

فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی - سال چهاردهم، شماره ۴۱، تابستان ۹۵

صفحات ۱-۳۸

## طراحی مدل برنامه ریزی دو سطحی در زنجیره تامین غیر متمرکز تولید - توزیع با در نظر گرفتن تبلیغات مشارکتی مورد مطالعه: زنجیره تامین قطعات یدکی خودرو

امید امیرطاهری\*، مصطفی زندیه\*\*، بهروز دری\*\*\*

### چکیده

در این نوشتار یک زنجیره تامین دو سطحی شامل یک تولید کننده و یک توزیع کننده تحت مدیریت غیر متمرکز و با هدف پیشینه سازی سود از طریق تامین تقاضای بازارهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. تولید کننده ضمن انجام تبلیغات عمومی، در بخشی از هزینه تبلیغات محلی توزیع کننده مشارکت می نماید. ارتباط میان تولید کننده و توزیع کننده در قالب دو سناریوی قدرت مثبتی بر بازی استکلبرگ با بهره گیری از روش برنامه ریزی دو سطحی مدل سازی شده و سیاست های بهینه تولید کننده و توزیع کننده در حوزه قیمت گذاری، مدیریت موجودی، تبلیغات و لجستیک تعیین می گردد. به منظور حل مدل های برنامه ریزی دو سطحی، دو الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک با ساختار سلسله مراتبی توسعه می یابند. در انتها جهت ارزیابی اعتبار مدل های توسعه یافته، مجموعه ای از آزمایشات محاسباتی روی داده های گردآوری شده از زنجیره تامین قطعات یدکی خودرو انجام می گیرد.

واژگان کلیدی: زنجیره تامین تولید - توزیع، بازی استکلبرگ، تبلیغات مشارکتی، برنامه ریزی دو سطحی، الگوریتم های فرا ابتکاری

\* دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

\*\* دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

m\_zandieh@sbu.ac.ir

\*\*\* دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

## مقدمه

به طور کلی تصمیم‌گیری در زنجیره تامین به دو شکل متمرکز و غیر متمرکز صورت می‌پذیرد. در زنجیره تامین متمرکز، یک تصمیم‌گیرنده واحد یا عضو اصلی که به اطلاعات کافی در زنجیره تامین دسترسی داشته و از قدرت لازم جهت تصمیم‌گیری برخوردار است، نسبت به سیاست‌گذاری برای کل اعضای زنجیره اقدام می‌نماید. در این حالت، اعضا در راستای سیاست تعریف شده با یکدیگر همکاری می‌نمایند. در ادبیات موضوع، مدل‌های استاندارد برنامه ریزی ریاضی پاسخگوی چنین مسائلی بوده‌اند (Taleizadeh, Niaki, & Wee, 2013).

ولیکن از آنجائیکه اعضای زنجیره تامین اغلب سازمان‌های مجزا و نگاه‌های اقتصادی مستقل هستند، با وجود منافع موجود در تصمیم‌گیری یکپارچه در عمل تمایلی به پیروی از تصمیمات اتخاذ شده برای کل اعضا را نداشته و تلاش می‌کنند اهداف خود را به جای هدف کل سیستم بهینه نمایند (Giannoccaro & Pontrandolfo, 2004). بنابراین در بسیاری از مسائل دنیای واقعی، زنجیره تامین غیر متمرکز مدلی عملی‌تر و نزدیک‌تر به واقعیت می‌باشد.

در ادبیات موضوع برای مدل‌سازی مسائل مدیریت زنجیره تامین غیر متمرکز، از سیستم تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی<sup>۱</sup> استفاده گردیده است. در این سیستم ابتدا عضو سطح بالا تصمیم‌گیری نموده و سپس عضو سطح پایین با مشاهده تصمیم اتخاذ شده، استراتژی بهینه خود را تعیین می‌نماید. با فرض وجود اطلاعات کامل درباره نحوه تصمیم‌گیری عضو سطح پایین، تصمیم‌گیرنده سطح بالا قادر خواهد بود پیش از تعیین استراتژی خود، عکس‌العمل تصمیم‌گیرنده سطح پایین را پیش‌بینی و متناسب با آن اتخاذ تصمیم نماید. در این روش، تصمیم‌گیرنده سطح بالا به عنوان رهبر<sup>۲</sup> و تصمیم‌گیرنده سطح پایین به عنوان پیرو<sup>۳</sup> شناخته می‌شوند. فرآیند تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی در اقتصاد به بازی مشهور استکلبرگ<sup>۴</sup> در تئوری بازی‌ها باز می‌گردد که نخستین بار در سال ۱۹۵۲ توسط وُن استکلبرگ معرفی گردید (Von Stackelberg, 1952).

برنامه ریزی سلسله‌مراتبی چارچوبی ریاضی برای نمایش بازی‌های استکلبرگ است که در آن

<sup>۱</sup> Hierarchical Decision Making (HDM)

<sup>۲</sup> Leader

<sup>۳</sup> Follower

<sup>۴</sup> Stackelberg Game

چندین مسئله بهینه سازی در سطوح مختلف به طور همزمان در نظر گرفته می‌شوند. درحالت خاص چنانچه مسئله دارای دو سطح باشد به آن، مسئله دو سطحی یا مسئله برنامه ریزی دو سطحی<sup>۱</sup> اطلاق می‌گردد (Koh, 2013). مسئله برنامه‌ریزی دو سطحی حالت خاصی از مدل‌های برنامه ریزی ریاضی است که در آن یک مسئله بهینه سازی در محدودیت‌های یک مسئله بهینه سازی دیگر قرار می‌گیرد.

هر یک از دو تصمیم گیرنده (رهبر و پیرو) تلاش می‌نمایند تا با تعیین مقادیر متغیرهای تصمیم تحت کنترل خود، تابع هدف خود را بدون در نظر گرفتن تابع هدف دیگری بهینه نمایند و لیکن تصمیم هر یک از ایشان بر گزینه‌های قابل انتخاب و تابع هدف تصمیم گیرنده دیگر تأثیرگذار است. بنابراین رهبر به عنوان تصمیم گیرنده سطح بالا، قادر خواهد بود تا بدون کنترل کامل روی پیرو، بر رفتار وی تأثیر گذاشته و بطور همزمان از رفتار وی تأثیر پذیرد.

با توجه به تمرکز بسیاری از مطالعات حوزه زنجیره تامین به سیستم‌های تولید - توزیع (خلیفه زاده و سیف برقی، ۱۳۹۳: ۸۸-۶۳)، تحقیق حاضر بر آن است تا با بهره‌گیری از روش برنامه ریزی دو سطحی، ارتباط میان یک تولید کننده و یک توزیع کننده تحت مدیریت غیر متمرکز و با هدف بیشینه سازی سود از طریق تامین تقاضای بازارهای مختلف را مدل سازی نماید. بازارها از لحاظ اندازه، موقعیت جغرافیایی، کشش قیمتی تقاضا و نیز واکنش به تبلیغات با یکدیگر متفاوت اند و تقاضای هر یک از آنها تابعی از قیمت فروش، هزینه تبلیغات محلی<sup>۲</sup> و هزینه تبلیغات عمومی<sup>۳</sup> است.

توزیع کننده به منظور افزایش تقاضای بازارها، هزینه‌ای را جهت تبلیغات محلی در هر بازار پرداخت می‌نماید. این هزینه با هدف تحریک مشتری به خرید در کوتاه مدت انجام می‌شود و می‌تواند در قالب توزیع کاتالوگ و هدایای تبلیغاتی، ارائه نمونه رایگان محصولات، تخفیفات و طرح‌های تشویقی و غیره در آن بازار خاص صورت پذیرد. این نوع تبلیغات با تأثیر مستقیم ولی کوتاه مدت در بازار، منجر به افزایش تقاضای آن بازار می‌گردد (Hutchins, 1953).

از سوی دیگر تولید کننده نیز به نوبه خود بودجه‌ای را جهت انجام تبلیغات عمومی در بازارهای

<sup>۱</sup> Bi-level Programming Problem

<sup>۲</sup> Local Advertising

<sup>۳</sup> Global Advertising

مصرف تعیین می‌نماید. تبلیغات عمومی که بطور معمول در سطح ملی انجام می‌گیرد و حوزه ای فراتر از یک بازار خاص دارد، منجر به شکل‌گیری بلند مدت تصویری آشنا از نام و نشان تولید کننده در ذهن مشتریان می‌گردد. شرکت در نمایشگاه‌های عمومی و تخصصی و نیز تبلیغات تلویزیونی و رادیویی نمونه ای از این نوع تبلیغات است. اگرچه تبلیغات عمومی باعث ارتقای شهرت و محبوبیت کالا می‌شود ولی الزاماً تقاضای واقعی مصرف کننده را افزایش نمی‌دهد (Herrington & Dempsey, 2005; Young & Greyser, 1983). از اینرو، تولید کننده تمایل دارد تا با بهره‌گیری از روش تبلیغات مشارکتی، روی تقاضای بازار تاثیر مستقیم بگذارد (Hutchins, 1953).

تبلیغات مشارکتی<sup>۱</sup> از موضوعاتی است که طی سال‌های اخیر در ادبیات رشته تحقیق در عملیات به طور جدی مورد توجه محققین قرار گرفته است (Aust & Buscher, 2014). این مفهوم بیانگر یک توافق مالی میان تولید کننده و توزیع کننده (خرده فروش) در راستای تسهیم هزینه تبلیغات است که بر مبنای آن تولید کننده پرداخت بخشی از هزینه‌های تبلیغات محلی توزیع کننده (نرخ مشارکت<sup>۲</sup>) را برعهده می‌گیرد (Koh, 2013).

تحقیق حاضر بر آن است تا در راستای محورهای تحقیقاتی پیشنهاد شده توسط آست و بوشر (Aust & Buscher, 2014) و با بهره‌گیری از روش برنامه ریزی دو سطحی، سیاست‌های قیمت گذاری، مدیریت موجودی، تبلیغات و لجستیک را به طور همزمان در زنجیره تامین تولید - توزیع با در نظر گرفتن تبلیغات مشارکتی تعیین نماید. تصمیمات تولید کننده شامل قیمت عمده فروشی، دوره زمانی تولید، هزینه تبلیغات عمومی و میزان مشارکت در تبلیغات محلی می‌باشد. از سوی دیگر توزیع کننده به عنوان عضو دوم زنجیره، در خصوص قیمت خرده فروشی، هزینه تبلیغات محلی و نحوه تخصیص انبارهایش به بازارهای مختلف تصمیم‌گیری می‌نماید.

بدین منظور پس از مرور پیشینه تحقیق، دو مدل برنامه ریزی دو سطحی در قالب دو سناریوی قدرت مبتنی بر بازی استکلبرگ توسعه می‌یابد. در مدل اول تولید کننده رهبر زنجیره و توزیع کننده پیرو در نظر گرفته می‌شود (مدل تولید کننده - استکلبرگ) و در مدل دوم عکس حالت قبل (مدل توزیع کننده - استکلبرگ) مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

<sup>1</sup> Cooperative Advertising

<sup>2</sup> Participation Rate

با توجه به آنکه مدل برنامه ریزی دو سطحی به ساده ترین صورت، یعنی با توابع هدف و محدودیت‌های خطی، از نوع NP-Hard می‌باشد (Ben-Ayed & Blair, 1990)، برای هر یک از مدل‌های ارائه شده یک الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک با ساختار سلسله مراتبی توسعه می‌یابد.

در گام بعد، با استفاده از داده‌های گردآوری شده از زنجیره تامین قطعات یدکی خودرو، مجموعه‌ای از آزمایشات محاسباتی روی مدل‌ها و روش‌های حل صورت می‌پذیرد و ضمن نشان دادن اعتبار مدل‌های ارائه شده، سود کسب شده توسط اعضای زنجیره و سود کل سیستم در هر یک از سناریوهای قدرت مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

در بخش پایانی به نتیجه‌گیری و معرفی فرصت‌های تحقیقاتی آتی پرداخته می‌شود.

#### پیشینه تحقیق

تحقیقات متعددی به مطالعه ارتباط میان دو عضو زنجیره تامین تحت مدیریت غیرمتمرکز پرداخته‌اند. اغلب این مطالعات بر یک یا چند جنبه از تصمیمات اعضای زنجیره تمرکز نموده و روش‌هایی را جهت هماهنگ‌سازی تصمیمات اعضا با هدف افزایش سود سیستم معرفی نموده‌اند.

با مرور تحقیقات انجام شده می‌توان دریافت تعیین سیاست قیمت گذاری نسبت به سایر جوانب تصمیم‌گیری بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است (Xie & Wei, 2009). با گسترش تحقیقات در این حوزه، به تدریج سایر سیاست‌ها نظیر مدیریت موجودی، تبلیغات و غیره نیز در کنار سیاست قیمت گذاری مورد مطالعه قرار گرفته و مدل‌های تصمیم‌گیری یکپارچه‌ای توسعه یافته‌اند. در این بخش ابتدا به معرفی تعدادی از مطالعات اولیه مرتبط با سیاست قیمت گذاری پرداخته می‌شود و سپس مقالات کامل‌تر موجود در پیشینه تحقیق معرفی می‌گردد.

ونگ (Weng, 1995) به هماهنگ‌سازی و تعیین سیاست قیمت گذاری از طریق روش‌های پرداخت حق امتیاز<sup>۱</sup> و تخفیف تعدادی در یک سیستم فروشنده - خریدار شامل یک فروشنده و چند خریدار پرداخته است. راجو و ژانگ (Raju & Zhang, 2005)، سیاست بهینه قیمت گذاری در زنجیره تامین را از طریق روش‌های تخفیف تعدادی و تعرفه دویبخشی<sup>۲</sup> تعیین نموده‌اند.

<sup>1</sup> Franchise Fee

<sup>2</sup> Two-part Tariff

الیشربرگ و استینبرگ (Eliashberg & Steinberg, 1987) یک زنجیره تامین دو عضوی با فعالیت‌های تولید و توزیع محصول را مورد مطالعه قرار داده و سیاست‌های بهینه قیمت گذاری و موجودی را تعیین نموده اند. یوگانگ و همکاران (Yugang, Liang, & Huang, 2006) تصمیمات مربوط به قیمت گذاری و دوره سفارش دهی را در یک زنجیره تامین شامل یک توزیع کننده و چند خرده فروش مورد مطالعه قرار می‌دهند.

همچنین مطالعات متعددی در ادبیات موضوع به تعیین سیاستهای قیمت گذاری و تبلیغات بطور همزمان پرداخته اند. یو و همکاران (Yue, Austin, Wang, & Huang, 2006) موضوع تبلیغات مشارکتی در زنجیره تامین تولیدکننده-توزیع کننده را مورد مطالعه قرار داده اند که در آن تقاضا حساس به قیمت بوده و تولیدکننده تخفیفات قیمتی به توزیع کننده ارائه می‌نماید.

همچنین هی و همکاران (He, Prasad, & Sethi, 2009) یک مسئله تبلیغات مشارکتی احتمالی را در قالب یک بازی استکلبرگ تفاضلی مدل سازی نموده است. سمرکوفسکی و ژانگ (Szmerekovsky & Zhang, 2009) نیز موضوع قیمت گذاری و تعیین سیاست تبلیغات را در یک زنجیره تامین دو سطحی مورد مطالعه قرار داده اند که در آن تقاضا به قیمت خرده فروشی و هزینه تبلیغات وابسته است.

همچنین خی و نیرات (Xie & Neyret, 2009) و خی و وی (Xie & Wei, 2009) مطالعه اخیر را توسعه داده اند و سناریوی همکاری اعضا را با دو سناریوی قبلی که میان تولیدکننده و خرده فروش همکاری وجود نداشته است مقایسه می‌نمایند.

خی و نیرات (Xie & Neyret, 2009) چهار مدل که سه تای آنها بدون همکاری و یکی از آنها با لحاظ همکاری میان اعضا است را در نظر گرفته اند در حالیکه خی و وی در مطالعه خود (Xie & Wei, 2009) تنها دو مدل که در یکی همکاری وجود دارد و در دیگری تولیدکننده رهبر زنجیره است را مورد بررسی قرار داده اند.

در همین راستا، نعیمی و همکاران (Sadigh, Mozafari, & Karimi, 2012) به تعیین سیاست قیمت گذاری، موجودی و تبلیغات در یک زنجیره تامین چند محصولی پرداخته اند. در مطالعه ایشان، تولید کننده و خرده فروش هر کدام جداگانه هزینه ای را جهت تبلیغات پرداخت می‌نمایند. مسئله در حالت تولید کننده - استکلبرگ و توزیع کننده - استکلبرگ حل شده و

نتایج با یکدیگر مقایسه می‌گردد.

سید اصفهانی و همکاران (SeyedEsfahani, Biazaran, & Gharakhani, 2011) در تکمیل مطالعات قبلی، مسئله تبلیغات مشارکتی در زنجیره تامین دو سطحی را با در نظر گرفتن تابع تقاضای کامل تر در قالب چهار سناریوی تعادل قدرت، تولیدکننده - استکلبرگ، توزیع کننده - استکلبرگ و همکاری میان اعضا مورد مطالعه قرار داده و نتایج را با یکدیگر مقایسه نموده اند. آست و بوشر (Aust & Buscher, 2014) در سال ۲۰۱۴ به مرور تحقیقات انجام شده در حوزه تبلیغات مشارکتی و ترکیب این حوزه با دیگر سیاست‌ها نظیر قیمت گذاری، مدیریت موجودی، کیفیت، بازتولید و خدمات پرداخته است. بر اساس نتایج این تحقیق مروری، مطالعه ترکیب دو یا چند مورد از سیاست‌های فوق به طور همزمان به ندرت در ادبیات موضوع مورد بررسی قرار گرفته و در هیچ یک از مطالعات قبلی به ارتباط تولیدکننده با توزیع کننده پرداخته نشده است. از این رو، یکی از محورهای پیشنهادی جهت تحقیقات آتی، توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری یکپارچه با قابلیت تعیین سیاست‌های بهینه اعضا در چندین محور بطور همزمان می‌باشد. علاوه بر پیشنهاد فوق، ایشان استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر کامپیوتر و فراابتکاری را جهت حل مدل‌های توسعه یافته توصیه می‌نمایند.

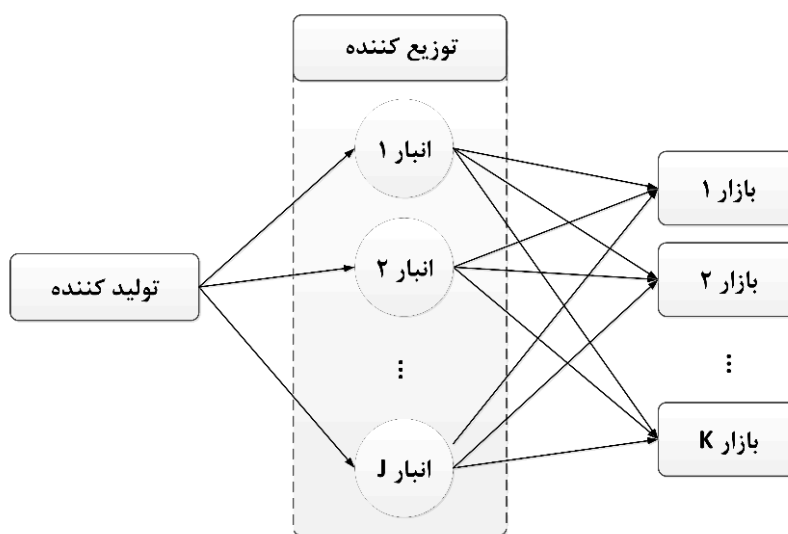
تحقیق حاضر در ادامه مطالعات پیشین و در راستای پاسخ به محورهای تحقیقاتی پیشنهاد شده از سوی آست و بوشر (Aust & Buscher, 2014) به توسعه دو مدل برنامه ریزی دو سطحی جهت تعیین سیاست‌های بهینه تولیدکننده و توزیع کننده در حوزه قیمت گذاری، مدیریت موجودی، تبلیغات مشارکتی و نیز لجستیک خواهد پرداخت. همچنین با توجه به وجود محدودیت‌های متعدد و پیچیدگی مدل‌های پیشنهادی، دو الگوریتم فراابتکاری با ساختار سلسله مراتبی جهت حل مدل‌ها توسعه می‌یابد.

### تشریح مسئله

زنجیره تامین قطعات یدکی در کشورمان شامل تامین کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع کنندگان، عمده‌فروشان یا بانکداران، خرده‌فروشان و مصرف کنندگان نهایی می‌باشد. توجه رساله حاضر بر ارتباط میان تولیدکنندگان و توزیع کنندگان است. در این نوشتار، یک زنجیره تامین دو سطحی شامل یک تولید کننده و یک توزیع کننده مورد مطالعه قرار می‌گیرد. تولیدکننده محصول خود را با قیمت عمده

فروشی ( $w$ ) در اختیار توزیع کننده انحصاری خود قرار می‌دهد و توزیع کننده نیز با لحاظ نسبت سود خرده فروشی ( $r$ )، کالا را از طریق انبارهایش در بازارهای مختلف عرضه می‌نماید. این شیوه قیمت گذاری برگرفته از ساختار سنتی شبکه تامین قطعات یدکی در کشورمان است. با توجه به این واقعیت که توزیع کنندگان قطعات یدکی خودرو در کشورمان عموماً دارای تعدادی انبار در سطح کشور می‌باشند، در مدل ارائه شده فرض می‌گردد توزیع کننده دارای  $J$  انبار با ظرفیت مشخص ( $b_j$ ) است ( $j = 1, 2, \dots, J$ ) بطوریکه موقعیت جغرافیایی و فاصله آنها از بازارهای مصرف متفاوت می‌باشد. از سوی دیگر فرض می‌شود  $K$  بازار مختلف مصرف وجود دارد که از لحاظ اندازه، کشش قیمتی تقاضا و نیز واکنش به تبلیغات محلی و عمومی با یکدیگر متفاوت اند. این بازارها می‌تواند بصورت استانی در نظر گرفته شود. شکل (۱) ساختار زنجیره تامین تولید-توزیع مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. مطابق مفروضات مطالعاتی نظیر (Xie & Neyret, 2009; Yue et al., 2006)، می‌توان تقاضای هر بازار را به شکل زیر در نظر گرفت:

شکل ۱- ساختار زنجیره تامین تولید-توزیع مورد مطالعه





$$D_k(p, a_k, A) = z_k \cdot g_k(p) \cdot h_k(a_k, A) ; \quad k = 1, \dots, K \quad (1)$$

$$p = w \cdot (1 + r) \quad (2)$$

بطوریکه  $z_k$  اندازه بازار  $k$  ام و توابع  $g_k(p)$  و  $h_k(a_k, A)$  به ترتیب بیانگر تأثیر قیمت خرده فروشی ( $p$ )، هزینه تبلیغات محلی در بازار  $k$  ام ( $a_k$ ) و تبلیغات عمومی ( $A$ ) بر تقاضای هر بازار می‌باشند.

بر خلاف پیش فرض رایج در بسیاری از مطالعات که تقاضا را تابعی خطی از قیمت فرض نموده اند (Swami & Shah, 2012; Weng, 1995; Xie & Wei, 2009)، در این تحقیق یک تابع غیر خطی با الهام از مفهوم کشش قیمتی تقاضا و مطالعه انجام شده توسط (SeyedEsfahani et al., 2011) برای تعیین ارتباط میان تقاضای هر بازار با قیمت خرده فروشی در نظر گرفته شده است:

$$g_k(p) = (1 - \alpha_k \cdot p)^{1/v_k} ; \quad k = 1, \dots, K \quad (3)$$

بطوریکه  $\alpha_k$  ثابت مثبت و  $v_k$  پارامتر شکل منحنی تقاضا در بازار  $k$  ام است. همچنین مقادیر  $v_k < 1$ ،  $v_k = 1$  و  $v_k > 1$  به ترتیب بیانگر تابع تقاضای محدب، خطی و مقعر نسبت به قیمت خرده فروشی می‌باشند. با تنظیم پارامتر  $v_k$  برای هر بازار، می‌توان منحنی خاص تقاضای آن بازار را از نظر تقعر، تحدب یا خطی بودن در مدل لحاظ نمود و رفتارهای مختلف مصرف کنندگان را بطور همزمان در قالب یک تابع تقاضای کلی مورد مطالعه قرار داد. بدیهی است جهت

جلوگیری از ایجاد تقاضای منفی، باید همواره  $\left\{ 1/\alpha_k \right\}$   $p \leq \min_{k=1, \dots, K}$  باشد.

جهت مدل سازی اثر تبلیغات از تابع ارائه شده در (Xie & Wei, 2009) استفاده می‌گردد:

$$h_k(a_k, A) = n_k^1 \sqrt{A} + n_k^2 \sqrt{a_k} ; \quad k = 1, \dots, K \quad (4)$$

در تابع فوق  $n_k^1$  و  $n_k^2$  ثابت‌های مثبت هستند که به ترتیب بیانگر تأثیر تبلیغات عمومی و تبلیغات محلی بر تقاضای بازار  $k$  ام می‌باشند. این رویکرد توسط سایر محققین نیز مورد استفاده قرار گرفته است (SeyedEsfahani et al., 2011; Zhang, Xie, & Chen, 2013).

از آنجاییکه مشتق جزئی مرتبه اول و دوم تابع  $h_k$  نسبت به کلیه متغیرهای آن به ترتیب مقداری مثبت و منفی است، تابع مذکور اکیداً صعودی مقعر می‌باشد. این موضوع بدان معناست که عایدی حاصل از افزایش هزینه تبلیغات محلی یا عمومی بطور پیوسته روندی کاهنده دارد. این مفهوم در ادبیات موضوع، اثر اشباعی تبلیغات<sup>۱</sup> نامیده می‌شود (Simon & Arndt, 1980). با توجه به توضیحات فوق، تقاضای بازار  $k$  ام از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$D_k = z_k (1 - \alpha_k w (1 + r))^{1/v_k} [n_k^1 \sqrt{A} + n_k^2 \sqrt{a_k}]$$

(۵)

;  $k = 1, 2, \dots, K$

فرض می‌شود مجموع تقاضای بازارها  $D_0 = \sum_{k=1}^K D_k$  به طور کامل توسط توزیع کننده و تولید کننده برآورده می‌گردد. بدین منظور مجموع تقاضاهای ایجاد شده در بازارها ناشی از تصمیم‌گیری در حوزه قیمت و تبلیغات نباید از مجموع ظرفیت انبارهای توزیع کننده و ظرفیت تولید کننده ( $G$ ) بیشتر باشد. بنابراین داریم:

$$D_0 \leq \min\{\sum_{j=1}^J b_j, G\}$$

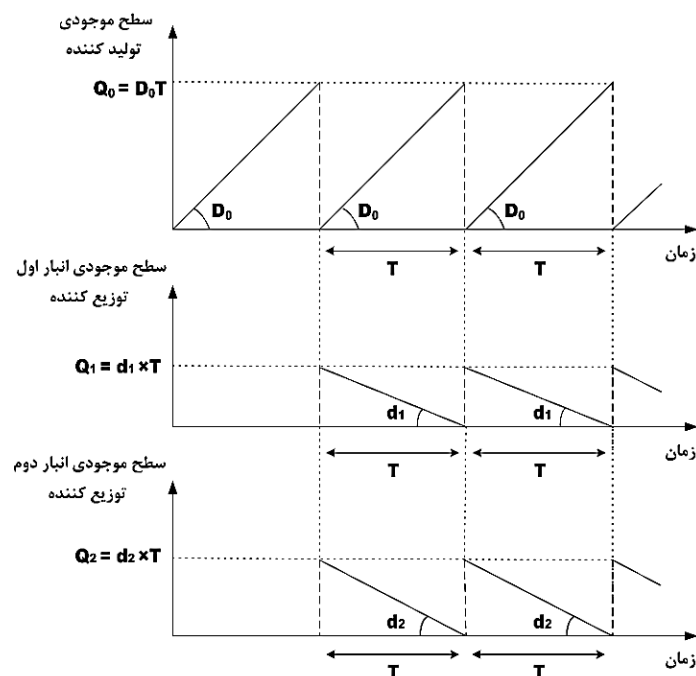
(۶)

در این تحقیق هزینه نگهداری موجودی توسط تولید کننده و هر یک از انبارهای توزیع کننده به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرض بر آن است که توزیع کننده مجموع تقاضای ایجاد شده در بازارها ( $D_0$ ) را در دسته‌های  $Q_0$  واحدی تولید و کل دسته تولیدی را متناسب با تقاضای انبارها بطور همزمان به ایشان تحویل می‌دهد. اگر دوره زمانی تولید را  $T$  فرض نماییم و تقاضای انبار  $j$  ام را با  $d_j$  نمایش دهیم، تولید کننده در هر دوره زمانی مقدار  $Q_0 = D_0 \cdot T$  واحد کالا را به انبارهای توزیع کننده ارسال می‌نماید که سهم هر انبار از هر دسته تولیدی برابر  $Q_j = d_j / D_0$  ( $j = 1, \dots, J$ ) می‌باشد. سطح موجودی تولید کننده و هر یک از انبارهای توزیع کننده با فرض وجود دو انبار در شکل ۲ نشان داده شده است.

یکی از هزینه‌های مهم در حوزه توزیع کالا و به خصوص زنجیره تامین قطعات یدکی خودرو، هزینه جابه‌جایی و حمل و نقل می‌باشد. با توجه به این واقعیت که در مطالعه موردی حاضر، فاصله قابل ملاحظه‌ای میان مراکز عرضه و تقاضا وجود دارد، محاسبه و اعمال این هزینه در تابع سود توزیع کننده

<sup>1</sup> Advertising Saturation Effect

از اهمیت زیادی برخوردار است. در این نوشتار دو نوع هزینه جابه جایی کالا در نظر گرفته می شود:



شکل ۲- نمودار سطوح موجودی تولید کننده و انبارهای توزیع کننده

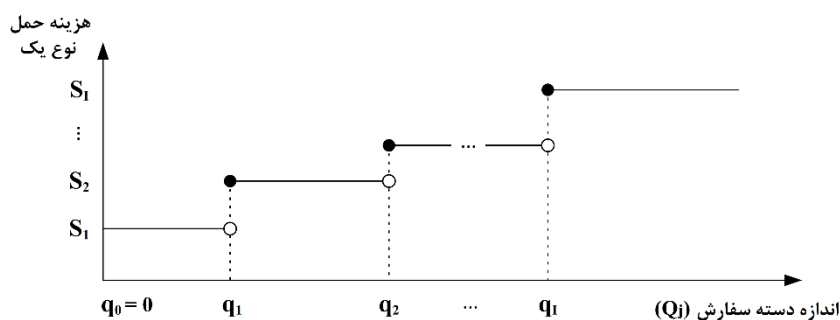
(۱) هزینه جابه جایی کالا نوع اول: از انبار تولید کننده به هریک از انبارهای توزیع کننده

(۲) هزینه جابجایی کالا نوع دوم: از انبارهای توزیع کننده به هریک از بازارهای مصرف

همچنین فرض می گردد مطابق توافق صورت گرفته میان تولید کننده و توزیع کننده، محل تحویل محصول به توزیع کننده، انبار تولید کننده باشد. بنابراین پرداخت هر دو نوع هزینه جابه جایی مذکور برعهده خریدار یعنی توزیع کننده خواهد بود. شایان ذکر است توافق مذکور در زنجیره تامین قطعات یدکی کشورمان بسیار رایج می باشد.

تولید کننده در هر نوبت پرسیازی مقدار  $Q$  واحد کالا به انبار  $z$ ام توزیع کننده ارسال می نماید. بنابراین می توان فرض نمود هزینه حمل نوع یک تابعی از اندازه محموله ( $Q_z$ ) است (شکل ۳).

شکل ۳- نمودار سطوح هزینه حمل نوع یک



برای مدل سازی هزینه حمل نوع یک، می توان از متغیر نشانگر  $y_i^j$  استفاده نمود:

$$y_i^j = \begin{cases} 1 ; & \text{اگر } q_{i-1} \leq Q_j < q_i \\ 0 ; & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

اگر فرض کنیم این سطوح برای کلیه انبارهای توزیع کننده از یک الگوی ثابت و مشترک پیروی نماید، آنگاه برای دستیابی به پاسخی شدنی باید محدودیت های ذیل همواره برقرار باشند:

$$q_{i-1} \cdot y_i^j \leq Q_j < q_i \cdot y_i^j + M \cdot (1 - y_i^j) ;$$

$$i = 1, \dots, I, \quad j = 1, \dots, J, \quad q_0 = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^I y_i^j = 1 ; \quad j = 1, \dots, J \quad (8)$$

پارامتر  $M$  در رابطه (۸)، ثابت مثبت بسیار بزرگ فرض شده است. با توجه به تکرار هزینه حمل نوع یک در هر نوبت بازپرسازی انبارها، هزینه حمل نوع یک انبار  $j$ ام توزیع کننده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$L_j^1 = \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^I s_i y_i^j ; \quad j = 1, \dots, J \quad (9)$$

از سوی دیگر توزیع کننده برای ارسال هر واحد کالا از انبار  $j$ ام خود به بازار  $k$ ام، متحمل  $C_{jk}$  واحد هزینه جابه جایی از نوع دوم می گردد. این هزینه می تواند تابعی از فاصله انبار تا بازار مورد نظر باشد. اگر مجموع تعداد کالای ارسال شده از انبار  $j$ ام توزیع کننده به بازار  $k$

ام در دوره برنامه ریزی را برابر  $x_{jk}$  فرض کنیم، مجموع هزینه جابه‌جایی کالا نوع دوم انبار  $j$  ام توزیع کننده  $(L_j^2)$  بصورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$L_j^2 = \sum_{k=1}^K c_{jk} \cdot x_{jk} ; j = 1, \dots, J \quad (10)$$

مسئله کمینه سازی هزینه حمل نوع دو به شرح فوق معادل یک مسئله تخصیص است که در آن مراکز عرضه همان انبارهای توزیع کننده و مراکز تقاضا همان بازارهای مصرف می‌باشند.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{jk} x_{jk} \\ \text{St.} \quad & \sum_{k=1}^K x_{jk} \leq b_j ; j = 1, \dots, J \\ & \sum_{j=1}^J x_{jk} = D_k ; k = 1, \dots, K \\ & x_{jk} \geq 0 \end{aligned}$$

محدودیت اول بیانگر آن است که مجموع کالای ارسال شده از انبار  $j$  ام توزیع کننده به کلیه بازارها نباید بیش تر از ظرفیت آن انبار باشد. همچنین مجموع کالای تحویلی از انبارهای توزیع کننده به بازار  $k$  ام باید برابر تقاضای آن بازار باشد که این موضوع در محدودیت دوم بیان گردیده است. جدول ۱ فهرست متغیرهای تصمیم مسئله را نشان می‌دهد.

در این نوشتار فرض بر آن است که تعیین قیمت عمده فروش، هزینه تبلیغات عمومی، نرخ مشارکت در هزینه تبلیغات محلی و دوره زمانی تولید (بازپس‌سازی) انبارها بر عهده تولیدکننده بوده و از سوی دیگر کنترل سایر متغیرهای تصمیم شامل نسبت سود خرده فروشی، هزینه تبلیغات محلی در هر بازار، مقدار کالای ارسال شده از هر انبار توزیع کننده به هر بازار و نیز انتخاب یا عدم انتخاب هر سطح هزینه حمل از سوی هر یک از انبارها در اختیار توزیع کننده است. در ادامه بر اساس توضیحات ارائه شده، دو مدل برنامه ریزی دوسطحی مبتنی بر دو سناریوی قدرت ارائه می‌گردد.

جدول ۱- متغیرهای تصمیم مسئله

$w$	قیمت عمده فروشی
$A$	هزینه تبلیغات عمومی
$T$	دوره زمانی تولید (بازپس‌سازی)
$\theta$	نرخ مشارکت در هزینه تبلیغات محلی
$r$	نسبت سود خرده فروشی
$a_k$	هزینه تبلیغات محلی در بازار $k$ ام
$x_{jk}$	تعداد کالای ارسال شده از انبار $j$ ام توزیع کننده به بازار $k$ ام
$y_i^j$	متغیر نشانگر انتخاب / عدم انتخاب هزینه حمل سطح $i$ ام توسط انبار $j$ ام توزیع کننده

## مدل تولید کننده-استکلیبرگ

در این مدل تولید کننده رهبر و توزیع کننده پیرو می‌باشد. با در نظر گرفتن بیشینه سازی تابع سود تولید کننده به عنوان هدف مسئله بهینه سازی سطح بالا و بیشینه سازی تابع سود توزیع کننده به عنوان هدف مسئله سطح پایین، مدل برنامه ریزی دو سطحی به صورت ذیل خواهد بود:

$$\max_{A, w, T, \theta} \pi_M = (w - f) \cdot D_0 - 1/T \cdot u_M - D_0 T / 2 \cdot \rho_M \cdot f - A - \theta \cdot \sum_{k=1}^K a_k$$

Subject to:  $D_0 \leq G$

$$A \geq 0 \quad , \quad 0 \leq \theta \leq 1 \quad , \quad \varepsilon \leq T \leq 1 \quad , \quad w \geq f$$

$$\max_{r, a_k, x_{jk}, y_i^j} \pi_D$$

$$\begin{aligned} &= r \cdot w \cdot D_0 - 1/T \cdot \sum_{j=1}^J u_D^j \\ &- w \cdot T / 2 \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{jk} \cdot \rho_D^j - (1 - \theta) \cdot \sum_{k=1}^K a_k \\ &- 1/T \cdot \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I s_i \cdot y_i^j - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{jk} \cdot x_{jk} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Subject to: } D_0 &\leq \sum_{j=1}^J b_j \\
 \sum_{k=1}^K x_{jk} &\leq b_j \quad ; j = 1, 2, \dots, J \\
 \sum_{j=1}^J x_{jk} &= D_k \quad ; k = 1, 2, \dots, K \\
 q_{i-1} \cdot y_i^j &\leq \sum_{k=1}^K x_{jk} \cdot T \\
 &< q_i \cdot y_i^j + M \cdot (1 - y_i^j) \quad ; \\
 &i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad q_0 = 0 \\
 \sum_{i=1}^I y_i^j &= 1 \quad ; j = 1, 2, \dots, J \\
 r, a_k, x_{jk} &\geq 0 \quad ; j = 1, 2, \dots, J, \quad k \\
 &= 1, 2, \dots, K \\
 y_i^j &= 0 \text{ یا } 1 \quad ; i = 1, 2, \dots, I, \quad j = \\
 &1, 2, \dots, J
 \end{aligned}$$

سود تولیدکننده از تفریق هزینه‌های آماده‌سازی، نگهداری موجودی، تبلیغات عمومی و مشارکت در تبلیغات محلی از درآمد وی حاصل می‌گردد. همچنین سود توزیع کننده برابر درآمد وی پس از کسر هزینه‌های سفارش دهی، نگهداری موجودی، تبلیغات محلی و هزینه حمل نوع یک و دو است.

همانگونه که از ساختار مدل مشخص می‌باشد، مسئله بهینه سازی سطح دو (توزیع کننده) در جایگاه یکی از محدودیت‌های مسئله سطح یک (تولید کننده) قرار گرفته است.

#### مدل توزیع کننده - استکلبرگ

با انتقال قدرت از تولیدکننده به توزیع کننده و تعویض نقش‌ها به مدل توزیع کننده - استکلبرگ می‌رسیم که در آن توزیع کننده رهبر زنجیره بوده و توزیع کننده پیرو می‌باشد:

$$\begin{aligned} \max_{r, a_k, x_{jk}, y_i^j} \pi_D = & r \cdot w \cdot D_0 - 1/T \cdot \sum_{j=1}^J u_D^j - w \cdot T/2 \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{jk} \cdot \rho_D^j \\ & - (1 - \theta) \cdot \sum_{k=1}^K a_k - 1/T \cdot \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I s_i \cdot y_i^j - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{jk} \cdot x_{jk} \end{aligned}$$

$$\text{Subject to: } D_0 \leq \sum_{j=1}^J b_j$$

$$\sum_{k=1}^K x_{jk} \leq b_j \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, J$$

$$\sum_{j=1}^J x_{jk} = D_k \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, K$$

$$q_{i-1} \cdot y_i^j \leq \sum_{k=1}^K x_{jk} \cdot T < q_i \cdot y_i^j + M \cdot (1 - y_i^j) \quad ; \\ i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad q_0 = 0$$

$$\sum_{i=1}^I y_i^j = 1 \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, J$$

$$r, a_k, x_{jk} \geq 0 \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

$$y_i^j = 0 \text{ یا } 1 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

$$\max_{A, w, T, \theta} \pi_M$$

$$= (w - f) \cdot D_0 - 1/T \cdot u_M - D_0 T/2 \cdot \rho_M \cdot f - A$$

$$- \theta \cdot \sum_{k=1}^K a_k$$

$$\text{Subject to: } D_0 \leq G$$

$$A \geq 0, \quad 0 \leq \theta \leq 1, \quad \varepsilon \leq T \leq 1, \quad w \geq f$$



پارامترهای هر دو مدل برنامه ریزی دو سطحی فوق، قطعی در نظر گرفته شده و با استفاده از نظر نخبگان منتخب در صنعت تولید و توزیع قطعات یدکی کشورمان تعیین می‌گردد. در خصوص آن دسته از پارامترهایی که به رفتار بازارهای مصرف مربوط می‌شود نیز نظر فعالان آن بازارها در تعیین مقادیر پارامترها لحاظ گردیده است.

جواب بهینه مسائل برنامه ریزی دو سطحی تعادل استکلیبرگ گفته می‌شود. با توجه به وجود توابع غیر خطی در اهداف و محدودیت‌های دو مدل ارائه شده و نیز پیچیدگی حل مسائل برنامه ریزی دو سطحی که در ساده ترین حالت خود (توابع هدف و محدودیت‌های خطی) در گروه مسائل NP-Hard قرار می‌گیرند، دو الگوریتم فراابتکاری با ساختار سلسله مراتبی جهت حل مدل‌های برنامه ریزی دو سطحی، در بخش بعد توسعه می‌یابد.

### الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از مهم ترین تکنیک‌های جستجوی تصادفی مبتنی بر تکامل تدریجی است که با بهره گیری از اصول فرآیندهای ژنتیک در ارگانیسم‌های بیولوژیکی طراحی گردیده است. از ویژگی‌های این الگوریتم فراابتکاری، عدم نیاز به برقراری شرایط خاص نظیر مشتق پذیری و محذب بودن تابع هدف و محدودیت‌های مسئله است (Oduguwa & Roy, 2002). با تکیه بر این ویژگی‌های ممتاز، در نوشتار حاضر دو الگوریتم ژنتیک سلسله مراتبی جهت حل مدل‌های برنامه ریزی دو سطحی توسعه می‌یابد. هر الگوریتم ژنتیک سلسله مراتبی شامل دو الگوریتم ژنتیک یکی برای مسئله سطح بالا و دیگری جهت حل مسئله سطح پایین است که به یکدیگر مرتبط می‌باشند. در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک سطح بالا، الگوریتم ژنتیک سطح پایین بطور کامل اجرا شده و پاسخ نهایی مسئله سطح پایین جهت ادامه اجرای الگوریتم سطح بالا اعلام می‌گردد.

### نمایش جواب‌ها

نحوه نمایش جواب در مسئله تولیدکننده و توزیع کننده در شکل ۴ نشان داده شده است. مسئله توزیع کننده دارای چهار مجموعه متغیر تصمیم است که می‌توان دو مجموعه  $X_{jk}$  و

$\mathcal{Y}_i^j$  را بر اساس دو مجموعه اول یعنی  $r$  و  $a_k$  محاسبه نمود.

تولیدکننده:

$w$	$A$	$T$	$\theta$
-----	-----	-----	----------

توزیع کننده:

$r$	$a_1$	$a_2$	...	$a_k$	...	$a_K$
-----	-------	-------	-----	-------	-----	-------

شکل ۴ - نحوه نمایش جواب‌ها

### تولید جواب‌های تصادفی

رویکرد نوشتار حاضر در برخورد با محدودیت‌های موجود، تحلیل ماهیت و یافتن روابط میان متغیرهای تصمیم است به نحوی که با تعیین حدود مجاز برای هر متغیر تصمیم، از تولید جواب‌های خارج از فضای شدنی جلوگیری گردد. روابط (۱۱) و (۱۲) دو محدودیت اصلی مدل‌های بهینه سازی ارائه شده به شمار می‌روند.

$$w \cdot (1 + r) \leq \min_{k=1, \dots, K} \left\{ \frac{1}{\alpha_k} \right\} \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k (1 - \alpha_k \cdot p)^{1/v_k} [n_k^1 \sqrt{A} + n_k^2 \sqrt{a_k}] \leq \min \left\{ \sum_{j=1}^J b_j, G \right\} \quad (12)$$

### مدل تولیدکننده - استکلبرگ

اگر فرض کنیم حداقل نسبت سود خرده فروشی مورد انتظار برای توزیع کننده برابر  $MAMD^1$  باشد، آنگاه حدود مجاز متغیر  $w$  و  $A$  با توجه به رابطه (۱۱) و (۱۲) بصورت زیر خواهد بود:

$$f \leq w \leq \frac{\min_{k=1, \dots, K} \{1/\alpha_k\}}{1 + MAMD}$$

<sup>1</sup> Minimum Attractive Margin of Distributer

(۱۳)

$$0 \leq A \leq \left( \frac{\min\{\sum_{j=1}^J b_j, G\}}{\sum_{k=1}^K z_k (1 - \alpha_k \cdot p_{max})^{1/v_k} \cdot n_k^1} \right)^2; p_{max} = \min_{k=1, \dots, K} \{1/\alpha_k\}$$

(۱۴)

همچنین مشابه مدل‌های ارائه شده  $0 \leq \theta \leq 1$  و  $\varepsilon \leq T \leq 1$  می‌باشد. پس از تعیین مقادیر  $A$  و  $W$  در هر تکرار الگوریتم سطح یک، حد بالای  $r$  از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$r_U = \frac{\min_{k=1, \dots, K} \{1/\alpha_k\}}{W} - 1$$

(۱۵)

جهت محاسبه حد پایین  $r$  و بر اساس رابطه (۱۲)، تابع  $f(r)$  را بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$f(r) = \min \left\{ \sum_{j=1}^J b_j, G \right\} - \sum_{k=1}^K z_k (1 - \alpha_k \cdot W (1 + r))^{1/v_k} n_k^1 \cdot \sqrt{A}$$

(۱۶)

با توجه به حد بالای تعریف شده در گام قبل می‌توان نتیجه گرفت مشتق تابع  $f(r)$  به جز در نقطه  $r = r_U$  همواره مقداری مثبت می‌باشد:

$$f'(r) = \sum_{k=1}^K \frac{\alpha_k \cdot W}{v_k} \cdot z_k \cdot n_k^1 \sqrt{A} (1 - \alpha_k \cdot W (1 + r))^{1/v_k - 1} \geq 0$$

(۱۷)

با توجه به اکیداً صعودی بودن تابع  $f(r)$  می‌توان از روش نیوتون - رافسون<sup>۱</sup> جهت تعیین حد پایین  $r$  استفاده نمود.

به این ترتیب با فرض  $r_0 = r_U$  و اجرای الگوریتم تا برقراری شرایط توقف، مقدار تقریبی ریشه تابع  $f(r)$  به دست می‌آید. چنانچه مقدار ریشه را با  $\tilde{r}$  نمایش دهیم، حد پایین متغیر تصمیم  $r$  بصورت زیر تعیین می‌گردد:

<sup>1</sup> Newton-Raphson Method

$$r_L = \max\{\tilde{r}, MAMD\} \quad (18)$$

برخلاف متغیرهای تولیدکننده (سطح یک)، متغیرهای توزیع کننده (سطح دو) شامل  $r$  و  $a_k$  از استقلال در کسب مقدار برخوردار نیستند. یعنی مقدار اتخاذ شده از سوی هر یک از آنها، روی حدود بالا و پایین سایر متغیرها تاثیرگذار است. بنابراین مقداردهی آزادانه به آنها می تواند منجر به عدم برقراری محدودیت (۱۲) گردد.

براین اساس ابتدا مقدار متغیر تصمیم  $r$  بطور تصادفی در محدوده مجاز تعیین شده  $r \in [r_L, r_U]$  تولید می گردد. سپس یکی از بازارها به طور تصادفی انتخاب گردیده و حد بالای  $a_k$  بر اساس محدودیت (۱۲) محاسبه می شود. مقدار متغیر  $a_k$  در بازه محاسبه شده بطور تصادفی تولید می شود و این روند تا تخصیص مقدار به کلیه  $a_k$  ها ادامه می یابد.

#### مدل توزیع کننده - استکلبرگ

بر اساس رابطه (۱۱) و با فرض حداقل نسبت سود عمده فروشی مورد انتظار تولیدکننده برابر  $MAMM^1$  داریم:

$$0 \leq r \leq \frac{\min_{k=1, \dots, K} \{1/\alpha_k\}}{f \cdot (1 + MAMM)} - 1 \quad (19)$$

با داشتن مقدار  $r$ ، می توان مقادیر متغیرهای  $a_k$  را مشابه الگوریتم ارائه شده در بخش قبل تعیین نمود. در الگوریتم فوق مقدار  $p$  جهت تضمین برقراری رابطه (۱۲) در الگوریتم ژنتیک سطح دو همزمان با مقدارگیری متغیر  $w$ ، برابر حد پایین خود قرار می گیرد:

$$p = p_L = w_L \cdot (1 + r) \quad , \quad w_L = f \cdot (1 + MAMM)$$

بر اساس توضیحات بخش قبل و به منظور تضمین برقراری روابط (۱۱) و (۱۲)، حدود مجاز متغیرهای تصمیم تولید کننده بصورت زیر تعیین می گردد:

$$f \cdot (1 + MAMM) \leq w \leq \frac{\min_{k=1, \dots, K} \{1/\alpha_k\}}{1 + r} \quad (20)$$

<sup>1</sup> Minimum Attractive Margin of Manufacturer

$$0 \leq A \leq \left( \frac{\min\{\sum_{j=1}^J b_j, G\} - \sum_{k=1}^K z_k (1 - \alpha_k \cdot w \cdot (1+r))^{1/v_k} n_k^2 \cdot \sqrt{a_k}}{\sum_{k=1}^K z_k (1 - \alpha_k \cdot w \cdot (1+r))^{1/v_k} n_k^1} \right)^2 \quad (21)$$

$$\theta \in [0,1] \quad \text{و} \quad T \in [\varepsilon, 1] \quad (22)$$

### محاسبه برازندگی جواب‌ها

از آنجائیکه تابع برازندگی جنبه مثبت داشته و افزایش مقدار آن مطلوب نظر می‌باشد، توابع هدف مسائل سطح یک و دو که معادل سود کسب شده توسط اعضا است به عنوان توابع برازندگی الگوریتم‌های ژنتیک در نظر گرفته می‌شود. جهت ارزیابی جواب‌های تولید شده در مسئله سطح یک، باید ابتدا مقادیر متغیرهای تصادفی مسئله سطح دو تعیین گردد. به این منظور، الگوریتم ژنتیک سطح یک در مرحله محاسبه برازندگی جواب، وارد الگوریتم ژنتیک سطح دو شده و مقادیر بهینه (نزدیک به بهینه) متغیرهای تصادفی مسئله سطح دو با داشتن مقادیر متغیرهای تصمیم مسئله سطح یک و با اجرای کامل الگوریتم ژنتیک سطح دو به دست می‌آید.

با توجه به آنکه هر جواب از مسئله توزیع کننده حاوی مقادیر متغیرهای  $r$  و  $a_k$  است، مقدار متغیر تصادفی  $x_{jk}$  با حل مسئله تخصیص (یا حمل و نقل که در بخش‌های قبلی تشریح گردید) تعیین می‌شود.

این مسئله بهینه سازی که قسمتی از تابع هدف و محدودیت‌های مدل‌های استکلبرگ می‌باشد، خطی بوده و در هر بار ارزیابی جواب در الگوریتم ژنتیک سطح دو با استفاده از توابع بهینه سازی خطی نرم افزار متلب حل می‌گردد. با تعیین مقادیر  $x_{jk}$ ، مقادیر بهینه  $y_i^j$  نیز از روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شود.

## عملگر انتخاب

در الگوریتم‌های ژنتیک سطح یک و دو توسعه یافته در هر دو مدل استکلبرگ از روش چرخ رولت<sup>۱</sup> با در نظر گرفتن فشار انتخاب<sup>۲</sup> جهت انتخاب کروموزم‌های والد در عملگر ترکیب و از روش انتخاب تصادفی به منظور انتخاب کروموزوم والد در عملگر جهش استفاده می‌گردد. مفهوم فشار انتخاب به معنای میزان مطلوبیتی است که یک جواب بهتر (با برازندگی بیشتر) ایجاد می‌نماید. هرچه مقدار این پارامتر بیشتر باشد، مطلوبیت جواب‌های با برازندگی زیاد بیشتر و مطلوبیت جواب‌های با برازندگی کم، کمتر خواهد بود (Sivanandam & Deepa, 2007).

از آنجاییکه همگرایی الگوریتم ژنتیک به طور قابل ملاحظه‌ای به پارامتر فشار انتخاب وابسته است، انتخاب مقدار مناسب برای این پارامتر از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. اگر مقدار پارامتر مذکور کم در نظر گرفته شود، همگرایی الگوریتم طولانی شده و زمان غیرضروری جهت دستیابی به پاسخ صرف می‌گردد. چنانچه مقدار پارامتر زیاد انتخاب شود، الگوریتم دچار همگرایی زودرس<sup>۳</sup> شده و در دام بهینه‌های محلی خواهد افتاد (Sivanandam & Deepa, 2007). اگر پارامتر فشار انتخاب را با  $\beta$  ( $\beta \geq 0$ ) نمایش دهیم، احتمال انتخاب جواب  $i$  ام جمعیت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Pr(i) = \frac{Fit(i)^\beta}{\sum_{i=1}^{nPop} Fit(i)^\beta} ; i = 1, \dots, nPop$$

$nPop$  تعداد جواب‌های جمعیت و  $Fit(i)$  مقدار برازندگی جواب  $i$  ام می‌باشد. بدیهی است:

$$Pr(i) = \begin{cases} \frac{1}{nPop} & ; \beta = 0 \text{ اگر} \\ 1 & ; \text{ اگر } \beta = \infty \text{ و جواب } i \text{ ام بهترین جواب جمعیت باشد} \\ 0 & ; \text{ اگر } \beta = \infty \text{ و جواب } i \text{ ام بهترین جواب جمعیت نباشد} \end{cases}$$

<sup>1</sup> Roulette Wheel

<sup>2</sup> Selection Pressure

<sup>3</sup> Premature Convergence

## عملگر ترکیب

در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک تعداد  $N_c$  جواب از جمعیت قبل با استفاده از روش چرخ رولت جهت ترکیب انتخاب می‌گردد. اگر احتمال ترکیب که یکی از پارامترهای الگوریتم ژنتیک است را با  $P_c$  نمایش دهیم،  $N_c$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$N_c = 2 \times \left\lceil \frac{P_c \cdot nPop}{2} \right\rceil$$

در این نوشتار از یک نوع عملگر ترکیب حسابی<sup>۱</sup> که ترکیبی خطی از کروموزوم‌های والد است جهت تولید کروموزوم‌های فرزند استفاده می‌گردد. اگر کروموزوم‌های والد  $X$  و  $Y$  هر کدام متشکل از  $n$  مولفه (ژن) را بصورت ذیل نمایش دهیم:

$$X: \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ \hline \end{array}$$

$$Y: \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_n \\ \hline \end{array}$$

کروموزوم‌های فرزند از رابطه زیر تولید می‌شوند (Köksoy & Yalcinoz, 2008):

$$x_i^{new} = \lambda \cdot x_i + (1 - \lambda) \cdot y_i \quad ; \quad i = 1, \dots, n$$

$$y_i^{new} = (1 - \lambda) \cdot x_i + \lambda \cdot y_i \quad ; \quad i = 1, \dots, n$$

$\lambda$  عدد ثابت مثبت است که در هر مرحله پیاده سازی عملگر ترکیب حسابی بصورت تصادفی تولید می‌گردد. بدیهی است چنانچه  $0 \leq \lambda \leq 1$  باشد، هر یک از ژن‌های کروموزوم فرزند مقداری بین مقادیر ژن‌های متناظر در کروموزوم‌های والد خود را اختیار خواهد نمود. در این نوشتار به منظور افزایش تنوع بخشی<sup>۲</sup> به جواب‌های جدید، مقدار  $\lambda$  بطور تصادفی در بازه  $[-\gamma, 1 + \gamma]$  تولید می‌گردد ( $\gamma \geq 0$ ). با انتخاب  $\gamma$  بزرگتر، امکان تولید مقادیر کمتر یا بیشتر

<sup>1</sup> Arithmetic Operator

<sup>2</sup> Diversification

از کروموزوم‌های والد فراهم شده و تنوع جواب‌های تولید شده افزایش می‌یابد. از عملگر ترکیب فوق در الگوریتم‌های ژنتیک سطح یک و دو در هر دو مدل استکلبرگ استفاده می‌گردد.

### عملگر جهش

در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک تعداد  $N_m$  جواب از جمعیت قبل با استفاده از روش انتخاب تصادفی جهت اعمال جهش برگزیده می‌شوند. اگر احتمال جهش که یکی از پارامترهای الگوریتم ژنتیک است را با  $P_m$  نمایش دهیم،  $N_m$  از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$N_m = [P_m \cdot nPop]$$

عملگر جهش روی  $n_m = n \cdot \psi_m$  مولفه از  $n$  مولفه (ژن) تشکیل دهنده کروموزوم والد منتخب تاثیرگذار می‌باشد. در این رابطه  $\psi_m$  نرخ تاثیر جهش است ( $0 \leq \psi_m \leq 1$ ) که از پارامترهای الگوریتم ژنتیک محسوب می‌گردد.

مقدار مولفه  $i$  ام از کروموزوم والد منتخب ( $x_i$ ) طی فرآیند جهش تغییر نموده و مقدار تصادفی جدیدی به آن تخصیص می‌یابد. مقدار جدید مولفه  $i$  ام کروموزوم والد منتخب ( $x_i^{new}$ ) از توزیع نرمال با میانگین  $x_i$  و واریانس  $\sigma^2$  تعیین می‌گردد ( $x_i^{new} \sim N(x_i, \sigma^2)$ ).

$\sigma$  انحراف معیار یا طول گام جهش است که متناسب با عرض فضای جستجو تعیین می‌گردد:

$$\sigma = \mu \times (\bar{x}_i - \underline{x}_i)$$

در رابطه فوق  $\mu$ ، ضریب ثابت مثبت بین صفر و یک ( $0 < \mu < 1$ ) و  $\bar{x}_i$  و  $\underline{x}_i$  به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار مجاز مولفه  $i$  ام کروموزوم والد است. هر چه طول گام جهش ( $\sigma$ ) بلندتر باشد، تنوع بخشی افزایش و تمرکزدهی<sup>۱</sup> کاهش می‌یابد و برعکس. در الگوریتم‌های ژنتیک ارائه شده جهت حل مدل‌های استکلبرگ از عملگر جهش فوق با  $\mu = 0.1$  استفاده گردیده است.

<sup>۱</sup> Intensification



## اصلاح جواب‌های تولید شده

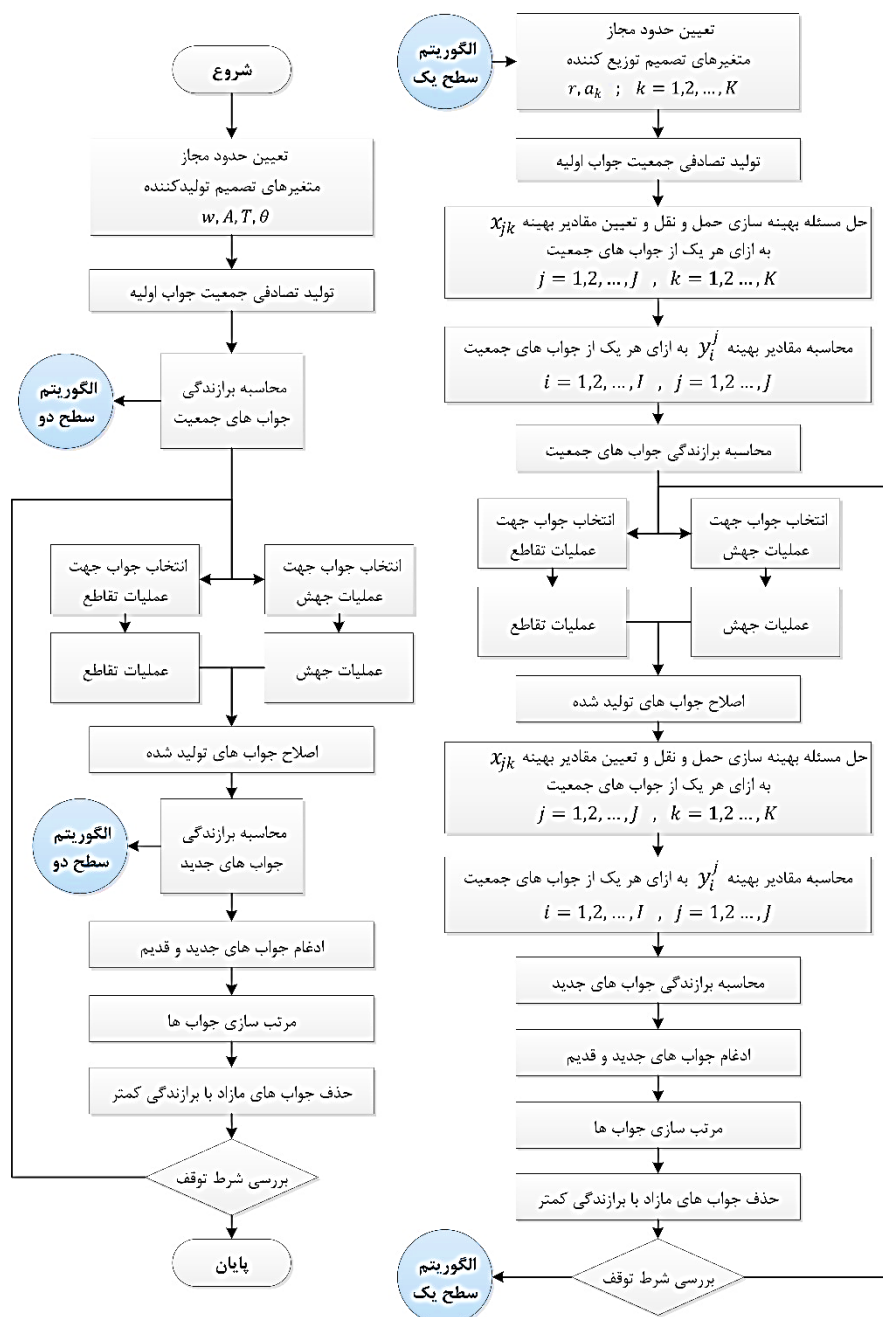
کلیه متغیرهای تصمیم به جز  $a_k$  در چارچوب حدود محاسبه شده در بخش قبل تعیین می‌شوند. جهت اصلاح مقادیر متغیرهای  $a_k$  نیز، ابتدا یکی از بازارها بطور تصادفی انتخاب و مقدار  $a_k$  آن در ثابت ۰,۹۹ ضرب می‌گردد. این روند تا برقراری رابطه (۱۵) ادامه می‌یابد. در محاسبه مقدار رابطه مذکور،  $A = 0$  و  $W = W_L = f \cdot (1 + MAMM)$  فرض می‌گردد.

## تشکیل جمعیت جدید و توقف الگوریتم

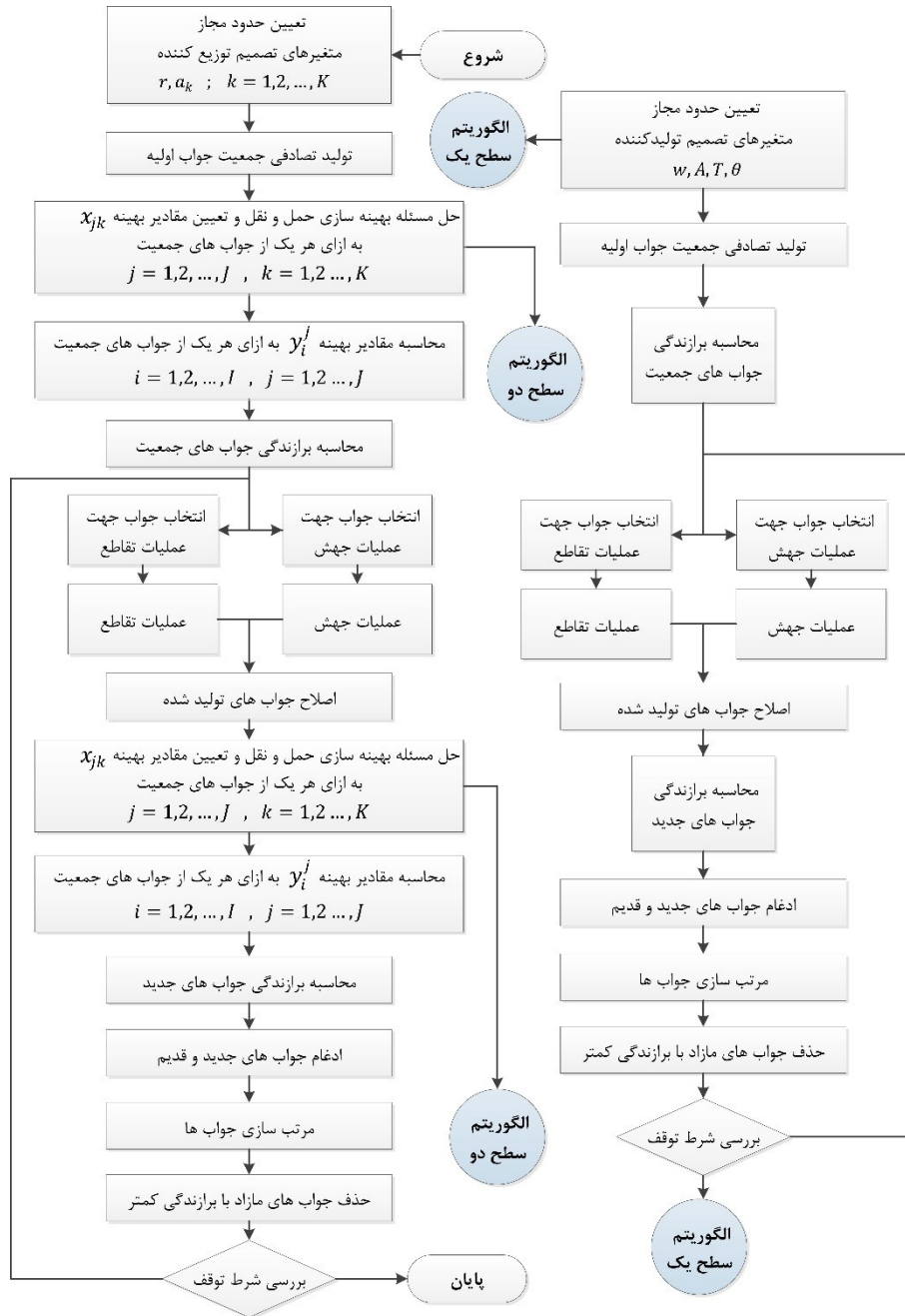
نسل جدید از جواب‌ها در کلیه الگوریتم‌های ژنتیک توسعه داده شده بر اساس رویکرد نخبه گرایی<sup>۱</sup> (ادغام جواب‌های قدیم و جدید و انتخاب  $nPop$  جواب بهتر) شکل می‌گیرد. همچنین شرط توقف در کلیه الگوریتم‌ها رسیدن به تعداد تکرار ( $Max\_It$ ) مشخص است که این تعداد جزء پارامترهای الگوریتم ژنتیک محسوب می‌گردد. مراحل الگوریتم‌های ژنتیک سلسله مراتبی توسعه داده شده برای هر یک از مدل‌های استکلبرگ به ترتیب در نمودار ۵ و ۶ آمده است.

---

<sup>۱</sup> Elitism



شکل ۵ - قدم های الگوریتم ژنتیک سلسله مراتبی در مدل تولید کننده - استکلیرگ



شکل ۶- قدم‌های الگوریتم ژنتیک سلسله مراتبی در مدل توزیع کننده - استکلبرگ

جهت تنظیم پارامترهای موجود در چهار الگوریتم ژنتیک توسعه یافته از روش طراحی آزمایش‌ها استفاده می‌گردد. جدول ۲ سطوح در نظر گرفته شده برای پارامترها را نشان می‌دهد.

جدول ۲- سطوح پارامترها

نام پارامتر	$nPop$	$Max_{It}$	$\beta$	$p_c$	$\gamma$	$p_m$	$\Psi_m$
سطح ۱	۳۰	۵۰	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۴۵	۰/۴
سطح ۲	۴۰	۸۰	۱/۵	۰/۶	۱	۰/۵۵	۰/۵
سطح ۳	۵۰	۱۰۰	۲	۰/۷	۱/۵	۰/۶	۰/۶

نتایج پیاده سازی یک طرح عاملی کامل شامل  $۷^۳$  ترکیب آزمایشی با دو تکرار در هر ترکیب و مقادیر مناسب پارامترها در جدول ۳ آمده است. با توجه به آنکه الگوریتم‌های ژنتیک سطح دو به مقادیر متغیرهای تصمیم الگوریتم سطح بالاتر وابسته اند، در هر یک از آزمایش‌ها مقادیر فوق با حفظ روابط مسئله به صورت تصادفی تولید و در اختیار الگوریتم‌های سطح دو قرار می‌گیرند.

جدول ۳- نتیجه تنظیم پارامتر الگوریتم‌های ژنتیک

نام پارامتر	مدل تولید کننده - استکلبرگ		مدل توزیع کننده - استکلبرگ	
	سطح یک	سطح دو	سطح یک	سطح دو
$nPop$	۴۰	۵۰	۳۰	۳۰
$Max_{It}$	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰
$\beta$	۱/۵	۱	۱/۵	۱/۵
$P_c$	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۷
$\gamma$	۱	۱/۵	۱/۵	۱/۵
$P_m$	۰/۵۵	۰/۶	۰/۵۵	۰/۵۵
$\Psi_m$	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶

## آزمایش‌های محاسباتی

در این بخش نتایج حل یک نمونه مسئله در قالب یک مثال عددی بطور کامل ارائه می‌گردد و سپس پانزده نمونه مسئله در قالب سه مسئله آزمایشی تعریف و نتایج حل آنها با یکدیگر مقایسه خواهد گردید. جهت تحلیل نتایج در این بخش سه مسئله آزمایشی بر اساس تعداد انبارها ( $J$ ) و تعداد بازارها ( $K$ ) طراحی و برای هر یک، پنج نمونه مسئله با پارامترهای تصادفی در نظر گرفته می‌شود. جدول ۴ حدود مشخص شده جهت تولید تصادفی مقادیر پارامترها را نشان می‌دهد. این حدود بر اساس نظر برخی از نخبگان فعال در حوزه تولید و توزیع قطعات یدکی خودرو در کشورمان تعیین گردیده است. از آنجائیکه نوع قطعه یدکی مورد بررسی از لحاظ ارزش، وزن، ابعاد، ضریب مصرف و کاربرد در خودرو روی مقادیر پارامترهای مسئله تأثیرگذار است، مجموعه بوش و پیستون موتور خودرو در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است.

جدول ۴ - مقادیر پارامترهای مسئله در نمونه مسائل آزمایشی

مسئله تولیدکننده	مسئله توزیع کننده		بازارها	
	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
$f$	$U(50, 150)$	$b_j$	$U(1, 4) \times 10^5$	$Z_k$
$\rho_M$	۰/۰۲	$\rho_D^j$	۰/۰۲	$\alpha_k$
$\mu_M$	$U(2, 5) \times 10^3$	$\mu_D^j$	$U(300, 700)$	$v_k$
$G$	$U(3, 5) \times 10^5$	$c_{jk}$	$U(0, 5)$	$n_k^1$
$MAMM$	%۵	$MAMD$	%۵	$n_k^2$
		$q_i$	(۰/۱۵۰۰۰ / ۲۵۰۰۰)	
		$s_i$	(۱۰۰۰ / ۱۸۰۰ / ۲۴۰۰)	

به عنوان یک مثال عددی، نمونه مسئله اول از مسئله آزمایشی شماره یک با داده‌های مندرج در جدول ۵ به کمک دو الگوریتم سلسله مراتبی توسعه داده شده حل گردید که نمودارهای همگرایی هر یک از چهار الگوریتم ژنتیک مربوطه در شکل‌های ۷ و ۸ آمده است.

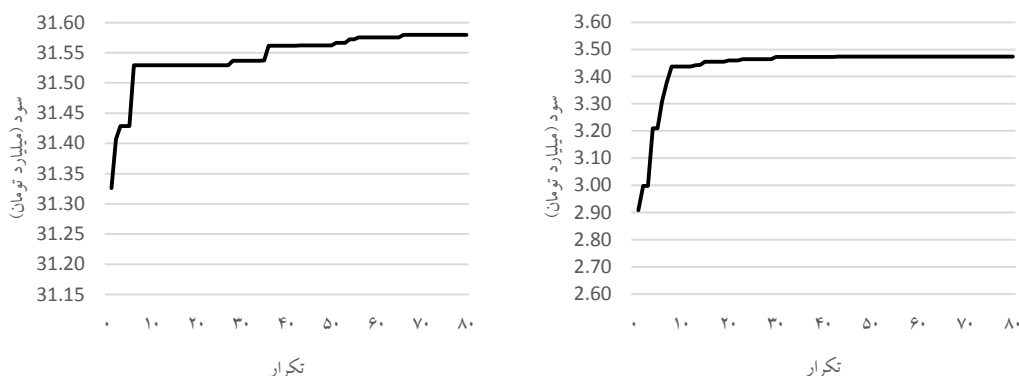
همچنین مقادیر متغیرهای تصمیم تولیدکننده و توزیع کننده در جدول ۶ ارائه گردیده است. در حوزه قیمت گذاری، اگرچه قیمت خرده فروشی به بازارها در هر دو مدل استکلبرگ یکسان و برابر ۲۲۲،۰۰۰ تومان می باشد ولیکن قیمت فروش تولیدکننده و نسبت سود خرده فروشی توزیع کننده وقتی رهبر زنجیره باشند بیشتر می باشد. نکته دیگر آنکه در مدل تولیدکننده - استکلبرگ، نسبت سود خرده فروشی توزیع کننده در حداقل مقدار مجاز خود یعنی *MAMD* قرار گرفته است.

از دیدگاه تبلیغات، نرخ مشارکت تولیدکننده در هزینه تبلیغات محلی ( $\theta$ ) در مدل های استکلبرگ به ترتیب صفر و ۷۱/۲٪ می باشد. این موضوع به معنای آن است که تولیدکننده در جایگاه رهبر تمایلی به مشارکت در هزینه تبلیغات محلی نداشته و سود خود را از طریق افزایش قیمت بیشینه نموده است. در حوزه مدیریت موجودی، دوره تولید (بازپرسی) در مدل تولیدکننده - استکلبرگ طولانی تر است. از آنجاییکه مطابق مفروضات مدل، کنترل این متغیر بر عهده تولیدکننده می باشد و وی تمایل زیادی به طولانی نمودن دوره، افزایش اندازه دسته تولیدی و کاهش دفعات بازپرسی انبارهای توزیع کننده دارد، مقدار متغیر مذکور در مدل تولیدکننده - استکلبرگ بیشتر است.

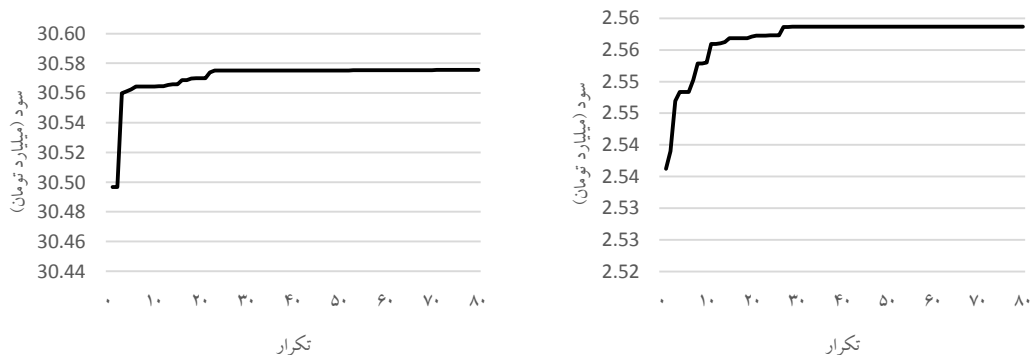
جدول ۵ - مقادیر پارامترهای نمونه مسئله یک از مسئله آزمایشی اول

مسئله تولیدکننده		مسئله توزیع کننده		بازارها	
پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
$f$	۱۳۵	$b_1$ و $b_2$	$300 / 200 \times 10^3$	$Z_1$ و $Z_2$ و $Z_3$	$80$ و $40$ و $65 \times 10^3$
$\rho_M$	۰/۰۲	$\rho_D^1$ و $\rho_D^2$	۰/۰۲	$\alpha_1$ و $\alpha_2$ و $\alpha_3$	$3/5$ و $4/5$ و $4 \times 10^{-3}$
$\mu_M$	۳۰۰۰	$\mu_D^1$ و $\mu_D^2$	۳۵۰ و ۴۰۰	$v_1$ و $v_2$ و $v_3$	۱ و ۰/۸ و ۱/۳
$G$	۴۰۰،۰۰۰	$C_{11}$ و $C_{21}$	۲ و ۲	$n_1^1$ و $n_2^1$ و $n_3^1$	۰/۴ و ۰/۵ و ۰/۴۵
$MAMM$	٪۵	$C_{12}$ و $C_{22}$	۱ و ۴	$n_1^2$ و $n_2^2$ و $n_3^2$	۰/۳ و ۰/۲ و ۰/۱
		$C_{13}$ و $C_{23}$	۱ و ۳		
		$MAMD$	٪۵		
		$q_1$ و $q_2$ و $q_3$	$(0/15/25) \times 10^3$		
		$S_1$ و $S_2$ و $S_3$	$(1/1,8/2,4) \times 10^3$		

طراحی مدل برنامه ریزی دو سطحی در زنجیره تامین... ۳۱

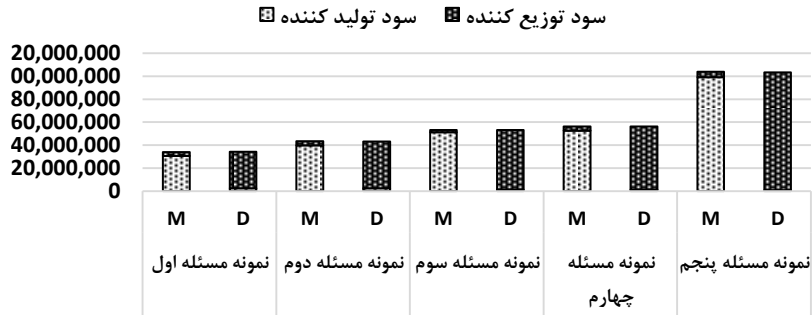


شکل ۷- همگرایی الگوریتم‌های سطح یک (چپ) و سطح دو (راست) در مدل تولید کننده استکلبرگ

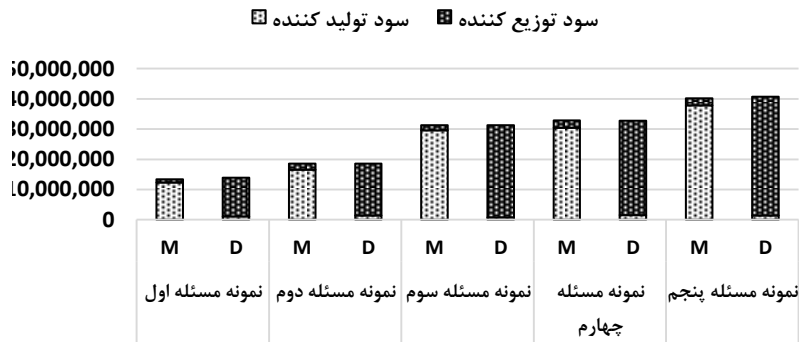


شکل ۸- همگرایی الگوریتم‌های سطح یک (چپ) و سطح دو (راست) در مدل توزیع کننده استکلبرگ

از دیدگاه لجستیک نیز تخصیص بهینه تقاضای بازارها به انبارهای توزیع کننده در هر یک از مدل‌های استکلبرگ و سطوح هزینه حمل نوع یک مشخص گردیده است. مطابق نتایج بدست آمده، سود سیستم در دو مدل استکلبرگ تقریباً با یکدیگر برابر است ولیکن سهم هر یک از اعضا هنگامی که رهبر زنجیره باشند به طور قابل ملاحظه ای بیشتر می‌باشد. با حل مدل‌های تولید کننده - استکلبرگ و توزیع کننده - استکلبرگ در هر یک از نمونه مسائل با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک سلسله مراتبی، سود تولید کننده و توزیع کننده و نیز سود کل سیستم مورد محاسبه قرار می‌گیرد که نتایج در جدول ۷ آمده است. همانگونه که در جدول ۷ مشخص می‌باشد، سود سیستم در دو مدل استکلبرگ به طور تقریبی با یکدیگر برابراند. نمودارهای موجود در شکل‌های ۹ تا ۱۱ سهم سود کسب شده توسط هر یک از اعضا در نمونه مسائل آزمایشی اول تا سوم را نمایش می‌دهد.



شکل ۹ - مقایسه سود تولید کننده و توزیع کننده در دو مدل استکلبرگ در مسئله آزمایشی اول



جدول ۶ - نتایج حل نمونه مسئله یک از مسئله آزمایشی اول

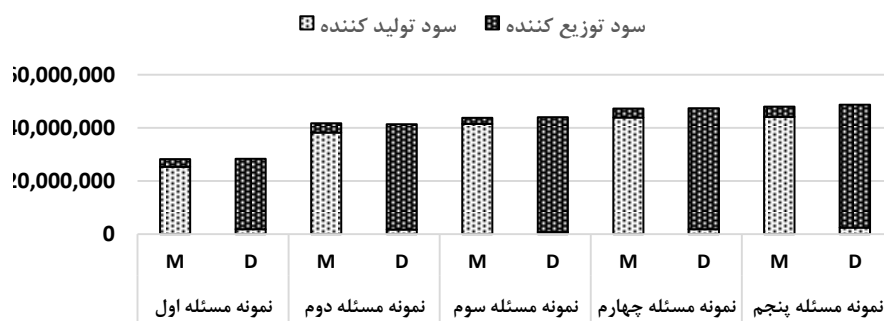
سطح		متغیر تصمیم	مقدار متغیر تصمیم
		مدل تولید کننده - استکلبرگ	مدل توزیع کننده - استکلبرگ
تولید کننده	$W$	۲۱۱/۶۴۰	۱۴۱/۶۶۰
	$A$	۳/۶۴۴	صفر
	$T$	۰/۰۷۸	۰/۰۵۷
	$\theta$	صفر	٪ ۷۱/۲
	$\pi_M$	۳۰،۵۷۵،۴۸۷	۲،۵۵۸،۶۴۵
توزیع کننده	$r$	٪ ۵	٪ ۵۶/۷۱
	$a_3$ و $a_2$ و $a_1$	۱،۱۵۴ و ۰ و ۲۶،۴۰۱	۱،۱۲۰ و ۱۴۸۳۶ و ۳۳،۷۷۵



طراحی مدل برنامه ریزی دو سطحی در زنجیره تامین... ۳۳

۱۷۹,۶۹۵ و ۰	۱۹۴,۷۸۹ و ۰	$X_{21}$ و $X_{11}$	
۱۷۳ و ۰	۰ و ۰	$X_{22}$ و $X_{12}$	
۲۲,۱۸۰ و ۲۰۰,۰۰۰	۵,۲۱۰ و ۲۰۰,۰۰۰	$X_{23}$ و $X_{13}$	
			شکل ۱۰ - مقایسه سود تولیدکننده و توزیع کننده در دو مدل استکلبرگ در مسئله آزمایشی دوم
۰ و ۰	۰ و ۱۰	$\gamma_1$ و $\gamma_2$ و $\gamma_3$	
۳۱,۵۷۹,۸۰۵	۳,۴۷۴,۰۱۰	$\pi_D$	
۲۲۲	۲۲۲/۲۱۲	$p$	سیستم
۱۷۹,۶۹۵ و ۱۷۳ و ۲۲۲,۱۸۰	۱۹۴,۷۸۹ و ۰ و ۲۰۵,۲۱۰	$D_1$ و $D_2$ و $D_3$	
۳۴,۱۳۸,۴۵۰	۳۴,۰۴۹,۴۹۷	$\pi_{M+D}$	

کلیه واحدهای پولی به هزار تومان می باشد.



شکل ۱۱ - مقایسه سود تولیدکننده و توزیع کننده در دو مدل استکلبرگ در مسئله آزمایشی سوم

نتایج فوق را می توان اینگونه جمع بندی نمود که چنانچه زنجیره تامین بصورت غیرمتمرکز مدیریت گردد و میان اعضا همکاری وجود نداشته باشد آن عضوی که از قدرت تصمیم گیری بالاتر برخوردار است همواره سود بیشتری از کل سود موجود در هر سیستم را کسب خواهد نمود و عضو دیگر را بطور قابل ملاحظه ای از منافع سیستم بی بهره خواهد گذاشت. توجه به این نکته ضروری است که دو پارامتر  $MAMM$  و  $MAMD$  در مدل های توسعه یافته، تضمین کننده کسب سود حداقلی برای تولیدکننده و توزیع کننده می باشد و در صورت کاهش مقدار و یا حذف از مدل ها، احتمال ضرر شدن پیرو را به دنبال خواهد داشت.

### جمع بندی و پیشنهاد تحقیقات آتی

تحقیق حاضر به مطالعه زنجیره تامین دو سطحی شامل یک تولیدکننده و یک توزیع کننده تحت مدیریت غیر متمرکز در زنجیره تامین قطعات یدکی خودرو پرداخته و ارتباط سلسله مراتبی میان تولیدکننده و توزیع کننده را در قالب دو سناریوی قدرت مدل سازی می نماید. با توجه به اهمیت تصمیم گیری تولیدکننده در حوزه تعیین قیمت عمده فروشی، هزینه تبلیغات عمومی، میزان مشارکت در هزینه تبلیغات محلی و نیز دوره بازپرسازی انبارها، در سناریوی اول قدرت بیشتر به تولیدکننده داده می شود و متغیرهای تصمیم وی به عنوان رهبر با در نظر گرفتن واکنش منطقی توزیع کننده در نقش پیرو تعیین می گردد (مدل تولیدکننده استکلبرگ). در سناریوی دوم، عکس حالت قبل مورد بررسی قرار گرفته و توزیع کننده که از قدرت بیشتری برخوردار است در جایگاه رهبر قرار می گیرد. در این سناریو، متغیرهای تصمیم توزیع کننده شامل نسبت سود توزیع، هزینه تبلیغات محلی در هر بازار و نیز نحوه تخصیص تقاضای بازارها به انبارها با در نظر گرفتن واکنش منطقی تولیدکننده به عنوان پیرو تعیین می شود (مدل توزیع کننده استکلبرگ). با عنایت به آنکه در مدل های برنامه ریزی دو سطحی توسعه داده شده، مقادیر بهینه (نزدیک به بهینه) متغیرهای تصمیم تولیدکننده و توزیع کننده با هدف بیشینه سازی سود هر یک از اعضا به طور همزمان تعیین می گردد، راه حل ارائه شده می تواند کمک شایانی به تصمیم گیری مدیران در هر دو حوزه تولید و توزیع نماید. جهت سنجش اعتبار مدل های توسعه یافته، ضمن توسعه دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با ساختار سلسله مراتبی، هر یک از مدل های برنامه ریزی دو سطحی با استفاده از داده های جمع آوری شده از بازار قطعات یدکی خودرو حل و نتایج با یکدیگر مقایسه گردیده است. همچنین با انجام مجموعه ای از آزمایشات محاسباتی، سود هر یک از اعضا به همراه سود سیستم در مدل های استکلبرگ مورد مقایسه قرار می گیرند.

بر اساس نتایج بدست آمده، سود سیستم (مجموع سود تولیدکننده و توزیع کننده) در دو سناریوی قدرت تقریباً یکسان است ولیکن سهم اعضا به جایگاه ایشان در ساختار سلسله مراتبی بستگی دارد. به عبارت دیگر رهبر زنجیره در مقایسه با پیرو همواره سهم قابل توجهی از سود سیستم را به خود اختصاص داده است. این نتایج مبین آن است که تولیدکننده و توزیع کننده در زنجیره تامین قطعات یدکی که در کشورمان عموماً به شکل غیر متمرکز مدیریت می گردد

همواره به دنبال کسب قدرت تصمیم گیری بالاتر اند تا سود بیشتری را از مجموع سود سیستم کسب نمایند. نتایج فوق در ادامه مطالعات قبلی، ضرورت هماهنگ سازی و یکپارچه سازی میان اعضا در زنجیره تامین قطعات یدکی در کشورمان را تبیین می نماید. با افزایش سطح همکاری میان تولیدکننده و توزیع کننده و کم رنگ شدن ساختار تصمیم گیری سلسله مراتبی، سود سیستم نسبت به حالت غیرمتمرکز افزایش می یابد که با پیاده سازی مکانیزم های مناسب جهت تسهیم سود مازاد، می توان تولیدکننده و توزیع کننده را به مشارکت و همکاری ترغیب نمود. بر این اساس، توسعه مکانیزم های تشویقی جهت هماهنگ سازی زنجیره تامین قطعات یدکی در کشورمان از جمله زمینه هایی است که می توان در تحقیقات آتی به آن پرداخت.

جدول ۷ - مقایسه سود تولیدکننده و توزیع کننده در دو مدل استکلبرگ

مسئله آزمایشی	تعداد انبارها	تعداد بازارها	نمونه مسئله	سود تولیدکننده		سود توزیع کننده		سود سیستم	
				D-St.**	M-St.*	D-St.	M-St.	D-St.	M-St.
اول	۳	۲	۱	۲,۵۵۸,۶۴۵	۳,۰۵۷۵,۴۸۷	۳۱,۵۷۹,۸۰۵	۳,۴۷۴,۰۱۰	۳۴,۱۳۸,۴۵۰	۳۴,۰۴۹,۴۹۷
				۲,۴۲۱,۲۳۰	۳,۹۷۰,۸۶۱۸	۴۰,۷۹۸,۶۴۳	۳,۷۱۶,۵۹۲	۴۳,۲۱۹,۸۱۳	۴۳,۴۲۵,۲۱۰
				۱,۴۳۲,۵۸۹	۵۱,۱۸۵,۴۲۶	۵۱,۶۷۶,۹۶۴	۱,۹۲۹,۵۷۳	۵۳,۱۰۹,۵۵۳	۵۳,۱۱۴,۹۹۹
				۱,۳۰۲,۰۴۴	۵۲,۶۰۲,۵۶۶	۵۴,۹۲۷,۷۷۹	۳,۶۰۴,۷۱۰	۵۶,۲۲۹,۸۱۳	۵۶,۲۰۷,۲۷۶
				۶۱۲,۲۱۹	۹۹,۰۳۳,۲۸۳	۱۰۲,۸۷۷,۸۳۹	۴,۷۸۳,۸۴۵	۱۰۳,۴۹۰,۰۵۸	۱۰۳,۸۱۷,۱۲۸
دوم	۵	۳	۱	۱,۱۳۵,۶۸۹	۱۲,۳۰۰,۹۷۶	۱۲,۸۱۵,۱۴۷	۱,۰۵۱,۳۴۱	۱۳,۹۵۰,۸۳۶	۱۳,۳۵۲,۳۱۷
				۱,۳۷۵,۳۸۳	۱۶,۵۸۸,۱۱۴	۱۷,۲۳۰,۰۵۸	۲,۰۲۸,۷۱۸	۱۸,۶۰۵,۴۴۱	۱۸,۶۱۶,۸۳۲
				۷۹۷,۱۸۱	۲۹,۵۶۶,۲۳۴	۳۰,۴۶۶,۸۶۳	۱,۷۶۰,۳۲۵	۳۱,۲۶۴,۰۴۴	۳۱,۳۲۶,۵۵۹
				۱,۵۳۴,۶۶۰	۳۰,۴۲۱,۲۲۰	۳۱,۲۳۷,۷۷۲	۲,۴۰۶,۸۷۴	۳۲,۷۷۲,۴۳۲	۳۲,۸۲۸,۰۹۴
				۱,۴۰۴,۵۲۶	۳۷,۸۳۲,۹۷۶	۳۹,۳۳۰,۵۷۹	۲,۳۸۷,۶۸۰	۴۰,۷۳۵,۱۰۵	۴۰,۲۲۰,۶۵۶
سوم	۱۰	۵	۱	۱,۸۷۲,۷۰۹	۲۵,۳۴۰,۷۷۳	۲۶,۴۸۳,۸۶۹	۲,۹۱۵,۵۳۸	۲۸,۳۵۶,۵۷۸	۲۸,۲۵۶,۳۱۱
				۱,۷۸۹,۱۲۰	۳۸,۲۷۱,۰۱۳	۳۹,۵۷۵,۱۲۵	۳,۴۶۰,۴۹۲	۴۱,۳۶۴,۲۴۵	۴۱,۷۳۱,۵۰۵
				۷۳۰,۳۵۱	۴۱,۵۴۲,۴۲۱	۴۳,۳۲۹,۹۳۶	۲,۲۳۰,۰۶۸	۴۴,۰۶۰,۲۸۷	۴۳,۷۷۲,۴۸۹
				۱,۸۶۸,۰۳۲	۴۳,۹۰۷,۷۵۵	۴۵,۵۱۵,۱۷۰	۳,۳۵۳,۰۲۳	۴۷,۳۸۳,۲۰۲	۴۷,۲۶۰,۷۷۸
				۲,۴۷۰,۲۹۳	۴۴,۱۷۹,۴۳۳	۴۶,۲۲۰,۸۹۶	۳,۸۶۰,۲۷۵	۴۸,۶۹۱,۱۸۹	۴۸,۰۳۹,۷۰۸

\* مدل تولیدکننده - استکلبرگ - \*\* مدل توزیع کننده - استکلبرگ - مبالغ به هزار تومان می باشد.

## منابع

خلیفه زاده، ساسان و سیف برقی، مهدی. (۱۳۹۳)، یک مدل برنامه ریزی دو هدفه برای یک سیستم تولید- توزیع یکپارچه و حل با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه ای. فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، شماره ۳۴، صص ۸۸-۶۳.

Aust, G., & Buscher, U. (2014). Cooperative advertising models in supply chain management: A review. *European Journal of Operational Research*, 234(1), 1-14 .

Ben-Ayed, O., & Blair, C. E. (1990). Computational difficulties of bilevel linear programming. *Operations Research*, 38(3), 556-560 .

Eliashberg, J., & Steinberg, R. (1987). Marketing-production decisions in an industrial channel of distribution. *Management science*, 33(8), 981-1000 .

Giannoccaro, I., & Pontrandolfo, P. (2004). Supply chain coordination by revenue sharing contracts. *International Journal of Production Economics*, 89(2), 131-139 .

He, X., Prasad, A., & Sethi, S. P. (2009). Cooperative advertising and pricing in a dynamic stochastic supply chain: Feedback Stackelberg strategies. *Production and Operations Management*, 18(1), 78-94 .

Herrington, J. D., & Dempsey, W. A. (2005). Comparing the current effects and carryover of national-, regional-, and local-sponsor advertising. *Journal of Advertising Research*, 45(01), 60-72 .

Hutchins, M. S. (1953). *Cooperative advertising: The way to make it pay*: Ronald Press.

Koh, A. (2013). A metaheuristic framework for bi-level programming problems with multi-disciplinary applications *Metaheuristics for Bi-level Optimization* (pp. 153-187): Springer.

Köksoy, O., & Yalcinoz, T. (2008). Robust Design using Pareto type optimization: A genetic algorithm with arithmetic crossover. *Computers & Industrial Engineering*, 55(1), 208-218 .

Oduguwa, V., & Roy, R. (2002). *Bi-level optimisation using genetic algorithm*. Paper presented at the Artificial Intelligence Systems, 2002.(ICAIS 2002). 2002 IEEE International Conference on.

Raju, J., & Zhang, Z. J. (2005). Channel coordination in the presence of a dominant retailer. *Marketing Science*, 24(2), 254-262 .

Sadigh, A. N., Mozafari, M., & Karimi, B. (2012). Manufacturer–retailer supply chain coordination: A bi-level programming approach. *Advances in Engineering Software*, 45(1), 144-152 .

Sajadieh, M. S., Fallahnezhad, M. S., & Khosravi, M. (2013). A joint optimal policy for a multiple-suppliers multiple-manufacturers multiple-retailers system. *International Journal of Production Economics*, 146(2), 738-744 .

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 .

Simon, J. L., & Arndt, J. (1980). The shape of the advertising response function. *Journal of Advertising Research*, 20(4), 11-28 .

Sivanandam, S. N., & Deepa, S. N. (2007). *Introduction to Genetic Algorithms*: Springer Berlin Heidelberg.

Swami, S., & Shah, J. (2012). Channel coordination in green supply chain management. *Journal of the Operational Research Society*, 64(3), 336-351 .

Szmerekovsky, J. G., & Zhang, J. (2009). Pricing and two-tier advertising with one manufacturer and one retailer. *European Journal of Operational Research*, 192(3), 904-917 .

Taleizadeh, A. A., Niaki, S. T. A., & Wee, H.-M. (2013). Joint single vendor–single buyer supply chain problem with stochastic demand and fuzzy lead-time. *Knowledge-Based Systems*, 48, 1-9 .

Von Stackelberg, H. (1952). *The theory of the market economy*: Oxford University Press.

- Weng, Z. K. (1995). Channel coordination and quantity discounts. *Management science*, 41(9), 1509-1522 .
- Xie, J., & Neyret, A. (2009). Co-op advertising and pricing models in manufacturer–retailer supply chains. *Computers & Industrial Engineering*, 56(4), 1375-1385 .
- Xie, J & ,Wei, J. C. (2009). Coordinating advertising and pricing in a manufacturer–retailer channel. *European Journal of Operational Research*, 197(2), 785-791 .
- Young, R. F., & Greyser, S. A. (1983). *Managing cooperative advertising: A strategic approach*: Lexington Books.
- Yue, J., Austin, J., Wang, M.-C., & Huang, Z. (2006). Coordination of cooperative advertising in a two-level supply chain when manufacturer offers discount. *European Journal of Operational Research*, 168(1), 65-85 .
- 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 .
- Zhang, J., Xie, J & ,Chen, B. (2013). Cooperative advertising with bilateral participation. *Decision Sciences*, 44(1), 193-203 .