

## مدلسازی رقابت در مسئله هماهنگی یک زنجیره تأمین سه سطحی

حمیدرضا اکبر فخرآبادی<sup>1</sup>، سید حسن قدسی پور<sup>2\*</sup>، جعفر قیدرخلجانی<sup>3</sup>

- 1- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
- 2- استاد دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
- 3- استادیار مجتمع دانشگاهی مدیریت و فناوری‌های نرم، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

پذیرش: 1395/04/27

دریافت: 1395/01/16

### چکیده

هدف از این مقاله بررسی یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل دو خرده‌فروش، یک تولیدکننده و یک تأمین‌کننده و هماهنگ‌کردن تصمیم‌های هریک از اعضا در زمینه قیمت‌گذاری و موجودی، به صورت مؤثر و کارا با استفاده از نظریه‌بازی است. در این زنجیره در سطح خرده‌فروشی بین خرده‌فروش‌ها رقابت وجود دارد و آنها برای به دست آوردن سهم بیشتر از بازار با یکدیگر رقابت می‌کنند. مدلسازی موجودی یک زنجیره تأمین چندسطحی و فرموله کردن بازی اعضا برای تعیین قیمت و دوره جایگزینی موجودی، رویکرد اصلی این مقاله است. در این پژوهش از روش ضریب صحیح به‌عنوان روش جایگزینی موجودی ماده خام و محصول استفاده شده و بازی استکلبرگ-نش سه‌سطحی آشیانه‌ای برای مدل‌کردن این مسئله بهینه‌سازی به‌کار رفته است. در این بازی دو خرده‌فروش بازی نش سطح پایین را تشکیل می‌دهند، سپس این دو خرده‌فروش به‌عنوان یک گروه، بازی استکلبرگ سطح میانی را با تولیدکننده بازی می‌کنند و خرده‌فروش‌ها و تولیدکننده به‌عنوان یک گروه بازی استکلبرگ سطح بالا را با تأمین‌کننده انجام می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: هماهنگی زنجیره تأمین، زنجیره تأمین سه سطحی، نظریه بازی، رقابت.

## 1- مقدمه

در دهه‌های گذشته مبحث مدیریت زنجیره تأمین مورد توجه بسیاری از پژوهشگران زنجیره تأمین قرار گرفته است. هدف از مدیریت زنجیره تأمین، بهبود فعالیت‌های مختلف اجزا و سطوح یک زنجیره تأمین به منظور بهبود وضع کلی سیستم زنجیره تأمین است [1].

تمرکز مقاله حاضر روی هماهنگی تصمیم‌های پیکربندی یک زنجیره تأمین سه سطحی است. هدف مدل ارائه شده در این مقاله هماهنگ کردن تصمیم‌های قیمت‌گذاری و موجودی به صورت مؤثر و کارا در یک زنجیره تأمین سه سطحی با استفاده از نظریه بازی، در حالت قطعی بودن تقاضا است. نوآوری اصلی این پژوهش وارد کردن رقابت در یک زنجیره تأمین سه سطحی است. در ادبیات موضوع، رقابت در زنجیره تأمین در حالت دوسطحی بررسی شده است و کمتر حالت سه سطحی مورد توجه قرار گرفته است.

در این مقاله یک مدل در حالت قطعی بودن تقاضا، مطالعه شده و با استفاده از مفهوم تعادل استکلبرگ-نش، حل شده است.

## 2- مرور ادبیات

بسیاری از مطالعات گذشته روی هماهنگ کردن زنجیره تأمین، بر روی زنجیره‌هایی با دو سطح انجام شده است و بررسی‌های انجام شده توسط نویسندگان نشان می‌دهد که پژوهش‌های مربوط به هماهنگی زنجیره‌های تأمین سه سطحی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در برخی منابع، مقاله پایک و کوهن در سال 1993 [2] به عنوان اولین مقاله‌ای که یک زنجیره تأمین سه سطحی را در نظر گرفته‌اند، معرفی شده است. آنها یک مدل زنجیره مارکوف تک کالایی را توسعه دادند که شامل یک تولیدکننده، یک انبار و یک خرده‌فروش بود. در سال 1995 بانرجی و کیم [3] مدلی از یک خریدار، یک تولیدکننده و یک تأمین‌کننده مواد خام در محیط JIT ارائه دادند. در سال 2006 جابر و همکاران [4] در مطالعه خود تابع سود را به جای تابع هزینه در نظر گرفتند. همچنین تقاضا را وابسته به تخفیف فرض کردند. دینگ و چن [5]

هماهنگ کردن یک زنجیره تأمین سه سطحی را که کالاهای با دوره عمر کوتاه می‌فروشد، بررسی کردند. در مدل تک دوره‌ای آنها، تولیدکننده نخست با خرده‌فروش و سپس با تأمین‌کننده در مورد قرارداد تجاری مذاکره می‌کند. جابر و همکاران [6] زنجیره تأمینی را بررسی کردند که عملیات تولیدکننده تحت یک فرایند بهبود پیوسته مبتنی بر یادگیری قرار داشت. هدف اصلی مقاله هی و ژاوو [7] مطالعه موجودی، تولید و تصمیم‌های قراردادهای در یک زنجیره تأمین سه سطحی بود، در حالتی که تقاضا و تأمین هردو غیرقطعی باشند.

مقاله‌های ذکر شده در هر سطح از زنجیره یک بازیکن را در نظر گرفته بودند. خوجا [8، صص 193-208] در سال 2003 سه مکانیزم هماهنگی موجودی در یک زنجیره تأمین با چند شرکت در هر سطح را بررسی کردند. زنجیره مطالعه شده توسط خوجا شامل یک تأمین‌کننده، سه تولیدکننده و دو خرده‌فروش به ازای هر تولیدکننده بود. چند سال بعد بن‌دایا و الناصر [9] مدل خوجا را به حالتی که انتقال بین سطوح مجاز باشد، گسترش دادند. جابر و گوئیال [10] در مقاله پرارجاع خود هماهنگی مقدار سفارش بین اعضای یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل چند تأمین‌کننده، یک فروشنده و چند خریدار را مطالعه کردند. حاجی‌آقایی و سجادی‌فر [11] یک سامانه موجودی سه سطحی با دو انبار، یک تولیدکننده و  $n$  خرده‌فروش ارائه دادند. در سال 2011 هوآنگ و همکاران [12، صص 115-129] در پژوهش خود هماهنگ کردن تصمیم‌های یک زنجیره تأمین سه سطحی را شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش بررسی کردند. یانگ و همکاران [13] پیکربندی همزمان خانواده محصول و زنجیره تأمین آن را به‌عنوان یک بازی استکلبرگ رهبر - پیرو مدل کردند و برنامه‌ریزی غیرخطی حاصل را با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک آشیانه‌ای دوسطحی حل نمودند. طالع‌زاده و نوری دریان [14] مدل مقدار تولید اقتصادی را برای یک زنجیره تأمین چند کالایی سه سطحی شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش مورد مطالعه قرار دادند و جهت تعیین قیمت، مقدار موجودی و مقدار تولید مناسب، زنجیره را به‌صورت یک بازی استکلبرگ، مدل نمودند. نعیمی صدیق و همکاران [15] تصمیم‌های قیمت‌گذاری، تبلیغات و موجودی را برای یک زنجیره تأمین سه سطحی متشکل از چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش براساس یک بازی نش غیرهمکارانه هماهنگ نمودند.

با نگاهی به مرور ادبیات ارائه شده استنباط می‌شود پژوهش‌هایی که رقابت در یک سطح زنجیره را مطالعه نموده‌اند، محدود به زنجیره‌های دوسطحی بوده‌اند و حالتی که در یک زنجیره‌ی تأمین سه سطحی هر دو خرده‌فروش در یک بازار حضور داشته باشند و با هم رقابت کنند، تاکنون بررسی نشده است که در این پژوهش مطالعه شده است.

### 3- روش تحقیق

مدل این پایان‌نامه با استفاده از مفاهیم نظریه بازی توسعه داده شده است. یک بازی شامل مجموعه‌ای از بازیکنان و حرکات یا راهبردها است [16].

تبادل استکلبرگ - نش، اولین بار توسط لئو [17، صص 79-89] معرفی شد. او در مقاله پرارجاع خود، یک برنامه‌ریزی چند سطحی با چند پیرو را بررسی کرد. در یک مسئله چند سطحی، با یک عضو در سطح بالا، یک عضو در سطح میانی و چند عضو در سطح پایین، فرض کنید  $z$  فضای عضو سطح بالا،  $x$  فضای عضو سطح میانی و  $y_i$  فضای عضو  $i$  در سطح پایین باشد و  $F$  تابع مطلوبیت بیشینه‌سازی است.

تبادل استکلبرگ - نش، به این صورت تعریف می‌شود: فرض کنید  $(x^*, z^*, y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)$  یک آرایه و  $(y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)$  تعادل نش اعضای سطح پایین باشد؛ آرایه  $(x^*, z^*, y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)$  تعادل استکلبرگ - نش نامیده می‌شود، اگر و فقط اگر:

$$F(x^*, z^*, y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*) \geq F(\bar{x}, \bar{z}, \bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_m) \quad (1)$$

$$\forall y_i, x, z \quad i = 1, 2, \dots, m$$

در سال 1998 لئو [17، صص 79-89] یک الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن تعادل استکلبرگ - نش پیشنهادی ارائه داد. این الگوریتم توسط هوآنگ و همکاران [12، صص 115-129] برای حالت سه سطحی توسعه داده شد و یک الگوریتم ابتکاری برای محاسبه تعادل استکلبرگ - نش ارائه شد.

در این پژوهش برای محاسبه تعادل استکلبرگ - نش، نخست تابع‌های بهترین پاسخ هر بازیکن محاسبه شده، سپس نقطه تعادل با کمک الگوریتم مذکور محاسبه می‌شود.

#### 4- توصیف مسئله و مدلسازی

در این فصل، مسئله هماهنگی زنجیره تأمین سه سطحی با دو خرده‌فروش رقیب به صورت یک بازی استکلبرگ - نش سه سطحی آشیانه‌ای مدل می‌شود. در این بازی خرده‌فروشان بازی نش سطح پایین را تشکیل خواهند داد و به‌عنوان یک کل، بازی استکلبرگ سطح میانی را با تولیدکننده بازی خواهند کرد. در پایان، خرده‌فروشان و تولیدکننده به‌عنوان یک گروه، بازی استکلبرگ سطح بالا را با تأمین‌کننده انجام خواهند داد. بازی استکلبرگ - نش آشیانه‌ای سه سطحی حاصل، منجر به یک حل تعادلی می‌شود که هیچ یک از اعضای زنجیره نمی‌توانند سود خود را با فعالیت منفرد، بدون توجه به تصمیم‌های دیگر اعضا افزایش دهند. بازی استکلبرگ - نش سه سطحی و الگوریتم حل آن، یک پشتیبان تصمیم قدرتمند برای حل مسئله هماهنگی زنجیره سه سطحی ارائه می‌دهند.

در این بخش نخست مسئله و نمادهای آن توصیف می‌شوند سپس بازی استکلبرگ - نش سه سطحی برای مسئله هماهنگی در حالت قطعی توسعه داده شده و روش حل عددی برای مسئله بیان می‌شود.

#### 4-1- متغیرها و پارامترها

متغیرها و پارامترهای مسئله عبارتند از:

متغیرهای تصمیم:

$G_{r_i}$	حاشیه سود خرده‌فروش $i$
$k_{r_i}$	عدد صحیح تعیین‌کننده دوره جایگزینی خرده‌فروش
$G_M$	حاشیه سود تولیدکننده
$T$	دوره راه‌اندازی تولیدکننده
$G_s$	حاشیه سود تأمین‌کننده
$k_s$	عدد صحیح تعیین‌کننده دوره جایگزینی تأمین‌کننده

پارامترها:

$r$	اندیس خرده‌فروش	$p$	ظرفیت تولید تولیدکننده
$a_i$	تقاضای اولیه خرده‌فروش $i$ $a > 0$	$R_m$	هزینه ثابت سالانه تسهیلات تولیدکننده

قیمت عمده‌فروشی محصول توسط تولیدکننده به خرده‌فروش‌ها	$w_m$	فاکتور حساسیت به قیمت، $\zeta > 0$	$\zeta$
هزینه تولید تولیدکننده	$c_m$	فاکتور حساسیت به قیمت رقیب $\zeta > \gamma$	$\gamma$
مجموعه راهبردهای تولیدکننده؛ $x_m \in X_m$	$X_m$	قیمت خرده‌فروشی توسط خرده‌فروش $i$ به مشتری به ازای واحد محصول	$P_i$
تابع عایدی تولیدکننده	$Z_m$	تقاضایی که خرده‌فروش $i$ با آن مواجه می‌شود.	$D_i$
اندیس تأمین‌کننده	$s$	مقدار سفارش خرده‌فروش $i$	$Q_i$
هزینه نگهداری مواد خام برای تأمین‌کننده	$h_s$	هزینه فرایند سفارش‌دهی خرده‌فروش $i$	$O_{r_i}$
هزینه تولید مواد خام توسط تأمین‌کننده	$c_s$	هزینه ثابت خرده‌فروش $i$	$R_{r_i}$
هزینه ثابت تسهیلات تأمین‌کننده	$R_s$	مجموعه راهبردهای خرده‌فروش $i$ ؛ $x_{r_i} \in X_{r_i}$	$X_{r_i}$
هزینه ثابت راه‌اندازی تأمین‌کننده	$S_s$	تابع عایدی خرده‌فروش $i$	$Z_{r_i}$
ضریب استفاده از ماده خام برای تولید محصول	$\delta_s$	اندیس تولیدکننده	$m$
قیمت عمده‌فروشی مواد خام توسط تأمین‌کننده به تولیدکننده	$w_s$	هزینه نگهداری محصول تولیدشده	$h_{mp}$
مجموعه راهبردهای تأمین‌کننده؛ $x_s \in X_s$	$X_s$	هزینه نگهداری مواد خام	$h_{mr}$
تابع عایدی تأمین‌کننده	$Z_s$	هزینه راه‌اندازی تولیدکننده به ازای هر بار تولید	$S_m$
		هزینه فرایند سفارش‌دهی تولیدکننده به ازای هر بار سفارش مواد خام	$O_m$

#### 2-4- توصیف مسئله

یک زنجیره تأمین سه سطحی را در نظر بگیرید که یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و دو خرده‌فروش دارد. دو خرده‌فروش رقیب یکدیگر هستند؛ برای وارد کردن رقابت در مدل پیشنهادی از ایده ارائه شده در مقاله پارتاساراتی و همکاران [18] استفاده شده است. آنها رقابت را تلاش برای کسب سهم بیشتر از بازار تعریف کرده‌اند و سهم هرکدام از خرده‌فروشان که به صورت مقدار سفارش آنها بیان شده است، به

قیمت خرده‌فروش و قیمت رقیب بستگی دارد. تابع تقاضا از مدل ارائه شده توسط سینها و سارما [19] اخذ شده است که یک تابع پیوسته به صورت (2) است:

$$D_i = a_i - \zeta p_i + \gamma p_j \quad (2)$$

به طوری که  $i = \{1, 2\}$  ,  $j = 3 - i$

در اینجا،  $D_i$  تقاضایی است که خرده‌فروش  $i$  با آن مواجه است،  $a_i$  تقاضای اولیه خرده‌فروش  $i$  است،  $\zeta$  فاکتور حساسیت به قیمت و  $\gamma$  فاکتور حساسیت به قیمت رقیب است و  $p_i$  قیمتی است که خرده‌فروش  $i$  تعیین می‌کند و  $\gamma$  و  $\zeta$  از هم مستقل‌اند. فرض می‌کنیم  $a > 0$  ,  $\zeta > 0$  و  $\zeta > \gamma$  هستند. این فرض همان طور که توسط یاوو و همکاران [20] بحث شده است، منطقی به نظر می‌رسد چرا که فروش، بیشتر نسبت به ویژگی‌های خود خرده‌فروش حساس است تا ویژگی‌های خرده‌فروش رقیب.

فرض شده است که اطلاعات بازار یک دانش معمول است و خرده‌فروشان در یک بازار وجود دارند.

فعالیت‌های زیر در زنجیره صورت می‌گیرد:

1. تأمین‌کننده حاشیه سود  $G_s$  و عدد صحیح تعیین‌کننده دوره ارسال سفارش خود یعنی  $k_s$  را تعیین می‌کند؛
  2. تولیدکننده حاشیه سود کالای ساخته شده، یعنی  $G_m$  و دوره راه‌اندازی خود، یعنی  $T$  را تعیین می‌کند؛
  3. هریک از خرده‌فروش‌ها حاشیه سود خود، یعنی  $G_{r_i}$  و عدد صحیح تعیین‌کننده دوره سفارش‌دهی خود، یعنی  $k_{r_i}$  را تعیین می‌کنند؛
- فرضیه‌هایی که در این پژوهش در نظر گرفته شده است، به صورت زیر است:
- 1: زنجیره تأمین مطالعه شده تک‌محصولی است و تابع تقاضای هر خرده‌فروش نسبت به قیمت خود، کاهشی و محدب است.
  - 2: موجودی مواد خام در مکان تولیدکننده فقط هنگام راه‌اندازی تولید اتفاق می‌افتد. با این فرض، تولیدکننده هنگامی که نیازی ندارد، لازم نیست مواد خام نگهداری کند.

فرض 3: کمبود مجاز نبوده و نرخ تولید از تقاضا بیشتر است:  $P > \sum_i D_i$

فرض 4: اطلاعات بازار یک دانش معمول است و تمام اعضا از آن اطلاع دارند.

فرض 5: روش ضرایب صحیح [8، صص 193-208] برای جایگزینی استفاده شده است. به این ترتیب که دوره جایگزینی تأمین‌کننده ضریب صحیحی از دوره راه‌اندازی تولیدکننده است که آن نیز ضریب صحیحی از دوره جایگزینی خرده‌فروشان است.

فرض 6: تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش‌ها تصمیم‌گیرندگانی منطقی هستند.

#### 3-4- فرمول‌بندی مدل

مسئله هماهنگی به صورت یک بازی استکلبرگ - نش سه سطحی آشیانه‌ای با 4 بازیکن مدل خواهد شد که متشکل از یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و دو خرده‌فروش است. این روش برای مدل کردن زنجیره تأمین از پژوهش [12، صص 115-129] گرفته شده است، با این تفاوت که در مدل ارائه شده توسط آنها رقابتی بین خرده‌فروشان وجود نداشت و فرض شده بود که خرده‌فروشان از هم مستقل‌اند. اما در اینجا این فرض از مدل حذف شده است. در مدل، نخست خرده‌فروشان بازی نش سطح پایین را تشکیل می‌دهند که این بازی RR نامیده شده است. براساس راهبردهای تأمین‌کننده و تولیدکننده، راهبردهای هر خرده‌فروش ( $Z_{r_i}$ ) با تغییر راهبرد خرده‌فروش دیگر تغییر می‌کند تا سود خرده‌فروش را بهینه کند. هرگاه هیچ یک از اعضا مایل به تغییر تصمیم‌های خود نبودند، تعادل نش پایین‌دستی به دست آمده است. سپس دو خرده‌فروش یک گروه را تشکیل داده و به صورت یک بازیکن، بازی استکلبرگ سطح میانی را با تولیدکننده، تشکیل می‌دهند که این بازی در اینجا بازی MRS نامیده می‌شود. در این بازی براساس راهبردهای موجود برای تأمین‌کننده، خرده‌فروشان با تغییر تصمیم‌های تولیدکننده و تولیدکننده با تغییر تصمیم‌های خرده‌فروشان، تصمیم خود را تغییر می‌دهند تا جایی که هیچ یک نتوانند با تغییر راهبردهای خود به تنهایی سود خود را بیشتر کنند. بنابراین تعادل سطح میانی حاصل شده است. بازی استکلبرگ سطح بالایی نیز بین خرده‌فروشان و تولیدکننده در تعادل به عنوان یک گروه، با تأمین‌کننده انجام می‌شود که این بازی



SMRs نامیده می‌شود. راهبرد تأمین‌کننده با تغییر در تصمیم‌های خرده‌فروشان و تولیدکننده تغییر می‌کند. تولیدکننده و خرده‌فروشان نیز با تغییر در تصمیم‌های تأمین‌کننده، تصمیم‌های تعادلی خود را تغییر می‌دهند. این فرایند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که خرده‌فروشان، تولیدکننده و تأمین‌کننده نتوانند سود خود را با تغییر در تصمیم‌های خود افزایش دهند. در این حالت تعادل استکلبرگ سطح بالایی نیز به دست آمده است. بازی ارائه شده یک بازی پویاست چرا که راهبردهای تأمین‌کننده  $Z_s$  در بازی SMRs بر روی راهبردهای تولیدکننده  $Z_m$  و خرده‌فروشان  $Z_r$  در بازی MRs تأثیر می‌گذارد، و تصمیم‌های بازی MRs نیز بر تصمیم‌های در بازی SMRs تأثیرگذار است. در همین زمان، تصمیم‌های تولیدکننده در بازی MRs بر تصمیم‌های خرده‌فروشان در بازی RR تأثیر می‌گذارد و برعکس. در حین تأثیرات متقابل پویا بین بازی‌های RR، MRs و SMRs، خرده‌فروشان، تأمین‌کننده و تولیدکننده می‌توانند مقدار بهینه تصمیم‌ها برای بیشینه کردن سود خود را تعیین کنند. کل بازی SMRs ارائه شده یک بازی غیرهمکارانه پویا با اطلاعات کامل است که در آن هر بازیکن راهبردهای دیگر بازیکنان را می‌شناسد. ساختار بازی در شکل نشان داده شده است.

#### 4-4- تعیین تابع‌های سود

خرده‌فروش  $i$  با هزینه‌های نگهداری، سفارش و یک هزینه ثابت سالانه روبه‌روست، بنابراین مسئله خرده‌فروش  $i$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\max_{k_{r_i} G_{r_i}} Z_{r_i} = G_{r_i} D_i - \frac{TD_i}{2k_{r_i}} h_{r_i} - \frac{O_{r_i} k_{r_i}}{T} - R_{r_i} \quad (3)$$

$$\text{subject to } k_{r_i} \in \{1, 2, 3, \dots\} \quad (4)$$

$$G_{r_i} = p_i - w_m \quad (5)$$

$$D_i = a_i - \zeta p_i + \gamma p_j \quad (6)$$

$$G_{r_i} \geq 0 \quad (7)$$

$$0 \leq \sum_i D_i \leq P \quad (8)$$

تابع عایدی تولیدکننده را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$\max_{T, G_m} Z_m = \sum_i G_m D_i - \frac{T}{2} \sum_i (D_i (1 + \frac{1}{k_{r_i}} - \frac{D_i}{P}) h_{mp}) - \frac{\delta_s T \sum_i D_i^2}{2P} h_{mr} - \frac{S_m + O_m}{T} - R_m \quad (9)$$

$$\text{subject to } G_m = w_m - \delta_s w_s - c_m \quad (10)$$

$$G_m \geq 0 \quad (11)$$

$$T > 0 \quad (12)$$

$$0 \leq \sum_i D_i \leq P \quad (13)$$

و تابع عایدی تأمین‌کننده نیز به صورت زیر خواهد بود:

$$\max_{k_s, G_s} Z_s = G_s \delta_s \sum_i D_i - \frac{(k_s - 1) T \delta_s \sum_i D_i}{2} h_s - \frac{O_s}{k_s T} - R_s \quad (14)$$

$$\text{subject to } k_s \in \{1, 2, 3, \dots\} \quad (15)$$

$$G_s = w_s - c_s \quad (16)$$

$$G_s \geq 0 \quad (17)$$

بازی پیشنهادی، منجر به یک مسئله برنامه‌ریزی سه سطحی به صورت معادلات (18) تا (32) می‌شود.

$$\max_{k_s, G_s} Z_s = G_s \delta_s \sum_i D_i - \frac{(k_s - 1) T \delta_s \sum_i D_i}{2} h_s - \frac{O_s}{k_s T} - R_s \quad (18)$$

$$\text{subject to } k_s \in \{1, 2, 3, \dots\} \quad (19)$$

$$G_s = w_s - c_s \quad (20)$$

$$G_s \geq 0 \quad (21)$$

$$\max_{T, G_m} Z_m = \sum_i G_m D_i - \frac{T}{2} \sum_i (D_i (1 + \frac{1}{k_{r_i}} - \frac{D_i}{P}) h_{mp}) - \frac{\delta_s T \sum_i D_i^2}{2P} h_{mr} - \frac{S_m + O_m}{T} - R_m \quad (22)$$

$$\text{subject to } G_m = w_m - \delta_s w_s - c_m \quad (23)$$

$$G_m \geq 0 \quad (24)$$

$$T > 0 \quad (25)$$

$$0 \leq \sum_i D_i \leq P \quad (26)$$

$$\max_{k_{r_i}, G_{r_i}} Z_{r_i} = G_{r_i} D_i - \frac{T D_i}{2 k_{r_i}} h_{r_i} - \frac{O_{r_i} k_{r_i}}{T} - R_{r_i} \quad (27)$$

$$\text{subject to } k_{r_i} \in \{1, 2, 3, \dots\} \quad (28)$$

$$G_{r_i} = p_i - w_m \quad (29)$$

$$D_i = a_i - \zeta p_i + \gamma p_j \quad (30)$$

$$G_{r_i} \geq 0 \quad (31)$$

$$0 \leq \sum_i D_i \leq P \quad (32)$$

#### 4-5- تعیین تابع‌های پاسخ

تابع پاسخ هر خرده‌فروش:

می‌توان تابع تقاضای خرده‌فروش  $i$  را به صورت زیر نشان داد:

$$D_i = a_i - \zeta(G_{r_i} + G_m + \delta_s(G_s + c_s) + c_m) + \gamma(G_{r_j} + G_m + \delta_s(G_s + c_s) + c_m) \quad (33)$$

بهترین  $k_{r_i}$  ی واکنش به صورت زیر نشان داده می‌شود [21]:

$$k_{r_i}^* = \left\lfloor \frac{(1 + \sqrt{1 + \frac{2T^2 h_{r_i} D_i}{O_{r_i}}})}{2} \right\rfloor \quad (34)$$

می‌توان حدود بالا و پایین  $G_{r_i}$  را به صورت زیر نشان داد:

$$\underline{G}_{r_i} = \max\{0, \frac{1}{(\zeta - \gamma)}(a_i + a_j - P) - (G_m + \delta_s(G_s + c_s) + c_m) - (G_{r_j} + G_m + \delta_s(G_s + c_s) + c_m)\} \quad (35)$$

$$\overline{G}_{r_i} = \frac{a_i}{\zeta} - (G_m + \delta_s(G_s - c_s) + c_m) + \frac{\gamma}{\zeta}(G_{r_j} + G_m + \delta_s(G_s - c_s) + c_m) \quad (36)$$

مشاهده می‌شود که  $Z_{r_i}$  یک تابع کوادراتیک از  $G_{r_i}$  است. با توجه به اینکه  $Z_{r_i}$  یک تابع مقعر نسبت به  $G_{r_i}$  است. با مساوی صفر قرار دادن مشتق اول  $Z_{r_i}$  نسبت به  $G_{r_i}$  خواهیم داشت:

$$G_{r_i} = \frac{a_i - \zeta(G_m + \delta_s(G_s + c_s) + c_m)}{2\zeta} + \frac{\gamma(G_{r_j} + G_m + \delta_s(G_s + c_s) + c_m)}{2\zeta} + \frac{Th_{r_i}}{4k_{r_i}} \quad (37)$$

اگر  $G_{r_i}$  ی که از (37) به دست آمد در بازه  $[G_{r_i}, \bar{G}_{r_i}]$  بود، مشخص است که مقدار بهینه واکنش خرده‌فروش  $i$ ،  $G_{r_i}^*$  است؛ در غیر این صورت باید حدود (35) و (36) را در عبارت (37) جایگزین کرد و حدی که سود بالاتر را فراهم می‌کند، بهترین واکنش  $G_{r_i}^*$  است. تابع پاسخ تولیدکننده: مسئله پیدا کردن دوره راه‌اندازی بهینه تولیدکننده به صورت زیر قابل نمایش است:

$$T^* = \sqrt{\frac{S_m + O_m}{\frac{1}{2} \sum_i (D_i (1 + \frac{1}{k_{r_i}} - \frac{D_i}{P}) h_{mp}) + \sum_i \frac{\delta_s T (D_i)^2}{2P} h_{mr}}} \quad (38)$$

تابع سود خالص  $Z_m$  با متغیر  $G_m$  یک تابع کوادراتیک است. حدود بالا و پایین  $G_m$  عبارتند از:

$$\underline{G}_m = \max\left(0, \frac{a_i + a_j - P - (\zeta - \gamma)(G_{r_i} + \delta_s(G_s + c_s) + c_m)}{2(\zeta - \gamma)} - \frac{(\zeta - \gamma)(G_{r_j} + \delta_s(G_s + c_s) + c_m)}{2(\zeta - \gamma)}\right) \quad (39)$$

$$\bar{G}_m = \frac{a_i + a_j - (\zeta - \gamma)(G_{r_i} + \delta_s(G_s + c_s) + c_m)}{2(\zeta - \gamma)} - \frac{(\zeta - \gamma)(G_{r_j} + \delta_s(G_s + c_s) + c_m)}{2(\zeta - \gamma)} \quad (40)$$

مقدار بهینه  $G_m$  را می‌توان از شرط مرتبه اول  $Z_m$  به دست آورد:

$$G_m = -\frac{\frac{A_i}{\zeta} - (G_{r_i} + \delta_s(G_s + c_s) + c_m) - \frac{h_{mp}T}{2}\left(1 + \frac{1}{k_{r_i}}\right)}{2 - \frac{h_{mp}T}{2}\left(1 + \frac{1}{k_{r_i}} + \frac{2\zeta}{P}\right) + \frac{2\zeta}{P}(\delta h_{mr})} + \frac{A_i}{\zeta} - (G_{r_i} + \delta_s(G_s + c_s) + c_m) \quad (41)$$

اگر  $G_m$  به دست آمده از معادله (41) در بازه  $[G_m, \overline{G_m}]$  قرار داشت، مقدار بهینه واکنش تولیدکننده به دست آمده است. در غیر این صورت، مقدار بهینه  $Z_m$  در کران بالا یا کران پایین  $G_m$  به دست خواهد آمد. کرانی که سود بالاتری را تأمین کند، مقدار بهینه  $G_m^*$  است. اگر  $\frac{\partial^2 Z_m}{\partial G_m^2} > 0$  هم باشد، باید کرانی که بیش‌ترین مقدار  $Z_m$  را تولید می‌کند، پیدا کنیم و آن را به عنوان بهترین واکنش  $G_m^*$  تعیین کنیم.

تابع پاسخ تأمین‌کننده:

مقدار بهینه  $k_s$  که  $U_s$  را کمینه می‌کند به صورت زیر بیان می‌شود:

$$k_s^* = \left\lfloor \frac{\left(1 + \sqrt{1 + \frac{8O_s}{T^2 h_s \delta_s D_i}}\right)}{2} \right\rfloor \quad (42)$$

داریم:

$$G_s = \frac{\delta_s(a_i + a_j + (\zeta - \gamma)(G_{r_i} + G_m + \delta_s c_s + c_m))}{4(\zeta - \gamma)\delta_s^2} + \frac{(\zeta - \gamma)(G_{r_j} + G_m + \delta_s c_s + c_m)}{4(\zeta - \gamma)\delta_s^2} + \frac{(k_s - 1)Th_s}{4} \quad (43)$$

کران‌های بالا و پایین  $G_s$  عبارتند از:

$$\underline{G_s} = \max\left(0, \frac{a_i + a_j - P}{2(\zeta - \gamma)\delta_s} + \frac{(G_{r_i} + G_m + \delta_s c_s + c_m) + (G_{r_j} + G_m + \delta_s c_s + c_m)}{2\delta_s}\right) \quad (44)$$

$$\bar{G}_s = \frac{a_i + a_j}{2(\zeta - \gamma)\delta_s} + \frac{(G_{r_i} + G_m + \delta_s c_s + c_m) + (G_{r_j} + G_m + \delta_s c_s + c_m)}{2\delta_s} \quad (45)$$

اگر  $G_s$  به دست آمده از (43) در بازه  $[\underline{G}_s, \bar{G}_s]$  قرار داشت، مقدار بهینه واکنش تأمین‌کننده  $G_s^*$  به دست آمده است، در غیر این صورت، باید کران‌های بالا و پایین را در تابع عایدی جایگزین نمود، کرانی که بالاترین سود را حاصل کند، واکنش بهینه  $G_s^*$  است.

#### 6-4- الگوریتم حل تعادل استکلبرگ - نش سه سطحی آشیانه‌ای

در این الگوریتم ابتدا تعادل نش بازی خرده‌فروشان (RR) محاسبه می‌شود، سپس تعادل استکلبرگ بازی تولیدکننده با خرده‌فروشان (MRS) به دست می‌آید و در نهایت تعادل استکلبرگ بازی تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروشان (SMRS) محاسبه خواهد شد.

مانند بخش تعیین توابع پاسخ، مجموعه راهبردهای اعضا را می‌توان تعیین نمود:  
 $X_m = (G_m, T)$  به عنوان مجموعه راهبردهای خرده‌فروش  $X_{r_i} = (G_{r_i}, k_{r_i})$   
 به عنوان مجموعه راهبردهای تولیدکننده و  $X_s = (G_s, k_s)$  به عنوان مجموعه راهبردهای تأمین‌کننده. همچنین  $X_r = X_{r_1} \times X_{r_2}$  مجموعه راهبردهای خرده‌فروشان،  
 $X = X_{m \times r} \times X_s = X_m \times X_r$  مجموعه راهبردهای تولیدکننده و خرده‌فروشان و  $X = X_{m \times r} \times X_s$   
 مجموعه راهبردهای تمام بازیکنان زنجیره است. در این پژوهش براساس الگوریتم [12، صص 115-129] که در ادامه برای این مسئله بیان شده است، تعادل استکلبرگ - نش محاسبه شده است:

گام صفر: یک راهبرد اولیه در نظر بگیرید  $x^{(0)} = ((x_r^{(0)}, x_m^{(0)}, x_s^{(0)})$

گام یک: راهبرد  $x_{-s}^{(0)}$  را به عنوان راهبرد تمام اعضا در  $x^{(0)}$  به جز تأمین‌کننده در نظر بگیرید و تابع پاسخ بهینه تأمین‌کننده  $x_s^* = (G_s^*, k_s^*)$  را با هدف بهینه کردن تابع عایدی تأمین‌کننده  $Z_s$  محاسبه کنید.

گام دو: راهبرد  $x_{-m}^{(0)}$  را به عنوان راهبرد تمام اعضا در  $x^{(0)}$  به جز تولیدکننده در نظر بگیرید و تابع پاسخ بهینه تولیدکننده  $x_m^* = (G_m^*, T^*)$  را با هدف بهینه کردن

تابع عایدی تولیدکننده  $Z_m$ ، محاسبه کنید (مانند بخش تابع پاسخ تولیدکننده) گام سه: راهبرد  $x_{r_i}^{(0)}$  را به عنوان راهبرد تمام اعضا در  $x^{(0)}$  به جز خرده‌فروش  $i$  در نظر بگیرید. برای هر خرده‌فروش، مقدار  $x_{r_i}^{(0)}$  را ثابت بگیرید و تابع پاسخ بهینه خرده‌فروش  $(G_{r_i}^*, k_{r_i}^*)$  را با هدف بهینه کردن تابع عایدی خرده‌فروش  $Z_{r_i}$ ، محاسبه کنید. اگر  $\|x_r^* - x_r^{(0)}\| \leq \alpha_1$  بود، تعادل نش بازی RR،  $x_r^*$  به دست آمده است، به گام چهار بروید. در غیر این صورت  $x_r^{(0)} = x_r^*$  قرار دهید و گام سه را تکرار کنید.

گام چهار: قرار دهید  $x_{mr}^* = (x_r^*, x_m^*)$ . اگر  $\|x_{mr}^* - x_{mr}^{(0)}\| \leq \alpha_2$  بود، تعادل استکلبرگ بازی MR به دست آمده است،  $x_{mr}^*$ ، به گام پنج بروید. در غیر این صورت  $x_{mr}^{(0)} = x_{mr}^*$  قرار دهید و به گام دو بروید.

گام پنج: قرار دهید  $x^* = (x_{mr}^*, x_s^*)$ ، اگر  $\|x^* - x^{(0)}\| \leq \alpha_3$  باشد، تعادل استکلبرگ - نش بازی SMRs به دست آمده است،  $x^*$ ، نتایج بهینه را خارج کرده و توقف کنید. در غیر این صورت، قرار دهید،  $x^{(0)} = x^*$  و به گام یک بروی ( $\bullet: \alpha_3, \alpha_2, \alpha_1$ : اعداد مثبت کوچک هستند).

## 5- مثال عددی

در این بخش، یک مثال عددی ساده برای نشان دادن توانایی روش حل مدل، ارائه خواهد شد. پارامترها عبارتند از:  $h_s = 0.007$ ،  $O_s = 16$ ،  $c_s = 3$ ،  $h_{mr} = 0.04$ ،  $h_{mp} = 0.75$ ،  $c_m = 20$ ،  $\delta_s = 3$ ،  $S_m = 1000$ ،  $O_m = 50$ ،  $P = 500000$ ،  $h_{r_1} = 1$ ،  $a_1 = 200000$ ،  $a_2 = 250000$ ،  $\zeta = 1500$ ،  $\gamma = 100$ ،  $O_{r_1} = 40$ ،  $O_{r_2} = 30$ ،  $h_{r_2} = 2$ ، هزینه ثابت تمام بازیکنان برابر با 1000 فرض شده است.

با استفاده از الگوریتم تعریف شده در بخش 4-6 الگوریتم حل تعادل استکلبرگ - نش سه سطحی آشیانه‌ای، نتایج بهینه برای تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش‌ها به دست می‌آید و نتایج به دست آمده برای کل زنجیره در جدول 1 بیان شده است.



## 6- تحلیل حساسیت

برای بررسی تأثیرگذاری هماهنگی روی سود زنجیره، مسئله در دو حالت دیگر نیز حل می‌شود، در حالت اول فرض می‌شود زنجیره، یک سامانه متمرکز است و با مدیریت واحد عمل می‌کند و در حالت دوم زنجیره بدون هیچ گونه هماهنگی در نظر گرفته می‌شود و مقادیر بهینه هریک از اعضا به دست می‌آید. نتایج در جدول 1 با مقادیر مورد نظر در حالت هماهنگ بودن زنجیره مقایسه می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود زنجیره هماهنگ، حاشیه سود بالاتری از زنجیره نامتمرکز دارد، ضمن اینکه طول دوره تولید تولیدکننده در آن بیشتر است و خرده‌فروش‌ها در مقادیر بالاتری سفارش‌های خود را ارسال می‌کنند. با وجود هماهنگی با توجه به پایین‌تر بودن قیمت محصول نهایی در مقایسه با حالت نامتمرکز، زنجیره با تقاضای بیشتری مواجه می‌شود و سود کل زنجیره نیز بیشتر است. در واقع هماهنگی باعث افزایش سود زنجیره شده و به صورت مؤثر عمل کرده است.

تحلیل حساسیت روی پارامتر مربوط به هزینه راه‌اندازی تولید و رقابت بررسی شده است و نتایج این تحلیل حساسیت در نمودار 1 و نمودار 2 نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار مشخص است، با افزایش هزینه راه‌اندازی، سود تولیدکننده و نیز سود خرده‌فروش‌ها کاهش می‌یابد، علاوه بر این سود تأمین‌کننده نیز با کاهش مواجه می‌شود و منجر به کاهش سود کل زنجیره می‌شود.

در این مسئله، رقابت با پارامتر  $\gamma$  در تابع تقاضا وارد شده است و با تغییر در مقدار این پارامتر می‌توان اثر رقابت را روی سود اعضا و نیز کل زنجیره مشاهده کرد. همان‌طور که در نمودار 2 نشان داده شده است، با افزایش رقابت، بالا بردن مقدار پارامتر  $\gamma$ ، بازه سفارش‌دهی خرده‌فروش‌ها افزایش پیدا می‌کند، در واقع خرده‌فروش‌ها در مقادیر بیشتری سفارش می‌دهند. همچنین سود خرده‌فروش‌ها کاهش پیدا می‌کند، در حالی که سود تولیدکننده و سود تأمین‌کننده با افزایش مواجه می‌شود؛ در واقع تولیدکننده و تأمین‌کننده از افزایش رقابت بین خرده‌فروش‌ها نفع می‌برند. با افزایش رقابت، سود کل زنجیره، افزایش می‌یابد؛ در واقع وجود رقابت بین اعضای یک سطح از زنجیره، منجر به افزایش سود کل زنجیره می‌شود.

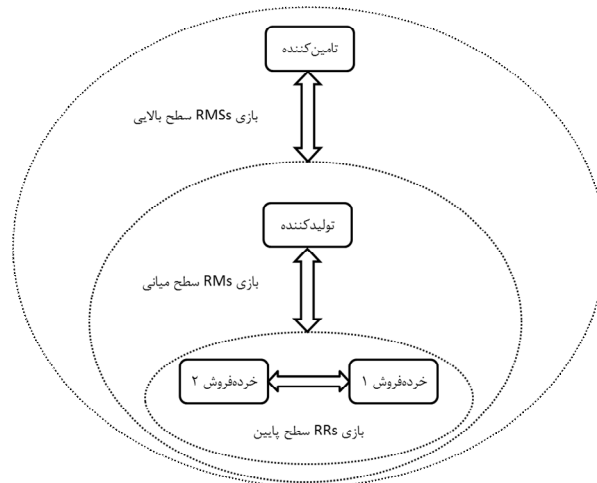
## 7- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهای تحقیقات آینده

هدف اصلی این مقاله، هماهنگ کردن یک زنجیره تأمین سه سطحی با استفاده از نظریه

بازی بود. زنجیره مورد مطالعه از یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و دو خرده‌فروش تشکیل شده است. زنجیره تک‌کالایی بوده و دو خرده‌فروش مذکور در یک بازار حضور داشتند و برای فروش بیشتر از طریق تغییر در قیمت خرده‌فروشی باهم رقابت می‌کردند. متغیرهای تصمیم عبارت بودند از قیمت و موجودی برای هریک از اعضای زنجیره. مسئله به صورت یک بازی استکلبرگ - نش سه سطحی آشیانه‌ای مدل شد. نتایج تحلیل حساسیت مثال ارائه شده نشان داد با افزایش هزینه راه‌اندازی تولید، سود تولیدکننده با کاهش مواجه می‌شود.

افزایش رقابت خرده‌فروش‌ها، سود آنها را کاهش می‌دهد، این در حالی است که سود تأمین‌کننده و نیز سود تولیدکننده افزایش پیدا می‌کند، ضمن اینکه سود کل زنجیره نیز افزایش می‌یابد. در واقع وجود رقابت بین اعضای یک سطح، باعث افزایش سود زنجیره می‌شود.

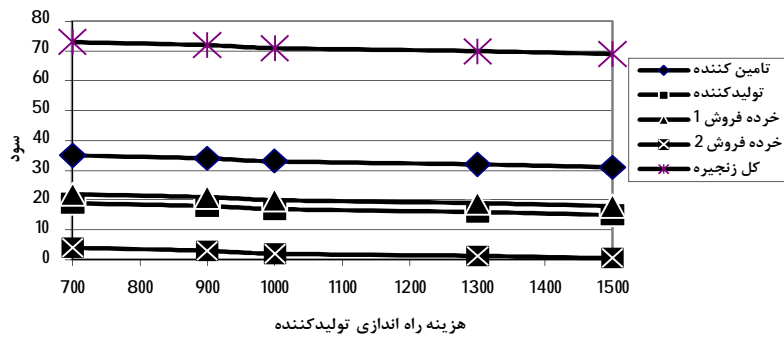
با برداشتن محدودیت‌ها و فرض‌های این پژوهش می‌توان مدل ارائه شده را به حالت واقعی نزدیک‌تر و مسئله مطالعه شده را کاربردی‌تر کرد. اضافه کردن تعداد خرده‌فروش‌های رقیب، وارد نمودن تقاضا و تأمین غیرقطعی در مسئله، مجاز دانستن کمبود و مطالعه زنجیره تأمین چند کالایی، از جمله مواردی هستند که می‌توانند در پژوهش‌های آینده مورد مطالعه قرار گیرند.



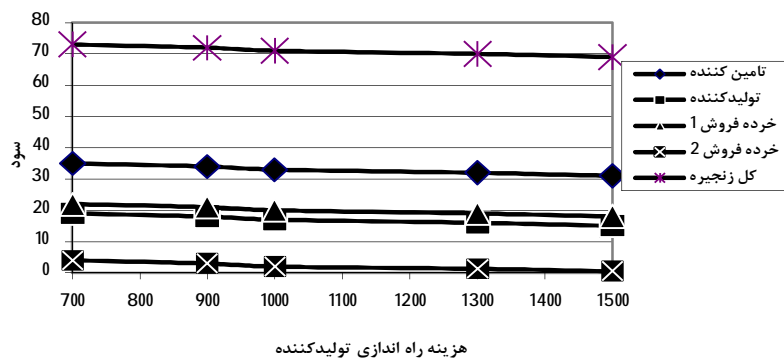
شکل 1 ساختار بازی استکلبرگ - نش سه سطحی آشیانه‌ای

جدول 1 مقایسه نتایج در حالت هماهنگ با حالات متمرکز و نامتمرکز

سود (عایدی) ( $\times 10^5$ )	تقاضا ( $\times 10^4$ )	قیمت میانگین	طول دوره تولیدکننده	حاشیه سود	
72/8232135	22/3732	83/65	0/3281	59/34	زنجیره هماهنگ
87/9384213	23/3450	78/63	0/3270	73/65	زنجیره متمرکز
64/7387202	18/8374	85/32	0/3392	50/50	زنجیره نامتمرکز



نمودار 1 اثر هزینه راه اندازی تولیدکننده روی سود اعضا و زنجیره



نمودار 2 اثر رقابت روی مثال عددی

## 8- منابع

- [1] Amoozad Mahdiraji H., Jaafarnejad A., Moddares Yazdi M., Mohaghar, A. (2014) "Cooperation modeling for unlimited three echelon supply chain: Game theory approach", *Journal of Management Researches in Iran*, 18(1): 171–191.
- [2] Pyke D. F., Cohen M. A. (1993) "Performance characteristics of stochastic integrated production-distribution systems", *European Journal of Operational Research*, 68(1): 23–48.
- [3] Banerjee A., Kim S.L. (1995) "An integrated JIT inventory model", *International Journal of Operations & Production Management*, 15(9): 237–244.
- [4] Jaber M. Y., Osman I. H., Guiffrida A. L. (2006) "Coordinating a three-level supply chain with price discount, price dependent demand, and profit sharing", *International Journal of Integrated Supply Management*, 2(1-2): 28–48.
- [5] Ding D., Chen J. (2008) *Coordinating a three level supply chain with flexible return policies*, *Omega*, 36(5): 865–876.
- [6] Jaber M. Y., Bonney M., Guiffrida A. L. (2010) "Coordinating a three-level supply chain with learning-based continuous improvement", *International Journal of Production Economics*, 127(1): 27–38. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.010>.
- [7] He Y., Zhao X. (2012) "Coordination in multi-echelon supply chain under supply and demand uncertainty", *International Journal of Production Economics*, 139(1): 106–115. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.04.021>.
- [8] Khouja M. (2003) "Optimizing inventory decisions in a multi-stage multi-customer supply chain", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39(3): 193–208. [http://doi.org/10.1016/S1366-5545\(02\)00036-4](http://doi.org/10.1016/S1366-5545(02)00036-4).
- [9] Ben-Daya M., Al-Nassar A. (2008) "An inventory production system in a three-layer supply chain", *Production Planning & Control*, 19(2): 97–104.
- [10] Jaber M. Y., Goyal S. K. (2008) "Coordinating a three-level supply chain with multiple suppliers, a vendor and multiple buyers", *International Journal of*

- Production Economics*, 116(1): 95–103. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.001>
- [11] Hajiaghaei-keshteli M., Sajadifa S. M. (2010) "Deriving the cost function for a class of three-echelon inventory system with N-retailers and one-for-one ordering policy", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50:343–351.
- [12] 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, <http://doi.org/10.1016/j.tre.2010.09.011>
- [13] Yang, D., Jiao, J. (Roger), Ji Y., Du G., Helo P., Valente A. (2015), "Joint optimization for coordinated configuration of product families and supply chains by a leader-follower Stackelberg game", *European Journal of Operational Research*, 246(1): 263–280.
- [14] Taleizadeh A. A., Noori-daryan M. (2015) "Pricing, inventory and production policies in a supply chain of pharmacological products with rework process: A game theoretic approach", *Operational Research*, 1–27.
- [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] Jalali G., Shahanaqhic K. (2015) "The establishment of financial model in order to solve the dispute in the cooperative governmental- private contracts by using game theory", *Journal of Management Researches in Iran*, 18(3): 1–24.
- [17] Liu B. (1998) "Stackelberg-nash equilibrium for multilevel programming with multiple followers using genetic algorithms", *Computers & Mathematics with Applications*, 36(7): 79–89. [http://doi.org/10.1016/S0898-1221\(98\)00174-6](http://doi.org/10.1016/S0898-1221(98)00174-6).
- [18] Parthasarathi G., Sarmah S. P., Jenamani M. (2011) "Supply chain coordination under retail competition using stock dependent price-setting newsvendor framework", *Operational Research*, 11(3): 259–279.

<http://doi.org/10.1007/s12351-010-0077-z>.

- [19] Sinha S., Sarmah S. P. (2010) "Coordination and price competition in a duopoly common retailer supply chain", *Computers and Industrial Engineering*, 59(2): 280–295.
- [20] Yao Z., Leung S. C. H., Lai, K. K. (2008) "Analysis of the impact of price-sensitivity factors on the returns policy in coordinating supply chain", *European Journal of Operational Research*, 187(1): 275–282.
- [21] Viswanathan S., Wang Q. (2003) "Discount pricing decisions in distribution channels with price-sensitive demand", *European Journal of Operational Research*, 149: 571–587.