad (16)$$

*S.t.*

$$\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^R C m_i D_{ir} \leq B_m$$

$$Q_j = u_{ji} \sum_{r=1}^R D_{ir} \quad \text{for } j=1,2,\dots,J$$

$$p_{ir} = \frac{f_{ir} + \sum_{r=1/r}^R \beta_{ir} p_{ir} + \alpha_{ir} \varphi_i}{2\alpha_{ir}}$$

$$\left( Q_j - \eta_{j_s} F_{j_s} + \sum_{s=1/s}^S \theta_{j_s} F_{j_s} \right) - \eta_{j_s} (F_{j_s} - C_{S_{j_s}}) - \mu_j (-\eta_{j_s} + (s-1)\theta_{j_s}) = 0$$

$$\sum_{s=1}^S \left[ Q_j - \eta_{j_s} F_{j_s} + \sum_{s=1/s}^S \theta_{j_s} F_{j_s} \right] = Q_j \quad \text{for } j=1,2,\dots,J$$

مقادیر استراتژی‌ها بهینه بازیکنان پیرو برای محاسبه میزان تابع هدف به مدل تولیدکننده ارائه می‌شود و این امر ادامه می‌یابد تا زمانی که تولیدکننده به مقدار بهینه تابع هدف خود دست یابد. بنابراین تابع هدف تولیدکننده در مدل استکلبرگ تولیدکننده به عنوان تابعی از متغیرهای قیمت عمده‌فروشی، قیمت خرده‌فروشی است که در زیر نشان داده شده است:

$$\text{Max}_{(\varphi_i, Q_j)} \Pi_M = \sum_{i=1}^n (\varphi_i - C m_i) \sum_{r=1}^R \left( f_{ir} - \frac{f_{ir} + \sum_{r=1/r}^R \beta_{ir} p_{ir} + \varphi_i \alpha_{ir}}{2} \right) \quad (17)$$

$$+ \sum_{r=r/1}^R \beta_{ir} p_{ir} - \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S F_{j_s} V_{j_s} + \sum_{r=r/1}^R \beta_{ir} p_{ir}$$

$$\sum_{i=1}^n C m_i \sum_{r=1}^R \left( f_{ir} - \frac{f_{ir} + \sum_{r=1/r}^R \beta_{ir} p_{ir} + \varphi_i \alpha_{ir}}{2} + \sum_{r=r/1}^R \beta_{ir} p_{ir} \right) - B_m \leq 0$$

$$u_{ji} \sum_{r=1}^R \left( f_{ir} - \frac{f_{ir} + \sum_{r=1/r}^R \beta_{ir} p_{ir} + \varphi_i \alpha_{ir}}{2} + \sum_{r=r/1}^R \beta_{ir} p_{ir} \right) - Q_j \leq 0 \quad \text{for } j=1,2,\dots,J$$

$$\left( Q_j - \eta_{js} F_{js} + \sum_{s=s/1}^s \theta_{js} F_{js} \right) - \eta_{js} (F_{js} - cs_{js}) - \mu_j (-\eta_{js} + (s-1)\theta_{js}) = 0$$

$$\sum_{s=1}^s \left[ Q_j - \eta_{js} F_{js} + \sum_{s=s/1}^s \theta_{js} F_{js} \right] = Q_j \quad \text{for } j=1,2,\dots,J$$

بنابراین مدل برنامه‌ریزی دو سطحی که در آن تولیدکننده نقش رهبر را دارد به مدل برنامه‌ریزی تک‌سطحی تبدیل می‌شود. پاسخ بهینه کلی معادلات بالا نقطه تعادل بازی استکلبرگ تولیدکننده است که نتایج در بخش بعدی تجزیه و تحلیل می‌شوند.

## ۵. نتایج محاسباتی

در این بخش ابتدا مقادیر ورودی اعضای زنجیره‌تامین در جداول ۱-۳ گزارش شده است و سپس خروجی‌های حاصل از مدل استکلبرگ تولیدکننده که با استفاده از نرم‌افزار GAMS حاصل شده‌اند را ارائه می‌دهیم:

جدول ۱- مقادیر پارامترهای خرده‌فروشان

خرده‌فروش	محصول			استراتژی
	۱	۲	۳	
$f_{ir}$	۱	۶۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	
	۲	۶۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	
	۳	۷۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	
	۴	۷۱۰۰۰	۶۹۰۰۰	
$\alpha_{ir}$	۱	۰.۹۵	۰.۹۱	۰.۹۵
	۲	۰.۹۲	۰.۸۹	۰.۹۵
	۳	۰.۹۵	۰.۹	۱
	۴	۱	۱	۰.۹۹۵
$\beta_{ir}$	۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۶	۰.۰۰۴
	۲	۰.۰۰۳	۰.۰۰۱	۰.۰۱۲
	۳	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۱۳
	۴	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۱



جدول ۲- مقادیر پارامترهای تامین کنندگان

تامین کننده					تامین کننده اولیه									
۱	۲	۳	۴	استراتژی	۱	۲	۳	۴	استراتژی					
۱	۰.۰۱	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۷	۱	۲۰	۱۵	۲۰	۲۰					
۲	۰.۰۲	۰.۰۵	۱	۰.۰۷	۲	۱۹	۱۹	۱۸	۲۱					
۳	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۱	۰.۰۵	۳	۱۹	۲۰	۱۹	۱۱					
۴	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۰۶	۴	۱۵	۲۲	۲۲	۱۵					
۵	۰.۰۲	۰.۰۵	۰.۰۷	۱	۵	۲۶	۱۲	۱۲	۱۸					
$\theta_{js}$					$\eta_{js}$					۱	۰.۵	۱	۰.۴	۰.۷
										۲	۰.۶	۲	۰.۴	۰.۳۵
										۳	۰.۳۵	۳	۰.۵	۰.۴۵
										۴	۰.۳	۴	۰.۴	۰.۲۵
										۵	۰.۰۲۵	۵	۰.۱	۰.۲۵
$C_{sjs}$										۱	۰.۵	۱	۰.۴	۰.۷
										۲	۰.۶	۲	۰.۴	۰.۳۵
										۳	۰.۳۵	۳	۰.۵	۰.۴۵
										۴	۰.۳	۴	۰.۴	۰.۲۵
										۵	۰.۰۲۵	۵	۰.۱	۰.۲۵

جدول ۳- مقادیر پارامترهای تولیدکننده

پارامتر						محصول
$u_{0j}$	$u_{1j}$	$u_{2j}$	$u_{3j}$	$u_{4j}$	$u_{5j}$	$Cm_j$
۰.۲	۰.۶	۰.۵	۱	۱	۱	۲
۰.۴	۰.۳	۲	۰.۶	۱	۱	۳
۰	۰.۳	۰.۳	۱	۰	۰	۴
۰.۴	۰.۴	۱	۰.۴	۰.۵	۰.۵	۵

### ۲.۵. خروجی‌های تولیدکننده

متغیرهای تصمیم تولیدکننده که عبارتند از قیمت عمده‌فروشی هر محصول و مقدار مورد نیاز مواد اولیه از قرار زیر است.

$$\varphi_1 = 36539.451 \quad \varphi_2 = 41807.607 \quad \varphi_3 = 44368.808 \quad \varphi_4 = 35416.588$$

$$Q_1 = 44162.044, \quad Q_2 = 56545.142, \quad Q_3 = 75705.482, \quad Q_4 = 26497.226, \quad Q_5 = 20676.046$$

### ۳.۵. خروجی‌های خرده‌فروشان

در جدول ۴ متغیرهای تصمیم خرده‌فروشان شامل قیمت فروش هر محصول به مشتری و مقدار تقاضای هر محصول گزارش شده است.

جدول ۴- متغیرهای تصمیم خرده‌فروشان

				خرده‌فروش	محصول						
						استراتژی					
				۳	۲	۱					
				۴۹۸۸۱.۱۴	۴۲۵۴۰.۵۱۱	۴۵۲۰۴.۴۴۲	۱				
				۴۷۴۵۴.۴۲۴	۴۸۰۲۳.۰۷۶	۴۶۲۶۶.۸۲۶	۲				
				۶۶۰۱۵.۶۴۹	۵۴۳۷۹.۷۳۸	۵۳۷۳۰.۷۳۲	۳	$P_{ir}$			
				۵۱۹۴۵.۹۷۳	۵۲۲۸۷.۵۳۵	۵۳۲۶۸.۸۳۲	۴				
				۲۲۹۶۲.۰۸۵	۲۱۵۰۰.۸۳۷	۱۷۵۰۷.۸۲۵	۱				
				۱۵۱۰۸.۱۱۵	۲۷۹۷۹.۸۰۹	۱۷۵۷۳.۳۲۱	۲				
				۲۱۶۸۲.۳۹۸	۳۱۸۱۹.۵۵۲	۱۹۷۶۱.۷۶۵	۳	$D_{ir}$			
				۱۷۴۸۵.۱۷۹	۱۶۸۶۹.۳۲۷	۱۷۸۵۴.۲۶۳	۴				

### ۴.۵. خروجی‌های تامین‌کنندگان

در جدول ۵ متغیرهای تصمیم تامین‌کنندگان شامل قیمت مواد اولیه و مقدار ماده اولیه تولیدی توسط تامین‌کنندگان برای تولیدکننده می‌باشند گزارش شده است.

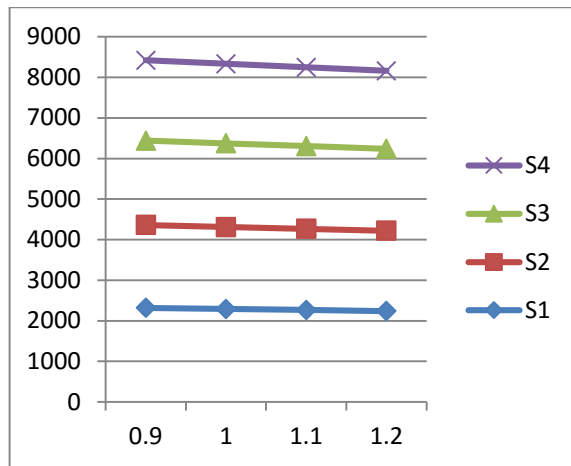
جدول ۵- متغیرهای تصمیم تامین کنندگان

تامین کننده					تامین کننده				
اولیه					اولیه				
۴	۳	۲	۱	ماده	۴	۳	۲	۱	ماده
					استراتژی				
۱۰۳۲۲.۵	۱۳۲۸۶.۷۶	۱۰۲۸۸.۰۵	۱۰۲۶۴.۷۳	۱	۱۷۰۱.۴۲۳	۲۰۷۱.۹۸۱	۱۷۰۵.۶۸۹	۱۷۰۹.۴۱۲	۱
۱۴۳۳۵.۰۹	۱۴۳۷۰.۸۱	۱۵۰۶۴.۴۲	۱۲۷۷۴.۸۳	۲	۲۲۴۱.۶۹۷	۲۲۳۶.۳۰۶	۲۳۲۷.۹۶۹	۲۱۰۷.۹۶۵	۲
۱۷۰۱۴.۵۷	۱۵۸۳۰.۸۶	۱۶۹۹۶.۶۵	۲۵۸۶۳.۴	۳	۳۱۰۴.۳۲۲	۳۰۱۴.۵۴۵	۳۱۰۶.۸۹۳	۴۵۵۹.۲۴۷	۳
۷۹۰۲.۳۹	۵۳۵۳.۴۴۱	۵۳۴۷.۸۰۲	۷۸۹۳.۵۹۳	۴	۱۲۵۲.۷۰۴	۹۶۹.۸۶۷	۹۷۰.۵۶۲	۱۲۵۴.۹۵۵	۴
۲۳۸۹.۷۱۱	۶۷۲۸.۱۶	۶۷۱۹.۳۰۱	۴۸۳۸.۸۷۴	۵	۷۰۹.۴۳۳	۱۱۷۴.۶۲۷	۱۱۷۷.۳۱۲	۸۹۱.۶۲۲	۵

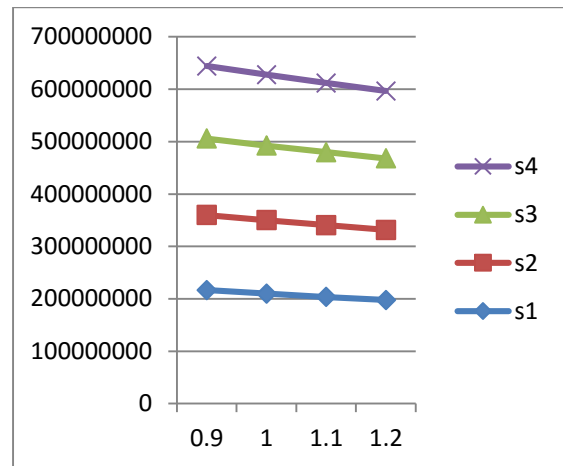
#### ۵.۵. تحلیل حساسیت

در این قسمت تحلیل حساسیت جامعی بر روی مهمترین پارامتر مدل، ضریب الاستیسیته قیمت خرده‌فروشی انجام می‌شود. این مساله تک‌سطحی غیرخطی با نرم‌افزار GAMS24.1.2 و ابزار حل CONOPT حل شده است و پاسخ بهینه کلی در زمان منطقی بدست آمده است.

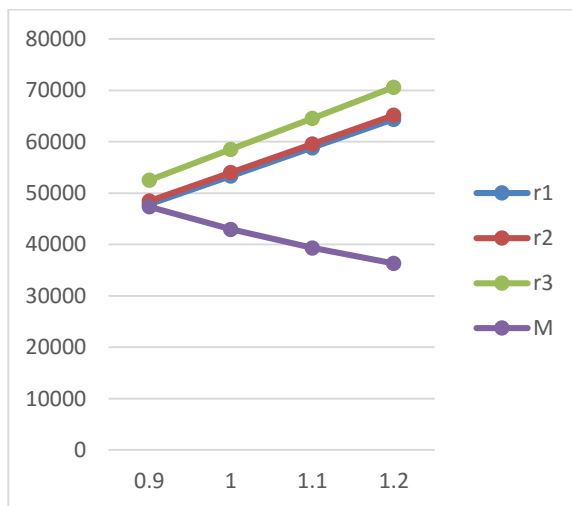
افزایش مقدار  $\alpha$  بیانگر رقابتی‌تر بودن بازار است. مطابق با جداول ۶ و ۷ با افزایش ضریب الاستیسیته قیمت خرده‌فروشی که بیانگر میزان رقابت در بازار می‌باشد منجر به افزایش قیمت خرده‌فروشی و کاهش قیمت‌های عمده‌فروشی و مواد اولیه می‌گردد و تقاضا نیز کاهش می‌یابد. سود خرده‌فروشی با توجه به افزایش قیمت و کاهش تقاضا کاهش می‌یابد و سود تولیدکننده و تامین‌کنندگان به این علت که میزان کاهش تقاضا بیشتر از میزان کاهش قیمت عمده‌فروشی و مواد اولیه است بنابراین سود تولیدکننده و تامین‌کنندگان نیز کاهش می‌یابد. شکل ۱ نمودارهای مربوط به تاثیر تغییرات ضریب الاستیسیته قیمت خرده‌فروشی بر اعضای زنجیره‌تامین را نشان می‌دهد.



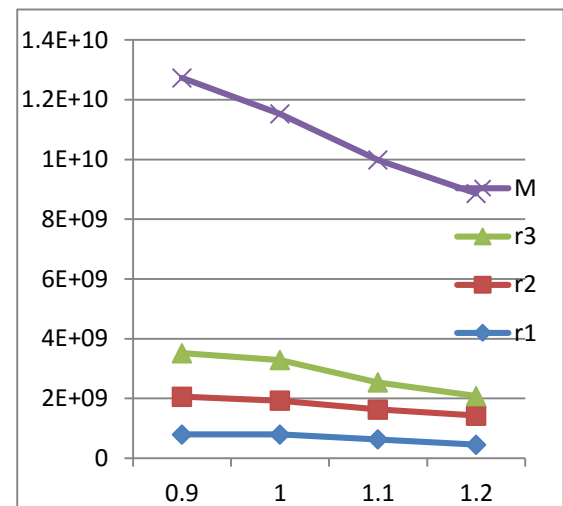
تأثیر تغییرات  $\alpha$  بر متوسط قیمت تامین کنندگان



تأثیر تغییرات  $\alpha$  بر سود تامین کنندگان



تأثیر تغییرات  $\alpha$  بر متوسط قیمت خرده فروشان و تولیدکننده



تأثیر تغییرات  $\alpha$  بر سود خرده فروشان و تولیدکننده

شکل ۱- تأثیر تغییرات ضریب الاستیسیته قیمت خرده فروشی بر اعضای زنجیره تامین

جدول ۶- تاثیر تغییرات ضریب الاستیسیته قیمت خرده‌فروشی بر متوسط قیمت اعضای زنجیره‌تامین

		متوسط قیمت							
ضریب	پارامتر	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	M	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
$\alpha_{ir}$	۰.۹	۴۷۸۲۷.۱۴	۴۸۴۵۲.۱۷	۵۲۵۲۳.۹۵	۴۷۳۴۷.۱۶	۲۳۱۸.۸۵	۲۰۴۰.۸۹	۲۰۸۰.۴۱	۱۹۸۱.۲۶
	۱	۵۳۳۱۳.۵۳	۵۳۹۹۲.۹۴	۵۸۵۲۱.۲۹	۴۲۹۳۶.۲۷	۲۲۹۱.۴۷	۲۰۲۰.۱۸	۲۰۵۹.۶۵	۱۹۶۰.۳۴
	۱.۱	۵۸۸۳۰.۹۱	۵۹۵۶۱.۹۹	۶۴۵۴۷.۱۶	۳۹۳۲۰.۴۴	۲۲۶۵.۰۴	۲۰۰۰.۱۴	۲۰۳۹.۵۵	۱۹۴۰.۰۸
	۱.۲	۶۴۳۷۸.۵۳	۶۵۱۵۸.۶۲	۷۰۶۰۰.۷۶	۳۶۳۰۱.۲۵	۲۲۳۹.۴۹	۱۹۸۰.۷۴	۲۰۲۰.۰۷	۱۹۲۰.۴۷

جدول ۷- تاثیر تغییرات ضریب الاستیسیته قیمت خرده‌فروشی بر مقدار تابع سود اعضای زنجیره‌تامین

		مقدار تابع سود							
ضریب	پارامتر	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>r</sub>	M	S <sub>1</sub>	S <sub>r</sub>	S <sub>r</sub>	S <sub>4</sub>
$\alpha_{ir}$	۰.۹	۷۹۲۵۶۸۱	۱۲۶۳۴۳۲۰	۱۴۵۸۷۶۴۰	۹۲۱۷۹۶۰۰	۲۱۶۵۰۱۱	۱۴۳۴۶۸۳	۱۴۵۸۱۶۲	۱۳۸۴۶۲۷
	۱	۷۹۱۵۶۸۱	۱۱۳۵۴۱۴۰	۱۳۵۸۷۶۴۰	۸۲۴۲۵۵۳۰	۲۰۹۸۸۴۹	۱۴۰۰۶۲۰	۱۴۲۵۲۵۸	۱۳۵۰۲۴۱
	۱.۱	۶۲۶۳۴۷۱	۱۰۰۲۱۶۱۱	۹۰۷۸۶۸۶	۷۴۴۵۹۳۲۰	۲۰۳۶۳۷۲	۱۳۶۸۲۸۸	۱۳۹۳۹۶۷	۱۳۱۷۵۹۸
	۱.۲	۴۵۳۸۴۶۰	۹۷۰۳۵۱۳	۶۵۵۵۶۵۰	۶۷۸۳۳۳۱۰	۱۹۷۷۲۹۸	۱۳۳۷۵۵۹	۱۳۶۴۱۶۷	۱۲۸۶۵۶۸

#### ۶. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق ما مدل هماهنگی تصمیمات قیمت‌گذاری در یک زنجیره‌تامین رقابتی سه رده‌ای مطالعه کردیم که شامل چند خرده‌فروش، یک تولیدکننده و چند تامین‌کننده است. تصمیمات قیمت‌گذاری در هر سه رده زنجیره‌تامین انجام می‌شود. این مدل ریاضی به صورت یک بازی غیرهمکارانه در نظر گرفته شده است. خرده‌فروشان و تامین‌کنندگان با یکدیگر به صورت افقی و با تولیدکننده به صورت عمودی رقابت می‌کنند. تولیدکننده از قدرت بیشتری برخوردار است بنابراین نقش رهبر را دارد، خرده‌فروشان و تامین‌کنندگان نقش بازیکن پیرو را دارند. برای بدست آوردن نقطه تعادل استکلبرگ، مقادیر بهینه سطح پایین‌تر (خرده‌فروشان و تامین‌کنندگان) بر اساس مقادیر سطح بالاتر (تولیدکننده) محاسبه می‌شوند که مدل دو سطحی جهت محاسبه مقادیر بهینه سطح بالاتر به مدل تک سطحی تبدیل می‌شود.

برای تحقیقات آینده، می‌توان رقابت در این مدل را با چند تولیدکننده در نظر گرفت. در این مقاله اعضای زنجیره‌تامین از هزینه‌های یکدیگر و میزان قیمت به مشتری آگاه هستند، چنین فرضی در واقعیت می‌تواند وجود داشته باشد که اعضای زنجیره نخواهند اطلاعات خود را در اختیار یکدیگر قرار دهند که در این صورت قسمتی از دانش طرفین غیرکامل می‌گردد که منجر به استفاده از مدل‌های چانه‌زنی اطلاعات ناکامل می‌گردد. همچنین، در یک محیط چند دوره‌ای، قیمت‌گذاری پویا می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

## منابع

- [۱] نعیمی صدیق علی، چهارسوقی سیدکمال، & نخعی کمال آبادی عیسی (۲۰۱۵). ارائه یک مدل زنجیره تامین رقابتی چند محصولی با استفاده از رویکرد نظریه بازی. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید.
- [۲] ذگردی، سیدحسام الدین، & مخلصیان. (۲۰۱۵). قیمت‌گذاری و موجودی در زنجیره تامین با محصول‌های فاسدشدنی و قابل جایگزینی. نشریه مهندسی صنایع، ۴۹(۲)، ۱۸۵-۱۹۷.
- [3] Weng, Z. K. (1995). Channel coordination and quantity discounts. *Management science*, 41(9), 1509-1522.
- [4] Yu, Y., Chu, F., & Chen, H. (2009). A Stackelberg game and its improvement in a VMI system with a manufacturing vendor. *European Journal of Operational Research*, 192(3), 929-948.
- [5] Proch, M., Worthmann, K., & Schlüchtermann, J. (2017). A negotiation-based algorithm to coordinate supplier development in decentralized supply chains. *European Journal of Operational Research*, 256(2), 412-429.
- [6] Shy, O. (2008). *How to price: a guide to pricing techniques and yield management*. Cambridge University Press.
- [7] Esmaili, M., & Zeephongsekul, P. (2010). Seller-buyer models of supply chain management with an asymmetric information structure. *International Journal of Production Economics*, 123(1), 146-154.
- [8] SeyedEsfahani, M. M., Biazaran, M., & Gharakhani, M. (2011). A game theoretic approach to coordinate pricing and vertical co-op advertising in manufacturer-retailer supply chains. *European Journal of Operational Research*, 211(2), 263-273.
- [9] Shi, J., & Xiao, T. (2015). Service investment and consumer returns policy in a vendor-managed inventory supply chain. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 11(2), 439-459.
- [10] Yugang, Y., Liang, L., & Huang, G. Q. (2006). Leader-follower game in vendor-managed inventory system with limited production capacity considering wholesale and retail prices. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 9(4), 335-350.
- [11] Hsieh, C.-C., Y.-L. Chang, and C.-H. Wu, *Competitive pricing and ordering decisions in a multiple-channel supply chain*. *International Journal of Production Economics*, 2014. 154: p. 156-170.
- [12] Chew, E. P., Lee, C., Liu, R., Hong, K. S., & Zhang, A. (2014). Optimal dynamic pricing and ordering decisions for perishable products. *International Journal of Production Economics*, 157, 39-48.
- [13] Mokhlesian, M., & Zegordi, S. (2014). Application of multidivisional bi-level programming to coordinate pricing and inventory decisions in a multiproduct competitive supply chain. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71.
- [14] Modak, N. M., Panda, S., & Sana, S. S. (2016). Two-echelon supply chain coordination among manufacturer and duopolies retailers with recycling facility. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87(5-8), 1531-1546.
- [15] Sadigh, A. N., Chaharsooghi, S. K., & Sheikhmohammady, M. (2016). A game theoretic approach to coordination of pricing, advertising, and inventory decisions in a competitive supply chain. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 12(1), 337-355.
- [16] Huang, Y., Huang, G. Q., & Newman, S. T. (2011). Coordinating pricing and inventory decisions in a multi-level supply chain: A game-theoretic approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(2), 115-129.
- [17] Dan-li, D., Zhen, F., & Hong-yan, Z. (2011, September). Research on the price negotiation mechanism of green supply chain of manufacturing industry from the angle of customer behavior. In *Management Science and Engineering (ICMSE), 2011 International Conference on* (pp. 244-249). IEEE.
- [18] Coskun, S., Ozgur, L., Polat, O., & Gungor, A. (2016). A model proposal for green supply chain network design based on consumer segmentation. *Journal of Cleaner Production*, 110, 149-157.
- [19] Li, B., Zhu, M., Jiang, Y., & Li, Z. (2016). Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2029-2042.
- [20] Sadigh, A. N., Karimi, B., & Farahani, R. Z. (2011). A game theoretic approach for two echelon supply chains with continuous depletion. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 6(6), 408-412.